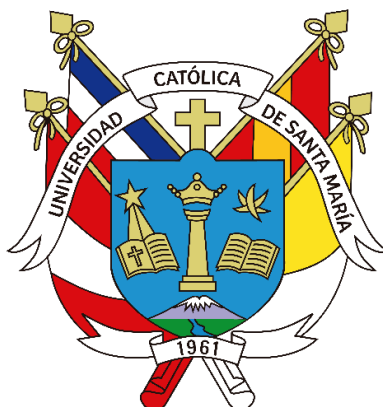


Universidad Católica de Santa María

Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales

**Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica-
Eléctrica y Mecatrónica**



**Diseño e implementación de un sistema electrónico con aplicación Internet
of Things para la detección y supervisión de celo en vacunos hembra**

Tesis presentada por el Bachiller:

Medina Cerpa, Juan Felix

ORCID: 0009-0007-9967-7124

para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecatrónico

Asesor:

Dr. Quispe Ccachucho, Marcelo Jaime

ORCID: 0000-0003-3182-6991

Arequipa – Perú

2024

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA MECANICA, MECANICA-ELECTRICA Y MECATRONICA

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 03 de Noviembre del 2022

Dictamen: 000728-C-EPIMMEM-2022

Visto el borrador del expediente 000728, presentado por:

2014801761 - MEDINA CERPA JUAN FELIX

Titulado:

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO CON APLICACIÓN INTERNET OF THINGS PARA LA DETECCIÓN Y SUPERVISIÓN DE CELO EN VACUNOS HEMBRA

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Titulo Profesional/Titulo de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

INGENIERO MECATRÓNICO

**29592341 - MESTAS RAMOS SERGIO ORLANDO
DICTAMINADOR**



**29277716 - CUADROS MACHUCA JUAN CARLOS
DICTAMINADOR**



**42394111 - COLLADO OPORTO CHRISTIAM GUILLERMO
DICTAMINADOR**



Diseño e implementación de un sistema electrónico con aplicación Internet of Things para la detección y supervisión de celo en vacunos hembra

INFORME DE ORIGINALIDAD

21%

INDICE DE SIMILITUD

20%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

10%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	ciencia.lasalle.edu.co Fuente de Internet	4%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
3	tesis.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	Submitted to Instituto Superior Tecnológico Rumiñahui Trabajo del estudiante	1%
5	hemeroteca.unad.edu.co Fuente de Internet	1%
6	repositorio.uta.edu.ec Fuente de Internet	1%
7	repositorio.ug.edu.ec Fuente de Internet	1%
8	www.robofun.net Fuente de Internet	1%

RESUMEN

Este trabajo de grado presenta el desarrollo de un sistema electrónico de detección y supervisión de celo del ganado vacuno hembra, donde el proyecto tiene como finalidad mejorar la economía y calidad de vida con la simplificación de la tarea que realizan los ganaderos de la región de Arequipa.

Muchos de los ganaderos dedicados a la producción de leche realizan la detección de celo de la vaca de forma empírica, mediante la observación y el registro del ciclo de celo de 21 días. En ese lapso la vaca presenta cambios fisiológicos en su temperatura, pulso cardiaco, movimientos de incomodidad hacia otras vacas, entre otros.

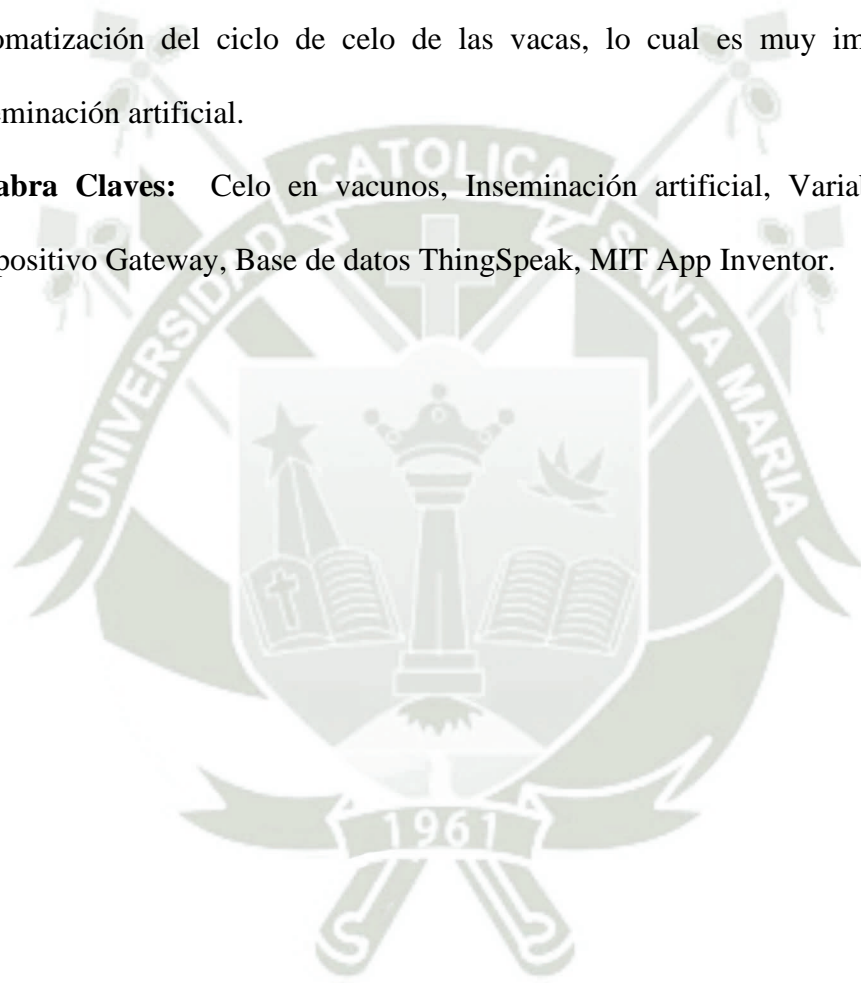
Tomando en cuenta los cambios de las variables fisiológicas de la vaca, se realiza el diseño del prototipo con forma de collar. Donde el collar tiene incrustado sensores y módulos electrónicos de pulso cardiaco, temperatura, acelerómetro y Sistema de Posicionamiento Global (GPS).

El sistema electrónico consta del nodo 1 en forma collar, como dispositivo de adquisición de data de variables fisiológicas de la vaca, temperatura ambiente y GPS. Y como nodo 2 al dispositivo Gateway, que funciona de pasarela de comunicación entre las tecnologías de Largo Alcance (LoRa) y el servicio de mensajería push con patrón publicador (MQTT). Ambos nodos contienen al módulo Lora SX1276 de 915 MHz.

La implementación se realizó con una vaca de un establo, en uno de los distritos de Arequipa; donde se tomó muestras de estas variables fisiológicas de la vaca en la plataforma de base de datos de ThingSpeak de Mathworks. A partir del análisis de las muestras recogidas de ThingSpeak, se desarrolló la aplicación de detección y supervisión del periodo de celo de la vaca, en MIT App Inventor. Cuando la temperatura corporal de la vaca supera los 40°C, y cuando la frecuencia cardíaca excede los 114 latidos por

minuto, o cuando la aceleración está fuera del rango de 0.93 y 1.18 g, se enviará un mensaje de alerta temprana al dispositivo móvil. Esta alerta se notificará mediante una vibración y una alarma que durará 3 segundos, además tiene la opción de visualizar las gráficas del comportamiento y rastrear por GPS en tiempo real. El sistema resulta útil para el ganadero con gran número de vacunos y mediante este sistema realizar la automatización del ciclo de celo de las vacas, lo cual es muy importante para la inseminación artificial.

Palabra Claves: Celos en vacunos, Inseminación artificial, Variables fisiológicas, Dispositivo Gateway, Base de datos ThingSpeak, MIT App Inventor.



ABSTRACT

This degree work presents the development of an electronic system for detecting and monitoring the heat of female cattle, where the project aims to improve the economy and quality of life by simplifying the task carried out by ranchers in the Arequipa region. .

Many farmers dedicated to milk production detect cow heat empirically, by observing and recording the 21-day heat cycle. During this period, the cow presents physiological changes in its temperature, heart rate, movements of discomfort towards other cows, among others.

Taking into account the changes in the cow's physiological variables, the design of the collar-shaped prototype is carried out. Where the collar has embedded sensors and electronic modules for heart rate, temperature, accelerometer and Global Positioning System (GPS).

The electronic system consists of node 1 in collar form, as a data acquisition device for the cow's physiological variables, ambient temperature and GPS. And as node 2 to the Gateway device, which functions as a communication gateway between Long Range technologies (LoRa) and the push messaging service with a publisher pattern (MQTT). Both nodes contain the 915 MHz Lora SX1276 module.

The implementation was carried out with a cow from a stable, in one of the districts of Arequipa; where these cow physiological variables were sampled in Mathworks' ThingSpeak database platform. Based on the analysis of the samples collected from ThingSpeak, the application for detecting and monitoring the cow's heat period was developed in MIT App Inventor. When the cow's body temperature exceeds 40°C, and when the heart rate exceeds 114 beats per minute, or when the acceleration is out of the range of 0.93 and 1.18 g, an early warning message will be sent to the mobile device. This

alert will be notified through a vibration and an alarm that will last 3 seconds. You also have the option to view behavior graphs and track by GPS in real time. The system is useful for the farmer with a large number of cattle and through this system he can automate the heat cycle of the cows, which is very important for artificial insemination.

Keywords: Estrus in cattle, Artificial insemination, Physiological variables, Gateway device, ThingSpeak database, MIT App Inventor.



ÍNDICE

RESUMEN	i
ABSTRACT	iii
ÍNDICE	v
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	3
1. MARCO METODOLÓGICO	3
1.1 PROBLEMA	3
1.2 DESCRIPCIÓN	3
1.3 ESTADO DEL ARTE	5
1.4 JUSTIFICACIÓN	6
1.5 OBJETIVOS	7
1.5.1 <i>Objetivo principal</i>	7
1.5.2 <i>Objetivos específicos</i>	7
1.6 HIPÓTESIS	8
CAPÍTULO II	9
2. MARCO TEÓRICO	9
2.1 VACUNOS Y SU MORFOLOGÍA	9
2.1.1 <i>Ganado vacuno</i>	9
2.1.2 <i>Ganado vacuno según el clima</i>	9
2.1.3 <i>Ciclo de celo del ganado vacuno hembra</i>	9
2.2 INDICADORES DE CELO DE LA VACA	12
2.2.1 <i>Temperatura</i>	13
2.2.2 <i>Frecuencia cardiaca</i>	13

2.2.3	<i>Desplazamiento</i>	14
2.3	SENSORES Y LOCALIZADORES	14
2.3.1	<i>Sensores de temperatura</i>	14
2.3.2	<i>Sensores de desplazamiento</i>	15
2.3.3	<i>Sensores de ritmo cardiaco</i>	19
2.3.4	<i>Modulo GPS</i>	19
2.4	TRANSMISIÓN DE DATOS	20
2.4.1	<i>Medios de transmisión de datos</i>	20
2.4.2	<i>Transmisión de datos por radiofrecuencia</i>	21
2.4.3	<i>Receptor</i>	25
2.4.4	<i>Modos de transmisión de datos</i>	29
2.4.5	<i>Parámetros transmisión de datos</i>	30
2.4.6	<i>Indicador de intensidad de la señal de recepción</i>	31
2.4.7	<i>Topologías de red</i>	32
2.4.8	<i>Marco legal</i>	33
2.5	PLATAFORMA ARDUINO (HARDWARE)	37
2.5.1	<i>Tarjeta ARDUINO</i>	39
2.6	INTERNET DE LAS COSAS IoT	39
2.6.1	<i>Importancia de IoT</i>	40
2.6.2	<i>Características de un Sistema IoT:</i>	41
2.6.3	<i>Elementos de un sistema IoT</i>	42
2.6.4	<i>Tecnologías IoT</i>	43
2.7	MQTT	45
2.7.1	<i>Conceptos básicos de MQTT</i>	46

2.7.2	<i>Arquitectura de MQTT</i>	48
2.7.3	<i>Dónde usar MQTT</i>	50
2.7.4	<i>Brokers de MQTT</i>	51
2.7.5	<i>Inconvenientes en MQTT</i>	53
2.8	PLATAFORMAS IOT	54
2.8.1	<i>ThingSpeak</i>	54
2.8.2	<i>Carriots</i>	56
2.8.3	<i>Thinking Things</i>	59
2.8.4	<i>Cayenne IoT Platform</i>	60
CAPÍTULO III		66
3. DESARROLLO DE INGENIERÍA		66
3.1	DISEÑO DEL SISTEMA	66
3.1.1	<i>Diagrama de bloques</i>	68
3.2	SELECCIÓN DE COMPONENTES	70
3.3	MICROCONTROLADORES	71
3.3.1	<i>ESP8266 – Modulo WiFi</i>	71
3.3.2	<i>El nodo de Radio LoRa v1.0</i>	72
3.3.3	<i>Arduino Uno r3 sin ATmega 328p</i>	75
3.4	SENSORES	76
3.4.1	<i>Sensor de Pulso HR0214-37</i>	77
3.4.2	<i>Sensor de temperatura SE177-GY906-MLX90614ESF</i>	78
3.4.3	<i>Acelerómetro Modulo GY-521</i>	79
3.4.4	<i>GPS</i>	80
3.5	SOFTWARE DE PROGRAMACIÓN	83

3.6	RADIO DEFINIDA POR SOFTWARE	83
3.6.1	<i>Realtek RTL2832U</i>	84
3.6.2	<i>Airspy</i>	85
3.7	PLATAFORMA IOT	85
3.7.1	<i>ThingSpeak</i>	85
3.7.2	<i>MIT App Inventor</i>	86
CAPÍTULO IV		88
4.	IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO	88
4.1.	COMUNICACIÓN LORA	88
4.1.1.	<i>Instalar librería LoRa en Arduino</i>	88
4.1.2.	<i>Verificación de la transmisión de datos en los 915 MHz</i>	91
4.2.	INTEGRACIÓN DE SENSORES Y MÓDULOS EN NODO TRANSMISOR (COLLAR)	93
4.2.1.	<i>Acelerómetro</i>	93
4.2.2.	<i>Sensor de temperatura</i>	95
4.2.3.	<i>Sensor de Pulso</i>	96
4.2.4.	<i>Modulo GPS</i>	98
4.2.5.	<i>Integración embebida en el Módulo Arduino Lora V1.0</i>	100
4.3.	INTEGRACIÓN DEL ESP8266 CON EL MÓDULO ARDUINO LORA V1.0 HACIA LA NUBE (GATEWAY).	104
4.3.1.	<i>ESP8266 con ThingSpeak</i>	104
4.3.2.	<i>Diagrama de conexión del Gateway</i>	105
4.3.3.	<i>Integración del Gateway a IoT de ThingSpeak</i>	106
4.4.	PLATAFORMA THINGSPEAK	109
4.5.	PROTOTIPO DE SOPORTE	110

4.5.1	<i>Base:</i>	110
4.5.2	<i>Capa intermedia</i>	112
4.5.3	<i>Tapa</i>	112
4.6	IMPRESIÓN Y MONTADO DEL PROTOTIPO	113
4.6.1	<i>Impresión de las piezas</i>	113
4.6.2	<i>Montado del prototipo</i>	115
4.7	COMUNICACIÓN INALÁMBRICA	116
4.7.1	<i>Collar</i>	116
4.7.2	<i>Gateway</i>	117
4.7.3	<i>Integración de la comunicación inalámbrica</i>	118
4.8.	APP INVENTOR IOT	119
4.8.1	<i>Comunicación entre ThingSpeak y MIT App Inventor</i>	120
4.8.2	<i>Desarrollo del código de bloques</i>	121
4.8.3	<i>Enlace de la aplicación móvil</i>	122
CAPÍTULO V		124
5.	ANÁLISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS	124
5.1	ANÁLISIS DE DATA	124
5.1.1	<i>Temperatura</i>	125
5.1.2	<i>Aceleración</i>	126
5.1.3	<i>Pulso</i>	127
5.2	INTERPRETACIÓN DE LA DATA	128
5.3	CONDICIÓN DE LA ALARMA	130
5.4	AUTONOMÍA DEL PROTOTIPO	131
5.5	PRESUPUESTO	132

CONCLUSIONES	134
OBSERVACIONES	135
RECOMENDACIONES	136
REFERENCIAS	137
ANEXOS	141



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Caja negra para la identificación de la situación actual y la situación deseada	4
Figura 2. Representación esquemática de las fases folicular y lútea en un ciclo estral modelo.	10
Figura 3. Indicador del momento adecuado para realizar la inseminación artificial.	12
Figura 4. Partes principales del acelerómetro mecánico.	16
Figura 5. Funcionamiento de un acelerómetro capacitivo	16
Figura 6. Funcionamiento de un acelerómetro piezoeléctrico	17
Figura 7. Partes principales de un acelerómetro térmico.	18
Figura 8. Transmisión direccional	21
Figura 9. Proceso del transmisor en la transmisión de datos	22
Figura 10 Modulación LoRa	23
Figura 11. Relación velocidad y distancia transmisión de datos	24
Figura 12. Modulaciones DSSS	25
Figura 13. Proceso del receptor en la transmisión de datos	26
Figura 14. Topologías de Red	33
Figura 15. Esquema de tarjeta Arduino	38
Figura 16 Placa Arduino	39
Figura 17. Arquitectura de MQTT	49
Figura 18. Interacción cliente Broker	50
Figura 19. Interacción de la plataforma ThingSpeak	55
Figura 20. Plataforma Carriots	57

Figura 21. Interacción de la plataforma Cayenne	65
Figura 22. Funcionamiento de IoT de la vida real	66
Figura 23. Esquemático de funcionamiento de proyecto.	67
Figura 24. Bloques de funcionamiento del proyecto.	68
Figura 25. Tarjeta ESP8266	71
Figura 26. Radio LoRa v1.0 Vista frontal	74
Figura 27. Radio LoRa v1.0 Vista inferior	75
Figura 28. Arduino Uno R3 sin Atmega328p	76
Figura 29. Sensor de pulso HR0214-37	77
Figura 30. Sensor SE177-GY906-MLX90614ESF	79
Figura 31. Modulo GY-521	80
Figura 32. Modulo GPS NEO-M8N HMC5983	82
Figura 33. Arduino IDE	83
Figura 34. Dispositivo SDR R820T	84
Figura 35. Programa de Airspy	85
Figura 36. Plataforma de ThingSpeak IoT	86
Figura 37.	87
Figura 38. Librería Lora	89
Figura 39. Conexión del Módulo Lora V1.0 con Arduino sin ATmega318p	90
Figura 40. Selección de los ejemplos de la librería de Lora	90
Figura 41. Ejemplos de la librería de Lora	91
Figura 42 Visualizador de señales RF Airspy SDR (Transmisor)	92
Figura 43. Señales recibidas por Comunicación serial RF	93
Figura 44. Gestor de Librería de Arduino (basicMPU6050)	94

Figura 45. Parámetros de aceleración	94
Figura 46. Gestor de Librería de Arduino (Adafruit MLX90614)	95
Figura 47. Parámetros de temperatura	95
Figura 48. Gestor de Librería de Arduino (PulseSensor Playground)	96
Figura 49. Parámetros de pulso	97
Figura 50. Fotopletismograma	97
Figura 51. Gestor de Librería de Arduino (TinyGPSPlus)	98
Figura 52. Datos del módulo de GPS	99
Figura 53. Parámetros de GPS	99
Figura 54. Esquema de conexión del Prototipo collar	100
Figura 55. Librerías	101
Figura 56. Variables	101
Figura 57. Void Setup	102
Figura 58. Void Loop	102
Figura 59. Serial del módulo GPS	103
Figura 60. Parámetros del transmisor de Lora	103
Figura 61. Librería del ESP8266	104
Figura 62. Compilación del programa	105
Figura 63. Esquema de conexión del Gateway	105
Figura 64. Librería de SPI	106
Figura 65. Establecimiento de puertos	106
Figura 66. Transmision a ThingSpeak	107
Figura 67. Comandos AT	108
Figura 68. Void Setup de ESP8266	108

Figura 69. Plataforma ThingSpeak	109
Figura 70. Muestra de datos en la plataforma de ThingSpeak	110
Figura 71. Diseño de las orejeras del collar	111
Figura 72. Diseño de la base del prototipo collar en 3D	111
Figura 73. Capa intermedia del prototipo	112
Figura 74. Tapa extraíble del collar	113
Figura 75. Impresión de las piezas	114
Figura 76. Piezas impresas en 3D	115
Figura 77. Montado del prototipo collar	116
Figura 78. Captura de pantalla de la transmisión de datos	117
Figura 79. Comunicación del Gateway hacia ThingSpeak	118
Figura 80. Integración y pruebas de comunicación	119
Figura 81. Captura de pantalla de la APP	120
Figura 82. Enlace de JSON	121
Figura 83. Diagrama de bloques de la APP	122
Figura 84. Enlace de la aplicación móvil	123
Figura 85. Prototipo collar en la Vaca	124
Figura 86. Variación de la temperatura corporal	126
Figura 87. Variación del movimiento de la vaca	127
Figura 88. Datos de pulso de la vaca	128
Figura 89. Variables fisiológicas	130
Figura 90. Condición de alarma	131

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Modulación LORA (Ancho de Banda vs SF)	23
Tabla 2. Bandas de frecuencia en comunicaciones	27
Tabla 3. Modos de transmisión de datos	29
Tabla 4 Normas de marco legal	34
Tabla 5. Protocolos para Sigfox, LoRaWAN y NBIoT	44
Tabla 6. Brokers con características y limitaciones	52
Tabla 7. Interpretación de datos	129
Tabla 8. Dimensionamiento de corriente de trabajo	132
Tabla 9. Presupuesto de la elaboración del proyecto.	133
Tabla 10. Materiales del collar	141
Tabla 11. Materiales para Gateway	141

INTRODUCCIÓN

En este trabajo de grado se presenta el desarrollo de un sistema electrónico de detección y supervisión por medio de variables indicadoras de celo en las hembras de ganado bovino. Todo esto basado en comportamientos específicos en las hembras de ganado bovino durante el celo. Por lo general, estos comportamientos son: mayor desplazamiento, mayor frecuencia de mugidos, entre otras.

De esta forma, con este sistema se busca detectar y enviar datos a la nube sobre variables como el movimiento, la temperatura del animal, el ritmo cardíaco y el posicionamiento del animal.

El análisis de estas variables permitirá a futuro predecir el celo de los bovinos hembra. Los elementos presentados para la implementación de la detención de celo de la vaca comprenden:

Un sistema de red inalámbrica de largo alcance (LPWAN), comprende a la tecnología de modulación de Lora en los 915 MHz de uso libre. Para la comunicación desde el nodo sensor (collar) hacia el Gateway el cual permite enviar datos a la nube por medio del protocolo de comunicación MQTT; el sistema integra un sensor de temperatura, el cual se encarga de medir la temperatura corporal de la hembra y del medio ambiente; un sensor de ritmo o pulso cardíaco, que se encarga de monitorizar el corazón, con el fin de detectar la variación durante el celo, un acelerómetro, que indicara el movimiento brusco que presenta la vaca y finalmente un módulo de GPS, para tener la ubicación exacta del animal. El Gateway realiza comunicación entre tecnología Lora y MQTT a la plataforma de ThingSpeak.

Además de esto el proyecto cuenta con la aplicación en teléfonos móviles, con la mensajería de alarma, precisamente cuando ocurra cambios bruscos en el animal y el

ganadero podrá monitorear mediante el teléfono y así calcular un tiempo adecuado para el proceso de inseminación o monta.



CAPÍTULO I

1. MARCO METODOLÓGICO

1.1 Problema

En el Perú más de 452 mil familias se dedican a la producción de leche y sus derivados, donde las principales cuencas de producción son Cajamarca (18.37%), Arequipa (16.79%) y Lima (16.57%) según el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (Andina, 2020)

Un problema constante que se presenta en el momento en el rubro lechero es la correcta detección de celo del ganado vacuno para así poder realizar la monta o inseminación en el momento adecuado para poder continuar con la producción lechera sin inconvenientes, ya que esta detección o supervisión se hace de manera empírica y por observación por medio uso de mano de obra y sin uso de algún indicador medible.

Mejorar la eficiencia económica y aumentar las cabezas de ganado vacuno depende del correcto manejo reproductivo, siendo determinante la precisa detección del celo en la hembra bovina mediante el reconocimiento de signos claros para poder llevar a cabo monta natural, inseminación artificial (IA), transferencia de embriones (ET) (Galina & Orihuela, 2007). Ya que como se ve existe una necesidad urgente de aumento de consumo de leche que está planteado el plan nacional hacia el bicentenario.

1.2 Descripción

La eficiencia en la producción lechera depende de la detección de celo de la hembra vacuno. Ya que se pueden producir muchas pérdidas económicas, las cuales están en torno a:

- Se reduce la vida de producción de leche de la vaca por los periodos de seca.

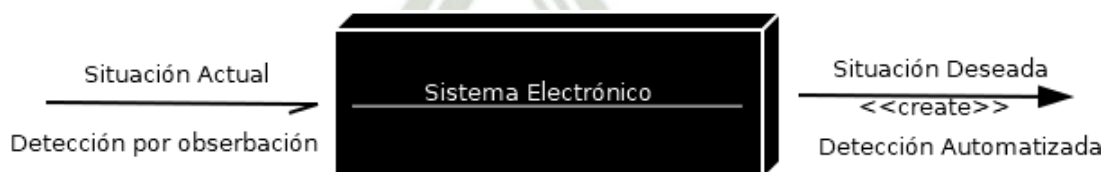
- El costo de tratamientos de métodos reproductivos.
- Uso de mano de obra para la constante supervisión del ganado.

El celo es un periodo de aceptación para el apareamiento, teniendo una ventana de 6 a 30 horas y ocurre en promedio de cada 21 días. Actualmente, en la Región de Arequipa la detección de celos requiere de la observación. Se presenta en las vacas un patrón común de comportamiento, la mayoría de las vacas permanecen quietas y se dejan montar por sus compañeras o un toro. Podríamos tener otros signos como nerviosismo,

Estos métodos de detección son utilizados debido a que no contamos con tecnificación de ganado en nuestra región. Poder detectar más del 90% de las vacas en celos permitiría mejorar los aspectos reproductivos de ellas, mejorando por añadidura la producción. Pero esta detección no puede ser manual, ya que se requeriría de mucha mano de obra atenta en periodos de celo. Es ahí donde *se desea* aplicar un sistema electrónico, que nos permitirá automatizar este proceso, con la detección y automatización de celo del ganado vacuno hembra.

Figura 1.

Caja negra para la identificación de la situación actual y la situación deseada



1.3 Estado del arte

“SISTEMA DE MONITOREO DE ESTRÉS PORTÁTIL BASADO EN LA PLATAFORMA DE SENSORES MÚLTIPLES IOT PARA EL TRANSPORTE DE OVEJAS”

Autores: Cui, Yan; Zhang, Mengjie; Li, Jun; Luo, Hailing; Zhang, Xiaoshuan; Fu, Zetian

En este artículo de investigación, realizado en China; se hizo un seguimiento continuo de algunas características fisiológicas de las ovejas, como frecuencia cardíaca y temperatura. Con el objetivo de detectar estrés, irritabilidad, inquietud y otras afecciones médicas en dichas ovejas. Para lo cual aplicaron un sistema móvil de monitoreo de estrés no invasivo (WSMS), basados en un sensor infrarrojo, medidores de temperatura (ITM) y unidades de medición inercial (IMU). Esto permitió monitorear la señal de estrés permanentemente en ovejas durante periodos de transporte. Como parte de sus conclusiones sostienen que el WSMS está diseñado para ser lo suficientemente robusto como para recopilar y transmitir datos fisiológicos y ambientales durante el transporte de ovejas, y determinar sus niveles de estrés. (Cui, Zhang, Luo, & Zhang, 2019)

“PROTOTIPO DE COLLAR DE MONITOREO PARA GANADO USANDO TECNOLOGÍA LPWAN”

Autor: Benitez Silva, Cristian José

Esta investigación, fue desarrollada con la finalidad de diseñar e implementar un prototipo de un sistema de comunicación LPWAN personalizado, que estuviese integrado a GPS y módulos de temperatura en el sistema LPWAN. Entonces, esta red diseñada actúa como un recurso de control, lo que permite que el usuario pueda conocer dónde están los animales y como un valor agregado, permite que pueda analizar el

comportamiento de los animales, en base a la información recopilada. Concluyendo que, después de los resultados satisfactorios, el sistema ofrece a los usuarios la posibilidad de ver rápida y eficientemente la dinámica del rebaño, así como propuestas que cumplen con criterios de bajo costo. Además de que esta tecnología es asequible y genera rentabilidad en beneficio de los usuarios. (Benitez Silva, 2019)

“SISTEMA DE MONITOREO DE GANADO BOVINO”

Autores: Rivera García, Y., Alberto, L., Ponce, E., Miguel, J., Alonso, M., & Huerta, M.

En este artículo, los investigadores diseñaron una herramienta que permitió a los agricultores de la región de Zacapoaxtla, en México; ver las rutas y ubicaciones del ganado a partir de los datos adquiridos por los dispositivos GPS colocados en los animales, el cual transmite continuamente datos sobre las coordenadas exactas de ubicación del ganado como la altitud y la longitud. Los datos recopilados y almacenados fueron utilizados por aplicaciones web desarrolladas con tecnología ASP.Net, API de Google Maps y mysql. De esta manera, los dueños del ganado pudieron usar su computadora o dispositivo móvil para localizar al ganado, desde un navegador web; detallando una fecha y hora de búsqueda y así como la ubicación a tiempo real. (Rivera García, 2019)

1.4 Justificación

Esta investigación es necesaria para la detección del celo del ganado vacuno hembra, lo cual llevara al aumento de producción de leche y al mejoramiento genético del vacuno.

Este proyecto tiene como finalidad monitorear al animal y detectar el celo, ya que es normal que en un establo se maneja una gran cantidad de bovinos, en especial en las provincias costeras de la Región de Arequipa, por tal razón con este sistema se busca controlar de manera eficiente los periodos de celo del vacuno.

Con el propósito de innovar la tecnología, tal es el caso del Internet de las Cosas, se hace el uso de las comunicaciones inalámbricas LPWAN y el sistema embebido con el microcontrolador Atmega de Arduino en el collar, que tiene como propósito la adquisición de señales fisiológicas del animal.

También se realiza para poder dejar un antecedente de investigación futura de indagación de implementación de IoT en la ganadería de la Región de Arequipa y en el País.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo principal

- Diseñar e implementar un sistema electrónico con aplicación IoT que permita detectar y supervisar el celo en vacunos hembra.

1.5.2 Objetivos específicos

- Diseñar e implementar un prototipo de sujeción (collar) que detecte cambios de temperatura, movimiento y posición de la vaca.
- Implementar una red inalámbrica de área amplia de baja potencia (LPWAN) usando bandas libres (ISM) que permita enviar datos del estado de la vaca al servidor web.
- Implementar un servidor web que almacene y aplicación móvil que mande señales de alarma al usuario cuando se detecte el celo en la vaca.

1.6 Hipótesis

Es posible que la implementación de este sistema electrónico basado en sensores ayude a la detención de celo del ganado vacuno por el cambio de sus condiciones como temperatura corporal, movimientos bruscos (inquietud) y cambio de frecuencia cardíaca.



CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Vacunos y su morfología

2.1.1 *Ganado vacuno*

Al decir bobino o vacuno, es aplicable a los animales sin tener en cuenta el sexo. Sin embargo, pueden tener nombres como ternero, vaca, toro, buey, etc. según la ubicación geográfica y edad. Además, este tipo de ganados que ha sido domesticado durante siglos se puede dividir en dos categorías: vacas lecheras y ganado de carne.

2.1.2 *Ganado vacuno según el clima*

El ganado vacuno en climas cálidos tiene una gran superficie corporal, pelo corto y una alta pigmentación de la piel, con la finalidad de atenuar el calor. Por otro lado, las vacas adaptadas a climas fríos tienen una menor superficie corporal, menos pigmentación y una mayor densidad de ectodermo para evitar la disipación de calor.

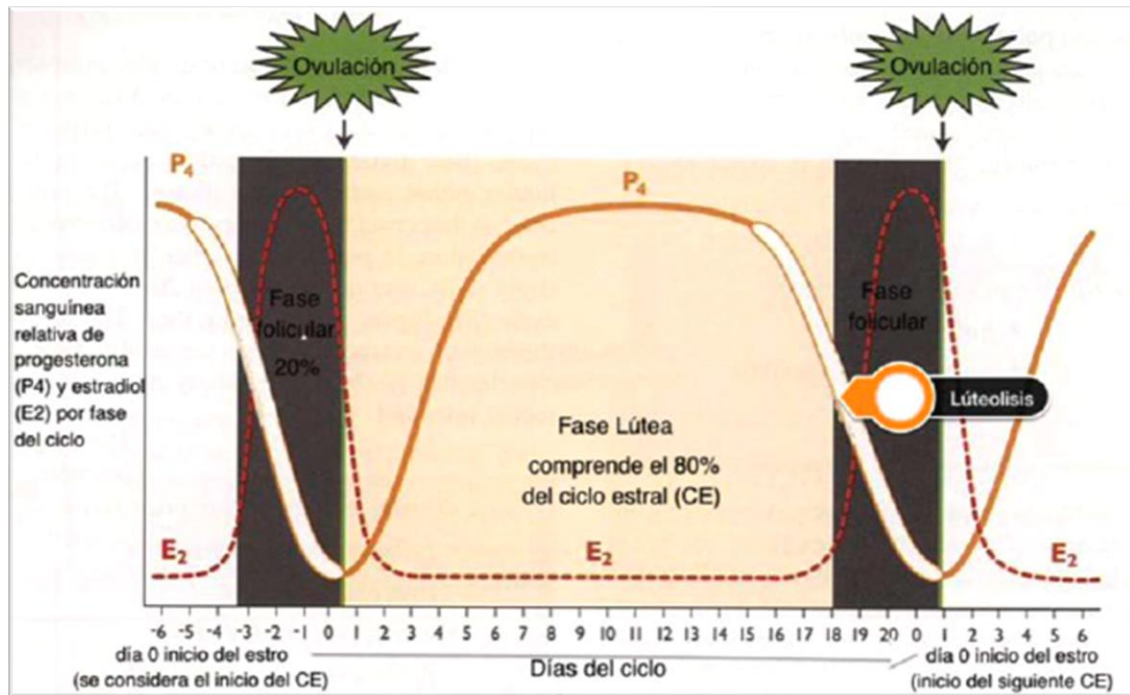
2.1.3 *Ciclo de celo del ganado vacuno hembra*

Fases del ciclo estral de la vaca

Los intervalos de tiempo entre el comienzo de un tiempo de celo y el comienzo del siguiente periodo, se denomina ciclo estral. Como se ve en la Figura 2, estos ciclos se dividen en 4 etapas denominadas pro-estro, estro, meta-estro y di-estro.

Figura 2.

Representación esquemática de las fases folicular y lútea en un ciclo estral modelo.



Fuente: Senger, (2005) - Ciclo estral en Bovinos

- **Pro-estro:** Esta etapa indica la ausencia de un cuerpo lúteo funcional. El desarrollo de los folículos es marcado, comenzando con la regresión del cuerpo lúteo del ciclo anterior y terminando con el inicio del periodo de receptividad sexual.
- **Estro:** Esta es la fase que muestra el celo, porque las vacas tienen un deseo sexual ilimitado y se caracterizan por la aceptación de los machos. El comportamiento de la vaca cambia drásticamente a medida que muestra inquietud, pérdida de apetito, búsqueda de machos, montas hembra-hembra (causado por las hormonas sexuales) y calma frente a los machos.
- **Meta-estro:** Caracterizado por la ovulación y la formación del cuerpo lúteo. Comienza al final del periodo de celo y termina con la ovulación.

- **Di-estro:** Caracterizado por ser la fase más duradera de todo el ciclo, por la duración de la actividad del cuerpo lúteo. Puede ocurrir una alta densidad folicular.

Además de estas 4 fases del ciclo estral, se cuenta un estado mas que representa la falta de este ciclo estral.

- **Anestro:** Caracterizada por la inactividad de la vaca, entrando en un estado de reposo; esto debido a la inactividad del eje hipotálamo-pituitario inducida por la gonadotropina. Después de dar a luz, la actividad ovárica se reanuda y la condición del cuerpo se estabiliza.

Duración del ciclo estral

Según Bosque, (2008), p.8 estos ciclos duran en promedio 20 días para vaquillas y 21-22 días para vacas ya adultas.

Duración del estro o celo

Los períodos de estro en una hembra, de acuerdo a Bosque, 2008, p.8, son el tiempo durante el cual un toro puede montar a una vaca, porque esta lo permite. Este período tiene una duración promedio de 18 horas para las vacas lecheras y de engorde y un poco más corto para las novillas.

Momento de la ovulación

El momento de ovulación suele ocurrir durante el ciclo estral, de 10 a 15 horas después del final de la etapa meta-estral de la vaca.

Momento de la monta o inseminación artificial

Los celos se observan cuando una hembra permite el apareamiento con un macho. Esto ocurre en vacas más viejas apareadas, incluso 34 horas antes de la ovulación, 14 horas después como máximo. Se cree que el espermatozoides del toro debe estar presente en el

útero de la vaca y las trompas de Falopio durante al menos 6 a 9 horas antes de que el óvulo pueda ser fertilizado.

Figura 3.

Indicador del momento adecuado para realizar la inseminación artificial.

PRECELO 6 a 10 horas	CELO PERMANENTE 12 a 18 horas		LIBERACIÓN DEL ÓVULO 10 a 14 horas Ovulación →	DURACIÓN DEL ÓVULO 6 a 10 horas	S a n g r a d o
Muy pronto para inseminar	Se puede inseminar	Mejor momento para inseminar	Se puede inseminar	Muy tarde para inseminar	

Fuente: Anónimo (s.f.) - Manejo de la reproducción - Sincronización del estro y detección del celo.

En cambio, en inseminaciones artificiales, las vacas que presentan celo fijo por la mañana son inseminadas en tarde; y las vacas que manifiestan celo por la tarde son inseminadas al día siguiente en la mañana.

2.2 Indicadores de celo de la vaca

La práctica hacer ver, que no todas las variables, como la receptividad sexual y la liberación de ovocitos, pueden cuantificarse. Sin embargo, existen indicadores específicos que se pueden cuantificar para determinar el estado reproductivo de un animal, como un aumento de temperatura, un aumento de la frecuencia cardíaca y el nivel de movimiento de un animal. Estos parámetros se pueden utilizar de forma independiente para la detección de celos o en combinación para obtener una única señal clara.

2.2.1 Temperatura

Las vacas mayores, normalmente tienen las temperaturas más bajas. La temperatura corporal basal es independiente de variables externas como la ubicación del estudio. El conocer la temperatura, además de mostrar algún beneficio, es un indicador bien ajustado para la detección de celos. La temperatura también se basa en la etapa de maduración, es decir, aproximadamente un día antes del estro, que es la máxima señal. Una limitación es que la temperatura corporal basal de una vaca varía significativamente durante el día, además de afectar la salud diurna y la vida diaria, según la raza.

Sin embargo, la buena actividad del estro, es afectada por los factores ambientales, sobre todo de la temperatura; especialmente la función ovárica, entonces no puede realizarse bien una inseminación artificial o natural, en temporadas de alta temperatura, como el verano. El control de temperatura más eficaz para el ganado se llama RT (temperatura rectal) en el recto. Este es el método estándar para detectar el estro, pero es difícil para los agricultores medir con frecuencia la RT en un gran número de vacas.

2.2.2 Frecuencia cardíaca

La frecuencia cardíaca, es un indicador totalmente configurable y medible; porque en algunos estudios se han reportado cambios en el rendimiento físico de los animales estudiados. Cuando una vaca está en celo, su actividad física aumenta, lo que hace que aumente la frecuencia cardíaca del animal. De esta forma, es posible determinar los cambios en la frecuencia cardíaca durante un determinado período de tiempo, de día o de noche. Una buena forma de obtener datos es tomar muestras de su frecuencia cardíaca con un estetoscopio u otro dispositivo que pueda registrar su frecuencia cardíaca. Luego, tome una muestra durante 15 segundos y para dar los latidos por minuto, se multiplica por 4.

2.2.3 *Desplazamiento*

Cuando una vaca comienza a ovular (día 0), la temperatura corporal desciende aproximadamente a $37,7^{\circ}\text{C}$. Esto hace que aumente los desplazamientos de cada día, hasta que estabilice su temperatura, hasta un valor normal que ronda los $38,5^{\circ}\text{C}$. Esto sucede muy a menudo, en lugares con un clima cálido, más que en áreas de altas temperaturas y húmedas.

Por lo tanto, gracias a un acelerómetro que mide el desplazamiento angular a lo largo de tres ejes, puedes medir el desplazamiento que realiza la vaca durante el día y la noche, brindándote un control continuo sobre el ovino.

2.3 **Sensores y localizadores**

Son dispositivos que emiten señales analógicas o digitales en función de estímulos externos, provocando cambios en el estado natural del lugar, donde los diferentes sensores pueden detectar estos cambios. Estos sensores, detectan cambios físicos percibidas por el ser humano, tales como temperatura, radiación de luz, distancias, posiciones en el espacio y magnitud de fuerzas aplicadas. Entonces, lo que hacen los sensores es realizar un análisis de estas señales, y a diferencia de los cinco sentidos humanos, te muestra una cantidad matemática que es completamente modelable,

2.3.1 *Sensores de temperatura*

Un sensor de temperatura se encarga de detectar la temperatura o variaciones de temperatura en objetos, ambientes o seres. Estos sensores miden la temperatura y la convierte en una señal eléctrica por medio de diferentes tecnologías:

a) Termopar: El termopar está formado por dos bandas o alambres de diferentes metales y enlazados en un extremo. El cambio de temperatura en las uniones metálicas produce un cambio en la fuerza electromotriz (EMF) entre los dos

terminales. A medida que cambia la temperatura, la fuerza electromotriz aumenta y disminuye con la temperatura, esta fuerza es proporcional a la temperatura.

b) RTD: Este dispositivo se basa en cambios en la resistencia del metal. Cuando cambia la temperatura, el cambio se produce de forma semiperiódica.

c) Termistor: Este dispositivo se basa en las variaciones en la resistencia de un semiconductor cerámico. El componente cerámico tiene dos entradas de filamentos de diferentes materiales, que pueden deformarse si el tiempo de montaje, lo que provoca un funcionamiento no lineal, con las consiguientes variaciones de temperatura.

2.3.2 Sensores de desplazamiento

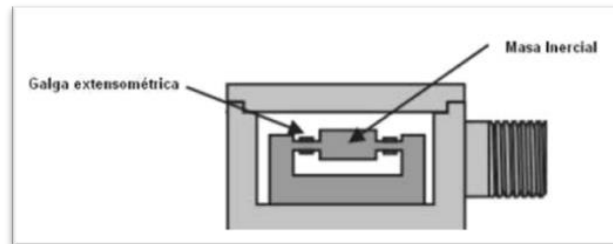
Existen muchos tipos de sensores de desplazamiento, incluidos el mecánico, capacitivo, piezoeléctrico, piezoresistivo y térmico.

a) Acelerómetro mecánico

Este dispositivo, utiliza una masa inercial (que mide la resistencia de la masa a las variaciones de velocidad) y un resorte elástico. La oscilación es medida con una galga extensométrica que incluye un sistema de amortiguación, el cual evita dicha oscilación. Este tipo de acelerómetros utilizan una o más galgas extensométricas que actúan como un puente entre la carcasa del dispositivo y la masa inercial. La aceleración distorsiona el medidor y los cambios de corriente son detectados por el puente de Wheatstone, donde la deformación es proporcional a la aceleración dada al acelerómetro.

Figura 4.

Partes principales del acelerómetro mecánico.



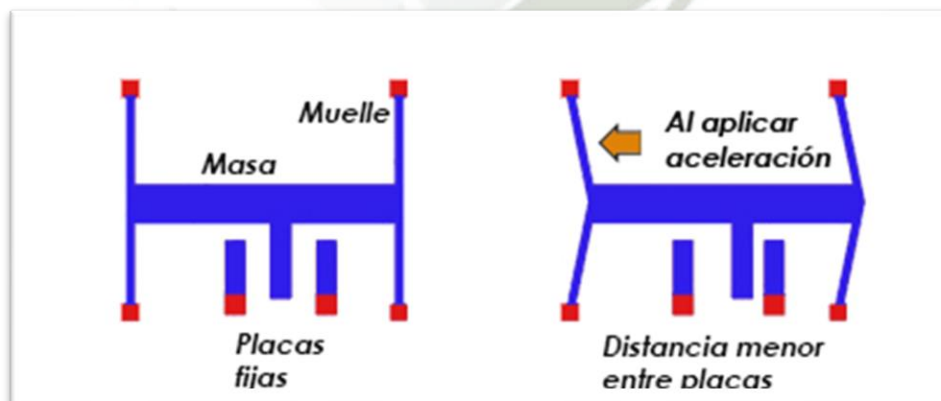
Fuente: Mecafenix (2017) - Acelerómetro mecánico

b) Acelerómetro capacitivo

Constan de una capa capacitiva interna, que puede ser fija o contener pequeños resortes. Cuando se aplica una aceleración al sensor, las placas se acercan entre sí. Esto cambiará la capacitancia entre las placas. La aceleración se puede determinar a partir de estos cambios en la capacitancia.

Figura 5.

Funcionamiento de un acelerómetro capacitivo



Fuente: Mecafenix (2017) - Acelerómetro capacitivo

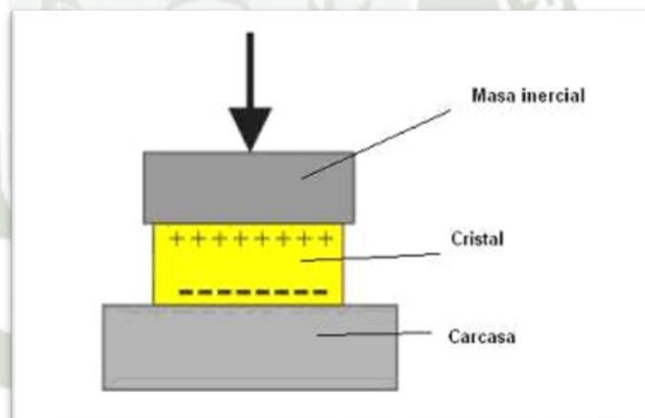
c) Acelerómetro piezoeléctrico

El funcionamiento está basado en el efecto piezoeléctrico. Por tanto, se infiere su comportamiento a partir de la deformación física del material, que provoca cambios en la estructura del cristal, cambiando así las propiedades eléctricas.

Entonces, el comportamiento de estos tipos de acelerómetros, estaban basadas en las propiedades de estos cristales piezoeléctricos. Cuando estos cristales reciben una fuerza específica, generan una corriente eléctrica debido a cambios en la estructura del cristal.

Figura 6.

Funcionamiento de un acelerómetro piezoeléctrico



Fuente: Mecafenix (2017) - Acelerómetro piezoeléctrico

d) Acelerómetro piezoresistivo

Los acelerómetros piezoresistivos, a diferencia de los piezoeléctricos, utilizan un sustrato en lugar de cristales piezoeléctricos. En esta técnica se aplica fuerza en el sustrato. Entonces, la resistencia a la placa modifica la resistencia que es parte del circuito que usa el puente de Wheatstone para medir el amperaje.

e) Acelerómetro térmico

Utiliza una base de sustrato de silicio. La base tiene orificios para insertar pequeñas resistencias que actúan como calentadores y dos termopares en cada extremo. Esta estructura permite la formación de cavidades de aire caliente llamadas burbujas, en el termopar.

La característica principal de este dispositivo es que solo hay un elemento móvil, un globo (burbuja) de aire caliente fino, sellado adentro de la cavidad de la carcasa del sensor. Entonces, cuando se aplican fuerzas externas como movimientos, inclinaciones o vibraciones, el globo de aire caliente se mueve de la misma manera. Los cambios de estado en la cavidad del integrador producen un voltaje, en función de la diferencia de temperatura y, después de la amplificación y el ajuste, se proporciona el valor absoluto del voltaje.

Figura 7.

Partes principales de un acelerómetro térmico.



Fuente: Mecafenix (2017) - Acelerómetro térmico

2.3.3 *Sensores de ritmo cardíaco*

El sensor de frecuencia cardíaca o de pulso cardíaco, es un dispositivo que se puede utilizar con el codificador, por lo que puede conectar estos sensores correctamente. Aunque el sensor funciona ópticamente, la señal de salida es verdadera y estable porque inicialmente tiene una etapa de amplificación y un filtro anti-ruido. El consumo de corriente de estos sensores es bajo. Aproximadamente 3 mA con fuente de alimentación de 5 V.

- a) **Sensores de ritmo cardíaco por pulso físico:** Está basada en las lecturas de los pulsos que son producidas por extremidades humanas, cuando se exponen a presiones externas. Por ejemplo, un dispositivo tradicional utilizado por médicos generales, para sincronizar los latidos generados por el dispositivo, necesitamos saber cuántos latidos está produciendo el cuerpo humano por segundo.
- b) **Sensores de ritmo cardíaco por oxígeno:** Estos sensores dependen del nivel de oxígeno de un área específica del cuerpo humano o animal, como el cuello, los brazos, los dedos, el cuello. Para la medición de la concentración de oxígeno que hay en la sangre, la operación óptica envía una señal de una longitud de onda específica que rebota en los glóbulos rojos, cuando tienen exceso de oxígeno. Para que la señal sea recibida por las células sanguíneas. Por lo tanto, en algunos procesos de información, los datos se interpretan en términos del número de pulsos por minuto.

2.3.4 *Modulo GPS*

Los dispositivos GPS, son utilizados comúnmente en smartphones, sistemas de gestión de flotas, ejércitos y más. Con la finalidad de seguir o buscar ubicaciones.

El nombre deriva del Sistema de Posicionamiento Global (GPS). Es un sistema satelital que hace uso de satélites y estaciones en la tierra, para hacer mediciones y calcular la posición en la Tierra.

Los receptores GPS, deben recibir datos de al menos cuatro satélites para garantizar la precisión. El receptor GPS no envía información a los satélites.

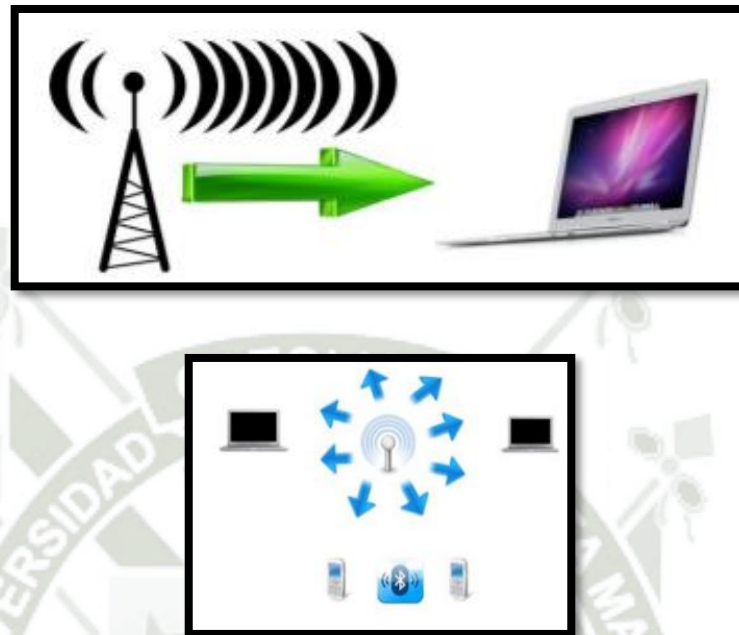
Los receptores GPS, reciben señales de los satélites GPS, y en base a esta información, se calcula la distancia a dichos satélites. Lo cual se hace midiendo los tiempos que tardan las señales en viajar desde los satélites hasta los receptores.

2.4 Transmisión de datos

La transferencia de datos es el proceso de enviar información codificada entre 2 puntos, transmisor y receptor, en un entorno físico como señales eléctricas, ópticas o electromecánicas.

2.4.1 Medios de transmisión de datos

En el trabajo de Romero, 2018 se conceptualiza como la energía emitida por el transmisor que se concentra en un punto, y la antena de recepción la capta, por lo tanto, necesita ser ajustado. Siempre que las frecuencias de transmisión sean altas, la concentración de energía apuntará en una sola dirección. En cambio, en la transmisión omnidireccional, las energías emitidas por el transmisor se disipan, en varias direcciones y la antena recibe la energía desde diferentes direcciones.

Figura 8.*Transmisión direccional*

Fuente: Zapata y Rodriguez (2020) - Transmisión direccional

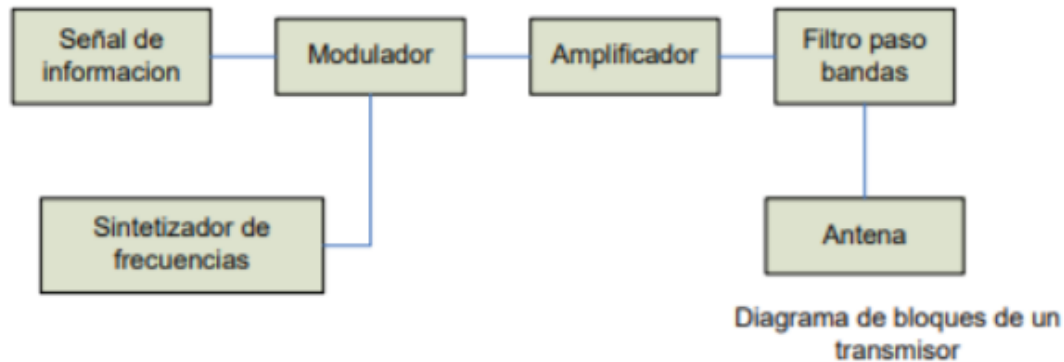
2.4.2 Transmisión de datos por radiofrecuencia

Transmisor

De acuerdo con Rivas, (2013), los transmisores, en los procesos de transmisión de datos tienen como objetivo generar, modular y amplificar las señales de información. Con la finalidad de que los receptores obtengan la información que fue enviada, tomando en cuenta las características como: frecuencia de transmisión, potencia de emisión, las emisiones no deseadas, entre otros.

Figura 9.

Proceso del transmisor en la transmisión de datos



Fuente: Zapata y Rodríguez (2020). Adaptado de Rivas, 2013 - Proceso del transmisor en la transmisión de datos.

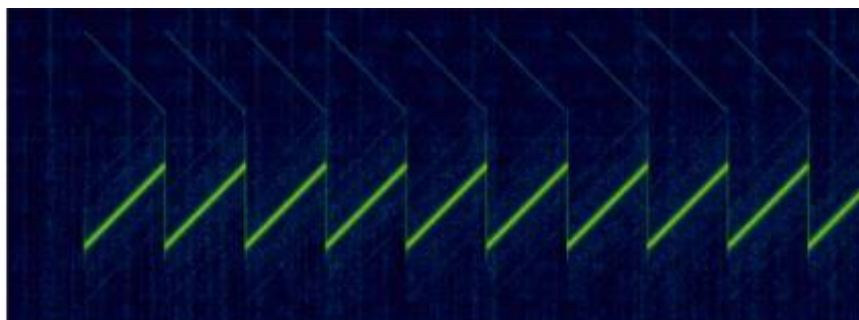
Los sintetizadores de frecuencia, mantienen una frecuencia fija en la que se realiza la transmisión de datos. El propósito del filtro de paso de banda es eliminar cualquier ruido que pueda tener la señal y conocer la frecuencia de un número fijo al que se transmitirán los datos. La modulación es el proceso de superponer señales que contienen información sobre datos transmitidos en una portadora y modificar algunas de sus características, como la amplitud o frecuencia. Para obtener una onda modulada de portadora de información, utilice el canal de comunicación para enviar al destinatario sobre la cantidad de datos a enviar (Rivas B. , 2013)

Modulación LORA

La modulación Lora, se trata en enviarle una trama en la que un mensaje se multiplica por una señal que cambia continuamente con la frecuencia. Para ello, la frecuencia continua y lineal es transmitida entre el ancho de banda determinado por la frecuencia inicial y la frecuencia final. Y cuando alcanza el punto final, se obtiene el valor de la frecuencia inicial para realizar el “barrido”, tal como se puede ver en la Figura 10.

Figura 10

Modulación LoRa



Fuente: Solera (2018) - Modulación LoRa

A medida que aumenta el ancho de banda y disminuye SF, como se muestra en la Tabla 1, la comunicación para enviar datos se acelera y es rápida. La Tabla 1 muestra que puede encontrar velocidades de transferencia, variando los valores del SF y el ancho de banda.

Tabla 1.

Modulación LORA (Ancho de Banda vs SF)

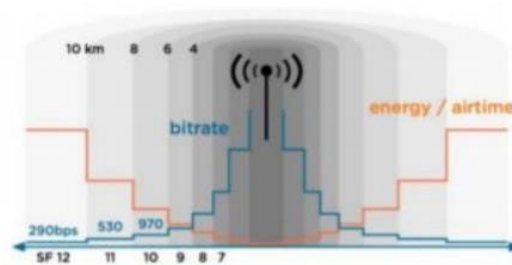
SF	Ancho de Banda		
	125 kHz	250 kHz	500 kHz
6	9.4 Kb/s	18.8 Kb/s	37.5 Kb/s
12	0.293 Kb/s	0.588 Kb/s	1.17 Kb/s

Fuente: Adaptado de (Zapata Diaz & Angel Rodriguez , 2020)

Además, es importante tener en cuenta que cuanto mayor sea la distancia entre el emisor y el receptor, será menor el factor de propagación. En otras palabras, cuanto mayor sea la distancia, menor será la tasa de bits. Esto se ve en la Figura 11.

Figura 11.

Relación velocidad y distancia transmisión de datos



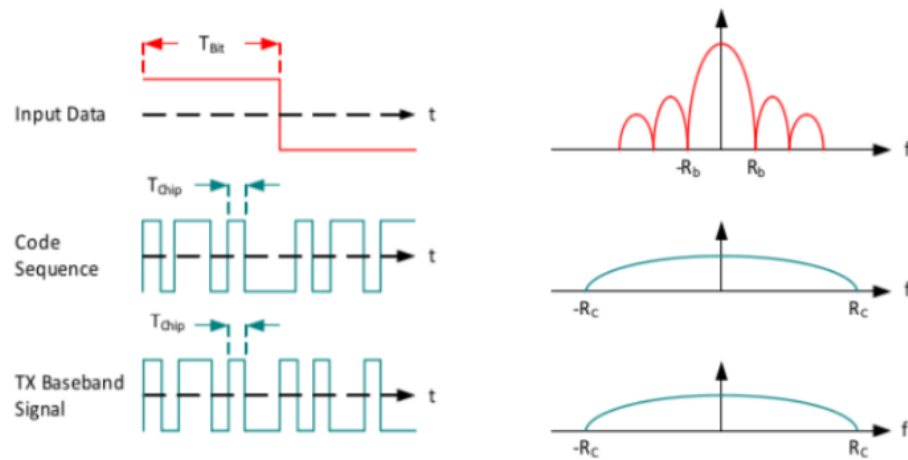
Fuente: (Useche, 2020) - Relación velocidad y distancia transmisión de datos.

A continuación, se muestra una breve descripción de algunas de las modulaciones utilizadas como base para las modulaciones utilizadas por el módulo LORA

- La modulación DSSS: se define como el esquema de modulación más utilizado en espectro ensanchado y se basa en una secuencia de código que debe incluir tanto al transmisor como al receptor (Solera, 2018). Es una operación, donde la señal lleva el mensaje. El portador obtiene la señal modulada y evita los tipos de interferencia que pueden experimentar los usuarios que desean interceptar el mensaje.

Figura 12.

Modulaciones DSSS



Fuente: Solera (2018) - Modulaciones DSSS

- Modulación CHIRP: esta requiere poca potencia para transmitir datos y es robusto contra fuentes de ruido.
- Modulación CSS: LORA usa modulación CSS, usando una onda sinusoidal de frecuencia modulada de banda ancha que aumenta o disminuye con el tiempo (Solera, 2018).

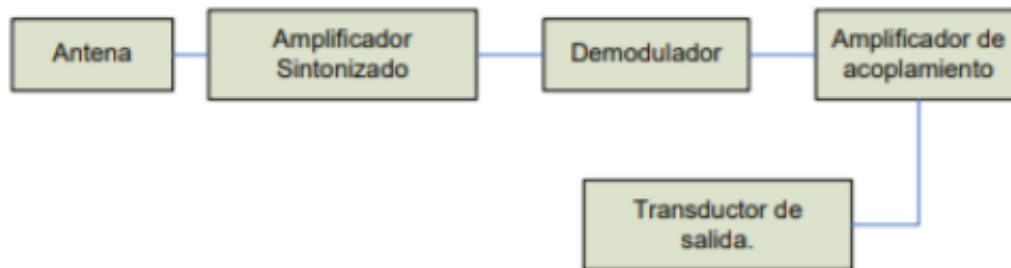
Este tipo de modulación es comercializado por LORA, que se utiliza desde en aplicaciones que requieren bajos caudales. (Solera, 2018)

2.4.3 Receptor

Los receptores, juegan un papel vital en la transmisión de datos porque recibe la señal transmitida desde el transmisor a través de la antena y demodula la señal. En la Figura 11 se puede ver un gráfico que muestra el desempeño del receptor al transmitir datos (Rivas B. , 2013).

Figura 13.

Proceso del receptor en la transmisión de datos



Fuente: Zapata y Rodriguez (2020). Adaptado de Bravo, 2010 - Proceso del receptor en la transmisión de datos.

Hay cuatro modos de transmisión de datos.

- **La transmisión asíncrona:** Se basa en el hecho de que el tiempo de transferencia de datos está determinado por cómo se transmite la cadena de caracteres. Incluye el primer carácter, que identifica el punto de inicio de la cadena. Y finalmente, hay un carácter que da el final de la cadena. Lo que da como resultado el juego de caracteres que determina la sincronización de tiempos e identifica los datos transmitidos por el receptor (Bravo, 2010).
- **La transmisión síncrona:** Limita la velocidad de transmisión de datos y reconoce la ruta a través de la cual se transmite la señal entre el transmisor y el receptor; y los datos se transmiten antes de transmitir todos los bits que transportan la información (Bravo, 2010).
- **La transmisión en serie:** Los bits posteriores pasan por el mismo canal de transmisión uno tras otro. Entre los inconvenientes notables, está el tiempo de transmisión, asociado con la transferencia de los bits de información entre el

transmisor y el receptor. Eso significa más distancia entre transmisores. Entonces se tarda mucho en que la información llegue a su destino

- **La Transmisión en paralelo:** Es más rápida que la transmisión en serie porque la secuencia de bits se transmite a través de múltiples canales (Bravo, 2010).

La Tabla 2 muestra, bandas de frecuencias de comunicación estandarizadas en todo el mundo. Este proyecto utilizará la banda UHF para las frecuencias utilizadas por el módulo de comunicación.

Tabla 2.

Bandas de frecuencia en comunicaciones

Nombre	Frecuencia y Longitud de onda utilizada	Alcance	Tipo de señal, modulación utilizada y aplicaciones
VLF	3-30KHz / 10 – 100km	Global	Radiotelegrafía (ASK), Difusión global
LF	30-300KHz / 1-10km	1000-3000km	Radiodifusión de audio AM, telefonía Naval
MF	0.3-3MHz / 100m-1km	300-1000km	Radiodifusión de audio AM
HF	3-30MHz / 10-100m	100-300km	Radiodifusión de audio AM, BLU por ionosfera
VHF	30-300MHz / 1-10m	30-100km	Radiodifusión, Audio FM y TV, comunicación punto a punto.
UHF	300MHz-3GHz / 10cm-1m	30-100km	Difusión TV, Radioenlaces fijos y por satélite, telefonía móvil.
SHF	3-30GHz / 1-10cm	30-100km	Enlaces fijos y por satélite, distribución TV por satélite, Radar.
Milimétricas	30-300GHz / 1-10mm	10-30km	Sistemas militares, radiotelescopios, enlaces por satélites y entre satélites.
Sub- Milimétricas Infrarrojo lejano	300GHz-3THz / 0.1-1mm	<10km	Experimental.
Infrarrojo	3THz-300THz / 1-100µm	<10km	Comunicaciones de banda ancha por fibra óptica o laser.

Fuente: Adaptado de (Zapata y Rodriguez, 2020).

La potencia radiada está determinada por la potencia suministrada por el transmisor cuando se envía los datos al receptor. Aquí es donde se determina la potencia del vector, que es el promedio de la potencia no modulada. La potencia se obtiene promediando la potencia consumida por el transmisor en un momento dado. La potencia radiante isotrópica equivalente (EIRP) es la densidad de la potencia radiante en una dirección y está dada por la ecuación 1 (Jambrina y Galocha, 2010).

$$EIRP (dBm) = Prad(dBm) + G_{antena}(dBi) \quad (1)$$

Donde:

- $Prad$ = potencia consumida por el transmisor (dBm).
- G_{antena} = ganancia de la antena del transmisor

Los sistemas utilizados para transmitir datos, como el ZigBee, que es un lenguaje o protocolo de comunicación que permite al comunicarse entre dispositivos compatibles con ZigBee. Por lo general, esto funciona con redes de estilo WPAN, y cuando se usa, la cobertura es de 10 a 75 m. Con este tipo de protocolo de comunicación no necesita enviar grandes cantidades de información, la velocidad de transmisión puede llegar a 250 Kbps, y el consumo del dispositivo se realiza a través de la batería, por lo que consume menos la red. La topología utilizada es una malla, lo que facilita la realización de dos o más conexiones en un nodo. Este tipo de módulo es ideal para conexiones punto a punto y multipunto. Una red permite hasta 65.000 nodos, lo que reduce la latencia al enviar datos. Pero, tiene inconvenientes como velocidades de transferencia de datos de alta velocidad., al administra una red inalámbrica estilo WPAN, tiene menos cobertura que otros sistemas. (Gutierrez, 2015).

Los estándar GSM, permiten la transmisión de datos a través de la red utilizada por teléfonos móviles 2G, usando el rango de frecuencia de 900MHz a 1800MHz a una

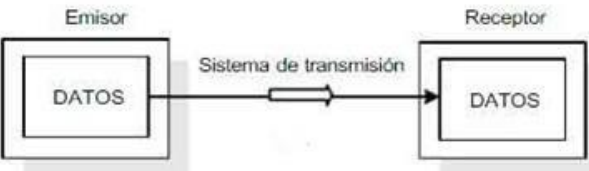
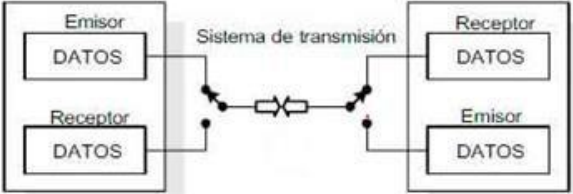
velocidad máxima de datos de 9.6. El sensor para que el flujo de datos transmitido por el sensor cubra menos de su nivel máximo permitido. Este tipo de transmisión tiene un espectro que está en armonía con la amplia cobertura. Esto significa que puede transferir datos fácilmente entre diferentes redes, aunque algunos países operen en diferentes bandas de frecuencia. Sin embargo, el ancho de banda es muchas veces lento, y esta baja velocidad, lo hace susceptible a interferencias al transmitir datos. (Clark, 2018)

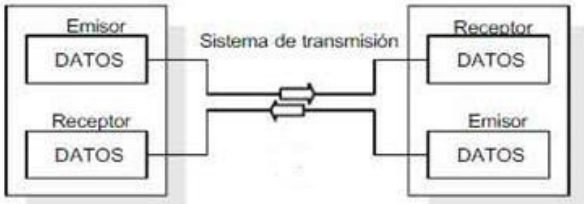
2.4.4 Modos de transmisión de datos

Los sistemas se clasifican según la dirección de transmisión de datos. Esto incluye los modos de transmisión enumerados en la Tabla 3.

Tabla 3.

Modos de transmisión de datos

Modo de transmisión de datos	Proceso
<p>Simplex: Este modo está basado en el envío de datos en un solo sentido, donde solo existe el transmisor y el receptor.</p>	<p><i>Modo de Transmisión Simplex</i></p> 
<p>Half-Duplex: En este modo se permite la transmisión de datos en ambos sentidos de manera alterna, es decir que mientras exista un envío de datos por el canal, no puede existir otro envío hasta que llegue a su destino.</p>	<p><i>Modo de Transmisión Half-Duplex</i></p> 

Modo de transmisión de datos	Proceso
<p>Full-Duplex: En este modo se permite la transmisión de datos en ambos sentidos de forma simultánea, lo que permite más eficiencia en el envío y recepción de datos entre un transmisor y un receptor.</p>	<p><i>Modo de Transmisión Full-Duplex</i></p>  <p>The diagram illustrates the Full-Duplex transmission mode. On the left, there is a box labeled 'Emisor' containing 'DATOS' and a box labeled 'Receptor' containing 'DATOS'. On the right, there is a box labeled 'Receptor' containing 'DATOS' and a box labeled 'Emisor' containing 'DATOS'. A central box labeled 'Sistema de transmisión' is connected to both sides by two separate lines, indicating simultaneous transmission in both directions.</p>

Fuente: (Zapata y Rodriguez, 2020).

2.4.5 Parámetros transmisión de datos

- **Ancho de banda:**

Esta se refiere a la cantidad de datos o información que se pueden transmitir a través de la conexión de red. Cuanto mayor sea el ancho de banda, más rápido será el y más eficiente será la transmisión de información.

- **Atenuación:**

Determinada por la pérdida de la potencia de la fuente de señal. Esto puede verse afectado por el paso del a través del medio de transmisión, lo que puede impedir que el receptor reciba correctamente la información transmitida.

- **Interferencia:**

Hace referencia a la superposición de ondas, en la cual puede haber la interferencia constructiva o destructiva. Si tiene una combinación de dos ondas en fase, con una de las grandes amplitudes, la interferencia es llamada constructiva. En cambio, sí hay una combinación de dos ondas cuya fase no encuentran, entonces la interferencia es destructiva, lo que reduce la amplitud de la onda resultante.

- **Latencia:**

Es el conjunto de retrasos que existen en la red durante la propagación de paquetes o secuencias de datos en la red. (Garbarino, 2011)

- **Espectro radioeléctrico:**

Se define como el medio en el que se transfieren ondas electromagnéticas durante la transmisión de datos en la banda de frecuencia, la cual está regulada por las organizaciones nacionales según la aplicación que esta tenga (MinTIC, 2019).

- **Espectro ensanchado:**

Esta técnica permite enviar señales de radio en el espacio de un espectro de radio previamente definido en un punto, enlaces multipunto, enlaces que pueden apuntar a ciudades o suburbios, donde hay beneficios como reducción de ruido e interferencias. El ancho de banda se sintoniza con la frecuencia especificada, para evitar casos en los que las transmisiones durante este tiempo puedan ser bloqueadas por un usuario desconocido (MinTIC, Espectro ensanchado, 2019).

- **Espectro ensanchado por salto de frecuencia:**

la comunicación de espectro ensanchado por salto de frecuencia utiliza códigos pseudoaleatorios para la distribución del ancho de banda de los datos de transmisión, en rangos mucho más amplios de los datos que requieran. Debido a esta forma pseudoaleatoria de las portadoras seleccionadas para la transmisión, la transmisión debe ocurrir simultáneamente, para recuperar la señal de datos transmitida. Para hacer esto, el receptor debe saber cuándo el transmisor está transmitiendo entre dos puntos.

2.4.6 Indicador de intensidad de la señal de recepción

Es la medida del nivel de potencia de la señal (RSSI) procedente del dispositivo cuando se utiliza la red inalámbrica. La escala para medir son los dbm, donde 0 dbm es

igual a 1 mW. Si el valor es negativo, significa pérdida de señal. Entre, cuanto más negativo es el número, mayor es la pérdida. Para conocer la calidad de la señal recibida por el dispositivo, debe considerar la fuerza de la señal frente al ruido

Las siguientes especificaciones se pueden mostrar en la escala RSSI de acuerdo con Lora.

- Un Valor RSSI mínimo = -120 dBm
- Un valor RSSI identifica señales fuertes y estables = -30 dBm
- Un valor RSSI identifica señales débiles e inestables = -120 dBm

2.4.7 Topologías de red

La Topología de red es la organización que nos permite distribuir física y lógicamente las interconexiones de los nodos en una red informática. Contar con esta topología es importante para poder conocer cómo se transmiten los datos dentro de una red. Existen varios tipos de topología:

- **Topología de estrella:** Mostrada en la Figura 14a. Aquí, los nodos están conectados al nodo central, al servidor, y donde otros nodos no pueden comunicarse entre sí. Algunos de los beneficios que existen en este tipo de topología son su escalabilidad para incrementar el número de equipos, si un equipo cae no afecta la red y es fácil detectar los problemas en la red. Pero también cuenta con desventajas, la principal de ellas es su completo fallo en caso el nodo central falle y esta topología es bastante cara y no apta para grandes instalaciones debido a que requiere comunicación entre cada equipo y el nodo central.

- **Topología de malla:** Mostrada en la Figura 14b, todos los nodos tienen están conectados unos con otros. Por lo tanto, debido a que están interconectados, se pueden realizar transmisiones de datos a cualquier nodo. Lo que ofrece la ventaja de que la

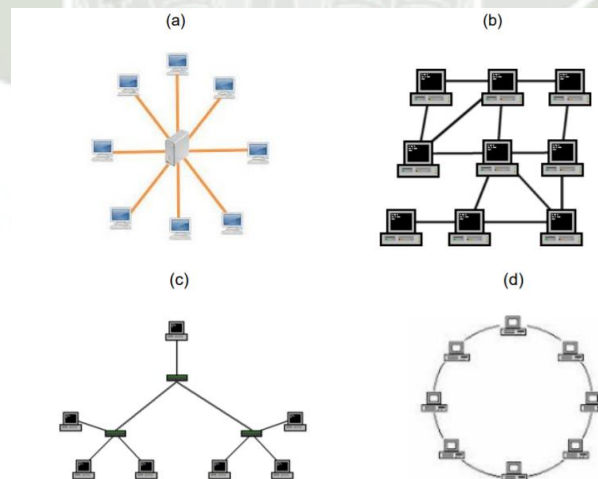
transmisión es ininterrumpida y al menos la red está completamente desconectada. Estas son redes caras porque requieren muchos cables para ensamblarlos.

- **Topología de árbol:** Mostrada en la Figura 14c. El nodo está conectado al nodo central secundario, este nodo con otro nodo central. La ventaja sería que es de fácil expansión de la red, y como el nodo central está equipado con un repetidor que permite la retransmisión de los datos transmitidos. Además, el de dar prioridad al nodo que lleva la información que queremos enviar.

- **Topología de anillo:** Mostrada en la Figura 14d, esta topología en la que cada nodo tiene conexiones entrantes y salientes a otros nodos para la transmisión de datos, su arquitectura es simple y al estar sujeto a posibles colisiones, le permite evitar la pérdida de información.

Figura 14.

Topologías de Red



Fuente: (Molina, 2019) - Topologías de Red

2.4.8 Marco legal

La Tabla 4, define las normativas que regulan todo lo mencionado, para la transmisión de datos e información, las cuales aplican a este proyecto.

Tabla 4

Normas de marco legal

Organización	Norma/Artículo	Descripción
ANE	Numeral 2 del anexo técnico de la resolución 181 de 2019. condiciones técnicas y operativas generales	Según la Resolución 181 en el ámbito para controles, telemandos o telemetría la potencia disipada por el emisor tiene que ser menor a 1 mW. Su aplicación está en la sección de la resolución de bandas de frecuencia de uso libre, puntualmente para telemetría o control remoto en la canalización 433.05 – 434.79 MHz donde se especifica que la P.R.A debe ser máxima de 1 mW.
OMM	Reglamento técnico, Volumen I: Normas meteorológicas de carácter general y prácticas – Artículo 2	En este artículo se encuentran las recomendaciones para sistemas de observación donde se encuentra el mantenimiento del sistema, la calibración de los sistemas e instrumentos, el control de los datos suministrados, entre otros.

Organización	Norma/Artículo	Descripción
OMM	Reglamento técnico, Volumen I: Normas meteorológicas de carácter general y prácticas – Artículo 7. características específicas del sistema de observación hidrológica de la OMM	Donde se define un sistema coordinado de métodos, técnicas e instalaciones que permitirán realizar observaciones hidrológicas a escala, donde las observaciones de los elementos para fines hídricos deberían efectuarse a intervalos regulares y adecuados para tales elementos y fines.
SISTEMA NACIONAL DE NORMALIZACIÓN N, CERTIFICACIÓN Y METROLOGÍA.	DECRETO 2269 DE 1993	Se define y estipula lo que es la normalización técnica, la certificación, la acreditación de laboratorios de prueba y ensayo, siendo puntual en como tener en cuenta la tolerancia, la incertidumbre y otras definiciones que van de la mano con los adecuados procesos de medición a realizar.
NTC-ISO 10012	Artículo 7.- confirmación metrológica y realización de los procesos de medición	Se especifica que la recalibración de la sensórica utilizada para la medición metrológica no es necesaria si el equipo ya se encuentra en un estado de calibración válido, donde se verifiquen las incertidumbres de medición y errores del equipo estén dentro de los límites admisibles dentro de los requisitos metrológicos.

Organización	Norma/Artículo	Descripción
<p>LEY No.1341 del 30 julio 2009 del Ministerio de Tecnologías de información y las comunicaciones (MinTIC)</p>	<p>ARTÍCULO 6.- Definición de tic: Las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (en adelante TIC)</p>	<p>Son el conjunto de recursos, herramientas, equipos, programas informáticos, aplicaciones, redes y medios, que permiten la compilación, procesamiento, almacenamiento, transmisión de información como: voz, datos, texto, vídeo e imágenes.</p>
<p>LEY No.1341 del 30 julio 2009 del Ministerio de Tecnologías de información y las comunicaciones (MinTIC)</p>	<p>ARTÍCULO 9</p>	<p>Se especifica que los productos deben estar diseñados para cumplir la función de tratamiento de la información y la comunicación, incluidas la transmisión y la presentación, y deben utilizar el procesamiento electrónico para detectar, medir y/o registrar fenómenos físicos o para controlar un proceso físico.</p>
<p>LEY No.1341 del 30 julio 2009 del Ministerio de Tecnologías de información y las comunicaciones (MinTIC)</p>	<p>Artículo 11.- acceso al uso del espectro radioeléctrico</p>	<p>En este artículo se definen los permisos de uso del espectro respetando la neutralidad en la tecnología siempre y cuando esté coordinado con las políticas del Ministerio de Comunicaciones. Sin que este genere interferencias sobre otros servicios, sea compatible con las tendencias internacionales del mercado, no afecte la seguridad nacional, y contribuya al desarrollo sostenible.</p>

Fuente: (Zapata y Rodriguez, 2020). Adaptado de (OMM, 2017)

2.5 Plataforma Arduino (hardware)

Esta herramienta, es una plataforma de hardware abierta basada en una sola tarjeta, que cuenta con entradas y salidas (E/S) analógicas y digitales. El microcontrolador Atmegaxx8, es el elemento principal. Este es un chip simple y económico que le permite desarrollar varios proyectos (StoreArduino, s.f.).

HARDWARE

Los componentes del microprocesador ATmega328, son:

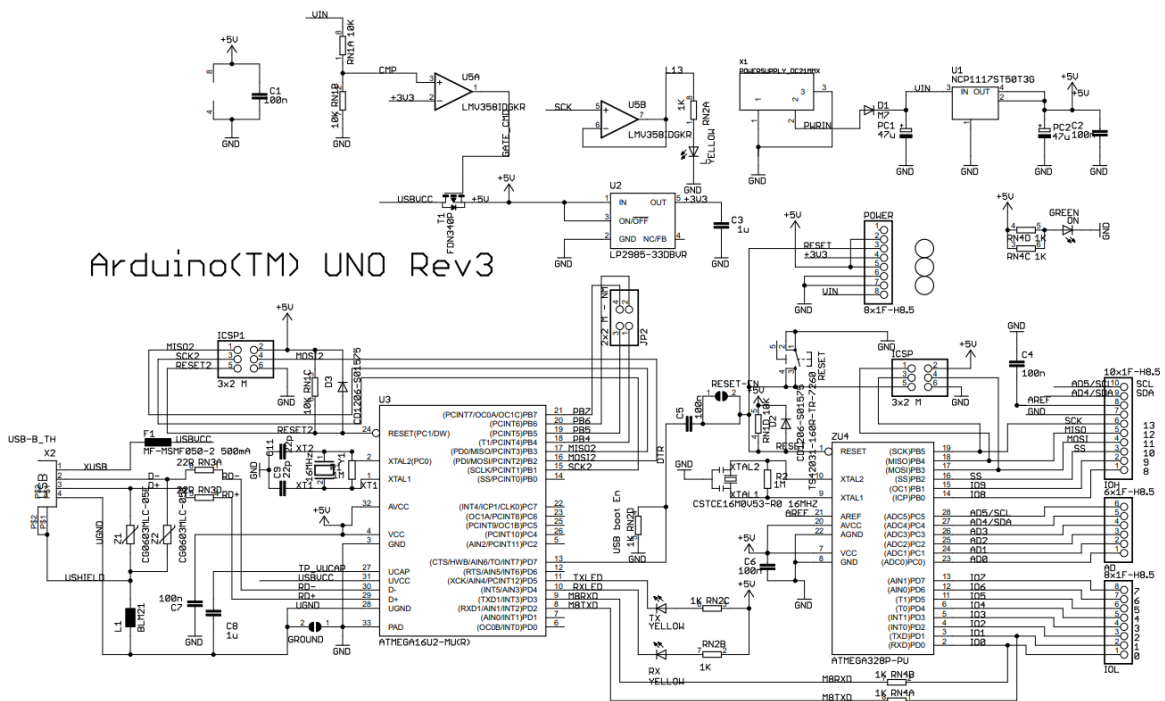
- 1 kbyte de memoria RAM
- 16 MHz • Entradas y salidas
- 32 kbytes de memoria Flash
- 6 pins para salidas analógicas (salidas PWM)
- 13 pins para entradas/salidas digitales (programables)
- 5 pins para entradas analógicas
- Completamente autónomo: Una vez programado no necesita estar conectado al PC

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

- Voltaje de operación 5V
- Velocidad de reloj 16 MHz
- Entradas analógicas Pins 6
- Voltaje de entrada (limite) 6-20 V
- Digital I/O Pins 14 (con 6 salidas PWM)
- DC corriente 3.3V Pin 50 mA

- DC corriente I/O Pin 40 mA
- Memoria Flash 32 KB (2 KB para el bootloader)
- SRAM 1 KB
- Microcontrolador ATmega328
- EEPROM 512 byte
- Voltaje de entrada (recomendado) 7-12 V

Figura 15.
Esquema de tarjeta Arduino



Fuente: StoreArduino (s.f.) - Esquema de tarjeta Arduino

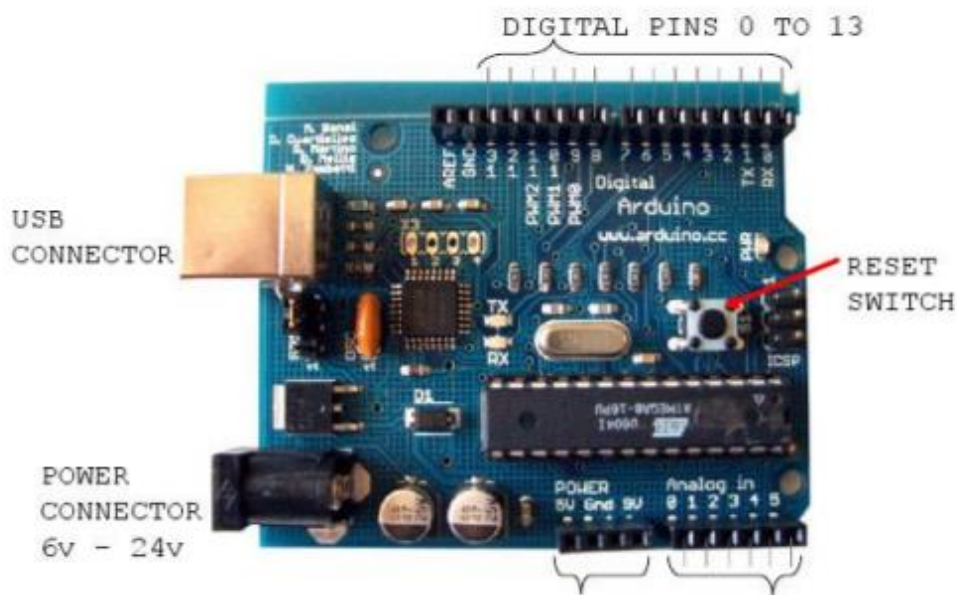
La entrada analógica es de 10 bits, por lo que proporciona valores de 0 a 1023. El rango de voltaje suministrado es de 0 a 5 voltios, pero puede cambiar este rango a un valor que queramos usando el pin AREF.

2.5.1 Tarjeta ARDUINO

La placa Arduino tiene 13 entradas / salidas digitales para interacción con el usuario, de las cuales 6 entradas analógicas, y 1 puerto serie para comunicación con el dispositivo externo, también incluye puerto serie (conexión USB). Al observar la figura, se puede ver que las posiciones de las entradas analógica y digital, son los pines de alimentación. Además, hay un botón para restablecer errores que aparecen en el proceso actual en la placa Arduino.

Figura 16

Placa Arduino



Fuente: StoreArduino (s.f.) - Placa Arduino

2.6 Internet de las cosas IoT

Aquí se describen una serie de redes de objetos físicos, a los cuales se le llama cosas. Entre las que están sensores, softwares y otros; que están conectadas para intercambiar datos con otros dispositivos y sistemas en Internet. Estos dispositivos

pueden ir desde artículos domésticos comunes hasta complejas herramientas industriales. En la actualidad, hay más de 7 000 millones de dispositivos IoT interconectados por el internet. Y los expertos predicen que ese número aumentará a 10 000 millones en 2021 y 22 000 millones en 2025.

2.6.1 Importancia de IoT

En las últimas décadas, el IOT se ha transformado en una de las tecnologías con más importancia de este siglo XXI. Ya que, en la actualidad, gracias a esto es posible conectar cosas cotidianas (utensilios de cocina, automóviles, máquinas, termostatos, monitores, etc). El Internet con dispositivos integrados, permite comunicarnos sin problemas entre personas, procesos y otras cosas.

Mediante la informática de bajo costo, la computación en la nube, big data, análisis y tecnologías móviles, los objetos físicos pueden compartir y recopilar información y data con una casi nula intervención humana. Debido a que, en este mundo tan conectado, los sistemas digitales pueden registrar, monitorear y coordinar todas las interacciones entre objetos conectados.

Los diseños de mundos físicos y digitales basados en IoT, permiten el monitoreo del sistema. Ya que el diseño evalúa continuamente los parámetros críticos de la unidad de producción, en tiempo real, lo que permite la verificación continua de las condiciones, para la toma de decisiones asertivas y maximiza la producción. Estos sistemas dependiendo de para que fueran diseñados, también pueden aportar información sobre la salud física de los trabajadores, o información ambiental general de trabajo.

Lo sistemas IoT requieren tecnologías respaldadas por parámetros respetados del sistema, como el bajo consumo de energía, el tamaño mínimo de los mensajes enviados, la batería de larga duración y el largo alcance de la red. Por ejemplo, Sigfox es una

tecnología que respeta los principios establecidos para este tipo de sistemas y representa importantes ventajas en cuanto a implementación y simplificación del hardware siempre que opere en el área de cobertura en la que opera.

2.6.2 Características de un Sistema IoT:

Las soluciones de tipo IoT difieren de otros tipos de sistemas de información en algunos aspectos. Su particularidad es descrita a continuación.

- **Heterogeneidad:** la gama de dispositivos que componen una solución de IoT es tan amplia y variada que deben interactuar diferentes plataformas de hardware y elementos basados en la red.
- **Dinámica:** Dadas las características de la solución de IoT y el entorno de la aplicación, parámetros específicos del contexto como el número y estado de dispositivos, ubicación, cambio de velocidad móvil, puede cambiar dinámicamente, por lo que el sistema puede adaptarse a estas condiciones cambiantes.
- **Escalabilidad:** la cantidad de dispositivos IoT conectados puede aumentar significativamente con cada implementación de solución, por lo tanto, también aumentar los datos generados, permitiendo una mejor administración de los datos generados, así como su interpretación
- **Conectividad:** En el sistema IoT, todos los “objetos” o “cosas” pueden interconectarse con la infraestructura de telecomunicaciones del mundo. Es decir, deben de tener componentes físicos y lógicos, para que se cree conexiones o comunicaciones con él y otros dispositivos similares, o según sea necesario.

- **Consumo de Potencia:** La administración de energía de los dispositivos que componen un sistema de IoT fue uno de los mayores desafíos de diseño e implementación, ya que fue en todo el entorno en el que se instalaron, se requería que sean más eficientes energéticamente.

2.6.3 Elementos de un sistema IoT

- **Dispositivos de IoT:** estos son los elementos que hacen contacto directo con el mundo físico, recopilan datos objetivos y forman los componentes donde se recopila, procesa y transmite la información. Estos dispositivos están involucrados principalmente en la detección de cantidades de información, y monitorea de variables físicas, la temperatura, la humedad, el brillo, la presión, la proximidad, los niveles y otras variables.

En los dispositivos IoT, los elementos sensibles generalmente se integran en componentes de hardware más complejos, incluidas fuentes de alimentación, sistemas de transmisión, de recepción de datos, controladores y más. Todos estos se denominan nodos de IoT.

- **Red de comunicación:** configura la infraestructura, el medio por el cual se transfiere la información obtenida de cada objeto o cosas interconectadas. Suelen ser conexiones inalámbricas que tiene en cuenta el contexto en el que se ha implementado el sistema IoT. Las conexiones de cables están hechas para dispositivos muy especializados.
- **Nube:** forma una colección de servidores remotos alojados en el centro de datos para consolidar y almacenar información proveniente de sensores. Estos datos

pueden ser muy grandes, almacenados, procesados y visualizados en la nube, según la naturaleza del sistema y las necesidades de la solución.

2.6.4 Tecnologías IoT

Existen varias tecnologías inalámbricas que tienen varios tipos de cobertura. El proyecto requiere las siguientes tecnologías: Como una red geográfica de baja potencia conocida como LPWAN, el cual es diseñada para la comunicación de dispositivos de baja velocidad. Los predecesores de este tipo de tecnología son Sigfox, LoRaWAN y NBIoT.

Las redes LPWAN proporcionan

Las redes LPWAN brindan una excelente cobertura, tanto en áreas urbanas, rurales y remotas. Este rango puede ser de 5 a 40 km, el tiempo de uso de la estación puede ser de 10 años y admite varios dispositivos. La siguiente información que revisaremos, es una descripción general de los protocolos LPWAN como Sigfox, LoRaWAN y NBIoT [7].

Sigfox opera y comercializa una solución

Sigfox, al ser dueño de algunos sistemas IoT. Tiene presencia en solo 31 países en colaboración con varios operadores en cada país. El mensaje no se reconoce y cada dispositivo envía el mensaje 3 veces en diferentes canales de frecuencia, pero la estación base recibe el mensaje al mismo tiempo. El dispositivo final puede elegir un canal aleatorio durante la transmisión, lo que reduce la complejidad y el costo.

LoRaWAN

LoRaWAN es una tecnología que fue desarrollada por Semtech para la modulación en la banda ISM SubGhz y proporciona comunicación bidireccional impulsada por Spread Spectrum Modulation (CSS). Cada mensaje enviado por el terminal es recibido por la estación base y requiere varias estaciones base, aumentando el costo de

la solución. LoRaWAN puede encontrar el terminal al recibir el mismo mensaje del terminal.

NB-IoT

El NB-IoT es una tecnología 3GPP que utiliza modulación QPSK, donde el acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA) es usado en el enlace ascendente y FDMA ortogonal en el enlace descendente. NB-IoT puede coexistir con GSM y LTE en modos de operación independiente, para lo cual usa frecuencias GSM, operación de banda de guarda usando recursos no utilizados en la banda de guarda LTE y operación dentro de banda. Por lo que la utilización de recursos en la banda operativa LTE está aumentando.

Tabla 5.

Protocolos para Sigfox, LoRaWAN y NB-IoT

Protocolo	Sigfox	LoRaWAN	NB-IoT
Estándar	Compañía SigFox en colaboración con ETSI en la estandarización	LoRa- Alliance	3GPP
Modulación	BPSK	CSS	QPSK
Frecuencia	Banda 915 Mhz en USA	Banda 915 Mhz en USA	Frecuencia licenciada de LTE
Ancho de banda	100 Hz	250 Khz a 125 Khz	200 Khz
Máxima tasa de datos	100 bps	50 Kbps	200 Kbps
Bidireccional	Limitado / Half- duplex	Si / Half- duplex	Si / Half- duplex
Máximos mensajes al día	140 (UL), 4 (DL),	Ilimitad o	Ilimitado

Máxima longitud de Payload	12 bytes (UL), 8 bytes (DL),	243 bytes	1600 bytes
Rango de cobertura	10 km (urbano), 40 Km (rural)	5 km (urbano), 20 Km (rural)	1 km (urbano), 10 Km (rural)
Inmunidad a interferencia	Muy alto	Muy alto	Bajo
Autenticación y Encriptación	No soportado	Si (AES 128b)	Si (encriptación LTE)
Tasa de datos adaptativa	No	Si	No
Localización	Si (RSSI)	Si (TDOA)	No (bajo especificación)
Permite red privada	No	Si	No

Fuente: Adaptado de (Guaca y López, 2020).

2.7 MQTT

En el IoT, el envío de mensajes entre diferentes dispositivos es muy importante porque los dispositivos de Internet necesitan objetos digitales y dispositivos adicionales para la gestión del sistema. En comparación con el protocolo de sondeo, el protocolo Push es el protocolo de mensajería adecuado para dispositivos IoT porque está construido en una red de banda estrecha. Los protocolos MQTT, XMPP y CoAP se han implementado a través de estos servicios de mensajes push. Estos protocolos se pueden aplicar en muchos casos diferentes. En particular, MQTT se ha utilizado como parte de muchas utilidades de IoT y sistemas de mensajería instantánea porque está diseñado para ejecutarse en máquinas de bajo consumo como un protocolo ligero.

Se espera que el IoT brinde conectividad avanzada para servicios, dispositivos y sistemas que cubren una amplia gama de aplicaciones, protocolos y dominios más allá de

la Asociación de Máquinas (M2M). La simplicidad y el código fuente abierto de MQTT lo hacen adecuado para entornos restringidos como baja potencia, memoria limitada y capacidad informática, y ancho de banda limitado de IoT. Por lo tanto, hablaremos del desarrollo y la importancia de MQTT en el IoT, la arquitectura general de MQTT, las muchas áreas donde se puede utilizar principalmente MQTT, los diversos corredores utilizados en MQTT y sus limitaciones y capacidades, y describe el problema actual. que necesita ser resuelto.

2.7.1 Conceptos básicos de MQTT

Publicar / suscribirse:

En el protocolo MQTT la publicación de mensajes y usuarios que se suscriben a temas que se consideran comúnmente como un modelo de Publicación / Suscripción. El suscriptor se suscribe a topics particulares que se relacionan con ellos y por medio de los cuales reciben todos los mensajes que se publican sobre esos topics. Por otro lado, los clientes pueden publicar mensajes a topics, de tal manera que permitan a todos los suscriptores acceder a mensajes de esos topics.

Topics y suscripciones:

En MQTT Puede haber mensajes de topics que se pueden considerar como mensajes subjetivos, para el usuario. Por lo tanto, suscríbese a topics para recibir mensajes específicos. Las suscripciones de temas pueden ser expresas, lo que restringe los datos que se recopilan al topic en particular. Los topics contienen dos niveles de comodines, para obtener datos para una variedad de temas relacionados.

Niveles de calidad de servicio:

Este protocolo describe niveles de calidad de servicio (QoS) que son un trato entre dos partes de un mensaje con respecto a la garantía de distribución de datos. Admite tres niveles de calidad de servicios que se describen a continuación.

- a) QoS0 (At most once): en estos niveles de calidad de servicio, el mensaje se envía como máximo una vez y no garantiza la entrega de un mensaje.
- b) QoS1 (At least once): En estos niveles de calidad de servicio, los datos se envían al menos una vez y es posible entregar un mensaje más de una vez configurando el valor de la bandera de duplicado en 1.
- c) QoS2 (Exactly once): en estos niveles de calidad de servicio, el mensaje se envía exactamente una vez mediante el protocolo de enlace de 4 vías. La selección del nivel de QoS depende del sistema, como si un sistema necesita una entrega de datos constante, adapta QoS2 para la transmisión de datos incluso si hay un retraso de tiempo.

Mensajes retenidos:

En MQTT, los mensajes se retienen en el corredor después de distribuirlo a todos los clientes presentes. En el momento en que se obtiene otra membresía para el mismo tema, los mensajes retenidos de esos temas se transmiten al nuevo cliente.

Sesiones limpias y conexiones confiables:

en el punto cuando un suscriptor se asocia con el corredor, la asociación de sesión limpia se considera permanente, si su valor es falso. En esta tarea, los mensajes consecutivos que salen transportando una asignación de QoS más alta se reservan para su entrega cuando se reanuda la asociación. El uso de estas banderas es opcional.

2.7.2 *Arquitectura de MQTT*

La arquitectura típica de MQTT se puede dividir en dos componentes principales, como se muestra en la figura 17. Cada componente se describe brevemente a continuación.

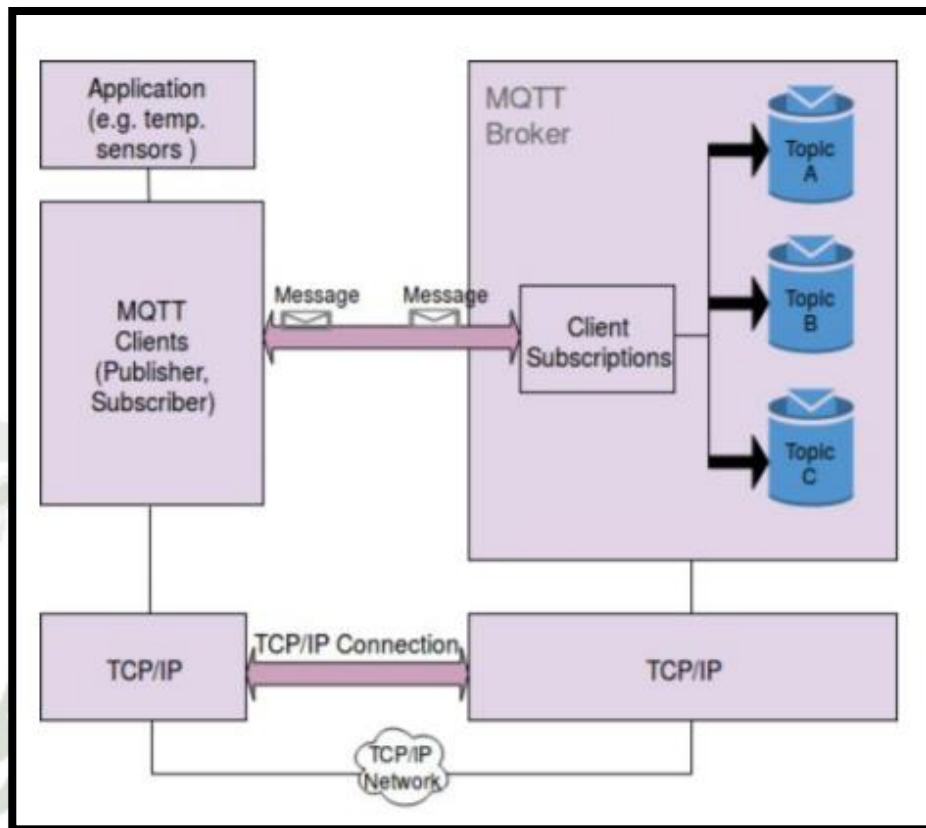
Cliente:

El cliente puede ser un publicador o un suscriptor y siempre establece la conexión de red al servidor (corredor). Puede hacer las siguientes cosas:

- Publicar mensajes para los usuarios interesados.
- Suscríbete en el asunto interesado para recibir mensajes.
- Darse de baja para extraer de los temas suscritos.
- Separarse del Broker.

Figura 17.

Arquitectura de MQTT



Fuente: Soni y Makwana (2017)- Arquitectura de MQTT

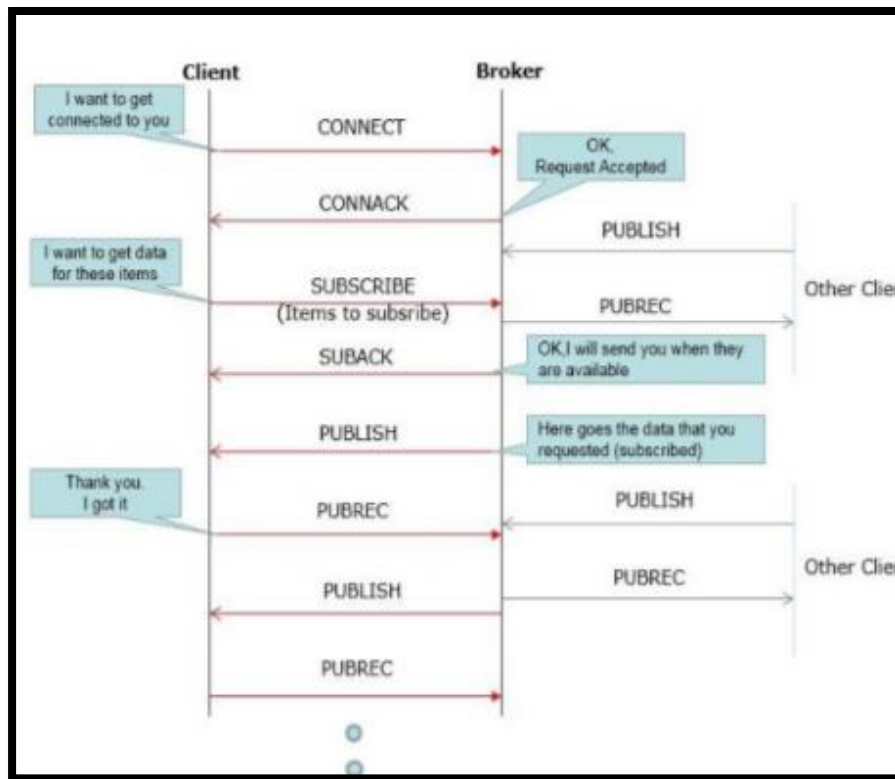
Broker:

Broker controla la distribución de la información y es el principal responsable de recibir todos los mensajes del editor, filtrarlos, decidir quién está interesado y luego enviar los mensajes a todos los clientes suscritos. Puede hacer las siguientes cosas:

- Aceptar solicitudes de clientes.
- Recibe mensajes publicados por los usuarios.
- Procesa diferentes solicitudes como Suscribirse y Darse de baja de los usuarios.
- Después de recibir mensajes del editor lo envía a los Usuarios interesados.

Figura 18.

Interacción cliente Broker



Fuente: Soni y Makwana (2017) - Interacción cliente Broker

2.7.3 *Dónde usar MQTT*

Los entornos restringidos, como los dispositivos integrados que tienen una capacidad de procesamiento limitada o los dispositivos que están conectados a una red inestable, son los más adecuados para el protocolo MQTT. MQTT se está utilizando en muchas situaciones que se describen a continuación.

Energía y utilidades:

Una organización de servicios se enfrentó a gastos crecientes para entregar energía con un interés creciente por la electricidad por parte de su cliente raíz, que normalmente no podía gastar cantidades cada vez mayores. Por lo tanto, en lugar de realizar rápidamente cargos de generación que sus clientes posiblemente no podrían

gastar, la organización primero buscó una respuesta para la disminución de la solicitud general de energía colocando medidores inteligentes en los apartamentos de los clientes para administrar de forma remota la aplicación de un dispositivo de absorción de energía definido.

En cualquier caso, el arreglo esperaba minimizar la utilización de la red de información accesible, para lo cual la organización pagaba según la cantidad de información transferida. Making of Virtual Power Plant (VPP) fue el acuerdo que se estableció entre los orígenes de producción de la organización y sus clientes. Los medidores inteligentes recopilan información sobre el uso de los diferentes dispositivos que se utilizan en el apartamento.

En ese momento, la puerta de enlace del apartamento examina, con un cliente MQTT progresado, distribuye la información de utilización al VPP en un intervalo normal a lo largo de la disposición del teléfono celular cercano.

Redes sociales:

Una organización de comunicación interpersonal de largo alcance experimentó problemas de latencia durante la transferencia de información. La estrategia que utilizó la organización para entregar los datos era estable, pero requería mucho tiempo, y si seguía utilizando un mecanismo similar, las soluciones estaban restringidas. Se requería otra estructura para una asociación constante entre los servidores que carecen de absorber más energía de la batería, que es básica para los clientes del sitio de comunicación cívica de la organización.

2.7.4 Brokers de MQTT

El corredor MQTT es el corazón de cada acuerdo MQTT. Proporciona un enlace de conexión entre aplicaciones o dispositivos físicos y sistemas empresariales. Los

corredores están a cargo de la suscripción, determinadas sesiones, mensajes perdidos y seguridad general, incluida la autenticación y autorización. La siguiente tabla describe los corredores más utilizados con sus características y limitaciones.

Tabla 6.

Brokers con características y limitaciones

Broker	About	Features	Limitations
Mosquitto	It supports MQTT version 3.1 and it is an open source.	<ul style="list-style-type: none"> - All QoS - Authentication - Bridge - Dynamic topics - Web sockets 	<ul style="list-style-type: none"> - Clustering - Fewer Configuration - Not allow simultaneous connection with using authentication
RSMB (Really small message broker)	It is a tiny broker which supports V3 and V3.1.	<ul style="list-style-type: none"> - All QoS - Bridge - Dynamic topics 	<ul style="list-style-type: none"> - Security - Web sockets - Cluster
MQTT.js	It is an MQTT broker among client/server API production recorded in JavaScript.	<ul style="list-style-type: none"> - All QoS - Dynamic topics - Web sockets - SSL 	<ul style="list-style-type: none"> - Bridge - Authentification - Cluster
HiveMQ	HiveMQ empowers organization to attach all devices and services with nominal effort by victimization the de-facto	<ul style="list-style-type: none"> - All QoS - Bridge - Dynamic topics - Web sockets - TLS/SSL - Cluster 	<ul style="list-style-type: none"> - Open Standard - Performance degradation because of TLS

Broker	About	Features	Limitations
VerneMQ	VerneMQ could be a superior, distributed MQTT message broker supports MQTT version 3.1 and 3.1.1	<ul style="list-style-type: none"> - All QoS - Bridge - Authentication - Dynamic topics - Web sockets - Encryption 	<ul style="list-style-type: none"> - Performance degradation because of TLS

Fuente: (Soni y Makwana, 2017)

2.7.5 *Inconvenientes en MQTT*

Caducidad del mensaje:

Ahora mismo en MQTT no hay vencimiento del mensaje, por lo que en caso de que coloque un mensaje en un corredor y luego se olvide de recopilarlo o nadie vaya a recogerlo, permanecerá allí para siempre. Como resultado, el corredor está sobrecargado de mensajes y degrada el rendimiento general.

Seguridad:

El protocolo MQTT proporciona nombre de usuario y la contraseña para la autenticación y varias implementaciones de intermediarios agregan un mecanismo diferente además de eso. Entonces, la seguridad en MQTT depende del caso de uso y la selección del corredor. La mayoría de los corredores brindan seguridad basada en TLS, pero TLS afecta el rendimiento de manera significativa, especialmente el uso de la CPU durante el protocolo de enlace.

Ordenes:

los desafíos clave para un dato confiable. La organización de transmisión en el entorno de IoT está ordenando mensajes y reenviando mensajes que se perdieron durante

la transmisión. MQTT proporciona una entrega garantizada de mensajes, pero mantener el orden de los mensajes en MQTT es una tarea desafiante.

Prioridad:

MQTT no admite una función llamada prioridad de los mensajes. Si algún sistema tiene datos más importantes, debe estar inmediatamente disponible para todos los suscriptores, por ejemplo, los datos que se recopilan del sistema de alarma contra incendios son más importantes que los datos del sensor de temperatura o presión, por lo que deben estar disponibles primero para todos los receptores. Entonces, para esa prioridad de mensajes, se requiere enviar datos en orden.

2.8 PLATAFORMAS IOT

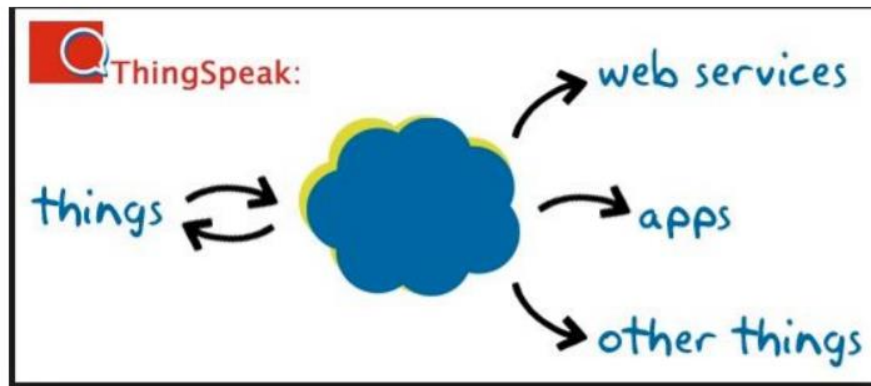
2.8.1 *ThingSpeak*

ThingSpeak es una plataforma de aplicaciones abierta diseñada para permitir que las personas se conecten con las cosas. Tiene una plataforma de código abierto con API para almacenar y recuperar datos de objetos usando HTTP a través de Internet o LAN (Red de área local).

Asimismo, es una plataforma que se basa en Ruby on Rails 3.0 (RoR), un framework de aplicaciones web de código abierto basado en Ruby, y su arquitectura está basada en Model View Controller (MVC). Se caracteriza por la simplicidad de programación de una aplicación real, la pequeña cantidad de código para escribir y la estructura mucho más simple que otros frameworks. Otra característica que hace de RoR el marco ideal para el desarrollo de aplicaciones es la capacidad de utilizar programación implícita para hacer que la sintaxis sea más legible y llegar a un gran número de usuarios.

Figura 19.

Interacción de la plataforma ThingSpeak



Fuente: Loureiro (2015) - Interacción de la plataforma ThingSpeak

Características principales

Se destaca algunos puntos importantes de cada plataforma, como API, aplicaciones (si corresponde), integraciones y hardware.

- **API**

Un dato importante en el proceso de desarrollo de un proyecto, es tener una API; que está fácilmente disponible para que los desarrolladores tengan los mecanismos que necesitan para desarrollar sus aplicaciones. En este caso, la API que se puede descargar al servidor de ThigSpeak está disponible en GitHub. Al ser completamente abierto, incluso el código fuente original se puede modificar para contribuir a las nuevas características de la comunidad que son el principio básico de la plataforma de código abierto.

- **Canales**

La forma en que estas plataformas almacenan y publican datos es a través de canales. Es muy fácil de crear, con solo unos pocos clics y una gran cantidad de datos

para ingresar, sin mayores complicaciones. Una vez más, cuando te sumerjas en la plataforma, encontrarás que tu objetivo es ponértelo más fácil.

- Plugins

También puede desarrollar complementos para ampliar la funcionalidad de su sitio. Estos le permiten crear aplicaciones de forma genuina en la plataforma ThingSpeak. Es compatible con HTML, CSS y JavaScript como lenguajes de programación. Al igual que los canales, los complementos pueden ser públicos o privados según sus necesidades. Finalmente, tenga en cuenta que ofrece la posibilidad de utilizar la visualización de indicadores de Google. Esto permite una visualización de datos rápida y fácil de usar con un alto grado de personalización.

- Integración

En la Integración, uno de los puntos fuertes de cualquier plataforma de IoT es su capacidad para integrarse ampliamente con una amplia variedad de dispositivos de hardware y software. En este caso, ThingSpeak le permite integrar su plataforma con:

- Arduino
- Análisis de datos con MATLAB
- Electric Imp
- IoBridge / RealTime.io
- Móviles / Aplicaciones web
- Redes Sociales
- Raspberry Pi

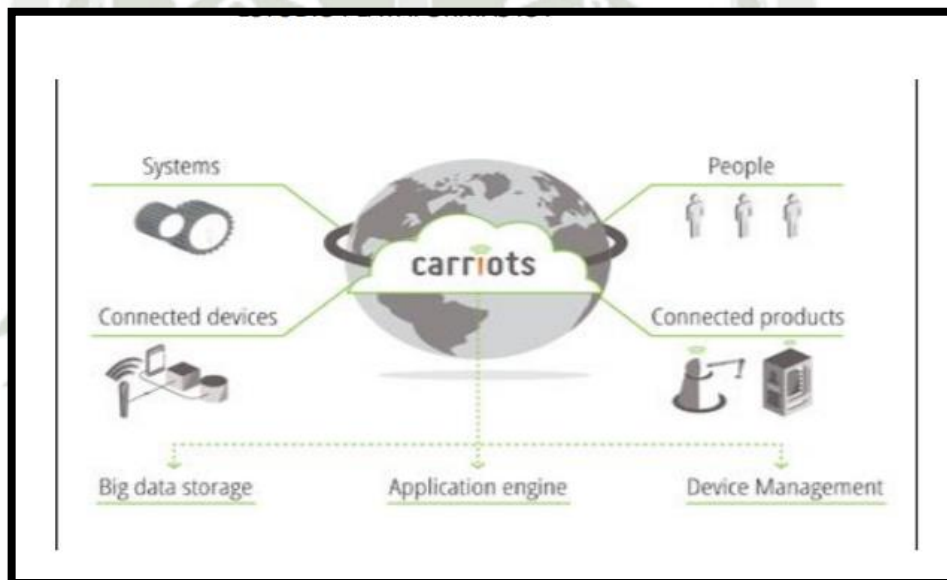
2.8.2 *Carriots*

Este es una plataforma en la nube, que proporciona servicios PaaS para proyectos IoT y Machine to Machine (M2M). Carriots es una empresa PaaS, no una plataforma de

código abierto como comenté anteriormente. Aún puede registrar y registrar hasta 10 dispositivos de forma totalmente gratuita, pero existen otras limitaciones funcionales. Para registrar diez dispositivos o más y utilizar todas las funcionalidades que ofrece la plataforma sin restricciones, es necesario pagar una tarifa, pero el precio no es desorbitado, son 2 euros por dispositivo complementario.

Figura 20.

Plataforma Carriots



Fuente: Loureiro (2015) - Plataforma Carriots

Características Principales

Como se mencionó anteriormente, Carriots es una plataforma única, sobre todo muy completa y que se destaca por su excelente compatibilidad de hardware integrado. Funciona muy bien con aplicaciones de terceros, equipadas con una API ya implementada. A continuación, se detallan sus puntos más importantes.

- API

Carriots proporciona una única API basada en REST (descargable desde Github) que permite una comunicación con la plataforma para facilitar la gestión de datos. REST se caracteriza por tener recursos accesibles mediante identificadores globales. Para manejar estos recursos, la comunicación de red utiliza el estándar HTTP. Cuando se trata de los mecanismos de seguridad de la API REST, se destaca el uso de API clave, hay tokens que reemplazan la ruta de usuario tradicional. La suma de comprobación es un hash de clave de datos con una clave simétrica y finalmente el conocido HTTPS.

- Integración

El punto que podría decirse que es importante para este tipo de plataforma es evaluar la capacidad de integración con sistemas externos. En nuestro caso, la plataforma Carriots proporciona esta integración con API REST, datos PUSH y sistemas externos a través de HTTP / so solicitudes de socket. Estos mecanismos le permiten integrarse con bases de datos, ERP, CRM, almacenes de datos y más. Carriots proporcionó un mecanismo de integración accesible desde el SDK. La lista de mecanismos incorporados son DropBox, Twitter, Mailing, International SMS y Socket.

- Hardware

En esta sección, los proveedores de servicios proporcionan un gran catálogo de hardware compatible. Lo cierto es que es muy completo y puede soportar casi todo tipo de hardware del mercado.

- Arduino
- Electric IMP

- Cubie Board
- Raspberry Pi
- Fez Cerbuino
- TST Mote
- TST Gate
- Beagle Bone
- CloudGate
- Nanode
- TST Light

2.8.3 *Thinking Things*

Esta apuesta de Telefónica por Internet, fue una plataforma completamente nueva durante muchos meses. Ha existido durante mucho tiempo y todavía está en versión beta de muchas maneras. Parece apropiado comentar sobre esta plataforma. Lo más importante en muchos sentidos es la simplicidad del hardware cuando se trata de ensamblar como si fuera realmente parte de Lego. El segundo aspecto es que la conectividad promueve claramente experiencias de comunicación olvidadas. Apostar por redes WiFi y GSM es una gran ventaja, ya que le permite conectarse en todo el mundo.

Como es la única plataforma de sensores nueva en el mercado, la gama de aplicaciones es muy limitada, pero su simplicidad y asequibilidad (alrededor de \$ 99) la convierten en una buena opción para comenzar en este mundo. Sin embargo, esta es una plataforma a considerar, especialmente en el próximo lanzamiento de Thinking Things Open, una nueva placa industrial compatible con Arduino, lo que promete mucho potencial.

Características principales

Esta es una plataforma bastante singular. Se basa en varios módulos de estilo LEGO, que consisten principalmente en baterías, sensores y módulos de conexión GSM. Por supuesto, nos proporciona una plataforma de software con una interfaz muy fácil de usar. Gracias a la red celular, la conectividad es nueva en comparación con otras plataformas, y con una tarjeta SIM de teléfono, puede permanecer conectado en casi cualquier parte del mundo.

- API

Esta es una API que se basa en REST, lo que le permite conectar su stack a sus necesidades comerciales e integrarla en su software.

- Hardware

El hardware es muy práctico, por la originalidad, sencillez y facilidad de uso, es por eso que por muchos se da por sentado que esta es una nueva forma de conectar objetos entre sí. Son varios bloques de plástico conectados como si fueran piezas de Legos

2.8.4 Cayenne IoT Platform

Cayenne es un desarrollador de proyectos de IoT para desarrolladores, diseñadores, ingenieros o estudiantes y se puede utilizar en diferentes aplicaciones de IoT. Hace que el proceso de desarrollo de IoT sea más fácil y rápido. Tiene aplicaciones web basadas en la nube, así como aplicaciones móviles para dispositivos Android e IOS. Tanto la web como las aplicaciones móviles tienen una interfaz gráfica de usuario principal llamada tablero (Dibaba, 2018).

La plataforma Cayenne IoT fue creada por una empresa de soluciones de IoT llamada myDevices. myDevices fue fundada en 2013 por Kevin Bromer, quien también había sido el director ejecutivo de la empresa. La plataforma Cayenne se puede utilizar

para conectar diferentes tipos de sensores, luces, motores, válvulas, relés y actuadores genéricos. También es compatible con los dispositivos Raspberry pi, Arduino, ESP8266, LoRa y otras placas de desarrollo.

Para esta tesis específica, la raspberry pi se conectó a la plataforma Cayenne IoT. Se conectó un sensor de temperatura y humedad (DHT11) al raspberry pi y se usó para monitorear y controlar la temperatura y la humedad del aire. Es necesario instalar raspbian o cualquier otro sistema operativo basado en Linux antes de comenzar la instalación de Cayenne en la raspberry pi. Las instalaciones de Cayenne se realizan en 4 pasos (Dibaba, 2018):

1. Instalación de bibliotecas
2. Agente de instalación
3. Instalación de software
4. Instalación de controladores

Una vez realizada la instalación, aparecerá automáticamente el panel de Cayenne Online, que muestra información sobre el modelo raspberry pi, el sistema operativo, la CPU, la RAM y el nivel de uso del disco. Una vez que los sensores están conectados a la raspberry pi y la raspberry pi está conectada a la plataforma en la nube Cayenne, se pueden crear reglas avanzadas en el tablero. Estas reglas pueden referirse a lo que se debe realizar cuando se alcanza un cierto nivel de lectura. Un ejemplo simple puede ser ON un ventilador una vez que la lectura de la temperatura ambiente alcanza un cierto nivel.

El motor de notificaciones puede enviar notificaciones a través de mensajes de texto o correo electrónico. Las reglas para la notificación se pueden configurar desde el panel de control según sea necesario. La programación de eventos se puede utilizar para realizar ciertas acciones durante ciertos intervalos de tiempo sin la necesidad de una

acción externa. La nube Cayenne IoT utiliza la API Cayenne MQTT para conectar dispositivos. Este protocolo ligero permite una transferencia de datos sin problemas. MQTT está diseñado especialmente para aplicaciones de IoT donde existe una limitación de recursos informáticos, energía de la batería y ancho de banda.

La nube Cayenne actúa como intermediario y gestiona los diferentes sensores y actuadores (editores). las aplicaciones que se ejecutan en la nube actúan como suscriptores que recibirán datos sobre los eventos a los que se suscribieron. Los dispositivos cliente utilizados en esta tesis interactúan con el broker MQTT (Cayenne cloud) mediante el proyecto Eclipse Paho. El proyecto Eclipse Paho ofrece clientes MQTT de código abierto para C, C++, Python, Java, JavaScript, Go y C#. Viene incluido con las bibliotecas Cayenne, lo que facilita su uso para esta aplicación.

Al establecer la conexión MQTT entre los dispositivos y la nube Cayenne, las credenciales MQTT; Se utilizan el nombre de usuario de MQTT, la contraseña de MQTT y el ID de cliente. Los valores para cada credencial deben incluirse en el código (Python en este caso) en la raspberry pi. Cuando el programa con los parámetros MQTT se compila y se ejecuta en la raspberry pi, se establece una conexión MQTT y comienza la transferencia de datos. Cuando se agregan nuevos dispositivos, estas credenciales MQTT del panel en línea deben usarse nuevamente. Esto asegura que el dispositivo esté conectado a la cuenta correcta. [28] La API de Cayenne Cloud permite la interacción y el desarrollo de aplicaciones utilizando la API RESTful de mydevices IoT. la API REST ofrecida por mydevices utiliza el protocolo OAuth2 que ofrece una mayor seguridad. Para utilizar la API de Cayenne Cloud, es necesario obtener la clave de la aplicación y el secreto de la aplicación después de registrarse en el servicio. Después de usar las credenciales de estas aplicaciones, las aplicaciones personalizadas pueden conectarse a la

API de la nube Cayenne. Cayenne ofrece funciones de autorización y autenticación para garantizar la seguridad de los datos y todas las comunicaciones de transporte están encriptadas mediante terminales TLS / SSL.

2.8.4.1 Cómo funciona Cayenne

Cayenne es el primer constructor de proyectos de IoT de arrastrar y soltar de su tipo que permite a los desarrolladores crear y alojar rápidamente sus proyectos de dispositivos conectados. Cayenne fue diseñado para Internet de las cosas. Puede controlar el hardware de forma remota, puede mostrar datos de sensores, puede almacenar datos, analizar y hacer muchas otras cosas interesantes (Cayenne, s.f.).

Hay varios componentes importantes en la plataforma:

- Cayenne App: configure y controle sus proyectos de IoT con widgets de arrastrar y soltar desde una aplicación.
- Panel de control en línea de Cayenne: use un navegador para configurar y controlar sus proyectos de IoT.
- Cayenne Cloud: responsable del procesamiento y almacenamiento de datos de dispositivos, usuarios y sensores para comandos, acciones, activadores y alertas.
- Cayenne Agent: permite la comunicación con el servidor, el agente y el hardware para implementar comandos, acciones, activadores y alertas entrantes y salientes.

Cada vez que presiona un botón de la aplicación Cayenne o del tablero en línea, viaja a Cayenne Cloud, donde se procesa y encuentra su camino hacia su hardware. Funciona igual en la dirección opuesta. Puede utilizar la aplicación móvil Cayenne o el

panel de control en línea, depende de usted. Cualquier cambio que realice en el hardware desde la aplicación móvil se refleja al visualizar el panel en línea y viceversa.

2.8.4.2 Características:

Conexión mediante Ethernet, Wi-Fi y celular (solo aplicación móvil) Descubra y configure Raspberry Pis en una red (solo Ethernet o Wi-Fi) Panel de control personalizable con widgets de arrastrar y soltar Acceder, reiniciar y apagar de forma remota un Pi Agregar y controlar sensores, actuadores y extensiones conectados a Raspberry Pis Configurar activadores para Pis, sensores y actuadores Configurar y recibir alertas de umbral por correo electrónico y mensajes de texto Monitorear los datos del historial de sensores y dispositivos Probar y configurar de forma remota el hardware usando GPIO ¡Próximamente! Configurar acciones y comandos recurrentes

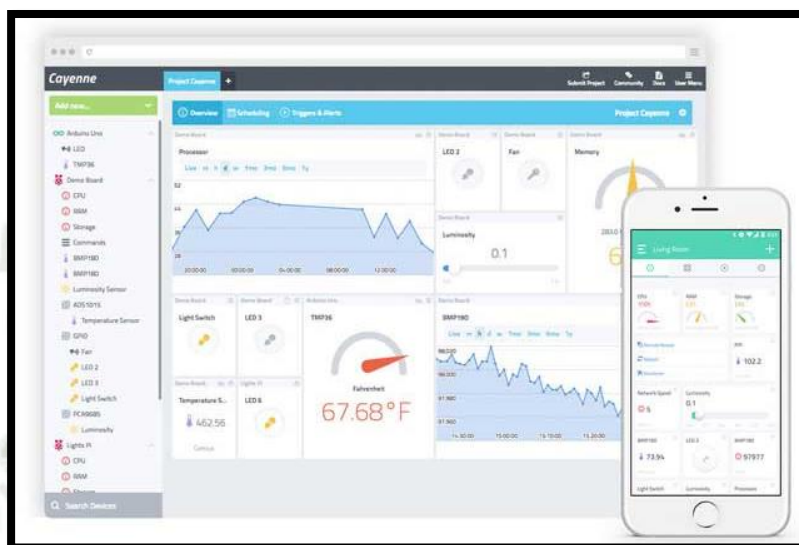
2.8.4.3 Empezando a trabajar

Esta guía lo ayudará a comenzar a usar Cayenne en minutos. Cubriremos rápidamente lo siguiente:

- creando tu cuenta
- Instalación y configuración de Cayenne mediante un terminal
- Configuración de su primer sensor (temperatura)
- Configure su primer actuador (interruptor LED)
- Configurar un disparador

Figura 21.

Interacción de la plataforma Cayenne



Fuente: Valle Hernández (2020) - Interacción de la plataforma Cayenne

CAPÍTULO III

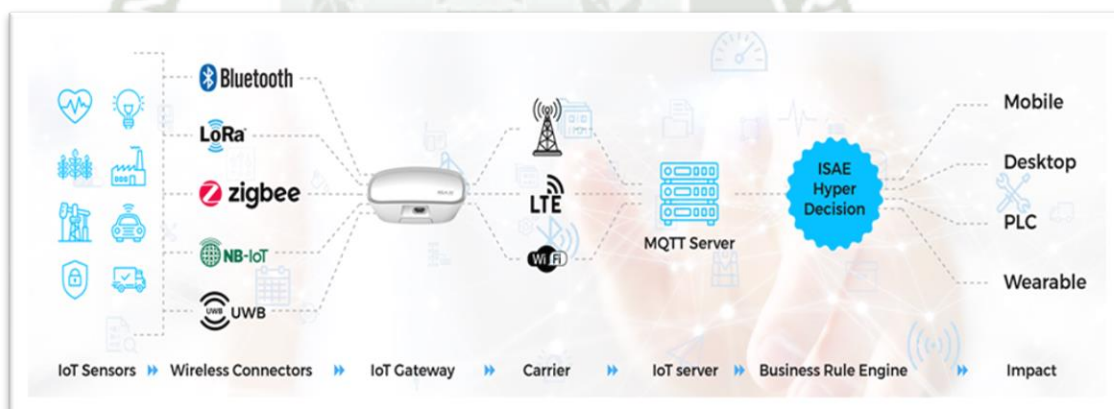
3. DESARROLLO DE INGENIERÍA

3.1 Diseño del sistema

El desarrollo del sistema de comunicación electrónico se basa de acuerdo con la arquitectura de Internet de las Cosas IoT (Figura 22) donde los sensores envían datos mediante red inalámbrica (Bluetooth, LoRa, Zigbee, etc.) al Gateway, y este realiza la conexión al Servidor de base de datos el proceso de toma de decisión y esos datos se envía a un dispositivo electrónico.

Figura 22.

Funcionamiento de IoT de la vida real

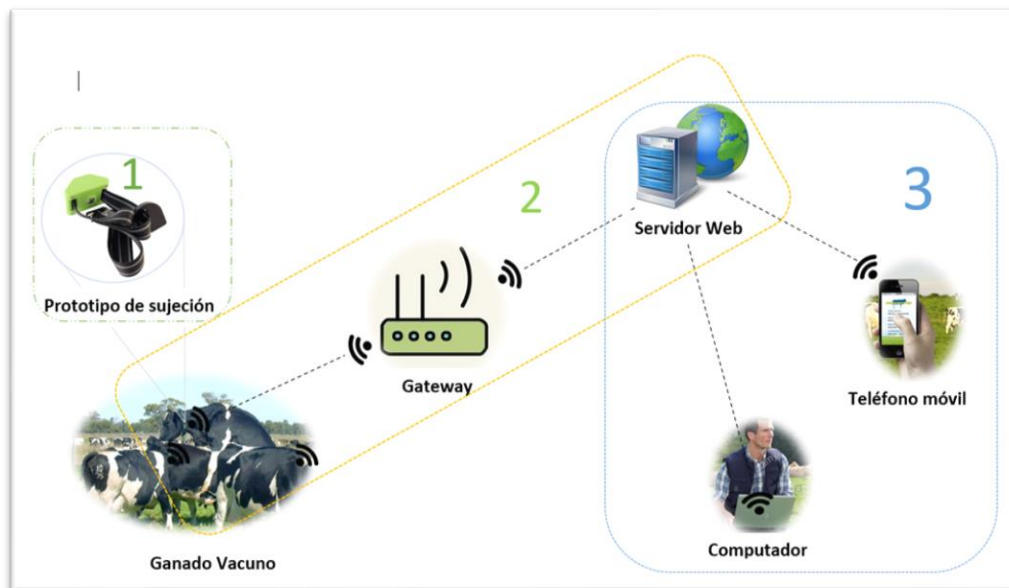


Fuente: What is the Internet of Things (IoT)? (s. f.) - Funcionamiento de IoT de la vida real

Enfocando la aplicación de IoT a este proyecto de detección de celo del ganado vacuno hembra, se priorizará en el diseño y desarrollo de tres partes principales.

Figura 23.

Esquemático de funcionamiento de proyecto.



El primero consta de desarrollar un prototipo de sujeción, que será a base de sensores (temperatura, frecuencia cardiaca, acelerómetro), GPS y módulo de LPWAN de transmisión. Este se comportará como un nodo (collar) con la capacidad de detectar cambios bruscos de temperatura, movimientos y la frecuencia cardiaca de la vaca.

La segunda parte constara de transmitir la información del collar (datos de los sensores y el GPS) usando la red LPWAN (LoRa) hacia el servidor web pasando por el Gateway. La conexión entre el collar y el Gateway será por medio de red LPWAN, mientras la conexión del LPWAN y el servidor web será por WIFI o Ethernet (Figura 23).

Como tercera parte será la transmisión del servidor web con señales de alarma y datos de la detención de celo del ganado vacuno hacia un teléfono móvil o computador. Con esto el ganadero podrá ver en tiempo real su ubicación y el estado de la vaca.

2. Prototipo de sujeción (Collar): este es el dispositivo encargado de la adquisición de data de la vaca (cuello) Figura 23, por la comodidad en la vaca, según la literatura de los antecedentes, tendrá la forma de un collar, y dentro de este collar están los sensores de temperatura, frecuencia cardiaca, acelerómetro; el sistema esta embebido a un microcontrolador de Arduino, como el módulo de RF Lora y el GPS, uno de ellos transmitir la data y el otro de la ubicación.
3. Modulación Lora: consta entre la comunicación inalámbrica del collar y el Gateway por frecuencia de radio (RF), específicamente en los 915 MHz, que se encuentra dentro de la banda radio libre industriales, científicas y médicas (ISM). La modulación LoRa, cumple con la condición de largo alcance, superando los 5 Km a la redonda. Tomando en cuenta que los animales salen del establo (vacas).
4. Gateway: se encarga del intercambio o traspaso de protocolo de comunicación o la modulación inalámbrica, en este proyecto se plantea que pase de tecnología Lora a Wifi, por ello el Gateway debe de estar ubicado en un punto cercado para el acceso a internet o un Router.
5. Servidor web: en este bloque se realiza el almacenamiento de los datos recogidos del comportamiento de la vaca, en la nube. Por medio de este, se podrá almacenar los datos y al momento de detectar cambios bruscos en el animal se deberá enviar una notificación al ganadero.
6. Usuario: es el ganadero o el interesado del monitoreo, aquí se podrá visualizar las variables fisiológicas de la Vaca, y al detectar cambios bruscos, se envía una notificación al cliente, como medida de precaución o detección de celo del ganado vacuno hembra.

3.2 Selección de Componentes

En la presente selección de componentes se tuvo como parámetro principal de selección el tiempo de entrega y disponibilidad de los componentes, debido al panorama que se vivió en el momento respecto a la pandemia de Covid-19.

Componentes	Opción 1	Opción 2	Opción 3
Microcontrolador			
Nombre	Arduino Uno	ESP32	STM32
Lenguaje	C/C++	C/C++	MicroPython
Calidad	Alta	Alta	Alta
Tiempo de entrega	2 días	8 semanas	12 semanas
Sensor de Temperatura			
Nombre	DHT22	MLX90614ESF	TMP36
Tamaño	15x18x5mm	58x22x10mm	13x8x3mm
Rango	-40°C a +80°C	-70°C a +382.2°C	-40°C a +125°C
Tiempo de entrega	10 semana	2 semanas	9 semana
Sensor de Pulso			
Nombre	HR0214-37	MAX30100	MAX30102
Tamaño	38x22x10mm	12.7x7.62x5.08mm	6.5x3.3x1.55mm
Rango	30-250 BPM	30-240 BPM	25-240 BPM
Tiempo de entrega	5 semanas	12 semanas	10 semanas
Acelerometro			
Nombre	MMA8452Q	ADXL345	MPU6050
Tamaño	3x3x1mm	15x15x1.45mm	20x15x3mm
Tiempo de entrega	10 semanas	10 semanas	Tienda Local
Dispositivo GPS			
Nombre	SIM808	VK2828U7G5LF GPS	NEO-M8N HMC5983 GPS
Tamaño	30x30x3mm	16x16x6.6mm	25x25x10mm
Precisión	Alta	Alta	Alta
Tiempo de entrega	10 semanas	8 semanas	4 semanas
Dispositivo LoRa			
Nombre	WB32LA915	RFM95W	SX1276
Calidad	Alta	Alta	Alta
Tiempo de entrega	8 semanas	14 semanas	14 semanas
Dispositivo Wifi			
Nombre	ESP8266 módulo WIFI	ESP32-WROOM- 32D	ESP32-C3
Calidad	Alta	Alta	Alta
Tiempo de entrega	Tienda Local	2 Semanas	10 semanas

3.3 Microcontroladores

Para el desarrollo del proyecto se consideró diversos microcontroladores que pudieran realizar el objetivo planteado, se tenía que ver además la necesidad de cumplir con las necesidades del funcionamiento de cada bloque.

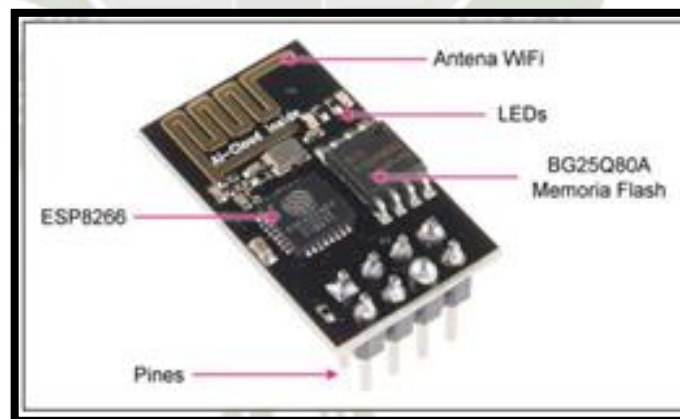
3.3.1 ESP8266 – Modulo WiFi

La tarjeta ESP8266 es muy versátil, de lenguaje sencillo de programar, cuenta con una antena wifi que nos permite conectarnos a una red inalámbrica de nuestra elección, también podemos conectarnos a la red de internet mediante una página web (WI-FI Alliance).

Este microcontrolador se encuentra contenido en una tarjeta es el Tensilica L106, de 32- bits con arquitectura RISC que funciona a una velocidad de 80Mhz, con una velocidad máxima de 160Mhz.

Figura 25.

Tarjeta ESP8266



Además, el ESP8266 es un chip Wi-Fi de bajo coste con pila TCP/IP completa y capacidad de MCU (Micro Controller Unit) producida por el fabricante chino Espressif Systems, con sede en Shanghai.

El ESP8285 es un ESP8266 con 1 MB de flash incorporado, lo que permite dispositivos de un solo chip capaces de conectarse a Wi-Fi. Muchos encapsulados del ESP8266 viene con 1 MB de flash.

Características:

El ESP8266 es un módulo muy de moda que va alimentado a 3.3V y que hay mucha documentación en internet. EL ESP8266 no tiene ROM y usa una ROM externa SPI y soporta hasta 16MB (aprendiendoarduino@gmail.com, 2021).

- CPU RISC de 32 bits: Tensilica Xtensa LX106 a 80 MHz *
- 64 KiB de RAM de instrucciones, 96 KiB de RAM de datos
- Flash QSPI externo: 512 KiB a 4 MiB * (se admiten hasta 16 MiB)
- Wi-Fi IEEE 802.11 b / g / n
- Interruptor TR integrado, LNA, amplificador de potencia y red correspondiente
- Autenticación WEP o WPA / WPA2 o redes abiertas
- 16 GPIO pins
- SPI, I²C,
- Interfaces I²S con DMA (compartiendo pines con GPIO)
- UART en pines dedicados, más un UART de solo transmisión se puede habilitar en GPIO2 ADC de 1 puerto de 10 bits.

3.3.2 El nodo de Radio LoRa v1.0

Está basado en el módulo de radio ATmega328P y RFM98 433Mhz. El chip principal ATmega328P registrado a 8 MHz y a 3,3 V logic, que utiliza el cargador de arranque para Arduino pro mini 8 Mhz 3,3 V, uso igual que el para Arduino pro mini. Este chip tiene 32K de flash y 2K de RAM.

A bordo con un soporte para batería de 3,7 V 14500 2800mAh, para que pueda usarlo en cualquier lugar que desee. En este nodo de Radio LoRa, separamos 2 puertos IIC, 2 puertos analógicos (A0 A1) y 2 puertos digitales (D3 D4) con 4 pines y 3 pines 2510-I tipo encabezado.

Características:

- Fuente de alimentación: Batería Lipo 3,7 V 14500 o potencia cc 3,7-12V (VCC GND: conexión 2PIN 2510-I tipo)
- Tamaño: 40mm x 60mm
- ATmega328P @ 8MHz con 3,3 V lógica/potencia
- Regulador de 3,3 V con salida de corriente máxima de 500mA
- Serie del Hardware hardware I2C hardware SPI apoyo
- 1 x PWM: D3
- 2 entradas analógicas: A0 A1
- Pin #13 LED azul para Uso general intermitente
- 2 agujeros de anclaje
- Botón de Reinicio

Este nodo de Radio LoRa utiliza el espacio adicional que queda para agregar un módulo de radio RFM95 LoRa 915 MHz. Estas radios no son buenas para transmitir audio o video, pero funcionan muy bien para la transmisión de paquetes de datos pequeños cuando necesita un rango de más de 2,4 GHz (BT, BLE, WiFi, ZigBee).

Módulo basado en LoRa SX1278 con interfaz SPI. Paquete de radio listo para usar para las bibliotecas de Arduino.

Además, utiliza la banda ISM amateur o sin licencia: ITU "Europa" sin licencia ISM o ITU amateur "americano" (con limitaciones de banda amateur).

Su capacidad de salida de potencia de + 5 a + 20 dBm hasta 100 mW (salida de potencia seleccionable en software)

La capacidad de consumo de energía es de los 300uA durante el sueño completo, ~ 120mA pico durante la transmisión + 20dBm, ~ 40mA durante la escucha de radio activa

Trae una antena de cable Simple o punto para conector uFL.

Figura 26.

Radio LoRa v1.0 Vista frontal

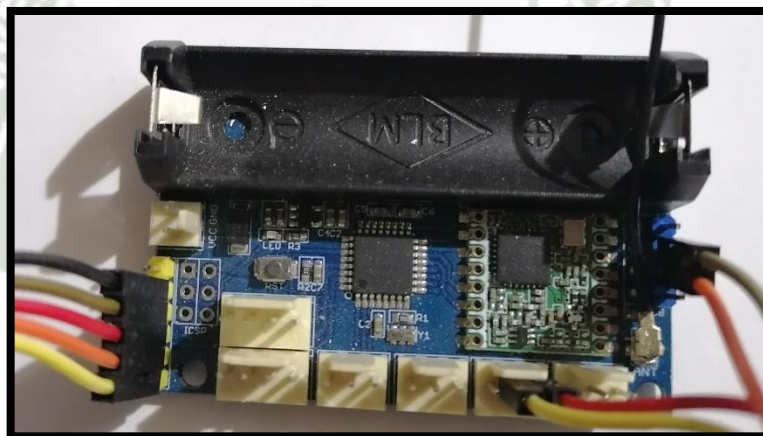


Figura 27.*Radio LoRa v1.0 Vista inferior*

3.3.3 *Arduino Uno r3 sin ATmega 328p*

Arduino Uno R3 es una placa electrónica de las muchas que tiene Arduino y con la que es muy fácil introducirse en el mundo de la programación electrónica, Arduino es una plataforma de código abierto (open-source) lo que permite realizar proyectos y modificaciones tanto de hardware como de software a cualquier persona sin ningún problema.

Esta placa tiene todo lo necesario para apoyar el microcontrolador basta con conectarlo a un ordenador con un cable USB o con un adaptador. El Arduino Uno se diferencia de todas las placas anteriores en que no utiliza el FTDI USB a serie driver chip. En lugar de ello, cuenta con el Atmega8U2 programado como convertidor de USB a serie. (Cinjordiz, 2021)

Para este proyecto se usó la placa sin el microcontrolador ATmega 328p. Donde se le da el uso de un puerto serial para la lectura y comunicación de data por TTL y Serial.

Características:

- Voltaje de operación: 5V
- Voltaje de entrada (recomendado): 7-12V
- Voltaje de entrada (límites): 6-20V
- Pines de E/S digitales: 14 (de los cuales 6 proporcionan salida PWM)
- Pines de entrada analógica: 6
- Corriente DC por pin de E/S: 40 mA
- Corriente DC para 3.3V Pin: 50 mA
- Memoria Flash: 32 KB de los cuales 0,5 KB utilizados por el bootloader
- SRAM: 2 KB (ATmega328)
- EEPROM: 1 KB (ATmega328)
- Velocidad de reloj: 16 MHz

Figura 28.

Arduino Uno R3 sin Atmega328p

**3.4 Sensores**

Son los encargados de adquirir la data del animal, como es caso de la temperatura, aceleración, ritmo cardiaco.

3.4.1 Sensor de Pulso HR0214-37

Este sensor de pulso económico es un sensor de frecuencia cardíaca plug-and-play para Arduino. Puede ser utilizado por estudiantes, artistas, deportistas, fabricantes y desarrolladores de juegos móviles que quieran incorporar fácilmente los datos de frecuencia cardíaca en vivo en su proyecto. Esencialmente combina un sensor de frecuencia cardíaca óptica sencilla con amplificación y circuitos de cancelación de ruido por lo que puede obtener lecturas del pulso de manera fiable rápida y fácil. Además, consume sólo 4 mA de corriente a 5V lo que es ideal para aplicaciones móviles.

Características:

- Material: FR4
- Voltaje: 5V
- Factor de amplificación: 330
- Longitud de onda: 609 nm

Figura 29.

Sensor de pulso HR0214-37



3.4.2 Sensor de temperatura SE177-GY906-MLX90614ESF

MLX90614 es un termómetro infrarrojo para mediciones de temperatura sin contacto. Tanto el chip detector de termopila sensible a infrarrojos como el ASSP de acondicionamiento de señal están integrados en la misma lata TO-39.

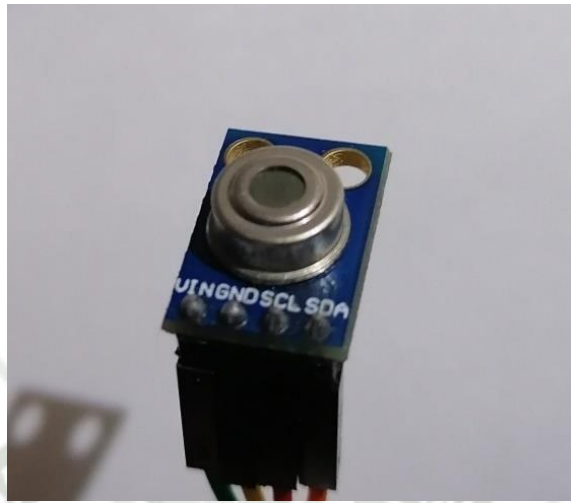
Con amplificador de bajo ruido, ADC de 17 bits y una potente unidad DSP, se logra una alta precisión y resolución del termómetro. El termómetro viene calibrado de fábrica con una salida digital PWM y SMBus (System Management Bus). Como estándar, el PWM de 10 bits está configurado para transmitir continuamente la temperatura medida en el rango de $-20... 120\text{ }^{\circ}\text{C}$, con una resolución de salida de $0,14\text{ }^{\circ}\text{C}$ y el POR predeterminado es SMBus.

Características

- Chip: MLX90614; Fuente de alimentación: 3-5v (regulador interno de baja caída); Tamaño pequeño, bajo costo; Fácil de integrar; Grado automotriz.
- Calibrado de fábrica en un amplio rango de temperatura: $-40... + 125\text{ }^{\circ}\text{C}$ para la temperatura del sensor y $-70... + 380\text{ }^{\circ}\text{C}$ para la temperatura del objeto.
- Alta precisión de $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ en un amplio rango de temperatura ($0 .. + 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ tanto para T_a como para T_o)
- Calibración de alta precisión (médica), resolución de medición de $0.02\text{ }^{\circ}\text{C}$, versiones de zona única y doble, interfaz digital compatible con SMBus, salida PWM personalizable para lectura continua.
- Disponible en versiones de 3V y 5V, Adaptación simple para aplicaciones de $8... 16\text{V}$, Modo de ahorro de energía, Diferentes opciones de paquetes para aplicaciones y versatilidad de medidas

Figura 30.

Sensor SE177-GY906-MLX90614ESF



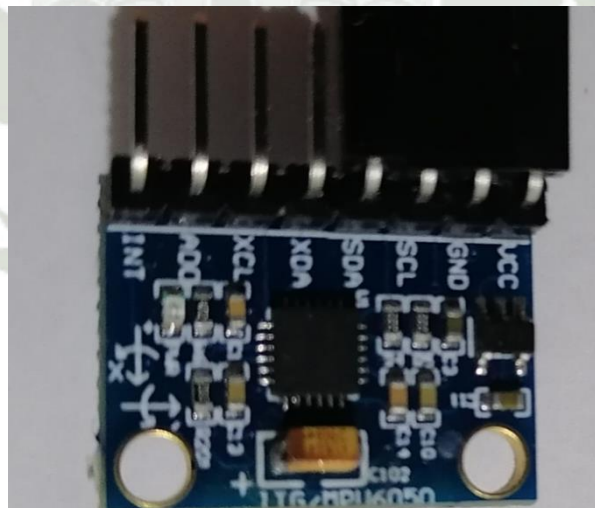
3.4.3 Acelerómetro Modulo GY-521

El módulo GY-521 es una placa de conexión para el MPU-6050 MEMS (sistemas microelectromecánicos) que cuenta con un giroscopio de 3 ejes, un acelerómetro de 3 ejes, un procesador de movimiento digital (DMP) y un sensor de temperatura. El procesador de movimiento digital se puede utilizar para procesar algoritmos complejos directamente en la placa. Por lo general, el DMP procesa algoritmos que convierten los valores brutos de los sensores en datos de posición estable. Este tutorial ofrece solo una breve introducción al GY-521 / MPU-6050. En particular, se muestra cómo recuperar los valores brutos del sensor. Los valores del sensor se recuperan utilizando el bus de datos en serie I2C, que requiere solo dos cables (SCL y SDA) (Schoeffler, 2017).

Características:

- El breakout GY-521 tiene ocho pines:
- VCC (La placa de conexión tiene un regulador de voltaje. Por lo tanto, puede conectar la placa a fuentes de 3,3 V y 5 V).

- GND
- SCL (Línea de reloj en serie del protocolo I2C).
- SDA (línea de datos en serie del protocolo I2C).
- XDA (Datos auxiliares => Datos en serie maestros I2C para conectar el módulo a sensores externos).
- XCL (reloj auxiliar => reloj serie maestro I2C para conectar el módulo a sensores externos).
- AD0 (Si este pin es BAJO, la dirección I2C de la placa será 0x68. De lo contrario, si el pin es ALTO, la dirección será 0x69).
- INT (interrupción de salida digital)

Figura 31.*Modulo GY-521*

3.4.4 GPS

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) es un sistema de radionavegación de los Estados Unidos de América, basado en el espacio, que proporciona servicios fiables

de posicionamiento, navegación, y cronometría gratuita e ininterrumpidamente a usuarios civiles en todo el mundo. A todo el que cuente con un receptor del GPS, el sistema le proporcionará su localización y la hora exacta en cualesquiera condiciones atmosféricas, de día o de noche, en cualquier lugar del mundo y sin límite al número de usuarios simultáneos.

Modulo NEO-M8N HMC5983 GPS

Este módulo GPS / GNSS es una versión más avanzada de nuestro módulo NEO-6M. Compatible con dispositivos compatibles con UART, incluidos Arduino, Raspberry Pi, PIC, MSP430 y MSP432.

Encienda el módulo y automáticamente adquirirá señales de satélite y una posición fija. Una vez que tenga una posición fija, el módulo hará parpadear el LED integrado. Este LED seguirá parpadeando mientras el módulo tenga una posición fija.

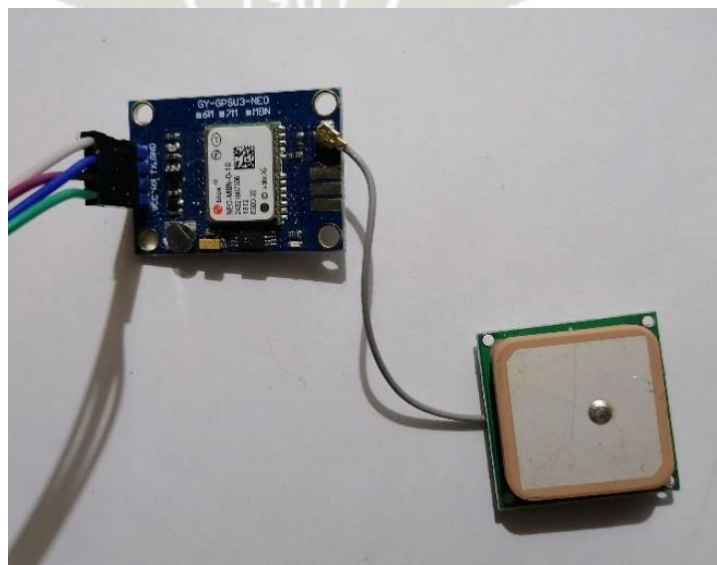
Características:

- Rango de voltaje de suministro de entrada: 3.3V-6V, el regulador de voltaje a bordo mantiene 3.3V
- Nivel lógico máximo de E / S: 3,6 V
- Para usar con un dispositivo lógico de 5V, como un Arduino, sugerimos cambiar el nivel de la señal TX de 5V usando uno de los siguientes: Dos diodos 1N4148 en serie entre el pin TX en su dispositivo 5V y el pin RX en este módulo GPS (será caída de voltaje a ~ 3.6V, solo recomendado para velocidades en baudios de 9600 y menos) o use un módulo convertidor de nivel lógico como el convertidor de nivel lógico bidireccional Addicore
- 1 segundo hasta el primer arreglo (TTFF) para arranques en caliente
- 26 segundos hasta la primera reparación (TTFF) para arranques en frío

- El LED integrado parpadeará después de que el módulo adquiera una posición fija y seguirá parpadeando siempre que el módulo tenga una posición fija.
- Motor u-blox M8 de 72 canales GPS / QZSS L1 C / A, GLONASS L10F, BeiDou B1I, Galileo E1B / C, SBAS L1 C / A: WAAS, EGNOS, MSAS, GAGAN
- UART: 9600 baudios por defecto, pero se puede configurar de 4800 a 460800 baudios
- Frecuencia de actualización máxima de 18 Hz
- -157dBm Sensibilidad de arranque en caliente
- Precisión de posición: 2 my mejor con múltiples buenas señales de satélite
- Precisión de velocidad: 0,05 m / s
- Velocidad máxima: 500 m / s
- Precisión de rumbo: 0,3 grados mientras se mueve

Figura 32.

Modulo GPS NEO-M8N HMC5983



3.5 Software de programación

Después de seleccionar el microcontrolador que usaremos para desarrollar el sistema de comunicación, debemos escoger un programa que nos permita desarrollar un programa y quemar este en la memoria para poder ser ejecutado.

Para el microcontrolador ESP8266 existen una variedad de Software para poder programarlo de acuerdo a las funciones que deseemos, pero para el módulo de Lora V1.0 es recomendable Arduino, ya que lleva dentro del Arduino pro mini y el módulo Sx1278.

Figura 33.
Arduino IDE



Fuente: StoreArduino (s.f.) - Arduino IDE

3.6 Radio definida por software

Los ingenieros inalámbricos, estudiantes y aficionados pueden aprender a recibir y decodificar señales de radio del mundo real utilizando este hardware RTL-SDR de bajo costo conectado a su computadora.

Un sistema SDR, consiste en una computadora personal equipada con una tarjeta de sonido u otro convertidor de analógico a digital, precedido por algún tipo de interfaz de RF. Cantidades significativas de procesamiento de señales se transfieren al procesador

de propósito general, en lugar de realizarse en hardware de propósito especial (circuitos electrónicos). Tal diseño produce una radio que puede recibir y transmitir protocolos de radio muy diferentes (a veces denominados formas de onda) basados únicamente en el software utilizado.

3.6.1 Realtek RTL2832U

Estas unidades se basan en el sintonizador IC R820 (R820T) fabricado por Rafael Micro. Como tal, tienen una capacidad de frecuencia de aproximadamente 25MHz-1750MHz, aunque esto puede variar un poco de una unidad a otra. También hay un IC RTL2832 (RTL2832U) a bordo, por supuesto, que actúa como demodulador e interfaz USB.

Figura 34.

Dispositivo SDR R820T

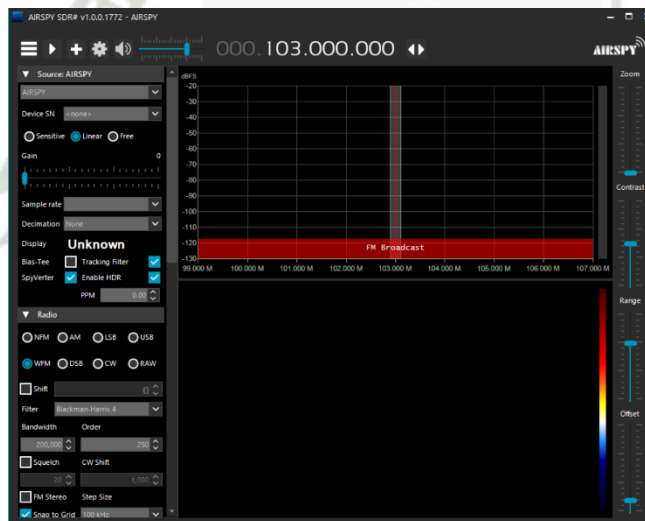


3.6.2 Airspy

Airspy es un programa compatible con una línea de receptores de radio definidos por software (SDR) populares desarrollados para lograr un alto rendimiento y un precio asequible utilizando combinaciones innovadoras de técnicas DSP y RF. En este se puede visualizar las señales de RF en el dominio de la frecuencia. Con este se puede visualizar la comunicación por cierta frecuencia y ver la transmisión de los datos mediante las diferentes modulaciones.

Figura 35.

Programa de Airspy



3.7 Plataforma IoT

3.7.1 ThingSpeak

Plataforma gratuita para la Internet de las Cosas es una API y aplicación de código abierto para el Internet de las Cosas que permite almacenar y recopilar datos de objetos conectados a través del protocolo HTTP a través de Internet o de una red local. Con ThingSpeak, el usuario puede crear aplicaciones de registro de datos de sensores,

aplicaciones de seguimiento de ubicación y una red social para los objetos conectados, con actualizaciones de estado.

Funciones ThingSpeak:

- API abierta
- Recolección de datos en tiempo real
- Datos de geolocalización
- Procesamiento de datos
- Visualización de datos
- Mensajes de estado del circuito
- Plugins

Figura 36.

Plataforma de ThingSpeak IoT



Fuente: Thingspeak (s.f.) - Plataforma de ThingSpeak IoT

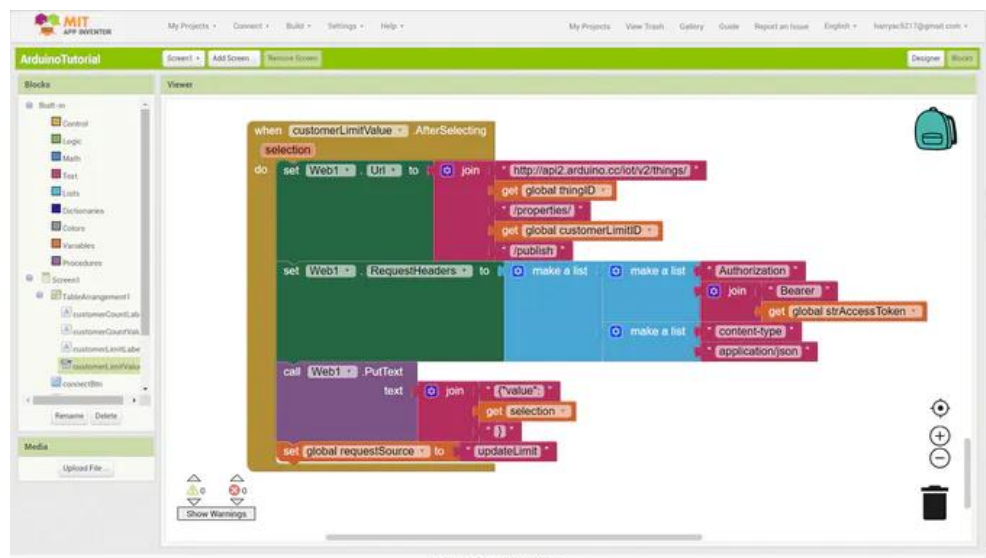
3.7.2 MIT App Inventor

Es un entorno de desarrollo integrado de aplicaciones web originalmente proporcionado por Google y ahora mantenido por el Instituto de Tecnología de

Massachusetts (MIT). Permite realizar aplicaciones para sistemas operativos (SO):
Android e iOS.

Figura 37.

Programa de MIT App Inventor



CAPÍTULO IV

4. IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto se realizó por etapas, en dichas etapas se agregaron sensores con sus respectivas librerías, para la implementación en esta tesis se parte con la conexión inalámbrica RF entre los módulos Lora.

4.1. Comunicación Lora

Los transceptores SX1276 / 77/78/79 cuentan con el módem de largo alcance LoRa® que proporciona comunicación de espectro extendido de rango ultralargo y alta inmunidad a interferencias mientras minimiza el consumo de corriente. Estos están integrados en el módulo Lora V1.0 e el mismo microcontrolador de Arduino Pro.

Las características del módulo Lora son:

- + 20dBm - Salida de RF constante de 100 mW frente a suministro de V
- + PA de alta eficiencia de 14dBm
- Tasa de bits programable hasta 300 kbps
- Alta sensibilidad: hasta -148dBm
- Modulación FSK, GFSK, MSK, GMSK, LoRa y OOK
- Detección de preámbulo
- 127dB de rango dinámico RSSI

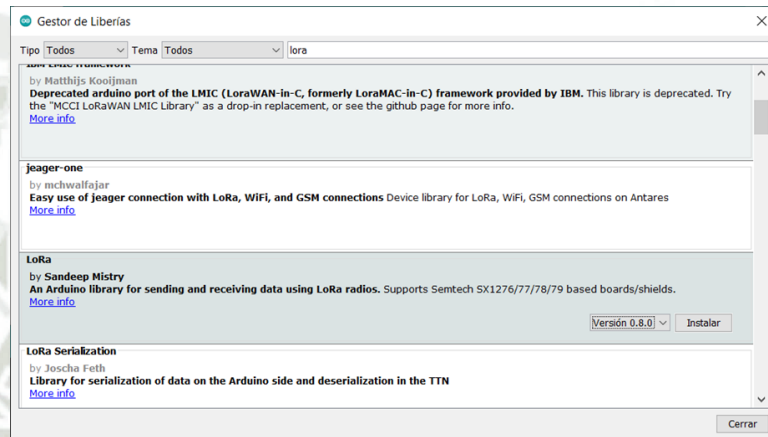
4.1.1. *Instalar librería LoRa en Arduino*

Este se puede descargar desde la misma plataforma de GitHub <https://github.com/sandeepmistry/arduino-LoRa>. El repositorio contiene la biblioteca LoRaWAN simple encapsulada para ejecutarse en la plataforma genérica, lo que permite usar los transceptores SX1272, SX1276 y módulos compatibles (como algunos módulos

HopeRF RFM9x). El otro método es descartar desde el administrador de bibliotecas de Arduino.

Figura 38.

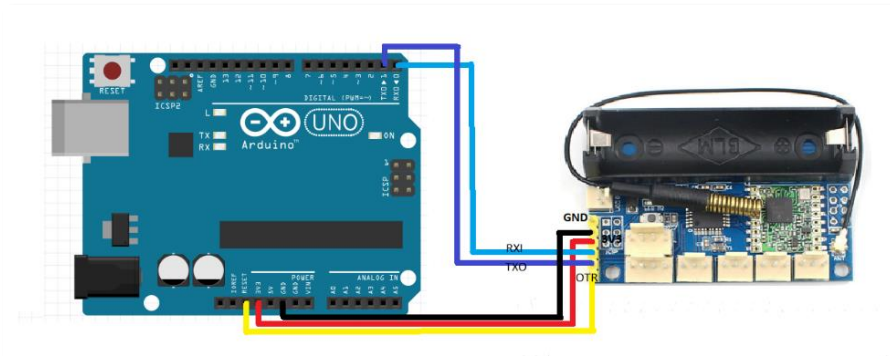
Librería Lora



Posteriormente realizamos la conexión correcta por medio de comunicación Serial (TTL), en el diagrama esquemático Figura 39, se muestra la conexión de los pines, cabe resaltar que el Arduino uno realiza la función de un USB TTL, para que ocurra esto se tiene que extraer el microcontrolador ATmega 318p. Para mayor información de los puertos de Modulo Lora V1.0 Anexo 1.

Figura 39.

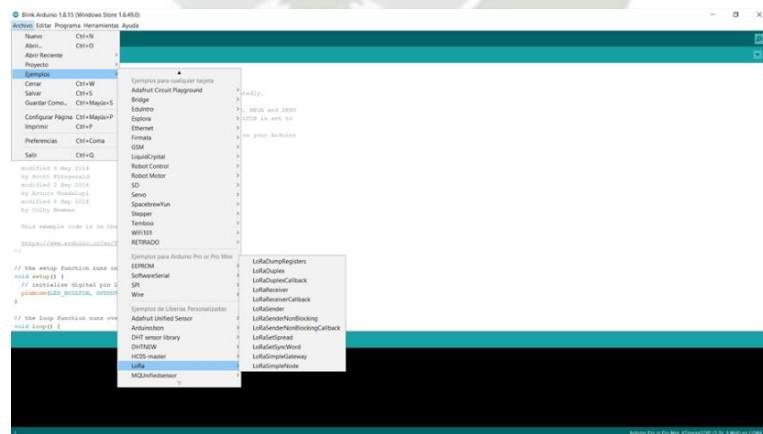
Conexión del Módulo Lora V1.0 con Arduino sin ATmega318p



Una vez realizada la conexión se procede con la compilación y subida de un ejemplo de la librería antes descargada e instalada en el Arduino. Para esto se dirige a la barra de herramientas Archivo->Lora->Lora Sender Figura 40.

Figura 40.

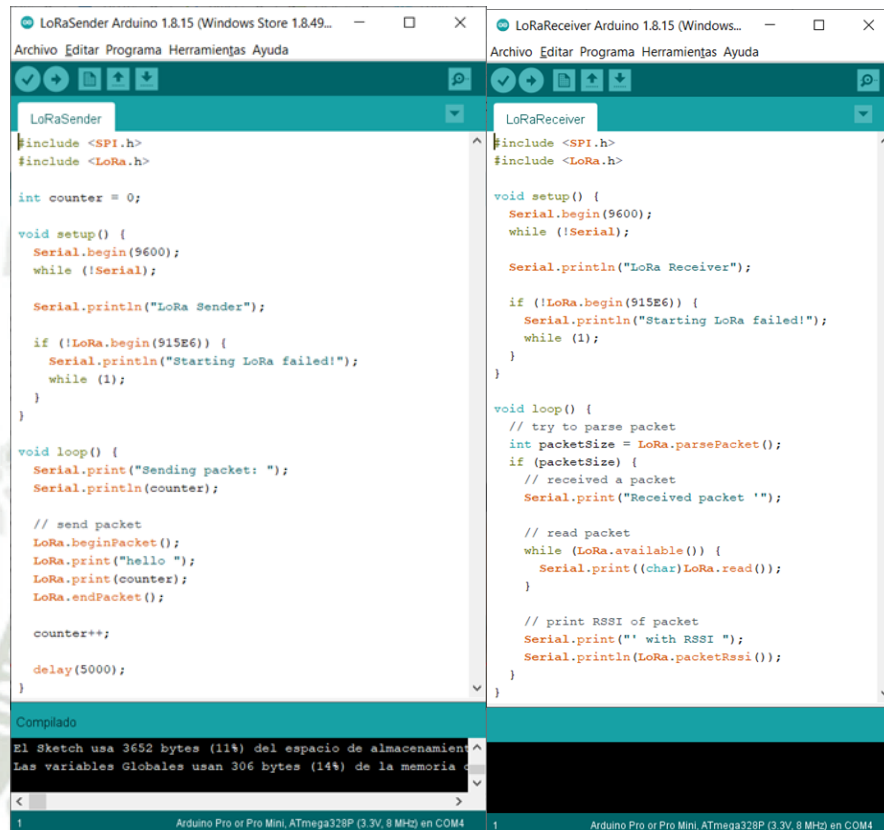
Selección de los ejemplos de la librería de Lora



Seguidamente se debe de proceder a compilar y cargar el programa hacia el hardware de Arduino, la puerta de salida debe de estar en Arduino Pro mini o Pro.

Figura 41.

Ejemplos de la librería de Lora



```

LoRaSender
#include <SPI.h>
#include <LoRa.h>

int counter = 0;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  while (!Serial);

  Serial.println("LoRa Sender");

  if (!LoRa.begin(915E6)) {
    Serial.println("Starting LoRa failed!");
    while (1);
  }
}

void loop() {
  Serial.print("Sending packet: ");
  Serial.println(counter);

  // send packet
  LoRa.beginPacket();
  LoRa.print("hello ");
  LoRa.print(counter);
  LoRa.endPacket();

  counter++;

  delay(5000);
}

Compilado
El sketch usa 3652 bytes (11%) del espacio de almacenamiento
Las variables Globales usan 306 bytes (14%) de la memoria

LoRaReceiver
#include <SPI.h>
#include <LoRa.h>

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  while (!Serial);

  Serial.println("LoRa Receiver");

  if (!LoRa.begin(915E6)) {
    Serial.println("Starting LoRa failed!");
    while (1);
  }
}

void loop() {
  // try to parse packet
  int packetSize = LoRa.parsePacket();
  if (packetSize) {
    // received a packet
    Serial.print("Received packet ");

    // read packet
    while (LoRa.available()) {
      Serial.print((char)LoRa.read());
    }

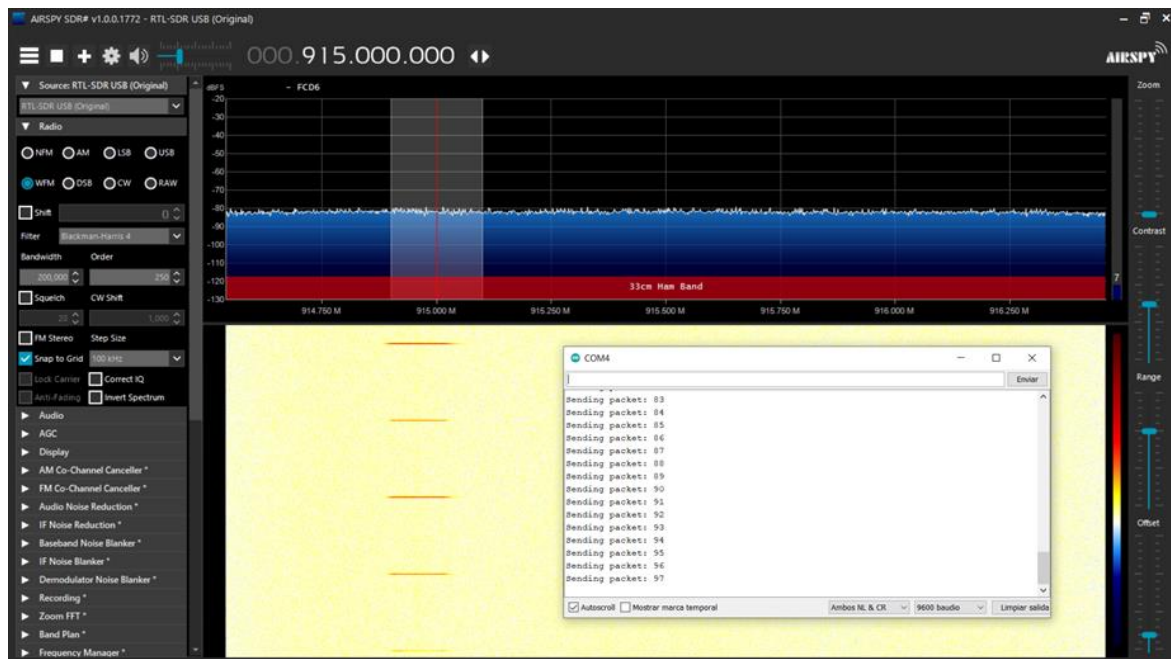
    // print RSSI of packet
    Serial.print(" with RSSI ");
    Serial.println(LoRa.packetRssi());
  }
}
  
```

4.1.2. Verificación de la transmisión de datos en los 915 MHz

Al ejecuta el programa Airspy, donde en este se elige en la opción de SDR Original, a la vez se puede abrir el monitor serial.

Figura 42

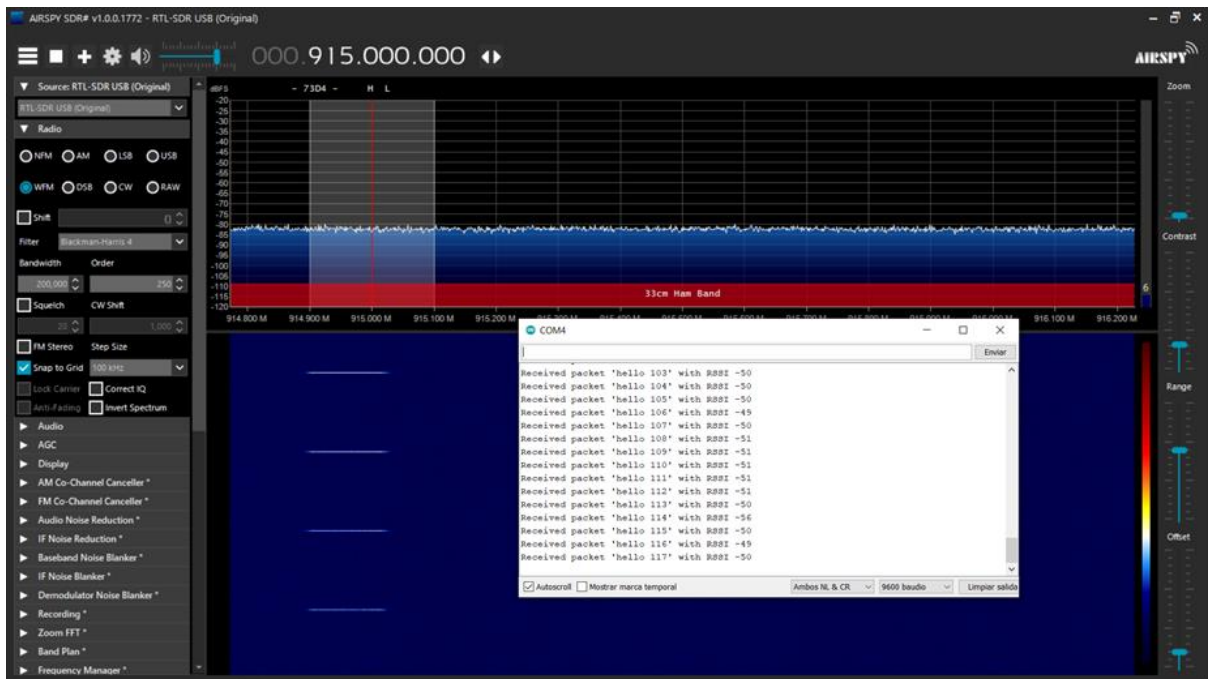
Visualizador de señales RF Airspy SDR (Transmisor)



Para comprobar el correcto funcionamiento se puede concatenar el tiempo y los datos del transmisor en el receptor, más adelante esta toma la función de Gateway. Con esto se asegura uno de los objetivos del proyecto, que es el uso de la banda libre ISM de los 915 MHz.

Figura 43.

Señales recibidas por Comunicación serial RF



4.2. Integración de sensores y módulos en nodo transmisor (collar)

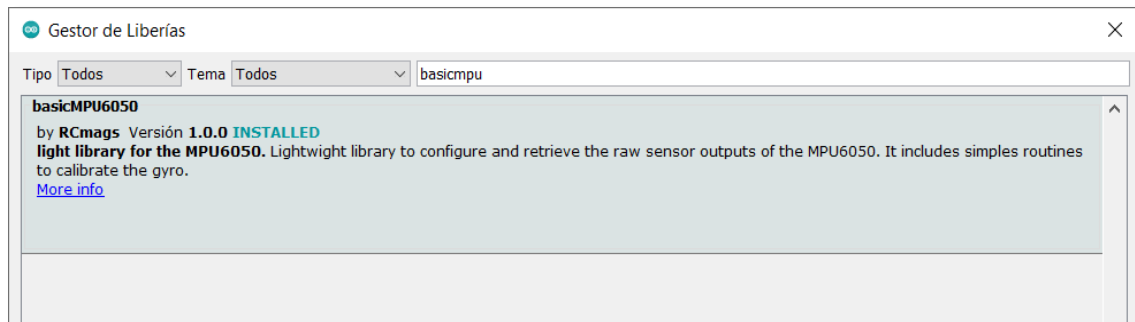
En esta etapa se agrega las diferentes librerías de acuerdo a cada sensor.

4.2.1. Acelerómetro

Para esto se descarga desde el gestor de librerías, una vez instalada sobre uno de los ejemplos se realiza el programa de acuerdo a la aplicación.

Figura 44.

Gestor de Librería de Arduino (basicMPU6050)



En el programa se modifica los parámetros, es decir lo que se necesita es la aceleración promedio, ya que esto facilitara la lectura y predicción del celo del ganado vacuno hembra.

Figura 45.

Parámetros de aceleración

```

promedio_de_aceleracion
/*
 * Get scaled and calibrated output of MPU6050
 */
#include <basicMPU6050.h>
// Create instance
basicMPU6050<> imu;
void setup() {
  // Set registers - Always required
  imu.setup();
  // Initial calibration of gyro
  imu.setBias();
  // Start console
  Serial.begin(9600);
}
void loop() {
  // Update gyro calibration
  imu.updateBias();
  //-- Scaled and calibrated output:
  Serial.print(sqrt(pow(imu.ax(),2)+pow(imu.ay(),2)+pow(imu.az(),2)));
  Serial.print(" ");
  // Temp
  // Serial.print( imu.temp() );
  Serial.println();
  delay(1000);
}

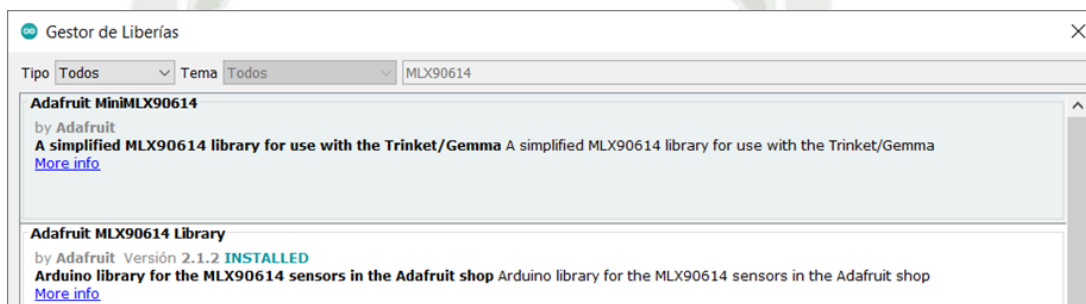
```

4.2.2. *Sensor de temperatura*

Desde el gestor de librerías se escoge Adafruit MLX90614, con este se adquiere la data, como es la temperatura corporal y del ambiente.

Figura 46.

Gestor de Librería de Arduino (Adafruit MLX90614)



El programa en Arduino quedaría de la siguiente forma, este va de acuerdo a la aplicación ya que se deshace de varios parámetros, elementos en el código no necesarios.

Figura 47.

Parámetros de temperatura

```

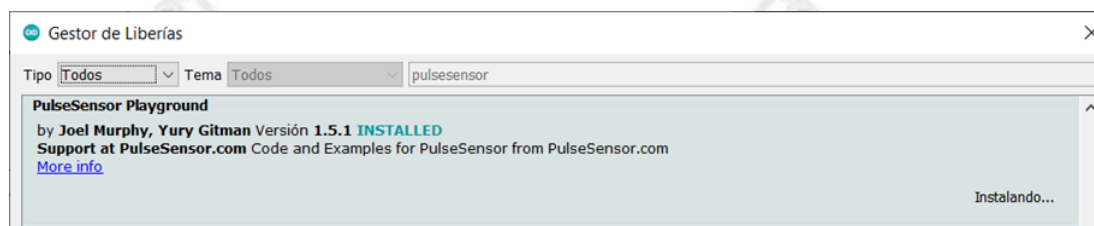
temperatura
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_MLX90614.h>
Adafruit_MLX90614 mlx = Adafruit_MLX90614();
void setup() {
  mlx.begin();
  Serial.begin(9600);
}
void loop() {
  Serial.print("Ambient = "); Serial.print(mlx.readAmbientTempC());
  Serial.print(" *C\tObject = "); Serial.print(mlx.readObjectTempC()); Serial.println(" *C");
  delay(1000);
}
    
```

4.2.3. Sensor de Pulso

La librería se encuentra en GitHub y en el gestor de librerías de Arduino, es recomendable y más práctico instalar la librería con sus ejemplos.

Figura 48.

Gestor de Librería de Arduino (*PulseSensor Playground*)



El sensor de pulso o cualquier sensor óptico de frecuencia cardíaca, para el caso, funciona al hacer brillar una luz verde (~ 550 nm) en el dedo y medir la cantidad de luz reflejada usando un fotosensor. (Lastminuteengineers, 2021) Para acceder a los bocetos de ejemplo, vaya a Archivo > Ejemplos > PulseSensor Playground. Verá una selección de bocetos de ejemplo. Seleccione cualquiera de ellos para cargar el boceto en su IDE.

Código básico de Arduino: parpadea con el latido del corazón.

El boceto es super simple. Comienza con la definición de los pines utilizados para conectar el sensor de pulso. También se definen dos variables; el Signal guarda los datos entrantes.

En la configuración, definimos el pin LED incorporado (pin 13) como salida y configuramos el monitor en serie.

En el bucle, leemos la señal analógica del sensor de pulso.

Este método de detección de pulsos a través de la luz se llama fotopletoislograma.

Figura 49.

Parámetros de pulso

```

pulso
int const PULSE_SENSOR_PIN = 0; // 'S' Signal pin connected to A0

int Signal; // Store incoming ADC data. Value can range from 0-1024
int Threshold = 550; // Determine which Signal to "count as a beat" and which to ignore.

void setup() {
  pinMode(LED_BUILTIN, OUTPUT); // Built-in LED will blink to your heartbeat
  Serial.begin(9600); // Set comm speed for serial plotter window
}

void loop() {

  Signal = analogRead(PULSE_SENSOR_PIN); // Read the sensor value

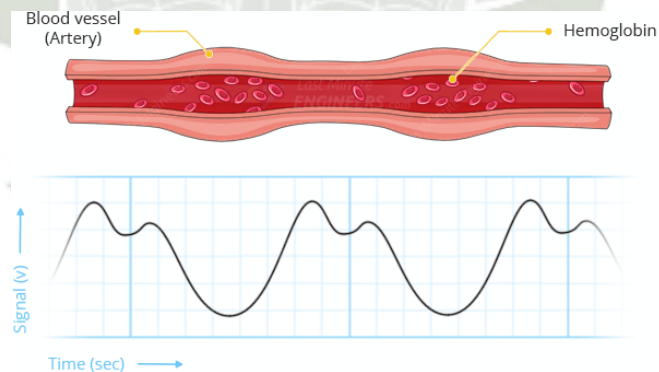
  Serial.println(Signal); // Send the signal value to serial plotter

  if(Signal > Threshold){ // If the signal is above threshold, turn on the LED
    digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH);
  } else {
    digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW); // Else turn off the LED
  }
  delay(10);
}

```

Figura 50.

Fotopletismograma



La hemoglobina oxigenada en la sangre arterial tiene la característica de absorber luz verde. Cuanto más roja es la sangre (mayor es la hemoglobina), más luz verde se absorbe. A medida que la sangre se bombea a través del dedo con cada latido del corazón,

la cantidad de luz reflejada cambia, creando una forma de onda cambiante en la salida del fotosensor.

4.2.4. *Modulo GPS*

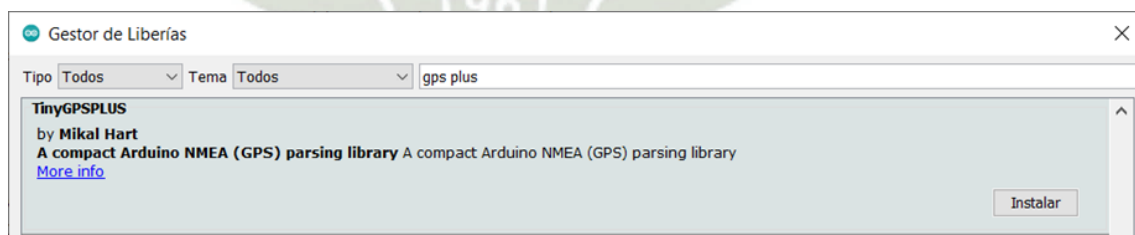
La biblioteca de análisis de Arduino GPS/NMEA con todas las funciones integra a Arduino TinyGPSPlus es una nueva biblioteca de Arduino para analizar los flujos de datos NMEA proporcionados por los módulos GPS.

Al igual que su predecesor, TinyGPS, esta biblioteca proporciona métodos compactos y fáciles de usar para extraer la posición, la fecha, la hora, la altitud, la velocidad y el rumbo de los dispositivos GPS de los consumidores.

Sin embargo, la interfaz del programador de TinyGPSPlus es considerablemente más simple de usar que TinyGPS, y la nueva biblioteca puede extraer datos arbitrarios de cualquiera de las innumerables oraciones NMEA que existen, incluso las propietarias.

Figura 51.

Gestor de Librería de Arduino (TinyGPSPlus)



Al código en Arduino, ya está modificado de acuerdo a la necesidad. A partir de uno de los ejemplos de la librería se toma las variables que necesitamos ya que este módulo trae incorporado un sensor de temperatura también. Aquí se cambia los pines de

comunicación serial con el módulo Arduino Lora V1.0, precisamente el Módulo de GPS envía datos mediante comunicación serial, es por ello se crea una comunicación virtual.

Figura 52.

Datos del módulo de GPS

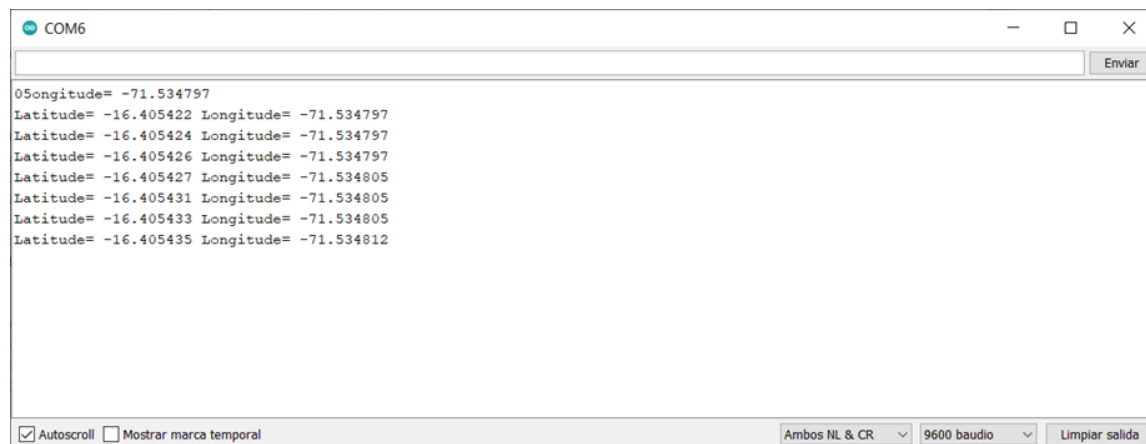
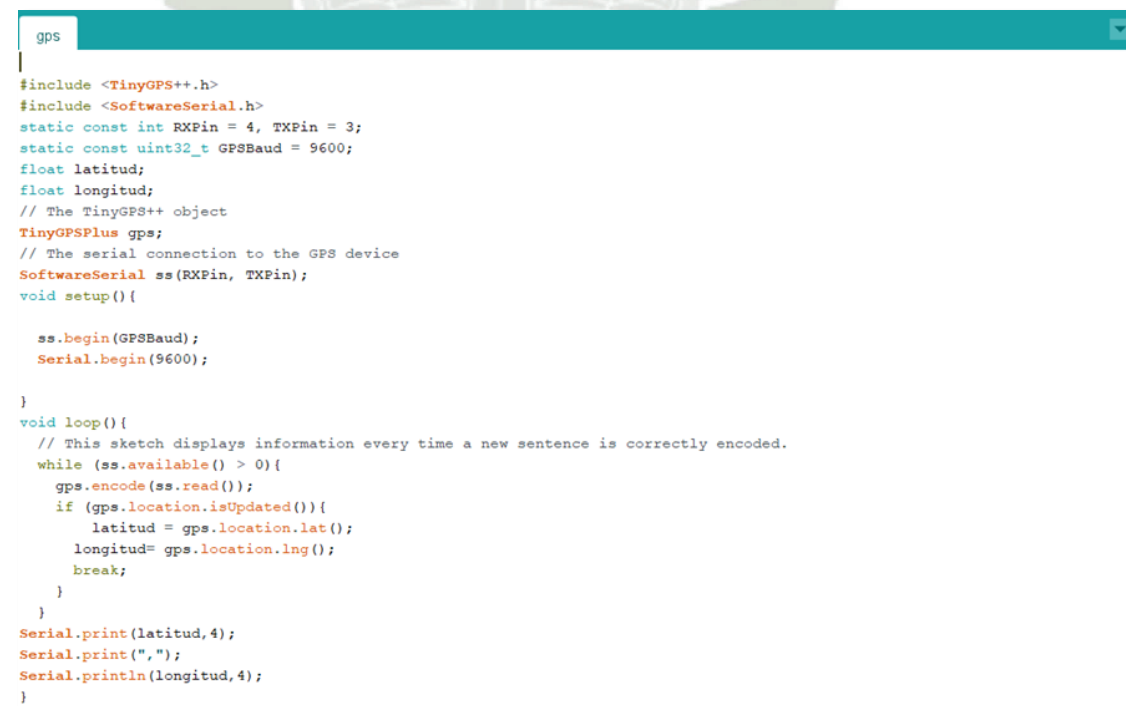


Figura 53.

Parámetros de GPS

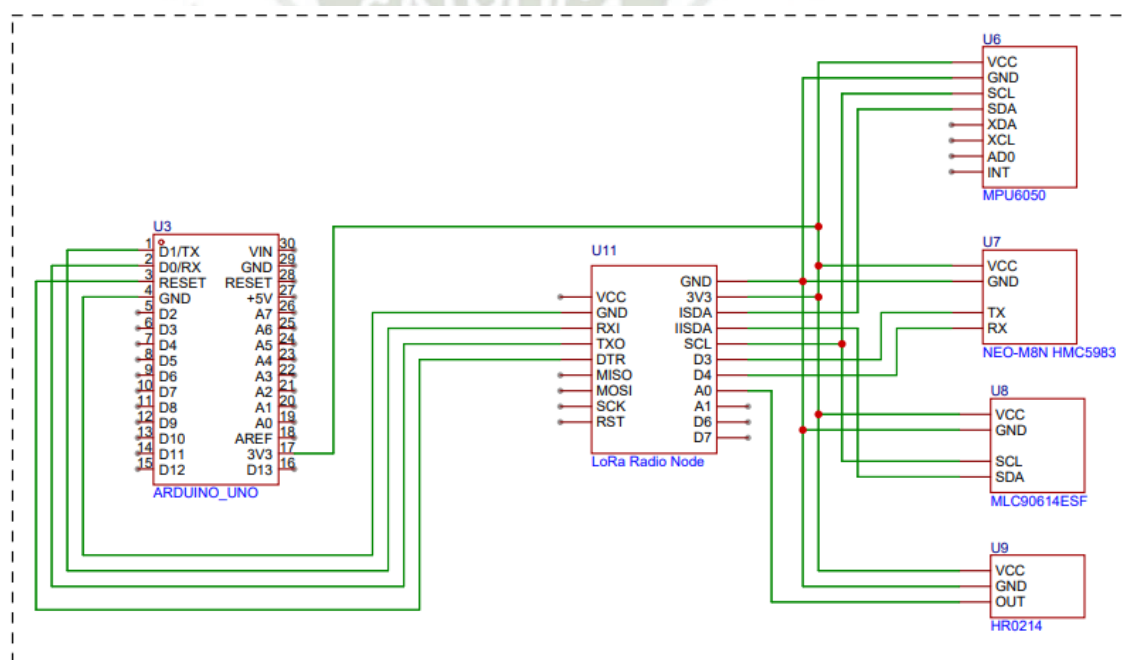


4.2.5. Integración embebida en el Módulo Arduino Lora V1.0

Una vez instalado las librerías necesarias se realiza la conexión de los pines y puertos de forma embebida en el módulo Arduino Lora V1.0, se selecciona bien los pines ya que este módulo no presenta muchas entradas y salidas.

Figura 54.

Esquema de conexión del Prototipo collar



Centrando en el sketch Sender de Lora, integramos los sensores en el nuevo código, para este proceso se toma en cuenta los pines de cada sensor ya sean analógicos, digitales o por I2C.

1. Librerías: En el encabezado se incluyen las librerías de todos los sensores, módulos y la comunicación serial.

Figura 55.

Librerías

```
loratrans
//Librerías de Lora/////
#include <SPI.h>
#include <LoRa.h>
////////////////////////////////
#define USE_ARDUINO_INTERRUPTS true // Set-up low-level interrupts for most accurate BPM math.
#include <PulseSensorPlayground.h> // Includes the PulseSensorPlayground Library.
#include <SoftwareSerial.h> //gps para el usar con los puertos de Tx,Rx
#include <TinyGPS++.h> //gps
#include <basicMPU6050.h> //temp
#include <Adafruit_MLX90614.h> //acel
Adafruit_MLX90614 mlx = Adafruit_MLX90614();//acel
basicMPU6050<> imu; //temp Create instance
TinyGPSPlus gps;
```

2. Variables: Estos parámetros van de acuerdo a la unidad que se necesita trabajar o para que no se modifique las unidades de cada variable dentro del setup y el void loop.

Figura 56.

Variables

```
loratrans
////////////////////////////////
/*Variables*/
static const int RXPin = 4, TXPin = 3; //gps
float latitud;
float longitud;
static const uint32_t GPSBaud = 9600; //gps
// The serial connection to the GPS device
SoftwareSerial ss(RXPin, TXPin);
int PulseSensorPurplePin = 0; // Pulse Sensor PURPLE WIRE connected to ANALOG PIN 0
int Signal; // holds the incoming raw data. Signal value can range from 0-1024
////////////////////////////////
float a;
float ta;
float tc;
////////////////////////////////
// LoRa message variable
String message;
```

3. Void Setup: Este se ejecuta una vez que se inicia el programa, es por ello que se debe tomar en cuenta la velocidad de transmisión en especial del integrado de Lora y el módulo de GPS.

Figura 57.

Void Setup

```
loratrans
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  //Sensores//
  es.begin(GPSBaud);
  mlx.begin(); //acel
  imu.setup(); // Set registers - Always required
  imu.setBias(); // Initial calibration of gyro
  //Lora//
  while (!Serial);
  Serial.println("LoRa Sender");

  if (!LoRa.begin(915E6)) {
    Serial.println("Starting LoRa failed!");
    while (1);
  }
}
```

4. Void Loop: el programa en este bucle es infinito, es decir la lectura de los datos con los sensores es constantes por el periodo de tiempo. En la imagen se puede visualizar el promedio del acelerómetro; seguidamente del sensor de temperatura con la lectura de la temperatura corporal y ambiental en grados centígrados.

Figura 58.

Void Loop

```
loratrans
void loop()
{
  //Acelerometro//
  imu.updateBias(); // Update gyro calibration
  Serial.print("Promedio de acel ");
  a=sqrt(pow(imu.ax(),2)+pow(imu.ay(),2)+pow(imu.az(),2));
  Serial.print(a);
  //Sensor de temperatura//
  Serial.print("Ambient = ");
  ta=mlx.readAmbientTempC();
  Serial.print(ta);
  Serial.print("C\tObject = ");
  tc=mlx.readObjectTempC();
  Serial.print(tc); Serial.println("C");
}
```

El módulo de GPS, lee datos del puerto serial virtual de los pines 3 y 4, y una vez que haya datos o cambio de tensión este se habilita y es convertido a la unidad de flotantes con 4 decimales. Por otra parte, el sensor de pulso solo lee los datos del pin A0.

Figura 59.

Serial del módulo GPS

```
loratrans
////////////////////////////////////
//////////*GPS*////////////////////////////////////
while (ss.available()){
  gps.encode(ss.read());
  if (gps.location.isUpdated()){
    latitud = gps.location.lat();
    longitud= gps.location.lng();
    break;
  }
}
Serial.print(latitud,4);
Serial.print(",");
Serial.println(longitud,4);
/*end GPS*/
//////////Sensor de Pulso////////////////////////////////////
Signal = analogRead(PulseSensorPurplePin); // Read the PulseSensor's value.
Serial.println(Signal); // Send the Signal value to Serial Plotter.
Serial.println();
```

Conversión de los datos en string, tomar en cuenta que la librería de Lora, permite la comunicación entre los dispositivos por mensajería(string), por ello todos los datos medidos de los sensores, son agrupados en uno solo.

Finalmente se habilita el transmisor de lora, para enviar el mensaje en String, el bucle se cierra y mandara datos cada 500 milisegundos.

Figura 60.

Parámetros del transmisor de Lora

```
loratrans
Serial.println(Signal); // Send the Signal value to Serial Plotter.
Serial.println();
//////////Mensaje en string////////////////////////////////////
message = String(Signal) + "!" + String(latitud,4) + "/" + String(longitud,4) + "&" + String(a) + ";" + String(ta) + "$" + String(tc);
Serial.print("Sending data lora:");
Serial.println(message);
Serial.println("");
//////////Transmision de data lora////////////////////////////////////
LoRa.beginPacket(); //star lora
LoRa.print(message); // send packet
LoRa.endPacket(); //end lora
delay(500);
////////////////////////////////////
}
```

4.3. Integración del ESP8266 con el Módulo Arduino Lora V1.0 hacia la nube

(Gateway).

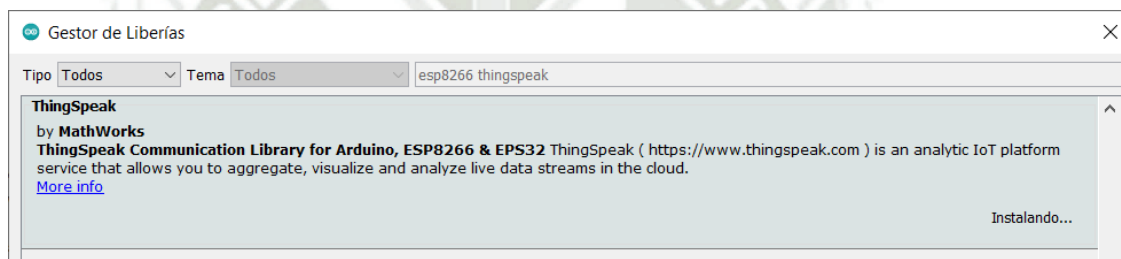
Se requiere descargar librerías para el ESP8266, ThingSpeak, tomando como troncal a la comunicación del ESP8266 con ThingSpeak (IoT).

4.3.1. ESP8266 con ThingSpeak

Se descarga la librería desde el gestor de librerías, esto facilita la creación del nuevo código con la finalidad de satisfacer nuestra aplicación.

Figura 61.

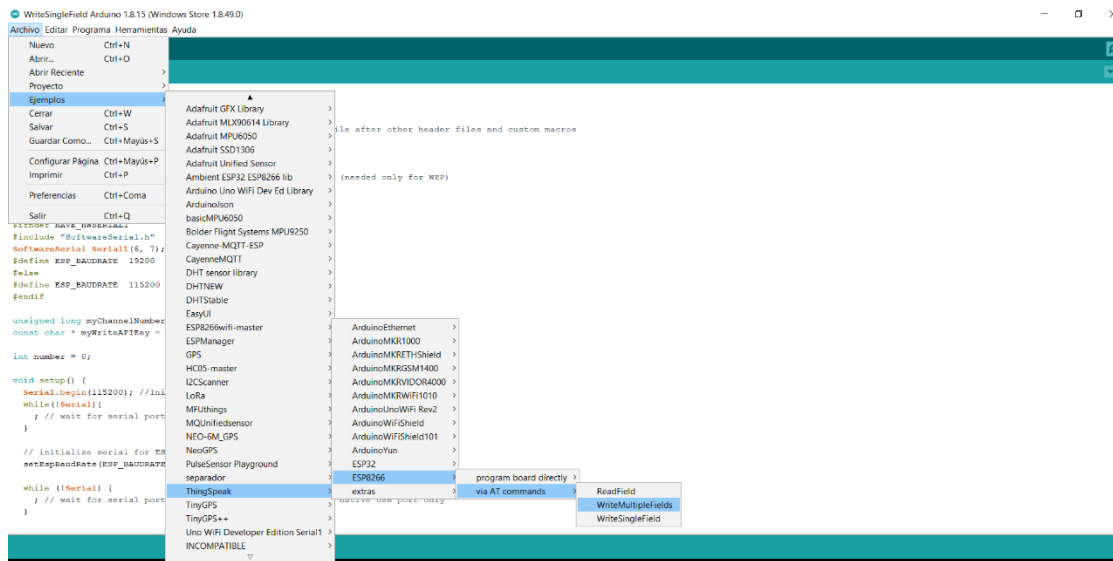
Librería del ESP8266



Se toma un ejemplo de la misma librería, como se muestra en la figura. Se procede a compilar el programa para verificar que las librerías estén correctamente instaladas.

Figura 62.

Compilación del programa

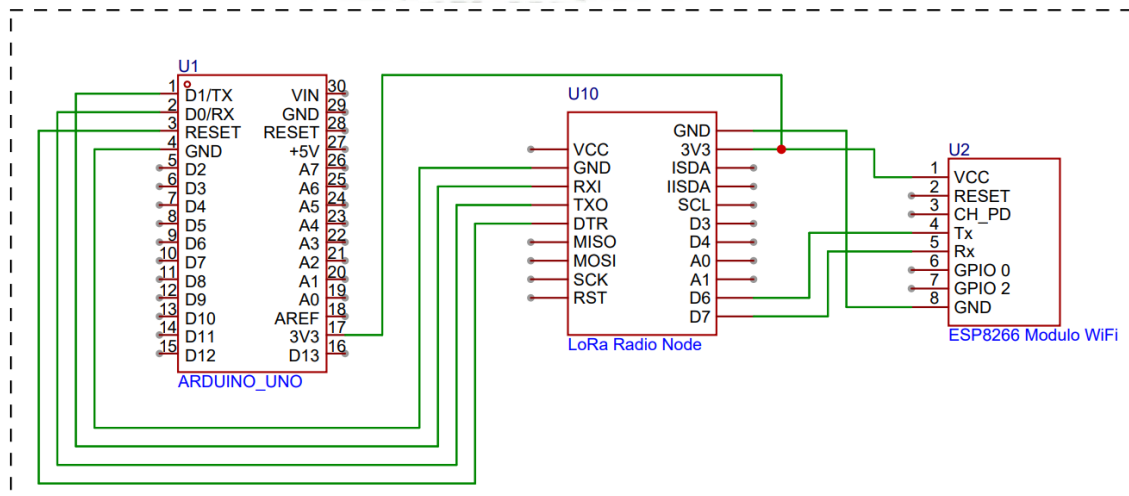


4.3.2. Diagrama de conexión del Gateway

Tomando en cuenta que el Módulo Arduino Lora V1.0 que no cuenta con pines suficientes, es por ello que se usa los pines 6 y 7, ya que estos si pueden recibir data.

Figura 63.

Esquema de conexión del Gateway



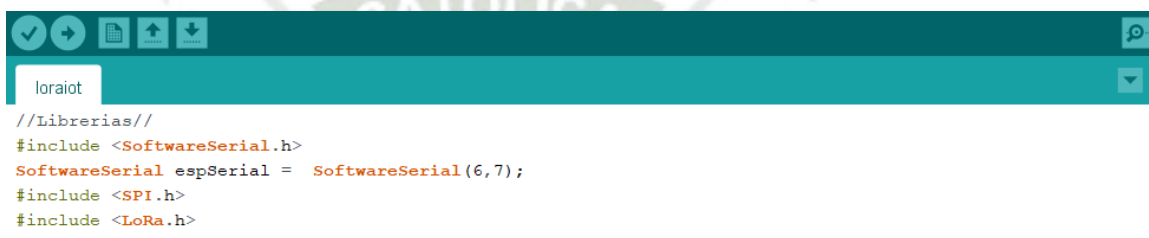
4.3.3. Integración del Gateway a IoT de ThingSpeak

De lo anterior, se guía para la conexión de los puertos en el Sketch de Arduino.

1. Librerías: Se incluye la librería de SPI, que realiza la comunicación entre el módulo modulo lora sx1278 y el Arduino Pro. El software serial para la comunicación con el ESP8266 y el módulo Arduino Lora V1.0.

Figura 64.

Librería de SPI

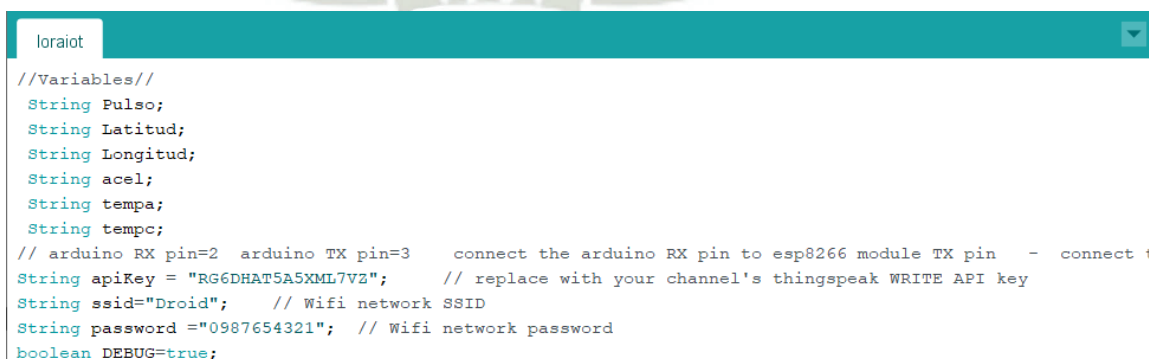


```
loraiot
//Librerias//
#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial espSerial = SoftwareSerial(6,7);
#include <SPI.h>
#include <LoRa.h>
```

2. Variables: En esta se establece los puertos, unidades. Además, la contraseña del wifi cercano y el Key de ThingSpeak.

Figura 65.

Establecimiento de puertos



```
loraiot
//Variables//
String Pulso;
String Latitud;
String Longitud;
String acel;
String tempa;
String tempc;
// arduino RX pin=2  arduino TX pin=3   connect the arduino RX pin to esp8266 module TX pin - connect t
String apiKey = "RG6DHAT5A5XML7VZ"; // replace with your channel's thingspeak WRITE API key
String ssid="Droid"; // Wifi network SSID
String password ="0987654321"; // Wifi network password
boolean DEBUG=true;
```

3. Transmisión a ThingSpeak.

Se toma 6 campos, es decir se envía seis datos hacia la nube por texto (String). El protocolo de comunicación que soporta ThingSpeak es el MQTT.

Figura 66.

Transmisión a ThingSpeak

```
loraiot
//=====
boolean thingSpeakWrite(float value1, float value2, float value3, float value4, float value5, float value6) {
  String cmd = "AT+CIPSTART=\"TCP\", \""; // TCP connection
  cmd += "184.106.153.149"; // api.thingspeak.com
  cmd += "\",80";
  espSerial.println(cmd);
  if (DEBUG) Serial.println(cmd);
  if (espSerial.find("Error")) {
    if (DEBUG) Serial.println("AT+CIPSTART error");
    return false;
  }
  String getStr = "GET /update?api_key="; // prepare GET string
  getStr += apiKey;
  getStr += "&field1=";
  getStr += String(value1);
  getStr += "&field2=";
  getStr += String(value2);
  getStr += "&field3=";
  getStr += String(value3);
  getStr += "&field4=";
  getStr += String(value4);
  getStr += "&field5=";
  getStr += String(value5);
  getStr += "&field6=";
  getStr += String(value6);
}
```

4. Comandos AT: Estos comandos aseguran la comunicación por Wifi entre el ESP8266 y la red de Internet.

Figura 67.

Comandos AT

```
loraiot
// send data length
cmd = "AT+CIPSEND=";
cmd += String(getStr.length());
espSerial.println(cmd);
if (DEBUG) Serial.println(cmd);
delay(100);
if(espSerial.find(">")){
    espSerial.print(getStr);
    if (DEBUG) Serial.print(getStr);
}
else{
    espSerial.println("AT+CIPCLOSE");
    // alert user
    if (DEBUG) Serial.println("AT+CIPCLOSE");
    return false;
}
return true;
}
```

5. Void Setup: se integra las diferentes comunicaciones con sus respectivos baudios, trabajar por defecto crea conflicto en la comunicación.

Figura 68.

Void Setup de ESP8266

```
loraiot
void setup() {
    DEBUG=true; // enable debug serial
    Serial.begin(9600);
    while (!Serial);
    Serial.println("LoRa Receiver");
    delay(10);
    if (!LoRa.begin(915E6)) {
        Serial.println("Starting LoRa failed!");
        while (1);
    }
    espSerial.begin(115200);
    //espSerial.println("AT+RST"); // Enable this line to reset the module;
    //showResponse(1000);
    //espSerial.println("AT+UART_CUR=9600,8,1,0,0"); // Enable this line to set esp8266 serial speed to 96
    //showResponse(1000);
    espSerial.println("AT+CWMODE=1"); // set esp8266 as client
    showResponse(1000);
    espSerial.println("AT+CWJAP=\"" + ssid + "\",\"" + password + "\""); // set your home router SSID and password
    showResponse(5000);
    if (DEBUG) Serial.println("Setup completed");
}
```

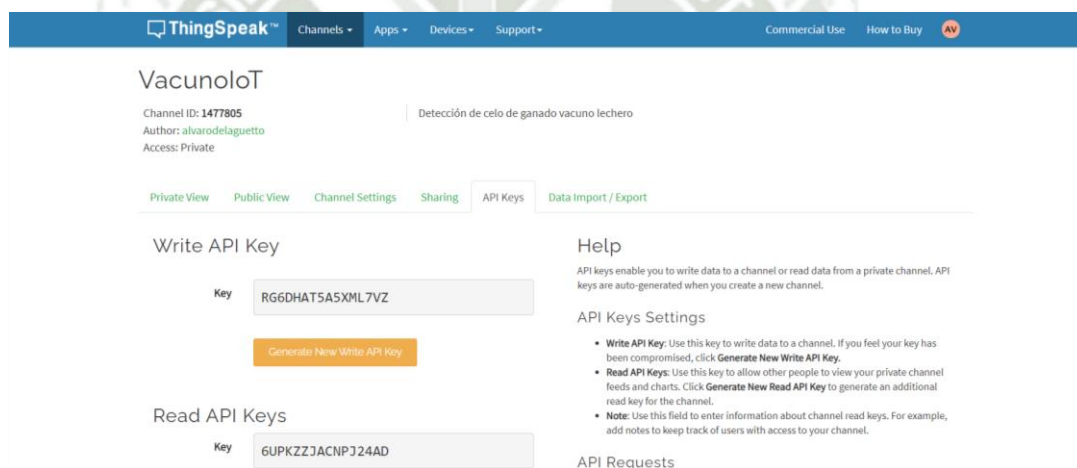
El Gateway es una pasarela de protocolo o tecnología en este caso la data llega por RF de los 915 MHz y esta se retransmite por WiFi usando los comandos AT hacia la plataforma de ThingSpeak. Mayor información del código anexo 3.2.

4.4. Plataforma ThingSpeak

Se crea una cuenta con un correo, posteriormente se crea el canal asignando un nombre de proyecto, en este caso con el nombre de Vacuno IoT. Aquí se genera la autenticación Key.

Figura 69.

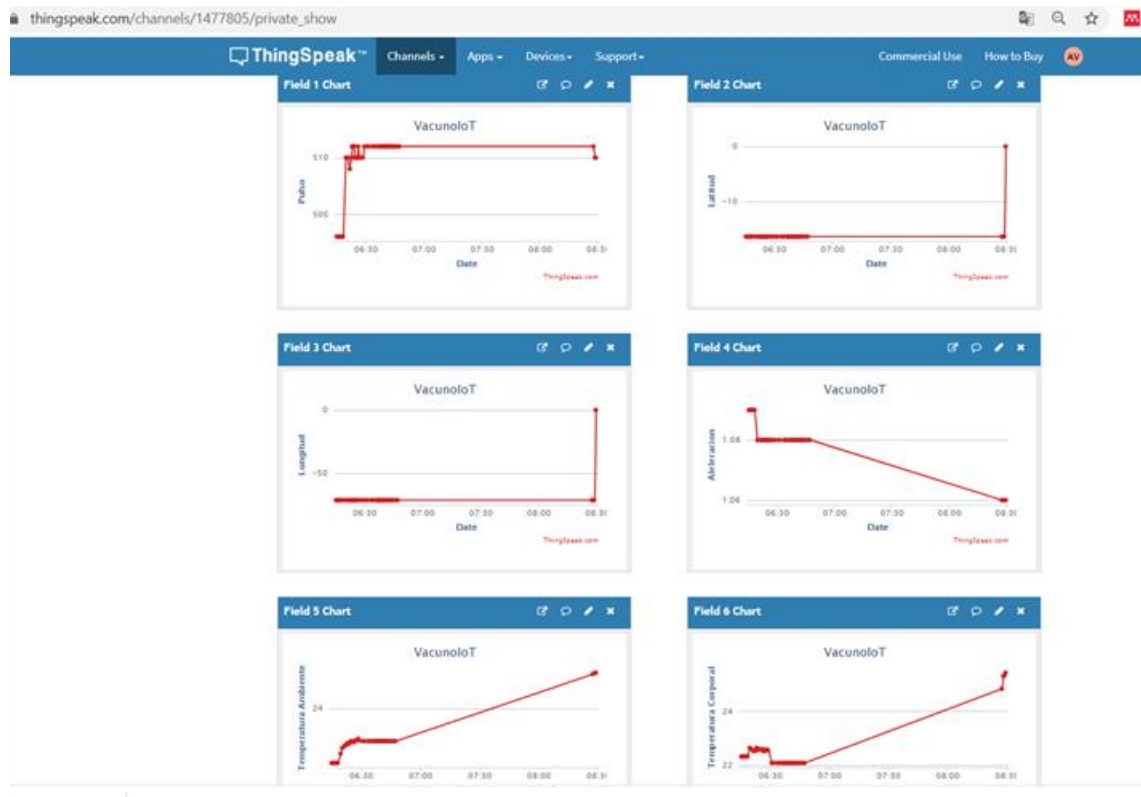
Plataforma ThingSpeak



La plataforma muestra los datos en tiempo real de los sensores con retrasos de hasta 20 seg, debido a que la transmisión se realiza por MQTT y la señal tiende a perderse.

Figura 70.

Muestra de datos en la plataforma de ThingSpeak



4.5. Prototipo de Soporte

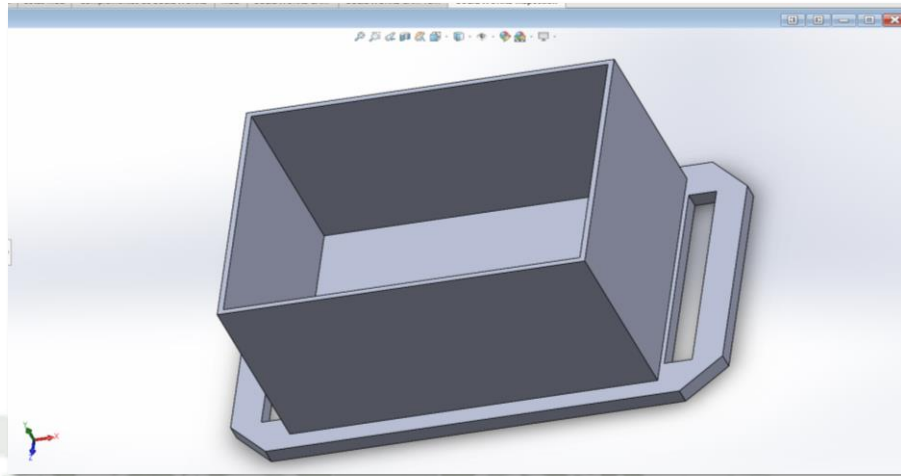
En este proyecto se hace el uso del programa de SolidWorks, a partir de las medidas de los sensores y los módulos. Las medidas son fundamental para un diseño optimo, el nodo que es el collar conta de tres partes fundamentales.

4.5.1 Base:

La base, estará pegado al cuello de las vacas, por lo tanto, los sensores fotoeléctricos (pulso y temperatura), tienen 2 agujeros, precisamente para la toma de datos con mayor precisión. La figura 52 es la base del prototipo collar que tiene 2 orejeras, estas son de un grosor considerable, con la finalidad de no romperse y soportar las fricciones causadas de las vacas.

Figura 71.

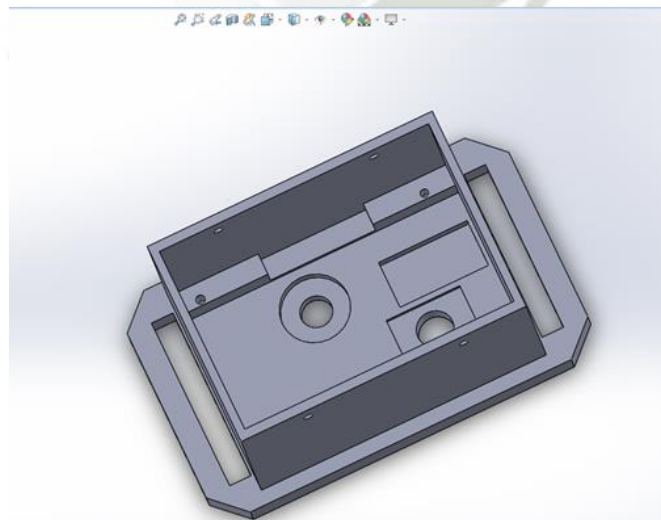
Diseño de las orejeras del collar



La figura 71 muestra el diseño completo con la base, los agujeros con forma circular son precisamente para los sensores, y la forma de grada de la figura, es justamente para separar los sensores, con el módulo Arduino Lora v1.0 915MHz. Mayor información concerniente a las medidas del prototipo Anexo 4.

Figura 72.

Diseño de la base del prototipo collar en 3D

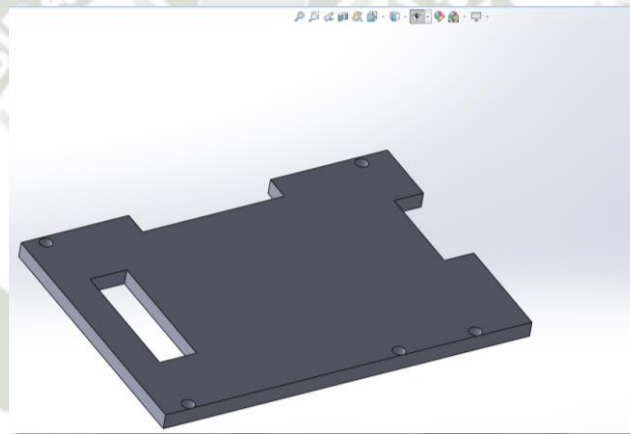


4.5.2 *Capa intermedia*

Esta capa sirve para la soportar al módulo Arduino Lora v1.0 915MHz, tiene la función de la transición de los cables hacia el módulo. Todo esto se diseñó para los movimientos bruscos del animal, y que los componentes no lleguen a desoldarse o romperse fácilmente. Es por ello las aberturas en forma de rectángulos, son para poder pasar las conexiones (cableado).

Figura 73.

Capa intermedia del prototipo



4.5.3 *Tapa*

Tiene la particularidad de ser extraíble, para realizar modificaciones o mantenimiento del dispositivo electrónico por periodos de tiempo, y los agujeros pequeños son para los pernos y así asegurar la rigidez del prototipo collar.

Figura 74.

Tapa extraíble del collar



4.6 Impresión y montaje del prototipo

4.6.1 Impresión de las piezas

Las piezas ya diseñadas anteriormente, se procede con la impresión de estas mismas, la duración fue aproximadamente de 8 horas. Se usó la impresora Artillery Genius X (figura 56).

Figura 75.

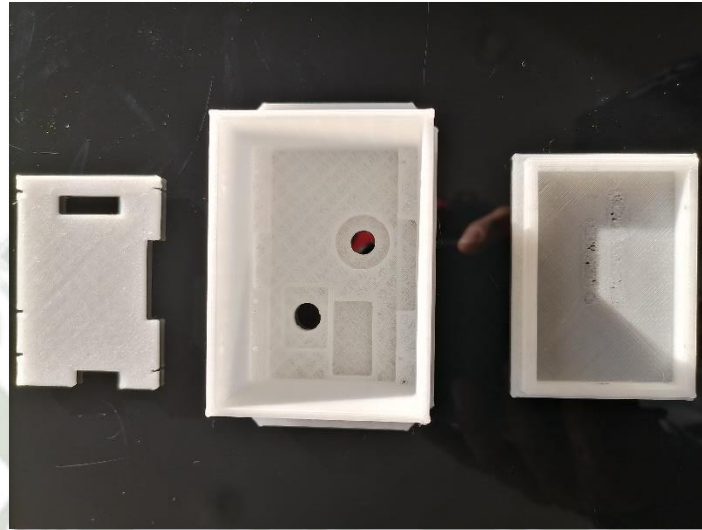
Impresión de las piezas



Como resultado se obtuvo las tres piezas fundamentales del collar, con una textura rígida y capaz de soportar las fricciones del animal.

Figura 76.

Piezas impresas en 3D

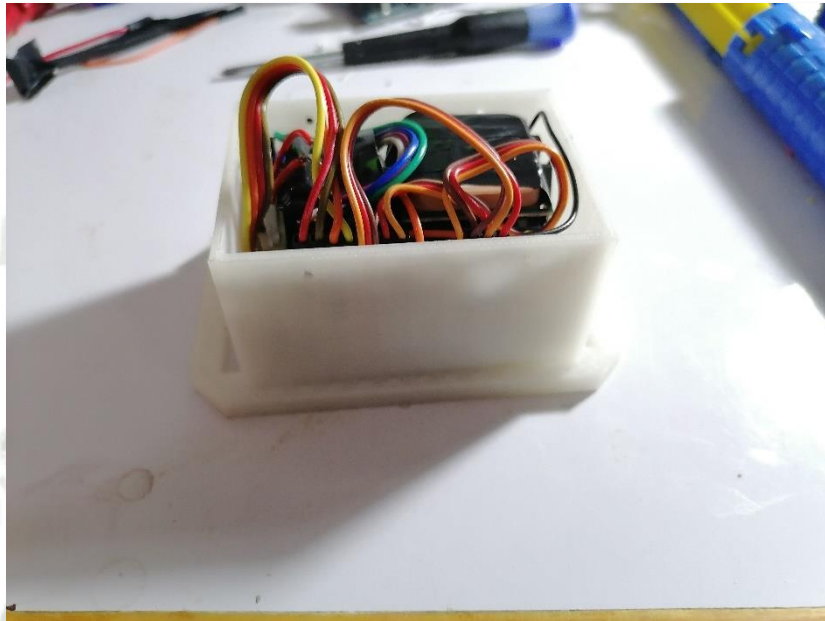


4.6.2 Montado del prototipo

Costa de la agrupación de los componentes electrónicos en el prototipo de soporte, los componentes se colocaron en sitios estratégicos y según el peso, tal es el caso de la batería, que se coloca en la parte inferior. Al inicio se colocó los 2 sensores fotoeléctricos, seguidamente la batería de litio. Se cierra con la capa de transición, y posteriormente se coloca el módulo Lora V1.0. y encima de este están el módulo acelerómetro y el de GPS.

Figura 77.

Montado del prototipo collar



4.7 Comunicación inalámbrica

A continuación, se describe la prueba transmisión de datos por comunicación inalámbrica entre el Collar, Gateway y la plataforma ThingSpeak de MathWorks. La transmisión de datos entre el Collar y Gateway, se realiza mediante la tecnología de Largo Alcance (LoRa) en los 915 MHz, la transmisión de datos entre el Gateway y ThingSpeak es por el Protocolo de Mensajería Estándar (MQTT) e Internet de las Cosas (IoT), por medio de la red inalámbrica de Wi-Fi.

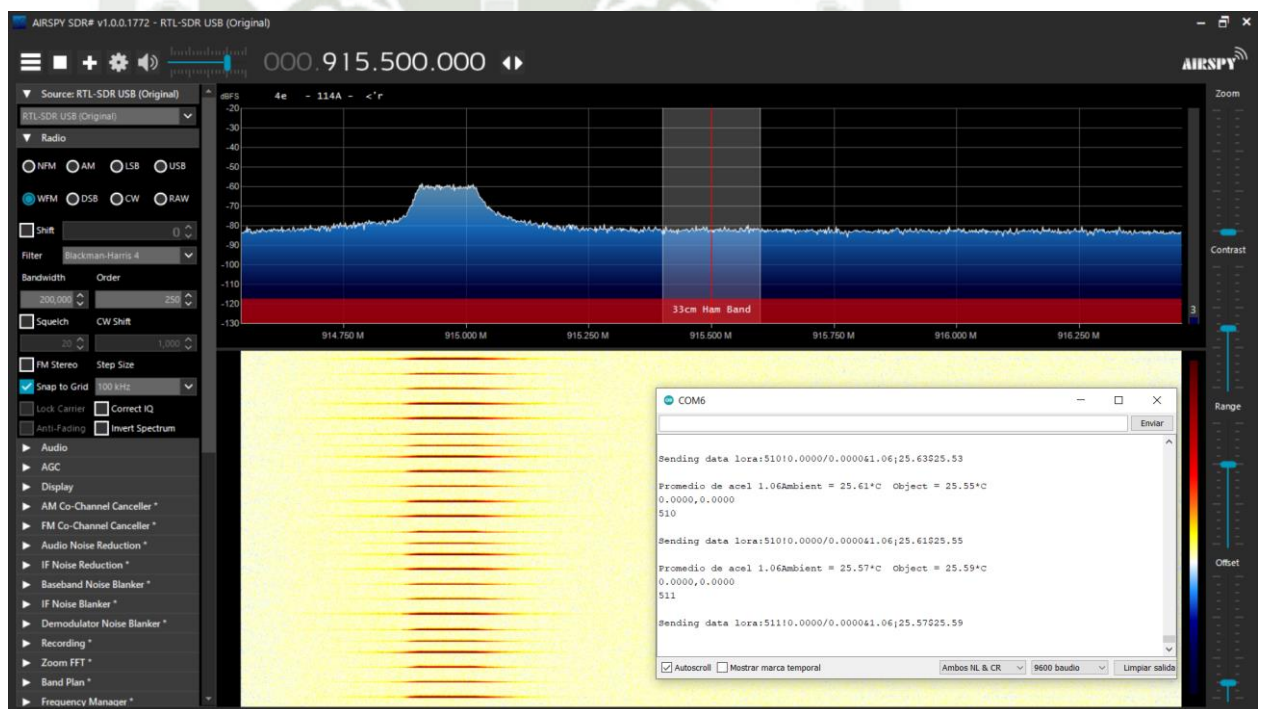
4.7.1 Collar

El collar es el transmisor de datos de los sensores, GPS, ID de las vacas en sí. Para visualizar los datos se usa los puertos de la comunicación serial de la plataforma de Arduino y la transmisión de estos datos a la frecuencia de los 915 MHz.

En la figura 59 se visualiza la cadena de datos de texto (String) por el puerto serial COM6 de Arduino. Por otra parte, la transmisión se realiza mediante la tecnología de Largo Alcance (LoRa), esto se visualiza con el SDR, y la transmisión se realiza en cadena de pulsos (CHIRP). Asimismo, el delay de la transmisión es cada medio segundo, asegurando una transmisión de datos de forma constante.

Figura 78.

Captura de pantalla de la transmisión de datos



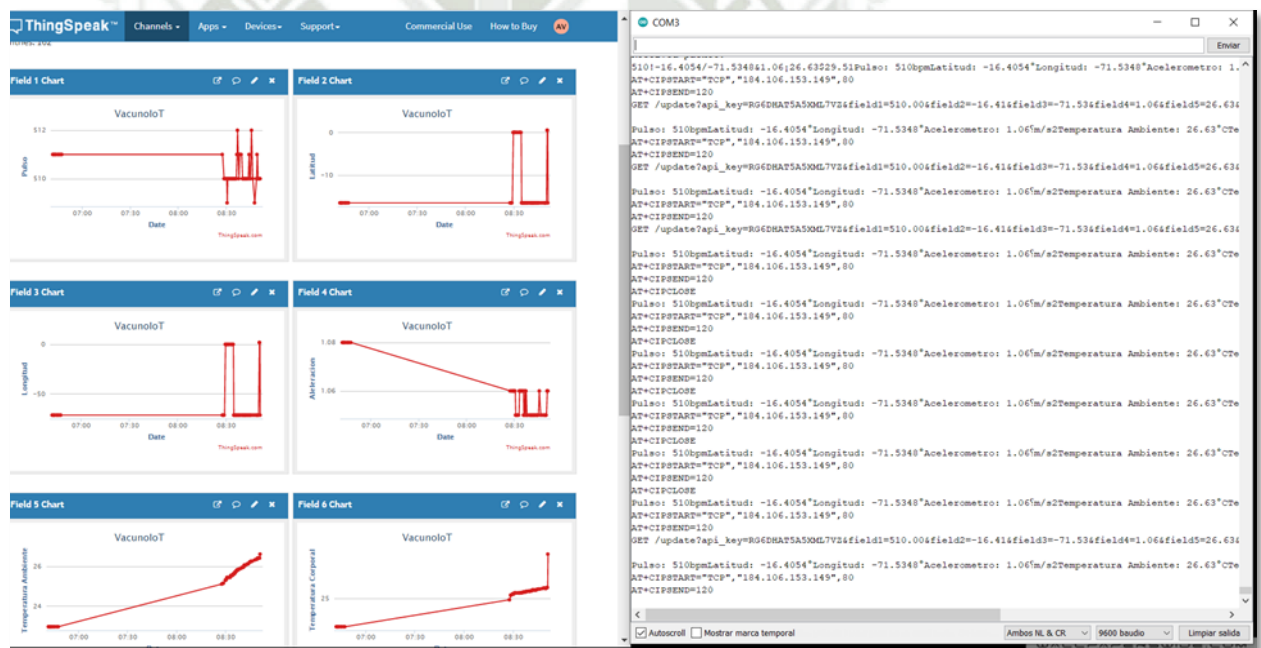
4.7.2 Gateway

El Gateway, es la pasadera entre LoRa y MQTT hacia la plataforma de ThingSpeak. En la figura 60, en el lado derecho se muestra la transmisión de datos en tiempo real y en el lado izquierdo se muestra la recepción y el almacenamiento de datos.

Es decir, se registra los datos de temperatura corporal, temperatura ambiente, coordenadas de GPS, pulso y la aceleración.

El Gateway recibe la data por cadena de textos (string) desde el collar (nodo adquisición de data), también el Gateway retransmite la data gracias al módulo ESP8266, ya que este último usa la comunicación inalámbrica de WiFi para realizar la conexión por MQTT en la plataforma de ThingSpeak, y allí se muestran y almacena los datos.

Figura 79.
Comunicación del Gateway hacia ThingSpeak



4.7.3 Integración de la comunicación inalámbrica

En este apartado se integra el sistema comunicación inalámbrica, con los componentes de hardware y software, como se ve en la figura 59, y se da la conformidad de la buena comunicación inalámbrica que existe.

La comunicación entre el collar y el Gateway tiene la potencia de transmisión de 24dBm y un delay de 0.5 segundos como se puede visualizar en la figura 59. Mientras

tanto la subida de datos hacia la plataforma de ThingSpeak, tiene un delay máximo de 5 min, esto se debe a la velocidad de internet, pero con el transcurso del tiempo el delay disminuye hasta los 25 segundos.

Figura 80.

Integración y pruebas de comunicación



4.8. APP Inventor IoT

En la plataforma de MIT App Inventor, se desarrolló la aplicación móvil a partir del enlace y la extracción de datos de la plataforma ThingSpeak.

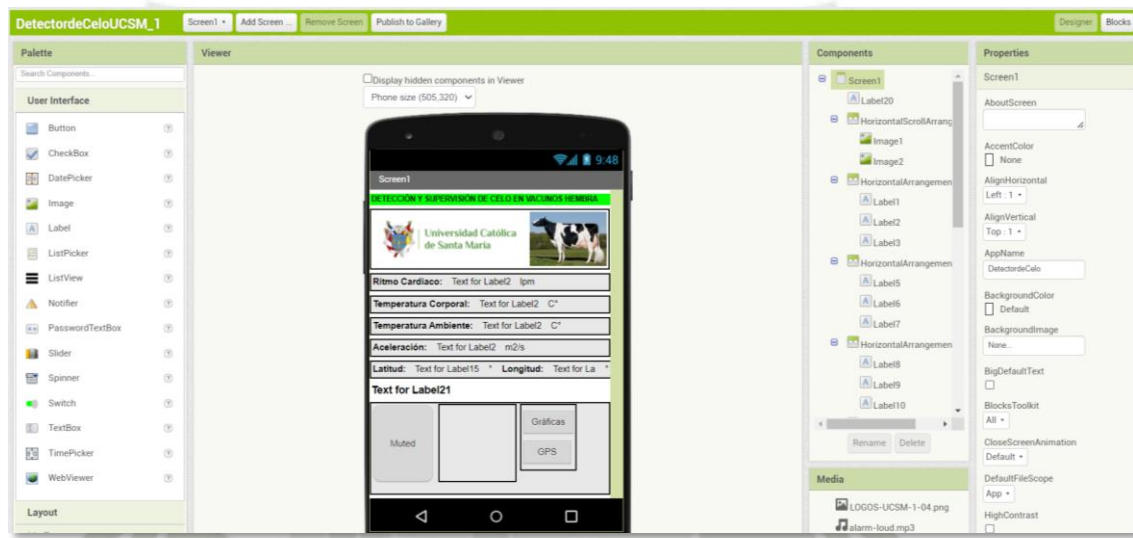
En la aplicación se visualiza los 6 datos de campo, como es el pulso cardiaco, la temperatura corporal, la temperatura ambiente, la aceleración y las coordenadas de GPS, como se muestra en la figura 62.

Está conformado por tres ventanas, donde en la principal se visualizan los datos de las vacas en tiempo real, además existe 3 botones. El botón de muted, es para silenciar

la alarma y vibración del teléfono móvil, el botón de GPS es para localizar el posicionamiento, y también cuenta con el visualizador de gráficos (botón Graficas).

Figura 81.

Captura de pantalla de la APP



4.8.1 Comunicación entre ThingSpeak y MIT App Inventor

La comunicación entre las dos plataformas de ThingSpeak y MIT App Inventor, se realiza por la Notación de objetos de JavaScript (JSON) que se comparte mediante API Keys de la plataforma de ThingSpeak.

En la figura 63 se muestra la captura de pantalla de los datos que se envían por JSON, esto se genera gracias al enlace de la fila número 2. En la fila 5 está la sección los canales que se crean en ThingSpeak y en la fila 21 están los campos que se mandan del Gateway hacia la plataforma de ThingSpeak.

Figura 82.*Enlace de JSON*

```
1 // 20220411002840
2 // https://api.thingspeak.com/channels/1477805/feeds.json?results=2
3
4 {
5   "channel": {
6     "id": 1477805,
7     "name": "VacunoIoT",
8     "description": "Sistema de detección y supervisión de celo para ganado vacuno hembra\r\n",
9     "latitude": "0.0",
10    "longitude": "0.0",
11    "field1": "Pulso",
12    "field2": "Latitud",
13    "field3": "Longitud",
14    "field4": "Aleleracion",
15    "field5": "Temperatura Ambiente",
16    "field6": "Temperatura Corporal",
17    "created_at": "2021-08-17T12:02:27Z",
18    "updated_at": "2022-04-06T09:19:56Z",
19    "last_entry_id": 4071
20  },
21  "feeds": [
22    {
23      "created_at": "2022-04-08T07:37:53Z",
24      "entry_id": 4070,
25      "field1": "111.00",
26      "field2": "-16.4054",
27      "field3": "-71.5347",
28      "field4": "1.02",
29      "field5": "25.59",
30      "field6": "24.27"
```

4.8.2 Desarrollo del código de bloques

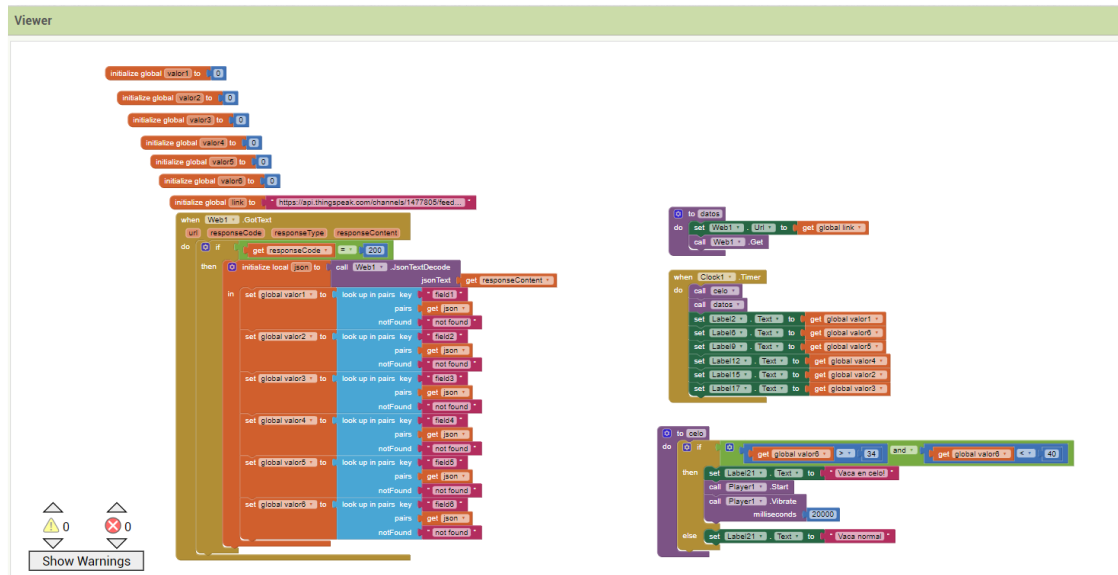
A partir de la del enlace tipo JSON, se desarrolló el código de bloques. En la ventana principal (Screen1) se crea 7 variables globales, donde los 6 primeros son para los datos de campo (feeds) y una variable para el link de ThingSpeak, figura 83.

Se creo el bucle WhenWeb1.GotText, este permite buscar los campos (fields) por su numeración del enlace de ThingSpeak.

En el bloque de datos se hace el llamado de la URL y seguidamente llama al bucle antes mencionada para la búsqueda de variables. Posteriormente está el reloj que sirve para actualizar las variables y mostrar en la Aplicación móvil, más detalles en el Anexo55\$.

Figura 83.

Diagrama de bloques de la APP

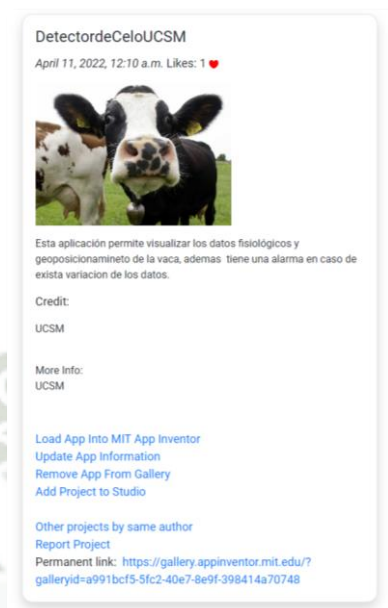


4.8.3 Enlace de la aplicación móvil

El programa de MIT App Inventor permite compartir el programa completo, con todas sus extensiones. Para esto se realiza una descripción breve del proyecto de la aplicación móvil, con una imagen referencial y genera el link <https://gallery.appinventor.mit.edu/?galleryid=a991bcf5-5fc2-40e7-8e9f-398414a70748> que se muestra en la figura 84.

Figura 84.

Enlace de la aplicación móvil



CAPÍTULO V

5. ANÁLISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS

5.1 Análisis de data

En esta sección se realiza el análisis de las variables fisiológicas capturadas de 4 vacas. La prueba se llevó a cabo en uno de los distritos de la ciudad de Arequipa. Utilizando el prototipo mediante su módulo GPS, se registró la ubicación con una latitud de $16^{\circ}28'46.6''S$ y una longitud de $71^{\circ}31'30.4''W$.

La adquisición de datos se inició el 12 de enero de 2022. Algunas de las pruebas se realizaron antes de que las vacas entraran en su ciclo de celo, mientras que otras se llevaron a cabo durante su ciclo de celo. Esto se muestra en la figura 85 y se valida con el anexo 5, donde se encuentra registrada la información recopilada.

Figura 85.

Prototipo collar en las Vacas



Por otro lado, en la plataforma de base de datos de ThingSpeak se almacenó la información y también se extrajo en formato CSV. Para extraer los datos, se selecciona la zona horaria de Lima (GMT-05:00) y luego se convierten en un archivo de Excel (.xlsx). En este archivo de Excel se realizan cálculos estadísticos y se aplican filtros a los datos de las variables fisiológicas de las vacas, con el objetivo de determinar cuándo activar la aplicación de alarma para Android.

5.1.1 Temperatura

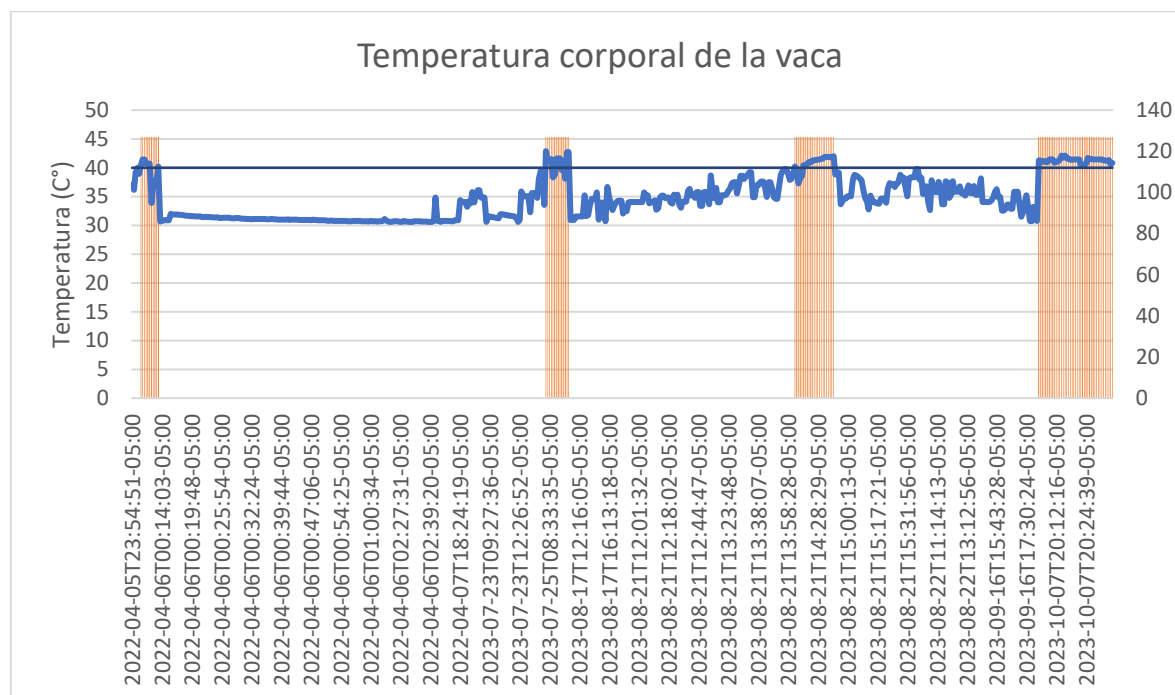
La temperatura en la zona (establo) varía generalmente entre los 12 °C hasta los 30 °C, y las muestras recogidas en diferentes estaciones del año 2022 y 2023, por lo general las vacas lecheras presentan temperaturas entre 37°C y 40.9°C (Murray, 2013) y en su ciclo de celo supera estas temperaturas.

En la Figura 86 se muestra la temperatura corporal de las vacas en color azul, la cual varía a lo largo del tiempo. Se ha marcado un umbral en 40°C y se han identificado cuatro intervalos donde las vacas presentan anomalías en su ciclo de celo. Las líneas horizontales representan los picos de temperaturas elevadas de las vacas, como se muestra en el Anexo 5.

El 5 de abril de 2022, aproximadamente a las 11 pm, se inicia el ciclo de celo de las vacas. Por lo general, el ciclo de celo en vacas lecheras dura 24 horas, por lo que finaliza el 6 de abril. Además, en la figura 86 se observa que el 25 de julio de 2023 las vacas vuelven a entrar en celo, y se repite el 21 de agosto y el 7 de octubre. En resumen, durante su ciclo de celo, las vacas presentan temperaturas entre 40 y 42 grados centígrados.

Figura 86.

Variación de la temperatura corporal



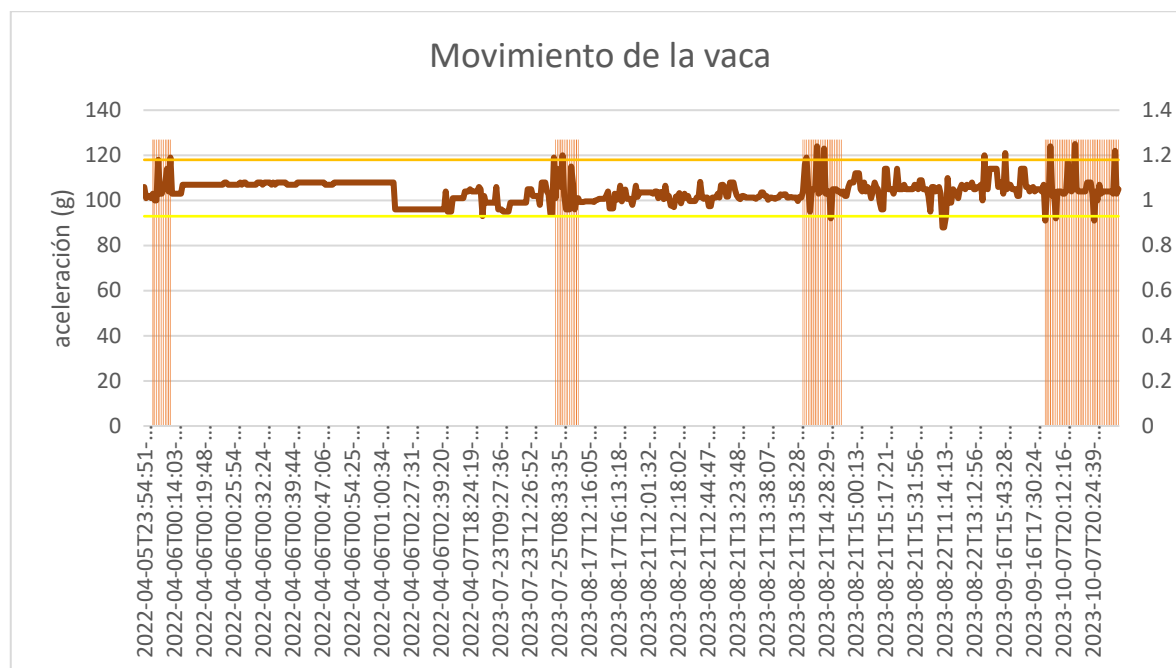
5.1.2 Aceleración

La aceleración está determinada por el módulo MPU-6050, y sigue la siguiente ecuación: ($a = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$) donde los valores máximos para cada eje son de +/-2g, lo que equivale a un máximo de 2 y -2 por eje. En las pruebas, el promedio de aceleración oscila entre 0.8 y 1.2. Sin embargo, los cambios más significativos ocurren durante el período de celo de las vacas, se muestra con las barras de color verde horizontal como se ve en la figura 68, donde los valores se encuentran fuera del rango de 0.93 y 1.8. Y estos cambios son indicativos de la inquietud de las vacas, lo cual se manifiesta en su

comportamiento molesto hacia las demás vacas en el establo, así como en su falta de apetito, como se muestra en la figura 87.

Figura 87.

Variación del movimiento de las vacas

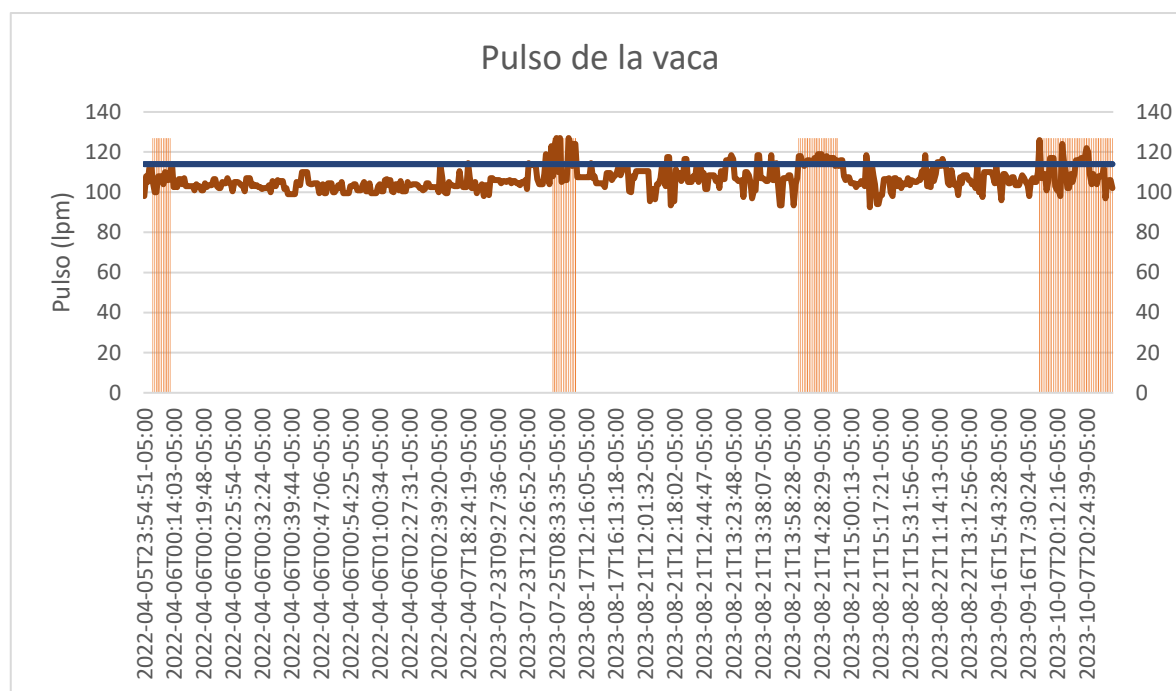


5.1.3 Pulso

El pulso de las vacas varía entre 80 y 120 latidos por minuto, según (CONtextogadero, 2019). Durante la prueba con el prototipo, se capturaron valores de 90 a 130 latidos por minuto. Sin embargo, durante el ciclo de celo de las vacas (representado por las líneas verticales de color verde), el pulso supera los 114 latidos por minuto, lo cual se destaca con una línea horizontal de color morado, como se muestra en la figura 88. En resumen, durante el ciclo de celo, el pulso de las vacas lechera aumenta en más de 114 latidos por minuto.

Figura 88.

Datos de pulso de las vacas



5.2 Interpretación de la data

Al analizar las gráficas de las figuras 86, 87 y 88, se puede interpretar que las vacas experimenta cambios fisiológicos significativos durante su ciclo de celo, según se muestra en la tabla 7. En esta tabla se indican los umbrales mínimos y máximos capturados durante dicho ciclo.

Tabla 7.*Interpretación de datos*

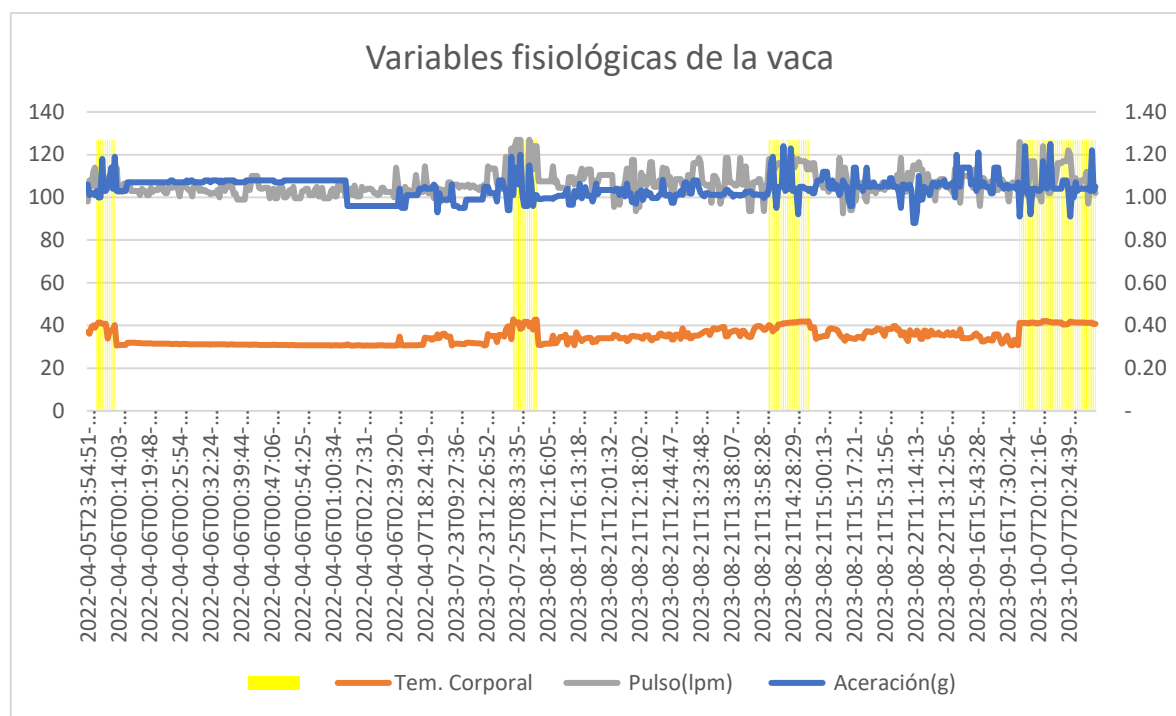
Variable fisiológica	Umbral Mínimo	Umbral Máximo
Temperatura corporal	40°C	42°C
Pulso	114 lpm	130 lpm
Aceleración de moviendo	0.93 g	1.80 g

A continuación, se muestra en la figura 89 el ciclo de celo de las vacas, indicado mediante el rango de las barras horizontales. En este análisis, se observa que la variable de temperatura es más estable en comparación con el pulso de las vacas y la aceleración. Esto se debe a que las pruebas del prototipo se realizaron con vacas adiestradas, las cuales son más dóciles.

En resumen, durante el ciclo de celo, las vacas experimentan los siguientes cambios fisiológicos: incremento en la temperatura corporal, aumento en los latidos por minuto del corazón y movimientos más rápidos y desordenados.

Figura 89.

Variables fisiológicas

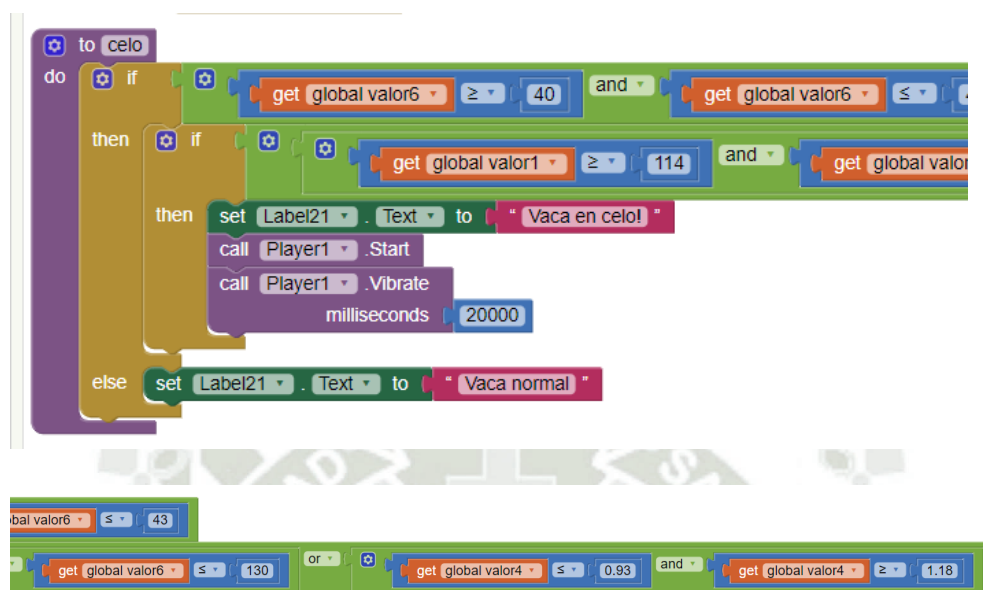


5.3 Condición de la alarma

A partir de la tabla 7, se condiciona la activación de la alarma, para ello la primera condición es que la temperatura corporal de las vacas lecheras en su ciclo de celo debe de superar los 40°C y menos a 43°C, y a partir de esto depende la condición que la los pulsos de las vacas que deben de ser mayores a los 114 lpm y menores a los 130 lpm o la otra condición que se debe de cumplir es de que la aceleración debe de superar los 0.93 g y los 1.8 g, como se muestra en la figura 90.

Figura 90.

Condición de alarma



```

to celo
do
  if (get global valor6 >= 40 and get global valor6 <= 130)
  then
    if (get global valor1 >= 114 and get global valor4 <= 0.93 and get global valor4 >= 1.18)
    then
      set Label21 . Text to "Vaca en celo!"
      call Player1 . Start
      call Player1 . Vibrate
      milliseconds 20000
    else
      set Label21 . Text to "Vaca normal"
  
```

5.4 Autonomía del prototipo

Se realizaron pruebas para capturar las variables fisiológicas de las vacas, tanto días antes de que entrara en su ciclo de celo como durante el mismo. Además, la duración aproximada de la batería durante las pruebas es de 6 horas, según se estima en la tabla 8, donde se muestra el consumo de corriente de los componentes del collar.

Tabla 8.

Dimensionamiento de corriente de trabajo

Componente	Modelo	Consumo (mA)	Tiempo (h)	Total
Sensor de Pulso	HR0214-37	3.6	1	3.6
Sensor de Temperatura	MLX90614ESF	2.5	1	2.5
GPS	NEO-M8N HMC5983 GPS	55	1	55
Acelerómetro	ADXL335	0.35	1	0.35
Nodo Radio LoRa	v1.0 433MHz/915MHz	93	1	93
Total (mA/h)				154.45

Para la estimación de la duración de la batería del collar, corresponde a la siguiente ecuación:

$$T(\text{horas}) = \frac{\text{Capacidad de la batería (mA)}}{\text{Corriente} \left(\frac{\text{mA}}{\text{h}} \right)}$$

$$T(\text{horas}) = \frac{1000 \text{ (mA)}}{154.45 \left(\frac{\text{mA}}{\text{h}} \right)} = 6.47 \text{ horas}$$

Por lo tanto, la duración de la batería es de aproximadamente 6 horas y 28 minutos. Durante las pruebas, se utilizaba un tiempo de aproximadamente 5 horas para aprovechar al máximo la potencia de transmisión de datos, ya que el módulo Lora consume 80 mA.

5.5 Presupuesto

Los costos son aproximados, ya que el proyecto se desarrolló durante la pandemia de COVID-19. Muchos de los materiales fueron importados, mientras que otros fueron adquiridos en el mercado local. Además, se incluyen los gastos relacionados con la fabricación de piezas en 3D, programación, ensamblaje y movilidad.

Tabla 9.

Presupuesto de la elaboración del proyecto.

	Materiales o Tarea	Cantidad	Soles
Collar	Sensor de Pulso	1	57.76
	Sensor de Temperatura	1	255.19
	Modulo GPS	1	297.60
	Modulo acelerómetro	1	182.28
	Nodo Radio LoRa V1.0	1	254.00
	Carcasa de protección 3D	1	500.00
	Candado	1	20.00
	Correa Nailon	2	50.00
	Batería Lipo	1	30.00
	Cargador Lipo	1	15.00
Gateway	Nodo Radio LoRa V1.0	1	254.00
	Modulo WiFi	1	134.00
	Arduino UNO R3	1	146.64
	Conector USB y cargador de 5V	1	50.00
	Carcasa de protección 3D	1	450.00
Programación			200.00
	Total		S/ 2896.47

CONCLUSIONES

Luego de realizar las pruebas pudimos verificar que el collar es una buena opción para medir las señales fisiológicas del ganado vacuno, sin significar para ellos una molestia o incomodidad a lo largo de su uso.

El uso de comunicación LoRa, ya que nos permite un amplio rango de alcance para la transferencia de datos, nos llevó a una correcta comunicación con el dispositivo Gateway fijo, con que se envió las señales a la nube, para así poder analizarlas y almacenarlas en la base de datos.

El uso de una base de datos libre y un aplicativo que envía señales y te muestra la información de la nube, facilitan el trabajo del ganadero ya que no requiere de estar en su oficina para poder ver las señales fisiológicas de su ganado.

En el estudio de las señales fisiológicas de las vacas extraídas de ThingSpeak, se observa que, durante el ciclo de celo, la temperatura corporal de las vacas muestra variaciones estables que superan los 40°C. Además, la frecuencia cardíaca aumenta, superando los 114 latidos por minuto. En cuanto al acelerómetro, se detectan cambios con umbrales inferiores a 0.93g y superiores a 1.18g.

En tanto luego de las pruebas y análisis de la data podemos concluir que la probabilidad de celo en ganado vacuno si se puede supervisar con el dispositivo propuesto de una manera más tecnificada que el actual método usado por los ganaderos.

OBSERVACIONES

Resultó ser más útil utilizar el gestor de librerías de Arduino para el reconocimiento y configuración de los dispositivos. Sin embargo, se encontró un inconveniente con el módulo de GPS y el sensor de pulso, ya que el programa en Arduino entraba en conflicto y solo leía la información del GPS. La solución que se encontró fue instalar una librería externa específica para el módulo GPS.

La transmisión de la data (señales fisiológicas) del collar al Gateway se realiza por cadenas de texto, de la misma manera desde el Gateway hacia el servidor IoT de ThingSpeak, pero este tiene inconvenientes al tener gran cantidad de variables, en el proyecto se usó 8 variables y es porque se disminuyó los decimales de algunos de los variables menos del GPS, ya que el intervalo de subida disminuye, y genera cruces con los datos. Y si la conexión de internet es lenta, el intervalo de subida supera los 10 minutos.

La plataforma IoT de ThingSpeak se comunica por archivo de JSON con el desarrollador de aplicaciones de MIT App Inventor.

Para activar de manera confiable la alarma del teléfono móvil, se considera como condición principal la variación de la temperatura corporal de las vacas. Además, se han tomado dos condiciones secundarias para reforzar esta activación: la variación de los latidos por minuto y la variación de la aceleración.

RECOMENDACIONES

Se recomienda que el prototipo collar tenga un material de peso mayor a los 25g para que tenga estabilidad en el cuello de la vaca. Y rasurar el pelaje de la vaca, para que tengan una mayor precisión los sensores, en la de las variables fisiológicas de la vaca (su temperatura corporal y su pulso cardiaco).

Se recomienda no usar las mismas librerías para el GPS y Sensor de pulso del Gestor de librerías de Arduino 1.8.19, ya que genera problemas de sincronización en la transmisión de datos.

Si se busca usar más variables como sensor de glucosa, PH u otros, se recomienda cambiar el módulo de LoRa v1.0 ya que cuenta con pines limitados para sensores periféricos.

Se recomienda convertir los datos de las variables a flotantes (trabajar con menos decimales), ya que esto dificulta la transmisión de transmisión de datos desde el nodo (collar), Gateway (estación pasarela LoRa a MQTT). Y más aún si la comunicación de Internet es pésima.

Para futuras investigaciones sobre esta línea de investigación, se recomienda usar Machine Learning (algoritmo de predicción) y así tener fiabilidad en el estudio de la data y tener mayor precisión en la detección de celo de la vaca.

REFERENCIAS

- Andina. (2020, junio 1). Unas 452,000 familias se dedican a la producción de leche y sus derivados. Agencia Peruana de Noticias «Andina».
- Andina. (2020). Unas 452,000 familias se dedican a la producción de leche y sus derivados. Agencia Peruana de Noticias «Andina».
- Benitez Silva, C. (2019). PROTOTIPO DE COLLAR DE MONITOREO PARA GANADO USANDO TECNOLOGÍA LPWAN. Obtenido de <http://manglar.uninorte.edu.co/bitstream/handle/10584/8501/GRUPO2%20IEN%20INFORMEFINAL.pdf?isAllowed=y&sequence=3>
- Bosque Casasola, H. (2008). EVALUACIÓN DEL MÉTODO DE LA PRESINCRONIZACIÓN EN VACAS DE LECHERÍA ESPECIALIZADA. Obtenido de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/7433/1/Tesis%20Med%20Vet%20Haroldo%20Alberto%20Bosque%20Casasola.pdf>
- Bravo, J. (2010). Instalaciones domóticas. Obtenido de https://mhe.es/cf/c_electricidadelectronica/8448171446/archivos/8448171446_catalogo%20promocional.pdf
- Cayanne. (s.f.). *community.mydevices.com*. Obtenido de <https://community.mydevices.com/t/cayenne-documentation/150>
- Cinjordiz. (2021). Arduinos. Obtenido de <https://uelectronics.com/producto/arduino-uno-r3-smd/>
- Clark, M. (2018). The radio sky at meter wavelengths: m-mode analysis imaging with the ovro-lwa. Obtenido de <https://iopscience.iop.org/article/10.3847/1538-3881/aac721/meta>

CONtextoganadero. (03 de Abril de 2019). Vigile las constantes fisiológicas en bovinos.

Obtenido de <https://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/vigile-las-constantes-fisiologicas-en->

bovinos#:~:text=Las%20pulsaciones%20normales%20deben%20estar,minuto%E2%80%9D%2C%20asever%C3%B3%20el%20profesional.

Cui, Zhang, Luo, & Zhang. (2019). WSMS: Wearable stress monitoring system based on

IoT multi-sensor platform for living sheep transportation. Obtenido de <https://www.mdpi.com/447504>

del Valle Hernández, L. (2020). *programarfacil.com*. Obtenido de

<https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/cayenne-mydevices-arduino-sensores-iot/>

Dibaba, H. (2018). IoT Implementation with Cayenne Platform. Metropolia University of Applied Sciences.

Garbarino. (2011). Protocolos para redes inalámbricas de sensores. Obtenido de

<https://www.academia.edu/download/52022675/Garbarino.pdf>

Guaca Girón, N. A., & López Hurtado, M. A. (2020). Selección de tecnologías LPWAN para la implementación de un sistema IoT aplicado a la lombricultura.

EXPOTECH 2020 Ciencia, Ingeniería y Sociedad “Tecnologías exponenciales para la consolidación de la industria 4.0”. Colombia: Universidad Nacional, Abierta y a Distancia.

Gutierrez, A. (2015). Diseño de una red inalámbrica de sensores con aplicación en el

desarrollo de agricultura de precisión utilizando energía renovable en la región Arequipa. Obtenido de <https://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/handle/UCSM/3030>

- Jambrina, E., & Galocha, I. (2010). Desarrollo de un sistema de adquisición, transmisión y monitoreo para una red de sensores de precipitación. Obtenido de https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_automatizacion/275/
- Lastminuteengineers. (2021). Problemas con sensor barométrico BME280. Obtenido de <https://proceedings.conference.unpas.ac.id/index.php/icoissee/article/download/664/543/>
- Loureiro Garrido, R. (2015). Estudio Plataformas IoT. PFC.
- MinTIC. (2019). Propuesta metodológica para promover el uso adecuado del espectro radioeléctrico mediante una plataforma TIC. Obtenido de <https://bdigital.uexternado.edu.co/handle/001/2187>
- MIT App Inventor Gallery. (2022). MIT App Inventor Gallery. Obtenido de <https://gallery.appinventor.mit.edu/?galleryid=a991bcf5-5fc2-40e7-8e9f-398414a70748>
- Molina, C. (2019). Tipos y topologías de Redes. Obtenido de <https://www.franciscomolina.cl/tipos-y-topologias-de-redes/>
- Murray, R. (18 de 11 de 2013). *Lechería*. Obtenido de <https://www.engormix.com/ganaderia-leche/articulos/temperatura-fertilidad-t30461.htm>
- Rivas, B. (2013). Transmisor. Obtenido de https://personales.unican.es/perezvr/pdf/CH5ST_Web.pdf
- Rivas, O. (2015). Transmisión inalámbrica de señales mediante el espectro de luz visible. Obtenido de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2518-44312015000100002&script=sci_arttext

- Rivera García, Y. (2019). SISTEMA DE MONITOREO DE GANADO BOVINO. Obtenido de <https://docplayer.es/84685543-Sistema-de-monitoreo-de-ganado-bovino.html>
- Romero Marin, F. (2018). Diseño de una red interna de telemedicina para monitoreo de equipos de cardiología del Hospital General Babahoyo (IESS). Obtenido de <http://201.159.223.180/bitstream/3317/11345/1/T-UCSG-PRE-TEC-ITEL-317.pdf>
- Schoeffler. (2017). GY-521 Module (MPU-6050 MEMS). Obtenido de <https://mschoeffler.com/2017/10/05/tutorial-how-to-use-the-gy-521-module-mpu-6050-breakout-board-with-the-arduino-uno/>
- Solera, E. (2018). Modulación LoRa: Long Range Modulation. Obtenido de <https://medium.com/pruebas-de-laboratorio-de-la-modulaci%C3%B3n-lora/modulaci%C3%B3n-lora-4ad74cabd59e>
- Soni, D., & Makwana, A. (2017). A SURVEY ON MQTT: A PROTOCOL OF INTERNET OF THINGS(IOT). India: CHARUSAT University, India.
- StoreArduino. (s.f.). <http://platea.pntic.mec.es>. Obtenido de http://platea.pntic.mec.es/~mhidalgo/documentos/02_PlataformaArduino.pdf
- Useche. (2020). Desarrollo de un sistema de adquisición, transmisión y monitoreo para una red de sensores de precipitación. Obtenido de <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/13388/1/TrianaUsecheJordanCamilo2>
- Zapata Diaz , E. F., & Angel Rodriguez , J. A. (2020). Desarrollo de un sistema de adquisición, transmisión y monitoreo para una red de sensores de precipitación. UNIVERSIDAD DE LA SALLE - FACULTAD DE INGENIERÍA .

ANEXOS

ANEXO 1: MATERIALES

Materiales utilizados

Se divide en dos partes, la primera parte está conformado por la adquisición de data (Collar) y la segunda por la pasarela de comunicación entre LoRa y MQTT (Gateway).

En las dos siguientes tablas se muestra el material cantidades y el modelo.

Tabla 10.

Materiales del collar

Collar- Materiales	Cantidad	Modelo
Sensor de Pulso	1	HR0214-37
Sensor de Temperatura	1	SE177-GY906-MLX90614ESF
GPS	1	NEO-M8N HMC5983 GPS
Acelerómetro	1	MPU-6050
Nodo Radio LoRa	1	v1.0 433MHz/868MHz/915MHz
Batería de Lipo	1	1200 mAh de 3.7 Voltios
Protección	1	Impresión en 3D (Anexo2)
Correa	2	Correas
Candado	1	De 100 gramos

Tabla 11.

Materiales para Gateway

Gateway - Materiales	Cantidad	Modelo
Nodo Radio LoRa	1	HTIT-WB32LA915
Wi-Fi conector	1	ESP8266 módulo WIFI
Placa de desarrollo	1	UNO R3 ATmega328P
Conector USB y cargador	1	Cargador de 5V
Protección	1	Impresión en 3D (Anexo2)

ANEXO 2: CÓDIGO ARDUINO

Código de adquisición de datos (Collar).

El algoritmo se desarrollado en C/C++, tiene 3 funciones. La primera tarea que realiza es la adquisición de datos, seguidamente realiza el proceso de escalamiento de los datos y por último realiza la transmisión de datos hacia el Gateway.

```
///Librerias de Lora////////
#include <SPI.h>
#include <LoRa.h>
////////////////////////////////////
#define USE_ARDUINO_INTERRUPTS true // Set-up low-level interrupts for
most accurate BPM math.
#include <PulseSensorPlayground.h> // Includes the
PulseSensorPlayground Library.
#include <SoftwareSerial.h>//gps para el usar con los puertos de Tx,Rx
#include <TinyGPS++.h>//gps
#include <basicMPU6050.h> //temp
#include <Adafruit_MLX90614.h> //acel
Adafruit_MLX90614 mlx = Adafruit_MLX90614();//acel
basicMPU6050<> imu; //temp Create instance
TinyGPSPlus gps;
////////////////////////////////////
/*Variables*/
static const int RXPin = 4, TXPin = 3;//gps
float latitud;
float longitud;
static const uint32_t GPSTBaud = 9600;//gps
// The serial connection to the GPS device
SoftwareSerial ss(RXPin, TXPin);
int PulseSensorPurplePin = 0; // Pulse Sensor PURPLE WIRE connected to
ANALOG PIN 0
int Signal; // holds the incoming raw data. Signal value
can range from 0-1024
////////////////////////////////////
float a;
float ta;
float tc;
////////////////////////////////////
// LoRa message variable
String message;

void setup() {

    //////////Sensores////////
    Serial.begin(9600);
```

```

delay(10);
ss.begin(GPSBaud);
mlx.begin(); //acel
imu.setup(); // Set registers - Always required
imu.setBias(); // Initial calibration of gyro
//////////Lora//////////
while (!Serial);
Serial.println("LoRa Sender");

if (!LoRa.begin(915E6)) {
  Serial.println("Starting LoRa failed!");
  while (1);
}
}

void loop()
{
  //////////Aceleromentro//////////
  imu.updateBias();// Update gyro calibration
  Serial.print("Promedio de acel ");
  a=sqrt(pow(imu.ax(),2)+pow(imu.ay(),2)+pow(imu.az(),2));
  Serial.print(a);
  //////////Sensor de temperatura/////
  Serial.print("Ambient = ");
  ta=mlx.readAmbientTempC();
  Serial.print(ta);
  Serial.print("C\tObject = ");
  tc=mlx.readObjectTempC();
  Serial.print(tc); Serial.println("C");
  //////////*GPS*//////////
  while (ss.available()>0){
    gps.encode(ss.read());
    if (gps.location.isUpdated()){
      latitud = gps.location.lat();
      longitud= gps.location.lng();
      break;
    }
  }
  Serial.print(latitud,4);
  Serial.print(",");
  Serial.println(longitud,4);
  /*end GPS*/
  //////////Sensor de Pulso//////////
  Signal = analogRead(PulseSensorPurplePin); // Read the PulseSensor's
  value.

```

```

Serial.println(Signal); // Send the Signal value to
Serial Plotter.
Serial.println();
//////////Mensaje en string//////////
message = String(Signal) + "!" + String(latitud,4)+ "/" +
String(longitud,4)+ "&" + String(a)+ "i" + String(ta)+ "$" + String(tc);
Serial.print("Sending data lora:");
Serial.println(message);
Serial.println("");
//////////Transmision de data lora//////////
LoRa.beginPacket(); //star lora
LoRa.print(message);// send packet
LoRa.endPacket(); //end lora
delay(500);
//////////
}

```



Código del nodo de Gateway

El código para el nodo de Gateway se desarrolló en la extensión de C/C++, el código tiene la función de recibir los datos del nodo de adquisición de variables fisiológicas (Collar) y retransmitir los datos mediante MQTT hacia la plataforma de ThingSpeak.

```
//Librerias//
#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial espSerial = SoftwareSerial(6,7);
#include <SPI.h>
#include <LoRa.h>

//Variables//
String Pulso;
String Latitud;
String Longitud;
String acel;
String tempa;
String tempc;
// arduino RX pin=2 arduino TX pin=3 connect the arduino RX pin to
esp8266 module TX pin - connect the arduino TX pin to esp8266 module
RX pin
String apiKey =
"WOCPM4LTLVRF95IT"; // "RG6DHAT5A5XML7VZ"; replace with
your channel's thingspeak WRITE API key
String ssid="LAPTOP-I5PCHBK6 7664"; // Wifi network SSID"Felix"Droid
String password ="1234567890"; // Wifi network password"12344321"
boolean DEBUG=true;
//=====
= showResponse
void showResponse(int waitTime){
    long t=millis();
    char c;
    while (t+waitTime>millis()){
        if (espSerial.available()){
            c=espSerial.read();
            if (DEBUG) Serial.print(c);
        }
    }
}
//=====
=
boolean thingSpeakWrite(float value1, String value2,String value3,float
value4,float value5,float value6){
```

```

    String cmd = "AT+CIPSTART=\"TCP\", \""; // TCP
connection
    cmd += "184.106.153.149"; //
api.thingspeak.com
    cmd += "\",80";
    espSerial.println(cmd);
    if (DEBUG) Serial.println(cmd);
    if(espSerial.find("Error")){
        if (DEBUG) Serial.println("AT+CIPSTART error");
        return false;
    }
    String getStr = "GET /update?api_key="; // prepare GET string
    getStr += apiKey;
    getStr += "&field1=";
    getStr += String(value1);
    getStr += "&field2=";
    getStr += String(value2);
    getStr += "&field3=";
    getStr += String(value3);
    getStr += "&field4=";
    getStr += String(value4);
    getStr += "&field5=";
    getStr += String(value5);
    getStr += "&field6=";
    getStr += String(value6);
    // ...
    getStr += "\r\n\r\n";
    // send data length
    cmd = "AT+CIPSEND=";
    cmd += String(getStr.length());
    espSerial.println(cmd);
    if (DEBUG) Serial.println(cmd);
    delay(100);
    if(espSerial.find(">")){
        espSerial.print(getStr);
        if (DEBUG) Serial.print(getStr);
    }
    else{
        espSerial.println("AT+CIPCLOSE");
        // alert user
        if (DEBUG) Serial.println("AT+CIPCLOSE");
        return false;
    }
    return true;
}

```

```

//=====
===== setup
void setup() {
  DEBUG=true;          // enable debug serial
  Serial.begin(9600);
  while (!Serial);
  Serial.println("LoRa Receiver");
  delay(10);
  if (!LoRa.begin(915E6)) {
    Serial.println("Starting LoRa failed!");
    while (1);
  }
  espSerial.begin(115200);
  //espSerial.println("AT+RST");          // Enable this line to reset the
module;
  //showResponse(1000);
  //espSerial.println("AT+UART_CUR=9600,8,1,0,0");    // Enable this line
to set esp8266 serial speed to 9600 bps
  //showResponse(1000);
  espSerial.println("AT+CWMODE=1");    // set esp8266 as client
  showResponse(1000);
  espSerial.println("AT+CWJAP=\"" +ssid+"\", \""+password+"\""); // set
your home router SSID and password
  showResponse(5000);
  if (DEBUG) Serial.println("Setup completed");
}

// =====
loop
void loop() {

  // try to parse packet
  int packetSize = LoRa.parsePacket();
  if (packetSize)
  {
    // received a packet
    Serial.println("");
    Serial.println(".....");
    Serial.println("Received packet: ");

    // read packet
    while (LoRa.available()) {

      String LoRaData = LoRa.readString();

```

```

// LoRaData format: readingID/temperature&soilMoisture#batterylevel
// String example: 1/27.43&654#95.34
Serial.print(LoRaData);
int pos1 = LoRaData.indexOf('!');
int pos2 = LoRaData.indexOf('/');
int pos3 = LoRaData.indexOf('&');
int pos4 = LoRaData.indexOf(';');
int pos5 = LoRaData.indexOf('$');

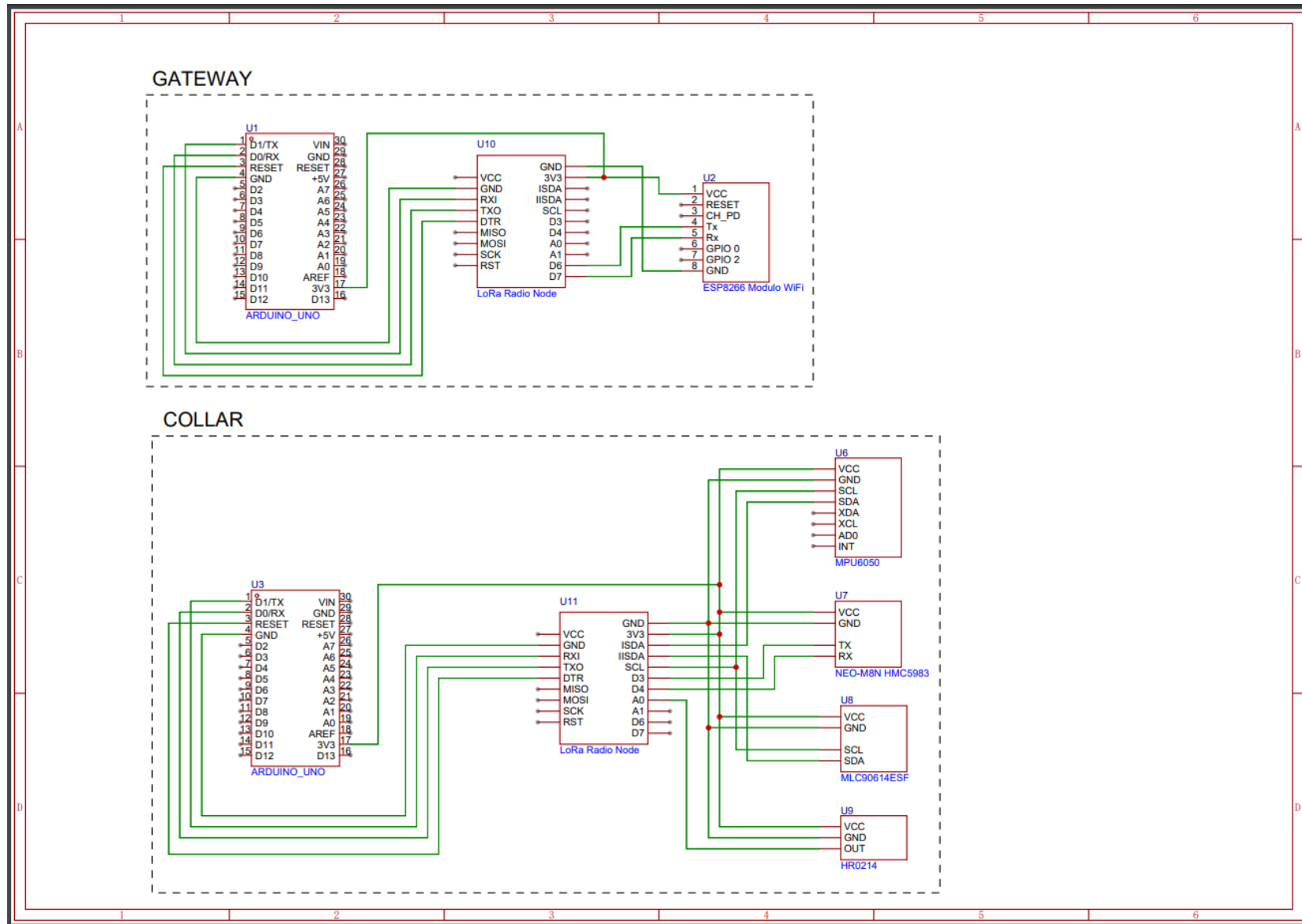
Pulso    = LoRaData.substring(0, pos1);
Latitud  = LoRaData.substring(pos1 +1, pos2);
Longitud = LoRaData.substring(pos2 +1, pos3);
accel    = LoRaData.substring(pos3 +1, pos4);
tempa    = LoRaData.substring(pos4 +1, pos5);
tempc    = LoRaData.substring(pos5 +1, LoRaData.length());

}
}
Serial.print("Pulso: ");Serial.print(Pulso);Serial.print("bpm");//Se
resta -300 ya que la vaca tiene de 80 a 120 pulsos por min
Serial.print("Latitud: ");Serial.print(Latitud);Serial.print("°");
Serial.print("Longitud: ");Serial.print(Longitud);Serial.print("°");
Serial.print("Acelerometro: ");Serial.print(accel);Serial.print("m/s2");
Serial.print("Temperatura Ambiente:
");Serial.print(tempa);Serial.print("°C");
Serial.print("Temperatura Corporal:
");Serial.print(tempc);Serial.print("°C");
Serial.println("");

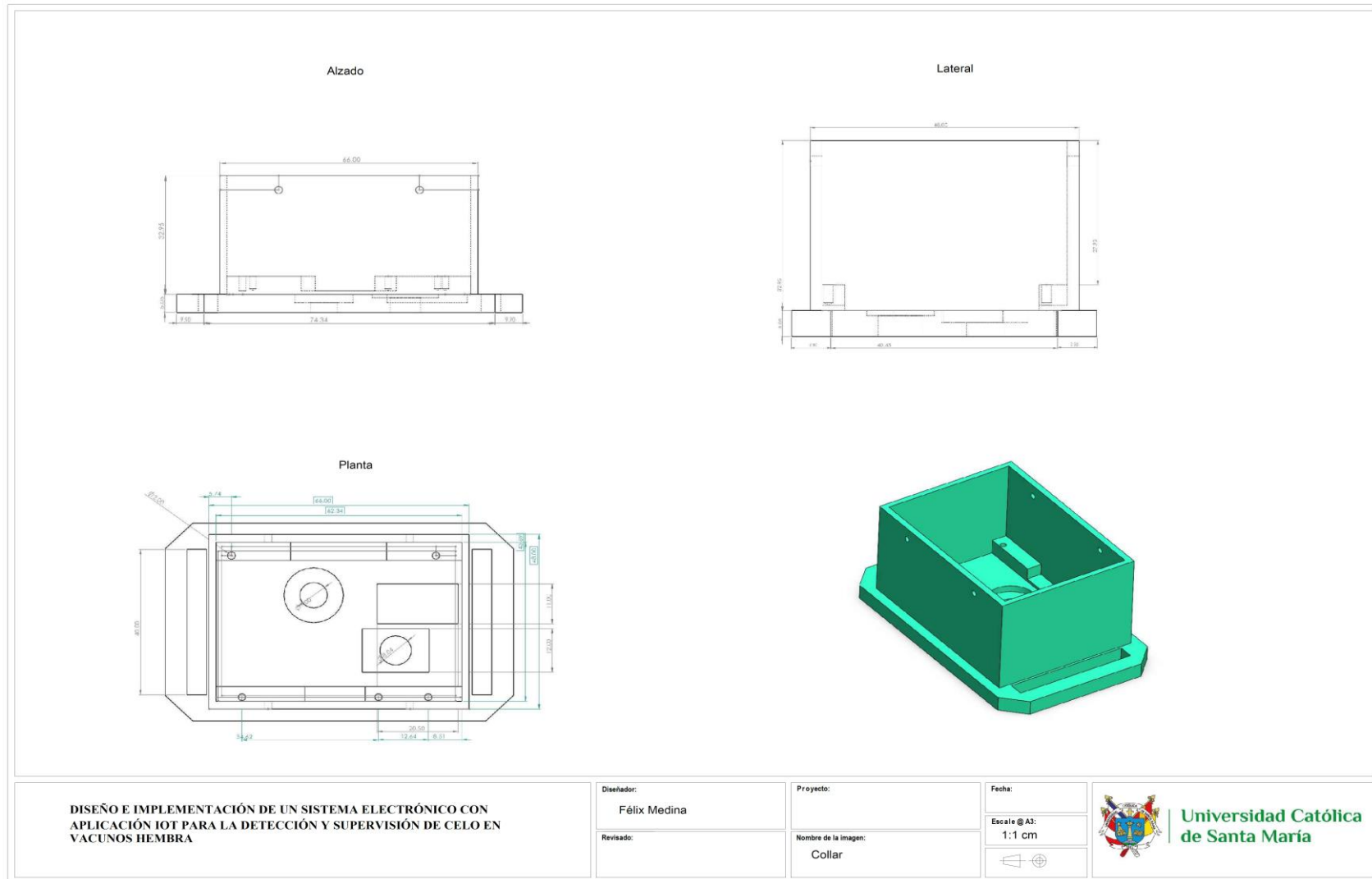
// ===== Read sensor1 values
float P = Pulso.toFloat()-400;
String La =Latitud;//float La = Latitud.toFloat();
String Lo =Longitud;//float Lo = Longitud.toFloat();
float a = accel.toFloat();
float ta = tempa.toFloat();
float tc = tempc.toFloat();
thingSpeakWrite(P,La,Lo,a,ta,tc);
// Write values to thingspeak
Serial.print("Latitud:");Serial.print(Latitud);
Serial.println("");
delay(500);
}

```

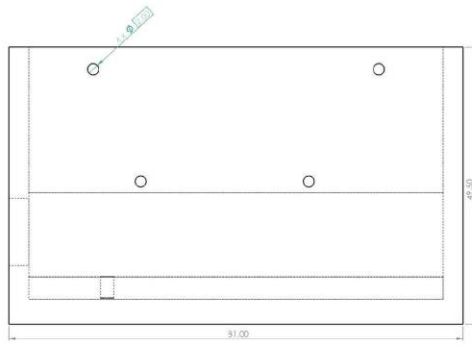
ANEXO 3: ESQUEMATICO DE CONEXIÓN



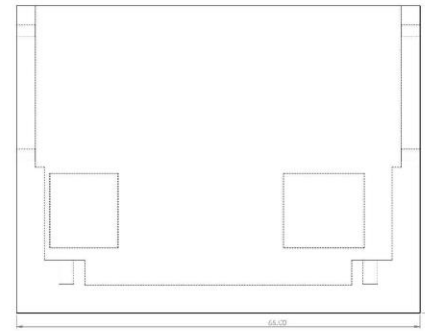
ANEXO 4: PIEZAS DEL PROTOTIPO



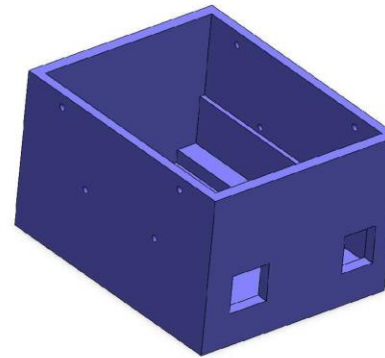
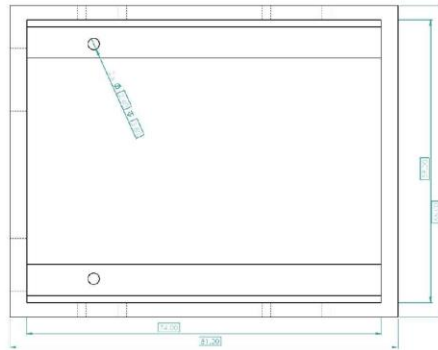
Alzado



Lateral



Planta



DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO CON APLICACIÓN IOT PARA LA DETECCIÓN Y SUPERVISIÓN DE CELO EN VACUNOS HEMBRA

Diseñador:
Félix Medina

Proyecto:

Fecha:

Revisado:

Nombre de la imagen:

Escala @ A3:

Collar



Universidad Católica de Santa María

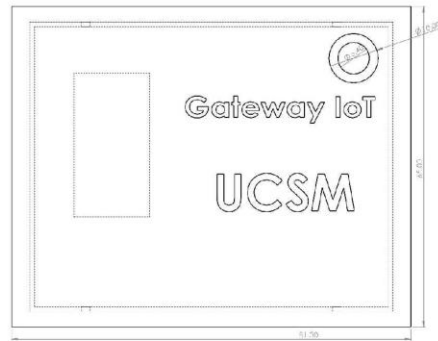
Alzado



Lateral



Planta



DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO CON APLICACIÓN IOT PARA LA DETECCIÓN Y SUPERVISIÓN DE CELO EN VACUNOS HEMBRA

Diseñador:
Félix Medina

Proyecto:

Fecha:

Revisado:

Nombre de la imagen:

Escala @ A3:
1:4 cm

Gateway Tapa



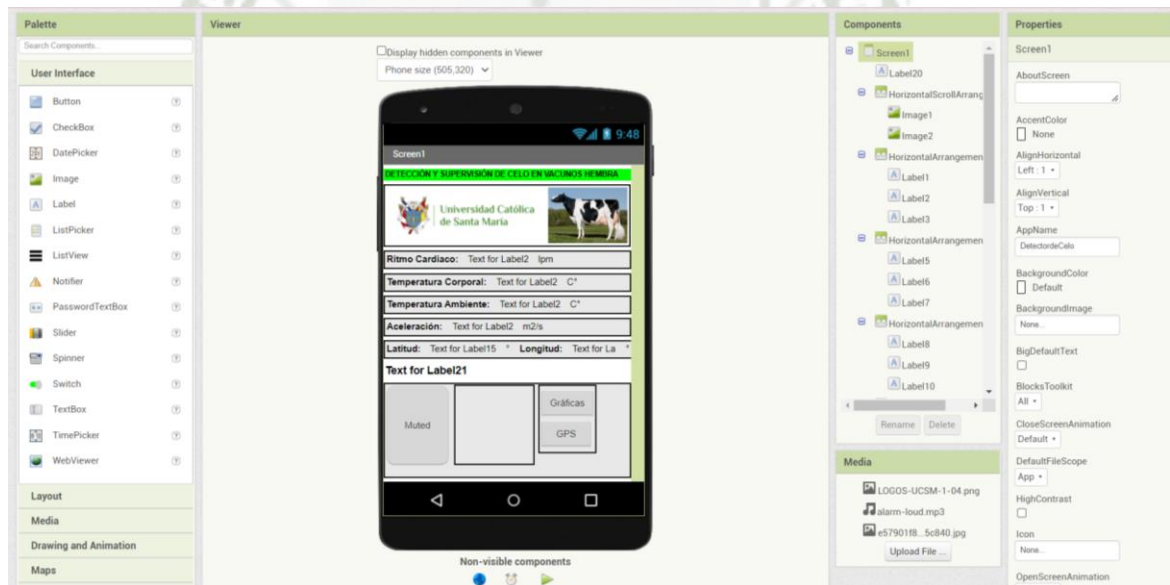
**Universidad Católica
de Santa María**

ANEXO 5: APLICACIÓN MÓVIL DE MIT APP INVENTOR

En la plataforma de MIT App Inventor se desarrolló el algoritmo basado en bloques, la aplicación es para teléfonos móviles y este tiene tres ventanas, la ventana 1 es la principal donde se visualiza los datos fisiológicos y botones de control, mientras tanto la ventana 2 muestra las gráficas de ThingSpeak y la ventana 3 sirve para mostrar la ubicación de la vaca.

Ventana 1:

La ventana 1 es de control, aquí se muestra las variables fisiológicas del ganado vacuno hembra (vaca). El botón de (Muted), sirve para desactivar la vibración y el tono de alarma, los botones de Grafico y GPS son enlaces para la ventana 2 y 3.



Blocks

- Built-in
 - Control
 - Logic
 - Math
 - Text
 - Lists
 - Dictionaries
 - Colors
 - Variables
 - Procedures
- Screen1
 - Label20
 - HorizontalScrollArrang
 - Image1
 - Image2
 - HorizontalArrangemen
 - Label1

Viewer

```

initialize global (valor1) to 0
initialize global (valor2) to 0
initialize global (valor3) to 0
initialize global (valor4) to 0
initialize global (valor5) to 0
initialize global (valor6) to 0
initialize global (link) to https://api.thingspeak.com/channels/1477805/feed...
when Web1 - GotText
do
  url: responseCode: responseType: responseContent:
  if get responseCode = 200
  then
    initialize local (json) to call Web1 - JsonTextDecode
    jsonText: get responseContent
    in set global valor1 to look up in pairs key: field1
    pairs: get json
    notFound: not found
    set global valor2 to look up in pairs key: field2
    pairs: get json
  
```

Blocks

- Built-in
 - Control
 - Logic
 - Math
 - Text
 - Lists
 - Dictionaries
 - Colors
 - Variables
 - Procedures
- Screen1
 - Label20
 - HorizontalScrollArrang
 - Image1
 - Image2

Viewer

```

set global valor3 to look up in pairs key: field3
pairs: get json
notFound: not found
set global valor4 to look up in pairs key: field4
pairs: get json
notFound: not found
set global valor5 to look up in pairs key: field5
pairs: get json
notFound: not found
set global valor6 to look up in pairs key: field6
pairs: get json
notFound: not found
  
```

Blocks

- Built-in
 - Control
 - Logic
 - Math
 - Text
 - Lists
 - Dictionaries
 - Colors
 - Variables
 - Procedures
- Screen1
 - Label20
 - HorizontalScrollArrang
 - Image1
 - Image2

Viewer

```

to celo
do
  if get global valor6 >= 40 and get global valor6 <= 43
  then
    if get global valor1 >= 114 and get global valor6 <= 130 or get global valor4 <= 0.93 and get global valor4 >= 1.18
    then
      set Label21 - Text to Vaca en cielo
      call Player1 - Start
      call Player1 - Vibrate
      milliseconds: 2000
    else
      set Label21 - Text to Vaca normal
  
```

Blocks

- Built-in
 - Control
 - Logic
 - Math
 - Text
 - Lists
 - Dictionaries
 - Colors
 - Variables
 - Procedures
- Screen1
 - Label20
 - HorizontalScrollArrang
 - Image1
 - Image2
 - HorizontalArrangemen
 - Label1

Viewer

```

milliseconds: 2000
else set Label21 - Text to Vaca normal
to datos
do
  set Web1 - Url to get global link
  call Web1 - Get
  when Clock1 - Timer
  do
    call celo
    call datos
    set Label2 - Text to get global valor1
    set Label6 - Text to get global valor6
    set Label9 - Text to get global valor5
    set Label12 - Text to get global valor4
    set Label15 - Text to get global valor2
    set Label17 - Text to get global valor3
  
```

Buttons:

```

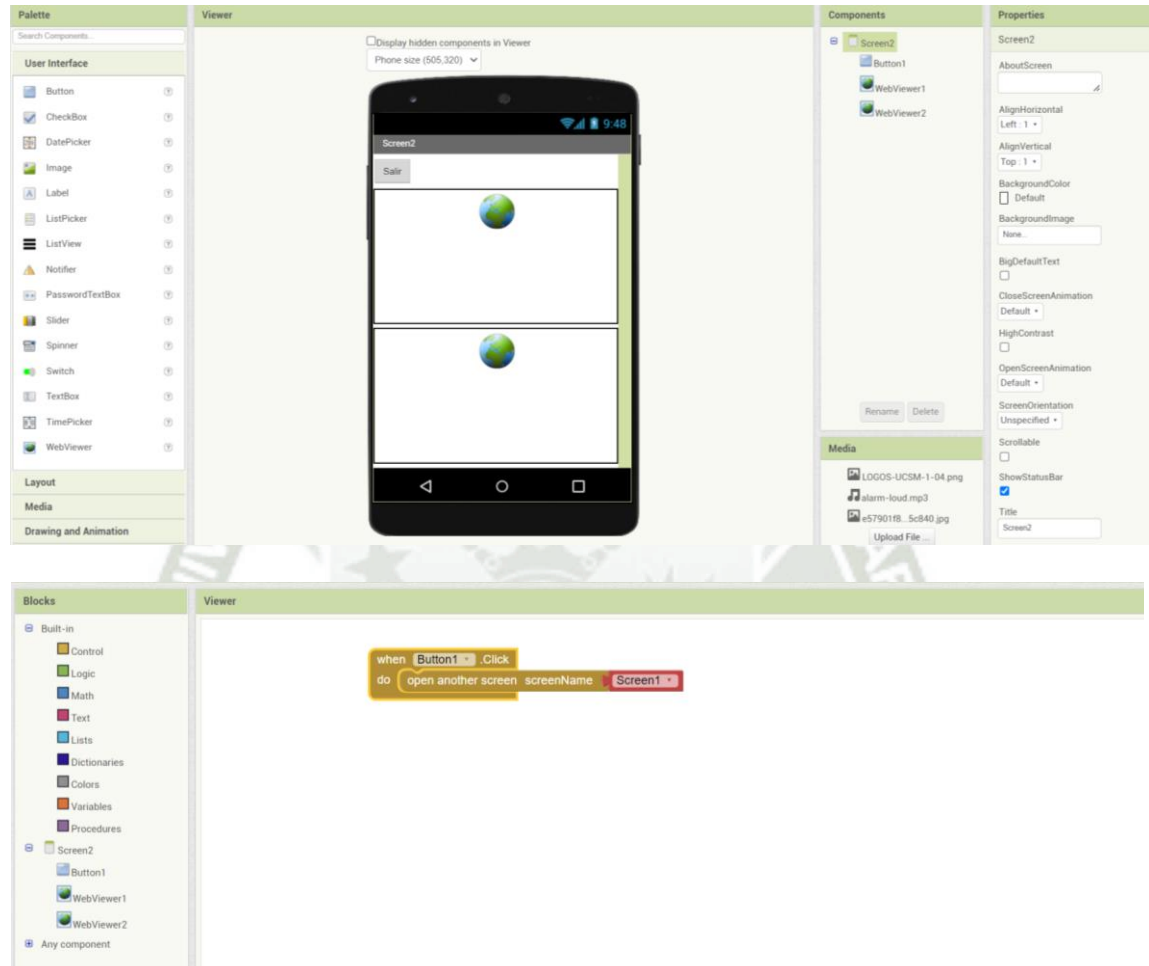
when Button1 - Click
do
  call Player1 - Stop
  set global valor6 to 0

when Button2 - Click
do
  open another screen screenName: Screen2

when Button3 - Click
do
  open another screen screenName: Screen3
  
```

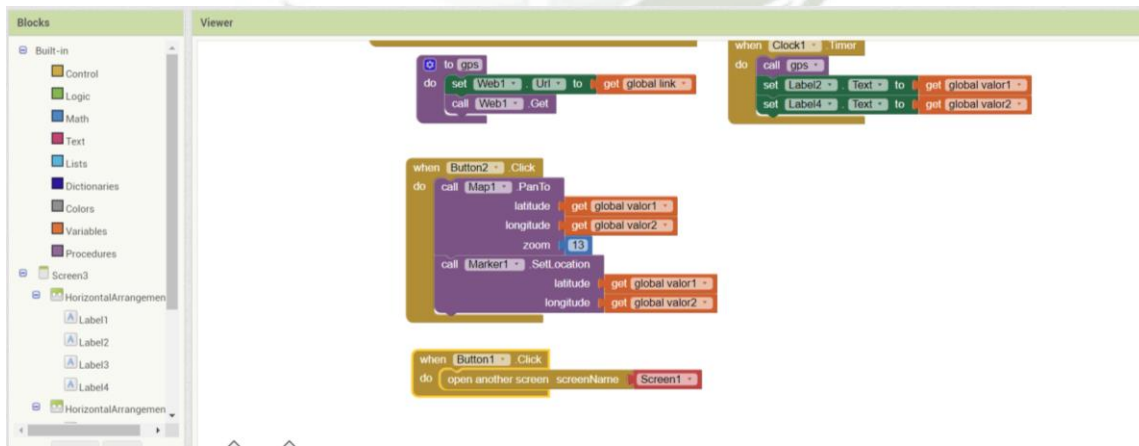
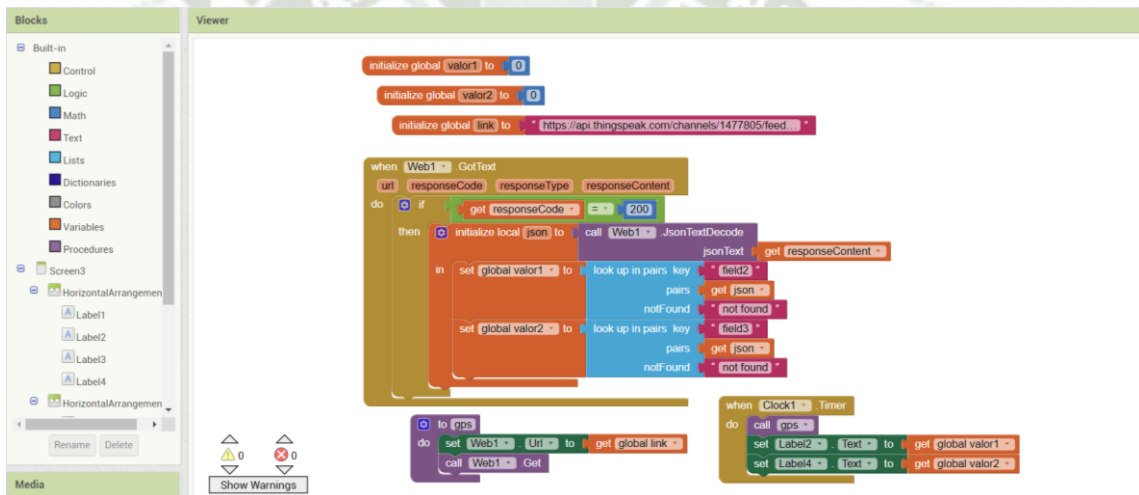
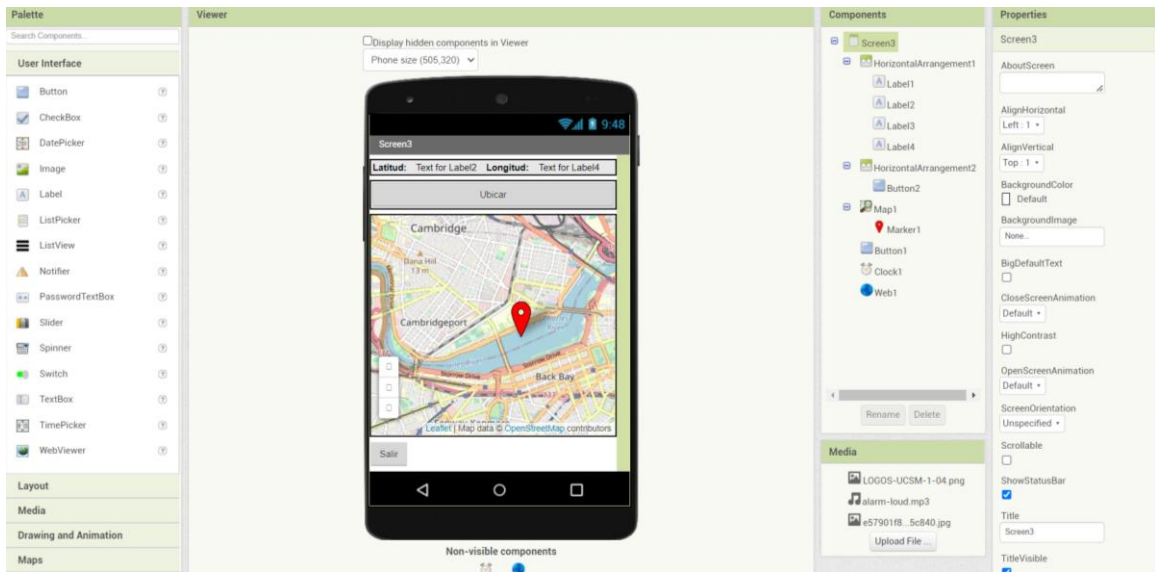
Ventana 2:

La ventana 2 permite visualizar las gráficas del ritmo cardiaco y variación de temperatura corporal de la vaca.



Ventana 3:

Esta ventana 3 permite visualizar el geoposicionamiento de la vaca, el botón (Ubicar) facilita realizar la función de mostrar con el marcador rojo la posición de la vaca.



App en el teléfono móvil:

La aplicación MIT APP Inventor para teléfono móvil se descarga desde la plataforma de Play

<https://play.google.com/store/apps/details?id=edu.mit.appinventor.aicompanion3&hl=en&gl=US>



ANEXO 6: DATOS DE LAS VARIABLES FISIOLÓGICAS

Fecha	Aceración(g)	Latitud	Longitud	Tem. Ambiente	Tem. Corporal	Pulso(lpm)
2022-04-05T23:54:51-05:00	1.06	-16.41	-71.53	26.05	37.05	98
2022-04-05T23:55:06-05:00	1.01	-16.41	-71.53	26.15	36.17	108
2022-04-05T23:56:02-05:00	1.02	-16.41	-71.53	26.65	39.13	105
2022-04-05T23:56:18-05:00	1.02	-16.41	-71.53	26.91	39.99	112
2022-04-06T00:06:02-05:00	1.01	-16.41	-71.53	27.05	38.97	114
2022-04-06T00:08:05-05:00	1.03	0	0	30.57	40.51	105
2022-04-06T00:08:42-05:00	1.00	-16.41	-71.53	31.25	41.43	100
2022-04-06T00:09:01-05:00	1.00	-16.41	-71.53	31.25	41.43	100
2022-04-06T00:09:57-05:00	1.18	-16.41	-71.53	31.25	40.71	108
2022-04-06T00:10:12-05:00	1.03	-16.41	-71.53	31.25	40.71	108
2022-04-06T00:10:36-05:00	1.03	-16.41	-71.53	31.25	40.71	108
2022-04-06T00:11:22-05:00	1.06	-16.41	-71.53	31.97	33.91	104
2022-04-06T00:11:39-05:00	1.08	-16.41	-71.53	31.89	36.85	110
2022-04-06T00:11:56-05:00	1.14	-16.41	-71.53	31.75	37.85	106
2022-04-06T00:12:20-05:00	1.04	-16.41	-71.53	31.75	37.85	106
2022-04-06T00:13:06-05:00	1.19	-16.41	-71.53	32.17	40.23	110
2022-04-06T00:13:46-05:00	1.03	-16.41	-71.53	31.73	30.65	114
2022-04-06T00:14:03-05:00	1.03	-16.41	-71.53	31.61	30.83	103
2022-04-06T00:14:25-05:00	1.03	-16.41	-71.53	31.45	30.83	103
2022-04-06T00:14:40-05:00	1.03	-16.41	-71.53	31.39	30.93	103
2022-04-06T00:15:02-05:00	1.03	-16.41	-71.53	31.23	30.89	107
2022-04-06T00:15:19-05:00	1.03	-16.41	-71.53	31.23	30.89	107
2022-04-06T00:15:41-05:00	1.07	-16.41	-71.53	31.13	31.97	104
2022-04-06T00:16:01-05:00	1.07	-16.41	-71.53	31.07	31.91	107
2022-04-06T00:16:24-05:00	1.07	-16.41	-71.53	31.01	31.91	103
2022-04-06T00:16:48-05:00	1.07	-16.41	-71.53	31.01	31.91	103
2022-04-06T00:17:07-05:00	1.07	-16.41	-71.53	31.01	31.91	103
2022-04-06T00:17:25-05:00	1.07	-16.41	-71.53	30.85	31.81	103
2022-04-06T00:17:49-05:00	1.07	-16.41	-71.53	30.85	31.81	103
2022-04-06T00:18:10-05:00	1.07	-16.41	-71.53	30.75	31.75	101
2022-04-06T00:18:27-05:00	1.07	-16.41	-71.53	30.67	31.69	104
2022-04-06T00:18:49-05:00	1.07	-16.41	-71.53	30.65	31.67	103
2022-04-06T00:19:12-05:00	1.07	-16.41	-71.53	30.65	31.67	103
2022-04-06T00:19:31-05:00	1.07	-16.41	-71.53	30.53	31.61	101
2022-04-06T00:19:48-05:00	1.07	-16.41	-71.53	30.53	31.61	101
2022-04-06T00:20:12-05:00	1.07	-16.41	-71.53	30.43	31.61	105
2022-04-06T00:20:33-05:00	1.07	-16.41	-71.53	30.45	31.53	103
2022-04-06T00:21:03-05:00	1.07	-16.41	-71.53	30.35	31.55	104
2022-04-06T00:21:27-05:00	1.07	-16.41	-71.53	30.35	31.55	104
2022-04-06T00:21:44-05:00	1.07	-16.41	-71.53	30.35	31.55	104
2022-04-06T00:22:08-05:00	1.07	-16.41	-71.53	30.21	31.43	107
2022-04-06T00:22:23-05:00	1.07	-16.41	-71.53	30.21	31.43	107
2022-04-06T00:22:49-05:00	1.07	-16.41	-71.53	30.17	31.49	103

2022-04-06T00:23:20-05:00	1.07	-16.41	-71.53	30.11	31.43	102
2022-04-06T00:23:35-05:00	1.07	-16.41	-71.53	30.11	31.43	102
2022-04-06T00:24:01-05:00	1.07	-16.41	-71.53	30.05	31.43	105
2022-04-06T00:24:16-05:00	1.08	-16.41	-71.53	29.99	31.37	105
2022-04-06T00:24:40-05:00	1.08	-16.41	-71.53	29.99	31.37	105
2022-04-06T00:24:57-05:00	1.07	-16.41	-71.53	29.93	31.37	107
2022-04-06T00:25:19-05:00	1.07	-16.41	-71.53	29.89	31.41	105
2022-04-06T00:25:39-05:00	1.07	-16.41	-71.53	29.81	31.29	104
2022-04-06T00:25:54-05:00	1.07	-16.41	-71.53	29.83	31.25	101
2022-04-06T00:26:14-05:00	1.07	-16.41	-71.53	29.81	31.31	105
2022-04-06T00:26:33-05:00	1.07	-16.41	-71.53	29.81	31.31	105
2022-04-06T00:26:50-05:00	1.07	-16.41	-71.53	29.81	31.31	105
2022-04-06T00:27:18-05:00	1.08	-16.41	-71.53	29.73	31.31	105
2022-04-06T00:27:33-05:00	1.07	-16.41	-71.53	29.65	31.25	104
2022-04-06T00:28:05-05:00	1.08	-16.41	-71.53	29.61	31.19	103
2022-04-06T00:29:01-05:00	1.08	-16.41	-71.53	29.53	31.23	101
2022-04-06T00:29:17-05:00	1.07	-16.41	-71.53	29.53	31.25	107
2022-04-06T00:29:33-05:00	1.07	-16.41	-71.53	29.53	31.25	107
2022-04-06T00:29:58-05:00	1.07	-16.41	-71.53	29.53	31.25	107
2022-04-06T00:30:14-05:00	1.07	-16.41	-71.53	29.41	31.17	103
2022-04-06T00:30:36-05:00	1.07	-16.41	-71.53	29.39	31.17	104
2022-04-06T00:30:56-05:00	1.07	-16.41	-71.53	29.37	31.17	103
2022-04-06T00:31:31-05:00	1.08	-16.41	-71.53	29.35	31.13	104
2022-04-06T00:31:48-05:00	1.08	-16.41	-71.53	29.31	31.13	103
2022-04-06T00:32:09-05:00	1.08	-16.41	-71.53	29.31	31.13	103
2022-04-06T00:32:24-05:00	1.07	-16.41	-71.53	29.23	31.07	102
2022-04-06T00:32:41-05:00	1.08	-16.41	-71.53	29.23	31.11	102
2022-04-06T00:32:58-05:00	1.08	-16.41	-71.53	29.23	31.11	102
2022-04-06T00:33:19-05:00	1.08	-16.41	-71.53	29.23	31.11	102
2022-04-06T00:33:36-05:00	1.08	-16.41	-71.53	29.15	31.11	104
2022-04-06T00:33:51-05:00	1.07	-16.41	-71.53	29.13	31.11	100
2022-04-06T00:35:11-05:00	1.08	-16.41	-71.53	29.05	31.11	106
2022-04-06T00:35:39-05:00	1.07	-16.41	-71.53	29.01	31.11	104
2022-04-06T00:36:04-05:00	1.08	-16.41	-71.53	28.97	31.13	103
2022-04-06T00:36:31-05:00	1.08	-16.41	-71.53	28.93	31.07	106
2022-04-06T00:36:46-05:00	1.08	-16.41	-71.53	28.95	31.07	105
2022-04-06T00:37:07-05:00	1.08	-16.41	-71.53	28.91	31.13	106
2022-04-06T00:37:24-05:00	1.08	-16.41	-71.53	28.91	31.13	106
2022-04-06T00:37:42-05:00	1.08	-16.41	-71.53	28.85	31.07	102
2022-04-06T00:38:42-05:00	1.07	-16.41	-71.53	28.79	31.05	102
2022-04-06T00:39:05-05:00	1.07	-16.41	-71.53	28.79	31.01	99
2022-04-06T00:39:24-05:00	1.07	-16.41	-71.53	28.79	31.01	99
2022-04-06T00:39:44-05:00	1.07	-16.41	-71.53	28.79	31.01	99
2022-04-06T00:40:00-05:00	1.07	-16.41	-71.53	28.79	31.01	99
2022-04-06T00:40:16-05:00	1.07	-16.41	-71.53	28.79	31.01	99
2022-04-06T00:40:58-05:00	1.08	-16.41	-71.53	28.71	31.01	105

2022-04-06T00:41:21-05:00	1.08	-16.41	-71.53	28.67	31.05	104
2022-04-06T00:41:46-05:00	1.08	-16.41	-71.53	28.67	30.95	104
2022-04-06T00:42:41-05:00	1.08	-16.41	-71.53	28.63	31.01	110
2022-04-06T00:43:06-05:00	1.08	-16.41	-71.53	28.63	31.01	110
2022-04-06T00:43:30-05:00	1.08	-16.41	-71.53	28.63	31.01	110
2022-04-06T00:43:45-05:00	1.08	-16.41	-71.53	28.63	31.01	110
2022-04-06T00:44:07-05:00	1.08	-16.41	-71.53	28.49	30.93	105
2022-04-06T00:44:28-05:00	1.08	-16.41	-71.53	28.51	30.95	104
2022-04-06T00:44:45-05:00	1.08	-16.41	-71.53	28.51	30.95	104
2022-04-06T00:45:16-05:00	1.08	-16.41	-71.53	28.45	30.95	105
2022-04-06T00:45:50-05:00	1.08	-16.41	-71.53	28.45	30.95	105
2022-04-06T00:46:07-05:00	1.08	-16.41	-71.53	28.45	30.95	105
2022-04-06T00:46:31-05:00	1.08	-16.41	-71.53	28.35	30.93	100
2022-04-06T00:47:06-05:00	1.08	-16.41	-71.53	28.33	30.89	103
2022-04-06T00:47:38-05:00	1.08	-16.41	-71.53	28.35	30.99	104
2022-04-06T00:48:01-05:00	1.07	-16.41	-71.53	28.27	30.93	100
2022-04-06T00:48:23-05:00	1.07	-16.41	-71.53	28.27	30.93	100
2022-04-06T00:49:16-05:00	1.07	-16.41	-71.53	28.25	30.87	105
2022-04-06T00:49:41-05:00	1.07	-16.41	-71.53	28.25	30.87	105
2022-04-06T00:49:58-05:00	1.07	-16.41	-71.53	28.25	30.87	105
2022-04-06T00:50:41-05:00	1.08	-16.41	-71.53	28.19	30.87	100
2022-04-06T00:50:58-05:00	1.08	-16.41	-71.53	28.19	30.87	100
2022-04-06T00:51:15-05:00	1.08	-16.41	-71.53	28.13	30.81	102
2022-04-06T00:51:32-05:00	1.08	-16.41	-71.53	28.11	30.77	104
2022-04-06T00:51:51-05:00	1.08	-16.41	-71.53	28.11	30.81	102
2022-04-06T00:52:23-05:00	1.08	-16.41	-71.53	28.11	30.83	105
2022-04-06T00:52:44-05:00	1.08	-16.41	-71.53	28.13	30.77	100
2022-04-06T00:53:01-05:00	1.08	-16.41	-71.53	28.13	30.77	100
2022-04-06T00:53:34-05:00	1.08	-16.41	-71.53	28.13	30.77	100
2022-04-06T00:54:08-05:00	1.08	-16.41	-71.53	28.13	30.77	100
2022-04-06T00:54:25-05:00	1.08	-16.41	-71.53	28.01	30.77	103
2022-04-06T00:54:40-05:00	1.08	-16.41	-71.53	28.01	30.77	103
2022-04-06T00:54:56-05:00	1.08	-16.41	-71.53	28.01	30.77	104
2022-04-06T00:55:11-05:00	1.08	-16.41	-71.53	28.01	30.77	104
2022-04-06T00:55:26-05:00	1.08	-16.41	-71.53	27.91	30.71	101
2022-04-06T00:55:53-05:00	1.08	-16.41	-71.53	27.91	30.71	101
2022-04-06T00:56:09-05:00	1.08	-16.41	-71.53	27.91	30.71	101
2022-04-06T00:56:26-05:00	1.08	-16.41	-71.53	27.89	30.77	104
2022-04-06T00:56:45-05:00	1.08	-16.41	-71.53	27.93	30.77	105
2022-04-06T00:57:17-05:00	1.08	-16.41	-71.53	27.93	30.75	101
2022-04-06T00:57:33-05:00	1.08	-16.41	-71.53	27.93	30.75	101
2022-04-06T00:58:07-05:00	1.08	-16.41	-71.53	27.87	30.75	105
2022-04-06T00:58:47-05:00	1.08	-16.41	-71.53	27.81	30.71	100
2022-04-06T00:59:06-05:00	1.08	-16.41	-71.53	27.81	30.71	100
2022-04-06T00:59:29-05:00	1.08	-16.41	-71.53	27.81	30.71	100
2022-04-06T00:59:45-05:00	1.08	-16.41	-71.53	27.81	30.71	100

2022-04-06T01:00:08-05:00	1.08	-16.41	-71.53	27.73	30.65	103
2022-04-06T01:00:34-05:00	1.08	-16.41	-71.53	27.81	30.77	104
2022-04-06T01:00:52-05:00	1.08	-16.41	-71.53	27.71	30.69	101
2022-04-06T01:01:09-05:00	1.08	-16.41	-71.53	27.71	30.69	101
2022-04-06T01:01:30-05:00	1.08	-16.41	-71.53	27.73	30.69	106
2022-04-06T01:01:51-05:00	1.08	-16.41	-71.53	27.69	30.65	107
2022-04-06T01:02:06-05:00	1.08	-16.41	-71.53	27.71	30.71	104
2022-04-06T01:02:24-05:00	1.08	-16.41	-71.53	27.71	30.71	106
2022-04-06T01:03:12-05:00	1.08	-16.41	-71.53	27.71	30.75	101
2022-04-06T02:22:51-05:00	0.96	-16.41	-71.53	26.93	31.13	100
2022-04-06T02:24:28-05:00	0.96	-16.41	-71.53	26.89	30.83	104
2022-04-06T02:24:52-05:00	0.96	-16.41	-71.53	26.89	30.65	104
2022-04-06T02:25:11-05:00	0.96	-16.41	-71.53	26.89	30.63	101
2022-04-06T02:25:39-05:00	0.96	-16.41	-71.53	26.87	30.63	106
2022-04-06T02:26:05-05:00	0.96	-16.41	-71.53	26.85	30.69	101
2022-04-06T02:26:21-05:00	0.96	-16.41	-71.53	26.85	30.69	101
2022-04-06T02:26:36-05:00	0.96	-16.41	-71.53	26.85	30.69	101
2022-04-06T02:27:16-05:00	0.96	-16.41	-71.53	26.87	30.65	105
2022-04-06T02:27:31-05:00	0.96	-16.41	-71.53	26.81	30.63	104
2022-04-06T02:27:53-05:00	0.96	-16.41	-71.53	26.81	30.63	104
2022-04-06T02:28:10-05:00	0.96	-16.41	-71.53	26.85	30.75	104
2022-04-06T02:28:36-05:00	0.96	-16.41	-71.53	26.85	30.65	104
2022-04-06T02:29:01-05:00	0.96	-16.41	-71.53	26.85	30.65	104
2022-04-06T02:29:52-05:00	0.96	-16.41	-71.53	26.79	30.59	104
2022-04-06T02:30:24-05:00	0.96	-16.41	-71.53	26.81	30.63	102
2022-04-06T02:30:39-05:00	0.96	-16.41	-71.53	26.81	30.63	102
2022-04-06T02:30:56-05:00	0.96	-16.41	-71.53	26.81	30.71	101
2022-04-06T02:31:24-05:00	0.96	-16.41	-71.53	26.81	30.71	102
2022-04-06T02:33:34-05:00	0.96	-16.41	-71.53	26.73	30.71	105
2022-04-06T02:33:55-05:00	0.96	-16.41	-71.53	26.73	30.71	105
2022-04-06T02:34:17-05:00	0.96	-16.41	-71.53	26.75	30.65	103
2022-04-06T02:34:40-05:00	0.96	-16.41	-71.53	26.75	30.65	103
2022-04-06T02:34:55-05:00	0.96	-16.41	-71.53	26.75	30.65	103
2022-04-06T02:35:11-05:00	0.96	-16.41	-71.53	26.75	30.65	103
2022-04-06T02:35:52-05:00	0.96	-16.41	-71.53	26.69	30.59	103
2022-04-06T02:39:20-05:00	0.96	-16.41	-71.53	26.73	30.63	100
2022-04-06T02:39:35-05:00	0.96	-16.41	-71.53	26.67	30.63	114
2022-04-06T02:59:14-05:00	0.96	-16.41	-71.53	26.47	30.77	108
2022-04-06T16:02:07-05:00	1.04	0	0	25.83	34.83	101
2022-04-07T10:43:04-05:00	0.95	-16.41	-71.53	31.87	30.77	100
2022-04-07T10:43:29-05:00	0.95	-16.41	-71.53	31.87	30.77	100
2022-04-07T10:44:02-05:00	0.95	-16.41	-71.53	31.75	30.63	105
2022-04-07T18:18:55-05:00	1.01	-16.41	-71.52	29.53	30.75	104
2022-04-07T18:19:10-05:00	1.01	-16.41	-71.52	29.53	30.75	104
2022-04-07T18:19:26-05:00	1.01	-16.41	-71.52	29.43	30.75	103
2022-04-07T18:19:41-05:00	1.01	-16.41	-71.52	29.43	30.75	103

2022-04-07T18:19:57-05:00	1.01	-16.41	-71.52	29.43	30.75	103
2022-04-07T18:20:13-05:00	1.01	-16.41	-71.52	29.35	30.69	111
2022-04-07T18:20:52-05:00	1.01	-16.41	-71.52	29.27	30.69	105
2022-04-07T18:23:01-05:00	1.04	-16.41	-71.52	28.95	30.87	103
2022-04-07T18:23:23-05:00	1.04	-16.41	-71.52	28.95	30.87	103
2022-04-07T18:23:39-05:00	1.04	-16.41	-71.52	28.95	30.87	103
2022-04-07T18:24:19-05:00	1.05	-16.41	-71.52	28.91	34.37	115
2022-04-07T18:24:50-05:00	1.04	-16.41	-71.52	28.87	34.13	108
2022-04-07T18:25:17-05:00	1.04	-16.41	-71.52	28.85	34.05	102
2022-04-07T18:25:39-05:00	1.04	-16.41	-71.52	28.85	34.05	102
2022-04-07T18:26:21-05:00	1.04	-16.41	-71.52	28.65	33.23	105
2022-04-07T18:26:37-05:00	1.06	-16.41	-71.52	28.67	34.19	100
2022-04-07T18:26:53-05:00	1.05	-16.41	-71.52	28.69	33.81	102
2022-04-07T18:28:24-05:00	0.93	-16.41	-71.52	27.81	35.77	102
2022-04-07T18:29:45-05:00	1.02	-16.41	-71.52	28.15	34.01	104
2022-04-07T18:42:27-05:00	0.99	0	0	31.47	35.21	98
2023-06-21T11:38:06-05:00	0.99	0	0	24.53	36.09	104
2023-06-21T11:38:22-05:00	0.99	0	0	24.53	36.09	104
2023-06-21T11:38:42-05:00	0.99	0	0	25.17	34.85	99
2023-06-21T11:38:57-05:00	0.99	0	0	25.31	34.81	107
2023-06-21T11:39:15-05:00	0.99	0	0	25.31	34.81	107
2023-06-21T11:39:32-05:00	1.06	0	0	25.39	30.63	106
2023-07-23T09:27:12-05:00	0.96	0	0	27.67	31.55	106
2023-07-23T09:27:36-05:00	0.96	0	0	27.67	31.55	106
2023-07-23T09:27:52-05:00	0.96	0	0	27.49	31.43	106
2023-07-23T09:28:26-05:00	0.95	0	0	27.45	31.43	105
2023-07-23T09:28:42-05:00	0.95	0	0	27.41	31.35	106
2023-07-23T09:28:58-05:00	0.95	0	0	27.31	31.29	106
2023-07-23T09:29:30-05:00	0.95	0	0	27.31	31.23	105
2023-07-23T11:58:04-05:00	0.99	-16.4796	-71.5252	29.79	31.93	106
2023-07-23T12:01:53-05:00	0.99	-16.4796	-71.5252	29.23	31.93	106
2023-07-23T12:03:04-05:00	0.99	-16.4796	-71.5252	29.13	31.87	105
2023-07-23T12:04:14-05:00	0.99	-16.4796	-71.5252	29.01	31.79	106
2023-07-23T12:06:25-05:00	0.99	-16.4797	-71.5252	28.69	31.79	106
2023-07-23T12:08:28-05:00	0.99	-16.4796	-71.5252	28.45	31.67	105
2023-07-23T12:09:08-05:00	0.99	-16.4796	-71.5252	28.45	31.67	105
2023-07-23T12:10:03-05:00	0.99	-16.4796	-71.5252	28.33	31.61	104
2023-07-23T12:12:14-05:00	0.99	-16.4796	-71.5252	28.15	31.55	105
2023-07-23T12:15:49-05:00	0.99	-16.4796	-71.5252	27.81	31.35	105
2023-07-23T12:25:47-05:00	1.05	-16.4795	-71.5252	27.21	30.63	106
2023-07-23T12:26:52-05:00	1.05	-16.4795	-71.5252	27.25	30.93	102
2023-07-23T16:08:55-05:00	1.05	0	0	22.49	35.91	115
2023-07-23T16:12:43-05:00	1.02	0	0	22.87	35.03	114
2023-07-23T16:12:59-05:00	1.02	0	0	22.87	35.03	114
2023-07-23T16:13:22-05:00	1.02	0	0	22.87	35.03	114
2023-07-23T16:13:45-05:00	1.02	0	0	22.87	35.03	114

2023-07-23T16:19:16-05:00	0.98	-16.4794	-71.5253	23.91	32.29	107
2023-07-23T16:39:10-05:00	1.08	-16.4795	-71.5251	26.57	35.59	104
2023-07-23T16:39:42-05:00	1.08	-16.4795	-71.5251	26.57	35.59	104
2023-07-23T16:40:59-05:00	1.08	-16.4795	-71.5251	26.57	35.59	104
2023-07-23T17:13:17-05:00	1.04	-16.4796	-71.5251	25.83	34.75	109
2023-07-23T20:55:24-05:00	1.03	-16.4795	-71.5251	25.31	38.11	119
2023-07-25T08:29:15-05:00	0.94	0	0	18.57	39.51	114
2023-07-25T08:29:31-05:00	0.94	0	0	18.57	39.51	104
2023-07-25T08:30:39-05:00	1.19	0	0	19.65	33.55	123
2023-07-25T08:31:39-05:00	1.01	0	0	20.43	42.89	108
2023-07-25T08:33:19-05:00	1.14	0	0	21.09	41.39	124
2023-07-25T08:33:35-05:00	1.10	0	0	21.33	41.15	127
2023-07-25T08:34:07-05:00	1.06	0	0	21.55	41.51	110
2023-07-25T08:35:11-05:00	1.20	0	0	22.05	38.31	127
2023-07-25T08:35:39-05:00	1.02	0	0	22.37	38.77	105
2023-07-25T08:36:37-05:00	0.96	0	0	23.53	41.61	106
2023-07-25T08:36:54-05:00	0.96	0	0	23.53	41.61	106
2023-07-25T08:37:16-05:00	0.96	0	0	23.53	41.61	106
2023-07-25T08:40:58-05:00	1.15	-16.4797	-71.5252	25.15	39.63	127
2023-07-25T13:29:35-05:00	1.07	-16.4795	-71.5252	32.25	41.21	124
2023-07-25T13:32:40-05:00	0.96	-16.4795	-71.5252	31.87	38.11	113
2023-07-25T14:20:34-05:00	1.01	0	0	32.23	42.73	124
2023-07-25T14:55:48-05:00	1.01	0	0	32.23	42.73	124
2023-08-17T12:14:35-05:00	0.99	0	0	19.87	30.93	108
2023-08-17T12:14:51-05:00	0.99	0	0	19.87	30.93	108
2023-08-17T12:15:07-05:00	0.99	0	0	19.87	30.93	108
2023-08-17T12:15:30-05:00	1.00	0	0	20.51	31.53	108
2023-08-17T12:15:47-05:00	1.00	0	0	20.51	31.53	108
2023-08-17T12:16:05-05:00	1.00	0	0	20.51	31.53	108
2023-08-17T12:16:23-05:00	1.00	0	0	20.51	31.53	108
2023-08-17T12:16:39-05:00	1.00	0	0	20.51	31.53	108
2023-08-17T12:17:26-05:00	0.99	0	0	22.29	35.23	115
2023-08-17T12:25:09-05:00	1.00	0	0	21.71	31.59	107
2023-08-17T12:25:26-05:00	1.00	0	0	21.75	31.79	108
2023-08-17T12:25:51-05:00	1.01	0	0	21.79	33.37	105
2023-08-17T12:26:08-05:00	1.01	0	0	21.95	34.59	105
2023-08-17T12:26:24-05:00	1.01	0	0	21.95	34.59	105
2023-08-17T12:26:45-05:00	1.01	0	0	21.95	34.59	105
2023-08-17T12:33:34-05:00	1.02	0	0	25.75	35.71	104
2023-08-17T12:35:23-05:00	1.04	0	0	26.43	31	103
2023-08-17T12:38:09-05:00	0.97	0	0	28.75	33.93	110
2023-08-17T12:38:31-05:00	0.97	0	0	28.75	33.93	110
2023-08-17T12:38:48-05:00	0.97	0	0	28.75	33.93	110
2023-08-17T12:39:04-05:00	1.03	0	0	28.85	30.69	106
2023-08-17T12:45:42-05:00	1.00	-16.4791	-71.5251	32.37	36.67	108
2023-08-17T16:13:18-05:00	1.01	-16.4796	-71.5252	32.31	35.05	109

2023-08-21T11:24:26-05:00	1.07	0	0	21.07	33.67	110
2023-08-21T11:34:02-05:00	1.00	0	0	24.25	32.67	114
2023-08-21T11:35:08-05:00	1.02	0	0	24.49	33.49	109
2023-08-21T11:43:27-05:00	1.05	0	0	26.67	33.93	111
2023-08-21T11:44:15-05:00	1.01	0	0	26.81	34.25	113
2023-08-21T11:44:31-05:00	1.01	0	0	26.81	34.25	113
2023-08-21T11:44:52-05:00	1.01	0	0	26.81	34.25	113
2023-08-21T11:46:22-05:00	0.98	0	0	26.99	32.05	101
2023-08-21T11:55:13-05:00	1.01	-16.4792	-71.525	27.27	32.93	100
2023-08-21T11:55:47-05:00	1.07	-16.4792	-71.525	27.31	32.43	108
2023-08-21T11:57:54-05:00	1.02	-16.4796	-71.5253	27.57	33.99	107
2023-08-21T12:00:07-05:00	1.04	-16.4794	-71.5253	27.71	34.07	111
2023-08-21T12:00:22-05:00	1.04	-16.4794	-71.5253	27.71	34.07	111
2023-08-21T12:00:41-05:00	1.04	-16.4794	-71.5253	27.71	34.07	111
2023-08-21T12:01:02-05:00	1.04	-16.4794	-71.5253	27.71	34.07	111
2023-08-21T12:01:17-05:00	1.04	-16.4794	-71.5253	27.71	34.07	111
2023-08-21T12:01:32-05:00	1.04	-16.4794	-71.5253	27.71	34.07	111
2023-08-21T12:01:48-05:00	1.04	-16.4794	-71.5253	27.71	34.07	111
2023-08-21T12:02:18-05:00	1.04	-16.4794	-71.5253	27.71	34.07	111
2023-08-21T12:04:45-05:00	1.03	-16.4797	-71.5254	28.33	35.71	96
2023-08-21T12:05:20-05:00	1.04	-16.4797	-71.5254	28.35	35.23	102
2023-08-21T12:05:35-05:00	1.04	-16.4797	-71.5254	28.35	35.23	102
2023-08-21T12:09:25-05:00	1.01	-16.4797	-71.5254	28.13	33.85	97
2023-08-21T12:10:28-05:00	1.04	-16.4797	-71.5254	28.23	34.07	104
2023-08-21T12:10:43-05:00	1.04	-16.4797	-71.5254	28.23	34.07	104
2023-08-21T12:11:04-05:00	1.01	-16.4797	-71.5254	28.11	34.31	107
2023-08-21T12:12:08-05:00	1.07	-16.4797	-71.5254	28.11	32.73	114
2023-08-21T12:13:30-05:00	1.01	-16.4797	-71.5254	28.19	32.97	106
2023-08-21T12:14:55-05:00	1.02	-16.4797	-71.5254	28.33	34.83	103
2023-08-21T12:16:11-05:00	0.98	-16.4797	-71.5254	28.45	35.15	118
2023-08-21T12:16:26-05:00	0.98	-16.4797	-71.5254	28.45	35.15	118
2023-08-21T12:17:31-05:00	0.97	-16.4796	-71.5254	28.51	34.71	94
2023-08-21T12:17:47-05:00	1.02	-16.4796	-71.5254	28.55	34.83	96
2023-08-21T12:18:02-05:00	1.02	-16.4796	-71.5254	28.55	34.83	96
2023-08-21T12:18:47-05:00	1.03	-16.4797	-71.5255	28.51	34.01	112
2023-08-21T12:19:17-05:00	0.99	-16.4797	-71.5255	28.45	33.75	108
2023-08-21T12:19:53-05:00	1.02	-16.4797	-71.5255	28.49	35.31	110
2023-08-21T12:20:08-05:00	1.03	-16.4797	-71.5255	28.51	35.15	106
2023-08-21T12:20:31-05:00	1.01	-16.4797	-71.5255	28.53	35.35	107
2023-08-21T12:20:48-05:00	1.02	-16.4797	-71.5255	28.49	33.53	117
2023-08-21T12:21:22-05:00	1.00	-16.4797	-71.5255	28.47	33.05	117
2023-08-21T12:23:51-05:00	1.00	-16.4797	-71.5255	28.25	34.13	105
2023-08-21T12:24:06-05:00	1.00	-16.4797	-71.5255	28.25	34.13	105
2023-08-21T12:24:22-05:00	1.00	-16.4797	-71.5255	28.25	34.13	105
2023-08-21T12:31:43-05:00	1.01	-16.4796	-71.5253	28.79	35.97	108
2023-08-21T12:32:55-05:00	1.02	-16.4796	-71.5253	28.95	36.33	107

2023-08-21T12:33:33-05:00	1.08	-16.4796	-71.5253	28.95	35.19	114
2023-08-21T12:34:40-05:00	1.01	-16.4797	-71.5254	28.79	35.31	105
2023-08-21T12:40:07-05:00	1.01	-16.4797	-71.5254	28.85	34.75	114
2023-08-21T12:44:20-05:00	1.01	-16.4796	-71.5254	28.83	35.79	110
2023-08-21T12:44:47-05:00	1.01	-16.4796	-71.5254	28.83	35.79	110
2023-08-21T12:47:34-05:00	0.98	-16.4796	-71.5254	28.51	33.41	102
2023-08-21T12:48:05-05:00	0.98	-16.4796	-71.5254	28.51	33.41	102
2023-08-21T12:49:19-05:00	1.01	-16.4796	-71.5254	28.67	35.75	109
2023-08-21T12:49:40-05:00	1.01	-16.4796	-71.5254	28.67	35.75	109
2023-08-21T12:49:59-05:00	1.01	-16.4796	-71.5254	28.67	35.75	109
2023-08-21T13:08:10-05:00	1.03	-16.4796	-71.5254	28.59	33.67	109
2023-08-21T13:15:59-05:00	1.01	-16.4797	-71.5254	29.63	38.69	106
2023-08-21T13:16:31-05:00	1.07	-16.4797	-71.5254	29.71	35.75	107
2023-08-21T13:16:48-05:00	1.07	-16.4797	-71.5254	29.59	34.71	102
2023-08-21T13:17:43-05:00	1.06	-16.4796	-71.5253	29.49	36.47	111
2023-08-21T13:20:22-05:00	1.02	-16.4796	-71.5253	29.31	33.99	107
2023-08-21T13:21:11-05:00	1.02	-16.4796	-71.5253	29.31	33.99	107
2023-08-21T13:21:59-05:00	1.08	-16.4796	-71.5253	29.23	35.23	116
2023-08-21T13:22:26-05:00	1.08	-16.4796	-71.5253	29.23	35.23	116
2023-08-21T13:22:57-05:00	1.08	-16.4796	-71.5253	29.23	35.23	116
2023-08-21T13:23:25-05:00	1.05	-16.4796	-71.5253	29.47	35.37	119
2023-08-21T13:23:48-05:00	1.02	-16.4796	-71.5253	29.49	35.99	117
2023-08-21T13:24:17-05:00	1.01	-16.4796	-71.5253	29.51	36.39	107
2023-08-21T13:24:44-05:00	1.01	-16.4796	-71.5253	29.59	37.25	107
2023-08-21T13:25:08-05:00	1.02	-16.4796	-71.5253	29.65	37.49	106
2023-08-21T13:25:24-05:00	1.02	-16.4796	-71.5253	29.65	37.49	106
2023-08-21T13:27:38-05:00	1.01	-16.4796	-71.5253	29.51	35.57	106
2023-08-21T13:28:06-05:00	1.01	-16.4796	-71.5253	29.63	37.01	98
2023-08-21T13:29:01-05:00	1.01	-16.4796	-71.5253	30.03	38.61	110
2023-08-21T13:29:18-05:00	1.01	-16.4796	-71.5253	30.03	38.61	110
2023-08-21T13:30:17-05:00	1.01	-16.4796	-71.5253	30.33	38.03	109
2023-08-21T13:31:35-05:00	1.01	-16.4796	-71.5253	30.47	38.49	105
2023-08-21T13:31:52-05:00	1.01	-16.4796	-71.5253	30.57	38.77	97
2023-08-21T13:33:09-05:00	1.02	-16.4796	-71.5253	30.75	39.21	101
2023-08-21T13:33:41-05:00	1.02	-16.4796	-71.5253	30.75	39.21	101
2023-08-21T13:34:36-05:00	1.04	-16.4796	-71.5253	30.37	34.89	119
2023-08-21T13:35:15-05:00	1.04	-16.4796	-71.5253	30.37	34.89	119
2023-08-21T13:37:46-05:00	1.02	-16.4796	-71.5253	30.45	36.93	107
2023-08-21T13:38:07-05:00	1.02	-16.4796	-71.5253	30.45	36.93	107
2023-08-21T13:39:49-05:00	1.00	-16.4796	-71.5254	30.37	37.49	107
2023-08-21T13:40:23-05:00	1.01	-16.4796	-71.5254	30.47	37.63	106
2023-08-21T13:40:48-05:00	1.01	-16.4796	-71.5254	30.47	37.63	106
2023-08-21T13:41:20-05:00	1.01	-16.4797	-71.5254	30.29	36.45	108
2023-08-21T13:42:02-05:00	1.01	-16.4796	-71.5254	30.17	34.95	119
2023-08-21T13:44:13-05:00	1.01	-16.4797	-71.5254	30.15	37.49	106
2023-08-21T13:44:45-05:00	1.01	-16.4797	-71.5254	30.15	37.49	106

2023-08-21T13:49:47-05:00	1.03	-16.4797	-71.5254	30.33	36.31	115
2023-08-21T13:50:56-05:00	1.02	-16.4797	-71.5254	30.37	34.89	104
2023-08-21T13:51:24-05:00	1.03	-16.4797	-71.5254	30.23	34.59	94
2023-08-21T13:52:22-05:00	1.03	-16.4797	-71.5254	30.23	34.59	94
2023-08-21T13:54:19-05:00	1.01	-16.4797	-71.5254	30.13	36.99	107
2023-08-21T13:55:26-05:00	1.01	-16.4797	-71.5253	30.47	38.81	107
2023-08-21T13:56:20-05:00	1.02	-16.4797	-71.5253	30.69	39.51	107
2023-08-21T13:56:52-05:00	1.01	-16.4797	-71.5254	31.05	39.79	109
2023-08-21T13:57:11-05:00	1.01	-16.4797	-71.5254	31.05	39.79	109
2023-08-21T13:58:28-05:00	1.01	-16.4797	-71.5254	31.07	39.03	104
2023-08-21T13:59:22-05:00	1.00	-16.4797	-71.5254	31.03	37.91	94
2023-08-21T14:00:55-05:00	1.02	-16.4796	-71.5253	30.99	38.05	104
2023-08-21T14:01:29-05:00	1.01	-16.4796	-71.5253	31.09	39.13	107
2023-08-21T14:02:11-05:00	1.04	-16.4796	-71.5254	31.23	40.23	118
2023-08-21T14:04:50-05:00	1.16	-16.4796	-71.5254	31.27	39.55	118
2023-08-21T14:07:11-05:00	1.19	-16.4796	-71.5254	31.09	37.25	115
2023-08-21T14:21:46-05:00	1.05	-16.4797	-71.5254	30.21	38.35	113
2023-08-21T14:22:18-05:00	0.95	-16.4797	-71.5254	30.29	38.55	115
2023-08-21T14:24:06-05:00	1.05	-16.4796	-71.5254	30.93	40.45	116
2023-08-21T14:24:41-05:00	1.05	-16.4796	-71.5254	30.93	40.45	116
2023-08-21T14:25:15-05:00	1.05	-16.4796	-71.5254	31.13	40.67	115
2023-08-21T14:25:49-05:00	1.24	-16.4796	-71.5254	31.29	41.01	115
2023-08-21T14:26:06-05:00	1.03	-16.4796	-71.5254	31.39	40.93	117
2023-08-21T14:26:48-05:00	1.04	-16.4796	-71.5254	31.49	41.27	115
2023-08-21T14:27:30-05:00	1.04	-16.4796	-71.5254	31.63	41.29	119
2023-08-21T14:28:10-05:00	1.23	-16.4796	-71.5254	31.73	41.37	119
2023-08-21T14:28:29-05:00	1.03	-16.4796	-71.5254	31.73	41.37	119
2023-08-21T14:28:53-05:00	1.04	-16.4797	-71.5253	31.87	41.47	114
2023-08-21T14:29:11-05:00	1.04	-16.4797	-71.5253	31.91	41.55	117
2023-08-21T14:30:15-05:00	0.92	-16.4797	-71.5253	31.97	41.63	118
2023-08-21T14:30:38-05:00	1.05	-16.4797	-71.5253	32.11	41.89	117
2023-08-21T14:30:55-05:00	1.05	-16.4797	-71.5253	32.11	41.89	117
2023-08-21T14:31:16-05:00	1.05	-16.4797	-71.5253	32.11	41.89	117
2023-08-21T14:31:48-05:00	1.04	-16.4797	-71.5253	32.19	41.85	117
2023-08-21T14:32:23-05:00	1.04	-16.4797	-71.5253	32.31	41.89	113
2023-08-21T14:32:47-05:00	1.03	-16.4797	-71.5253	32.37	41.99	116
2023-08-21T14:49:52-05:00	1.04	-16.4797	-71.5253	32.37	38.83	113
2023-08-21T14:52:26-05:00	1.02	-16.4797	-71.5253	32.27	39.19	116
2023-08-21T14:52:58-05:00	1.02	-16.4797	-71.5253	32.27	39.19	116
2023-08-21T14:53:53-05:00	1.06	-16.4797	-71.5253	31.61	33.67	108
2023-08-21T14:54:56-05:00	1.08	-16.4796	-71.5254	31.21	34.17	106
2023-08-21T14:55:59-05:00	1.08	-16.4797	-71.5254	30.97	34.65	108
2023-08-21T14:56:27-05:00	1.08	-16.4797	-71.5254	30.97	34.65	108
2023-08-21T15:00:13-05:00	1.12	-16.4798	-71.5253	30.43	35.05	105
2023-08-21T15:00:30-05:00	1.12	-16.4798	-71.5253	30.43	35.05	105
2023-08-21T15:01:04-05:00	1.12	-16.4798	-71.5253	30.43	35.05	105

2023-08-21T15:04:48-05:00	1.05	-16.4798	-71.5253	30.21	37.97	103
2023-08-21T15:05:44-05:00	1.04	-16.4798	-71.5253	30.27	38.75	104
2023-08-21T15:06:00-05:00	1.08	-16.4798	-71.5253	30.39	38.59	104
2023-08-21T15:06:36-05:00	1.04	-16.4798	-71.5253	30.43	38.45	106
2023-08-21T15:08:24-05:00	1.06	-16.4798	-71.5253	30.35	38.09	105
2023-08-21T15:08:51-05:00	1.05	-16.4798	-71.5253	30.41	37.83	103
2023-08-21T15:10:26-05:00	1.01	-16.4798	-71.5253	30.33	36.03	119
2023-08-21T15:12:00-05:00	1.04	-16.4796	-71.5254	29.93	34.85	112
2023-08-21T15:12:33-05:00	1.08	-16.4796	-71.5254	29.81	34.17	93
2023-08-21T15:13:29-05:00	1.06	-16.4796	-71.5254	29.63	32.77	114
2023-08-21T15:14:43-05:00	1.05	-16.4796	-71.5254	29.59	35.15	109
2023-08-21T15:15:15-05:00	0.99	-16.4796	-71.5254	29.55	34.45	104
2023-08-21T15:15:47-05:00	0.96	-16.4796	-71.5254	29.53	34.01	94
2023-08-21T15:16:05-05:00	0.96	-16.4796	-71.5254	29.53	34.01	94
2023-08-21T15:17:21-05:00	1.14	-16.4796	-71.5254	29.17	33.75	99
2023-08-21T15:17:38-05:00	1.14	-16.4796	-71.5254	29.17	33.75	99
2023-08-21T15:18:45-05:00	1.05	-16.4796	-71.5254	28.99	34.65	107
2023-08-21T15:19:04-05:00	1.05	-16.4796	-71.5254	28.99	34.65	107
2023-08-21T15:19:23-05:00	1.05	-16.4796	-71.5254	28.99	34.65	107
2023-08-21T15:20:22-05:00	1.03	-16.4796	-71.5254	28.91	33.93	107
2023-08-21T15:24:12-05:00	1.06	-16.4797	-71.5254	29.31	36.31	100
2023-08-21T15:24:57-05:00	1.14	-16.4797	-71.5254	29.37	37.35	98
2023-08-21T15:26:31-05:00	1.05	-16.4797	-71.5254	29.23	37.19	107
2023-08-21T15:26:58-05:00	1.05	-16.4797	-71.5254	29.23	37.19	107
2023-08-21T15:27:32-05:00	1.05	-16.4797	-71.5254	29.27	36.67	103
2023-08-21T15:27:56-05:00	1.07	-16.4796	-71.5254	29.23	37.27	106
2023-08-21T15:28:55-05:00	1.05	-16.4797	-71.5253	29.33	37.47	102
2023-08-21T15:29:35-05:00	1.05	-16.4797	-71.5253	29.43	38.75	105
2023-08-21T15:30:17-05:00	1.05	-16.4797	-71.5254	29.57	38.27	104
2023-08-21T15:30:40-05:00	1.05	-16.4797	-71.5254	29.57	38.27	104
2023-08-21T15:30:57-05:00	1.05	-16.4797	-71.5254	29.51	36.65	107
2023-08-21T15:31:56-05:00	1.07	-16.4797	-71.5254	29.37	35.03	104
2023-08-21T15:35:46-05:00	1.06	-16.4797	-71.5254	29.47	38.19	106
2023-08-21T15:36:22-05:00	1.05	-16.4797	-71.5254	29.49	38.33	106
2023-08-21T15:36:39-05:00	1.09	-16.4797	-71.5254	29.53	38.31	105
2023-08-21T15:36:56-05:00	1.09	-16.4797	-71.5254	29.53	38.31	105
2023-08-21T15:37:40-05:00	1.05	-16.4798	-71.5253	29.37	39.77	106
2023-08-21T15:38:01-05:00	1.05	-16.4798	-71.5253	29.37	39.77	106
2023-08-21T15:39:29-05:00	1.05	-16.4798	-71.5253	29.35	37.95	111
2023-08-21T15:40:30-05:00	1.02	-16.4798	-71.5253	29.47	38.25	108
2023-08-21T15:40:58-05:00	0.95	-16.4798	-71.5253	29.27	35.43	119
2023-08-21T15:41:30-05:00	1.06	-16.4798	-71.5253	29.29	36.79	103
2023-08-21T15:41:47-05:00	1.06	-16.4798	-71.5253	29.29	36.79	103
2023-08-21T15:49:45-05:00	1.04	-16.4797	-71.5253	29.69	34.19	103
2023-08-21T15:50:38-05:00	1.05	-16.4796	-71.5254	29.21	32.65	112
2023-08-21T15:52:29-05:00	1.06	-16.4797	-71.5254	29.35	37.83	106

2023-08-21T15:53:14-05:00	1.03	-16.4797	-71.5254	29.31	36.63	109
2023-08-22T11:13:56-05:00	0.88	0	0	19.45	35.75	115
2023-08-22T11:14:13-05:00	0.88	0	0	19.45	35.75	115
2023-08-22T11:19:01-05:00	0.93	0	0	22.01	37.57	113
2023-08-22T11:28:10-05:00	1.10	-16.4797	-71.5254	24.55	36.51	117
2023-08-22T11:32:11-05:00	0.99	-16.4797	-71.5254	25.31	33.69	113
2023-08-22T11:32:28-05:00	0.99	-16.4797	-71.5254	25.31	33.69	113
2023-08-22T12:07:52-05:00	1.05	-16.4797	-71.5254	30.27	37.69	105
2023-08-22T12:23:05-05:00	1.04	-16.4796	-71.5254	29.95	37.47	104
2023-08-22T12:25:16-05:00	1.03	-16.4796	-71.5254	29.65	34.77	111
2023-08-22T12:26:19-05:00	1.01	-16.4797	-71.5254	29.53	35.35	106
2023-08-22T12:28:37-05:00	1.05	-16.4797	-71.5254	29.41	37.69	104
2023-08-22T13:06:15-05:00	1.07	-16.4796	-71.5254	32.19	35.85	104
2023-08-22T13:06:40-05:00	1.06	-16.4796	-71.5254	32.05	35.89	99
2023-08-22T13:06:55-05:00	1.05	-16.4796	-71.5254	31.89	35.85	108
2023-08-22T13:07:32-05:00	1.07	-16.4796	-71.5254	31.87	36.77	105
2023-08-22T13:10:48-05:00	1.06	-16.4797	-71.5254	31.55	35.57	109
2023-08-22T13:11:07-05:00	1.06	-16.4797	-71.5254	31.55	35.57	109
2023-08-22T13:11:30-05:00	1.08	-16.4797	-71.5253	31.49	35.17	109
2023-08-22T13:12:56-05:00	1.05	-16.4797	-71.5253	31.43	36.11	106
2023-08-22T13:13:17-05:00	1.05	-16.4796	-71.5253	31.51	36.93	106
2023-08-22T13:14:06-05:00	1.06	-16.4796	-71.5253	31.47	35.59	104
2023-08-22T13:14:25-05:00	1.06	-16.4796	-71.5253	31.47	35.59	104
2023-08-22T13:17:44-05:00	1.07	-16.4797	-71.5254	31.19	36.85	102
2023-08-22T13:18:47-05:00	1.00	-16.4797	-71.5254	31.11	35.35	114
2023-08-22T13:39:49-05:00	1.20	-16.4797	-71.5253	30.25	35.25	100
2023-08-22T14:17:17-05:00	1.06	-16.4797	-71.5254	29.27	36.05	102
2023-08-22T14:26:26-05:00	1.05	-16.4796	-71.5254	28.89	38.19	98
2023-08-24T09:49:25-05:00	1.14	0	0	18.15	34.05	110
2023-08-24T09:49:41-05:00	1.14	0	0	18.15	34.05	110
2023-08-24T09:50:06-05:00	1.14	0	0	18.15	34.05	110
2023-08-24T09:50:24-05:00	1.14	0	0	18.15	34.05	110
2023-08-24T09:50:40-05:00	1.14	0	0	18.15	34.05	110
2023-09-16T15:42:17-05:00	1.06	0	0	23.27	34.33	109
2023-09-16T15:42:49-05:00	1.08	0	0	23.41	34.85	105
2023-09-16T15:43:12-05:00	1.08	0	0	23.63	35.83	113
2023-09-16T15:43:28-05:00	1.03	0	0	23.75	36.29	105
2023-09-16T15:43:49-05:00	1.21	0	0	23.85	34.85	104
2023-09-16T15:52:02-05:00	1.05	0	0	25.67	34.95	96
2023-09-16T15:54:18-05:00	1.07	0	0	25.53	32.55	109
2023-09-16T15:54:42-05:00	1.07	0	0	25.53	32.55	109
2023-09-16T15:55:07-05:00	1.05	0	0	25.45	32.87	108
2023-09-16T15:55:24-05:00	1.05	0	0	25.55	33.59	105
2023-09-16T15:55:40-05:00	1.05	0	0	25.55	33.59	105
2023-09-16T15:55:56-05:00	1.02	0	0	25.55	32.91	108
2023-09-16T15:56:20-05:00	1.02	0	0	25.55	32.91	108

2023-09-16T15:57:09-05:00	1.14	0	0	25.65	35.83	104
2023-09-16T15:57:25-05:00	1.14	0	0	25.65	35.83	104
2023-09-16T15:57:44-05:00	1.14	0	0	25.65	35.83	104
2023-09-16T17:06:36-05:00	1.06	-16.4805	7.2167	26.27	33.79	106
2023-09-16T17:09:34-05:00	1.06	-16.4805	7.2167	25.87	31.49	109
2023-09-16T17:11:34-05:00	1.04	-16.4805	7.2167	25.65	32.17	107
2023-09-16T17:13:07-05:00	1.05	-16.4793	-71.5252	25.73	33.93	105
2023-09-16T17:30:24-05:00	1.06	-16.4795	-71.5252	26.43	35.23	104
2023-09-16T17:31:50-05:00	1.04	-16.4795	-71.5252	26.29	33.03	98
2023-09-16T17:43:21-05:00	1.05	-16.4795	-71.5251	24.17	30.77	106
2023-09-16T18:08:44-05:00	1.05	-16.4796	-71.5251	22.67	30.71	107
2023-09-16T18:16:25-05:00	1.05	-16.4794	-71.5253	23.21	33.21	105
2023-09-16T18:46:11-05:00	1.04	-16.4797	-71.5252	21.85	31.63	105
2023-09-16T19:07:02-05:00	1.07	-16.48	-71.5251	21.81	30.77	110
2023-10-07T20:03:02-05:00	0.91	0	0	24.87	41.27	126
2023-10-07T20:04:47-05:00	1.05	0	0	25.15	41.29	107
2023-10-07T20:07:52-05:00	1.03	0	0	25.37	41.05	108
2023-10-07T20:09:40-05:00	1.24	0	0	25.53	41.15	109
2023-10-07T20:09:58-05:00	1.02	0	0	25.57	41.01	101
2023-10-07T20:10:17-05:00	1.04	0	0	25.59	40.99	106
2023-10-07T20:10:40-05:00	0.92	0	0	25.63	41.43	117
2023-10-07T20:10:57-05:00	1.04	0	0	25.63	41.43	117
2023-10-07T20:11:22-05:00	1.04	0	0	25.63	41.43	117
2023-10-07T20:11:45-05:00	1.04	0	0	25.61	40.91	103
2023-10-07T20:12:16-05:00	1.03	0	0	25.65	41.07	101
2023-10-07T20:12:32-05:00	1.03	0	0	25.65	41.07	101
2023-10-07T20:12:53-05:00	1.04	0	0	25.65	41.39	98
2023-10-07T20:13:31-05:00	1.17	0	0	25.67	42.09	124
2023-10-07T20:13:48-05:00	1.05	0	0	25.69	41.77	116
2023-10-07T20:15:28-05:00	1.04	0	0	25.75	42.13	110
2023-10-07T20:18:57-05:00	1.05	0	0	25.83	41.61	102
2023-10-07T20:19:20-05:00	1.25	0	0	25.83	41.61	102
2023-10-07T20:19:45-05:00	1.05	0	0	25.93	41.41	109
2023-10-07T20:20:06-05:00	1.04	0	0	25.95	41.41	105
2023-10-07T20:20:22-05:00	1.04	0	0	25.97	41.47	109
2023-10-07T20:20:38-05:00	1.04	0	0	26.03	41.43	116
2023-10-07T20:20:55-05:00	1.04	0	0	26.03	41.43	116
2023-10-07T20:21:19-05:00	1.04	0	0	26.03	41.43	116
2023-10-07T20:22:24-05:00	1.08	0	0	25.69	40.43	117
2023-10-07T20:22:42-05:00	1.08	0	0	25.69	40.43	117
2023-10-07T20:22:58-05:00	1.08	0	0	25.69	40.43	117
2023-10-07T20:24:39-05:00	1.03	0	0	25.73	40.77	122
2023-10-07T20:25:58-05:00	0.91	0	0	25.85	41.75	120
2023-10-07T20:26:23-05:00	1.04	0	0	25.99	41.47	109
2023-10-07T20:27:05-05:00	1.00	0	0	26.01	41.57	104
2023-10-07T20:27:26-05:00	1.07	0	0	26.07	41.43	109

2023-10-07T20:27:46-05:00	1.03	0	0	26.03	41.43	106
2023-10-07T20:28:02-05:00	1.04	0	0	26.07	41.43	104
2023-10-07T20:28:25-05:00	1.04	0	0	26.11	41.43	108
2023-10-07T20:28:42-05:00	1.04	0	0	26.11	41.43	108
2023-10-07T20:28:58-05:00	1.04	0	0	26.11	41.43	108
2023-10-07T20:29:17-05:00	1.04	0	0	26.15	41.27	112
2023-10-07T20:29:38-05:00	1.04	0	0	26.15	41.27	97
2023-10-07T20:29:54-05:00	1.03	0	0	26.15	41.15	104
2023-10-07T20:58:27-05:00	1.22	-16.4796	-71.5253	25.87	41.33	106
2023-10-07T22:18:28-05:00	1.03	-16.4796	-71.5252	25.85	40.59	106
2023-10-07T22:44:50-05:00	1.05	-16.4797	-71.5251	25.47	40.81	102



ANEXO 5: REGISTRO NACIONAL DE FRECUENCIAS

La tecnología LoRa opera en la banda de frecuencia de 915 MHz, respaldada en Perú por el Plan Nacional de Atribución de Frecuencias, según la Resolución Ministerial N° 687-2018-MTC/01.03.



Actualizado al 16 de octubre de 2023

Bandas de 899 – 915 MHz y 944 – 960 MHz				
Banda declarada en Reserva (*)				
Canal	Rango de Frecuencias (MHz)		Empresa	Área de Asignación
	Ancho de Banda de Ida: (16 MHz)	Ancho de Banda de Retorno: (16 MHz)		
1	899 - 915	944 - 960	Viettel Perú S.A.C.	Provincia de Lima y la Provincia Constitucional del Callao

Canal	Rango de Frecuencias (MHz)		Empresa	Área de Asignación
	Ancho de Banda de Ida: (13 MHz)	Ancho de Banda de Retorno: (13 MHz)		
1	902 - 915	947 - 960	Viettel Perú S.A.C.	A Nivel Nacional excepto de la Provincia de Lima y de la Provincia Constitucional del Callao

Note P51A del Plan Nacional de Atribución de Frecuencias establece:
"Las bandas de frecuencias 450-470 MHz (Nota 5.286AA del Reglamento de Radiocomunicaciones del 2020 – RR2020), 690 – 960 MHz (Nota 5.317A del RR2020), 1 427- 1 510 MHz (Nota 5.341B del RR2020), 1 710- 1 805 MHz, 2 300-2 400 MHz, 2 500-2 690 MHz (5.384A del RR2020), 1 895-2 025 MHz, 2 110-2 200 MHz (5.388 del RR2020), 3 400-3 600 MHz (5.431B del RR2020), 3 300 – 3 400 MHz (5.429D del RR2020), 3 600 – 3 800 MHz (referencia parcial 5.434 del RR2020) y 24,25-27,5 GHz (5.532AB del RR2020), se han identificado para su utilización para las Telecomunicaciones Móviles Internacionales (IMT); lo que no impide su utilización para los otros servicios que fueron atribuidos en dichas bandas; ni establece prioridad alguna en el Plan Nacional de Atribución de Frecuencias. (CMR 19)".

(*) Note P57 del Plan Nacional de Atribución de Frecuencias establece:
"Las bandas de frecuencias 899-915 MHz y 944-960 MHz están atribuidas a título primero a los servicios públicos de telecomunicaciones utilizando sistemas de acceso inalámbrico para la provincia de Lima y la Provincia Constitucional del Callao. En el resto del país, la atribución a título primero para servicios públicos de telecomunicaciones utilizando sistemas de acceso inalámbrico corresponde al rango 902-915 MHz y 947-960 MHz. El otorgamiento de la concesión y la asignación de espectro radioeléctrico para la prestación de servicios públicos de telecomunicaciones en las referidas bandas a nivel nacional, se realizarán mediante concurso público".

Note 1 de la Nota de Aplicación General al Cuadro de Atribución de Frecuencias de la Sección V del artículo 4 del Plan Nacional de Atribución de Frecuencias, aprobado mediante Resolución Ministerial N° 187-2005-MTC/03 y modificado mediante Resolución Ministerial N° 687-2018-MTC/01.03 publicada el 30 de agosto de 2018 en el Diario Oficial "El Peruano"

*"1. Las modificaciones de oficio de frecuencias asignadas, en aplicación de lo dispuesto en el artículo 217 del Texto Único Ordenado del Reglamento General de la Ley de Telecomunicaciones u otras disposiciones previstas en la normativa para el reordenamiento de las bandas o frecuencias asignadas, no se encuentran sujetas al mecanismo de concurso público de ofertas.
 En caso de bandas de frecuencias fuera de la Provincia de Lima y la Provincia Constitucional del Callao, la asignación del espectro radioeléctrico requerido para la prestación de servicios públicos de telecomunicaciones y atribuidas a título primero, se realiza por concurso público, salvo disposición normativa que establezca lo contrario y para los casos de radiofrecuencias digitales para la prestación de servicios públicos de telecomunicaciones en las bandas atribuidas como tales en el PNAF."*

Canalización de las Bandas 899 - 915 MHz y 944 - 960 MHz (**)		
Canal	Rango de Frecuencias (MHz)	
	Ida	Retorno
1	899 - 915	944 - 960

Nota: Esta canalización solo podrá ser utilizada para realizar asignaciones en la Provincia de Lima y la Provincia Constitucional del Callao.

Canalización de las Bandas 899 - 915 MHz y 944 - 960 MHz (**)		
Canal	Rango de Frecuencias (MHz)	
	Ida	Retorno
1	902 - 915	947 - 960

Nota: Esta canalización solo podrá ser utilizada para realizar asignaciones fuera de la Provincia de Lima y la Provincia Constitucional del Callao.

()** Canalización vigente según R.V.M. N° 036-2023-MTC/03 publicada el 4 de mayo de 2023, en el Diario Oficial "El Peruano"

ANEXO 7: FOTOGRAFÍAS



