



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN

**“SISTEMA DE MONITOREO MEDIANTE UNA RED DE SENSORES
UTILIZANDO TECNOLOGÍA LORA EN LA APÍCOLA GRIJALVA UBICADA EN
LA PARROQUIA DE ATUNTAQUI, CANTÓN ANTONIO ANTE PROVINCIA DE
IMBABURA”**

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y REDES DE COMUNICACIÓN**

AUTOR: FERNANDO XAVIER VALENCIA BARAHONA

DIRECTOR: MSC. JAIME ROBERTO MICHILENA CALDERÓN

ASESOR: MSC. FABIÁN GEOVANNY CUZME RODRÍGUEZ

Ibarra-Ecuador

2022



UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA.

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DEL CONTACTO			
CÉDULA DE	1002847588		
APELLIDOS Y	Valencia Barahona Fernando Xavier		
DIRECCIÓN	Luis Dávila Pérez 4-95 y Tobías Mena		
E-MAIL	fxvalenciab@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO	062585680	TELÉFONO MÓVIL	0981732399

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO	“Sistema de monitoreo mediante una red de sensores utilizando Tecnología LoRa en la Apícola Grijalva ubicada en la parroquia de Atuntaqui, cantón Antonio Ante provincia de Imbabura”
AUTOR	Valencia Barahona Fernando Xavier
FECHA	18 de noviembre de 2002
PROGRAMA	Pregrado
TÍTULO	Ingeniero en Electrónica y Redes de Comunicación
DIRECTOR	Ing. Jaime Roberto Michilena Calderón, MsC.

Firma.

Nombre: Valencia Barahona Fernando Xavier



UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APICADAS

CONSTANCIAS.

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 2 días del mes de diciembre de 2022

EL AUTOR

Fernando Xavier Valencia Barahona

CI: 100284758-8



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

CERTIFICACIÓN.

MAGISTER JAIME MICHILENA, DIRECTOR DEL PRESENTE TRABAJO DE
TITULACIÓN CERTIFICA:

Que, el presente trabajo de Titulación “SISTEMA DE MONITOREO MEDIANTE UNA RED DE SENSORES UTILIZANDO TECNOLOGÍA LORA EN LA APÍCOLA GRIJALVA UBICADA EN LA PARROQUIA DE ATUNTAQUI, CANTÓN ANTONIO ANTE PROVINCIA DE IMBABURA” Ha sido desarrollado por el señor Fernando Xavier Valencia Barahona bajo mi supervisión.

Es todo en cuanto puedo certificar en honor de la verdad.

A handwritten signature in purple ink, appearing to read 'Jaime Michilena', with a long horizontal stroke extending to the left.

Ing. Jaime Roberto Michilena Calderón, MsC.

DIRECTOR

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a:

Mis padres Ramiro y Diana, por estar a mi lado con sus voces de aliento y esperanza; con sus acciones llenas de amor y fuerza, permitiendo que día a día, formé mi espíritu, para el trabajo, el dinamismo y la honestidad.

A mis hermanas Vero y Belén, por su cariño y risas

A mi hermano Ramiro, por confiar en mi en todo momento, por saber que todo sueño se puede cumplir con perseverancia y sacrificio, por ser un amigo y como un padre a la vez.

A mi novia Estefanía, que ha sido un pilar fundamental en mi vida, la cual me inspira a ser mejor cada día.

A mis amigos y compañeros en especial a Edison, que supo estar con cada palabra de motivación y aliento.

Fernando Xavier Valencia Barahona

AGRADECIMIENTO

La vida es un cúmulo de gratas experiencias y en ellas, es importante mencionar a quienes han hecho posible que un anhelo se haga realidad.

Mi gratitud imperecedera a Dios por ser el hacedor de la existencia, por depositar en mi camino a las personas que forjan mi esfuerzo y optimismo.

A mis padres y hermanos por ese cariño y amor incondicional que me brindan ayudándome a superar las dificultades que se presentan en mi vida.

Una eterna gratitud al Ingeniero Jaime Michilena, director del trabajo de tesis, quien, con sus valiosos conocimientos y recomendaciones, supo ilustrar de manera paciente, el aprendizaje necesario para alcanzar la meta propuesta.

A todos los docentes de la carrera de Ingeniería en Electrónica y Redes de Comunicación, al ser portadores de sus bagajes académicos que permiten transitar con seguridad y trascendencia, por la senda del conocimiento y la práctica de sólidos valores.

INDICE

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN	I
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.	I
CONSTANCIAS.....	II
CERTIFICACIÓN.....	III
DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTO	V
RESUMEN	XII
ABSTRACT.....	XIII
1. CAPÍTULO I: ANTECEDENTES	14
1.1. Tema	14
1.2. Problema.....	14
1.3. Objetivos.....	18
1.3.1. <i>Objetivo General</i>	18
1.3.2. <i>Objetivos Específicos</i>	18
1.4. Alcance.....	19
1.5. Justificación	21
2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	23
2.1 Redes Inalámbricas.....	23
2.1.1. <i>Clasificación de redes inalámbricas.</i>	23
2.2 Red de sensores Inalámbricos (WSN).....	26
2.2.1 <i>Elementos de una WSN</i>	27
2.2.2 <i>Arquitectura de WSN</i>	28
2.3 Internet de las Cosas (IoT)	29
2.3.1 <i>Protocolos de comunicación de IoT</i>	29
2.3.2 <i>Arquitectura de IoT</i>	30
2.3.3 <i>Tecnologías de comunicación Redes de IoT</i>	33
2.4 Tecnología LoRa.....	36
2.4.1 <i>Parámetros de comunicación</i>	37
2.4.2 <i>Fundamentos de la modulación LoRa</i>	38
2.4.3 <i>LoRaWAN</i>	40
2.4.4 <i>Canales y Rangos de Frecuencia</i>	41
2.4.5 <i>Modos de acceso a una red LoRa</i>	42
2.4.6 <i>Arquitectura LoRaWAN</i>	44
2.4.7 <i>Clases de dispositivos LoRaWAN</i>	45
2.4.7 <i>Seguridad LoRaWAN</i>	47
2.5 Apicultura	49

2.5.1	Importancia de las Abejas	49
2.5.2	Beneficio de las Abejas	50
2.5.3	Producción de miel	51
2.5.4	Falta de procesos productivos de la miel de abeja	51
2.5.5	Factores que Amenazan a las Abejas	52
2.5.6	Variables que influyen en la producción de miel de las Abejas	53
2.6	Hardware y Software Libre	53
2.7	Metodología	55
2.7.1	FASE 1: Análisis y definición de Requerimientos	56
2.7.2	FASE 2: Diseño del Sistema	56
2.7.3	FASE 3: Implementación del Sistema	56
2.7.4	FASE 4: Verificación	56
3.	CAPITULO III: DISEÑO DEL SISTEMA	57
3.1	Fase 1: Requisitos y Requerimientos	57
3.1.1	Análisis	57
3.2	Situación Actual	59
3.3.	Requerimientos del Sistema	60
3.3.1.	Requerimientos iniciales del sistema	62
3.3.2.	Requerimientos de arquitectura	63
3.3.3.	Requerimientos Stakeholders	64
3.4.	Fase 2: Diseño del Sistema y de Software	66
3.4.1	Diagrama de Bloques del Sistema	66
3.5.	Elección de Hardware y Software para el Sistema	68
3.5.1	Elección de Hardware	68
3.5.1.1	Elección Nodo Recolector	68
3.5.1.2	Elección Módulos de comunicación LoRa	71
3.5.1.3	Elección de Sensor Temperatura y Humedad	71
3.5.1.4	Elección de Sensor de Peso	72
3.5.1.5	Elección de Sensor GPS	73
3.5.1.6	Elección de Gateway LoRa	74
3.5.2	Elección de Software	74
3.5.2.1	Software de programación	75
3.5.2.2	Software de Página Web y Aplicación Móvil	75
3.5.2.3	Software de Base de Datos	76
3.6	Diseño del Sistema	77
3.6.1	Diagrama de Arquitectura del Funcionamiento del Sistema	77
3.7	Diseño de Hardware	80
3.7.1	Nodo Sensor o Recolector de Información	80
3.7.2	Red de Sensor Inalámbrico (WSN)	92
3.7.3	Ciclo de trabajo y tiempo de aire (ToA)	93
3.7.4	Tipo de clase seleccionado para la red WSN.	94
3.7.5	Pérdidas en el espacio libre	96
3.5.1	Distribución de los Nodos	97
3.5.2	Zona de Fresnel	102
3.5.3	Potencia radiada isotrópica efectiva (PIRE)	105
3.5.4	Indicación de intensidad de señal recibida (RSSI)	105
3.5.5	Comparación de Resultados	106

3.5.6	Puerta de Enlace o Gateway Dragino	107
3.6	Creación y Levantamiento de Software	117
3.6.1	Creación de Base de Datos	118
4.	CAPITULO IV: IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS	121
4.1.	Fase 3: Implementación y Validación de la Red.	121
4.1.1	Configuración de Módulo LoRa	121
4.1.2	Verificación de Adquisición de Datos	122
4.1.3	Verificación de Conectividad entre los Nodos	128
4.1.4	Verificación de Almacenamiento y Visualización de Datos	131
4.2	Fase 4: Validación del Sistema	134
4.2.1	Prueba de comunicación Inalámbrica	135
4.2.2	Prueba de Adquisición de Datos de las colmenas	136
4.2.3	Estimación de Datos de producción de la colmena	139
4.2.3.1	Resultado de estimación del modelo	141
4.2.3.2	Comprobación de producción de miel	143
4.3	Costo de Hardware	146
4.3.1	Costo de Infraestructura	146
4.3.2	Costo de Software	147
4.3.3	Costo de Ingeniería	148
4.3.4	Costo de Implementación Total del Sistema	148
4.3.5	Análisis Costo Beneficio	149
4.4	Conclusiones	152
4.5	Recomendaciones	153
	REFERENCIAS	154
	ANEXOS	157
	<i>ANEXO A Entrevista a Técnico de la Apícola Grijalva</i>	<i>157</i>
	<i>ANEXO B Base de Datos Firebase</i>	<i>159</i>
	<i>ANEXO C Elaboración de Página WEB y App Móvil</i>	<i>162</i>

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Dispositivos de una red WPAN	24
Figura 2	Diagrama de una red de área metropolitana	25
Figura 3	Diagrama de una red de área amplia	26
Figura 4	Modelo de autenticación en red de sensores inalámbricos	27
Figura 5	Arquitectura de una red de sensores	28
Figura 6	Stack de protocolos de comunicación y mensajería	30
Figura 7	Principios de una Arquitectura IoT	31
Figura 8	Arquitectura IoT	33
Figura 9	Topología de una red con tecnología LoRa	36
Figura 10	Pulsos up-chirp y down-chirp	38
Figura 11	Señales equivalentes de los pulsos up-chirp y down-chirp	39
Figura 12	Esquema de la red LoRaWAN	40
Figura 13	Canales definidos para el plan de canalización AU915	42

Figura 14 Arquitectura LoRaWAN.....	44
Figura 15 Ranura de recepción de un dispositivo de clase A.....	45
Figura 16 Ranura de recepción de un dispositivo de clase B.....	46
Figura 17 Ranura de recepción de un dispositivo de clase C.....	46
Figura 18 Seguridad de red LoRaWAN.....	48
Figura 19 Núcleo de abejas reina.....	50
Figura 20 Método en cascada	55
Figura 21 Apícola Grijalva	59
Figura 22 Diagrama de bloques General.....	67
Figura 23 Shield LoRa y Componentes	69
Figura 24 Diagrama de Arquitectura del Sistema.....	78
Figura 25 Diagrama de la fuente de alimentación del Nodo Sensor.....	81
Figura 26 Sensor de peso HX711 y celda de carga conectado a Arduino	84
Figura 27 Sensor de Temperatura y Humedad DHT 11 - conectado a Arduino.....	85
Figura 28 Sensor GPS NEO 6M - conectado a Arduino.....	86
Figura 29 Módulo LoRa para Arduino	87
Figura 30 Montaje de Módulo LoRa en la placa Arduino	88
Figura 31 Librerías para Nodo Sensor LoRa	89
Figura 32 Configuración Básica de Módulo LoRa	91
Figura 33 Red de Sensores Inalámbricos LoRa - Topología en estrella	92
Figura 34 Representación de Clase A en LoRaWAN.....	94
Figura 35 Representación de Clase B en LoRaWAN	95
Figura 36 Representación de Clase B en LoRaWAN	95
Figura 37 Ubicación de Nodos Sensores	97
Figura 38 Puntos de referencia de cada nodo en Radio Mobile.....	99
Figura 39 Parámetros principales de la Red.....	100
Figura 40 Sistema de Enlaces - Parámetros Principales	101
Figura 41 Resultado de Simulación	102
Figura 42 Zona de Fresnel e Intensidad de señal-Nodo Sensor 1.	103
Figura 43 Zona de Fresnel e Intensidad de señal-Nodo Sensor 2.	104
Figura 44 Diagrama de Bloques de LoRa Gateway LG01-P.....	108
Figura 45 Componentes Físicos de LoRa Gateway LG01-P	108
Figura 46 Alimentación al LoRa Gateway Dragino.	109
Figura 47 Parámetros de Preferencias de IDE Arduino	110
Figura 48 Puerto de comunicación.....	111
Figura 49 Parámetros de establecimiento de conexión a internet. de Dragino LoRa	113
Figura 50 Compatibilidad de Librerías entre Arduino y ThingSpeak.....	113
Figura 51 Identificación y Llave de escritura de canal en ThingSpeak	114
Figura 52 Resultados presentados en la plataforma de ThingSpeak	115
Figura 53 Diagrama de flujo del diseño del software.	116
Figura 54 Comando de Instalación de IONIC	117
Figura 55 Edición de Código en VISUAL STUDIO CODE	118
Figura 56 Comandos de Instalación de Firebase en IONIC.....	119
Figura 57 Creación de Base de Datos en la nube - FIREBASE.....	119
Figura 58 Medición de Sensores en FIREBASE	120
Figura 59 Selección del puerto de comunicación	122
Figura 60 Adquisición de Datos.....	123
Figura 61 Datos de Temperatura y Humedad Relativa	125

Figura 62 Datos de Sensor de Peso HX711	126
Figura 63 Datos Latitud y Longitud - GPS	127
Figura 64 Obtención de Dirección IP y datos recibidos	129
Figura 65 Visualización de datos Conectados a la Red	130
Figura 66 Comunicarse los nodos.....	131
Figura 67 Interfaz de la Página Web.....	132
Figura 68 Interfaz de la App Móvil	133
Figura 69 Visualización de Información de la Página	134
Figura 70 Frecuencia LoRa.....	135
Figura 71 . Muestreo espectro LoRa.....	136
Figura 72 Pruebas de medición a las colmenas.....	137
Figura 73 Análisis de Adquisición de Datos.....	140

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Comparativa Tecnologías LPWAN	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 2 Comparación de las especificaciones LoRa para Europa y Estados Unidos donde se utilizan bandas ISM	41
Tabla 3 Términos usados durante el análisis de requerimientos.	61
Tabla 4 Prioridad de los Requerimientos del sistema.	61
Tabla 5 Requerimientos Iniciales del Sistema	62
Tabla 6 Requerimientos de Arquitectura.	63
Tabla 7 Lista de Stakeholders del proyecto.	65
Tabla 8 Requerimientos de Stakeholders	65
Tabla 9 Elección del Hardware	69
Tabla 10 Comparativa de placas Arduino.....	70
Tabla 11 Comparativa de módulos LoRa.....	71
Tabla 12 Elección de Sensor de Temperatura y Humedad.....	72
Tabla 13 Elección Sensor de Peso	72
Tabla 14 Elección Sensor de Geoposicionamiento	73
Tabla 15 Elección de Gateway LoRa.....	74
Tabla 16 Selección del Lenguaje de Programación	75
Tabla 17 Selección de Software Página WEB y APP	76
Tabla 18 Consumo de Corriente de elementos del nodo sensor.....	82
Tabla 19 Coordenadas geográficas de cada nodo.	98
Tabla 20 Relación de Factor de Propagación.....	106
Tabla 21 Consumo de energía de cada componente del Gateway Dragino	109
Tabla 22 Datos Iniciales de la colmena.....	143
Tabla 23 Modelo de kg de miel por colmena.....	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 24 Costos de Hardware de los Componentes	146
Tabla 25 Componentes de Infraestructura	147
Tabla 26 Costo de Software Utilizado	147
Tabla 27 Costos de la Implementación Total del Sistema	148

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 <i>Tasa de Bits</i>	39
Ecuación 2 <i>Tiempo de duración de la Batería</i>	81
Ecuación 3 <i>Corriente de Carga</i>	82
Ecuación 4 <i>Tiempo aire de la señal</i>	93
Ecuación 5 <i>Cálculo de pérdidas en el espacio Libre</i>	96
Ecuación 6 <i>Zona de Fresnel</i>	102
Ecuación 7 <i>Potencia Total Radiada</i>	105
Ecuación 8 <i>Modelo Estadístico - MCO</i>	139

RESUMEN

El presente trabajo se basa en el desarrollo e implementación de un sistema de monitoreo mediante una red de sensores LPWAN, el cual se ha dirigido a la parroquia de Atuntaqui del cantón Antonio Ante, donde se orienta a la toma de datos de una colmena y su correcto funcionamiento dentro y fuera de ella, donde se enfoca a almacenar parámetros de la temperatura, humedad, peso y geoposicionamiento.

En este contexto, los tres primeros parámetros son determinantes en el desarrollo y supervivencia de las colonias de abejas y se le permitirá al apicultor aportar con la información útil y así mejorar su productividad, rentabilidad de explotación, optimización de tiempo y reducción de mortalidad de las colmenas.

Para el diseño e implementación se tomó en cuenta la metodología en cascada, donde se caracteriza por dividir los procesos de desarrollo en continuas fases, donde permiten comprobar cada resultado del proyecto.

Como resultado de la investigación planteada se obtuvo el mejoramiento de la toma de datos y establecer diferentes alertas en tiempo real a través del dispositivo colocado en la colmena; ya sea, de temperatura, peso, humedad y así adelantarnos a un posible problema que pueda aparecer.

Además, una vez calculado los datos, se había inferido que la temperatura externa y la humedad podrían influir en la variación de las abejas por su bajo componente numérico; es decir, que asumiendo la estimación del modelo la temperatura externa influye sobre la reproducción y la humedad sobre la mortalidad de las abejas.

ABSTRACT

This work is based on the development and implementation of a monitoring system through a LPWAN sensors net which has been addressed to Atuntaqui Parish in Antonio Ante Canton, where it aims at raising data of a beehive and its right performance inside and outside of it with the goal of storing information of temperature, humidity, weight and geo-positioning parameters.

Within this context, the three first parameters are crucial in the development and survival of the beehives and the beekeeper will be allowed to contribute with useful information to improve his production, profits and exploitation, as well as time optimization, and reduction of the beehive mortality.

For the design and implementation, methodology in fall was considered, which characterized for dividing processed into continuous phases which let to prove each result in the project.

As a result of the stated investigation, it was possible to get an improvement on the data collection and establish different warnings on real time by means of the device placed at the beehive, be it on the temperature, weight, humidity and geo-positioning, and thus move forward to probable emerging problems.

Also, once the data had been calculated, it had been inferred that external temperature and humidity could influence bee variation because of their low numerical component; that is, assuming the model estimate external temperature influences bee reproduction and humidity influences bee mortality.

1. CAPÍTULO I: ANTECEDENTES

El presente capítulo explica todo lo relacionado al problema que se está investigando, los objetivos que se van a cumplir dentro del proyecto, el alcance del mismo en donde se detalla todos los equipos a utilizar y por último se explica el por qué se está realizando el mismo y cuál es el sector beneficiado.

1.1. Tema

“Sistema de monitoreo mediante una red de sensores utilizando tecnología LoRa en la Apícola Grijalva ubicada en la parroquia de Atuntaqui, cantón Antonio Ante provincia de Imbabura”

1.2. Problema

En el Catastro Nacional de Explotaciones Apícolas en Ecuador para el año 2014, se registró que la producción nacional de miel es de 93.886 litros; 5.759,67 kilogramos de polen; 31.534,54 kilogramos de propóleos; 12,8 kilogramos de Jalea Real; 1158 kilogramos de cera y 80 gramos de apitoxina (veneno producido por las abejas obreras). Distribuyéndose la mayor parte de la producción de estos productos en la región sierra, produciendo el 69% del total de miel, 83% de la producción de polen, el 91% de la producción de propóleos, 83% del total de la Jalea Real, y el 100% de la apitoxina (producida en su totalidad en la provincia del Carchi) (Agrocalidad, 2014)

El Registro Apícola, efectuado por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), determinó que en el Ecuador existen cerca de 1.760 apicultores y 19.155 colmenas. En la provincia de Imbabura existe un total de 1926 colmenas en producción, el 48.49% pertenecen a los productores de Cotacachi y el 36.09% a productores de Ibarra. Así la producción de miel está determinada por la época de floración por ello el 59.09% de los productores registran su época de mayor producción en los meses de septiembre a diciembre.

Actualmente, la apicultura es una actividad que se realiza en todas las regiones del Ecuador, enfocada especialmente en la región sierra gracias a su amplia flora melífera, que permite el desarrollo óptimo de las colmenas. Las poblaciones de abejas melíferas están disminuyendo debido al desorden del colapso de la colonia, las razones no se conocen completamente, donde el monitoreo remoto de la colmena es esencial para obtener toda la información posible sobre las condiciones ambientales que la rodean. (Cabrera, 2017)

La apicultura; y, específicamente las abejas, tienen una variedad de enemigos que quebrantan su normal desenvolvimiento e incremento. Algunos de estos enemigos pueden ser controlados por el ser humano cuando las abejas son explotadas comercialmente, otros como el mismo hombre y algunos productos generados por él, son los principales exterminadores de las abejas, que en condiciones naturales han desarrollado una serie de mecanismos para sobrevivir y perpetuar su especie, tales como: enjambrazón, abandono del nido de cría, tolerancia a ciertas enfermedades, aumento de la ovoposición y construcción de nidos en lugares inaccesibles. (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2020)

Considerando que las abejas son parte importante del medio ambiente, y su bienestar es crucial para la vida, no únicamente en términos de conservación de la biodiversidad y hábitat, sino también de sostenibilidad de la economía de los pequeños y grandes productores involucrados en el ámbito de la apicultura, luego entonces se requiere la aplicación de grandes estrategias tendientes a evitar la muerte de las abejas por la alta emisión de CO₂; por inobservancia de apicultores frente a la cantidad de miel extraída de los panales; el exceso de humedad, temperatura y escasa ventilación de las colmenas, el uso de pesticidas que atentan contra el normal desarrollo. (Ministerio de Turismo, 2018)

Las principales causas de la mortalidad de las colonias de abejas pueden clasificarse en seis categorías:

- Las enfermedades y los parásitos de las abejas;
- Los productos químicos;
- Cambios en el medio ambiente;
- Técnicas apícolas empleadas;
- Técnicas agrícolas desarrolladas alrededor de las colmenas;
- Tratamiento de la Varroosis.

En ese sentido, el uso de la apicultura de precisión nos permite monitorear las colmenas por muchas razones posibles, como la investigación, la información sobre el manejo diario de las abejas por los apicultores y el aprendizaje de cómo reducir los recursos y el tiempo asignados a las tareas sin reducir la producción. (Eskov & Toboev, 2014)

Por otro lado, del lado de la producción, las abejas metabolizan los azúcares presentes en el néctar de las flores (glucosa, fructosa, trehalosa y maltosa), pero no los contenidos en las secreciones o mielatos de algunos insectos (rafinosa); por lo que, en este proceso, la termorregulación es particularmente importante para mantener una temperatura de 34°C en torno a las crías. En invierno, la temperatura del racimo de abejas no debe ser inferior a 13°C.

En las regiones templadas, el consumo de azúcares de una colonia de abejas oscila entre 19 y 25 kg en invierno, alcanzando alrededor de 80 kg en todo el año; por lo que, numerosos factores influyen en la cantidad, calidad de la alimentación de un colmenar y su producción. (Cabrera, 2017)

Factores climáticos, especialmente en épocas de sequía, la floración de las plantas melíferas y poliníferas puede atenuarse rápidamente durante el verano y desaparecer. Las bajas temperaturas y, en particular los picos de frío, influyen en el desarrollo de las colonias de abejas. La temperatura es un factor determinante para la vitalidad de las colonias. Los efectos de la concentración de CO₂ y de la temperatura en las colmenas: si las condiciones climáticas corresponden a las que reinan en los nidos de cría (1,5% de CO₂ y 35°C dentro de la colmena) las abejas tendrán la misma fisiología que las abejas de verano, cuya esperanza de vida es muy corta; si la concentración de CO₂ es estable pero la temperatura baja de 35°C a 27°C, las obreras serán fisiológicamente similares a las abejas de invierno. (Fuentes, 2018)

Si bien, es importante llevar a cabo la recolección de información para conocer los parámetros o efectos que influyen sobre la producción melífera en una colmena, es necesario no perturbar las condiciones de trabajo de las abejas y obtener datos más confiables. De esta forma, el estudio propuesto en este documento, pretende incorporar una red de sensores en una colmena en la Apícola Grijalva S.A, para medir distintas variables físicas dentro y fuera de la misma como la temperatura, peso, geo posicionamiento y humedad relativa, lo cual puede coadyuvar a evidenciar los aspectos que inciden en la reducción de su capacidad de producción melífera o la reducción de su población. Dichos datos pueden proporcionar una idea de la condición de las demás colmenas en tiempo real con el objetivo de proyectar eficiencia y estabilidad al modo de vida que tienen las abejas en esta empresa.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Implementar una red de sensores inalámbricos LPWAN mediante tecnología LoRa para el monitoreo de los parámetros de peso, geo posicionamiento, temperatura y humedad de una colmena en la Apícola Grijalva

1.3.2. Objetivos Específicos

- Describir el uso de la tecnología LoRa y sus protocolos de comunicación e implementación encabezados LPWAN.
- Analizar las condiciones climáticas actuales de la zona donde se encuentran las colmenas de la Apícola Grijalva S.A para verificar las condiciones de vida de las abejas.
- Caracterizar y seleccionar los sensores que cumplan con las especificaciones técnicas necesarias para la transmisión de información con la tecnología LoRA.
- Diseñar un sistema de red de sensores LPWAN que maneje el protocolo LoRaWAN, y que permitan medir diferentes variables físicas dentro y fuera de la colmena en la Apícola Grijalva S.A.
- Efectuar una conexión entre el sistema de administración los sensores LPWAN y una base de datos para registrar la información de geo posicionamiento, peso, humedad y temperatura de una colmena de la Apícola Grijalva S.A.
- Analizar si la variación de los indicadores medidos por la red de sensores influye en la variación cualitativa de la población de las abejas o en la producción de sus diferentes productos derivados. Además, alertar al apicultor responsable de la colmena, si existen cambios abruptos en el nivel de referencia de temperatura, peso y humedad, con la finalidad de diseñar respuestas preventivas o correctivas para atender a las abejas de forma inmediata.

- Realizar un análisis costo – beneficio para la escalabilidad del proyecto, y describir un plan de mejora, así como recomendaciones para proveer de eficiencia a la producción de miel y reducción de muertes de las abejas en la Apícola Grijalva ubicada en la parroquia de Atuntaqui, cantón Antonio Ante provincia de Imbabura

1.4. Alcance

El ecosistema de las abejas productoras tiene en cuenta dos aspectos para su adecuado equilibrio: el nivel de producción melífera y la población dentro de la colmena.

En lo que corresponde a la producción, la miel se puede recolectar en dos tipos principales: panal y miel extraída. La miel de panal es el tipo de miel que se recolecta exactamente como las abejas la crearon. En ese proceso, los apicultores dejan desde 44 libras (20 kg) por colmena en climas templados hasta 60 kg (130 libras) en regiones con un invierno muy duro, para que la colonia pueda solucionar problemas causados por la falta de comida, mal tiempo o sequía. (Fuertes, 2018)

Por otro lado, en cuanto a la población de las abejas en la colmena, es necesario considerar que la termorregulación es particularmente importante para mantener una temperatura de 34°C en torno a las crías; y, en invierno, la temperatura del racimo de abejas no debe ser inferior a 13°C.

Así, las principales causas por las cuales se reduce la población de abejas y por ende de su producción en una colmena son por inobservancia de apicultores frente a la cantidad de miel extraída de los panales, el exceso de humedad, temperatura y escasa ventilación de las colmenas, el uso de pesticidas que atentan contra el normal desarrollo.

En ese sentido, el presente trabajo de titulación tiene el objetivo investigar, implementar y poner en funcionamiento una red de sensores con tecnología LoRA para poder conocer cuáles son las variables que tienen mayor influencia sobre las condiciones de vida de las abejas; así como, los valores de referencia recomendados para el normal crecimiento y eficiencia en la producción de los productos que son fabricados por las abejas.

Asimismo, el proyecto pretende monitorear las condiciones ambientales externas e internas de una colmena con el objetivo de mejorar la producción de miel y reducir la muerte de las abejas.

El sistema abarca el monitoreo de las variables de la colmena, que nos permitirá obtener parámetros tales como: el porcentaje de humedad, temperatura dentro de las colmenas, el peso y geo posicionamiento.

Así, los parámetros referenciales de peso nos ayudarán a gestionar un sistema de alarma para que el apicultor sepa cuál es la cantidad de miel extraída sin que afecte a la alimentación y temperatura de las abejas.

Por otro lado, la temperatura y humedad, ayudarán a gestionar un nivel de alarma para que el apicultor sepa cuál es la población adecuada dentro de la colmena para realizar el cambio de especies en otras colmenas; y, además si los cambios climáticos pueden afectar en las épocas de invierno y sequía.

El coste y tamaño reducido de los sensores permite la posibilidad de desplegarlos en el campo para extraer información y recoger datos más fácil y eficientemente, con métodos mínimamente invasivos

La medición de datos relacionados con las colmenas proporciona información remota a través de un sistema de alarmar para la toma de decisiones del apicultor o la persona responsable en la Apícola Grijalva S.A, sin tener que inspeccionarlas continuamente de forma física.

Finalmente, luego del periodo de implementación y calibración de los sensores se pretende gestionar los indicadores a través de una interfaz que permita a la empresa analizar su eficiencia en la producción de su colmena, los ciclos de extracción y la inspección de la población en su colmena.

1.5. Justificación

Las abejas son parte importante del medio ambiente, y su bienestar es crucial para la vida, no únicamente en términos de conservación de la biodiversidad y hábitat, sino también de sostenibilidad de la economía de los pequeños productores que se inmiscuyen en la apicultura. (Abejapedia, 2016)

Del 100% de explotaciones apícolas, se conoce que aproximadamente el 90% se realiza en sectores rurales, mientras el 10% en zonas urbanas. Esta diferencia del sector rural y zonas urbanas para la producción apícola se da debido a que los espacios ubicados en el sector rural son espacios que se encuentran lejos del ruido, lo cual ayuda a la apicultura, ya que el ruido afecta el normal desempeño de las abejas. Al mismo tiempo podemos decir que en los sectores rurales existen mayores fuentes de alimento natural lo que permite que su desarrollo se efectúe en mejores condiciones. (Rosero, 2017)

En el año 2018, el Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola, presentó un estudio sobre el consumo y la producción de miel en Ecuador. El estudio nos muestra que, para ese año, en el Ecuador se consumía aproximadamente 601 toneladas métricas de miel y producía 200 toneladas métricas, por esta razón podemos decir que la diferencia entre lo consumido y producido sería la cantidad de miel que se importa a Ecuador, es decir aproximadamente 400 toneladas métricas. (Ministerio de Turismo, 2018)

En ese sentido, es importante incorporar a los procesos productivos de la generación melífera, un mayor nivel de eficiencia que permita por lo menos impulsar la reducción de importaciones; y, por lo tanto, se provea con el mercado interno, el consumo de miel en el país. Para ello, es indispensable mejorar las técnicas apícolas y analizar las variables físicas que influyen en desarrollo de una colmena, con la finalidad de promover una mayor producción melífera.

Es así que, el presente proyecto busca apalancar que el ciclo de vida de las abejas no sufra variaciones abruptas, y por ende se promueva la eficiencia en la producción de miel. A través de uso de mecanismos no invasivos de medición de las variables físicas por medio de sensores IoT, se busca mejorar el nivel de atención y cuidado que los apicultores puedan brindar a las colmenas dada la información que se curse a través de la red de datos, sin que el personal tenga que desplazarse hacia las colmenas para la toma de medidas o indicadores.

El proyecto también pretende describir la situación actual de las condiciones de vida, el análisis de los indicadores dentro y fuera de la colmena; y, si estas medidas están íntimamente relacionadas con los niveles de producción o variación poblacional de las abejas con el fin de recomendar métodos que permitan promover la eficiencia del ecosistema de producción y vida de las abejas dentro de su colmena.

Finalmente, se documentará si la implementación de este proyecto brida un beneficio positivo en los tiempos de respuesta y envío de alarmas al apicultor para así recomendar su escalabilidad a nivel industrial

2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se realizará un análisis teórico acerca de las redes inalámbricas de baja potencia, así como su área amplia diseñada para admitir comunicaciones a largo alcance, así como también la importancia de las abejas en nuestro planeta.

2.1 Redes Inalámbricas

Se describe a las redes inalámbricas como la conexión de dispositivos sin la necesidad de medios guiados tales como: cable coaxial, fibra óptica o par trenzado. En la comunicación inalámbrica para conectar sus dispositivos, se utiliza ondas de radio, lo cual deben convertir sus señales de información a un formato adecuado para su entendimiento y transmisión a través del medio de aire. (Salazar, 2016)

2.1.1. Clasificación de redes inalámbricas.

2.1.1.1 Redes de área personal inalámbricas (WPAN)

Esta red consiste en establecer o instaurar comunicaciones inalámbricas como dispositivos portátiles que se utiliza en un espacio operativo personal (POS); es decir, hasta una distancia de 10 metros aproximadamente. El propósito de estas redes es comunicar cualquier punto de conexión personal (ordenador, celular, PDA, etc.) con sus periféricos, así como acceder una comunicación directa a corta distancia. Las dos principales tecnologías que utiliza esta red son Bluetooth y la luz infrarroja. (Cerro, 2015).

Figura 1*Dispositivos de una red WPAN*

Fuente: (Cerro, 2015)

2.1.1.2 Redes inalámbricas de área local (WLAN).

Esta red les consiente a que los usuarios puedan establecer conexiones inalámbricas dentro del área de cobertura de red local de una empresa, con un alcance aproximado de cien metros, podría cubrir, por ejemplo, un edificio corporativo, un campus empresarial, o en una zona pública como un aeropuerto. (Cerro, 2015).

En las WLAN de infraestructura, las estaciones inalámbricas se vinculan a puntos de acceso inalámbrico que funcionan como puentes entre las estaciones y la red troncal existente y las WLAN de igual a igual, varios usuarios dentro de un área limitada, pueden establecer una red temporal sin utilizar puntos de acceso, si no necesitan obtener acceso a recursos de red.

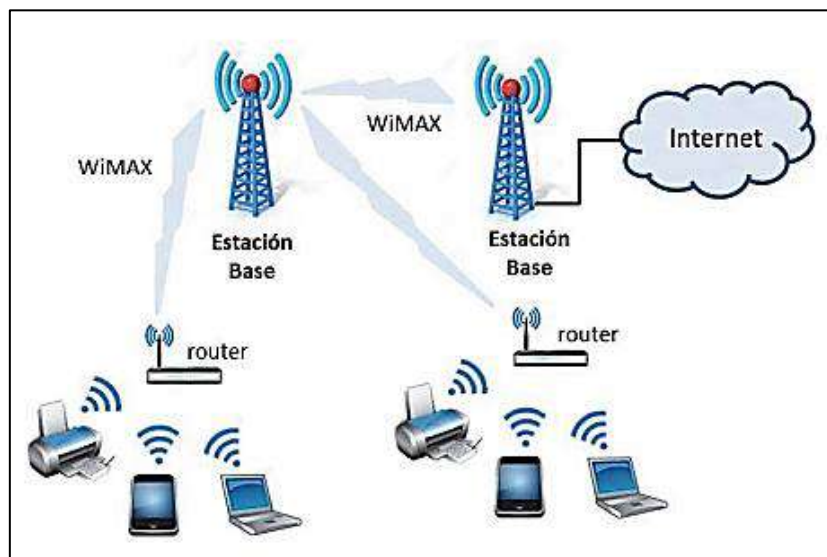
2.1.1.3 Redes inalámbricas de área metropolitana (WMAN)

Es una tecnología orientada a proporcionar una alta velocidad de transmisión de datos a través de redes inalámbricas y tiene una arquitectura punto a multipunto; esto permite que las redes inalámbricas LAN más pequeñas puedan ser interconectadas por WiMAX creando una gran WMAN y se basan en el estándar IEEE 802.16.

WiMAX opera en dos bandas de frecuencia, una mezcla de banda con licencia y banda sin licencia, de 2 GHz a 11 GHz y de 10 GHz a 66 GHz, pudiendo alcanzar velocidades de transmisión próximas a 70 Mbps en una distancia de 50 km a miles de usuarios desde una única estación base, tal como se representa en la Figura 3. (Salazar, 2016).

Figura 2

Diagrama de una red de área metropolitana



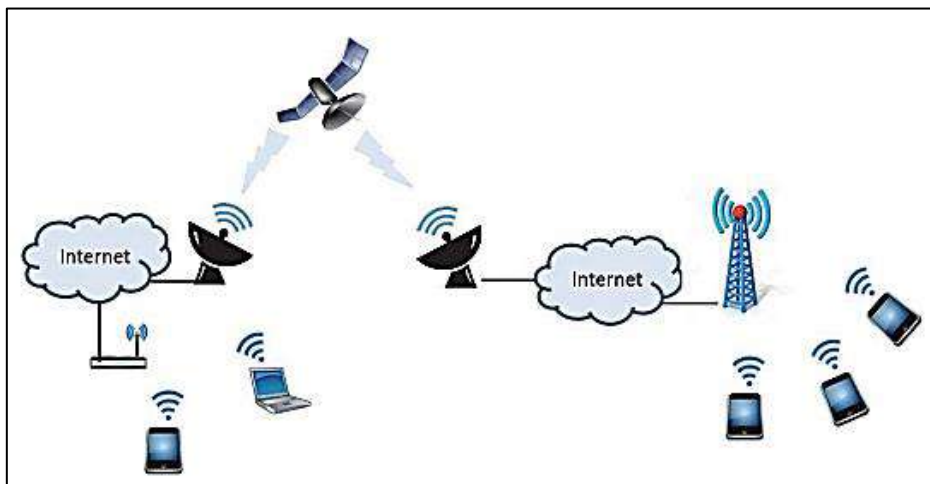
Fuente: (Salazar, 2016)

2.1.1.4 Redes inalámbricas de área amplia (WWAN)

Estas redes se extienden más allá de los 50 kilómetros y utilizan frecuencias con licencia; estas redes se tienen cobertura de grandes áreas, tales como ciudades o países, a través de los múltiples sistemas de satélites o ubicaciones con antena atendidos por un proveedor de servicios de Internet. Existen principalmente dos tecnologías disponibles: la telefonía móvil y los satélites. (Salazar, 2016).

Figura 3

Diagrama de una red de área amplia



Fuente: (Salazar, 2016)

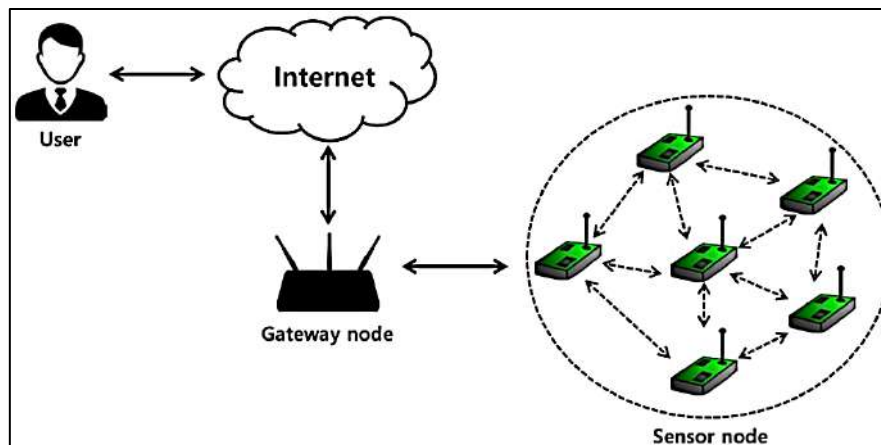
2.2 Red de sensores Inalámbricos (WSN)

Las redes de sensores inalámbricos (WSN) son nodos de sensores interconectados que se comunican de forma inalámbrica para recopilar datos sobre el entorno circundante. Los nodos son generalmente de baja potencia y se distribuyen de manera ad hoc y descentralizada. Aunque las WSN han ganado mucha popularidad, existen algunas limitaciones serias al implementar la seguridad impuestas por las limitaciones de recursos en la memoria, la

computación, la duración de la batería y el ancho de banda. Una serie de ataques pueden dirigirse a la privacidad, el control o la disponibilidad. (Patil & Chen, 2017)

Figura 4

Modelo de autenticación en red de sensores inalámbricos



Fuente: (Yu & Park, 2020)

2.2.1 Elementos de una WSN

Las redes de sensores inalámbricos (WSN) están conformados por diferentes elementos, donde permiten formar una comunicación entre los nodos que la conforman y con el fin que se hayan implementado.

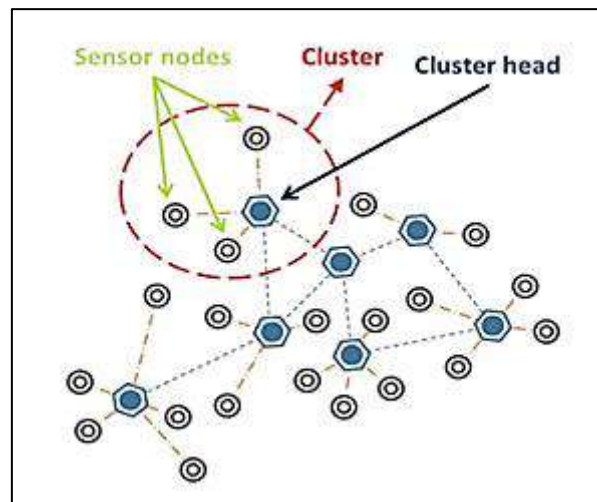
Contiene varios componentes, donde se incluyen un radio, baterías (normalmente), microcontrolador, circuitos de adquisición, acondicionamiento de señales y una interfaz a sensor. Cuando se utilice tecnología de radio sensores se debe hacer ajuste de parámetros tales como compensaciones. Hoy en día y gracias al desarrollo de aplicaciones como Arduino y Raspberry es posible incorporar módulos Zigbee, donde destacamos entre otras cosas su bajo consumo de potencia, se destaca como una importante ventaja. (Figuroa, 2021)

2.2.2 Arquitectura de WSN

Se compone de 3 elementos principales que son: unos nodos sensores, un clúster de comunicaciones y la red o medio de transmisión que en este caso es *no guiado* y se define así debido a que es remoto e inalámbrico. La red funciona en topología estrella lo que quiere decir que, si por alguna razón ocurre una falla con algún sensor, la red no sufrirá caída de datos por pérdidas de transmisión, sino que dicho sensor se deshabilitará del clúster de comunicaciones y no enviará información a otro enlace multipunto o punto a punto donde luego llega finalmente a algo que particularmente denomino como CM o centro de monitoreo. (Figueroa, 2021)

Figura 5

Arquitectura de una red de sensores



Fuente: (Butun, 2015)

2.3 Internet de las Cosas (IoT)

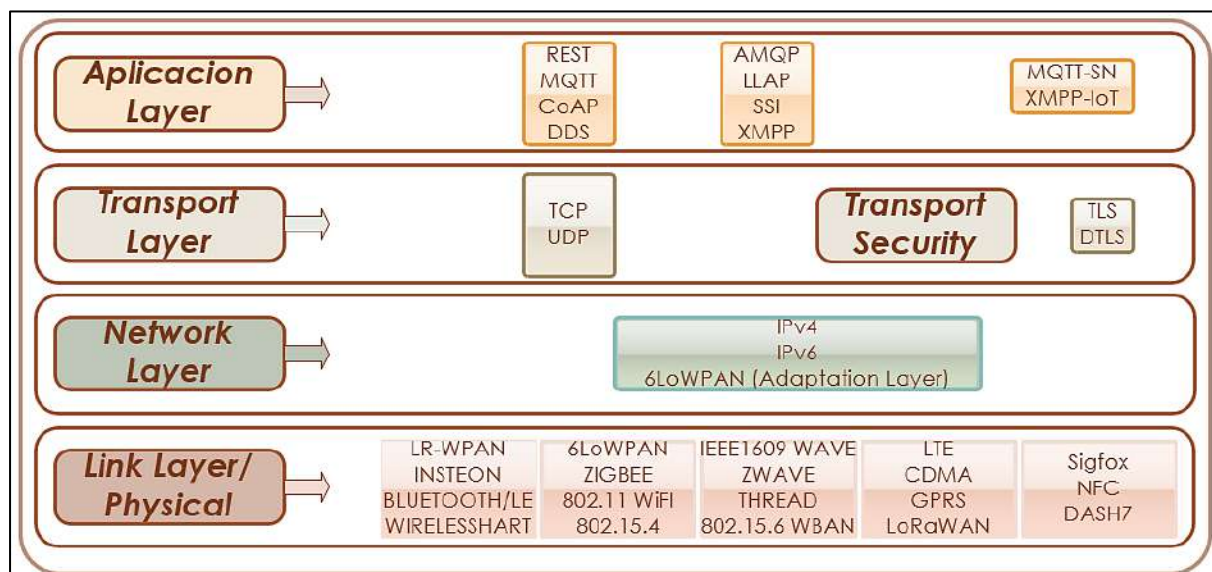
El Internet de las Cosas (IoT) hace referencia, a una tecnología fundada en la conexión de objetos cotidianos a Internet que intercambian, agregan y procesan información sobre su entorno físico para proporcionar servicios de valor añadido a los usuarios finales. También reconoce eventos o cambios, y tales sistemas pueden reaccionar de forma autónoma y adecuada. Su finalidad es, por tanto, brindar una infraestructura que supere la barrera entre los objetos en el mundo físico y su representación en los sistemas de información. Esta integración de sensores y dispositivos en objetos cotidianos que quedan conectados a Internet a través de redes alámbricas e inalámbricas ha alumbrado, un nuevo modo de interacción en el mundo físico, inspirado en la idea de ubicuidad y facilitado por el desarrollo de las TIC y la industria electrónica. Se crea así una malla de conexiones en el planeta que formaría un sistema nervioso mundial, donde la idea global alcanzará a los objetos cotidianos. (Barrio, 2018)

2.3.1 Protocolos de comunicación de IoT

Un protocolo de comunicaciones es un sistema de reglas que permiten que dos o más entidades de un sistema de comunicación se comuniquen entre ellas para transmitir información por medio de cualquier tipo de variación de una magnitud física. Se trata de las reglas o el estándar que define la sintaxis, semántica y sincronización de la comunicación, así como también los posibles métodos de recuperación de errores. Los protocolos pueden ser implementados por hardware, por software, o por una combinación de ambos. (Sáez, 2021).

Figura 6

Stack de protocolos de comunicación y mensajería



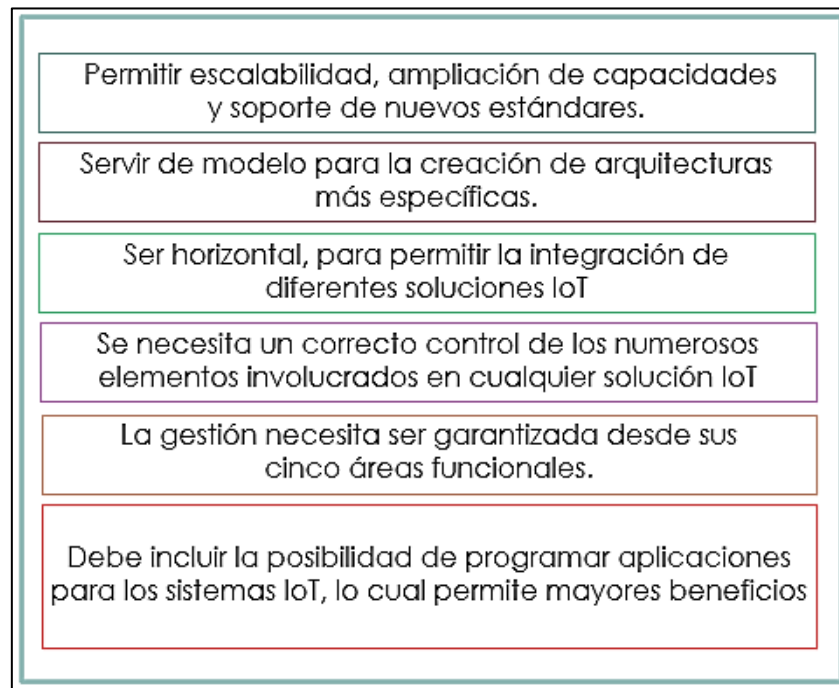
Fuente: (Pérez, 2019)

2.3.2 Arquitectura de IoT

Debido a la gran cantidad de aspectos relacionados con el Internet de las Cosas, es necesario encontrar la manera de integrar los aspectos más importantes para garantizar el buen funcionamiento de cualquier solución IoT. En la búsqueda de esta integración se ha analizado la siguiente arquitectura IoT. Es así que de la investigación realizada se determinaron un conjunto de principios que debe cumplir la arquitectura propuesta, dentro de los principales se encuentran:

Figura 7

Principios de una Arquitectura IoT



Fuente: (Benitez, 2016)

A partir de estos compendios, se presenta la arquitectura para IoT que se muestra en la figura 3, la cual cuenta con las capas: *Dispositivos, Gateways, Red, Nube / Centro de Datos, Aplicaciones, Gestión y Seguridad*.

Como se puede observar en la Figura 9, en el nivel más bajo se encuentran los dispositivos que permiten obtener datos y ejecutar acciones sobre el mismo. Se debe destacar que la forma en la que se representó la *Capa de Dispositivos*, donde una sección llega directamente a la Capa de Red y otra lo hace a través de la Capa de Gateways, se hizo para transmitir la idea de que existen dispositivos que cuentan con la capacidad de conectarse directamente a la Capa de Red y otros que requieren un intermediario.

La segunda capa de la arquitectura propuesta es la de *Gateways*, cuya función principal es posibilitar la conexión a la Capa de Red, de dispositivos que individualmente no lo pueden hacer, debido a que, por ejemplo, utilizan un protocolo de comunicación que no es compatible con dicha capa. A continuación, se encuentra la *Capa de Red*, encargada de transportar el tráfico de dispositivos y Gateways hacia o desde la nube o centro de datos.

Le sigue la *Capa de Nube / Centro de Datos*, en la cual se procesan los datos que llegan desde los dispositivos, al igual que los comandos que se envían hacia estos, los cuales pueden generarse en la propia Capa de Nube / Centro de Datos o en las demás capas de la arquitectura. En la cima de la arquitectura está la Capa de Aplicaciones, a través de la cual los usuarios interactúan con el ecosistema IoT y sacan provecho de los procesamientos que se realizan, en su mayoría, en la capa inferior.

Por último, está la capa de *Gestión y Seguridad*. Este último es parte de la gestión de cualquier red, pero para el IoT, deben separarse y enfatizarse. Estas dos capas aseguran la correcta funcionalidad de la solución IoT y la protección de varios recursos que existen en las otras capas de la arquitectura, por lo que la funcionalidad de la capa de gestión y seguridad se encuentra en cada una de las demás capas. (Benitez, 2016)

Figura 8

Arquitectura IoT



Fuente: (Benitez, 2016)

2.3.3 Tecnologías de comunicación Redes de IoT

En este entorno, encontramos las Low-Power Wide Area Networks (LPWANs), que actualmente se encuentran en proceso de emerger, y por este motivo, apunta, no sólo en el ámbito personal sino también en el empresarial, como un posible estándar para el futuro. Pese a que estas redes las LPWAN, presentan algunas limitaciones, como son el tamaño de las tramas, el ancho de banda o la tasa de mensajes, que pese a ser significativas, ofrece grandes ventajas, como su bajo coste, conectividad inalámbrica y baja potencia.



Las LPWAN se pueden usar para crear una red privada de sensores inalámbricos, pero también pueden ser un servicio o infraestructura ofrecida por un tercero, lo que permite a los propietarios de sensores implementarlos en el campo sin invertir en tecnología de puerta de enlace. Por este motivo, es fácil pensar que este tipo de entornos, las de máquina a máquina (p2p en inglés) serán dominadas por las LPWAN, en declive de las redes móviles, que, en comparación, su coste es mayor y de menor alcance y autonomía.

Aunque hay otros estándares como LTE-Cat M, IEEE P802.11ah (WiFi de baja potencia) y Dash7 Alliance Protocol, en la siguiente sección analizaremos brevemente cada una de las tecnologías y se enumerarán los pros y los contras de los métodos más implementados:

Tabla 1

Ventajas e Inconvenientes de Tecnologías LPWAN

	Ventajas	Inconvenientes
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ <i>El de mayor tracción</i> ✓ <i>Excelente relación con proveedores</i> ✓ <i>Sin circuitos RX => Ahorro Energía</i> ✓ <i>Ideal para monitoreo y medición</i> 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ <i>No es un protocolo abierto</i> ✗ <i>Mínima seguridad incorporada</i> ✗ <i>Casos de Uso limitados</i> ✗ <i>Niveles altos de Interferencia RF</i> <i>Reglamentación FCC según Región</i>
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ <i>Miembros de reconocido prestigio (Cisco, IBM.)</i> ✓ <i>Mayor Seguridad</i> ✓ <i>Tamaño del paquete definido por el Usuario</i> ✓ <i>Implementación más popular junto con Sigfox</i> 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ <i>No está destinado a redes privadas</i> ✗ <i>Capacidad de enlace limitada</i> ✗ <i>Limitado a vendedores aprobados por Semtech</i> ✗ <i>Protocolo tipo ALOHA todavía complicado.</i> ✗ <i>Reglamentación FCC según Región</i>
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ <i>Alta sensibilidad</i> ✓ <i>Límite de frecuencia flexible (150 MHz a 1 GHz)</i> ✓ <i>Capaz de operar sin servidor de red</i> 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ <i>Requiere software Sympony Link</i> ✗ <i>Comunidad de Usuarios Escasa</i>

	Ventajas	Inconvenientes
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Buena tecnología apilada ✓ Alta cobertura y robustez ✓ Emergiendo pese a su entrada tardía al Mercado 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Interferencia tanto Wifi como Bluetooth ✗ Dificultad de penetración estructural ✗ Criterios de potencia pueden no ser los óptimos energéticamente.
	Weightless -N	Weightless -N
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Ideal para redes de sensores ✓ Buen rango urbano ✓ Estándar Abierto 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Capacidad de enlace descendiente ✗ Muy lento (100bps) ✗ Requiere oscilador de cristal con compensación de temperatura
	Weightless -P	Weightless -P
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Comunicación Bidireccional ✓ Velocidad datos adaptable ✓ Estándar abierto 	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Disposición de hardware limitada ✗ Menor escalabilidad que la N ✗ Rango de comunicaciones limitado

Fuente: (Cordero, 2019)

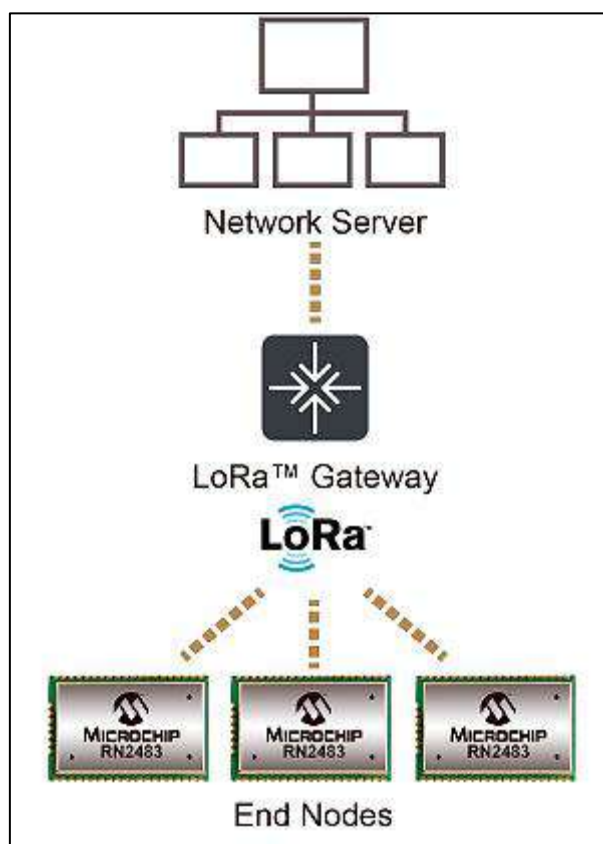
2.4 Tecnología LoRa

LoRa (siglas de Long-Range) es el término manejado para describir a la capa física utilizada para establecer enlaces de comunicación de largo alcance en las redes LoRaWAN. Esta tecnología ha sido diseñada para habilitar comunicaciones de larga distancia y baja potencia, operando en la banda ISM. LoRa utiliza una modulación basada en CSS (Chirp Spread Spectrum), de características cercanas a la modulación FSK.

La capacidad de LoRa implica que una sola puerta de enlace puede dar cobertura a una ciudad completa, dependiendo por supuesto del entorno y de los obstáculos en el mismo. Sin embargo, cuenta con un coste de enlace mayor que el de otras tecnologías de comunicación estandarizadas y que determina el rango del entorno. (Hernandez, 2019)

Figura 9

Topología de una red con tecnología LoRa



Fuente: (Rodríguez, 2016)

2.4.1 Parámetros de comunicación

Los parámetros de comunicación son los principales factores a tener en cuenta en la transferencia de la señal. Estos parámetros son dependientes de la zona en la que se manejan y están definidos en la descripción LoRaWAN de parámetros regionales (LoRa Alliance®, 2017)

- **Canal de comunicación**

Es el medio de transmisión por el cual se transmite la señal. Está representado por la frecuencia central del canal, que varía según la normativa de cada país, así como la cantidad de canales disponibles.

- **Ancho de banda**

Corresponde al rango de frecuencia utilizado en el rango de transmisión. Un ancho de banda más alto significa tasas de datos más altas y una sensibilidad pasiva más baja debido al ruido adicional.

- **Factor de ensanchamiento (Spreading factor, SF)**

Define el número de bits usados para codificar un símbolo, que es la relación entre la tasa de símbolos y la tasa de chirp. El incremento de este parámetro reduce la velocidad de transmisión y, por el contrario, acrecienta la protección frente a interferencias y aumenta el alcance de la señal.

- **Potencia de transmisión**

Corresponde a la potencia de la señal a transmitir sujeta a la regulación de cada país y a las limitaciones del hardware.

- **Tasa de codificación (Coding Rate, CR)**

Relación de corrección de errores hacia adelante FEC (Forward Error Correction), que ofrece protección contra interferencias añadiendo símbolos de control para comprobar que los datos son correctos. Una mayor tasa ofrece mayor protección, pero estrecha la velocidad de datos.

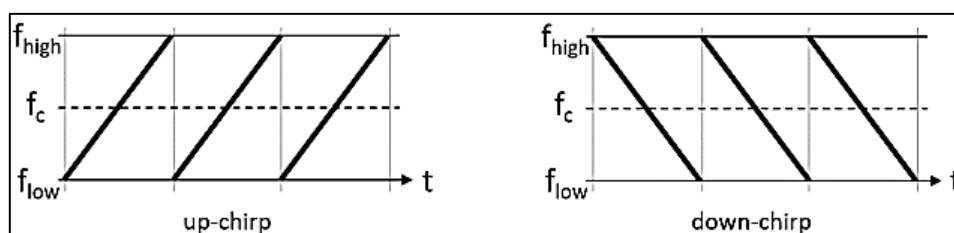
2.4.2 Fundamentos de la modulación LoRa

LoRa es una técnica de modulación de espectro ensanchado basada en la modulación CSS. Fue desarrollada por Semtech y se implementa en capa física de la arquitectura de red, lo que permite que LoRa se adapte a conexiones robustas. La modulación CSS o Chirp Spread Spectrum es una técnica de modulación que utiliza pulsos chirp modulados en frecuencia lineal de banda ancha para codificar información. En este tipo de técnicas de modulación de espectro ensanchado, la señal se transmite en ráfagas, saltando entre las frecuencias de una secuencia pseudoaleatoria

Un chirp es un tono en el cual la frecuencia se incrementa (Up-Chirp) o decrecienta (Down-Chirp) con el tiempo, como se muestra en la figura 10. Su ancho de banda es equivalente al ancho de banda espectral de la señal. Las señales equivalentes a estos tonos se muestran en la Figura 11.

Figura 10

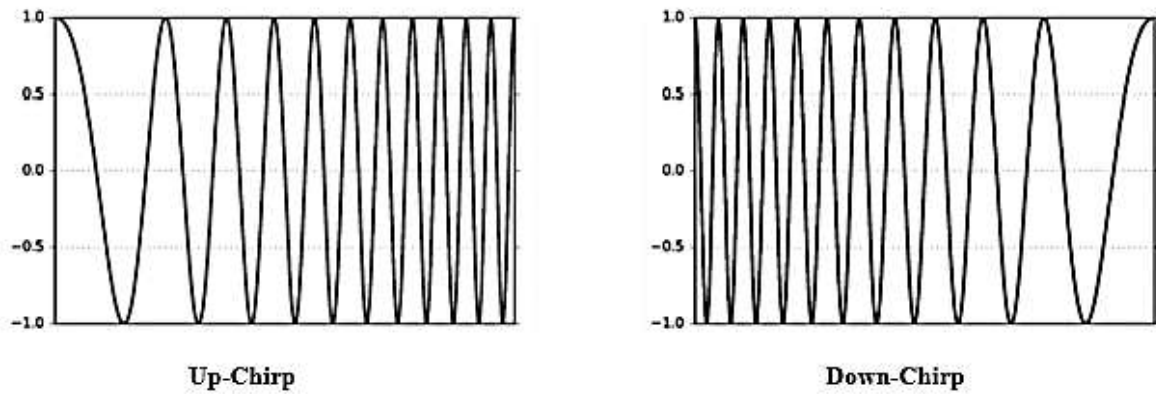
Pulsos Up-Chirp y Down-Chirp



Fuente: (LoRa Alliance®, 2017)

Figura 11

Señales equivalentes de los pulsos Up-Chirp y Down-Chirp



Fuente: (LoRa Alliance®, 2017)

El ensanchamiento del espectro de la modulación LoRa se logra generando cada uno de los tonos chirp los cuales cambian seguidamente de frecuencia. Una particularidad importante es que los offset de frecuencia y tiempo del receptor y transmisor son idénticos, lo hace que comprima la complejidad de diseño del receptor.

A partir de la siguiente ecuación se identifica la tasa de bit (BR), el factor de propagación (FP) y el ancho de banda (BW). (Pickering, 2017)

$$BR = FP \frac{WB}{2^{FP}}$$

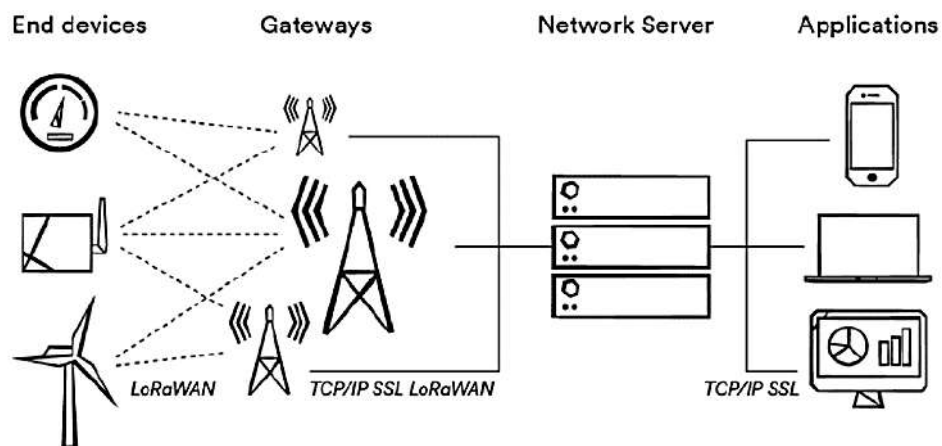
Ecuación 1

2.4.3 LoRaWAN

A diferencia de LoRa que ofrece una modulación cuya funcionalidad es de capa física (PHY), LoRaWAN es un protocolo MAC estandarizado para las LPWAN por parte de la LoRa Alliance, y que sus principales características son su gran capacidad y su largo alcance, así como su red en estrella. LoRaWAN define su propio protocolo MAC y arquitectura del Sistema de red, determinando así de forma decisiva la vida útil de la batería de un nodo, la calidad del servicio ofrecido, la naturaleza de sus aplicaciones en dicha red, y su seguridad. Además, puede emplear tanto una modulación FSK a nivel físico como emplear LoRa. Por otro lado, LoRa “sólo” permite el enlace de comunicación de largo alcance a nivel físico, lo que hace que no disponga de normas o reglas más allá de la propia naturaleza de su capa física o de las librerías utilizadas.

Figura 12

Esquema de la red LoRaWAN



Fuente: (Hernandez, 2019)

2.4.4 Canales y Rangos de Frecuencia

LoRa opera en las bandas de radio ISM sin licencia que están disponibles en todo el mundo. ISM son las siglas de Industrial, Scientific and Medical (ISM). La UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) había reservado originalmente una parte del espectro de RF a nivel mundial para aplicaciones industriales, científicas y médicas.

Tabla 2

Comparación de las especificaciones LoRa para Europa y Estados Unidos donde se utilizan bandas ISM

	Europa	América del Norte
Bandas de Frecuencia	863 – 870 MHz	915 – 928 MHz
Canales	10	64 + 8 + 8
Canal banda ancha ascendente	125 / 250 KHz	125 / 500 KHz
Canal ancha banda descendente	125 KHz	500 KHz
Tx Encendido	+14 dBm	+20 dBm tip (+30 dBm permitidos)
Tx Desconectar	+14 dBm	27 dBm
SF Up	7 – 12	7 – 10
Velocidad de datos	250 bps – 50 kbps	980 bps – 21.9 kbps
Link Budget Up	155 dB	154 dB
Link Budget Dn	155 dB	157 dB

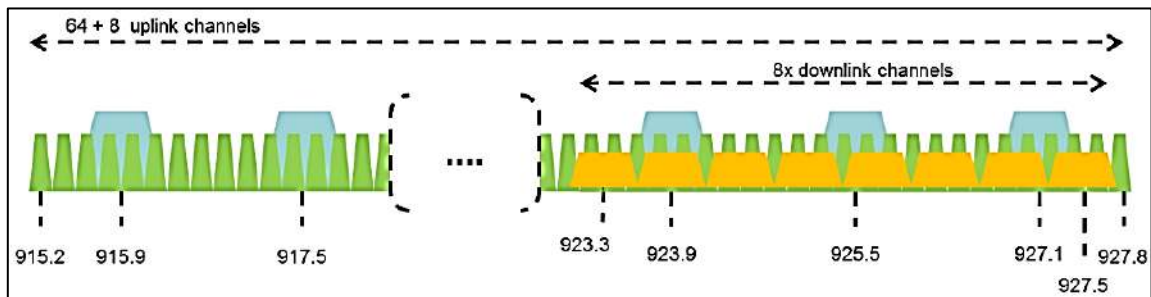
Fuente: (Pickering, 2017)

Este plan de canalización cuenta con los siguientes canales.

- 64 canales de 125 kHz en el uplink iniciando en 915.2 MHz con un incremento lineal de 200 kHz hasta 927.8 MHz.
- 8 canales de 500 kHz en el uplink iniciando en 915.9 MHz con un incremento lineal de 1.6 MHz hasta 927.1 MHz.
- 8 canales de 500 kHz en el downlink iniciando en 923.3 MHz con un incremento lineal de 600 kHz hasta 927.5 MHz.

Figura 13

Canales definidos para el plan de canalización AU915



Fuente: (LoRa Alliance®, 2017)

2.4.5 Modos de acceso a una red LoRa

La activación de un nuevo dispositivo que se une a la red de comunicación LoRa podría completarse mediante cualquiera de los dos procesos enumerados a continuación.:

- *Activación por personalización (ABP)*

La Activación por Personalización (ABP) es un método de autenticación en el que la Clave de Sesión de Red y la Clave de Sesión de Aplicación se programan por defecto en el dispositivo. Como las claves están preprogramadas, no es necesario establecer una conexión de unión cada vez que se requiera una nueva conexión.

Tener las claves preprogramadas reduce el tiempo de las conexiones, ya que cualquier solicitud de unión es necesaria cuando se conecta al servidor. Sin embargo, el método no puede repetir las claves y debe asegurarse de que son únicas. Aunque las claves pueden ser fácilmente descubiertas incluso antes de que se establezca la conexión. (Boot & Work Corp. S.L., Marti Guillem Cura, 2020)

Activación por aire (OTAA)

La activación por aire (OTAA) es un método de autenticación en el que la clave de sesión de red y la clave de sesión de aplicación se generan en cada nueva conexión. Cuando se conecta utilizando una solicitud conjunta, un dispositivo recibe un Appeui, un Deveui y la AppKey que se utilizarán para generar la Clave de Sesión de Red y la Clave de Sesión de Aplicación.

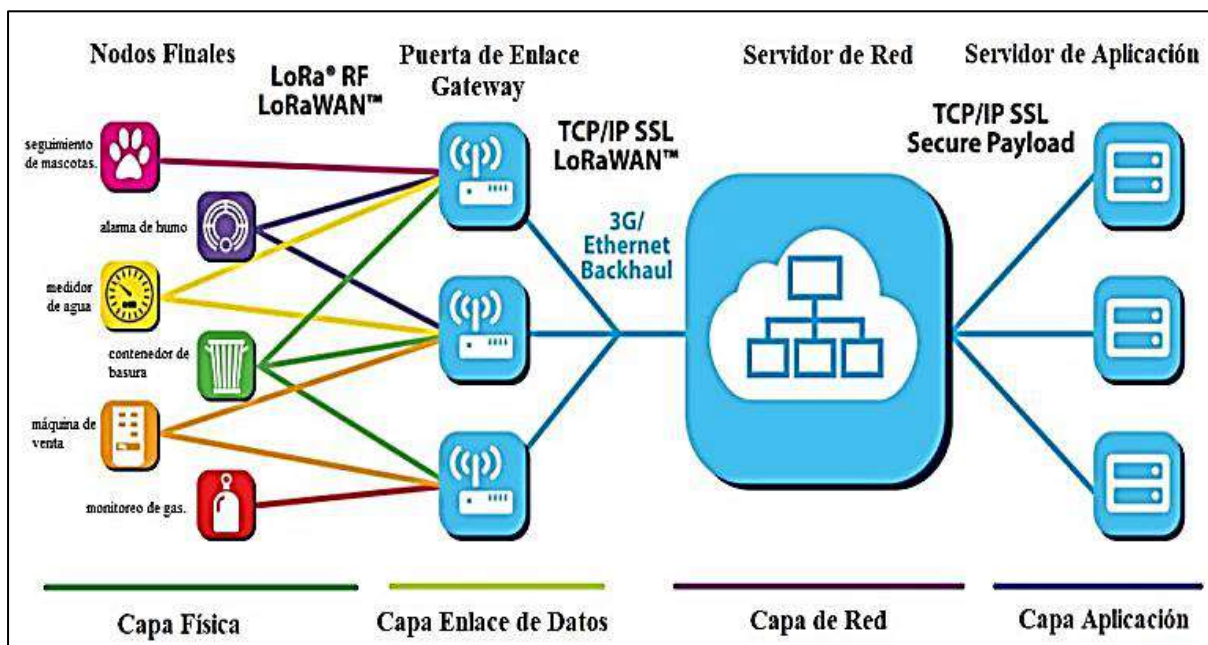
En el método OTAA las claves son generadas en cada nueva conexión, haciéndolo más seguro ya que las claves también son borradas cuando la conexión termina. Además, el dispositivo puede ser fácilmente cambiado a una nueva red y las claves no pueden ser tan fácilmente interceptadas. Sin embargo, el dispositivo puede almacenar las claves y decidir cuándo es necesaria una petición de unión. (Boot & Work Corp. S.L., Marti Guillem Cura, 2020)

2.4.6 Arquitectura LoRaWAN

Generalmente la red LoRaWAN tiene una topología estrella. La arquitectura la conforman las pasarelas (Gateways), los nodos finales (LoRa Thing), servidor de red, servidor de aplicación como se muestra en la Figura 15. En una red LoRaWAN, los nodos no están asociados con un Gateway específico, por lo cual, los datos transmitidos por un nodo son típicamente recibidos por múltiples Gateways. Cada Gateway reenviará el paquete recibido desde el nodo final al servidor de red, a través de una red de retorno (Backhaul) ya sea celular, Ethernet, satelital o Wi-Fi.

Figura 14

Arquitectura LoRaWAN



Fuente: (Logitek, 2020)

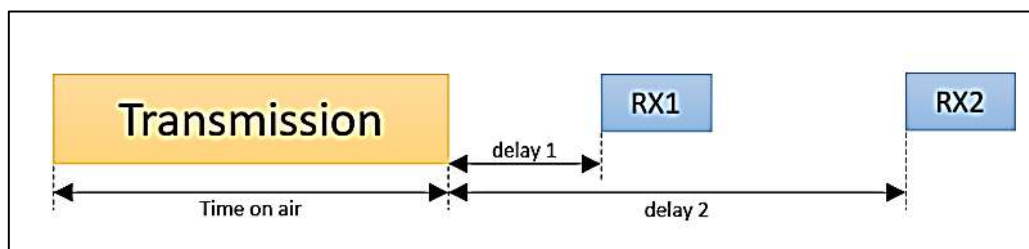
2.4.7 Clases de dispositivos LoRaWAN

Los dispositivos o nodos finales, sirven a diferentes dominios de aplicaciones y requieren ciertos requisitos. LoRaWAN emplea diferentes clases de dispositivos para optimizar una variedad de perfiles de aplicación finales. Se definen tres clases de dispositivos:

- **Dispositivos Clase A:** Son dispositivos finales bidireccionales. Los dispositivos finales, después de la transmisión de un paquete (Uplink), abren dos ventanas de recepción (Downlink) para aceptar un acuse de recibo (ACK) o aceptar datos de la puerta de enlace si es necesario, posteriormente permanece en modo inactivo hasta la siguiente transmisión. Los instantes de tiempo o slots de transmisión, son aleatorios de acuerdo a las necesidades de comunicación del dispositivo final (Protocolo ALOHA). Es la clase más eficiente tomando en cuenta el consumo de energía, pero tiene el mayor tiempo de latencia.

Figura 15

Ranura de recepción de un dispositivo de clase A



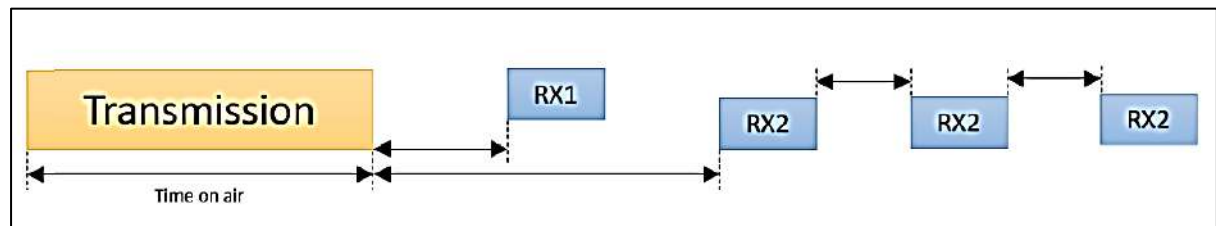
Fuente: (Dólera, 2019)

- **Dispositivos Clase B:** Son dispositivos finales bidireccionales que, además de las ventanas de recepción aleatorias de la clase A, tienen la capacidad de abrir ventanas de recepción en horas programadas, debido a que no requieren enviar un paquete Uplink para tener la capacidad de recibir datos en el dispositivo final (Downlink). Para poder abrir la ventana de recepción en el dispositivo final, el Gateway envía

balizas (beacon) sincronizadas en el tiempo, permitiendo saber cuándo está escuchando el dispositivo final, por tal razón su consumo de energía es mayor que la clase A.

Figura 16

Ranura de recepción de un dispositivo de clase B

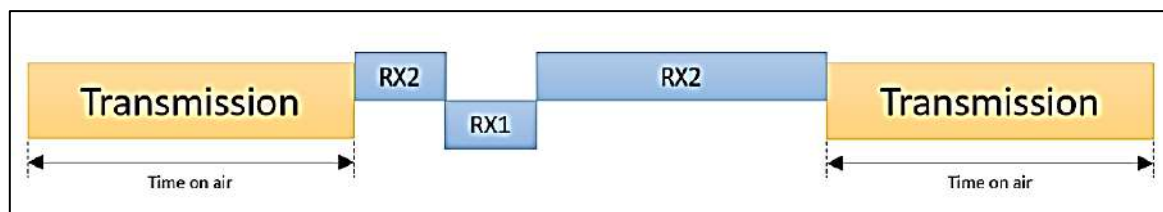


Fuente: (Dólera, 2019)

- **Dispositivos Clase C:** Son dispositivos finales bidireccionales con ventana de recepción (Downlink) casi continuamente escuchando. Es decir, pueden recibir datos los dispositivos finales casi todo el tiempo excepto cuando éstos transmiten (Uplink). Los tiempos de latencia son menores, pero implica un mayor consumo de energía con respecto a las clases A y B. Por lo general estos dispositivos deben usar una fuente de alimentación externa. (KaiserLee, 2022)

Figura 17

Ranura de recepción de un dispositivo de clase C



Fuente: (Dólera, 2019)

2.4.7 Seguridad LoRaWAN

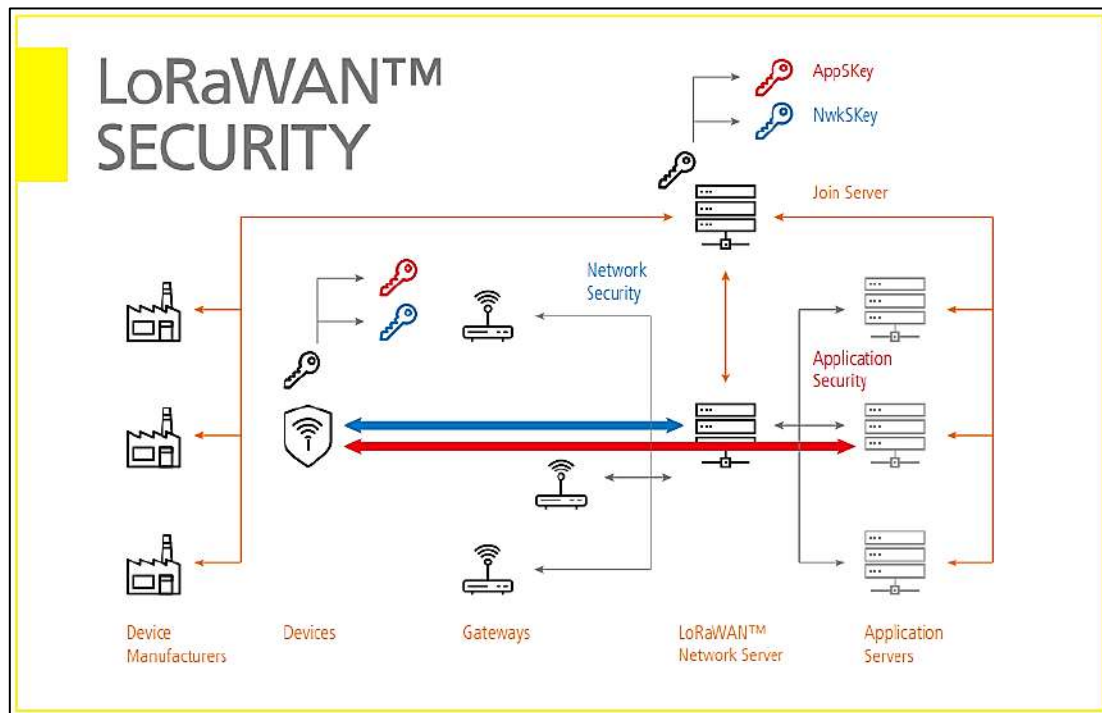
Las redes LoRaWAN utilizan dos capas de seguridad, una para la red y otra para la aplicación. La capa de seguridad de red asegura la autenticidad del nodo en la red, mientras que la capa de seguridad de la aplicación garantiza que el operador de red no tiene acceso a los datos de la aplicación del usuario final. Se utiliza el cifrado AES con intercambio de claves, utilizando un identificador IEEE EUI64.

LoRaWAN define en su especificación tres claves de seguridad de 128 bits distintas. La primera de ellas es la clave de aplicación AppKey, que solamente es conocida por el dispositivo y por la aplicación y que se usa en el proceso de activación o join que da lugar cuando un dispositivo se une a la red.

En ese proceso de join se generan las dos claves restantes, que son la clave de sesión de aplicación AppSKey, y la clave de sesión de red NwkSKey. Si en el proceso de activación se usa ABP (Activation by Personalization), las claves serán las mismas hasta que sean cambiadas por el usuario, mientras que si se usa OTAA (Over-the-air Activation), serán regeneradas en cada activación. La clave de sesión de red NwkSKey es usada para la interacción entre el nodo y el servidor de red y se encarga de verificar la validez de los mensajes, mientras que la clave de sesión de aplicación AppSKey es usada para encriptar y desencriptar la carga útil. (Dólera, 2019)

Figura 18

Seguridad de red LoRaWAN



Fuente: (Reimondo, 2019)

2.5 Apicultura

De acuerdo con (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2020), la apicultura en el Ecuador podría proyectarse a ser uno de los primeros productores de miel de abeja, a nivel de Sudamérica; ya que, tiene gran potencial para la apicultura; son 200 mil colmenas y en la actualidad se tiene apenas 912 explotaciones apícolas con 12.188 colmenas catastradas. Podemos mencionar también que existen dos tipos de apicultura:

- **Apicultura Sedentaria.** Es aquella en la que la ubicación de la colmena no varía y precisa de un aporte de alimento artificial.
- **Apicultura Trashumante.** Consiste en ir cambiando la situación del apiario siguiendo la localización de la zona geográfica con el fin de obtener un máximo de producción.

2.5.1 Importancia de las Abejas

Actualmente las abejas son los principales polinizadores en ecosistemas, transportan el polen de una flor a otra y mejoran la producción de alimentos a través de la polinización. Contribuyen con ello a la seguridad alimentaria y a la nutrición y tienen un impacto positivo en el medio ambiente, ayudando a la biodiversidad y a los ecosistemas. (Aqua, 2021). Se estima que aproximadamente un tercio de la alimentación del ser humano depende de la polinización que realizan las abejas.

Figura 19

Núcleo de abejas reina



Fuente: (Grijalva, 2021)

2.5.2 Beneficio de las Abejas

Actualmente las abejas son los principales polinizadores en ecosistemas, transportan el polen de una flor a otra y mejoran la producción de alimentos a través de la polinización. Contribuyen con ello a la seguridad alimentaria y a la nutrición y tienen un impacto positivo en el medio ambiente, ayudando a la biodiversidad y a los ecosistemas. (Aqua, 2021). Se estima que aproximadamente un tercio de la alimentación del ser humano depende de la polinización que realizan las abejas.

2.5.3 Producción de miel

En el Catastro Nacional de Explotaciones Apícolas en Ecuador para el año 2014, se registró que la producción nacional de miel es de 93886 litros de miel; 5759,67 kilogramos de polen; 31534,54 kilogramos de propóleos; 12,8 kilogramos de Jalea Real; 1158 kilogramos de cera y 80 gramos de apitoxina (veneno producido por las abejas obreras). Distribuyéndose la mayor parte de la producción de estos productos en la región sierra, produciendo el 69% del total de miel, 83% de la producción de polen, el 91% de la producción de propóleos, 83% del total de la Jalea Real, y el 100% de la apitoxina (producida en su totalidad en la provincia del Carchi).

En el año 2015 el Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola, presentó un estudio sobre el consumo y la producción de miel en Ecuador. El estudio nos muestra que, para ese año, en el Ecuador se consumía aproximadamente 601 toneladas métricas de miel y producía 200 toneladas métricas, por esta razón podemos decir que la diferencia entre lo consumido y producido sería la cantidad de miel que se importa a Ecuador, es decir aproximadamente 400 toneladas métricas. (Agrocalidad, 2014)

2.5.4 Falta de procesos productivos de la miel de abeja

El problema que afecta al sector es la falta de tecnología para la extracción, el envasado y etiquetado del producto. Ellos proceden a adquirir la miel en forma artesanal, con extractores improvisados, mesas de madera em hechos a base de materiales que no son los correctos, así como mesas de madera y tinas de plástico donde es fácil que las bacterias proliferen y dañan la miel, y en ciertas ocasiones producen su muerte. Según el manual de buenas prácticas apícolas lo correcto es utilizar utensilios de acero inoxidable. Gran parte de los apicultores realizan de esta manera errónea su actividad debido al desconocimiento y esto trae como consecuencia una pérdida de calidad de sus productos y que sea más complicado obtener una certificación sanitaria para poderlos comercializar de una mejor manera.

2.5.5 Factores que Amenazan a las Abejas

El desarrollo de la actividad apícola se deben enfrentar directamente los problemas que presenta esta actividad, entre los principales están:

- El uso indiscriminado de pesticidas en las explotaciones agrícolas aledañas a las zonas productoras de miel perjudica a futuro el potencial de certificación orgánica de dicha producción.
- La tala de los bosques amenaza gravemente la sostenibilidad de la producción apícola.
- Falta de control de la inmigración de enjambres se genera una inminente amenaza con relación a la aparición de plagas y enfermedades en los apiarios.
- La proliferación rápida de una plaga (*Phylonistes* sp.) que amenaza con reducir considerablemente la población de algarrobo.
- Intermediarios oportunistas que desarticulan el trabajo de acopio asociativo y sobresaltan negativamente la dinámica de formación de precios.
- El robo de colmenas es frecuente y debilita la inversión de los productores.
- La falsificación de la miel, no controlada ni penada resulta en competitividad desleal en el mercado a los productores que realizan esfuerzos por cumplir con estándares de calidad adecuados. (Ivars, 2021)

Además, estudios recientes del Instituto Federal de Tecnología de Suiza detallan que la disminución también podría obedecer a las microondas emitidas por los teléfonos celulares y otros tipos de dispositivos electrónicos. “Las desorientan y las conducen a su muerte. (Telégrafo, 2019)

2.5.6 Variables que influyen en la producción de miel de las Abejas

Dentro de las variables más importantes o influyentes en la producción tanto de miel como de abejas tenemos:

- Humedad dentro de la colmena > 18%
- Temperatura dentro de la colmena > 36 °C
- Humedad y temperatura externas
- Distancia que existe entre la zona de floración y el apiario.
- Exceso de lluvia que no permita el pecoreo o que lave el néctar de las flores.
- Robo de colmenas en apiarios o durante la trashumancia. (Martell-Tamanis, 2020)

2.6 Hardware y Software Libre

- **Hardware.** - La mayoría de los proyectos de investigación experimental se ejecutan con una combinación de equipos de hardware comprados, que pueden modificarse en el laboratorio y equipos personalizados de una sola construcción fabricados internamente. El código fuente del hardware abierto debe ser fácilmente accesible, y sus componentes son preferiblemente fáciles de obtener para cualquiera. Esencialmente, el hardware abierto elimina los obstáculos comunes para el diseño y la fabricación de bienes físicos; proporciona a tantas personas como sea posible la capacidad de construir, remezclar y compartir sus conocimientos sobre el diseño y la función del hardware.
- **Software.** - El software libre es software que puede ser utilizado, modificado y redistribuido libremente con una sola restricción: cualquier versión redistribuida del software debe distribuirse con los términos originales de uso libre, modificación y distribución. La libertad de ejecutar el programa significa la libertad de cualquier tipo

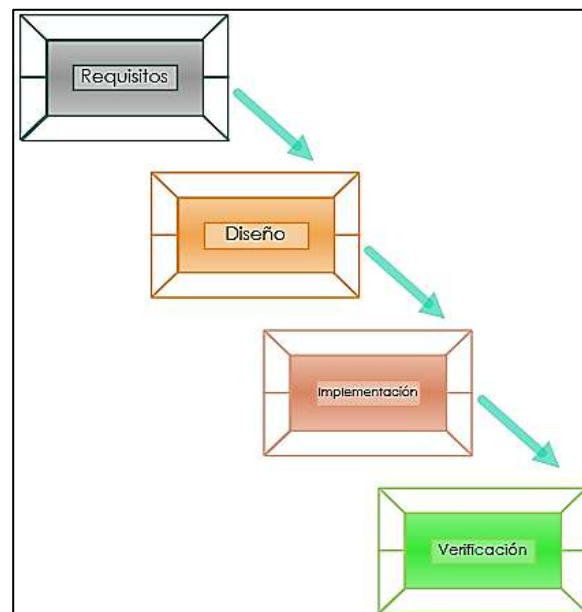
de persona u organización para usarlo en cualquier tipo de sistema informático, para cualquier tipo de trabajo y propósito general, sin que se le exija comunicarse al respecto con el desarrollador o cualquier otra entidad específica. En esta libertad, lo que importa es el propósito del usuario, no el propósito del desarrollador; usted como usuario es libre de ejecutar un programa para sus propósitos, y si lo distribuye a otra persona, ella es libre de ejecutarlo para sus propósitos, pero usted no tiene derecho a imponerle sus propósitos. Mientras que el software libre es un movimiento social que promueve la libertad, el movimiento de código abierto promueve las ventajas comerciales de compartir código fuente. Reconoce que el software de código abierto es una forma efectiva para que los desarrolladores colaboren.

2.7 Metodología

La metodología a realizar en el presente trabajo de titulación será el “Modelo en Cascada”, el cual es un procedimiento lineal donde se identifica en dividir los procesos de desarrollo en fases periódicas del proyecto, por consiguiente, cada fase debe ser completada en un orden específico, es decir, no se puede iniciar la “segunda fase” hasta que se tenga concluido la “primera fase”, en el cual se define a través de cuatro fases que se las menciona a continuación: *Análisis y definición de Requerimientos, Diseño del sistema, Implementación y Verificación.*

Figura 20

Método en cascada



Fuente: (Dominguez, 2020)

2.7.1 FASE 1: Análisis y definición de Requerimientos

- Se desarrolla con los clientes y los usuarios finales para así establecer el dominio de aplicación, restricciones y los servicios que debe proporcionar el sistema, lo cual se necesita información relevante sobre los problemas que intervienen en la investigación.

2.7.2 FASE 2: Diseño del Sistema

- En este apartado se tomará como soporte el estándar ISO/IEC/IEEE 29148:2011; donde se diferencian cuáles son los requerimientos o exigencias tanto de software como de hardware. Además, se organiza una arquitectura completa del sistema, así como el desarrollo y establecimiento de nodos.

2.7.3 FASE 3: Implementación del Sistema

- Radica en realizar la implementación, iniciando por la programación, toma de datos y calibración de los sensores y a su vez con un diagrama de flujo para saber su funcionamiento a continuación se enrola una comunicación entre los nodos y el Gateway.

2.7.4 FASE 4: Verificación

- Consiste que una vez que se experimentó que funciona específicamente cada una de las fases realizadas, éstas se unen para establecer un sistema completo que debe desempeñar con todos los requerimientos del software. Una vez las pruebas del sistema sean exitosas, se podrá entregar al cliente.

3. CAPITULO III: DISEÑO DEL SISTEMA

En este capítulo se realizarán las dos primeras fases de la metodología propuesta anteriormente, por consiguiente, cada fase debe ser completada en un orden específico, es decir, no se puede iniciar la “segunda fase” hasta que se tenga concluido la “primera fase”.

Al comenzar el desarrollo de este capítulo con el cual se llevará a cabo el análisis de la situación actual de la Apícola ubicado en el Sector de Antonio Ante, y desplegaremos el estudio de requisitos o requerimientos, conjuntamente con el diseño del sistema, elección de los dispositivos que componen el proyecto, ubicación de los nodos y los esquemas de flujo del sistema.

3.1 Fase 1: Requisitos y Requerimientos

En este apartado se inicia la Fase 1 de la metodología en cascada; donde se da a conocer la totalidad de cada uno de los factores implicados en el proyecto, el cual será de utilidad y necesario para aplicar un análisis investigativo, asimismo se ejecutará requerimientos funcionales y operacionales de la persona que estará a cargo del sistema, con esta información se procederá a realizar el documento de especificaciones y requerimientos del sistema electrónico.

3.1.1 Análisis

En este apartado se establecen los requerimientos que tiene el sistema, los parámetros del problema y situación actual, además de los requisitos de hardware y software. En la etapa de análisis ejecuta el estudio de la situación actual en que se encuentra la Apícola y las dimensiones donde se va a trabajar, se evidenciará información importante y se nombrará los requerimientos que satisfagan las necesidades de análisis, operacionales, de sistema, de arquitectura, entre otros; se documentará la información relevante que se nos proporcionará

mediante una entrevista que se coordinará con el dueño de la Apícola-Grijalva; donde se realizan preguntas tanto abiertas como cerradas y de esta manera determinar la viabilidad para ejecución del proyecto bajo parámetros necesarios y establecidos por el apicultor el cual se detalla con mayor exactitud en el ANEXO A.

1. ¿De qué forma se maneja la información de las colmenas?
2. ¿Se utiliza alguna herramienta para medir el peso de la colmena?
3. ¿Usted cree que se pueda optimizar el seguimiento de la producción de una colmena?
4. ¿El sistema debe cumplir con las funciones de posicionamiento, humedad, peso y temperatura tanto fuera como dentro de la colmena?
5. ¿La parte del Sistema que toma los datos debe poder movilizarse?
6. ¿Desearía llevar la información de las colmenas tanto de temperatura, humedad, posicionamiento y peso de manera digital?
7. ¿Cree que el seguimiento de las colmenas mejoraría si se lleva un historial de manera Digital?
8. ¿Cree que sería oportuno visualizar los datos de la colmena tanto en una página Web y APP móvil?
9. ¿El sistema Propuesto ayudaría para realizar diferentes estudios en las colmenas?
10. ¿Para cada evaluación de la colmena ayudaría mucho tomar el peso para ver su Avance?
 - La entrevista que se realiza tiene como finalidad presentar las mediciones respectivas en forma digital para mejorar la toma y registro de la información de una colmena de abejas y a su vez observar las variantes que se encuentran directamente involucradas como son la temperatura externa, interna, humedad relativa, posicionamiento y peso las cuales realizan un seguimiento de reproducción y producción de miel.

3.2. Situación Actual

El presente proyecto se desarrolla la “Apícola Grijalva”, ubicada en la parroquia de Atuntaqui, cantón Antonio Ante provincia de Imbabura, la cual comprende una extensión de aproximadamente 1 hectárea de terreno, cuenta con cultivos, bosque nativo, matorrales, plantas melíferas y principalmente de floración.

La zona donde se desarrolla la investigación se lleva a cabo en una extensión de 600m² como puede evidenciar en la Figura 21, dedicados principalmente a la colocación colmenas y producción de miel

Figura 21

Apícola Grijalva



Fuente: (Grijalva, 2021)

Actualmente la apícola, no dispone de infraestructura tecnológica en cuanto al monitoreo de colmenas. Razón por la cual el propietario ha implementado sistemas de producción bajo criterios de buenas prácticas apícolas, con la finalidad de mejorar los métodos convencionales de producción, haciendo énfasis en la inocuidad del producto y que el proceso productivo no genere mayor impacto al ambiente, además, de optimizar recursos y asegurar la calidad del producto, es decir, las personas que trabajan en la apícola deben recorrer en su totalidad todas las colmenas para inspeccionar si se está desarrollando de manera adecuada. Esto tiene sus desventajas, por lo que muchas veces las apícolas se encuentran lejos con respecto al lugar donde se encuentren las herramientas para el cuidado de estos.

3.3. Requerimientos del Sistema

Para el desarrollo de este apartado se tomará como soporte las directrices y procesos relacionados como la implementación de sistemas y productos de software, definir cada función que se pretende o se necesita en el proyecto, restricciones, requisitos y funciones del sistema.

Las tablas que se visualizan a continuación, muestran tanto el diseño que se ha tomado en cuenta, así como las consideraciones que se tiene con el estándar, las cuales tienen los requerimientos principales, de arquitectura y de Stakeholders del sistema. El objetivo es manifestar de una manera clara la información y de esa forma se permita realizar la selección de software, hardware y los puntos específicos en el desarrollo del sistema.

La Tabla 3 indica los acrónimos utilizados para describir de forma abreviada cada requerimiento.

Tabla 3

Términos usados durante el análisis de requerimientos.

Acrónimos y Abreviados	Descripción
StSR	Requerimientos Stakeholders
SySR	Requerimientos del Sistema
SRSR	Requerimientos de Hardware y Software

Fuente: Autoría

La elaboración de las tablas se ha establecido de la siguiente manera: un número en donde se identifica el requerimiento, la columna consecutiva nos detalla el requerimiento, a continuación, se tiene la columna de prioridad el cual se establece que tan importante es para lo cual se lo ha dividido en tres fases: Alta, Media y Baja, como podemos observar y detallar en la Tabla 4, en donde es de vital importancia en la selección tanto del hardware y software.

Tabla 4

Prioridad de los Requerimientos del sistema.

Prioridad	Descripción
Alta	Requerimiento muy importante y crítico que obligatoriamente debe encontrarse dentro del sistema.
Media	Requerimiento que puede afectar la decisión final del sistema, sin embargo, este se lo puede omitir en condiciones de fuerza mayor.
Baja	Requerimiento que no posee un impacto significativo en la decisión final del sistema.

Fuente: Autoría

3.3.1. Requerimientos iniciales del sistema

Los requerimientos iniciales del sistema (SySR) se toman en cuenta tanto a los límites funcionales, características de comportamiento y propiedades que debe tener el sistema, además alcanzan los requisitos de uso e interfaces, los modos, estados, físicos y basado en el planteamiento del problema descrito, los cuales se muestran en la Tabla 5, teniendo en cuenta funciones básicas que poseerá el sistema electrónico.

Tabla 5

Requerimientos Iniciales del Sistema

SySR					
#	Requerimiento	Prioridad			Relación
		Alta	Media	Baja	
REQUERIMIENTOS DE INTERFAZ					
SySR1	Interfaz gráfica para visualización de datos	X			
SySR2	Pines de entrada y salida de información del sistema embebido.	X			
SySR3	La aplicación móvil y página WEB deberá informar todas las acciones que se están realizando	X			
REQUERIMIENTOS DE USO					
SySR4	El sistema debe estar energizado	X			
REQUERIMIENTOS DE MODO Y ESTADO					
SySR5	El dispositivo debe permanecer en funcionamiento en todo momento	X			
REQUERIMIENTOS FISICOS					
SySR6	El sistema debe estar ubicado a una altura 10 metros necesaria en la Apícola para evitar en lo máximo interferencias de transmisión	X			
SyRS7	El módulo recolector de datos, debe poseer tapas herméticas		X		

Fuente: Autoría

3.3.2. Requerimientos de arquitectura

El aspecto fundamental de los requerimientos de arquitectura (SRSH), es proporcionar diferentes elecciones de componentes electrónicos que pueden ser manipulados para el funcionamiento y ejecución del sistema, este debe cumplir ciertas especificaciones tanto de hardware como de software tal como se puede observar en la Tabla 6

Tabla 6

Requerimientos de Arquitectura.

SRSH					
#	Requerimiento	Prioridad			Relación
		Alta	Media	Baja	
REQUERIMIENTOS DE DISEÑO					
SRSH1	Ubicación del nodo sensor en lugares estratégicos para la toma de datos	X			
SRSH2	Compacto y ligero (de todos los componentes).			X	
SRSH3	Implementación del sistema de bajo costo.			X	
REQUERIMIENTOS DE HADWARE					
SRSH4	Sensores que permitan detectar condiciones ambientales de la colmena	X			
SRSH5	Sistema embebido que permita el tratamiento de información en tiempo real	X			
SRSH6	Módulos de comunicación inalámbrica de un bajo consumo de energía	X			
SRSH7	Sistema embebido debe ser capaz de enviar la información de forma permanente.	X			
SRSH8	El sistema embebido debe tener varios pines de salida para los dispositivos		X		
SRSH9	El hardware debe ser compatible con su módulo de comunicación LoRa	X			

SRSH10	El lenguaje de la placa programable debe soportar las librerías de programación LoRa.	X
---------------	---	---

REQUERIMIENTOS DE SOFTWARE

SRSH11	El software de programación debe ser compatible con la placa de desarrollo a elegir.	X
---------------	--	---

SRSH12	Contar con librerías de los módulos seleccionados para cada nodo.	X
---------------	---	---

SRSH13	El lenguaje de programación de código abierto.	X
---------------	--	---

SRSH14	En la elaboración de la página Web y Aplicación Móvil se utilizará código abierto	X
---------------	---	---

REQUERIMIENTOS ELECTRICOS

SRSH15	Fuente de alimentación debe ser portable	X
---------------	--	---

SRSH16	Fuente de voltaje para el dispositivo será una batería	X
---------------	--	---

Fuente: Autoría

3.3.3. Requerimientos Stakeholders

Los requerimientos de Stakeholders comprenden la motivación de los usuarios que poseen un interés directo en el resultado obtenido por el desarrollo del proyecto. La especificación de los requerimientos de Stakeholders (StSR), tiene como propósito identificar los requisitos o reglas de los interesados por el sistema; para lo cual se analizan un conjunto de requerimientos operacionales y de usuario los cuales poseen interacción directa de los usuarios involucrados con el sistema como se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7*Lista de Stakeholders del proyecto.*

Stakeholders
1. Apícola Grijalva
2. Ing. Jaime Michilena. MsC – Director del presente trabajo de titulación
3. Ing. Fabian Cuzme. MsC – Asesor del presente trabajo de titulación
4. Sr. Fernando Valencia – Desarrollador del proyecto

Fuente: Autoría

En la Tabla 8 se muestra los requerimientos Stakeholders empleados, en donde se muestran las especificaciones indispensables que se acoplen a las necesidades del usuario, desarrollador y de cada una de las personas directa o indirectamente involucradas (véase, ANEXO A).

Tabla 8*Requerimientos de Stakeholders*

StSR					
#	Requerimiento	Prioridad			Relación
		Alta	Media	Baja	
REQUERIMIENTOS OPERACIONALES					
StSR1	El sistema debe implementarse Apícola Grijalva ubicado en Antonio Ante	X			
StSR2	El sistema debe presentar bajo consumo de energía	X			
StSR3	Los nodos deben utilizar un medio de transmisión inalámbrico.	X			
REQUERIMIENTOS DE USUARIO					
StSR4	Los datos deben ser visualizados en la plataforma y App Móvil.	X			

Fuente: Autoría

3.4. Fase 2: Diseño del Sistema y de Software

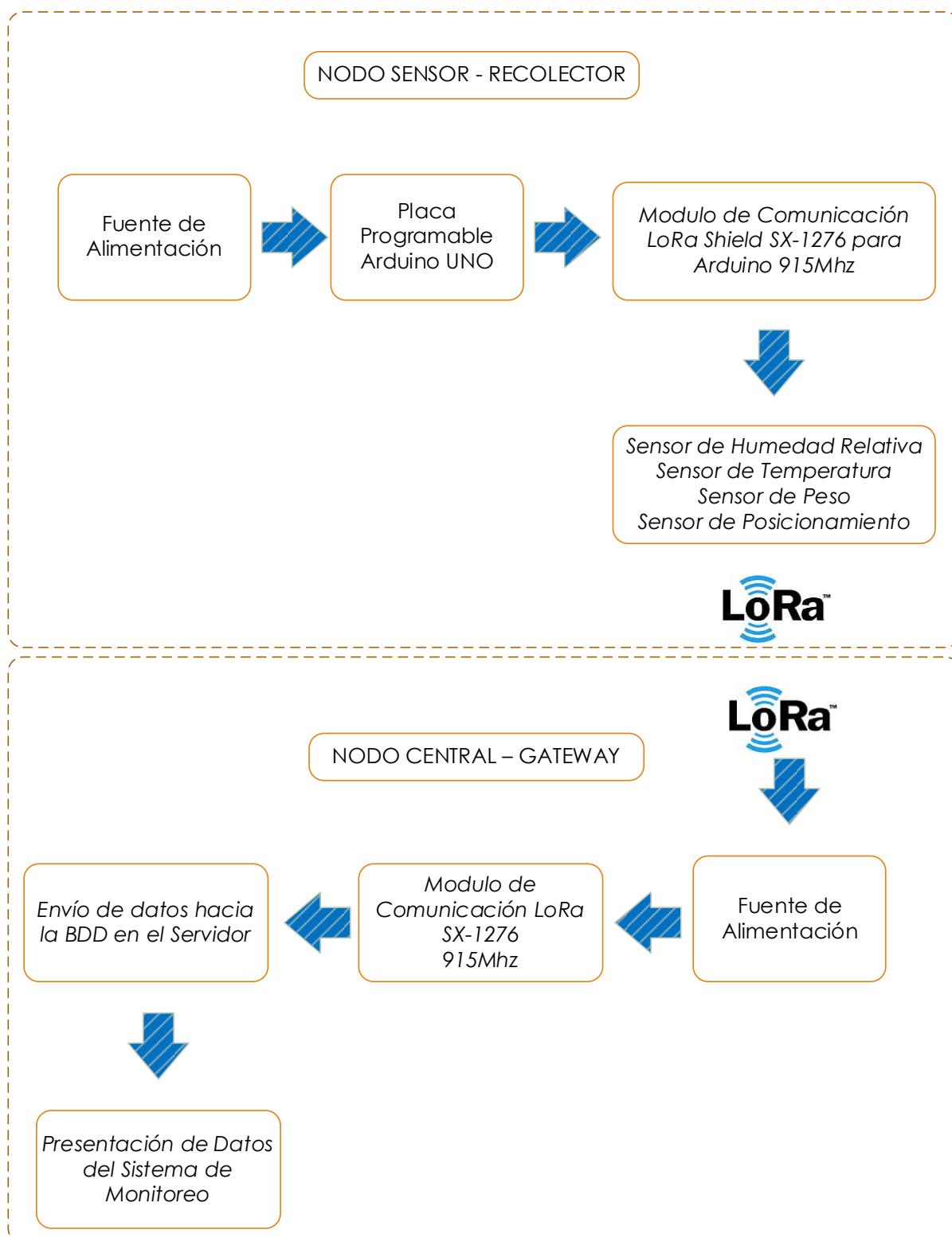
Una vez completada la etapa de análisis y situación actual de la Apícola y, también con la ayuda de la encuesta realizada al apicultor beneficiario, se pudo establecer los requerimientos operacionales y técnicos que se necesita para el funcionamiento del proyecto. Por lo que a continuación, se iniciará con la fase de diseño del sistema electrónico y se efectúa a continuación un diagrama de bloques general

3.4.1 Diagrama de Bloques del Sistema

En el siguiente diagrama de bloques que se puede observar en la Figura 23, se muestra una representación gráfica donde estará conformado por del sistema electrónico planteado.

Figura 22

Diagrama de bloques General



3.5. Elección de Hardware y Software para el Sistema

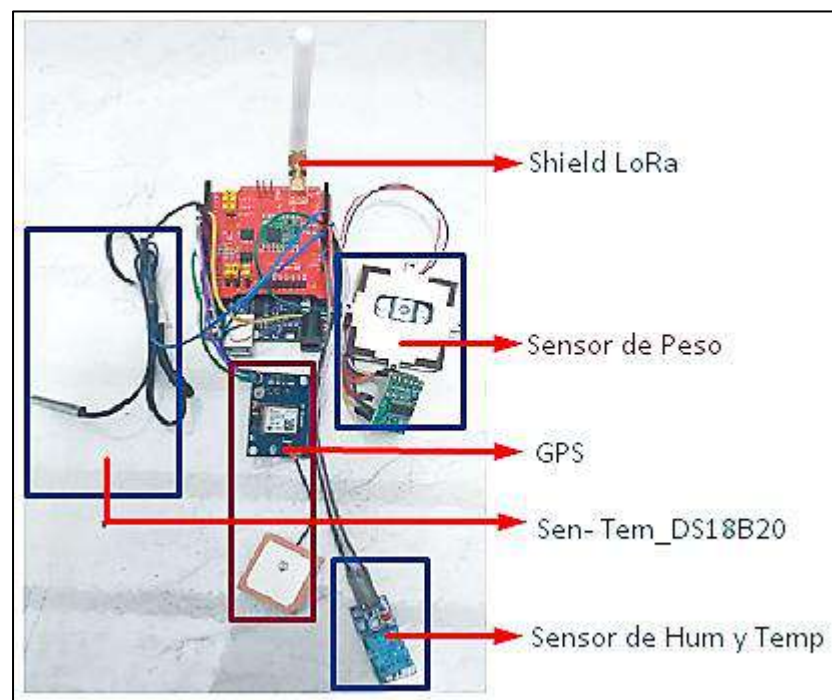
En esta sección se ejecuta una tabla comparativa de especificaciones para la selección de los componentes más adecuados de hardware y software dependiendo de los atributos de los requerimientos que se deba cumplir para su funcionamiento adecuado. La elección se realizará mediante tablas donde se compararán diferentes componentes; los cuales deberán cubrir la mayoría de requerimientos, estableciendo una calificación de 1 y 0 (1 si cumple, 0 no cumple) donde la que tenga la mayor valoración se elegirá.

3.5.1 Elección de Hardware

La elección del Hardware se realiza de acuerdo con los requerimientos de arquitectura establecidos en la Tabla 6 sobre Requerimientos de Hardware, donde se realiza la comparativa de sistemas embebidos adecuados, así como herramientas convencionales.

3.5.1.1 Elección Nodo Recolector

El nodo recolector está integrado por un módulo de comunicación inalámbrica Shield LoRa SX1276, el cual se encuentra acoplado sobre la placa Arduino UNO, encargándose de transmitir los datos expuestos de cada uno de los sensores, tanto de DHT22 el cual mide temperatura y humedad relativa fuera de la colmena, DS18B20 mismo que mide la temperatura interna de la colmena, HX711 y galga encargado de medir el peso y por último el UBLOX NEO 6M, el cual es un GPS y se encarga de tomar el posicionamiento de la colmena, en la Figura 24, se muestra el nodo recolector y sus componentes.

Figura 23*Shield LoRa y Componentes*

Fuente: Autoría

Tabla 9*Elección del Hardware*

Hardware	Requerimientos							Valoración Total
	SRSH4	SRSH5	SRSH6	SRSH7	SRSH8	SRSH9	SRSH10	
Placa ARDUINO	1	1	1	1	1	1	1	7
Placa Intel Galileo 2 GEN	1	1	1	1	1	0	0	5
Raspberry Pi 2	1	1	1	1	1	1	0	6

Cumple: "1"
No Cumple: "0"

Elección: El hardware seleccionado e idóneo en base a los requerimientos de arquitectura es el Sistema Arduino UNO. Al ver que la placa programable Arduino es la más conveniente y convencional en el uso de dispositivos LoRa, se hace una tabla comparativa de las placas más usadas de Arduino para seleccionar la apta para la elaboración del nodo recolector.

En la Tabla 10 se puede apreciar las características de las diferentes placas Arduino

Fuente: Autoría

Tabla 10

Comparativa de placas Arduino

Descripción	Arduino MEGA	Arduino UNO	Arduino YUN
Microcontrolador	Atmega2560	Atmega328	Atmega32u4
Voltaje de entrada	7-12 voltios	7 -12 voltios	5 voltios
Pines E/S digitales	54 los cuales 15 facilitan salida PWM	14 los cuales 6 facilitan salida PWM	20 los cuales 7 facilitan salida PWM
Pines E Análogos	16	6	12
Corriente DC por pin de E/S	40mA	40mA	40mA
EEPROM	4 KB	1KB	2.5KB
Precio Aproximado	33 dólares	26 dólares	52 dólares

Fuente: Autoría

Gracias a la comparativa anterior se puede identificar que la placa que se acerca más a las necesidades del desarrollo del proyecto es la placa Arduino UNO, gracias a su tamaño, precio y versatilidad al conectarse con diferentes módulos de comunicación. Una vez elegido el sistema embebido o placa principal de desarrollo, se debe realizar una comparación de cada uno de los dispositivos de hardware que el sistema tendrá en su diseño, analizando las características y compatibilidad con el Arduino UNO.

3.5.1.2 Elección Módulos de comunicación LoRa

Al escoger o seleccionar los dispositivos LoRa, se realiza en base a las características que tienen para emitir la comunicación entre cada uno de los nodos, tomando en cuenta su el acceso al mercado y su compatibilidad. Observaremos en la siguiente tabla las características importantes que hemos elegido para la elección de los módulos.

Tabla 11

Comparativa de módulos LoRa

Módulo	Distancia Tx/Rx	Velocidad de Bits	Banda de Frecuencia	Compatibilidad con ARDUINO
Lora SX1276	450m – 2Km	300Kbps	915 MHz	Si
MoteinoR4 RFM69W 868	5 km	300Kbps	868 MHz	Si
RFM 12B-443	450m	300Kbps	915 MHz	No
F8L10D-N-EMS-N	11.5 km	300Kbps	410-868- 915MHz	No

Fuente: Autoría

En base a la recopilación de información tanto de distancia, frecuencia y compatibilidad de los módulos descritos anteriormente, se obtiene que los módulos LoRa SX1276 son aptos para desarrollar el sistema propuesto; ya que, se puede relacionar o adherir con placas con las placas tanto de Arduino UNO, Mega, Leonardo, entre otros y de igual forma permiten trabajar en un rango de frecuencias aceptadas y permitidas en Ecuador la cual es 915Mhz y cubriendo una distancia aproximada de 450m hasta 2km a la redonda.

3.5.1.3 Elección de Sensor Temperatura y Humedad

La presencia de humedad relativa y temperatura es uno de los factores que se logra analizar al momento de detectar posibles cambios extremos en el apiario, en la Tabla 13 se puede prestar atención a 2 tipos de sensores encargados de medir la presencia de humedad y temperatura.

Tabla 12*Elección de Sensor de Temperatura y Humedad*

Modelo	Voltaje de operación	Entrada A/D	Tiempo de Sensado	Rango de medición de Temperatura	Rango de medición de humedad	Precio
DTH – 11	3.5–5.5 V	Si	3 seg	0°C a 80 °C	De 20 a 90% RH	\$ 6
DTH – 22	3 – 6 V	Si	1 seg	-40°C a 80 °C	De 0 a 100% RH	\$ 8

Fuente: Autoría

Para la elección de los sensores de humedad relativa y temperatura se ha seleccionado al sensor de DTH – 22, donde se ha realizado su respectivo análisis y queda se ha evidenciado que dicho sensor tiene dos características importantes, que son el tiempo de sensado y su el rango de medición de la temperatura, por lo cual el módulo DTH – 22 en comparación con el DTH – 11, trabaja de mejor manera; siendo el elegido para el sistema a desarrollar.

3.5.1.4 Elección de Sensor de Peso

Para poder examinar un cambio de niveles de peso en la colmena, se necesita un dispositivo que mida dicha cantidad de peso, para ello en la Tabla 13 se evidencia que sensor es apto para el trabajo que se realiza en el sistema.

Tabla 13*Elección Sensor de Peso*

Modelo	Voltaje de operación	Convertor A/D	Rango de detección de fuerza	Resistencia Máxima	Precio
Módulo HX711 + Celda de carga	5 V	Si	0 – 50Kg	1000MΩ	\$ 9
FSR 402	5V	Si	0 – 10Kg	>10MΩ	\$ 12

Fuente: Autoría

Como se pudo observar en la tabla 14, el sensor con una característica evidente y su compatibilidad con la placa Arduino es el Módulo HX711 + celda de carga; ya que posee una lectura analógica a digital con su conversor A/D interno de 24 bits

3.5.1.5 Elección de Sensor GPS

Para el sensor de posicionamiento se necesita un módulo que cumpla con dicho requerimiento, el cual se presentará en la tabla siguiente las características más importantes y se tomará en cuenta el dispositivo más idóneo para el desarrollo del sistema.

Tabla 14

Elección Sensor de Geoposicionamiento

Modelo	Voltaje de operación	Configuración	Sensibilidad	Memoria	Precio
U-Blox NEO 6M	5 V	Tx-Rx	-162dBm	EEPROM	\$ 11
SIM 808	5V	Red celular 2G	-165dBm	-	\$ 35

Fuente: Autoría

Como se puede evidenciar hay 3 factores importantes y cruciales como para elegir el GPS U-BLOX Neo 6M, la primera de ellas que la conexión y configuración se lo hace a través de dos pines transmisión y recepción mientras que el otro GPS lo hace a través de una red celular, el segundo parámetro es que el Neo 6M posee una memoria EEPROM para guardar sus datos, y el SIM 808 no la posee, y el último y no menos importante es el precio. De acuerdo con las características demostradas, se ha escogido al GPS NEO 6M para la elaboración del trabajo a desarrollar.

3.5.1.6 Elección de Gateway LoRa

El Gateway LoRa es el punto de conexión que reúne la información necesaria de cada uno de los nodos conectados adheridos al sistema, para realizar su elección se toma en cuenta características principales de las puertas de enlace compatibles y verificar cual es la mejor opción para la realización del sistema.

Tabla 15

Elección de Gateway LoRa

Gateway	Frecuencia	Servidor Web	# Canales	Distancia
Dragino LG01-P	915 MHz	Incluido	4	5 a 10 Km
Dragino LG01-N	868 MHz	Incluido	1	5 a 10 Km
Dragino LG01-S	868 – 915 MHz	Incluido	1	5 a 10 Km

Fuente: Autoría

Al realizar la comparación de los modelos propuestos de la puerta de enlace Dragino, se puede llegar a la conclusión que el modelo LG01-P es el Gateway indicado para la ejecución del sistema de monitoreo de una colmena; ya que, trabaja en frecuencias definidas para el plan de canalización AU915 para Ecuador y además se diferencia de los otros dispositivos en su número de canales mientras el Dragino tanto como LG01-N y LG01-S trabajan con un solo canal, el LG01-P tiene la capacidad de recepción por 4 canales activos.

3.5.2 Elección de Software

El Software designado asumirá una relación con los requerimientos anteriormente planteados, teniendo en cuenta la compatibilidad con el lenguaje de programación y el hardware ya seleccionado para que su funcionamiento sea completamente correcto. La elección u obtención del lenguaje de programación a utilizar se ejecutará mediante tablas comparativas; donde los requerimientos deberán ser cumplidos en su mayoría; para lo cual, se asignará calificación de 1 y 0 (1 si cumple, 0 no cumple) por lo tanto se preferirá al que posea mayor valoración

3.5.2.1 Software de programación

Para escoger el software que se utilizará en el sistema, se deberá de cumplir los requerimientos que se indican en la Tabla 6. Por lo cual se ejecuta una valoración de los lenguajes de programación como se indica en la Tabla 16, de los cuales se escoge el más apropiado para que el sistema funcione educadamente.

Tabla 16

Selección del Lenguaje de Programación

Software	Requerimientos			Valoración Total	
	Tipo	SRSH11	SRSH12		SRSH13
Python		1	1	1	3
Arduino IDE		1	1	1	3

Cumple: “1”

No Cumple: “0”

Elección: El Software seleccionado en base a los requerimientos, es Arduino IDE; ya que, este cumple con la compatibilidad con la placa a ser manejada y poseer las diferentes librerías que van a utilizarse para este sistema.

Fuente: Autoría

3.5.2.2 Software de Página Web y Aplicación Móvil

Para seleccionar el software que se manejará para la realización de la página Web y la Aplicación Móvil, se deberá de cumplir los requerimientos que se indican en la Tabla 6. Por lo cual se ejecuta una valoración de versatilidad y rapidez como se indica en la Tabla 17, de los cuales se escoge el más apropiado para que el sistema funcione educadamente.

Tabla 17*Selección de Software Página WEB y APP*

Software	Requerimientos				Valoración Total	
	Tipo	SRSH11	SRSH12	SRSH13		SRSH14
IONIC		1	1	1	1	4
APACHE		1	1	1	1	4
NGINX		1	1	1	0	3

Cumple: “1”**No Cumple: “0”**

Elección: El Software adecuado en base a los requerimientos establecidos es el IONIC; ya que, es un SDK completo de código abierto para el desarrollo de aplicaciones móviles híbridas, de escritorio y web progresivas basadas en tecnologías y prácticas modernas de desarrollo web.

Fuente: Autoría

3.5.2.3 Software de Base de Datos

Para seleccionar el software dedicado que se manejará para el almacenamiento de datos, se deberá de cumplir los requerimientos que se indican en la Tabla 6, donde se ha realizado una comparación de requerimientos de arquitectura en base a los diferentes softwares que se tiene para la ejecución de una base de datos.

Software	Requerimientos				Valoración Total	
	Tipo	SRSH11	SRSH12	SRSH13		SRSH14
Microsoft Access		1	1	0	1	3
SQL Server		1	1	0	1	3

Firestore	1	1	1	1	4
-----------	---	---	---	---	---

Cumple: “1”

No Cumple: “0”

Elección: El Software adecuado en base a los requerimientos establecidos es Almacena y sincroniza datos con nuestra base de datos NoSQL alojada en la nube. Los datos se sincronizan con todos los clientes en tiempo real.

Fuente: Autoría

3.6 Diseño del Sistema

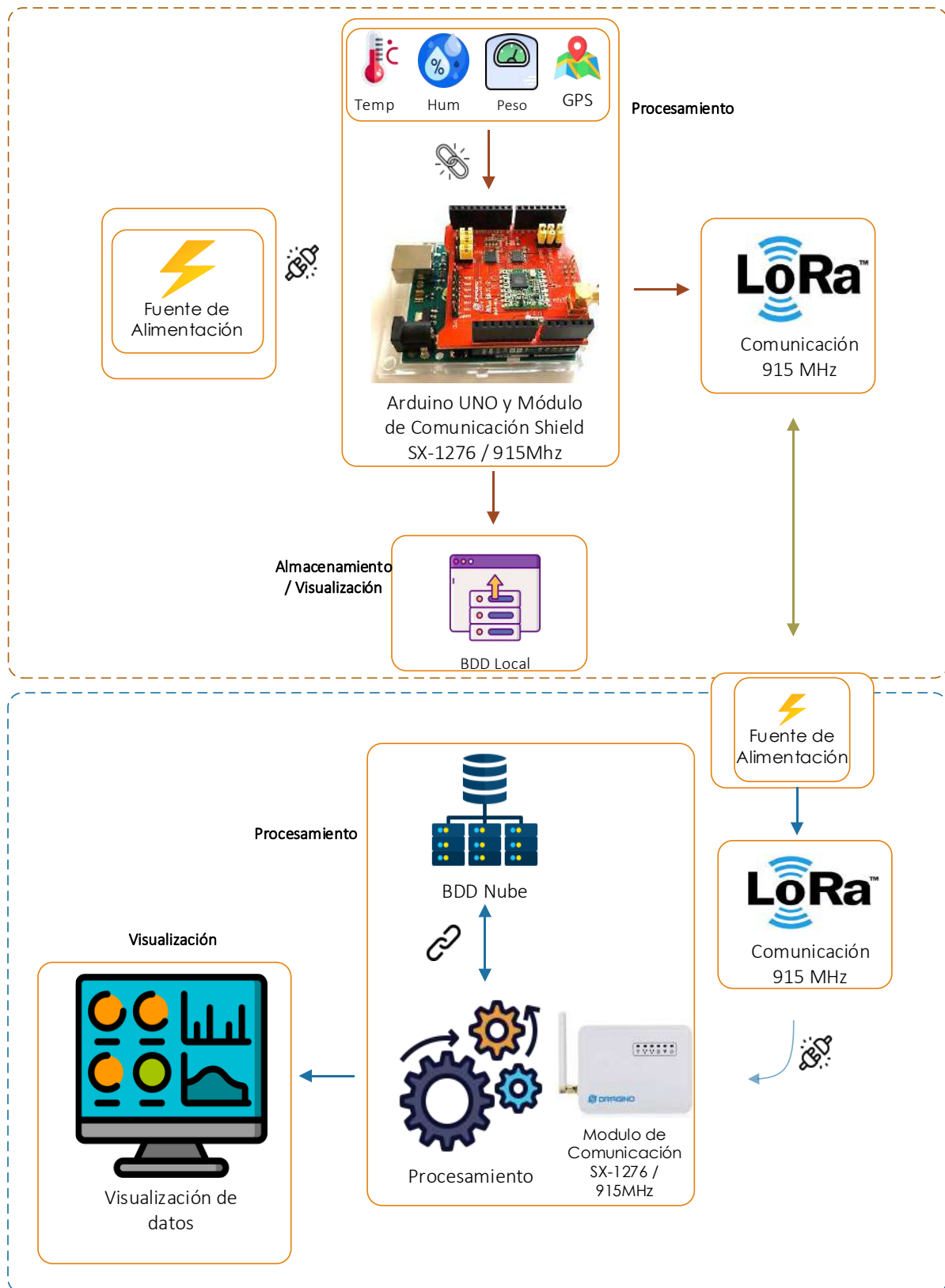
Una vez concluido con el estudio y análisis de los requerimientos tanto de la selección de software como el de hardware; procederemos a diseñar la interconexión de los diferentes componentes que conforman el nodo sensor y el nodo central. De la misma forma se ejecutará la comunicación entre ellos para el correcto funcionamiento del sistema.

3.6.1 Diagrama de Arquitectura del Funcionamiento del Sistema

El esquema que se presenta en la Figura 24 es una representación gráfica donde se especifican los componentes que formarán parte de cada uno de los nodos y se detallará los procedimientos que realizará el sistema.

Figura 24

Diagrama de Arquitectura del Sistema



- El sistema electrónico está conformado por dos componentes; la primera donde consta un nodo sensor el cual se encarga de recolectar la información que posee la colmena y la segunda la cual se refiere a un nodo central, que tendrá la facultad de recibir los parámetros del primer componente; para ello cada uno de ellos serán descritos brevemente a continuación; cada número ubicado en cada bloque corresponde al componente descrito :

1. Nodo Sensor

Fuente de Alimentación. – El panel solar, proveerá de energía a la batería de Litio, la cual suministrará el voltaje al nodo sensor; esta se conecta directamente mediante el conector USB.

Procesamiento. – El Sistema Embebido del Nodo Sensor consta de un Arduino UNO y un Shield LoRa el cual estarán conectados los sensores de peso, humedad relativa, temperatura y GPS será el encargado de procesar cada una de las variables o condiciones ambientales que registre la colmena, luego se realiza la conexión y revisión de conexión con la frecuencia y la tecnología que se utiliza, en este caso LoRa 915 MHz

Almacenamiento y visualización – Una vez recogida la información del dispositivo recolector, mediante comunicación inalámbrica se envía a una BDD local

2. Nodo Central

Fuente de Alimentación. – Al tener el consumo tanto de corriente como de voltaje de cada componente perteneciente a la puerta de enlace Dragino, se establece que la fuente de energía debe proporcionar un valor de 1 a 2A y un voltaje de 9v

Procesamiento. – El sistema embebido del Nodo Central, realiza el procesamiento respectivo de los datos y los almacena en una BDD en la Nube.

Visualización. – La información es presentada en un servicio WEB y App Móvil, para su visualización

3.7 Diseño de Hardware

- Para la elaboración de este sistema electrónico se utiliza como placa principal el módulo LoRa SX1276 y los sensores de peso, humedad, temperatura y geoposicionamiento denominado Nodo Sensor y para el Nodo Central se utiliza un Dragino LG01-P. Por lo tanto, en los siguientes puntos se va a representar cómo es el funcionamiento de los dos nodos “subsistemas”; así como el diagrama de enlace de cada dispositivo.

3.7.1 Nodo Sensor o Recolector de Información

- Este subsistema para que inicie su funcionamiento está compuesto por un módulo de comunicación inalámbrica llamado módulo LoRa, el cual tendrá la característica de transmisión de valores que proyecta cada sensor; para lo cual, los datos recogidos por cada nodo se ejecutan mediante el uso de tres dispositivos que trabajan específicamente en la colmena.

3.7.1.1 Sistema Alimentación de energía

- La alimentación es una parte importante del sistema; ya que, al ser un dispositivo electrónico inalámbrico, se debe tomar en cuenta el cálculo de la duración de la batería para tener un valor estimado del tiempo necesario que usará el Nodo Sensor para que se encuentre en ejecución. La capacidad de la batería se la calculará con la ecuación detallada a continuación:

$$T_B = \frac{C_B}{C_c}$$

Ecuación 2

Donde,

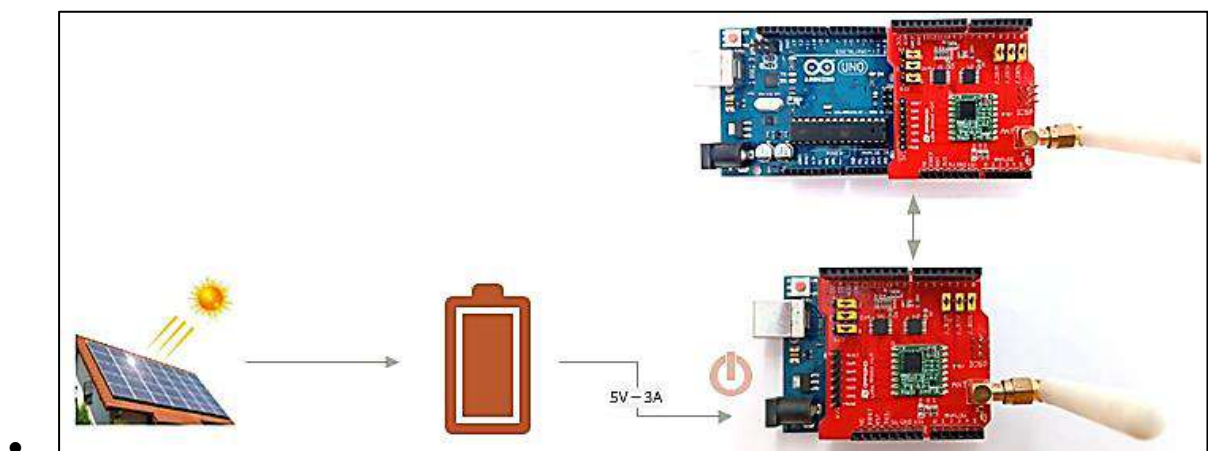
T_B = *Tiempo de duración de la batería*

C_B = *Carga de la Batería*

C_c = *Corriente de Carga*

Figura 25

Diagrama de la fuente de alimentación del Nodo Sensor



Fuente: Autoría

- Cada nodo sensor está compuesto por una batería que litio de 5 voltios a 2 amperios, la cual estará conectada a un panel solar, el mismo que permitirá que las baterías se encuentren cargadas todo el tiempo y de esa forma suministrar la energía necesaria tanto la placa Arduino como al módulo de comunicación LoRa, y así el sistema funcione correctamente.
- Para establecer cuanto tiempo y energía consume el nodo sensor, se debe adquirir los valores de amperaje de cada dispositivo conectado al nodo recolector, donde se realizará el siguiente análisis:

Tabla 18

Consumo de Corriente de elementos del nodo sensor

Elemento	Modo Dormido	Modo Normal	Modo necesario
<i>Arduino Uno</i>	46mA	48mA	46-50 mA
<i>Módulo LoRa de bajo consumo</i>	0.0003mA	10.2mA	10.2mA (todos los componentes 300mA)
<i>Sensor de Peso</i>	50mA	50mA	50mA
<i>Sensor de Temperatura y Humedad</i>	50mA	50mA	50mA
<i>Sensor GPS</i>	50mA	50mA	50mA
TOTAL	196.003mA	208.2	210.2 mA

- Como se puede evidenciar en la Tabla 17, cada uno de los componentes que posee el nodo sensor, depende de la configuración y programación que se realice en el módulo LoRa para que el dispositivo pueda consumir lo menor cantidad de corriente posible; y a su vez observaremos que el dispositivo en condiciones normales trabajará 10.2mA. Con la información antes detallada se incorpora las siguientes variables para constatar el consumo de energía del nodo sensor.

$$C_C = \frac{TC_{MN} * IC_{MN} + TC_{MD} * IC_{MD}}{TC_{MN} + TC_{MD}}$$

Ecuación 3

Siendo,

$C_C =$ Corriente de Carga

$TC_{MN} =$ Tiempo de Consumo Modo Normal \rightarrow **5 segundos**

$IC_{MN} =$ Intensidad de Corriente de Modo Normal

$TC_{MD} =$ Tiempo de Consumo Modo Dormido \rightarrow **30 segundos**

$IC_{MD} =$ Intesidad de Corriente de Modo Dormido

$$C_C = \frac{(5 * 208.2) + (30 * 196.0003)}{5 + 30}$$

$$C_C = 197,74 \text{ mA}$$

De acuerdo al análisis establecido, se reemplaza el valor de la ecuación 3 en la ecuación 2, obteniendo así el tiempo de duración de la batería.

$$T_B = \frac{2500\text{mA}}{197,74\text{mA}}$$

$$T_B = 12.644 \text{ Horas}$$

3.7.1.2 Sensor de Peso HX711

El Módulo HX711 es un transmisor entre las celdas de carga y un microcontrolador como Arduino/PIC/ESP, permitiendo leer el peso en la celda de manera sencilla; además posee internamente la electrónica de acondicionamiento y conversión A/D, admitiendo la lectura del puente Wheatstone formado por la celda de carga y también un conversor ADC de 24 bits.

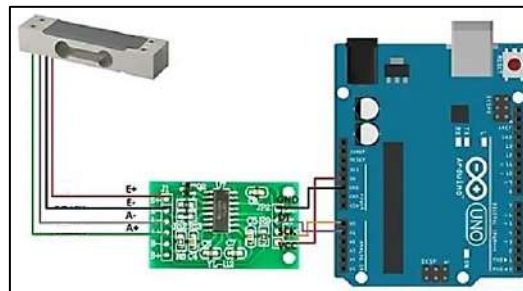
Para vincular una celda de carga al módulo HX711 son necesarios 4 cables, los colores manejados normalmente son rojo, negro, blanco y verde. Cada color pertenece a una señal como se muestra a continuación:

- Cable rojo (alimentación positiva): al pin E+ del HX-711
- Cable negro (masa): al pin E- del HX-711
- Cable blanco (señal): al pin A+ del HX-711
- Cable verde (señal): al pin A- del HX-711
- Las conexiones B+ y B- del HX-711 son para conectar una segunda celda de carga.

En caso de obtener lecturas de fuerza o peso negativas en el montaje final, se deberá invertir la conexión de los cables blanco y verde.

Figura 26

Sensor de peso HX711 y celda de carga conectado a Arduino



Fuente: Autoría

En cuanto a la Figura 26 se observa la conexión del sensor de peso HX-711 con el Arduino donde se realiza mediante las líneas de datos (DT), reloj (SCK), VCC y GND. De manera que, para la adquisición de los datos expresados por el sensor sean de forma analógica o digital.

3.7.1.3 Sensor de Temperatura y Humedad Relativa

Es un sensor digital de temperatura y humedad relativa, el cual integra un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circundante, y muestra los datos mediante una señal digital en el pin de datos. Cada sensor se halla calibrado directamente

desde fabrica para obtener unos coeficientes de calibración grabados en su memoria OTP, certificando alta estabilidad y fiabilidad a lo largo del tiempo.

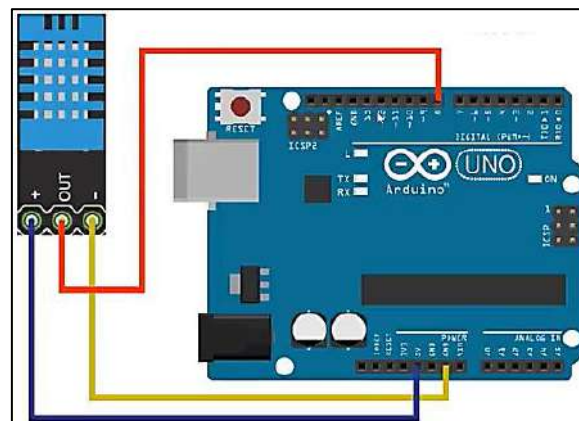
Podemos describir como humedad relativa a la cantidad de agua que se transporta por el aire, es importante para determinar el desarrollo de las nubes y el factor precipitación y a su vez la temperatura ambiente se refiere a la temperatura en un determinado lugar.

Los pines de la versión con PCB del DHT11 son:

- GND: conexión con tierra
- DATA: transmisión de datos
- VCC: alimentación

Figura 27

Sensor de Temperatura y Humedad DHT 11 - conectado a Arduino



Fuente: Autoría

3.7.1.4 Sensor GPS

El módulo GPS en su modelo GY-GPS6MV2 viene con un módulo de serie U-Blox NEO 6M una pila de botón para mantener los datos de configuración en la memoria EEPROM, un

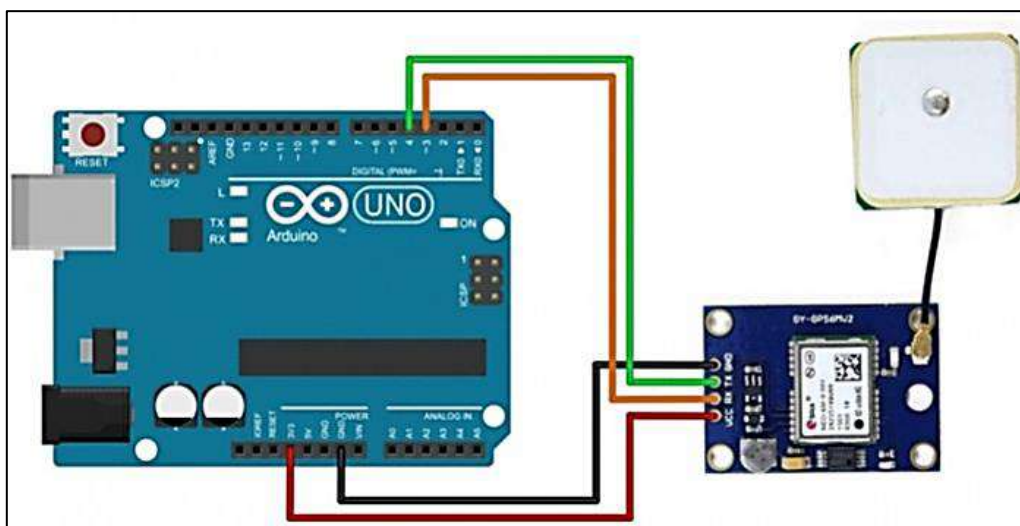
indicador LED y una antena cerámica. También posee los pines o conectores Vcc, Rx, Tx y Gnd por el que se puede conectar a algún microcontrolador mediante una interfaz serial.

Vamos a realizar las conexiones que se muestran en la Figura 28 y seguir los pasos que se describen a continuación:

- Conecte el pin 3.3V del Arduino UNO al pin Vcc del módulo GPS.
- Conecte el pin GND del Arduino UNO al pin GND del módulo GPS.
- Conecte el pin digital 4 del Arduino UNO al pin Tx del módulo GPS.
- Conecte el pin digital 3 del Arduino UNO al pin Rx del módulo GPS.

Figura 28

Sensor GPS NEO 6M - conectado a Arduino



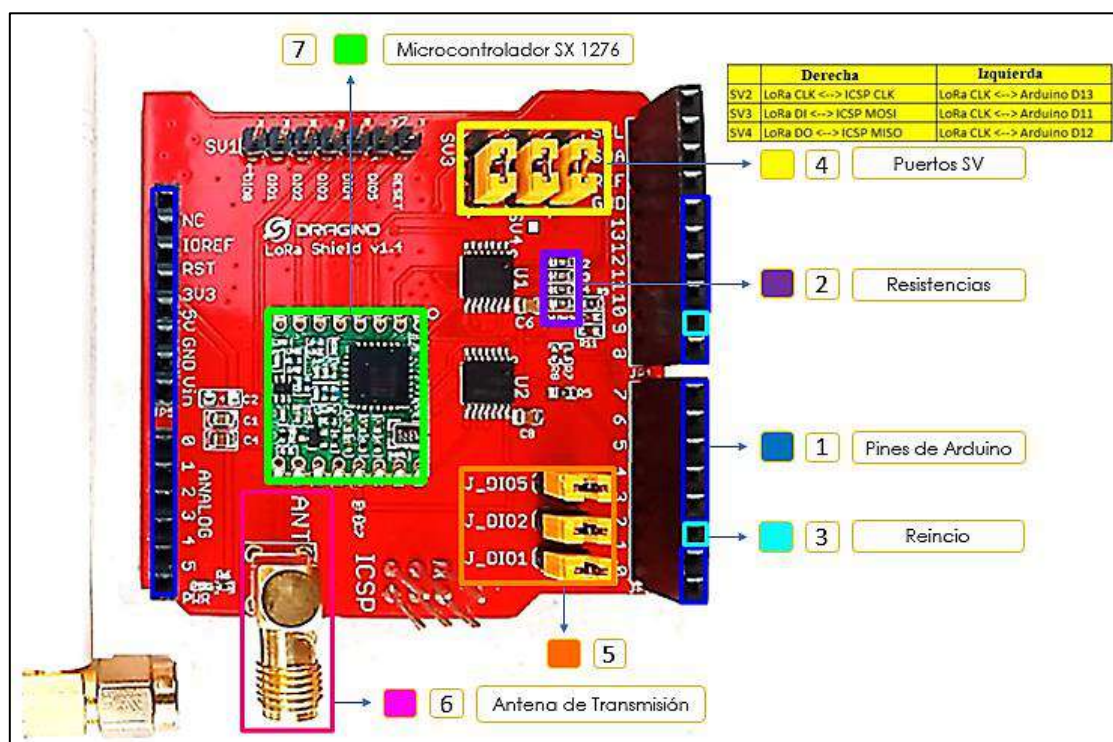
Fuente: Autoría

3.7.1.5 Módulo LoRa

El módulo LoRa, es elegido en base a cada uno de los requerimientos del sistema, mismo que tiene como microcontrolador el SX1276, en la Figura 29 se puede prestar atención el módulo contiene las siguientes características.

Figura 29

Módulo LoRa para Arduino



Fuente: Autoría

Dentro de las principales características que posee el módulo LoRa se detallará las siguientes:

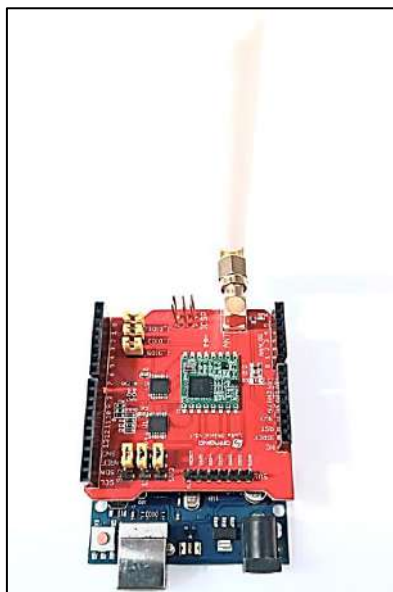
- *Pines de Arduino*: El módulo se conecta en la parte superior de la placa Arduino, por lo que se reubican los pines en el módulo para su utilización.
- *Resistencias*: Se encuentran resistencias con indicadores Led, para utilización de pines específicos en el módulo Lora.

- *Reinicio*: Se utiliza para el restablecimiento lógico del módulo, siendo el caso se usará el pin 2 y 9.
- *Puertos SV*: Estos son usados en el módulo LoRa para la configuración de Reloj.
- *Jumper DIO*: Se manejan para comunicación inmediata con el módulo LoRa.
- *Antena de transmisión*: Se trata de un conector roscado para cable coaxial en antenas de radiofrecuencia denominada Antena SMA

En la Figura 30 se puede apreciar el módulo LoRa con microcontrolador SX1276 colocado en la parte superior de la placa Arduino UNO, y preparado para su configuración.

Figura 30

Montaje de Módulo LoRa en la placa Arduino



Fuente: Autoría

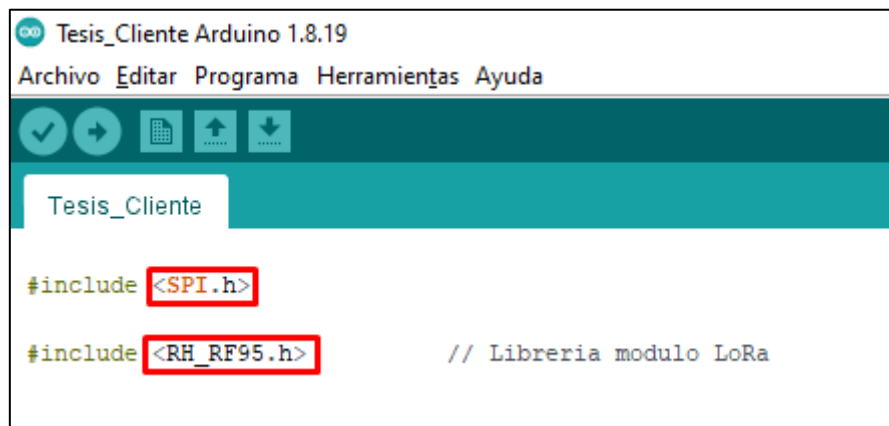
De igual forma en el IDE de Arduino, se realiza la programación de la placa para su funcionamiento efectivo con el módulo Arduino, para lo cual se debe descargar la librería microcontrolador correspondiente al módulo que se utiliza.

- *Envío de datos entre el nodo sensor y el Gateway Dragino LG01-P.*

En la Figura siguiente se puede evidenciar dos librerías específicas para el funcionamiento del módulo LoRa con la placa base Arduino.

Figura 31

Librerías para Nodo Sensor LoRa



```

Tesis_Cliente Arduino 1.8.19
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

Tesis_Cliente

#include <SPI.h>

#include <RH_RF95.h> // Libreria modulo LoRa

```

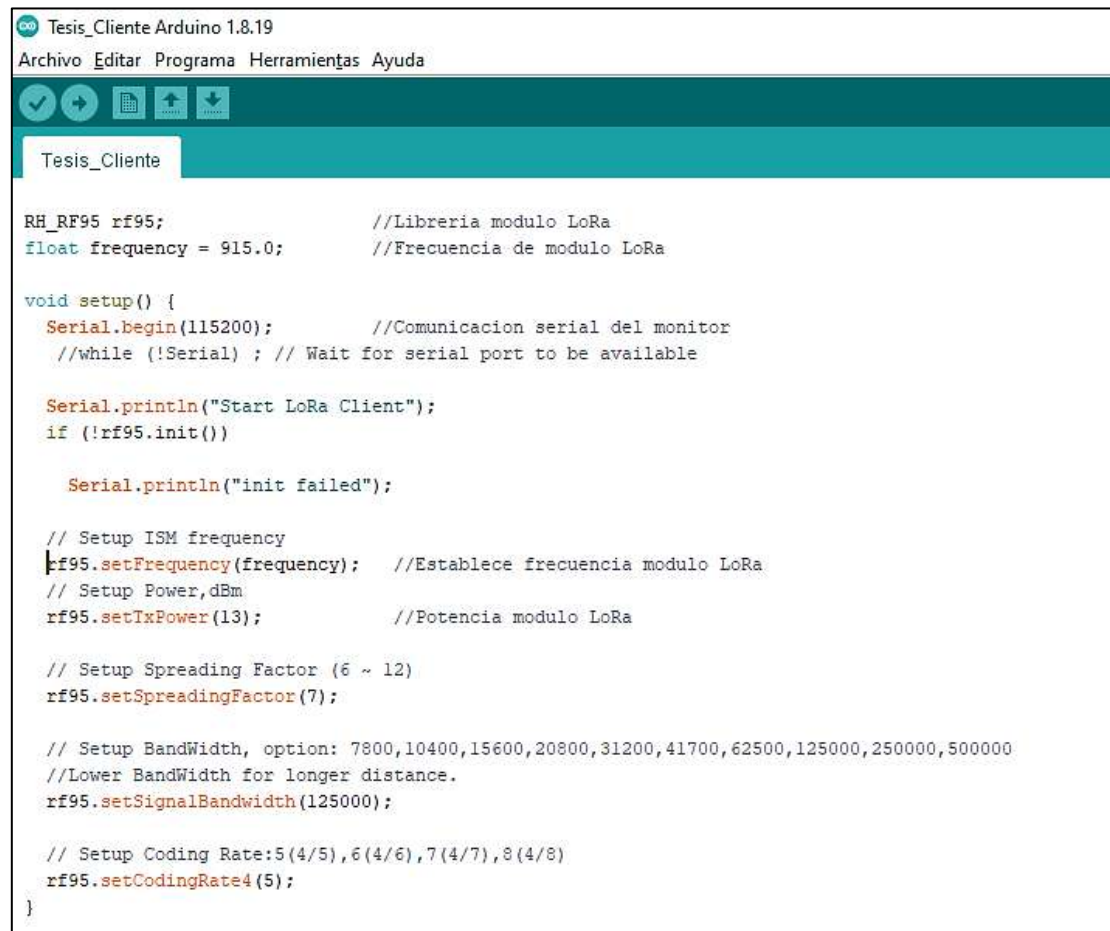
Fuente: Autoría

- *Librería SPI:* Es denominada como Interfaz para Periféricos en Serie y es un protocolo de entrega de datos seriales sincronizado, son usados en dispositivos de forma inalámbrica o cableada.
- *Librería RH95:* Realiza su trabajo con microcontroladores M95 del grupo SX1276/77/78 y 79, donde dicha librería se puede poseer relación entre el módulo LoRa y el Arduino de la placa base.

En la librería SPI es la encargada del proceso de lectura de datos en la configuración del Arduino, el cual se ha constatado a través de cada impresión en la consola de la placa.

Para la utilización de la librería RH95, el proceso de configuración se explica a continuación

- Se realiza la creación de una variable de tipo float, permitiendo la identificación de la frecuencia en la que el módulo LoRa ejecuta su microcontrolador.
- Luego de aquello, se efectúa una comparación de frecuencia en el nodo con la del receptor otorgando de esa forma establecimiento de comunicación, y si dicha frecuencia resulta ser diferente no procederá a su conexión.
- Luego entonces, se ejecuta la librería RH95 con su respectivo regulador ISM y hace la comparación con la variable de frecuencia.
- Se realiza la instrucción para la configuración establecida en dBm de la potencia
- Se ejecuta la configuración del Factor de Propagación señalado en una escala de 1 al 12, donde para LoRa será un valor entre 7 y 10.
- Posteriormente el Ancho de Banda se configura de acuerdo a lo establecido para el envío y recepción de datos.
- Finalmente, la configuración de la Tasa de Codificación, que se lo realiza en un rango de 4/5 a 4/8.

Figura 32*Configuración Básica de Módulo LoRa*

```
Tesis_Cliente Arduino 1.8.19
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

Tesis_Cliente

RH_RF95 rf95; //Libreria modulo LoRa
float frequency = 915.0; //Frecuencia de modulo LoRa

void setup() {
  Serial.begin(115200); //Comunicacion serial del monitor
  //while (!Serial) ; // Wait for serial port to be available

  Serial.println("Start LoRa Client");
  if (!rf95.init())

    Serial.println("init failed");

  // Setup ISM frequency
  rf95.setFrequency(frequency); //Establece frecuencia modulo LoRa
  // Setup Power, dBm
  rf95.setTxPower(13); //Potencia modulo LoRa

  // Setup Spreading Factor (6 ~ 12)
  rf95.setSpreadingFactor(7);

  // Setup BandWidth, option: 7800,10400,15600,20800,31200,41700,62500,125000,250000,500000
  //Lower BandWidth for longer distance.
  rf95.setSignalBandwidth(125000);

  // Setup Coding Rate:5(4/5),6(4/6),7(4/7),8(4/8)
  rf95.setCodingRate4(5);
}
```

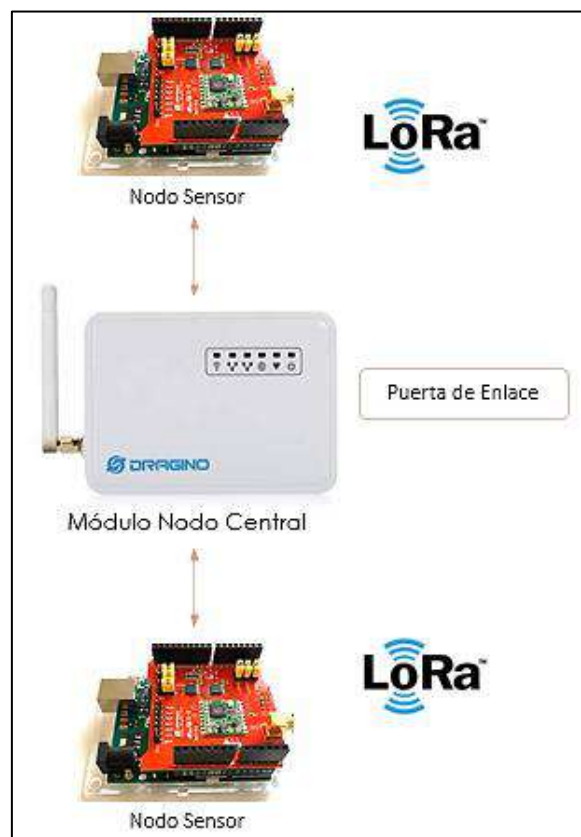
Fuente: Autoría

3.7.2 Red de Sensor Inalámbrico (WSN)

La red de sensores inalámbricos se construye con 2 nodos sensores y un Gateway o una puerta de enlace principal, cuya función es recoger toda la información de cada nodo sensor y a su vez enviarla a una plataforma en internet.

Figura 33

Red de Sensores Inalámbricos LoRa - Topología en estrella



Fuente: Autoría

Se puede observar en la Figura 33, el sistema de monitoreo para una colmena de abejas que está conformada por 2 nodos sensores que mediante un módulo LoRa logran establecer comunicación inalámbricamente con el Gateway Dragino LG01-P, formando así una topología tipo estrella.

La puerta de enlace se encarga de la confirmación y transmisión de envío de datos a cada nodo, y de esta forma permite que cada nodo consuma menos energía; ya que, al no establecer conexión con la puerta de enlace permanece en un estado de espera haciendo entonces que cada sensor no envíe información

3.7.3 Ciclo de trabajo y tiempo de aire (ToA)

El tiempo de aire ToA resulta ser de mucha utilidad; ya que, al enviar la señal desde un nodo recolector específico en la red de sensores, demora un cierto tiempo antes que la señal alcance a su destino, es por eso que se realiza un cálculo del tiempo en el aire de la señal, tomando en cuenta el ciclo de trabajo del módulo LoRa.

. Cuando el dispositivo trabaja en plan de canalización AU915, no existe un tiempo de trabajo específico; ya que, las redes establecidas están en la banda de 868Mhz en Europa para lo cual el cálculo del tiempo en el aire de la señal toma como valor referencial un ciclo de trabajo del 1%.

La regulación ISM establece que tanto para las bandas de 868 MHz y 915 MHz tienen una misma relación con el tiempo de trabajo y a su vez con las bandas de China y Australia.

La fórmula para calcular el Tiempo en el Aire de la señal es:

$$ToA = \text{Tiempo de envío} * (100 - (\text{ciclo de trabajo})) \quad \text{Ecuación 4}$$

Siendo,

Ciclo de trabajo = 1%

Tiempo de envío = 300 ms (Establecido por el Administrador)

$$ToA = 300ms * (100 - (1))$$

$$ToA = 29.7segundos$$

El tiempo calculado de la señal ToA se lo expresa en segundos e indica cuanto se debe esperar antes de enviar un nuevo mensaje entre la comunicación del Gateway y cada uno de los nodos sensores.

3.7.4 Tipo de clase seleccionado para la red WSN.

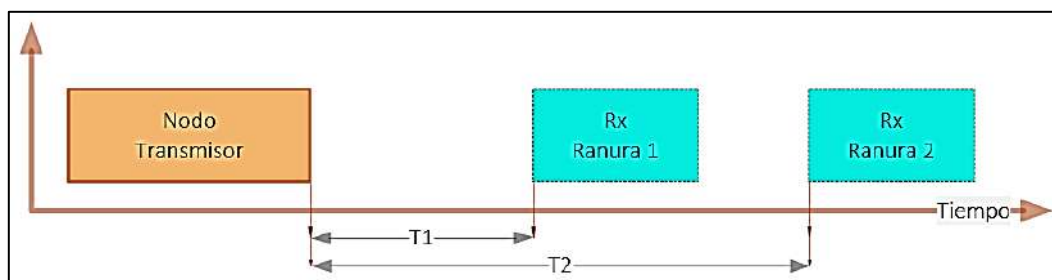
Tal como se mencionó en el Capítulo anterior sobre las clases de los dispositivos LoRaWAN, se debe implantar una clase de dispositivo para un trabajo óptimo entre el nodo sensor y el Gateway, para lo cual se realiza un análisis entre la Clase A, Clase B y Clase C y a su vez seleccionar la de mejor rentabilidad para el sistema de monitoreo de una colmena.

La Clase A: El nodo final transmite una señal, escucha una respuesta del Gateway o puerta de enlace para poder transmitir, donde el nodo final abre dos ranuras de recepción denominadas T1 y T2 segundos, haciendo que el Gateway pueda responder a una de las dos ranuras de tiempo, pero, no las dos a su vez.

En la Figura 33 se puede apreciar el proceso de la clase A.

Figura 34

Representación de Clase A en LoRaWAN

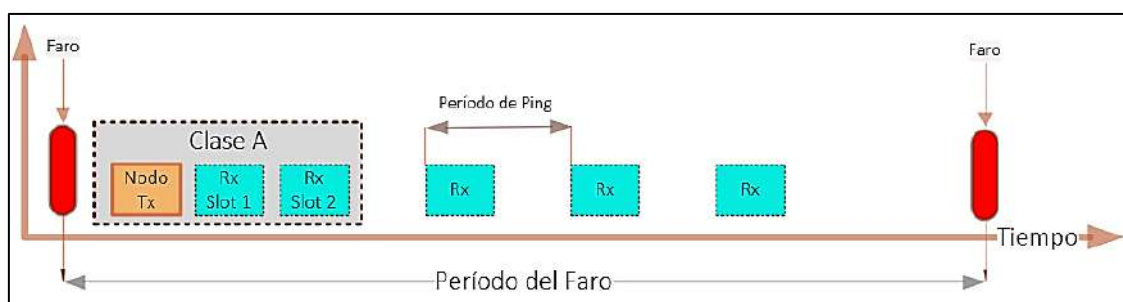


Fuente: Autoría

La Clase B: Es similar a la clase A, la diferencia que en la clase B es que el nodo final recibe una sincronización de señales en el tiempo enviados desde la puerta de enlace, permitiendo a al Gateway saber que el nodo está escuchando y transmitiendo. En la Figura que se muestra a continuación se puede constatar el proceso de la clase B y la relación con la clase A, y a su vez la comunicación permanente entre ellos de acuerdo con su período de ping.

Figura 35

Representación de Clase B en LoRaWAN



Fuente: Autoría

La Clase C: Aplica las ranuras de recepción de la clase A, pero su fortalecimiento se basa en que un dispositivo de clase C puede escuchar respuestas continuamente por un tiempo señalado por el desarrollador. Como se puede apreciar en la figura siguiente el canal permanece activo esperando un nuevo enlace y también existe una compatibilidad entre la clase A y la clase C.

Figura 36

Representación de Clase B en LoRaWAN



Fuente: Autoría

Dentro del proceso que se ha realizado sobre la transmisión de los módulos LoRa establecidas por las clases A, B y C, se identifica y se procede a tomar la Clase C como referencia para la realización del sistema de monitoreo de la colmena; ya que, los nodos sensores deben estar siempre activos y transmitiendo información.

3.7.5 Pérdidas en el espacio libre

Las pérdidas en el espacio libre, es conocido como la pérdida de energía entre dos antenas al pasar una atmosfera, dicha pérdida de trayectoria en el espacio libre es usado para identificar el nivel de recepción y transmisión en un recorrido de línea de vista como se establece tanto en el Gateway y el nodo sensor.

La ecuación para el cálculo de las perdidas en el espacio libre es:

$$L(fs) = 32.45 + 20 \log(D) + \log(f) \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde,

$$f = \text{Frecuencia (MHz)}$$

$$D = \text{Distancia entre Nodo Sensor y Gateway (Km)}$$

$$L(fs) = \text{Pérdida espacio libre (dB)}$$

Con la fórmula propuesta se realiza el cálculo de la pérdida de espacio libre tanto para zona rural y urbana con los valores de 1,2 Km y 800 m respectivamente para una distancia máxima de transmisión o comunicación de módulos LoRa.

Zona Rural

$$L(fs) = 32.45 + 20 \log(1.2) + 20 \log(915)$$

$$L(fs) = 93.26 \text{ dB}$$

Zona Urbana

$$L(fs) = 32.45 + 20 \log(0.8) + 20 \log(915)$$

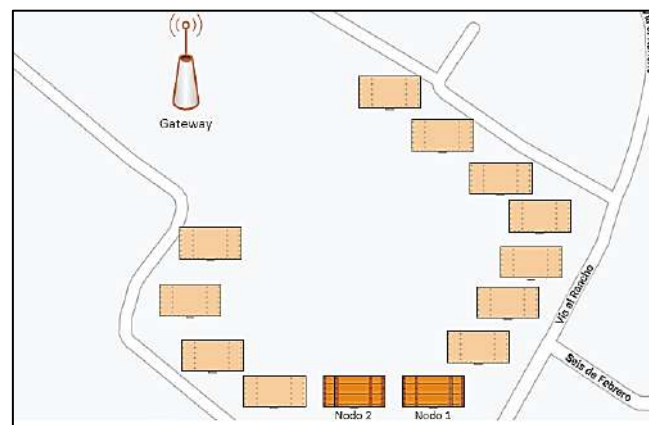
$$L(fs) = 89.74 \text{ dB}$$

3.5.1 Distribución de los Nodos

El área de estudio a tratar está compuesta por 600 metros a la redonda que se encuentran establecidos en la Apícola ubicada en la parroquia de Atuntaqui y cubre la totalidad de la zona antes mencionada. La topología que se desarrolla es de tipo estrella, para lo cual los nodos sensores se ubican a una distancia máxima de 1,2 Km del Gateway.

Figura 37

Ubicación de Nodos Sensores



Fuente: Autoría

Para el desarrollo del sistema se ha propuesto 2 nodos sensores y un Gateway, los cuales se encuentran ubicados a una distancia que no excede la capacidad del nodo central. En el caso del nodo central se ha ubicado dentro de la Apícola y así se facilita para que los datos recogidos puedan ser subidos a la plataforma en tiempo real. Para dejar instaurada la posición precisa de los nodos se utilizó la herramienta de Google Earth como se visualiza en la tabla propuesta.

Tabla 19*Coordenadas geográficas de cada nodo.*

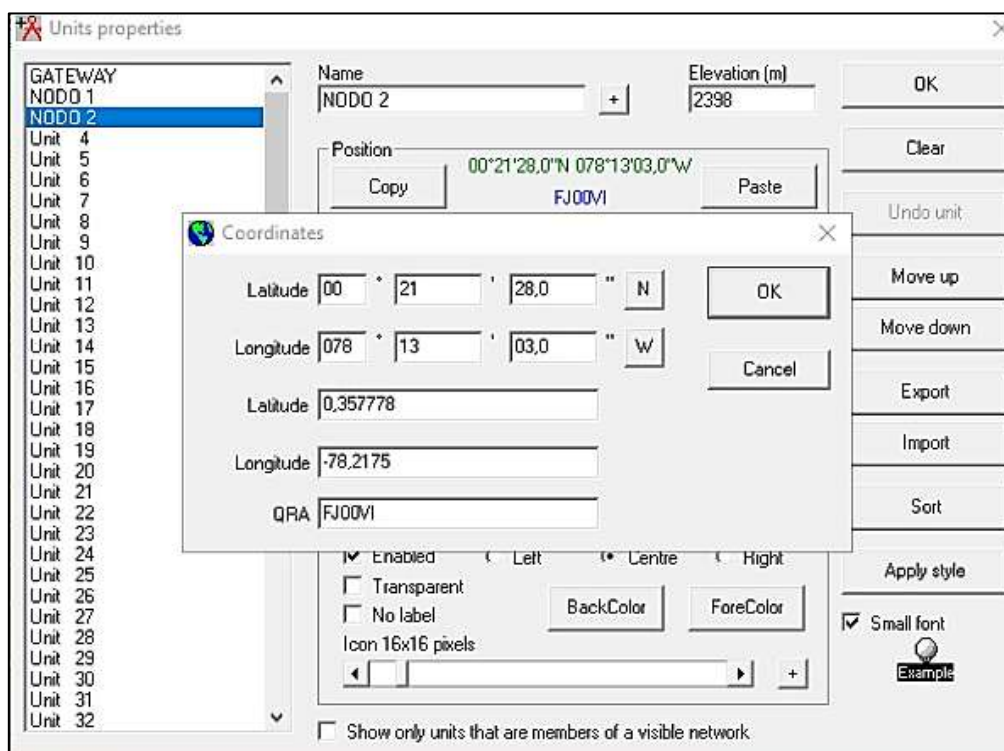
Dispositivo	Distancia hacia el Gateway	<i>Coordenadas Geográficas</i>		<i>Coordenadas Angulares</i>	
		Latitud	Longitud	Latitud	Longitud
Gateway	-	0°21'34"N	78°13'10"W	0.359622	-78.219583
Nodo 1	245.15	0°21'26"N	78°13'05"W	0.356961	-78.218367
Nodo 2	253.03	0°21'28"N	78°13'03"W	0.357168	-78.218195

Fuente: Google Earth

Para demostrar que se tienen línea de vista se pretende realizar la simulación respectiva y así ratificar la zona de Fresnel de cada nodo, mediante el uso de la herramienta del Radio Mobile; para aquello se crean los puntos que conforman el enlace, haciendo uso de las coordenadas conseguidas en Google Earth y mostrados en la Tabla 19 y expresados los valores correspondientes de los nodos tal como se puede observar en la Figura siguiente.

Figura 38

Puntos de referencia de cada nodo en Radio Mobile

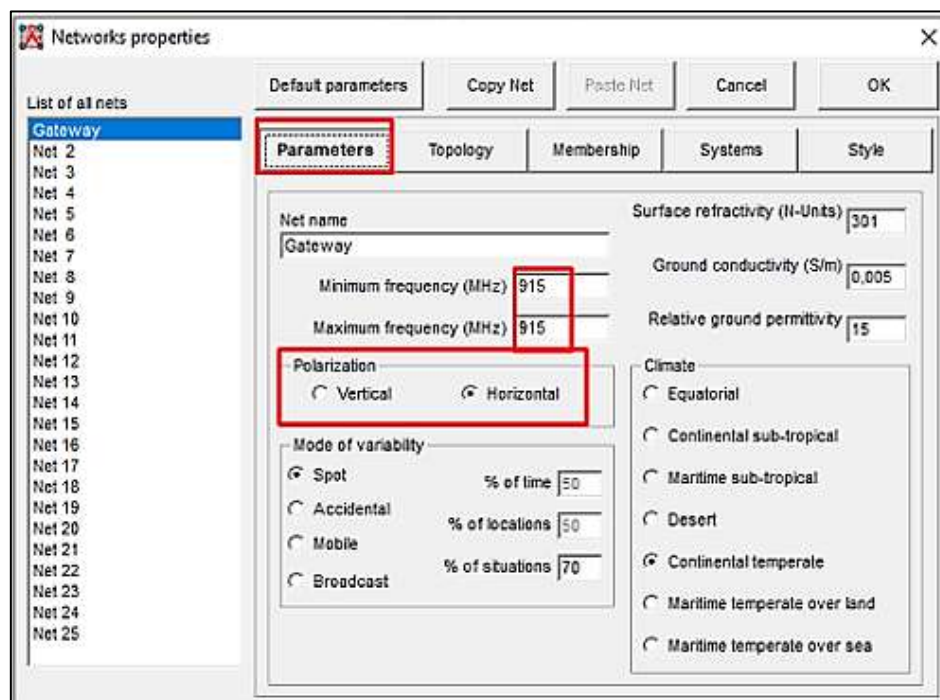


Fuente: Autoría

Para proporcionar la posición de cada uno de los nodos propuestos en la topología de red se debe tener en cuenta parámetros fundamentales para la configuración, donde se los presentará a continuación:

Figura 39

Parámetros principales de la Red



Fuente: Autoría

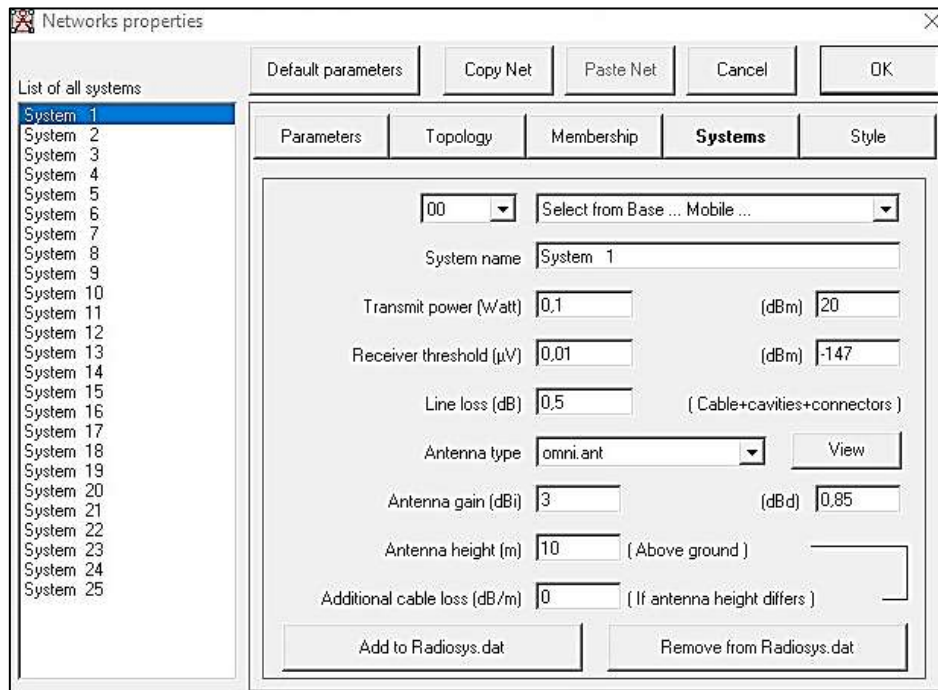
- Frecuencia máxima y mínima: 915 (MHz)
- Polarización: Horizontal.

De la misma manera se debe colocar diferentes parámetros del sistema de comunicación; ya que, al ser el mismo tipo de enlace entre cada nodo sensor y el Gateway y debe poseer las mismas particularidades tales como:

- Potencia de Transmisión (dBm): 20dBm.
- Umbral de Recepción (dBm): -148dBm.
- Pérdida de línea (dB): 0.5dB.
- Tipo de antena: Omnidireccional.
- Ganancia de la Antena (dBi): 3dBi.
- Altura de la Antena (m): 10 metros

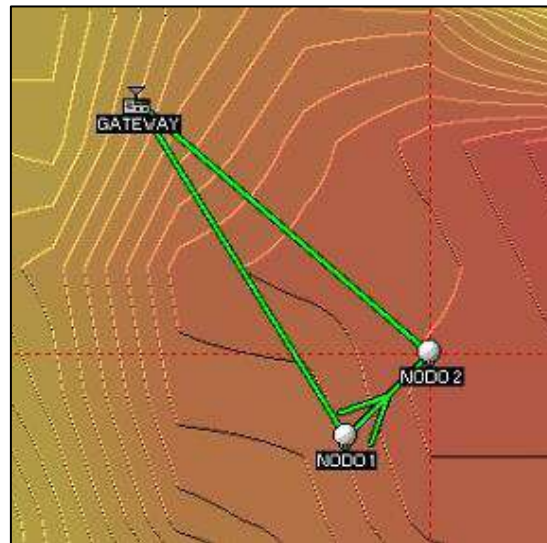
Figura 40

Sistema de Enlaces - Parámetros Principales



Fuente: Autoría

Posteriormente a los parámetros configurados, se obtiene la simulación en Radio Mobile la cual representa a una topología de tipo estrella en el sistema de monitoreo de una colmena como muestra la Figura 41.

Figura 41*Resultado de Simulación*

Fuente: Radio Mobile

3.5.2 Zona de Fresnel

La zona Fresnel es una serie de regiones elípticas alrededor de la línea directa de la ruta de visión entre el nodo sensor y el Gateway. Para realizar el cálculo de la zona de Fresnel para los módulos LoRa se ha determinado la siguiente fórmula:

$$r = 8.657 \sqrt{\frac{D}{f}}$$

Ecuación 6

Siendo,

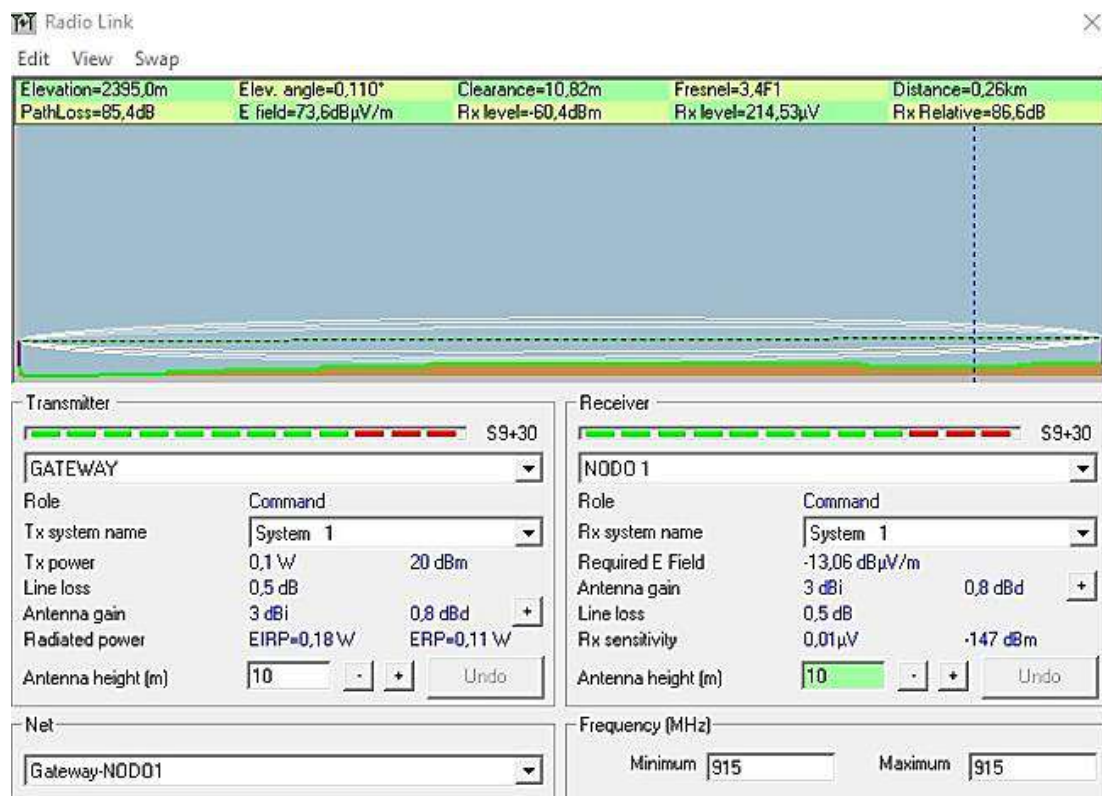
f = Frecuencia (GHz)*D* = Distancia (Km)*r* = radio de Z.Fresnel (m)

3.5.2.1 Zona de Fresnel Nodo Sensor 1 y Gateway

En la Figura 42 se puede observar la línea de vista entre el nodo recolector 1 y el Gateway Dragino establecida con una altura de 10 metros.

Figura 42

Zona de Fresnel e Intensidad de señal-Nodo Sensor 1.



Fuente: Radio Mobile

De esta manera se ejecuta el cálculo de la zona de Fresnel en base a la distancia entre el nodo 1 y el Gateway.

$$r = 8.657 * \sqrt{\frac{0.118}{0.915}}$$

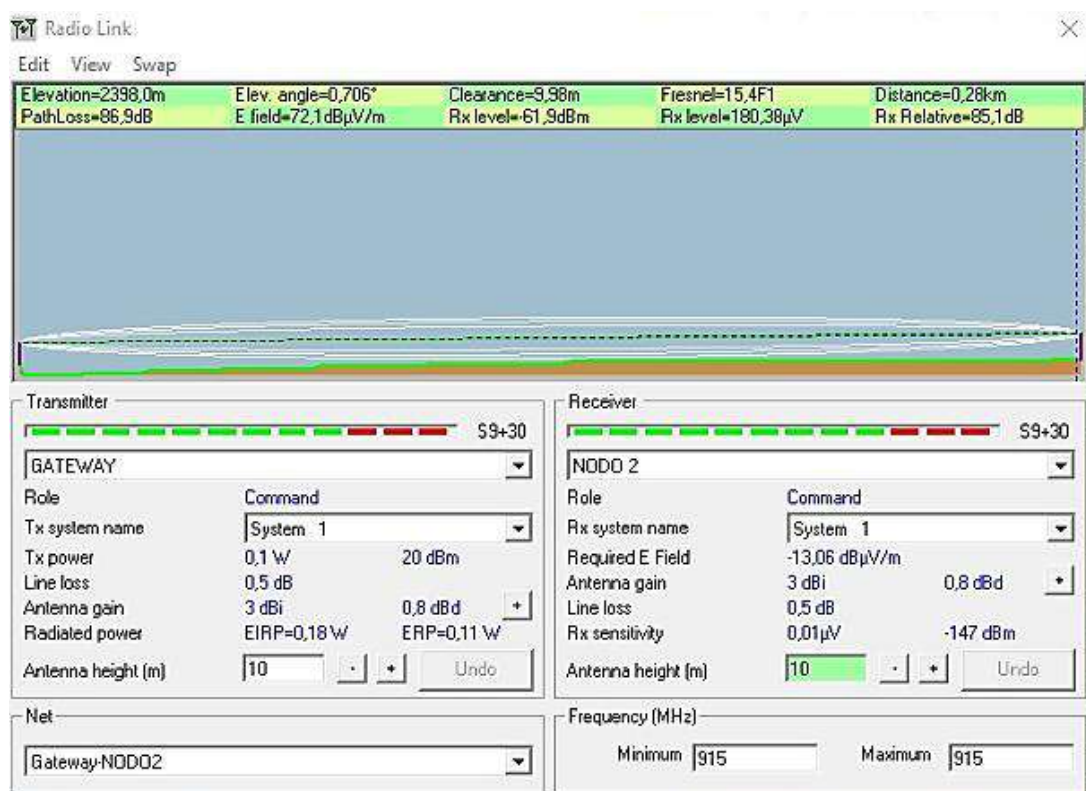
$$r = 3.101 \text{ metros}$$

3.5.2.2 Zona de Fresnel Nodo Sensor 2 y Gateway

En la Figura 43 se puede tomar en cuenta la línea de vista entre el nodo recolector 2 ubicado a 55 centímetros del suelo y la puerta de enlace o Gateway con una altura de 8 metros.

Figura 43

Zona de Fresnel e Intensidad de señal-Nodo Sensor 2.



Fuente: Radio Mobile

De igual forma se prosigue a realizar el cálculo de la zona de Fresnel en base a la distancia entre el nodo 2 y el Gateway.

$$r = 8.657 * \sqrt{\frac{0.513}{0.915}}$$

$$r = 6.48 \text{ metros}$$

3.5.3 Potencia radiada isotrópica efectiva (PIRE)

Es la potencia total radiada por una antena isotrópica en una dirección establecida, en donde cabe mencionar que las antenas isotrópicas emiten su intensidad de radiación en todas las direcciones del espacio. El cálculo de potencia radiada isotrópica efectiva (PIRE) se basa en organismos reguladores como el ISM la cual establece un valor nominal, el cual no deberá exceder a los valores de dichos organismos.

La fórmula para calcular el PIRE es:

$$PIRE = PotenciaTx + GananciaAnt - pérdida de cable \quad \text{Ecuación 7}$$

$$PIRE = 20 (dBm) + 10 (dBi) - 5(dBm)$$

$$PIRE = 25 (dBm)$$

3.5.4 Indicación de intensidad de señal recibida (RSSI)

Es un valor negativo que indica la intensidad recibida en base a la distancia entre un enlace o conexión de dos nodos, donde el valor más cercano a 0 es la señal más potente o fuerte y a su vez si se aleja del origen, la señal será más débil

$$Si RSSI = -120 dBm \rightarrow Señal Débil$$

$$Si RSSI = -30 dBm \rightarrow Señal Fuerte$$

3.5.4.1 Factor de Propagación y Sensibilidad con Relación al Receptor.

LoRaWAN dispone de diferentes valores de velocidades en función de la señal, con velocidades comprendidas entre 0.3 Kbps y 22 Kbps basado en el factor de expansión. La red LoRaWAN será la encargada de administrar la potencia de señal de transmisión para la escalabilidad y rendimiento, así como también su factor de ensanchamiento.

En la Tabla 20 se puede valorar la relación mediante el factor de propagación.

Tabla 20

Relación de Factor de Propagación.

<i>Sensibilidad(dBm)</i>	<i>Tasa de bits equivalente(kb/s)</i>	<i>Factor de Propagación</i>
137	0,293	12
134.5	0,537	11
132	0,976	10
129	1,757	9
126	3,125	8
123	5,468	7

De acuerdo a la tabla generada se puede tomar en cuenta que a mayor distancia tanto del punto emisor como el nodo receptor, el factor de propagación será mayor, y de esa forma disminuir la velocidad de transmisión, y una sensibilidad mucha más alta por parte del receptor.

3.5.5 Comparación de Resultados

Estos parámetros son obtenidos mediante cálculos matemáticos y simulación a través del software Radio Mobile; donde se realiza una comparación con cada uno de las medidas obtenidas y se identifica que la atenuación en el software Radio Mobile es mayor a los datos cálculos con un aproximado de 1.12[dB] en pérdidas.

Tabla 21*Comparación de resultados simulados y calculados*

Parámetros	Nodo Receptor – Nodo Central	
	Calculados	Radio Mobile
Distancia de Nodo	0,2451	0, 2441Km
Azimut	1,37°	1,42°
Atenuación	73.68	72.56
RSSI	-69.14	- 68.71

3.5.6 Puerta de Enlace o Gateway Dragino.

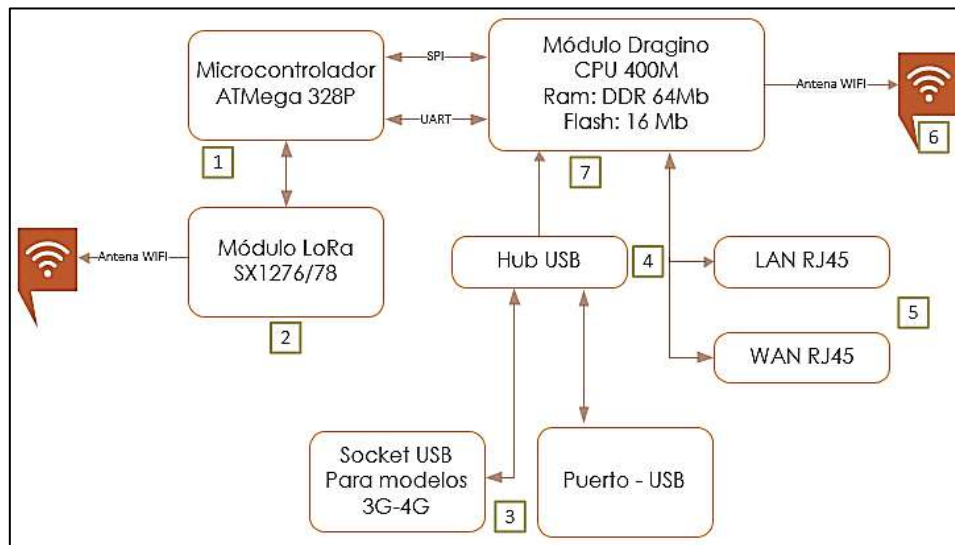
En la etapa de diseño del Gateway tanto para la recepción y visualización de los datos enviados por el nodo sensor para lo cual se debe tomar en cuenta unidades importantes que son: alimentación, procesamiento y visualización.

3.5.6.1 Fuente de Alimentación.

La unidad de alimentación está formada, por la energía que requiere el Gateway para un funcionamiento efectivo, apuntalado en los componentes que contiene el dispositivo. En la Figura 44, se puede analizar los diferentes componentes internos que posee la puerta de enlace.

Figura 44

Diagrama de Bloques de LoRa Gateway LG01-P

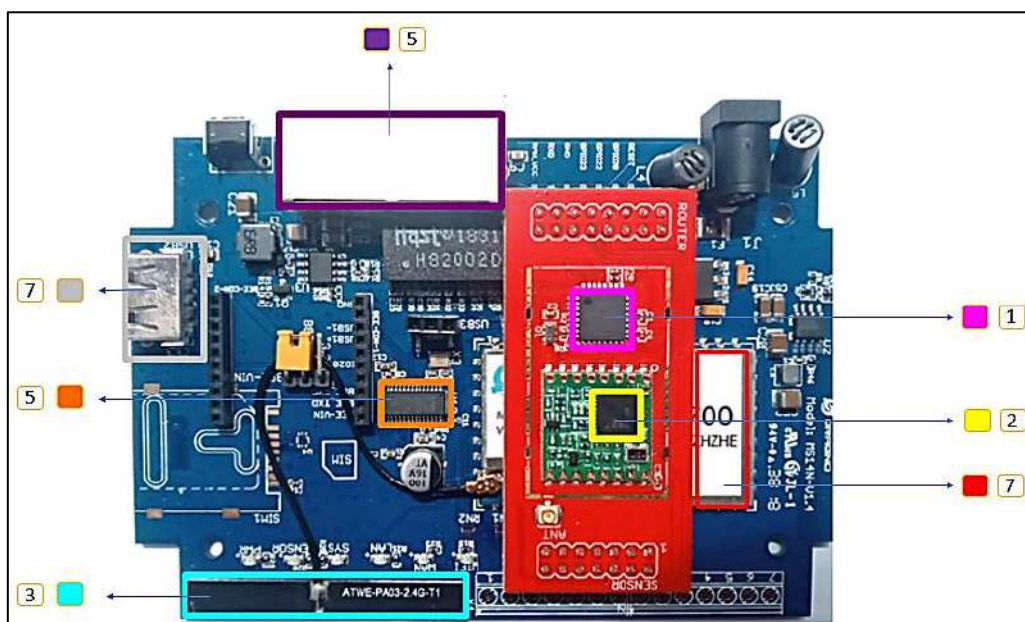


Fuente: Autoría

Así mismo se denotan los componentes reales de la puerta de enlace Dragino LG01-P tal como podemos observar en la Figura 45 y descritos en el diagrama de bloque anterior.

Figura 45

Componentes Físicos de LoRa Gateway LG01-P



Fuente: Autoría

Tabla 22

Consumo de energía de cada componente del Gateway Dragino

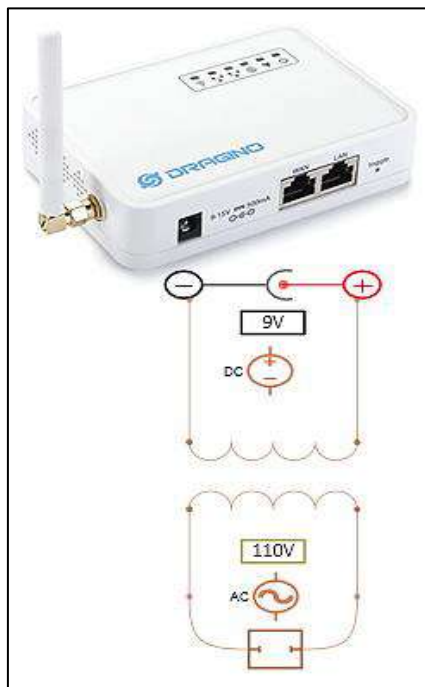
<i>Voltaje</i>	<i>Corriente</i>	<i>Componente</i>
1,8 V – 5V	30mA	Microcontrolador AT-Mega 328p
3,3 V – 5V	10.2mA (TX y RX)	Módulo LoRa Sx1276
3,3 V – 5V	500mA	Socket y USB
3,3 V – 5V	500mA	Hub USB
3,3 V – 5V	-	RJ45 LAN y WAN
3,3 V – 5V	300mA-500mA	Transceptor Antena WIFI
3,3 V – 5V		Módulo Dragino

Fuente: Autoría

La puerta de enlace Dragino, tendrá un abastecimiento de energía correspondido a suministrar un valor de 1 Amperio y una diferencia de potencial de 9 Voltios tal como se puede constatar en la Figura 46.

Figura 46

Alimentación al LoRa Gateway Dragino.



Fuente: Autoría

3.5.6.2 Procesamiento

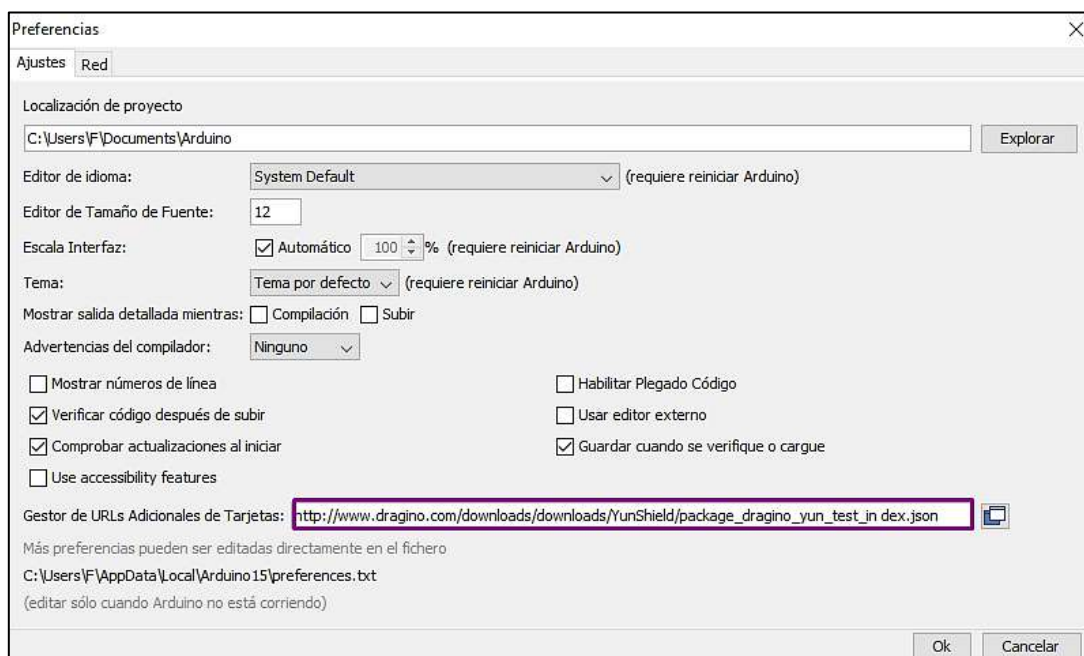
Se presenta la configuración que el dispositivo Dragino LG01-P, el cual contiene un microcontrolador denominado AT-mega 328p para ejecutar su funcionamiento eficaz, del mismo modo, se debe tener en cuenta las configuraciones requeridas deben ser compatibles con los nodos sensores de información de cada módulo LoRa.

Dragino usa plataformas de desarrollo que son compatibles con la tecnología LoRa, para lo cual se debe añadir librerías para su configuración y funcionamiento. En la Figura 47 se muestra la ventana de *preferencias* del IDE de Arduino el cual por motivos de compatibilidad se hace un llamado a los códigos fuente de LoRa en la plataforma de Dragino para añadir las extensiones al IDE.

http://www.dragino.com/downloads/downloads/YunShield/package_dragino_yun_test_index.json.

Figura 47

Parámetros de Preferencias de IDE Arduino



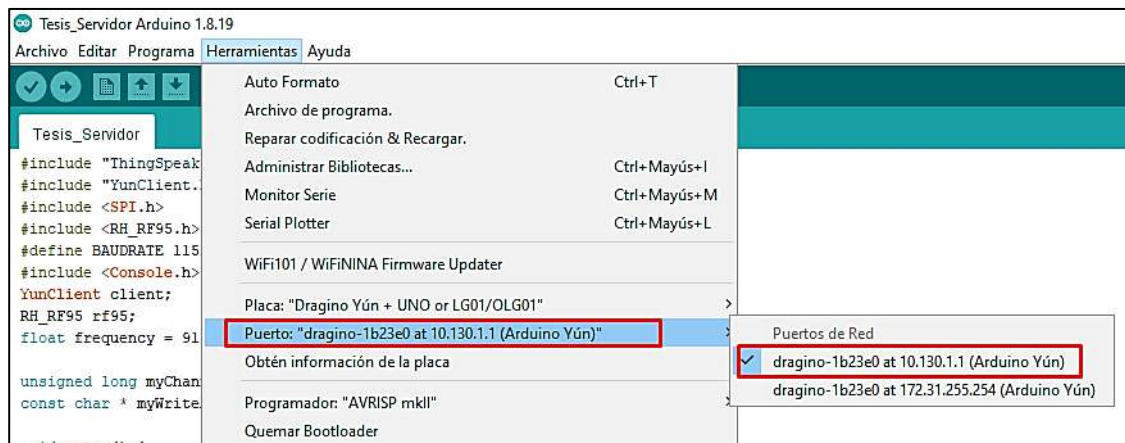
Fuente: Arduino

Para la conexión entre la PC y la puerta de enlace los dispositivos deben comunicarse mediante un cable de red, conectado al puerto LAN de Dragino LG01-P es por eso que al no ser un terminal serial, el IDE de Arduino debe tener instalado la librería de impresión bajo consola. En la Figura 54 se observa los dos tipos de puertos de comunicación los cuales se detalla a continuación:

- Puerto de comunicación de Red: dragino-1b23e0 att 100.130.1.1(Arduino Yun), encargado de permitir la comunicación directa a la puerta de enlace mediante comunicación bajo consola.
- Puerto de comunicación de Red: dragino-1b23e0 att 172.31.255.254(Arduino Yun), ip de respaldo para posibles fallos de comunicación en caso de no tener acceso al dispositivo.

Figura 48

Puerto de comunicación



Fuente: Arduino

3.5.6.3 Visualización

Mientras tanto en el bloque de Visualización se realiza el proceso mediante el Gateway y se lo presenta a través de una plataforma de Internet, para lo cual se realiza la siguiente configuración tal como se puede observar en la Figura 49

- Acceder a Internet a través de: Presenta las formas de conexión a Internet que contiene Dragino, La comunicación puede ser a través de:
 - ✓ Puerto WAN de Dragino (Predeterminado y más estable).
 - ✓ Vía WIFI.
 - ✓ Vía Puerto USB, mediante el uso de módems de comunicación móvil.
- Manera de obtener IP: Elige la forma en la que Dragino obtiene la dirección IP de la red a la que se conecta, es decir mediante DHCP o de forma estática.
- Dirección IP: Dirección IP en el rango de la red a la que el dispositivo se conecta.
- Mascara de Red: Indica el número de direcciones disponibles que establece la red a la que Dragino se conecta.
- Puerta de Enlace: Dirección IP que identifica a toda la red para salir a internet.
- Servidor DNS: Dirección IP del servidor DNS en caso de tenerlo (La establece el proveedor de Internet)

Figura 49

Parámetros de establecimiento de conexión a internet. de Dragino LoRa

The screenshot shows a web browser window with the URL `195.50.229.109/cgi-bin/luci/admin/network/network`. The page title is "Small Enterprise-Campus Network". Under the "Internet Access" section, the following configuration options are visible:

- Access Internet Via: WIFI Client
- SSID: WLANFV
- Encryption: WPA-WPA2
- Password: [Redacted]
- Way to Get IP: Static IP
- IP Address: 195.50.229.109
- Netmask: 255.255.0.0
- Gateway: 195.50.229.1
- DNS Server: DNS server domain or IP
- Display Net Connection: Domain or IP
- Continuously Check Net Connection

Fuente: <http://www.dragino.com>

ThingSpeak es una de las plataformas más usadas para la presentación de datos en redes de sensores inalámbricos como el DRAGINO LG01-P. Una vez establecida la comunicación de Internet, el dispositivo Dragino se debe tener librerías compatibles que le admiten tener comunicación con las plataformas en las que se desea presentar los datos de cada Nodo, las cuales se observan a continuación

Figura 50

Compatibilidad de Librerías entre Arduino y ThingSpeak.

```
Tesis_Servidor
#include "ThingSpeak.h" // Libreria thingspeak
#include "YunClient.h" //cliente thingspeak
```

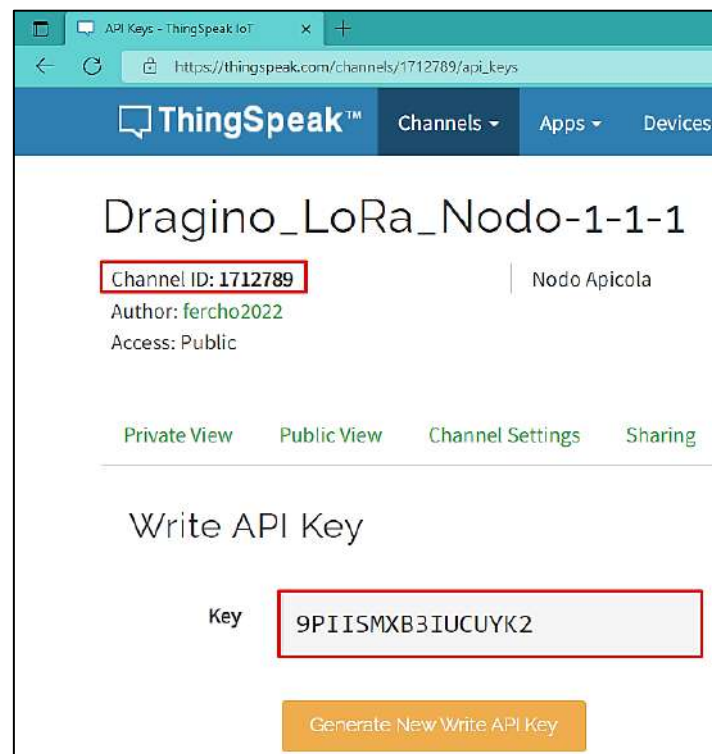
Fuente: Arduino

- **ThingSpeak.h:** Realiza la presentación de datos en la plataforma de ThingSpeak.
- **YunClient.h:** Ejecuta llamadas de otros fragmentos del código de Arduino que sean obligatoriamente clientes de Arduino Yun.

Para mostrar datos en la plataforma de ThingSpeak, se debe obtener el valor del canal y el valor de llave de escritura del canal, datos exhibidos en la Figura 51

Figura 51

Identificación y Llave de escritura de canal en ThingSpeak



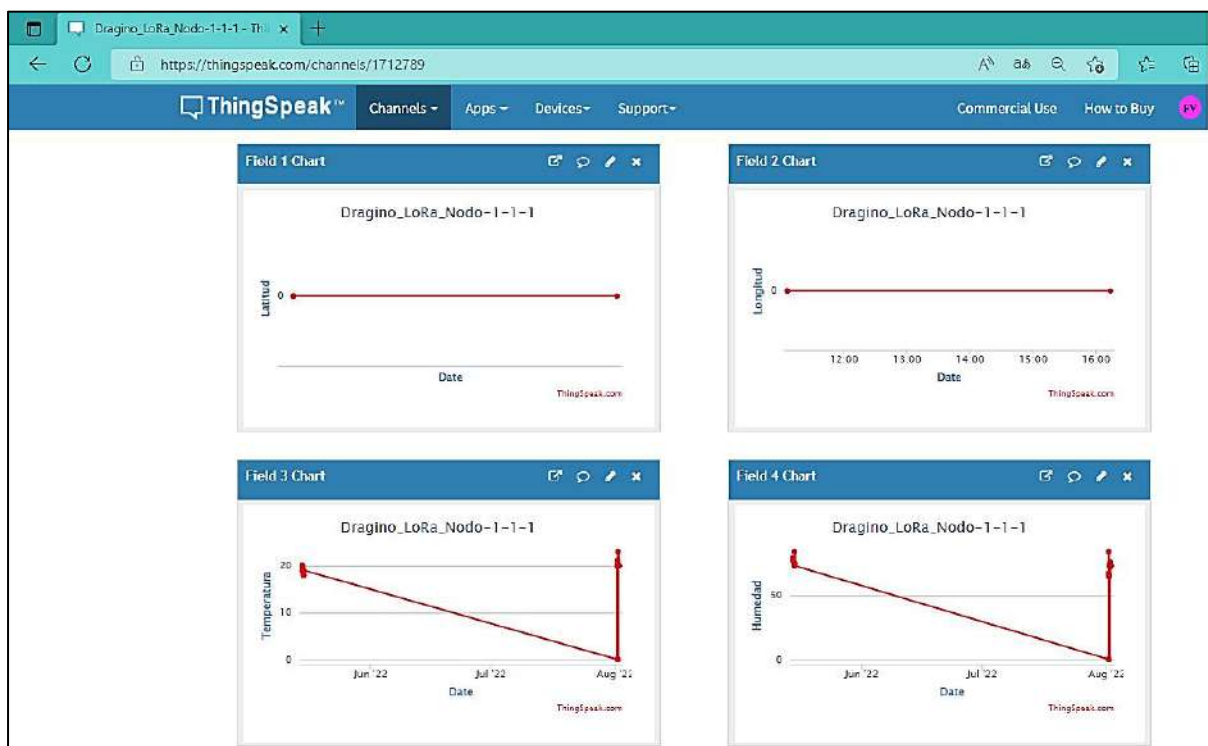
Fuente: <https://thingspeak.com/>

Una vez establecidas las variables de ThingSpeak donde se identifica el canal y la llave de escritura, en el cuerpo principal de Arduino se ejecuta la librería ThingSpeak, vinculada al cliente de Arduino Yun para su comunicación directa.

`ThingSpeak.begin(client)`, obteniendo como resultado los gráficos que se muestran la figura siguiente

Figura 52

Resultados presentados en la plataforma de ThingSpeak.



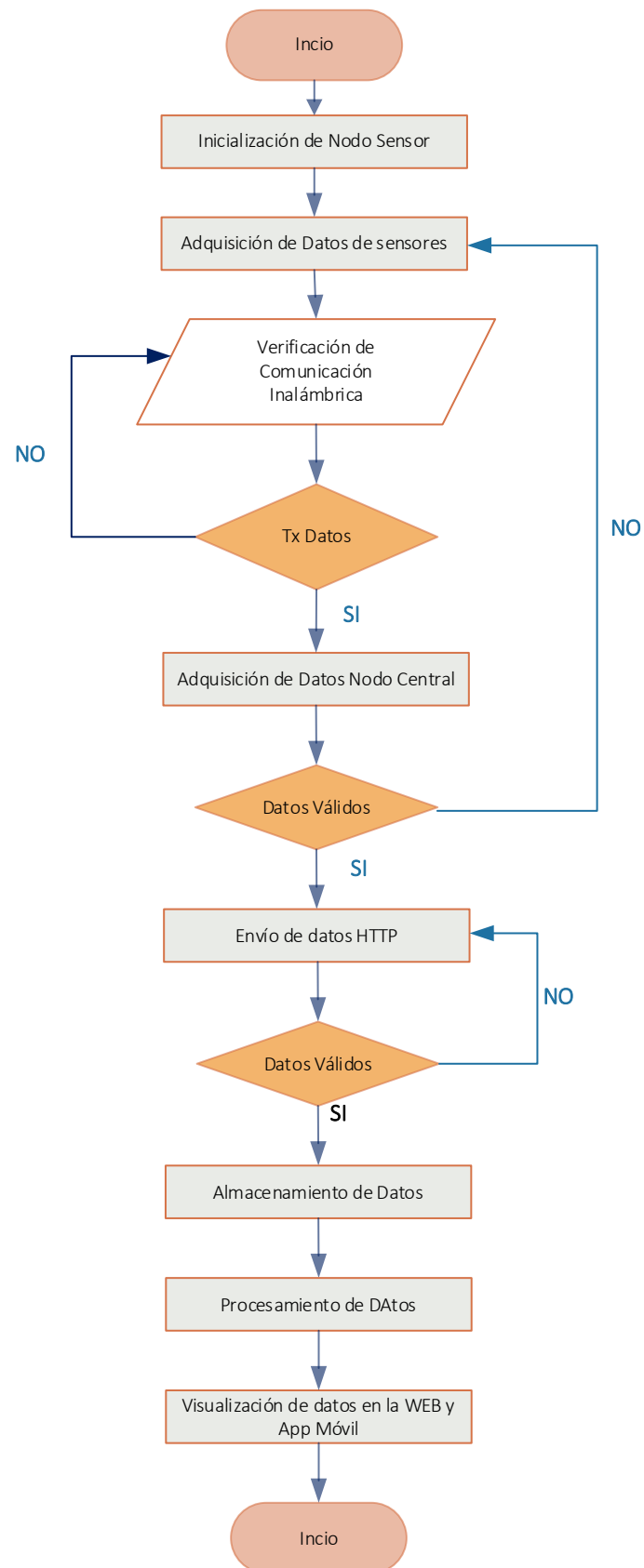
Fuente: <https://thingspeak.com/>

3.5.6.4 Diagrama de flujo del Sistema de Software

El diagrama de flujo del software cumple diferentes procesos establecidos para el almacenamiento y presentación de los datos recolectados por todo el hardware, en la Figura 49 se identifica cada uno de los procesos que cumple el software en su diseño.

Figura 53

Diagrama de flujo del diseño del software.



3.6 Creación y Levantamiento de Software

En este apartado se describe el proceso para la creación, configuración y administración de la cómo la estación base almacena los datos en FIREBASE y los presenta tanto en una página WEB y en una App Móvil en un servidor externo, cada nodo envía sus datos al Gateway los cuales se almacenan y se presentan en los siguientes apartados. Teniendo en cuenta que para todo este proceso se debe tener conexión a internet para la descarga y posterior instalación de los paquetes que sean necesarios.

Figura 54

Comando de Instalación de IONIC

```
npm install -g @ionic/cli
```

Una vez realizada la instalación del paquete Ionic/cli, ya que, es un esquema de trabajo el cual nos permitirá podrá ejecutar o realizar tanto en un entorno WEB como en aplicación Móvil, y para eso se procede a elaborar y editar el código en VISUAL STUDIO CODE, fuente desarrollada por Microsoft para Windows, Linux, macOS y Web. Incluye soporte para la depuración, control integrado de Git, resaltado de sintaxis, finalización inteligente de código, fragmentos y refactorización de código

Figura 55

Edición de Código en VISUAL STUDIO CODE

```

1 <ion-app>
2 <ion-split-pane contentId="main-content">
3 <ion-menu contentId="main-content" type="overlay">
4 <ion-content>
5 <ion-list id="inbox-list">
6 <ion-list-header>UTM-APICOLA. GRIJALVA</ion-list-header>
7 <ion-note>fxvalencia@utn.edu.ec</ion-note>
8
9 <ion-menu-toggle auto-hide="false" *ngFor="let p of appPages;
10 <ion-item routerDirection="root" [routerLink]="[p.url]" line
11 <ion-icon slot="start" [ios]="p.icon + '-outline'" [md]="p
12 <ion-label>{{ p.title }}</ion-label>
13 </ion-item>
14 </ion-menu-toggle>
15 </ion-list>
16
17 <ion-list id="labels-list">
18 <ion-list-header>Labels</ion-list-header>
19
20 <ion-item *ngFor="let label of labels" lines="none">
21 <ion-icon slot="start" ios="bookmark-outline" md="bookmark-s
22 <ion-label>{{ label }}</ion-label>
23 </ion-item>
24 </ion-list>
25 </ion-content>
26 </ion-menu>
27 <ion-router-outlet id="main-content"></ion-router-outlet>
28 </ion-split-pane>
29 </ion-app>

```

3.6.1 Creación de Base de Datos

En este apartado se describe el proceso de cómo instalar y crear una base de datos local; para lo cual antes de iniciar a crear la base de datos se debe descargar e instalar ciertos paquetes, por lo que es necesario que exista conexión a internet. Lo primero que se realiza es actualizar los repositorios, poniendo en la terminal los comandos que se muestran en la Figura 57

Figura 56

Comandos de Instalación de Firebase en IONIC

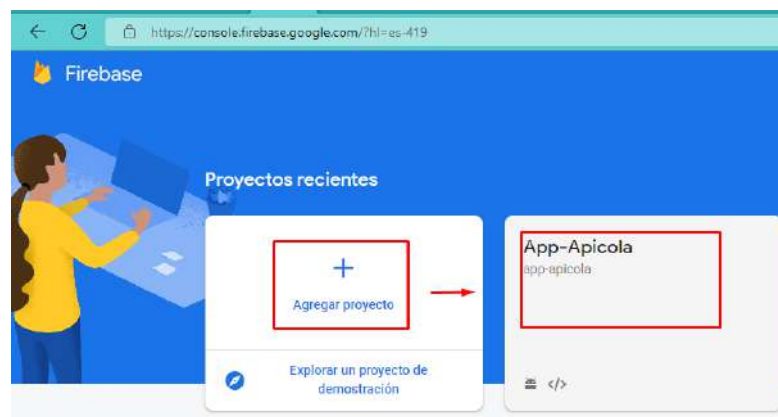
```
$ npm install cordova-plugin-firebase  
$ npm install @awesome-cordova-plugins/firebase  
$ ionic cap sync
```

En el proceso de la instalación nos pregunta qué tipo de servidor tenemos instalado, a lo que se procede a indicar que nuestro Servidor IONIC. Cuando nos pregunta si queremos configurar una base de datos se responde que sí y en este momento realiza el proceso de instalación de los paquetes mencionados.

Por otra parte, se procede a realizar la configuración y creación de la base de datos en Tiempo Real en la nube procedente de Google, como se muestra en el ANEXO B.

Figura 57

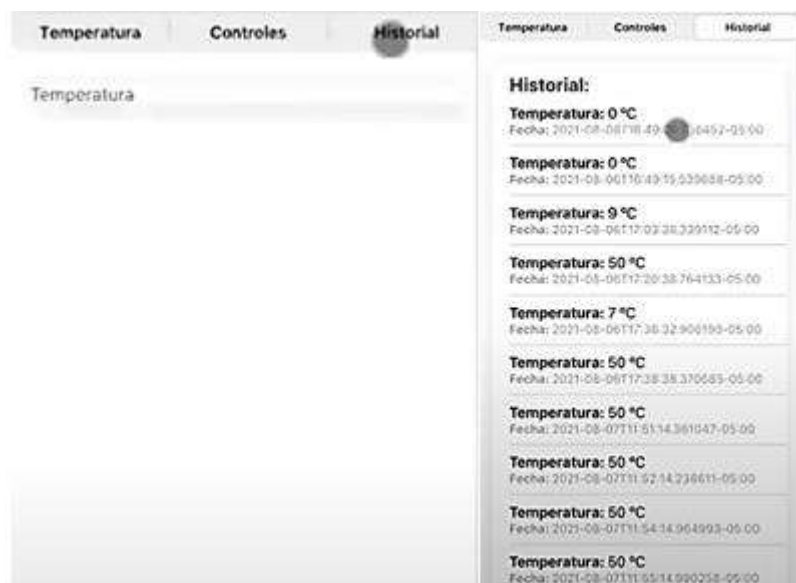
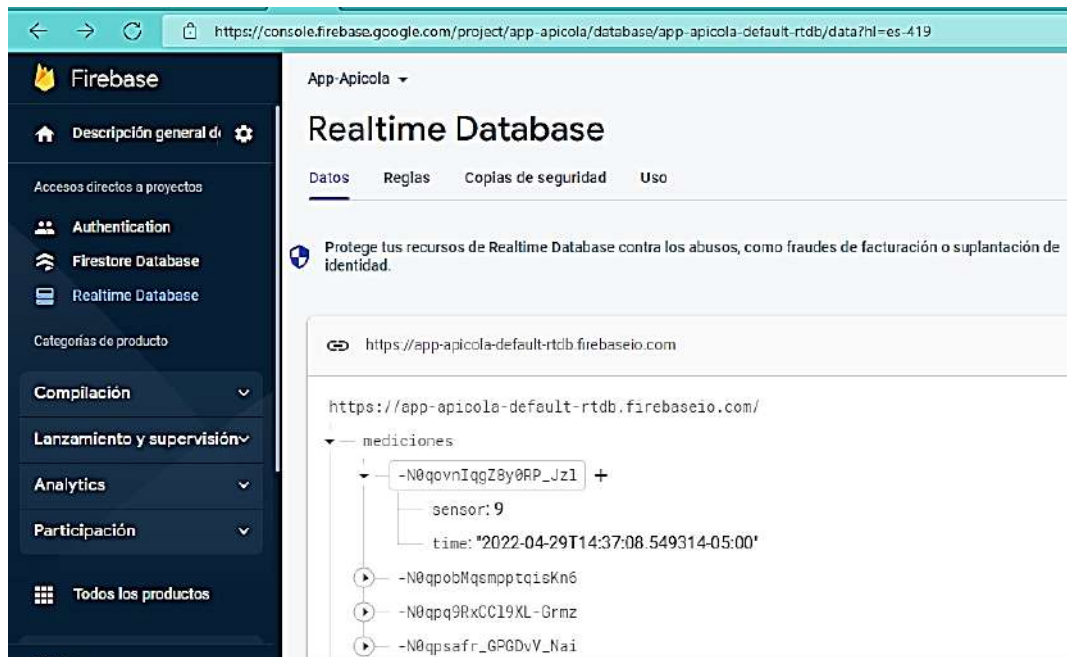
Creación de Base de Datos en la nube - FIREBASE



Ahora ya se puede tener acceso a una mejor gestión de base de datos en la nube y además de las mediciones tomadas de cada sensor como se observa en la 57, esto desde la cuenta creada en Google.

Figura 58

Medición de Sensores en FIREBASE



4. CAPITULO IV: IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS

En este capítulo se enfatiza la implementación y validación de datos que conforman el sistema electrónico. A su vez, se llegan a las conclusiones de las pruebas ya realizadas, sobre los resultados logrados por el sistema de monitoreo de una colmena de abejas; de la misma forma se lleva a cabo el cumplimiento de cada uno de los objetivos planteados en el proyecto de titulación, es así como se comprueba si esta investigación cumple satisfactoriamente con lo que se propuso.

4.1. Fase 3: Implementación y Validación de la Red.

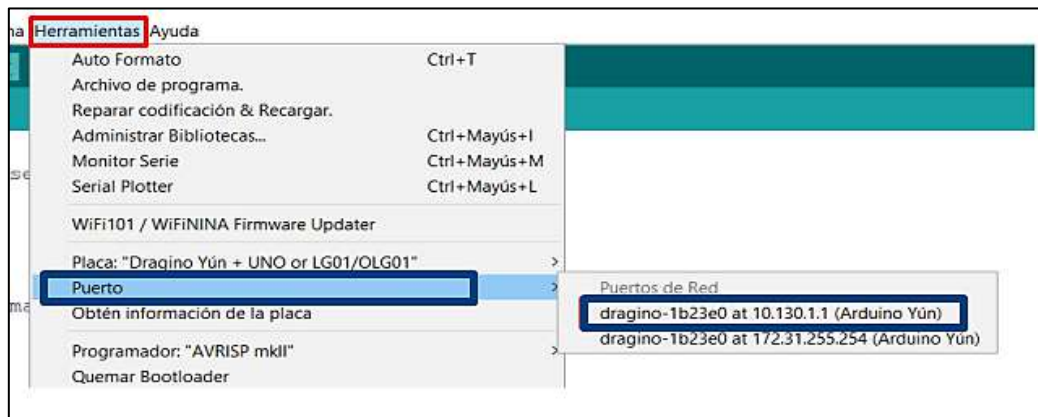
Una vez se concluye la fase del diseño se realiza la continuación de la siguiente fase de la metodología planteada, para lo cual se procede con las pruebas de implementación y validación particular de cada subsistema tanto del nodo sensor y Gateway; y así se confirma que cada componente se está desempeñando de acuerdo con los requerimientos funcionales y de diseño trazados.

4.1.1 Configuración de Módulo LoRa

En este ítem como primer paso importante, se realiza la configuración y reconocimiento del módulo LoRa a través de en la PC mediante el puerto COM designado; además se configura, el tipo de placa, el tamaño de la memoria, la frecuencia, la velocidad de subida y el puerto de comunicación

Figura 59

Selección del puerto de comunicación



Fuente: Autoría

4.1.2. Verificación de Adquisición de Datos

En este apartado se lleva a cabo la toma de datos que se alcanza por parte del Nodo Sensor, el cual está conectado al módulo LoRa SX1276, para lo cual es necesario resaltar que estos componentes son primordiales en este nodo. La verificación se realiza mediante el monitor serial de Arduino IDE; como consecuencia se puede visualizar los diferentes datos que se están adquiriendo como se muestra en la Figura 61.

Figura 60

Adquisición de Datos

The image shows the Arduino IDE interface with a C++ program in the editor and a serial monitor window. The program, named 'Cliente_DG', uses the TinyGPS library to read GPS coordinates and a DHT sensor for temperature and humidity. The serial monitor, connected to COM6, shows the output of the program. The first three lines of data are highlighted with a red box and numbered 1, 2, and 3 with blue arrows. The data points are: 0.359246 (longitude), -78.124137 (latitude), 19.00 (temperature), and 68.00 (humidity). The program then sends this data to a LoRa server, but no reply is received.

```

Archivo  Editar  Programa  Herramientas  Ayuda
-----
Cliente_DG
55  gps.f_get_position(&flat, &flon, &age);
56
57  Serial.println(flat == TinyGPS::GPS_INVALID_POSITION);
58  Serial.println(flon == TinyGPS::GPS_INVALID_POSITION);
59  /////
60  ///T y H//
61  sensors_event_t event;
62  dht.temperature().getEvent(&event);
63  Serial.println(event.temperature);
64  dht.humidity().getEvent(&event);
65  Serial.println(event.relative_humidity);
66  ///
67  Serial.println("Sending to LoRa Server");
68  uint8_t data[50] = {0};
69  data[0] = 1 ;
70  data[1] = 1 ;
71  data[2] = 1 ;
72  data[3] = (flat == TinyGPS::GPS_INVALID_POSITION);
73  data[4] = (flon == TinyGPS::GPS_INVALID_POSITION);
74  data[5] = (event.temperature);
75  data[6] = (event.relative_humidity);
76  xrf95.send(data, sizeof(data));
77
-----
COM6
Start LoRa Client
0.359246
-78.124137
19.00
68.00
Sending to LoRa Server
No reply, is LoRa server running?
0.359255
-78.124114
19.00
69.00
Sending to LoRa Server
Autoscroll  [x]  Mostrar marca temporal

```

Fuente: Autoría

Como se puede evidenciar esta prueba se ha realizado correctamente mediante una lectura del nodo sensor conectado y obteniendo diferentes datos los cuales representan a la posición, temperatura y humedad respectivamente; es así como se envía datos iniciales los cuales están ingresando.

A continuación, se detalla la programación de Arduino IDE y por consiguiente se obtiene estos resultados.

- Primero se hizo un llamado a las librerías necesarias.

```
#include <SoftwareSerial.h>           // Librería serial para GPS
#include <TinyGPS.h>                  // Librería GPS
#include <Adafruit_Sensor.h>         // Librería Sensor T y H
#include <Separador.h>                // Librería separador por comas
#include <DHT_U.h>                    // Librería Sensor T y H
#include "ThingSpeak.h"              // Librería ThingSpeak
#include "YunClient.h"                // Cliente ThingSpeak
#include "HX711.h"                    // Librería Sensor de Peso
```

- Luego entonces se procede a realizar la declaración de variables

```
#define DHTPIN 5                      // Pin sensor T y H
#define DHTTYPE DHT11                 // Librería Sensor T y H
#define frequency = 915.0;           // Frecuencia de modulo LoRa
```

- Comenzaremos a la ejecución de los sensores de **temperatura y humedad relativa**;

para lo cual se creó una variable DTH y se realizó la inicialización del mismo.

```
dht.begin();                          //Inicializa modulo T y H
dht.temperature().getSensor(&sensor); //Inicializa temperatura
dht.humidity().getSensor(&sensor);    //Inicializa humedad
```

- Para realizar las lecturas correspondientes del sensor especificado anteriormente se utilizan las siguientes funciones.

```
sensors_event_t event;
dht.temperature().getEvent(&event);   //Valor de temperatura
Serial.println(event.temperature);    //Imprime temperatura
double temperatura = (event.temperature); //Valor a enviar por LoRa T
dht.humidity().getEvent(&event);      //Valor de humedad
Serial.println(event.relative_humidity); //Imprime humedad
double humedad = (event.relative_humidity); //Valor a enviar por LoRa H
```

Figura 61

Datos de Temperatura y Humedad Relativa

```

Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
DHT11 COM4
// Incluimos librería
#include <DHT.h>

// Definimos el pin digital
#define DHTPIN 5
// Dependiendo del tipo
#define DHTTYPE DHT11

// Inicializamos el sensor
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

void setup() {
  // Inicializamos comunicación
  Serial.begin(9600);

  // Comenzamos el sensor
  dht.begin();
}

void loop() {
  // Esperamos 5 segundos
  delay(5000);
}
Humedad: 70.00 % Temperatura: 21.00 °C 69.80 °F Índice de calor: 20.98 °C 69.77 °F
Humedad: 70.00 % Temperatura: 21.00 °C 69.80 °F Índice de calor: 20.98 °C 69.77 °F
Humedad: 70.00 % Temperatura: 21.00 °C 69.80 °F Índice de calor: 20.98 °C 69.77 °F
Humedad: 69.00 % Temperatura: 21.00 °C 69.80 °F Índice de calor: 20.96 °C 69.72 °F
Humedad: 69.00 % Temperatura: 21.00 °C 69.80 °F Índice de calor: 20.96 °C 69.72 °F
Humedad: 70.00 % Temperatura: 21.00 °C 69.80 °F Índice de calor: 20.98 °C 69.77 °F
Humedad: 69.00 % Temperatura: 21.00 °C 69.80 °F Índice de calor: 20.96 °C 69.72 °F
Humedad: 69.00 % Temperatura: 21.00 °C 69.80 °F Índice de calor: 20.96 °C 69.72 °F
Humedad: 68.00 % Temperatura: 21.00 °C 69.80 °F Índice de calor: 20.93 °C 69.68 °F
Humedad: 95.00 % Temperatura: 23.00 °C 73.40 °F Índice de calor: 23.84 °C 74.90 °F
Humedad: 94.00 % Temperatura: 25.00 °C 77.00 °F Índice de calor: 26.01 °C 78.82 °F
Humedad: 93.00 % Temperatura: 27.00 °C 80.60 °F Índice de calor: 31.62 °C 88.92 °F
Humedad: 93.00 % Temperatura: 28.00 °C 82.40 °F Índice de calor: 34.69 °C 94.45 °F
 Autoscroll  Mostrar marca temporal Sin ajuste de línea 9600 baudios Limpiar salida
  
```

Fuente: Autoría

- Posteriormente efectuamos la programación del **sensor de *Peso***, y empezaremos declarando las variables correspondientes de datos y reloj

```

const int DOUT=A1;
const int CLK=A0; // Pines de Datos y de Reloj
  
```

- A continuación, se procederá a la calibración del módulo HX711 con su respectiva celda de carga

```

Serial.begin(9600);
balanza.begin(DOUT, CLK);
Serial.print("Lectura del valor del ADC: ");
Serial.println(balanza.read());
Serial.println("No ponga ningún objeto sobre la balanza");
balanza.set_scale(439430.25) // Establecimiento de escala
  
```

- Finalmente obtenemos la información y el resultado en Kg

```

Serial.print(balanza.get_units(20), 3);
Serial.println("kg");
delay(500);
  
```

Figura 62

Datos de Sensor de Peso HX711

The screenshot shows an IDE window with a sketch named 'sketch_apr12b \$' and a serial monitor window for 'COM6'. The sketch code includes a calibration routine and a loop that prints weight readings and calibration factors. The serial output shows the calibration process, including instructions for the user and the resulting zero factor and calibration factor.

```

23 long zero_factor = sca
24 Serial.print("Zero fac
25 Serial.println(zero_fa
26 }
27
28 void loop() {
29
30 scale.set_scale(calibr
31 Serial.print("Reading:
32 Serial.print(scale.get
33 Serial.print(" lbs");
34 Serial.print(" calibre
35 Serial.print(calibrati
36 Serial.println();
37
38 if(Serial.available())
39 {
40 char temp = Serial.r
41 if(temp == '+' || te
42 calibration_factor

```

Serial Monitor Output:

```

HX711 calibration sketch
Remove all weight from scale
After readings begin, place known weight on scale
Press + or a to increase calibration factor
Press - or z to decrease calibration factor
Zero factor: 2186
Reading: 0.3 lbs calibration_factor: -7050.00
Reading: 0.3 lbs calibration_factor: -7050.00
Reading: 0.4 lbs calibration_factor: -7050.00
Reading: 0.4 lbs calibration_factor: -7050.00
Reading: 0.4 lbs calibration_factor: -7050.00
Reading: 0.4 lbs calibration_factor: -7050.00
Reading: 0.4 lbs calibration_factor: -7050.00
Reading: 0.4 lbs calibration_factor: -7050.00
Reading: 0.4 lbs calibration_factor: -7050.00
Reading: 0.4 lbs c

```

Fuente: Autoría

- Por último, realizaremos la configuración del **sensor de posición**, para lo cual se ha tomado en cuenta el módulo GPS NEO-6M y empezamos por realizar la comunicación serial emulado en 9600 baudios

```
ss.begin(9600); //Comunicación serial GPS
```

- Declaramos un tipo de dato lógico booleano lo cual representa verdadero o falso.

```
bool newData = false; // Declaración de Variables
```

- Obtiene valores de Latitud y Longitud

```
gps.f_get_position(&flat, &flon, &age);
double latitud = (flat == TinyGPS::GPS_INVALID_F_ANGLE ? 0.0 : flat);
// Obtiene latitud
double longitud = (flon == TinyGPS::GPS_INVALID_F_ANGLE ? 0.0 : flon);
//Obtiene longitud
```

- Convierte cada uno de los valores obtenidos a un String

```
String a = String (latitud, 6); //Convierte a String latitud
String b = String (longitud, 6); //Convierte a String longitud
```

- Finalmente, envía los valores tanto de Latitud y Longitud

```

data[3] = entlat ;           //Envía valor GPS latitud
data[4] = uno;              //Envía valor GPS latitud
data[5] = dos;              //Envía valor GPS latitud
data[6] = tres;            //Envía valor GPS latitud
data[7] = cuatro;          //Envía valor GPS latitud
data[8] = cinco;           //Envía valor GPS latitud
data[9] = seis;            //Envía valor GPS latitud

data[10] = entlong;         //Envía valor GPS longitud
data[11] = siete;          //Envía valor GPS longitud
data[12] = ocho;           //Envía valor GPS longitud
data[13] = nueve;          //Envía valor GPS longitud
data[14] = diez;           //Envía valor GPS longitud
data[15] = once;           //Envía valor GPS longitud
data[16] = doce;           //Envía valor GPS longitud

```

Figura 63

Datos Latitud y Longitud - GPS

```

Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
sketch_apr19a$
34 while (SS.available()){
35   char c = SS.read();
36   // Serial.write(c); // uncomment this line to see the raw data
37   if (gps.encode(c) // Did a new valid fix arrive?
38       newData = true;
39 }
40 }
41 float flat, flon;
42 unsigned long age;
43 gps.f_get_position(&flat, &flon, &age);
44
45 Serial.println(flat == TinyGPS::GPS_INVALID_FLOORING);
46 Serial.println(flon == TinyGPS::GPS_INVALID_FLOORING);
47 //
48 Serial.println("Sending to LoRa Server");
49 uint8_t data[50] = {0};
50 data[0] = 1 ;
51 data[1] = 1 ;

```

```

COM6
-78.123970
Sending to LoRa Server
No reply, is LoRa server running?
0.359242
-78.123939
Sending to LoRa Server
No reply, is LoRa server running?
0.359231
-78.123924
Sending to LoRa Server
No reply, is LoRa server running?
0.359234
-78.123916
Sending to LoRa Server
No reply, is LoRa server running?

```

Fuente: Autoría

4.1.3 Verificación de Conectividad entre los Nodos

En este apartado se basa en una prueba para comprobar que los dos nodos tengan comunicación entre ellos, tanto el *Nodo Sensor* como en *Gateway* o puerta de enlace. Para lo cual primeramente se comprobará que el Nodo Sensor está obteniendo una dirección IP por parte de la red del Nodo Central y posteriormente realizar un ping para comprobar que existe comunicación entre los dos Nodos.

En primer lugar, en Arduino IDE se incluyó la librería de comunicación inalámbrica y se configuro las directrices para que el Nodo Sensor pueda conectarse a la red como se muestra a continuación.

- Una vez realizada la configuración de cada uno de los sensores se prosigue con la configuración de la confirmación de *comunicación LoRa*

```

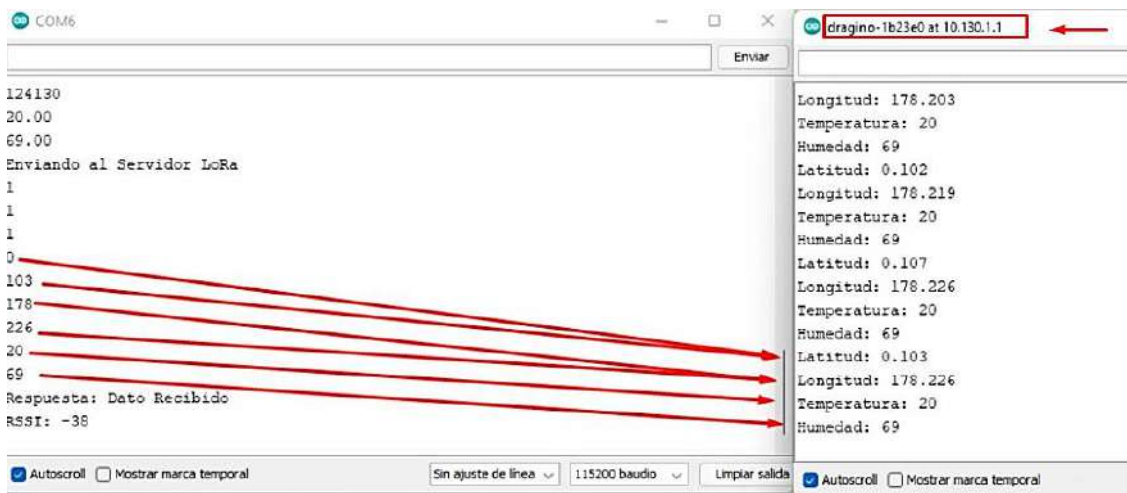
if (rf95.waitForAvailable(3000)) { //Abre la Comunicación
if (rf95.recv(buf, &len)) {
Serial.print("Respuesta: ");
Serial.println((char*)buf); //Imprime la respuesta
Serial.print("RSSI: "); //RSSI de la señal
Serial.println(rf95.lastRssi(), DEC);
}
else {
Serial.println("Recepción fallida");
} }
else {
Serial.println("No hay respuesta, el servidor LoRa este encendido?");
}
delay(5000); // Tiempo de espera
}

```

A continuación, se verifica la dirección IP, esto mediante el monitor serial de Arduino IDE que se obtiene del nodo recolector como se observa en la Figura 63

Figura 64

Obtención de Dirección IP y datos recibidos



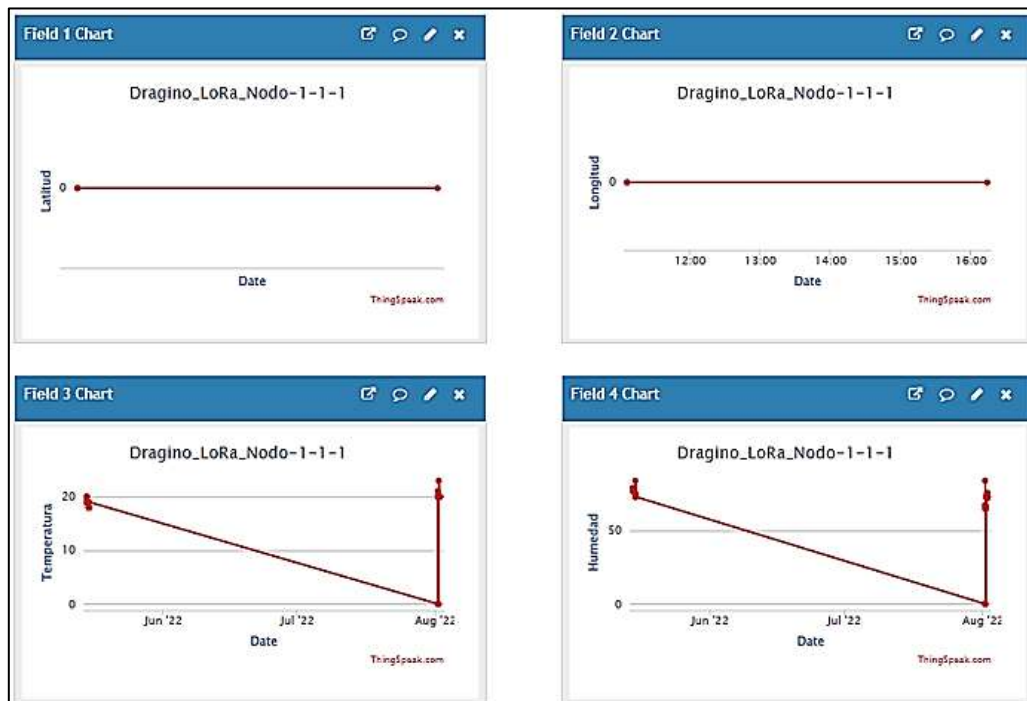
Fuente: Autoría

Como se ha evidenciado en la Figura 65 el Nodo Recolector está conectado a la Red y se le asigno la IP 10.130.1.1.

Ahora para comprobar desde el Nodo Central que el Nodo Sensor está conectado a la red se procede a abrir la interfaz de ThingSpeak y se observa los dispositivos GPS, temperatura, humedad conectados como se muestra en la Figura 66

Figura 65

Visualización de datos Conectados a la Red

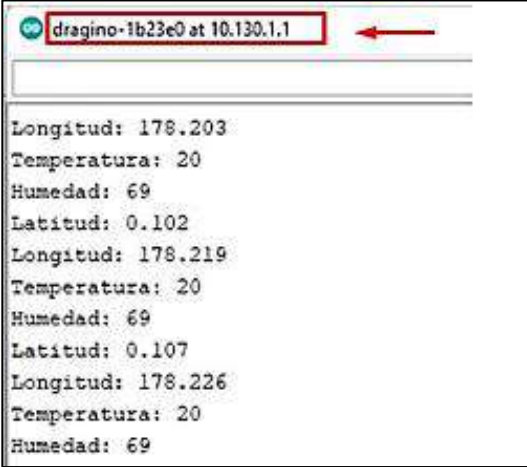


Fuente: Autoría

Para realizar la finalización de la prueba de verificación de conectividad entre nodos se realiza un ping desde el Nodo Central hacia el Nodo Sensor el cual tiene la IP 10.130.1.1 como se observa en la Figura 67

Figura 66

Comunicarse los nodos



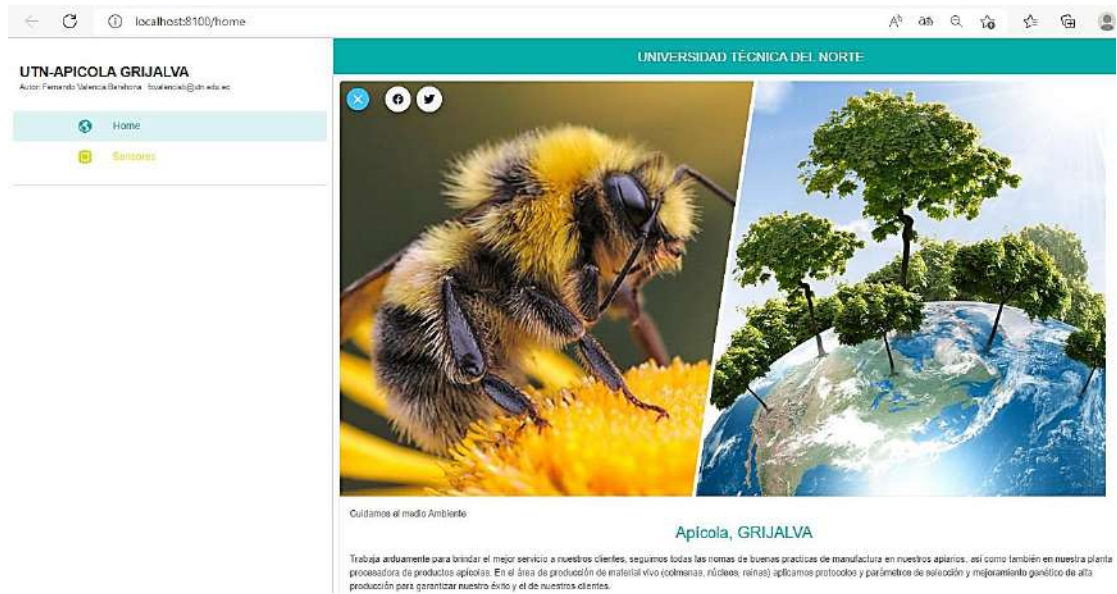
```
dragino-1b23e0 at 10.130.1.1  
Longitud: 178.203  
Temperatura: 20  
Humedad: 69  
Latitud: 0.102  
Longitud: 178.219  
Temperatura: 20  
Humedad: 69  
Latitud: 0.107  
Longitud: 178.226  
Temperatura: 20  
Humedad: 69
```

Fuente: Autoría

4.1.4 Verificación de Almacenamiento y Visualización de Datos

Para verificar que el Nodo Central tiene la capacidad de almacenar la información que, de cada sensor, tanto de peso, humedad, temperatura y GPS, debemos conectarnos con la base de datos local que fue creada.

Donde antes que nada ingresamos a nuestro servidor web y aplicación móvil, el cual posee una interfaz que permite Visualizar los registros de los sensores ya evaluados como se puede observar en la Figura 68.

Figura 67*Interfaz de la Página Web*

Fuente: Autoría

Figura 68

Interfaz de la App Móvil



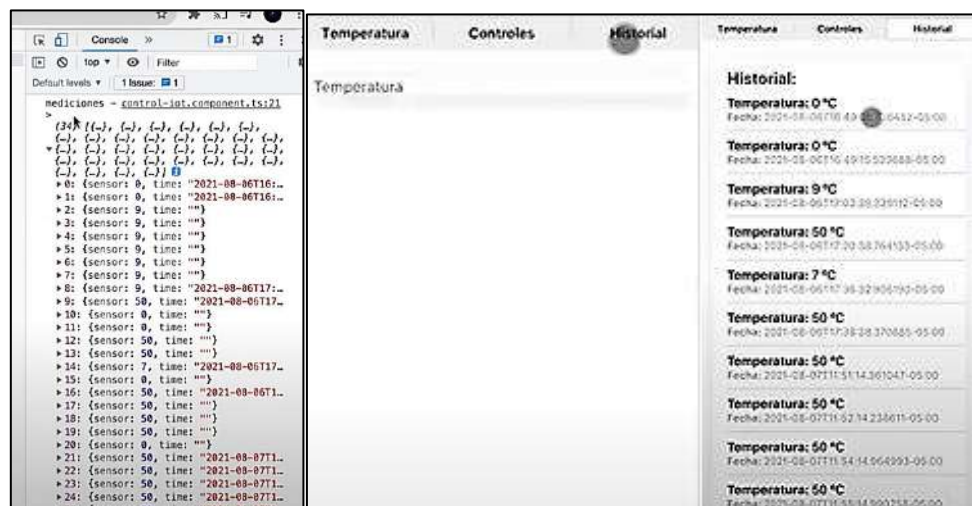
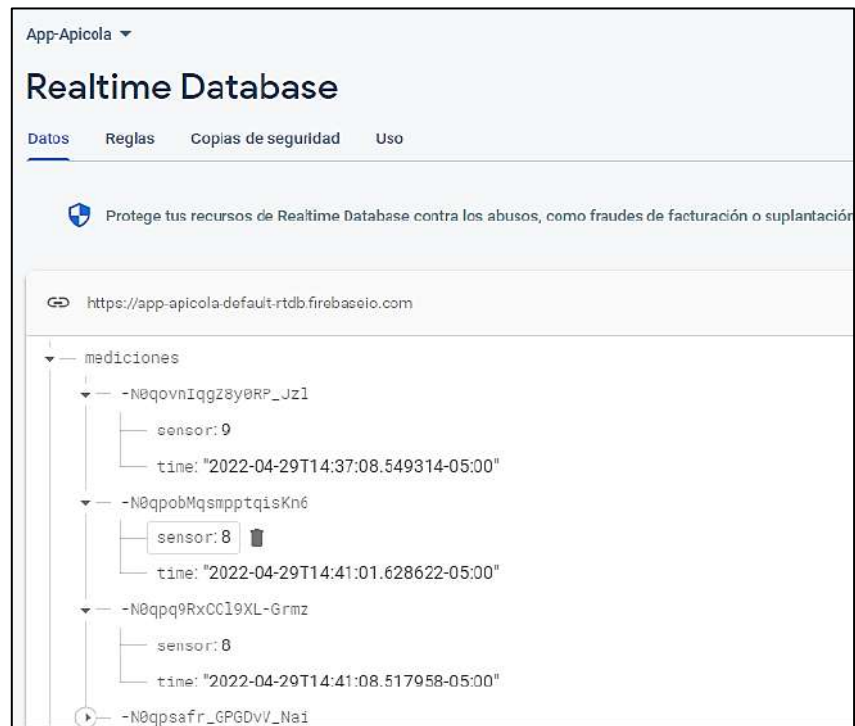
Fuente: Autoría

La interfaz de la página web y la aplicación móvil se ha desarrollado para desempeñar los requerimientos del administrador del sistema, en este caso el dueño de la Apícola. Por otro lado, esta página se desarrolló en Ionic y su código puede verse en el ANEXO C.

En relación con lo anteriormente expuesto vamos a ingresar a nuestra base de datos local de nuestro nodo central esto mediante la dirección; donde se visualiza que a la información recolectada se está almacenando de forma correcta como se observa en la Figura 70

Figura 69

Visualización de Información de la Página



Fuente: Autoría

4.2 Fase 4: Validación del Sistema

Una vez finalizada la fase de implementación y validación de subsistemas por separado se procede con la fase de validación del sistema; por lo tanto, se evidencia la utilización de

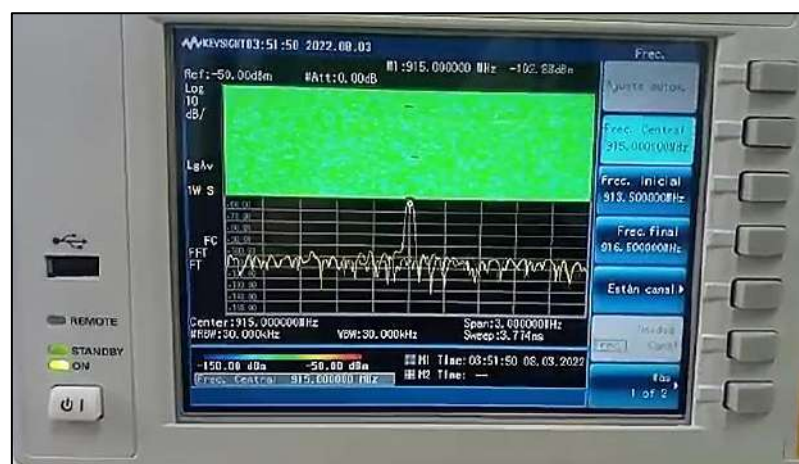
tecnología LoRa con su rango de frecuencia 915MHz a través del analizador de espectros y se realiza las pruebas en el de los datos recolectados en la Apícola. En donde las pruebas se realizaron con éxito en el tiempo establecido.

4.2.1 Prueba de comunicación Inalámbrica

En este apartado se debe manipular un analizador de espectro el cual se evidencia la frecuencia en la que están operando los módulos LoRa SX1276, tal como se muestra en la Figura 70, em donde se puede constatar la frecuencia en la que encuentra trabajando el módulo que es 915 MHz.

Figura 70

Frecuencia LoRa.

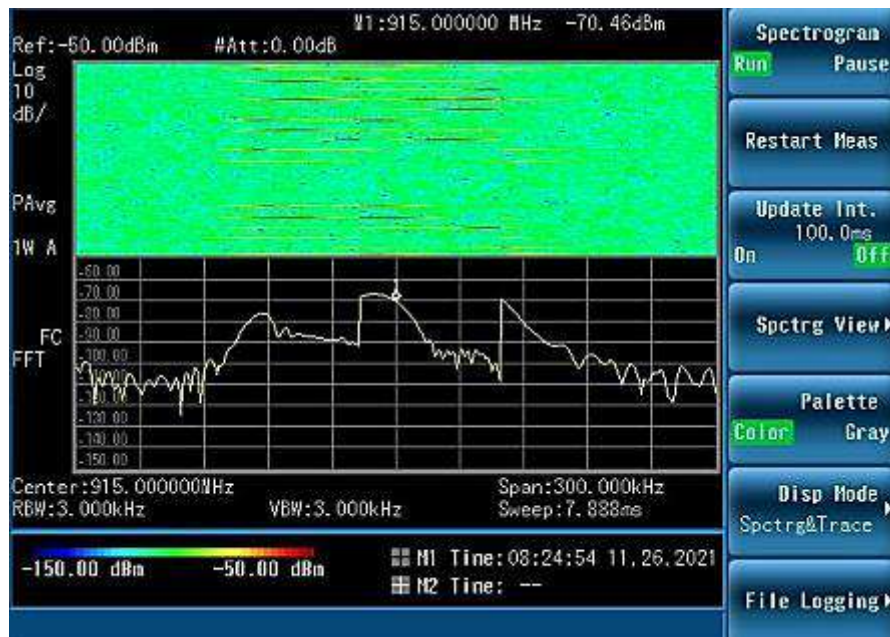


Fuente: Autoría

En la figura a continuación presentada se indica el muestreo del espectro en donde se visualiza dentro del recuadro verde, la potencia de la señal. Como se observa, ésta se desplaza y brinca dentro de la zona limitada por el ancho de banda

Figura 71 .

Muestreo espectro LoRa.



Fuente: Autoría

4.2.2 Prueba de Adquisición de Datos de las colmenas

En este apartado se comprueba la funcionalidad del sistema, ejecutando la adquisición de datos de la colmena registrada, como se puede observar en la Figura 73. Las mediciones son obtenidas presencialmente en la Apícola

Figura 72*Pruebas de medición a las colmenas*

Fuente: Autoría

4.2.2.1 Valores de Peso, Humedad, Temperatura Registrados por el Sistema

En la Tabla 22, se puede observar los datos que fueron adquiridos en una colmena que se encuentra en la Apícola Grijalva. Con respecto a esta información hay que señalar que se consiguió tomar mediciones de las variables de interés a través de sensores ubicados en el interior y exterior de la colmena.

Es importante dejar en claro que las pruebas se realizaron por el lapso de 10 días, siendo tomadas en el intervalo de un minuto; para lo cual, se ha obtenido alrededor de 14415 datos.

Tabla 23*Datos Adquiridos de la Base de Datos del Sistema*

Adquisición de Datos				
Hora	Peso	Humedad	Temp. Externa	Temp Interna
11:43:00	5,4445	46,80	24,20	34,50
11:44:00	5,4513	45,20	24,60	34,50
11:45:00	5,447	44,80	24,60	34,50
11:46:00	5,4475	44,80	24,60	34,50
11:47:00	5,4485	44,10	24,60	34,50
11:48:00	5,447	44,30	24,50	34,50
11:49:00	5,4465	44,70	24,80	34,50
11:50:00	5,4459	45,70	25,10	34,50
11:51:00	5,4447	43,10	24,80	34,50
11:52:00	5,4446	43,40	24,30	34,50
11:53:00	5,4425	44,30	24,30	34,50
11:54:00	5,4418	45,70	24,40	34,00
11:55:00	5,4427	44,40	24,40	34,00
11:56:00	5,4385	44,70	24,40	34,00
11:57:00	5,4399	44,40	24,20	34,00
11:58:00	5,4388	44,40	24,10	34,00
11:59:00	5,4431	44,00	24,10	34,00
12:00:00	5,4379	45,40	24,30	34,00
12:01:00	5,4385	44,20	24,10	34,00
12:02:00	5,4386	44,10	24,30	34,00
12:03:00	5,4405	44,60	24,20	34,00
12:04:00	5,439	45,80	24,40	34,00
12:05:00	5,4376	44,60	24,40	34,00
12:06:00	5,4399	45,70	25,00	34,00
12:07:00	5,4416	43,20	25,20	34,00
12:08:00	5,4408	43,20	25,20	34,00
12:09:00	5,4434	43,50	25,00	34,00
12:10:00	5,4407	43,00	24,80	34,00
12:11:00	5,4398	44,20	24,80	34,00
12:12:00	5,4385	43,00	25,10	34,00
12:13:00	5,4395	43,20	25,10	34,00
12:14:00	5,4373	43,30	25,10	34,00
12:15:00	5,4381	43,30	24,90	34,00
12:16:00	5,4374	43,20	24,90	34,00
12:17:00	5,4407	43,40	25,20	34,00
12:18:00	5,4379	43,70	25,50	34,00
12:19:00	5,4496	42,80	25,40	34,00
12:20:00	5,4434	42,00	25,20	34,00

Fuente: Autoría

4.2.3 Estimación de Datos de producción de la colmena

Para realizar el análisis de los datos recolectados de las colmenas, se utiliza el modelo de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO), el cual permite estimar la producción de miel y reproducción de las abejas en la colmena, en función de 3 factores (variables independientes o explicativas), tales como: la Humedad Relativa externa, Temperatura Externa y Temperatura Interna que se relacionan con el peso total de la colmena¹ (variable dependiente o explicada). El modelo a explicar esta representado por la siguiente ecuación.

$$\omega = \beta_0 + \beta_1 \ln(H) + \beta_2 \ln(Text) + \beta_3 \ln(Tin) \quad \text{Ecuación 8}$$

Siendo,

$\omega =$ *Peso de la colmena*

$H =$ *Humedad externa*

$Text =$ *Temperatura Externa de la Colmena*

$Tin =$ *Temperatura Interna de la Colmena*

$\beta_0 =$ *Constante*

$\beta_1, \beta_2, \beta_3 =$ *Coefficientes de Correlación*

Las $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ que aparecen como exponentes son las elasticidades del peso (cantidad de kg) por colmena con respecto a los valores que toma cada variable explicativa; y miden el cambio porcentual en la producción por colmena (medida indirectamente a través del peso), debido a una variación del 1% en cada variable independiente.

¹ Peso incluye: Marcos, caja, abejas y miel

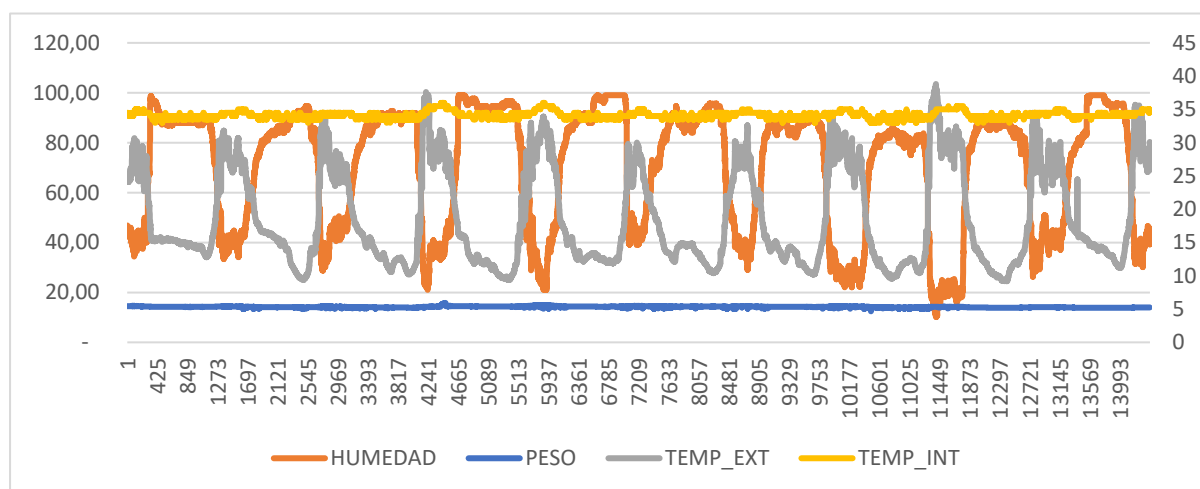
En este apartado se pretende realizar dos tipos de análisis:

1. Revisar la adquisición de datos
2. Analizar la relación de producción de miel o abejas en función del peso total de la colmena.

En primer lugar, la adquisición de datos contó con una recolección cerca de los 14415 datos con un intervalo de un minuto. las variables tomadas en cuenta son: Humedad Relativa, Temperatura externa e interna de la colmena y Peso.

Figura 73

Análisis de Adquisición de Datos



Fuente: Autoría

Como se observa en la Figura 70, se puede constatar la relación coherente entre cada una de las variables tomadas y mencionadas anteriormente; y, se notan 3 características importantes

1. En horas de la noche la temperatura externa baja y la humedad relativa sube y en horas de la mañana dicha relación es inversa.

2. A pesar de que la temperatura externa cambie al igual que la humedad, la temperatura interna de la colmena se mantiene en el rango de 34,5°C a 36°C.
3. En tanto al peso, se puede visualizar pequeñas variaciones que presenta la colmena; debido a la entrada, salida y reproducción de abejas; así como la generación de miel y sus derivados.

En segundo lugar, con el objeto de analizar cuál es la relación de producción, se ejecuta el modelo MCO, teniendo como variable dependiente al peso de la colmena en función de la Humedad Relativa, Temperatura Externa e Interna

4.2.3.1 Resultado de estimación del modelo

Las pruebas realizadas en la apícola Grijalva, permitió verificar los diferentes valores del sistema de monitoreo de una colmena de abejas, la cual tuvo un tamaño de entre 5000 a 6000 abejas².

Al ejecutar el modelo MCO con la cantidad recolectada por el dispositivo, se obtuvieron las elasticidades que se muestran en la tabla 23

² Detectado empíricamente por la persona que acompaña en la producción de la Apícola. Teniendo en cuenta que se introdujo a la colmena alrededor de 5000 abejas se tiene que cada abeja pesa un promedio de 0.008 g obteniendo prácticamente en producción de abejas 40 gramos.

PesoAbejas=5000*0.008

Peso abejas=40 gramos

Tabla 24

Modelo MCO de producción de miel a través del peso en la colmena

Number of obs = 14415
 F(3, 14411) = 1234.29
 Prob > F = 0.0000
 R-squared = 0.2044
 Adj R-squared = 0.2043
 Root MSE = .0801

w_ajus	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
lnh	.0749076	.0036449	20.55	0.000	.067763	.0820522
lntex	.1130648	.0042622	26.53	0.000	.1047104	.1214192
lntin	2.156898	.066426	32.47	0.000	2.026694	2.287101
_cons	-2.927511	.2375854	-12.32	0.000	-3.393209	-2.461813

Fuente: Autoría

De acuerdo a la tabla que se muestra anteriormente, se puede destacar lo siguiente:

1. Por cada 1% de variación de la Humedad, el peso cambia en 74.9g; para lo cual, se podría decir que la humedad es un factor ligado a la reproducción de abejas por su bajo nivel de influencia en el peso, dado que en promedio una abeja pesa 0,008 gramos.
2. Cuando la temperatura externa cambia en un 1%, la producción por colmena varía en 113.06 gramos. Con ello diríamos que también es un factor ligado a la reproducción de abejas por su bajo nivel.
3. La variable más significativa la temperatura interna; ya que, por cada 1% de variación en dicho indicador, el peso cambia 2,15 Kg, siempre y cuando se encuentre en los valores o en el rango adecuados para la estabilidad de la colmena y que fluctúa entre 32°C a 36°C. Esta elasticidad nos permitiría inferir que esta es la variable dominante en la producción de miel por su alto componente cuantitativo.

Con la información obtenida a continuación se realiza una estimación de la cantidad de miel que se a producido en el momento tomando en consideración los pesos iniciales del sistema y el valor máximo de la serie de datos recolectados

4.2.3.2 Comprobación de producción de miel

Al inicio de la toma de datos se constató que el peso de la colmena vacía es de 5.2004 Kg. Además, al inicio de la implantación de las especies dentro la colmena podríamos decir que en conjunto tiene un peso de 40 gramos. La información se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 25

Datos Iniciales de la colmena

Datos Iniciales de la Colmena (Kg)							
<i>Marco 1</i>	<i>Marco 2</i>	<i>Marco 3</i>	<i>Marco 4</i>	<i>Tapa 1</i>	<i>Caja Vacía</i>	<i>Peso Inicial de las Abejas</i>	<i>TOTAL</i>
0.4884	0.5027	0.4989	0.5074	0.6817	2.5213	0.04	5.2404

Fuente: Autoría

Por otro lado, en el punto máximo de la tendencia del peso total de la colmena, tenemos un valor de 5,9299 kg. Con estos datos y las elasticidades del modelo determinaremos indirectamente cual ha sido la producción de abejas y realizaremos una conclusión sobre el comportamiento de las variables tomando en cuenta que este es un sistema optimo y en el cual hemos visto que en el ambiente no se han generado cambios abruptos que permitiesen enfrentar condiciones de estrés a las abejas y su producción.

- A. Peso de la producción de miel y derivados: Luego entonces para deducir la producción de miel que se tuvo se escogerá el valor promedio de peso que se obtuvo en la recolección de datos el cual fue 5.9299 Kg y el peso inicial de la colmena 5.2004 kg

$$\text{ProducMiel} = (5.9299\text{kg} - 40\text{g}) - 5.2004\text{kg}$$

$$\text{ProducMiel} = 5,8899 - 5.2004$$

$$\text{ProducMiel} = 0,6895 \text{ Kg}$$

- B. Influencia de las variables en la reproducción de las abejas: Una vez calculado los datos que se muestran en la tabla 23, se había inferido que la temperatura externa y la humedad podrían influir en la variación de las abejas por su bajo componente numérico. En ese sentido y considerando que la diferencia de las elasticidades de la temperatura y la humedad en función del peso se encuentra alrededor de 38,16 gramos

$$\text{ProducAbejas} = 113.06 - 74.9$$

$$\text{ProducAbejas} = 38.16 \text{ gramos}$$

Es decir, asumiendo la estimación del modelo la temperatura externa influye sobre la reproducción y la humedad sobre la mortalidad de las abejas.

Como conclusión del análisis de los datos y la estimación del modelo, asociado con el desarrollo del sistema electrónico de monitoreo podríamos resumir 4 temas importantes:

1. El sistema tiene una muy buena sensibilidad para la toma de datos de los indicadores de interés.
2. El modelo de estimación de producción de miel es un análisis complementario que permite realizar la analítica de las variables independientes sobre la producción de miel.
3. La variable de la Temp interna podría ser un indicador significativo en la estabilidad de la colmena y en la producción de miel y sus derivados
4. La Temperatura externa y humedad influyen en la reproducción de abejas; y, en conjunto con otras variables analizadas en el marco teórico como: el alimento, CO₂ en el ambiente u otras que no han sido medidas en aquí, permiten medir condiciones óptimas de las especies

4.3 Costo de Hardware

En la Tabla 20 se especifica el costo de los dispositivos de hardware que forman parte del sistema de monitoreo de una colmena; como lo son el Nodo Sensor y el Nodo Central o Gateway. Además, en este apartado se toma en cuenta los elementos para la alimentación eléctrica.

Tabla 26

Costos de Hardware de los Componentes

Componente	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
LoRa 1276	2	40.00	80.00
Arduino	2	22.00	44.00
Sensor de Peso	2	9.00	18.00
Sensor de DTH 22	2	8.00	16.00
GPS NOE 6M	2	11.00	22.00
Panel Solar	2	12.00	24.00
Batería de Litio 5V	2	17.60	35.20
Gateway Dragino LG-01P	1	130.00	130.00
		Total	369.20

Nota. En la tabla se puede prestar atención el costo económico de los materiales para el sistema en el mercado local.

4.3.1 Costo de Infraestructura

En este apartado se especifican los precios económicos de los diferentes mecanismos que van a ser necesarios para su establecimiento como se observa en la Tabla 27.

Tabla 27*Componentes de Infraestructura*

Componente	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Case Nodo Sensor	2	20.00	40.00
Baquelita	2	7.00	14.00
Total			54.00

Nota. En la tabla se hace referencia a los costos de los componentes de case que van a proteger los diferentes nodos del sistema

4.3.2 Costo de Software

En la Tabla 28 se detalla el monto económico del software que fue preciso para la realización de este sistema. Donde el costo total es de 0.00 USD; ya que, el software que fue implementado es de código libre.

Tabla 28*Costo de Software Utilizado*

Software	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
IDE Arduino	1	0.00	0.00
Firebase	1	0.00	0.00
Ionic	1	0.00	0.00
Fritzing	1	0.00	0.00
Total			0.00

Nota. En la Tabla se muestra que el Software Utilizado en su totalidad es de código libre

4.3.3 Costo de Ingeniería

En la Tabla 29, se muestra el costo de ingeniería para el desarrollo del sistema, en el cual se toma en cuenta las actividades realizadas, dando un total de 26 días. De acuerdo con el (Ministerio de Trabajo, 2022), el salario mínimo de un Ingeniero Electrónico Especialista en Mantenimiento es de \$457.52

Tabla 29

Costo de Software Utilizado

Software	# Días	Precio Unitario	Precio Total
Simulación de Red en Radio Mobile	2	15.25	30.50
Programación en Arduino	8	15.25	122.00
Programación Dragino	8	15.25	122.00
Programación de Pagina Web	4	15.25	61.00
Programación de App Móvil	4	15.25	61.00
		Total	396.50

4.3.4 Costo de Implementación Total del Sistema

En la Tabla 23 se detallan los costos económicos totales para poder implementar el sistema en su totalidad.

Tabla 29

Costos de la Implementación Total del Sistema

Descripción	Precio Total
Costo de Hardware	369.20
Costo de Infraestructura	54.00
Costo de Software	0.00
Costo de Ingeniería	396.5
Total	819.7

4.3.5 Análisis Costo Beneficio

La finalidad que tiene este apartado es buscar reducir las pérdidas de producción de miel y de abejas en relación con el costo de desarrollo del sistema de monitoreo que se detalla en la Tabla 30 el cual se detalla la inversión manejada en el proyecto.

Tabla 30

Inversión de sistema de monitoreo LoRa

Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Arduino	1	22.00	22.00
Shield LoRa SX1276	1	40.00	40.00
Case Nodo Sensor	1	10.00	10.00
Sensor de Peso	1	9.00	9.00
Sensor de DTH 22	1	8.00	8.00
GPS NOE 6M	1	11.00	11.00
Baquelita	1	3.5	3.5
		Total	\$ 103.50

Si el apicultor desea implementar nodos remotos a la red LoRa, deberá invertir un monto de \$103.50 permitiendo monitorear alrededor de 5000 abejas, reduciendo pérdidas económicas para la Apícola, como se puede observar a continuación. Se tiene entonces, que la instalación de una colonia de abejas en una colmena rústica representa una inversión de 60 dólares americanos, por otra parte, si se instala en una colmena tecnificada el costo será de 163.50 dólares americanos.

Tabla 31.*Inversión y producción de miel, individual y por apiario*

Tipo de colmena	Inversión		Producción de Miel	
	Por colmena	Por Apiario	Kg Colmena	kg Apiario
Rústica	\$ 60	\$ 1500	6	150
Tecnificada	\$ 163.5	\$ 4087.5	23	575

Con relación a lo descrito, además, el apicultor deberá revisar sus apiarios con una periodicidad de 15 días como máximo, si bien esto pudiese generar mayores costos para los apicultores que revisan sus colmenas con menor frecuencia, en la práctica representa beneficios superiores al productor, ya que para atender y resolver necesidades de la colonia; así, por ejemplo: una visita tiene un costo aproximado de 18 dólares (considerando gasto de combustible y el jornal del productor)

Utilizando una colmena tecnificada la revisión permitirá detectar oportunas necesidades de alimentación, de control de plagas o depredadores, condiciones que pueden ser causa de muerte de las abejas, su atención generará ahorros similares a lo señalado en el ejemplo; el beneficio será mayor si tomamos en cuenta que en el ejemplo hablamos de una sola colmena poblada y en un apiario promedio el apicultor coloca 25 de ellas y el costo señalado se reparte entre todas

- **Alimentación energética:** considerando una alimentación de mantenimiento (agua/azúcar) durante cuatro meses que no hay néctar en el campo, se requieren 200 kg de azúcar para suministrar 2 litros por colmena cada 15 días, por lo que se requieren 4 costales de azúcar de 50 Kg; y al estimar un precio por costal de \$35, se tienen un costo para este rubro de \$140
- **Alimentación proteica:** considerando que las abejas también requieren de una fuente de proteína para estimular la postura de la abeja reina e incrementar la población de abejas para el inicio de la floración, se estima un costal de sustituto de polen de 18 kg en \$55 el cual

rinde para alimentar las 25 colmenas con dos suministros de 250 gr por colmena; por lo que para este rubro se tiene un costo de \$ 55 dólares.

Con relación a lo señalado en la tabla 31, la inversión por tecnificación de colmenas pudiera generar para los apicultores mayores costos (\$163.5), en comparación con la colmena rústica (\$60), en la práctica representa beneficios superiores para el productor y para las mismas abejas, ya que al momento de cosechar la miel se disminuye el riesgo de matar a la reina accidentalmente, ocasionar la muerte de obreras y destrucción de panales e incluso la posibilidad de perder la colonia de abejas; situaciones que con frecuencia se presentan durante el manejo en las colmenas rústicas.

Por otro lado, la cantidad de miel obtenida varía considerablemente entre una colmena y otra; obteniendo un promedio de 31 kg de miel al año en colmenas tecnificadas, a diferencia de la colmena rústica cuya producción promedia 6 kg anuales; esto se debe a que en la colmena rústica existe menor espacio para la construcción de panales y almacén de miel, además del mayor consumo de miel por las abejas, para poder producir la cera de los panales, necesariamente destruidos en la cosecha.

4.4 Conclusiones

- El sistema de monitoreo desempeña satisfactoriamente con los objetivos que nos planteamos al comenzar el proyecto, manejando una tecnología innovadora y adaptándonos a los diversos escenarios que se presentaron en el desarrollo del mismo.
- La visualización de los datos almacenados por los sensores se interpreta fácilmente por el usuario convencional, por medio de una plataforma móvil que permite visualizar los datos a través de una interfaz de usuario intuitiva y funcional.
- La utilización de la tecnología LoRa en este proyecto contribuye a la monitorización de las colmenas de abejas, ayudando a detectar presencia posibles cambios tanto del ambiente exterior como interior de la misma y poder observar alguna alerta que permita al apicultor recolectar la miel, dar alimento o el posible robo de una colmena.

4.5 Recomendaciones

- Los módulos LoRaWAN poseen un alcance teórico de 10km, al realizar las pruebas de cobertura se logró una distancia sumamente menor al hacerlo en un ambiente urbano, se podría lograr tener más cobertura si se reemplaza las antenas normales por unas con mucha más ganancia.
- Si se desea tener mucha más rapidez en el procesamiento de la información es recomendable adquirir un Arduino más potente, en este caso podría ser el MKR 1010, ya que, cuenta con modulo WIFI y GPS implementados en él; con las implicaciones de costo que esto demanda.
- Se recomienda fabricar cases de materiales resistentes y económicos, para abaratar costos, y porque al ser un sistema expuesto a un ambiente, mantendrá a los dispositivos a una temperatura adecuada para un correcto funcionamiento, además de protegerlos de cualquier fenómeno que pueda llegar a dañarlos.
- Antes de realizar la manipulación de los componentes electrónicos, realizar la carga de nuevo código en las placas, es recomendable hacerlo cuando el sistema esté apagado, esto evitara las variaciones de voltaje y corriente y evitará que se dañen los componentes electrónicos

REFERENCIAS

- Abejapedia. (20 de Octubre de 2016). Enciclopedia especializada de Abejas. Obtenido de <http://www.abejapedia.com>.
- AEPD. (03 de 12 de 2020). IoT (I): Qué es IoT y cuáles son sus riesgos. *AEPD*. Obtenido de <https://www.aepd.es/es/prensa-y-comunicacion/blog/iot-i-que-es-iot-y-cuales-son-sus-riesgos>
- Agrocalidad. (2014). Catastro Nacional de Explotaciones Apícolas. *MAGAP*.
- Aguayo, P. (24 de 01 de 2019). Software de Arduino. *Arduino.cl - Compra tu Arduino en Línea*. Obtenido de <https://arduino.cl/programacion/>
- Anónimo. (2017). Tecnologías de Comunicación para IoT. *Efor - Internet y Tecnología*. Obtenido de <https://www.efor.es/sites/default/files/tecnologias-de-comunicacion-para-iot.pdf>
- Aquae, F. (20 de 10 de 2021). La importancia de las abejas: las reinas del mundo. *Fundación Aquae*. Obtenido de <https://www.fundacionaquae.org/abejas/>
- Barrio, M. (2018). *Internet de las Cosas*. Alianza Editorial. Obtenido de https://www.editorialreus.es/static/pdf/primeraspaginas_9788429020380_internetdela-scosas.pdf
- Başar, D. (2020). *Journal of Eurasian Inquiries / Avrasya İncelemeleri Dergisi*. Obtenido de <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/book/article/download/3191/3189>

- Benitez, D. (2016). Propuesta de Arquitectura para el Internet de las Cosas. *ResearchGate*. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/320353907>
- Boot & Work Corp. S.L., Marti Guillem Cura. (16 de 11 de 2020). Cómo trabajar con LoRaWAN y un controlador PLC. *Boot & Work Corp. S.L.* Obtenido de https://www.industrialshields.com/es_ES/blog/blog-industrial-open-source-1/post/como-trabajar-con-lorawan-y-un-controlador-plc-255
- Cabrera, J. (2017). *La Apicultura en el Ecuador*. Quito: Laboratorios de melífera Ecuador.
- Cerro, Y. (2015). Redes Inalámbricas. Obtenido de <https://sites.google.com/site/redesinalambricas3/tipos-de-redes-inalambricas/bluetooth>
- Cordero, M. (2019). *Sistema de tracking mediante LoRaWAN para embarcaciones de vela ligera*. Valencia, España. Obtenido de <file:///D:/Tesis/TRABAJO%20DE%20GRADO/LORA/Cordero%20-%20Sistema%20de%20tracking%20mediante%20LoRaWAN%20para%20embarcaciones%20de%20vela%20ligera.pdf>
- Crespo, E. (2021). Arquitecturas IoT. *Aprendiendo Arduino*. Obtenido de <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2018/11/11/arquitecturas-iot/>
- Dólera, A. (2019). *MODELADO DE REDES LORAWAN APLICADAS A LA CONSERVACIÓN PREVENTIVA DE PATRIMONIO CULTURAL*. Valencia.
- Dominguez, A. (2020). *Diseño de una red de sensores inalámbricos LPWAN para el monitoreo de cultivos y materia orgánica en la granja experimental La Pradera de la Universidad Técnica del Norte*. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/10297>
- ELTELÉGRAFO. (6 de 12 de 2019). El 90% de las poblaciones de abejas se redujo por la tala. *El Telégrafo*. Obtenido de <https://eltelegrafo.com.ec/noticias/sociedad/6/reduccion-abejas-tala>
- Eskov, E., & Toboev, V. (2014). *Changes in the structure of sounds generated by bee colonies during sociotomy*.
- Figueroa, F. (25 de 07 de 2021). *REDES DE SENSORES INALÁMBRICOS ¿QUE SON?* Obtenido de SENSORICX: <https://sensoricx.com/conocimiento/redes-de-sensores-inalambricos-que-son/>
- Grijalva, A. (01 de 12 de 2021). Reinas de alta genética para la producción de miel y polen en Ecuador. Obtenido de <https://apicolagrijalva.com/>
- Hernandez, R. (2019). ¿Qué es la tecnología LoRa y por qué es importante para IoT? *The Things Network*. Obtenido de <https://www.thethingsnetwork.org/community/santa-rosa/post/que-es-la-tecnologia-lora-y-por-que-es-importante-para-iot>
- Ivars, J. (29 de 07 de 2021). Robos en colmenares: Modos de actuación y cómo prevenirlo. *Blog de Apicultura - La Tienda del Apicultor*. Obtenido de <https://www.latiendadelapicultor.com/blog/robos-colmenares-modos-actuacion-prevenirlo/>

- Jecrespom. (05 de 11 de 2021). Protocolos IoT Capa Aplicación. *Aprendiendo Arduino*.
Obtenido de <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2018/11/17/protocolos-iot-capa-aplicacion/>
- KaiserLee. (19 de 01 de 2022). Full understanding of LORA and LORAWAN. *Tecnología IoT LoRaWAN para sus proyectos*. Obtenido de <https://www.mokolora.com/es/full-understanding-of-lora-and-lorawan/>
- Logitek. (20 de 10 de 2020). LoRaWAN. *Logitek*. Obtenido de <https://logitek.es/lorawan/>
- LoRa Alliance®. (2017). LoRaWAN™ 1.1 Regional Parameters. *LoRa Alliance®*.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2020). *Ecuador tiene 1760 apicultores registrados*.
Obtenido de <https://www.agricultura.gob.ec/ecuador-tiene-1760-apicultores-registrados/>
- Ministerio de Turismo. (15 de septiembre de 2018). *Ecuador megadiverso y único en el centro del mundo*. Obtenido de <http://www.turismo.gob.ec>
- Muñoz, J. (16 de 06 de 2019). Hacia el Fog Computing, ¿en qué punto estamos? *IoT Futura*.
Obtenido de <https://iotfutura.com/2019/06/hacia-el-fog-computing-en-que-punto-estamos/>
- Pascual, C. (01 de 02 de 2022). ThingSpeak y ESP8266. *Programar fácil con Arduino*.
Obtenido de <https://programarfácil.com/esp8266/thingspeak/>
- Patil, H. K., & Chen, T. (2017). *Seguridad de la red de sensores inalámbricos*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/wireless-sensor-networks>
- Pérez, A. (03 de 09 de 2019). Arquitecturas de referencia para IoT con transferencia segura de información. *CORE Reader*. Obtenido de <https://core.ac.uk/reader/344716497>
- Pickering, P. (2017). Desarrollar con LoRa para aplicaciones IoT de baja tasa y largo alcance. *Digi-Key Electronics*. Obtenido de <https://www.digikey.com/es/articles/develop-lora-for-low-rate-long-range-iot-applications>
- Reimondo, G. (12 de 08 de 2019). Seguridad en Redes LoRaWAN™. *Tecnología Humanizada*. Obtenido de <https://humanizationoftechnology.com/seguridad-en-redes-lorawan/revista/iot/01/2019/>
- Rodríguez, A. (2016). Tecnología LoRa para sistemas IoT. *comunicacionesinalambricashoy.com*. Obtenido de <https://www.comunicacionesinalambricashoy.com/tecnologia-lora-sistemas-iot/>
- Rose, K., Eldridge, S., & Chapin, L. (Octubre de 2015). La Internet de las cosas-una breve reseña. *Internet Society*, 83. Obtenido de <https://www.internetsociety.org/wp-content/uploads/2017/09/report-InternetOfThings-20160817-es-1.pdf>
- Rosero, H. (2017). *Sanidad Apícola. Buenas practicas para la actividad apícola*. Ibarra, Imbabura: MAGAP.

Sáez, I. P. (13 de 04 de 2021). IoT: protocolos de comunicación, ataques y recomendaciones. *INCIBE-CERT*. Obtenido de <https://www.incibe-cert.es/blog/iot-protocolos-comunicacion-ataques-y-recomendaciones>

Salazar, J. (2016). *Redes Inalámbricas*.

Telégrafo. (6 de 12 de 2019). El 90% de las poblaciones de abejas se redujo por la tala. *El Telégrafo*. Obtenido de <https://eltelegrafo.com.ec/noticias/sociedad/6/reduccion-abejas-tala>

Yu, S., & Park, Y. (2020). *SLUA-WSN: Secure and Lightweight Three-Factor-Based User Authentication Protocol for Wireless Sensor Networks*. Obtenido de <https://doi.org/10.3390/s20154143>

ANEXOS

ANEXO A Entrevista a Técnico de la Apícola Grijalva

Nombre: Ing. Antonio Grijalva

Puesto: Técnico Apícola

Nombre de la Institución: APÍCOLA GRIJALVA

11. ¿De qué forma se maneja la información de las colmenas?

Fichas en Hojas de Papel

Fichas en Digital en Base de Datos

12. ¿Se utiliza alguna herramienta para medir el peso de la colmena?

Si

No

13. ¿Usted cree que se pueda optimizar el seguimiento de la producción de una colmena?

Si

No

14. ¿El sistema debe cumplir con las funciones de posicionamiento, humedad, peso y temperatura tanto fuera como dentro de la colmena?

Si debe de Cumplir No debe Cumplir

15. ¿La parte del Sistema que toma los datos debe poder movilizarse?

Si No

16. ¿Desearía llevar la información de las colmenas tanto de temperatura, humedad, posicionamiento y peso de manera digital?

Si No

17. ¿Cree que el seguimiento de las colmenas mejoraría si se lleva un historial de manera Digital?

Si No

18. ¿Cree que sería oportuno visualizar los datos de la colmena tanto en una página Web y APP móvil?

Si No

19. ¿El sistema Propuesto ayudaría para realizar diferentes estudios en las colmenas?

Si ayudaría; ya que, nos permitiría saber si la colmena necesita alimento

20. ¿Para cada evaluación de la colmena ayudaría mucho tomar el peso para ver su Avance?

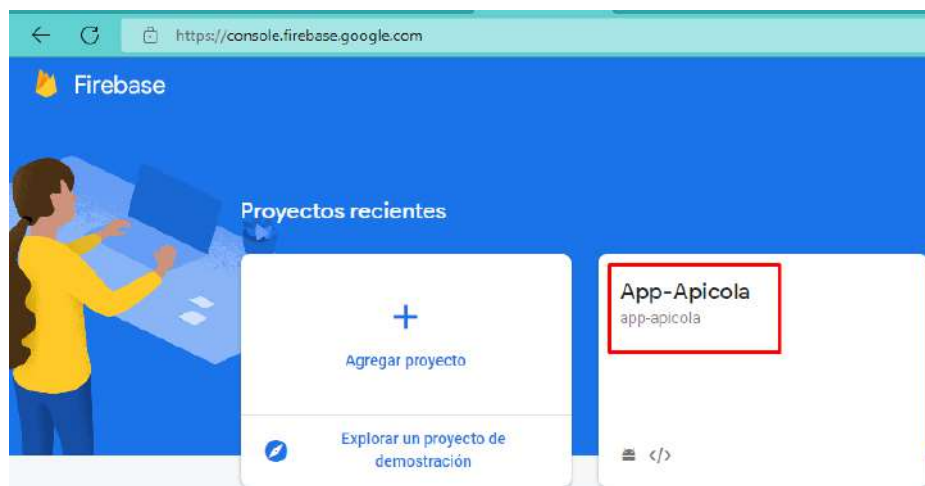
Por supuesto que sería de mucha ayuda, ya que nos permitiría saber si la colmena está llena de miel y así poder sacar de forma efectiva y a su vez si el número de abejas dentro de la misma es idóneo.

ANEXO B Base de Datos Firebase

1. Como primer paso se realiza la creación de un usuario en Gmail y nos dirigimos al siguiente enlace

<https://console.firebase.google.com/>

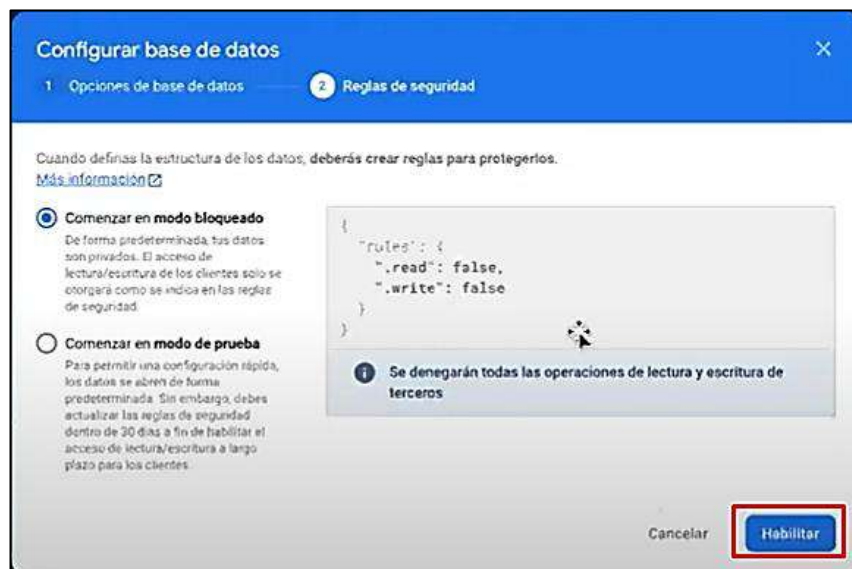
2. Luego entonces tendremos el siguiente menú y realizaremos la creación del proyecto a ejecutar.



3. A continuación, daremos clic en el proyecto creado y se nos desplegará lo siguiente y escogeremos con el tipo de base de datos que se desea trabajar, en este caso se lo realizará con la que podemos observar.



4. Nos preguntará en que región se va a crear y lo realizaremos en cualquier opción, luego entonces tendremos la configuración de la base de datos el cual nos permitirá hacerlo de modo prueba y bloqueo, digitaremos como se muestra en la imagen



5. Luego Ejecutaremos el código en Arduino para tener la conexión el cual tendremos que especificar dos cosas importantes que es la clave o ID y el nombre de la base de datos.

```

2 #include <FirebaseArduino.h>
3 #include <ArduinoJson.h>
4
5
6 #define WIFI_SSID "ElPatio"
7 #define WIFI_PASSWORD "los3puentes"
8
9
10 #define FIREBASE_HOST "iot-arduinoapp-default-rtdb.firebaseio.com"
11 #define FIREBASE_AUTH "6yYGB0pmf9Kl1U0gbGsW7SdsRv0TD4zzpjtVuRyx"
12

```

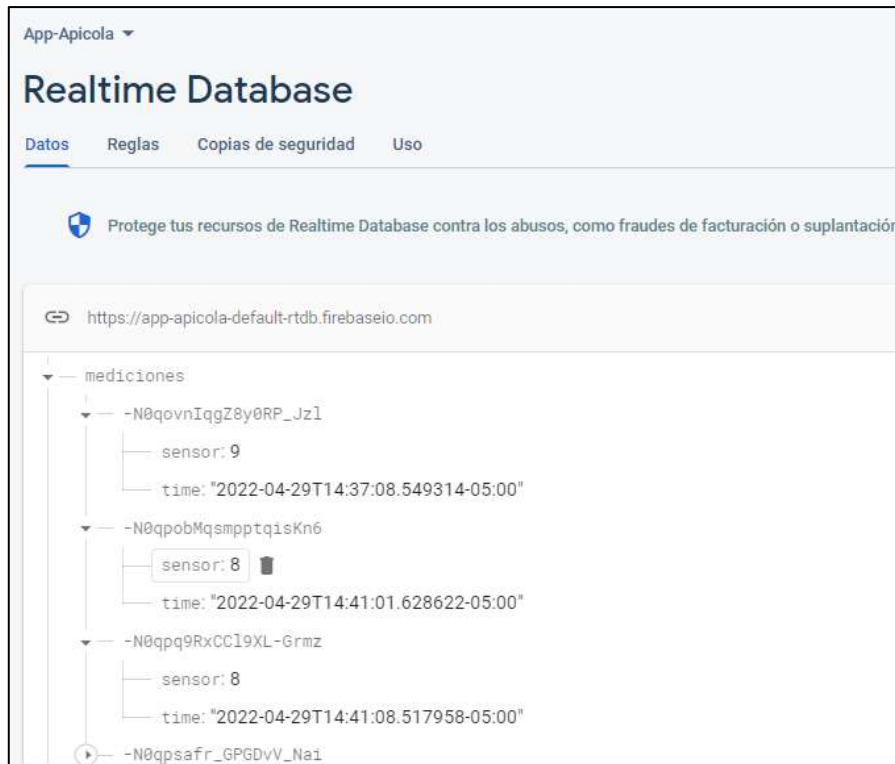
6. Tendremos que realizar la conexión a por medio de Wifi y digitaremos en el IDE Arduino el SSID y el Password.

```

11
12
13 #define sensor_A0
14
15 |
16 void setup() {
17 // put your setup code here, to run once:
18 Serial.begin(9600);
19 // connect to wifi.
20 WiFi.begin(WIFI_SSID, WIFI_PASSWORD);
21 Serial.print("conectando.....");
22 while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
23   Serial.print(".");
24   delay(500);

```

7. Al realizar dicha conexión se obtendrá los valores de cada uno de los sensores que hemos establecido en el proyecto.



ANEXO C Elaboración de Página WEB y App Móvil

1. Necesitaremos herramientas necesarias antes de empezar tanto con la página WEB y la APP y estos serán:
 - Node NPM <https://nodejs.org/es/download/>
 - Angular <https://angular.io/cli>
 - IONIC <https://ionicframework.com/docs/intro...>
 - Visual Studio Code → Editor de código.
2. Lo único que se tendrá que realizar es clic en los enlaces y se instalarán inmediatamente.
3. Se crea el proyecto en la partición que deseemos

4. Se abrirá la terminal del computador que estemos utilizando y se dará start LoRa_App y nos mostrará un Framework de desarrollo y seleccionaremos Angular.



```

macbook-pro-de-nic-zwz9zicomp macproecana$ ionic start LoRaApp
Pick a framework! 🤖
Please select the JavaScript framework to use for your new app. To bypass this prompt next time, supply a value for the
--type option.

Framework:
┌ Angular - https://angular.io
├ React - https://reactjs.org
└ Vue - https://vuejs.org
  
```

5. Y se instalarán los paquetes necesarios para poder empezar con el diseño de la página WEB y APP



```

Starter templates are ready-to-go Ionic apps that come packed with everything you need to build your app. To bypass this
prompt next time, supply template, the second argument to ionic start.

? Starter template: sidemenu
✓ Preparing directory ./iotionic in 1.28ms
✓ Downloading and extracting sidemenu starter in 584.82ms
? Integrate your new app with Capacitor to target native iOS and Android? No

Installing dependencies may take several minutes.

-----

Ionic Enterprise, platform and solutions for teams by Ionic

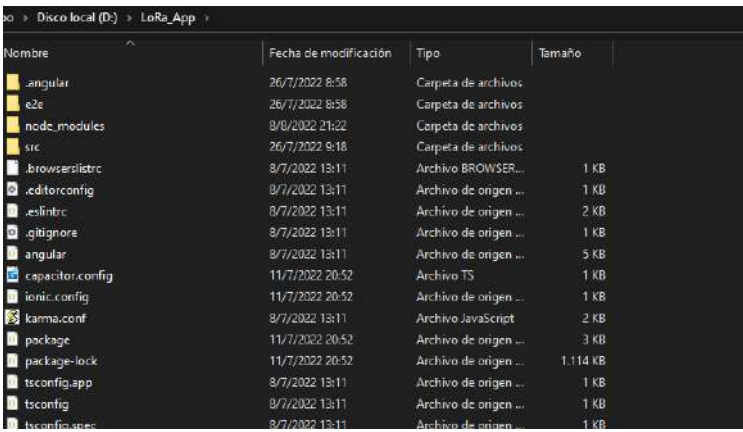
Powerful library of native APIs 🍌
A supercharged platform for teams 🍌

🍌 https://ion.link/enterprise 🍌

-----

> npm i
(1) fetchMetadata: still waiting for @typescript-eslint/eslint-plugin@4.15.1 fetched in 950ms
  
```

6. Para poder constatar la instalación de los paquetes nos iremos al proyecto creado y daremos doble clic en la carpeta y se nos desplegará la siguiente información

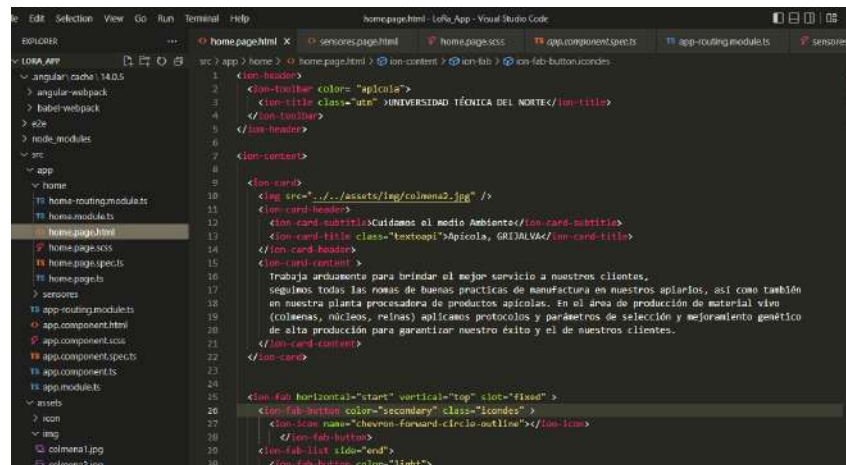


Nombre	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
angular	26/7/2022 8:58	Carpeta de archivos	
e2e	26/7/2022 8:58	Carpeta de archivos	
node_modules	8/8/2022 21:22	Carpeta de archivos	
src	26/7/2022 8:18	Carpeta de archivos	
.browserlistrc	8/7/2022 13:11	Archivo BROWSER...	1 KB
.editorconfig	8/7/2022 13:11	Archivo de origen ...	1 KB
.eslintrc	8/7/2022 13:11	Archivo de origen ...	2 KB
.gitignore	8/7/2022 13:11	Archivo de origen ...	1 KB
angular	8/7/2022 13:11	Archivo de origen ...	5 KB
capacitor.config	11/7/2022 20:52	Archivo TS	1 KB
ionic.config	11/7/2022 20:52	Archivo de origen ...	1 KB
karma.conf	8/7/2022 13:11	Archivo JavaScript	2 KB
package	11/7/2022 20:52	Archivo de origen ...	3 KB
package-lock	11/7/2022 20:52	Archivo de origen ...	1.114 KB
tsconfig.app	8/7/2022 13:11	Archivo de origen ...	1 KB
tsconfig	8/7/2022 13:11	Archivo de origen ...	1 KB
tsconfig.spec	8/7/2022 13:11	Archivo de origen ...	1 KB

7. Además, digitaremos el comando Ionic serve para ejecutar nuestro servidor y nos dará el puerto donde se estará ejecutando.

```
D:\>cd D:\LoRa_App
D:\LoRa_App>ionic serve
ng.cmd run app:serve --host=localhost --port=8100
[ng] - Generating browser application bundles (phase: setup)...
[ng] - Browser application bundle generation complete.
[ng] Initial Chunk Files
[ng] vendor.js                Names          Raw Size
[ng] polyfills.js             vendor         3.70 MB
[ng] styles.css, styles.js    polyfills     350.97 kB
[ng] main.js                   styles        245.29 kB
[ng] runtime.js                main          21.99 kB
[ng]                           runtime       14.11 kB
[ng]                           Initial Total 4.32 MB
[ng]
[ng] Lazy Chunk Files
[ng] node_modules_ionic_core_dist_esm_swiper_bundle-20000340_js.js Names          Raw Size
[ng] polyfills-core-js.js     swiper-bundle-20000340-js 499.26 kB
[ng] node_modules_ionic_core_dist_esm_ion-datetime_2_entry_js.js    polyfills-core-js     152.87 kB
[ng] node_modules_ionic_core_dist_esm_ion-item_8_entry_js.js         -                    143.26 kB
[ng] node_modules_ionic_core_dist_esm_ion-item_8_entry_js.js         -                    93.08 kB
[ng] node_modules_ionic_core_dist_esm_ion-app_0_entry_js.js          -                    76.33 kB
[ng] node_modules_ionic_core_dist_esm_ion-modal_entry_js.js          -                    73.52 kB
[ng] node_modules_ionic_core_dist_esm_ion-slide_2_entry_js.js        -                    59.68 kB
```

8. Realizaremos los cambios pertinentes en el código fuente y empezaremos por el HOME de la pagina WEB y la APP



```

1 <ion-header>
2 <ion-toolbar color="apicola">
3 <ion-title class="ute">UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE</ion-title>
4 </ion-toolbar>
5 </ion-header>
6
7 <ion-content>
8
9 <ion-card>
10 
11 <ion-card-header>
12 <ion-card-subtitle>Cuidamos el medio Ambiente</ion-card-subtitle>
13 <ion-card-title class="textcap">apicola, GRIJALVA</ion-card-title>
14 </ion-card-header>
15 <ion-card-content>
16 Trabajamos para brindar el mejor servicio a nuestros clientes,
17 seguimos todas las normas de buenas practicas de manufactura en nuestros aparatos, así como también
18 en nuestra planta procesadora de productos apícolas. En el área de producción de material vivo
19 (colmeas, nidos, reinas) aplicamos protocolos y parámetros de selección y mejoramiento genético
20 de alta producción para garantizar nuestro éxito y el de nuestros clientes.
21 </ion-card-content>
22 </ion-card>
23
24
25 <ion-fab horizontal="start" vertical="top" class="fixed">
26 <ion-fab-button color="secondary" class="rounded">
27 <ion-icon name="chevron-forward-circle-outline"></ion-icon>
28 </ion-fab-button>
29 <ion-fab-list side="end">
30 <ion-fab-button color="light">

```

9. Para poder ejecutar tanto la APP y la Pagina Web se debe tener que haya compilado exitosamente.

```

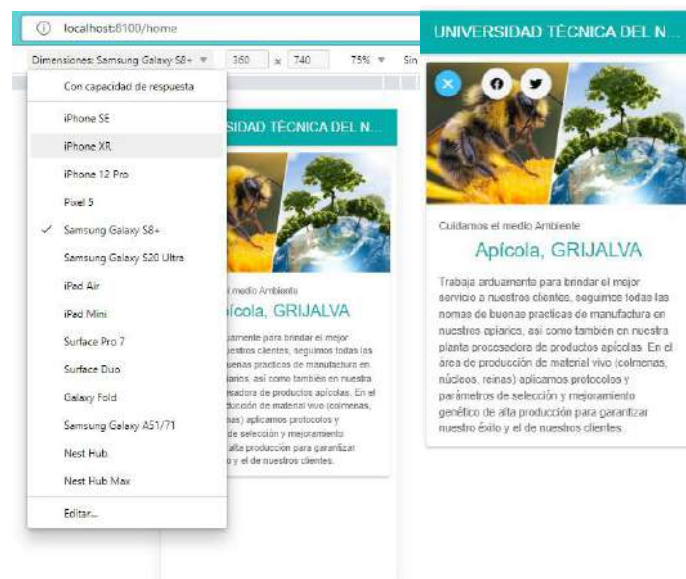
Windows PowerShell
ng] node_modules_ionic_core_dist_esm_ion-tab_2_entry_js.js
ng] src_app_home_home_module_ts.js
ng] node_modules_ionic_core_dist_esm_ion-spinner_entry_js.js
ng] src_app_sensores_sensores_module_ts.js
ng] node_modules_ionic_core_dist_esm_ion-ripple-effect_entry_js.js
ng] node_modules_ionic_core_dist_esm_index-595c1526_js.js
ng] node_modules_ionic_core_dist_esm_ion-avatar_3_entry_js.js
ng] node_modules_ionic_core_dist_esm_ion-img_entry_js.js
ng] node_modules_ionic_core_dist_esm_ion-backdrop_entry_js.js
ng] node_modules_ionic_core_dist_esm_status-tap-130b103e_js.js
ng] node_modules_ionic_core_dist_esm_ion-text_entry_js.js
ng] Build at: 2022-09-09T05:13:10.686Z - Hash: 69bcc7bb18870648 - Time: 6285ms
ng] ✓ Compiled successfully.
INFO] Development server running!
      Local: http://localhost:8100
      Use Ctrl+C to quit this process
INFO] Browser window opened to http://localhost:8100!

```

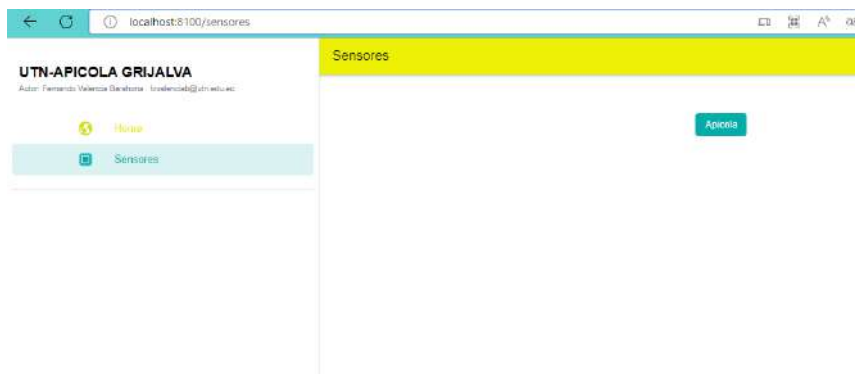
10. Se puede mostrar en el siguiente apartado dos paginas que se ha creado uno donde será la portada de la pagina WEB y APP y otra donde se ejecutarán o se mostrará los sensores



11. Aquí se mostrará la Aplicación Móvil y se escogerá el equipo y la visualización de la misma

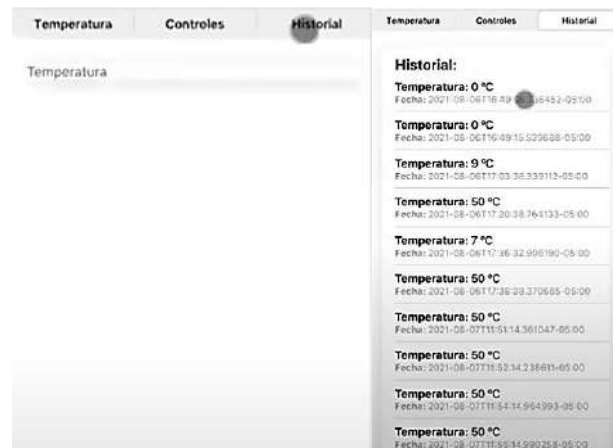


12. Luego entonces se procederá a mostrar los sensores que se han propuesto haciendo clic donde se muestra en la imagen



13. Daremos clic en Apícola, este apartado es sumamente importante ya que es la conexión con nuestra base de datos creada anteriormente y se dará todos los permisos para poder ingresar los datos

16. Se visualizará la siguiente pantalla para el historial de los sensores se dará clic en Historial



17. Por pedido de Apicultor se han añadido botón de redes sociales tal como se muestra en la imagen

