



**ADQUISIÓN Y TRANSMISIÓN DE PARÁMETROS QUE
AFECTAN LA DURABILIDAD DE POSTES
GALVANIZADOS PARA VITIVINICULTURA
(ATPADPGV)
PROYECTO**

Versión 1.0
05/12/2023

INFORMACIÓN DEL PROYECTO

Autor	
Nombre Completo del integrante 1	Jorge Agustín Giardinelli
Legajo	42674
e-mail	agustingiardinelli@gmail.com

Tutor	Ing. Gustavo Mercado
Director	Ing. Gustavo Mercado
Jurado	Ing. Gustavo Mercado
Año Académico	2023
Responsable de la cátedra	Esp. Ing. Antonio Álvarez Abril

Empresa / Cliente / Laboratorio	Laboratorio GridTics
Patrocinador (Sponsor)	Laboratorio GridTics



1 RESUMEN DEL PROYECTO

1.1 RESUMEN

Los postes de madera tratados con CCA (cromo, cobre y arsénico), utilizados habitualmente en vitivinicultura, presentan riesgos medioambientales. Para mitigar estos impactos, se prevé la sustitución de estos postes por estructuras de acero galvanizado. Sin embargo, esta transición requiere un estudio de laboratorio sobre el comportamiento del acero galvanizado, que depende de determinados parámetros físicos del entorno en el que se instalan los postes. Ante la necesidad de conocer y cuantificar las condiciones ambientales para evaluar el comportamiento del acero galvanizado, surge nuestra propuesta de proyecto, cuyo objetivo principal es diseñar un prototipo capaz de recoger datos de parámetros que afectan al comportamiento del poste y transmitirlos para su monitorización remota.

El proyecto pretende desarrollar un prototipo limitado a un entorno de pruebas de laboratorio. Esto implica que los ensayos se realizarán con sensores que se tengan disponibles (por ejemplo, humedad, temperatura, etc.), a fin de corroborar el objetivo principal del proyecto, que es la transmisión de datos.

1.2 SUMMARY

Wooden poles treated with CCA (chromium, copper and arsenic), commonly used in viticulture, present environmental risks. To mitigate these impacts, the replacement of these posts with galvanised steel structures is envisaged. However, this transition requires a laboratory study on the behaviour of galvanised steel, which depends on certain specific physical parameters of the environment in which the posts are installed. Given the need to know and quantify the environmental conditions to evaluate the behaviour of galvanised steel, our project proposal arises, whose main objective is to design a prototype capable of collecting data on the parameters that affect the behaviour of the pole and transmitting them for remote monitoring.

The project aims to develop a prototype limited to a laboratory test environment. This implies that tests will be carried out with the available sensors (e.g. humidity, temperature, etc.) to corroborate the main objective of the project, which is data transmission.

2 PALABRAS CLAVES

Telemetría, 6LoWPAN, IEEE802.15.4, IoT, Nodo, Coordinador, IPv6, Acero Galvanizado.



3 ÍNDICE

1	RESUMEN DEL PROYECTO	2
1.1	RESUMEN	2
1.2	SUMMARY	2
2	PALABRAS CLAVES	2
3	ÍNDICE	3
4	INTRODUCCIÓN	5
4.1	IDEA Y DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	5
4.1.1	Objetivo general	5
4.1.2	Objetivo particular	6
4.2	JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	6
4.2.1	Antecedentes del proyecto	6
4.2.2	Estado actual	6
4.2.3	Necesidad del negocio y definición del problema	7
4.2.4	Beneficios del proyecto	7
4.3	ALCANCE	7
4.3.1	Alcance	7
4.3.2	Límites o fuera de alcance	7
4.3.3	Soluciones y entregables principales	8
4.4	PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO	9
4.4.1	Cronograma	9
4.4.2	Hitos	10
4.5	RIESGO	11
5	DESARROLLO DEL PROYECTO	13
5.1	DESARROLLO TÉCNICO	13
5.1.1	Introducción	13
5.1.2	Fundamentación del proyecto	15
5.1.2.1	Tecnología de comunicación	15
5.1.2.2	Configuraciones del estándar 6LoWPAN	16
5.1.2.3	Coordinador	17
5.1.2.4	Solicitud y manejo de datos	17
5.1.2.5	Entorno de trabajo	18
5.2	IMPLEMENTACIÓN	18
5.2.1	Nodo sensor	19
5.2.1.1	Programación de la placa OpenMote	20
5.2.2	Coordinador	22
5.2.2.1	Implementación del coordinador	22
5.2.3	Etapa de pruebas	23
5.2.3.1	Ejecución del protocolo CoAP	26
5.2.4	Base de datos	27
5.2.5	Plataforma de visualización	29
5.3	PROTOTIPO	30
5.3.1	Nodo sensor	30
5.3.1.1	Módulo de comunicaciones	31
5.3.1.2	Módulo de adquisición	31
5.3.1.3	Módulo de energía	33
5.3.1.4	Módulo de panel solar	35
5.3.1.5	Armado del Nodo Sensor	37
5.3.2	Coordinador	39
5.3.2.1	Módulo de comunicación	39



5.3.2.2	Módulo de procesamiento	39
5.3.2.3	Módulo de alimentación	39
5.3.2.4	Armado del coordinador	40
5.3.3	Base de datos.....	40
5.3.4	Visualización de datos.....	40
5.4	FACTIBILIDAD ECONÓMICA	41
5.4.1	Flujo de caja para VAN = 0.....	42
5.4.2	Capital de trabajo para VAN = 0	42
5.4.3	Cálculo para VAN > 0	43
5.4.3.1	Flujo de caja para VAN > 0	43
5.4.3.2	Capital de trabajo para VAN > 0	44
5.4.3.3	Aproximación al valor actual neto	44
5.4.4	Tasa interna de retorno	44
5.4.5	Payback o plazo de recuperación.....	44
5.4.6	Productos y servicios de otros fabricantes	45
6	CONCLUSIONES Y ANEXOS.....	46
7	BIBLIOGRAFÍAS Y REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46



4 INTRODUCCIÓN

4.1 IDEA Y DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El diseño del proyecto se estructura en dos bloques principales. El primer bloque consiste en un sistema de adquisición de datos, es decir, un **"Nodo Sensor"**. El Nodo Sensor es el que, teóricamente, se instala en el poste de estudio y será encargado de la lectura de datos provenientes de diferentes sensores y la transmisión inalámbrica hacia un bloque de recepción.

El segundo bloque, denominado **"Coordinador"**, actúa como bloque de recepción de datos del nodo sensor e interfaz con la red de Internet.

El conjunto completo, permitirá la transmisión de datos recolectados desde el Nodo Sensor hacia el Coordinador. Luego, el Coordinador podrá transmitir estos mismo datos para ser almacenados en una base de datos, desde la cual serán accedidos través de una plataforma de visualización. De esta manera, el usuario interesado podrá contar con la disponibilidad de la información de forma remota.

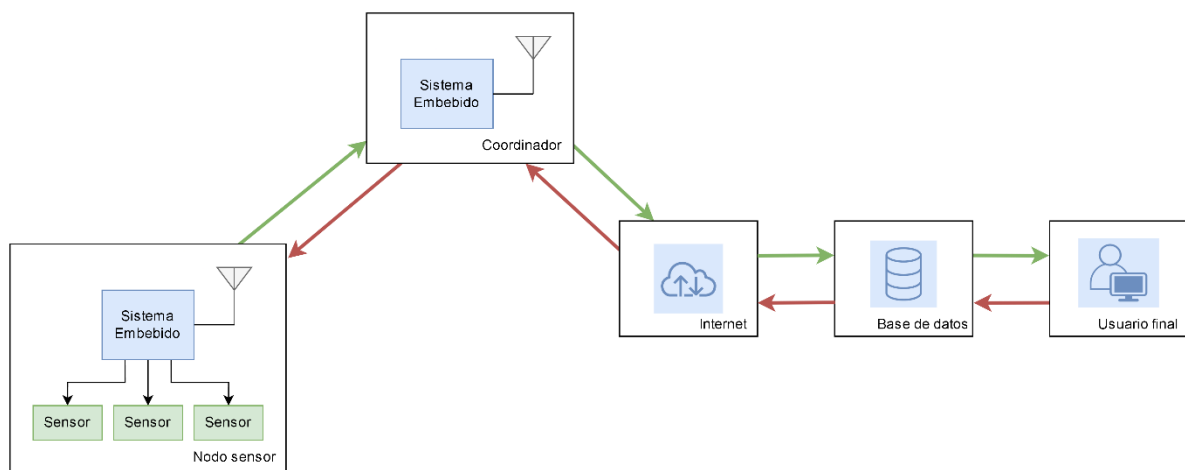


Figura 1 - Diagrama general de funcionamiento del proyecto

4.1.1 Objetivo general

El objetivo por parte del Laboratorio GridTics con el proyecto asignado es, por un lado, ofrecer una solución a la problemática de accesibilidad remota de datos para llevar a cabo el estudio mencionado, ofreciendo un equipo que actuará como interfaz entre los sensores instalados en el lugar de estudio y el usuario final. Y, por otro lado, impulsar el uso de la tecnología IPv6 en redes de sensores inalámbricos (WSN – Wireless Sensor Network), la cual posee ventajas que se desarrollarán a lo largo del informe.



4.1.2 Objetivo particular

Como objetivo particular, el proyecto consistirá en un prototipo funcional de laboratorio, que permitirá llevar a cabo el estudio de las tecnologías a implementar. Esto implica que:

- El mismo será probado en un entorno de laboratorio.
- Se utilizarán los sensores que disponga el solicitante del proyecto o simulaciones para llevar a cabo las pruebas, con la finalidad de corroborar la transmisión de datos del prototipo. Estos sensores no son necesariamente los dispositivos finales a utilizar.
- El prototipo tiene como finalidad actuar como interfaz entre los sensores que se encuentren en el lugar de estudio y el usuario interesado.

Cabe aclarar que el proyecto ATPADPGV pretende resolver, a modo de prototipo, una problemática que surge de un proyecto de mayor escala que es en donde se llevará a cabo el estudio del acero galvanizado. Debido a que este proyecto de mayor escala se encuentra en proceso de aprobación, se aclara, por tal motivo, que el diseño a desarrollar consiste en una solicitud exclusiva por parte del laboratorio GridTics, independizándose el proyecto ATPADPGV del resultado que obtenga el proyecto de mayor escala en el proceso de aprobación.

4.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

4.2.1 Antecedentes del proyecto

La propuesta de proyecto surge a partir de los equipos disponibles en el mercado. Si bien se pueden encontrar soluciones tales como data loggers que permiten medir y monitorear parámetros, estos equipos no se adaptan a las necesidades específicas del proyecto. Por otro lado, los equipos comerciales disponen de sus propios accesorios limitando la posibilidad de poder integrar distintos tipos de sensores. El proyecto tiene como finalidad desarrollar un prototipo personalizado a las necesidades planteadas en la problemática en cuestión.

4.2.2 Estado actual

Actualmente, el IoT tiene muchas aplicaciones en lo que respecta la agricultura. De aquí se desprende el término agricultura inteligente, que es un nuevo concepto en la tecnología de la información y la comunicación moderna y cambia la forma en la que trabajamos en la agricultura. Una de las aplicaciones del Internet de las Cosas es la monitorización online. La sensorización permite que los agricultores monitoreen parámetros como temperatura, humedad, etc. Esto se traduce en ahorros de costos y mejoras de la productividad.



4.2.3 Necesidad del negocio y definición del problema

La necesidad de llevar a cabo este prototipo es ofrecer una solución que sea más flexible en términos de adaptación a la problemática respecto a las soluciones que ofrece el mercado, y que permita realizar el almacenamiento de datos y el monitoreo a distancia de los mismos.

4.2.4 Beneficios del proyecto

Como beneficiarios podemos encontrar, por un lado, el laboratorio GridTics el cual es el patrocinador del proyecto y Stakeholder. Esto se debe a que el proyecto, además de ofrecer una solución a la problemática planteada por el laboratorio, también se enfoca promover el uso de tecnología IPv6 en las redes de sensores inalámbricos para monitoreo de parámetros. Otro Stakeholder identificado, son las personas interesadas en implementar la agricultura de precisión en sus actividades del área, ya que este prototipo puede ofrecer una solución más accesible al monitoreo de parámetros.

4.3 ALCANCE

4.3.1 Alcance

El prototipo ya desarrollado contará con dos bloques principales. Un bloque cuya función será adquirir datos de entrada que se simularán o se probarán con sensores, según se disponga, el cual corresponde al dispositivo que irá instalado en el poste (Nodo Sensor). Estos datos se transmitirán de forma inalámbrica a un bloque receptor. El bloque receptor, también conocido como coordinador actuará como una interfaz entre el equipo inalámbrico y la red de internet, transmitiendo la información recibida a través de internet para ser almacenada en una base de datos y permitiendo ser visualizada remotamente.

4.3.2 Límites o fuera de alcance

- El diseño consistirá en un prototipo de investigación de laboratorio, no siendo un producto comercial.
- Queda fuera de alcance la instalación del prototipo en el sitio de estudio.
- Para las pruebas se utilizarán sensores o se simularán, según se disponga no siendo estos los dispositivos finales a utilizar.
- Las pruebas se realizarán en un entorno de laboratorio.



4.3.3 Soluciones y entregables principales

La siguiente tabla muestra un listado de los entregables del proyecto (productos o servicios)

Entregables principales	Descripción del entregable
Nodo sensor	Bloque encargado de adquirir datos y transmitirlos inalámbricamente al coordinador.
Coordinador	Bloque encargado de recibir datos del nodo sensor y transmitirlos a internet, es decir, que actúa como interfaz.
Base de datos	Forma parte de la estructura interna del proyecto y es donde se almacenarán los datos del Nodo Sensor.
Visualización de datos	Interfaz de visualización de los datos almacenados.



4.4 PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO

Orden	Procesos
0	▪ 1° Etapa
1	▪ Estudio de tecnología y protocolos de comunicación para el diseño del Nodo Sensor y Coordinador
2	▪ Estudio y selección de entorno de programación para el Nodo Sensor
3	▪ Programación el Nodo Sensor
4	▪ Prueba de funcionamiento del Nodo Sensor
5	▪ Estudio y selección de entorno de programación del Coordinador
6	▪ Programación del Coordinador
7	▪ Prueba de funcionamiento del Coordinador
8	▪ 2° Etapa
9	▪ Comunicación entre el Nodo Sensor y el Coordinador
10	▪ Diseño de la base de datos
11	▪ Prueba de almacenamiento de datos
13	▪ Implementación de la plataforma de visualización
14	▪ Prueba de funcionamiento de todo el equipo y correcciones
15	▪ Armado de los prototipos

4.4.1 Cronograma

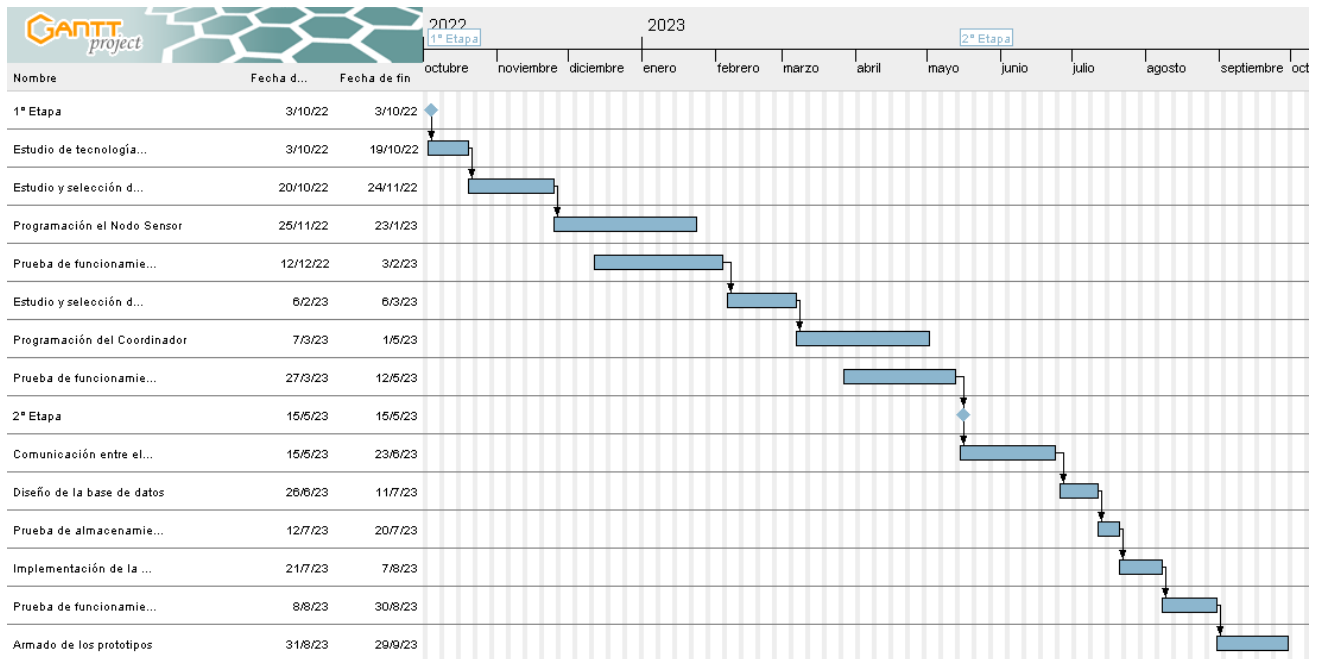


Figura 2 - Cronograma de proyecto



Tareas principales	Tiempo estimado en horas
<ul style="list-style-type: none">Estudio de tecnología y protocolos de comunicación para el diseño del Nodo Sensor y Coordinador	50 hs
<ul style="list-style-type: none">Estudio y selección de entorno de programación para el Nodo SensorProgramación el Nodo SensorEstudio y selección del entorno de programación del CoordinadorProgramación del CoordinadorPrueba de funcionamiento del Coordinador	210 hs
<ul style="list-style-type: none">Comunicación entre el Nodo Sensor y el Coordinador	100 hs
<ul style="list-style-type: none">Diseño de la base de datosPrueba de almacenamiento de datos	100 hs
<ul style="list-style-type: none">Implementación de la plataforma de visualización	60 hs
<ul style="list-style-type: none">Prueba de funcionamiento de todo el equipo y correcciones	20 hs
<ul style="list-style-type: none">Armado de los prototipos	60 hs
TOTAL	600 hs

4.4.2 Hitos

La tabla muestra un listado de hitos generales del proyecto y el cronograma estimado de finalización

Hitos Ejecutivos	Fecha estimada de finalización
Estudio de tecnología y protocolos de comunicación para el diseño del Nodo Sensor y Coordinador	19/10/22
Estudio y selección de entorno de programación para el Nodo Sensor	24/11/22
Programación el Nodo Sensor	23/01/23
Prueba de funcionamiento del Nodo Sensor	03/02/23
Estudio y selección de entorno de programación para el Coordinador	06/03/23
Programación del Coordinador	01/05/23
Prueba de funcionamiento del Coordinador	12/05/23
Comunicación entre el Nodo Sensor y el Coordinador	23/06/23
Diseño de la base de datos	11/07/23
Prueba de almacenamiento de datos	20/07/23
Implementación de la plataforma de visualización	07/08/23



Hitos Ejecutivos	Fecha estimada de finalización
Prueba de funcionamiento de todo el equipo y correcciones	30/08/23
Armado de los prototipos	29/09/23

4.5 RIESGO

		GRAVEDAD (IMPACTO)					
		MUY BAJO	BAJO	MEDIO	ALTO	MUY ALTO	
APARICIÓN (probabilidad)	MUY ALTA	5	5	10	15	20	25
	ALTA	4	4	8	12	16	20
	MEDIA	3	3	6	9	12	15
	BAJA	2	2	4	6	8	12
	MUY BAJA	1	1	2	3	4	5





	Riesgo muy grave. Requiere medidas preventivas urgentes. No se debe iniciar el proyecto sin la aplicación de medidas preventivas urgentes y sin acotar sólidamente el riesgo.
	Riesgo importante. Medidas preventivas obligatorias. Se deben controlar fuertemente las variables de riesgo durante el proyecto.
	Riesgo apreciable. Estudiar económicamente si es posible introducir medidas preventivas para reducir el nivel de riesgo. Si no fuera posible, mantener las variables controladas.
	Riesgo marginal. Se vigilará aunque no requiere medidas preventivas de partida.

Figura 3 - Matriz de riesgo

	Aparición (Probabilidad)	Gravedad (Impacto)		
Disponibilidad de módulos para los respectivos sistemas embebidos.	4	5	20	Riesgo muy grave
Cambios en los requisitos.	3	4	12	Riesgo importante
Plazos de entrega de proveedores.	2	5	10	Riesgo importante
Problemas de presupuesto.	1	5	5	Riesgo apreciable



Riesgo	Mitigación
Disponibilidad de módulos para los respectivos sistemas embebidos	En caso faltante de alguna tecnología seleccionada, se optará por alguna alternativa.
Plazos de entrega de proveedores.	Se buscarán proveedores alternativos.
Problemas de presupuesto	En caso de problemas de presupuesto, se recurrirá a financiación propia.
Cambios en los requisitos	Se establecerá un periodo de tiempo para reunirse con el solicitante del proyecto, y revisar requisitos.



5 DESARROLLO DEL PROYECTO

5.1 DESARROLLO TÉCNICO

5.1.1 Introducción

El desarrollo del IoT a lo largo del tiempo, ha llevado a que prácticamente cualquier objeto pueda proporcionar información sobre su entorno, lo que ha impulsado el desarrollo de numerosas aplicaciones. Estos sistemas tienen una amplia gama de aplicaciones, entre las cuales encontramos la implementación en la agricultura de precisión. Con ello, se busca promover la eficiencia en el uso de los recursos, la sostenibilidad del sector agrícola y la preservación del medio ambiente. El enfoque particular que se pretende con la tecnología IoT, en este caso, está relacionado con la estructura de conducción de la vid. Se denomina sistema de conducción al método elegido para orientar el crecimiento de los sarmientos y ubicarlos convenientemente.

Existe una amplia variedad de materiales que pueden ser usados para el sostén de la viña; la práctica común en el campo ha sido seleccionar el material por costo inicial sin considerar la durabilidad y su costo por año de servicio, siguiendo con la tradición de la madera. La tendencia actual de modernización de viñedos y mecanización de la cosecha como herramientas de evolución hacia una viticultura económica, social y ambientalmente sostenible, requiere de instalaciones que soporten esfuerzos mecánicos adicionales. Y es aquí donde los postes galvanizados son una alternativa frente a la opción tradicional. Es un producto sencillo de fabricar, fácil de manipular e instalar y más liviano que los postes de madera, y reciclable. Todas características que podrían indicar una potencial reducción del impacto ambiental, algo que deberá estudiarse adecuadamente. Existe una amplia oferta a nivel internacional. De contar con postes fabricados en el país, el usuario sumaría la gran ventaja de solicitar combinaciones de acero/recubrimiento que cumpla con las exigencias de cada sitio de implantación.

Los postes de madera para viticultura están tratados con CCA (cromo, cobre y arsénico), lo que constituye un riesgo ambiental. Por ello, es que se pretende sustituirlos por acero galvanizado. Para ello se debe realizar un estudio de laboratorio del comportamiento de este material, lo que implica conocer ciertos parámetros físicos del lugar donde se va a instalar el poste. Esto representa un problema, que implica resolver la adquisición de datos de diferentes sensores y su transmisión a un lugar remoto para su monitoreo, para realizar dicho estudio en un laboratorio. El objetivo de este proyecto es, por tanto, diseñar un prototipo funcional de laboratorio, capaz de adquirir datos de sensores y transmitirlos a una ubicación remota para su monitorización.

Si bien la solución propuesta, contemplada en Proyecto Final, consiste en realizar solamente un prototipo. Esto no implica que, posteriormente y quedando fuera del proyecto, el trabajo no pueda ser mejorado para desplegar una serie de



nodos sensores. Esto es posible debido a que el mecanismo de comunicación implementado en los nodos permite que cada nodo pueda de comunicarse con otros hasta llegar a un servidor central (el coordinador en este caso). Esto posibilita abarcar grandes áreas, ofreciendo una gran cobertura.

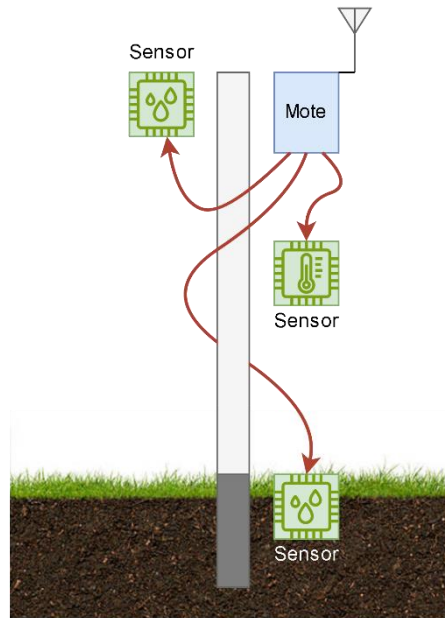


Figura 4 - Ilustración de Nodo Sensor

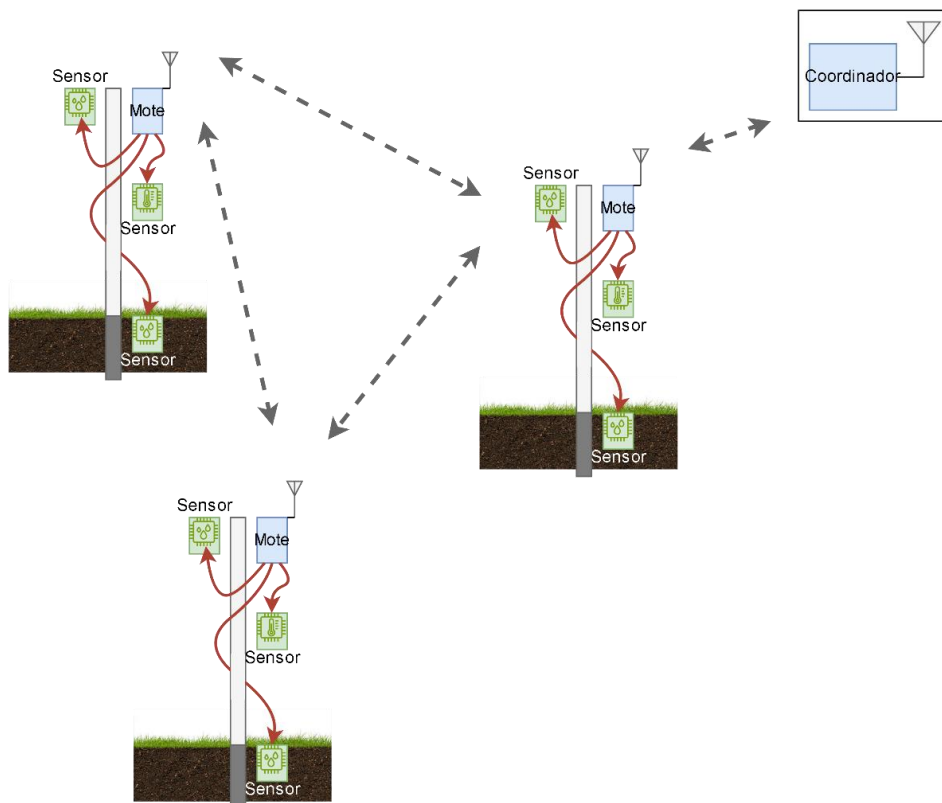


Figura 5 - Red de Nodos Sensores



5.1.2 Fundamentación del proyecto

El proyecto en sí se basa en las tecnologías implementadas en sensores inalámbricos, bajo el concepto de red de sensores inalámbrica (WSN – Wireless Sensor Network). WSN, hace referencia al conjunto de dispositivos autónomos, interconectados entre sí y distribuidos espacialmente en un entorno, capaces de tomar datos del medio, procesarlos y transmitirlos al resto de la red. En muchos casos, estos dispositivos son capaces tanto de captar información, como de actuar sobre el medio, es decir que además de sensores también pueden incluir actuadores.

Los elementos que constituyen las redes de sensores inalámbricas se denominan nodos (en nuestro caso Nodos Sensores). Estos nodos, generalmente están formados por: una batería o elementos que aportan la alimentación, un microcontrolador que se encarga del procesamiento, un módulo que se ocupa de la comunicación con el resto de los miembros de la red, un conjunto sensores y actuadores, además de todos los componentes que complementan a los principales y que son necesarios para el funcionamiento global.

5.1.2.1 Tecnología de comunicación

La comunicación inalámbrica del prototipo se realizó haciendo uso de la tecnología IPv6. Más específicamente, mediante el estándar 6LoWPAN, que combina el protocolo de Internet IPv6, con el estándar IEEE 802.15.4, utilizado en las redes de sensores inalámbricas (Low Power Personal Area Networks).

Ahora bien, el protocolo de Internet IPv6 ha sido diseñado para infraestructuras de Internet con un gran ancho de banda, ya que, de forma general, estas no presentan limitaciones en los protocolos de red debido a su gran capacidad de almacenamiento, su gran potencia de procesamiento y la alta cantidad de energía que tienen a su disposición (grandes baterías o conexión directa a la red eléctrica). En contraposición, los dispositivos que incluyen el estándar IEEE 802.15.4, están diseñados para aplicaciones con un flujo de datos muy bajo por lo que disponen de unos recursos muy limitados: memoria baja, capacidad de procesamiento muy reducida y consumo energético mínimo por lo que suelen tener una disponibilidad de energía baja.

Para unificar estos dos estándares, IETF (Internet Engineering Task Force) ha desarrollado el estándar 6LoWPAN, que permite la transmisión de paquetes IP en redes basadas en el estándar IEEE 802.15.4. IETF lo ha conseguido introduciendo una capa de adaptación entre las capas de enlace y de red, del modelo OSI y reestructurando el formato de los paquetes IPv6, para que la transmisión y procesamiento de los mismos sea mucho más sencilla y el consumo energético derivado mucho menor.

El hecho de poder hacer uso del IP, y específicamente de IPv6 ofrece varias ventajas:

- Las tecnologías basadas en IP ya existen, son bien conocidas, han demostrado que funcionan y están ampliamente disponible. Esto permite una adopción más fácil y económica, una buena interoperabilidad y un desarrollo más sencillo de la capa de aplicación.
- El uso de IPv6, específicamente, permite una gran cantidad de direcciones y proporciona una fácil autoconfiguración de parámetros de red. Esto es



primordial para 6LoWPAN donde se debe admitir una gran cantidad de dispositivos.

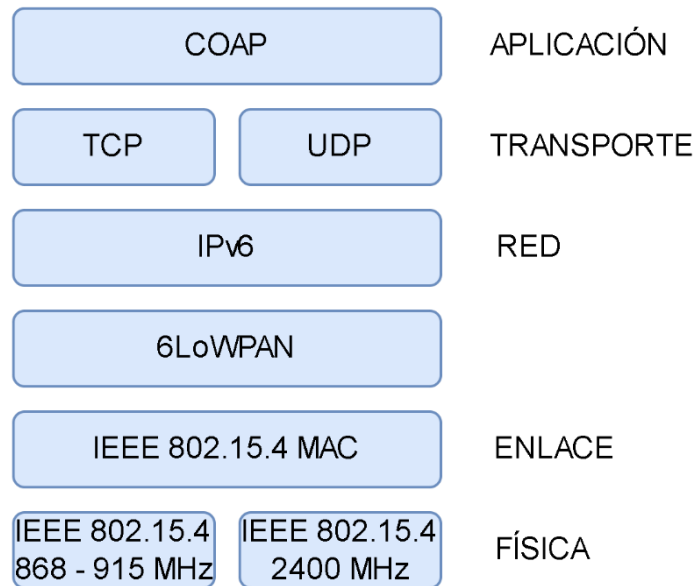


Figura 6 - Modelo de capas de los nodos

5.1.2.2 Configuraciones del estándar 6LoWPAN

Dentro del estándar 6LoWPAN podemos encontrar algunas configuraciones de trabajo:

- Simple LoWPAN: Un router de borde.
- Extended LoWPAN: Varios routers de borde compartiendo un enlace en común.
- Ad-hoc LoWPAN: No hay routers en la LowPAN.

En nuestro caso, haremos uso de una configuración Simple LoWPAN.

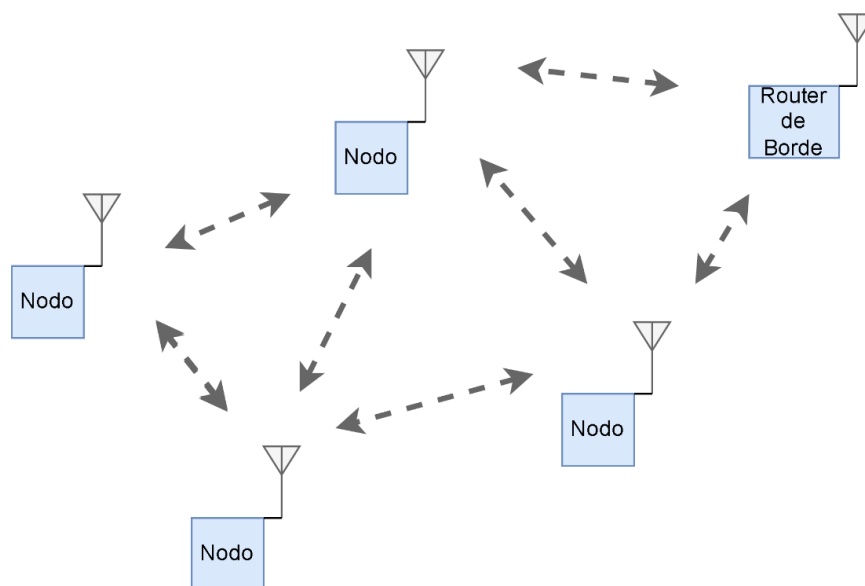


Figura 7 - Configuración Simple LoWPAN



El router de borde consiste nodo, que actúa como interfaz entre la red de nodos IPv6 y el exterior. A través del mismo, se realiza la comunicación con los nodos sensores, administra y registra los dispositivos, etc.

5.1.2.3 Coordinador

El coordinador, actúa como interfaz entre el equipo inalámbrico y la red de internet, es decir, que funciona como un Gateway. Además, se encarga de realizar las solicitudes de datos a los nodos sensores para luego ser almacenados en una base de datos, y posteriormente ser visualizados.

Podemos afirmar entonces, que el router de borde forma parte del bloque coordinador. La otra parte que trabaja en conjunto con el router de borde es un sistema embebido, por ej. un microcontrolador, que se encarga de realizar las solicitudes de datos, procesarlos y transmitirlos a la base de datos, entre otras cosas.

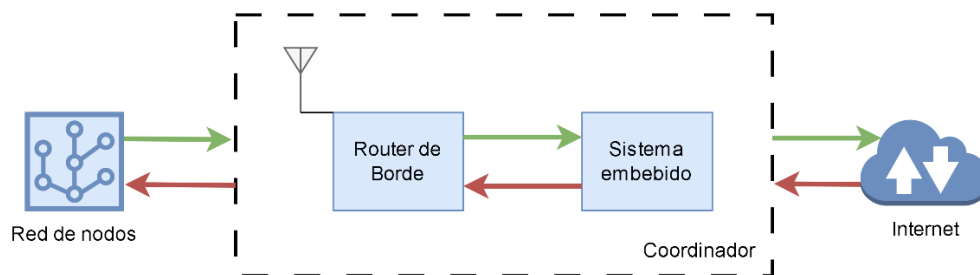


Figura 8 - Esquema conceptual del Coordinador

5.1.2.4 Solicitud y manejo de datos

Cada nodo sensor actúa como un pequeño servidor a cuál se le envía una solicitud (por ej. GET), realizada por el coordinador, de un determinado recurso (por ej. datos de sensores). Luego, el nodo se encarga de realizar de obtener el recurso solicitado y devolver una respuesta. Se define entonces, un modelo cliente-servidor. Para llevar a cabo este esquema de trabajo, se hará uso del protocolo CoAP. CoAP es un protocolo de la capa de aplicación del modelo OSI para dispositivos con recursos restringidos, orientado al internet de las cosas. Fue diseñado especialmente para trasladar el modelo de requests y responses de HTTP a dispositivos y redes con recursos limitados.

- Permite el intercambio de mensajes asíncronos, es decir que un mensaje puede llegar en cualquier momento.
- Posee una baja sobrecarga de datos asociados a cada paquete.
- Es simple de analizar con distintas herramientas, que permiten ver los tipos de mensajes enviados, sus valores y ejecutar análisis de datos.
- Es posible diseñar sus recursos de manera análoga a HTTP y tiene compatibilidad con la definición unificada de recursos (URI)

En CoAP, los dispositivos se dividen en dos roles principales: clientes y servidores. Los clientes envían solicitudes a los servidores, que luego responden con los datos solicitados o realizan acciones específicas. Las solicitudes y respuestas se intercambian



utilizando mensajes CoAP, que incluyen información sobre el tipo de solicitud (GET, POST, PUT, DELETE), la URI del recurso y otros parámetros relevantes.

CoAP utiliza mecanismos de transferencia confiable y no confiable según las necesidades de la aplicación. Para las transferencias confiables, se utiliza un mecanismo de confirmación similar a TCP, mientras que, para las transferencias no confiables, se utiliza el protocolo de datagramas de usuario (UDP) para minimizar la sobrecarga y el consumo de recursos.



Figura 9 - Modelo cliente-servidor CoAP

CoAP trabaja sobre la capa de transporte UDP, lo cual ahorra ancho de banda y hace que el protocolo sea más eficiente.

5.1.2.5 Entorno de trabajo

Existen varias plataformas y desarrollos de código abierto que permiten la implementación de los protocolos vistos hasta ahora. Dentro de las opciones disponibles se tienen, por mencionar algunas:

- Contiki
- Tiny OS
- Nano Stack

En nuestro caso, optaremos por Contiki. Contiki es un sistema operativo multiplataforma de código abierto para dispositivos IoT. Se centra en protocolos estándar y de comunicación confiables (seguros y fiables) de bajo consumo, como IPv6/6LoWPAN, 6TiSCH, RPL y CoAP.



Figura 10 - Logo de la plataforma Contiki

5.2 IMPLEMENTACIÓN

En las secciones anteriores se desarrollaron los fundamentos en los cuales se basa el proyecto. Ahora, se realizarán las pruebas básicas de funcionamiento que permitirán



realizar la implementación final del proyecto. Se comenzará inicialmente con el nodo sensor, luego se hará enfoque en el coordinador.

5.2.1 Nodo sensor

Inicialmente, se llevó cabo un estudio de la tecnología para la implementación de la comunicación inalámbrica del nodo sensor. Se propone para el estudio del prototipo, el microcontrolador Openmote CC2538 y su adaptador OpenUSB.

OpenMote es una placa que incorpora un SoC de TI que combina un microcontrolador ARM Cortex-M3 con una radio IEEE802.15.4 en 2,4 GHz, y permite aplicaciones tales como 6LoWPAN.



Figura 11 - OpenMote-CC2538

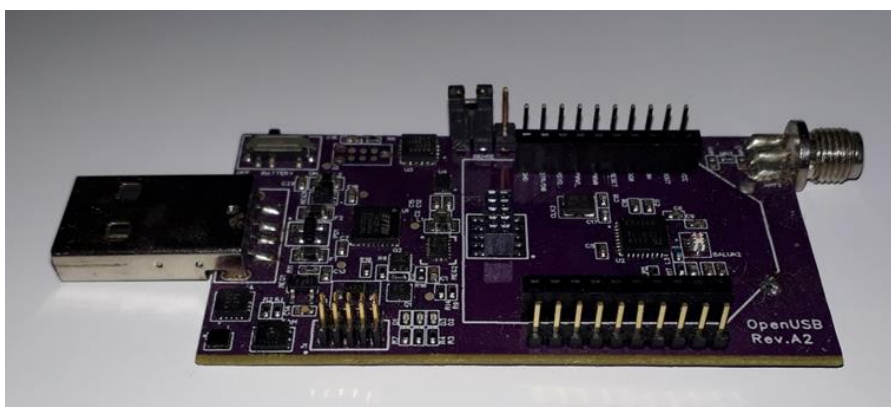


Figura 12 – OpenUSB

Cada placa Openmote formará parte del nodo sensor, encargándose de transmitir los datos de sensores. Es decir, actuarán como servidor CoAP, al cual se le hace una solicitud de datos.



5.2.1.1 Programación de la placa OpenMote

Posteriormente, se llevó a cabo el estudio del entorno de programación Contiki, que ofrece varias alternativas de instalación, en este caso se eligió instalar la cadena de herramientas de forma nativa en un entorno de desarrollo de Linux.

Contiki posee una estructura de organización, dentro de la cual podemos destacar la carpeta de sistema operativo, ejemplos y plataformas entre otras. Podemos observar entre las plataformas que soporta, la placa OpenMote-CC2538.

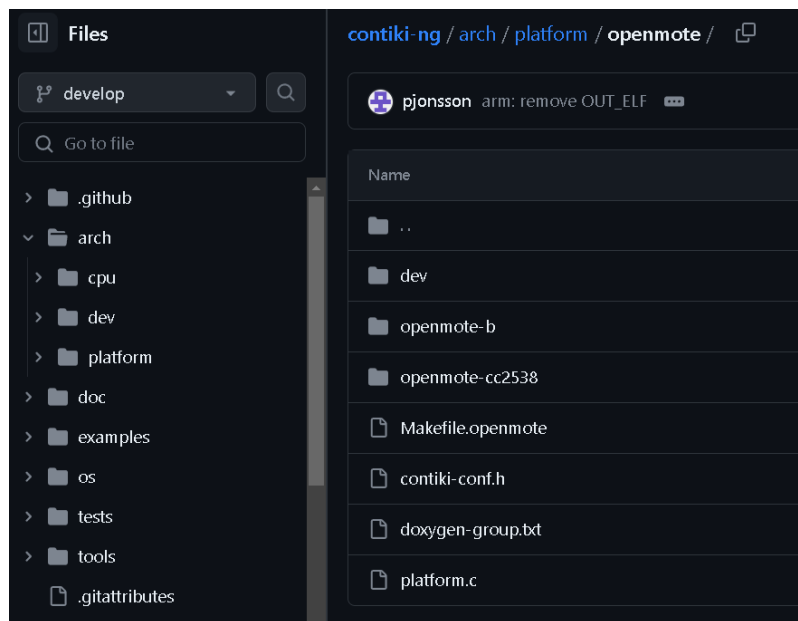


Figura 13 - Estructura del repositorio oficial de Contiki

En la Figura 14, se puede observar un programa de ejemplo para comprender la estructura general de programación.



```
40 #include "contiki.h"
41
42 #include <stdio.h> /* For printf() */
43 /*-----*/
44 PROCESS(hello_world_process, "Hello world process");
45 AUTOSTART_PROCESSES(&hello_world_process);
46 /*-----*/
47 PROCESS_THREAD(hello_world_process, ev, data)
48 {
49     static struct etimer timer;
50
51     PROCESS_BEGIN();
52
53     /* Setup a periodic timer that expires after 10 seconds. */
54     etimer_set(&timer, CLOCK_SECOND * 10);
55
56     while(1) {
57         printf("Hello, world\n");
58
59         /* Wait for the periodic timer to expire and then restart the timer. */
60         PROCESS_WAIT_EVENT_UNTIL(etimer_expired(&timer));
61         etimer_reset(&timer);
62     }
63
64     PROCESS_END();
65 }
66 /*-----*/
```

Figura 14 - Ejemplo básico de firmware

Las primeras interacciones consistieron en programar el microcontrolador para realizar lecturas de un sensor. Las pruebas se realizaron con el sensor de temperatura y humedad DHT11. Además, se utilizó un convertor de nivel lógico dado que los dispositivos funcionan con diferentes niveles de tensión.

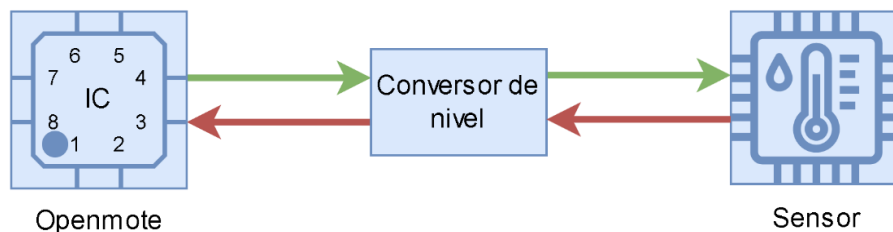


Figura 15 - Esquema Openmote-Sensor

Resultados:

```
Temperatura: 31.0 ; Humedad: 28.0
Temperatura: 31.0 ; Humedad: 28.0
Temperatura: 31.0 ; Humedad: 28.0
Temperatura: 31.0 ; Humedad: 28.0
Temperatura: 31.0 ; Humedad: 28.0
Temperatura: 31.1 ; Humedad: 28.0
Temperatura: 31.1 ; Humedad: 28.0
Temperatura: 31.1 ; Humedad: 28.0
Temperatura: 31.2 ; Humedad: 28.0
Temperatura: 31.2 ; Humedad: 28.0
Temperatura: 31.2 ; Humedad: 28.0
Temperatura: 31.2 ; Humedad: 28.0
Temperatura: 31.2 ; Humedad: 28.0
Temperatura: 31.2 ; Humedad: 28.0
Temperatura: 31.2 ; Humedad: 28.0
Temperatura: 31.1 ; Humedad: 28.0
```

Figura 16 - Datos impresos por consola



El siguiente paso fue realizar el firmware para que la placa funcione como servidor CoAP, implementando como recurso la lectura del sensor. Para realizar la prueba se requiere el módulo que actúa como coordinador para realizar la solicitud, por lo cual, el siguiente paso fue la implementación del mismo.

5.2.2 Coordinador

Recordando la Figura 6 – Esquema del coordinador, el módulo definido como router de borde se trata de otra placa Openmote. Recordemos que el router de borde actúa interfaz de la red de nodos y a través de este se realizan las consultas a los nodos sensores. El otro bloque dentro del esquema del coordinador que figura como sistema embebido es el encargado de entre otras cosas realizar las consultas a través del router de borde, es decir, de actuar como Cliente CoAP. Luego, este procesa los datos solicitados y los transmite a través de internet para ser almacenados. Para nuestra aplicación, se ha elegido una placa Raspberry Pi Model 3 B como sistema embebido.



Figura 17 - Raspberry Pi Model 3 B

Esta opción nos permite poder trabajar en un entorno Linux, lo cual, facilita el uso de las herramientas provistas por Contiki y demás necesarias para la comunicación y manejo de datos.

5.2.2.1 Implementación del coordinador

La vinculación del router de borde y la placa Raspberry Pi se realiza a través de la interfaz USB, como se muestra en la Figura 16.

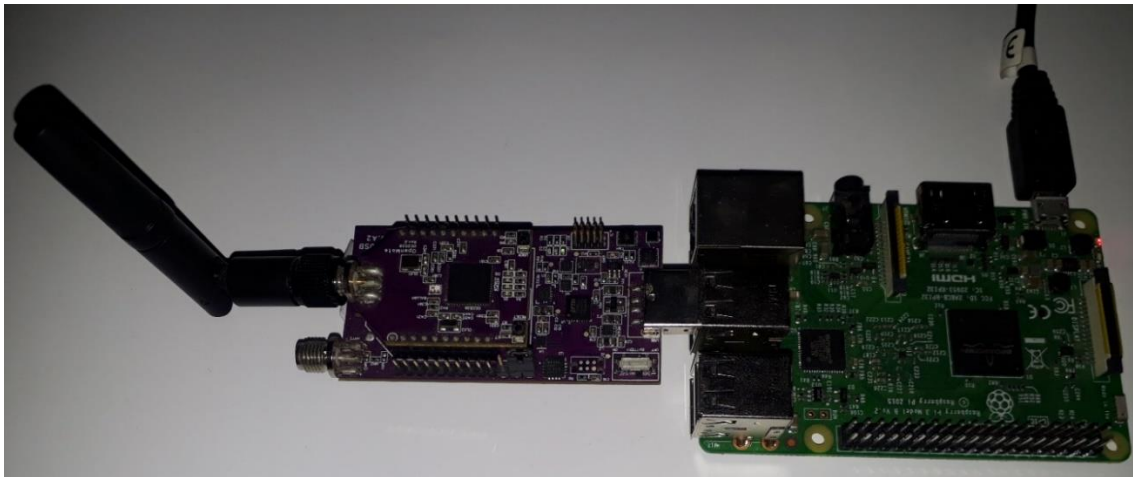


Figura 18 - Conexión Router de orde-Raspberry Pi

Para establecer la comunicación vía USB, Contiki provee una herramienta llamada Tunslip. Tunslip es una herramienta que se utiliza para unir el tráfico IP entre un host y otro elemento de red, generalmente un enrutador de borde, a través de una línea serial. Tunslip crea una interfaz de red virtual (tun) en el lado del host y utiliza SLIP (protocolo de Internet de línea serie) para encapsular y pasar tráfico IP hacia y desde el otro lado de la línea serie. El elemento de red que se encuentra al otro lado de la línea hace un trabajo similar con su interfaz de red. La interfaz tun se puede utilizar como cualquier interfaz de red real: enrutamiento, reenvío de tráfico, etc.

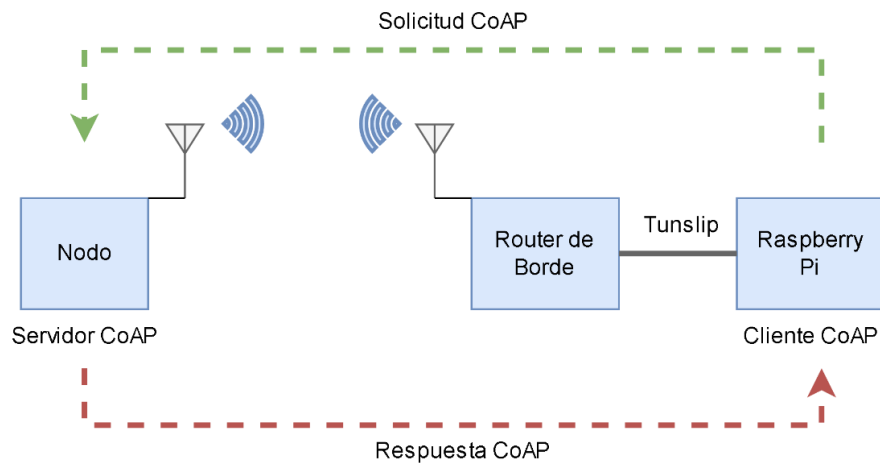


Figura 19 - Herramienta Tunslip

5.2.3 Etapa de pruebas

Instalado Contiki y conectado el router de borde en la Raspberry Pi, procedemos ejecutar Tunslip.



```
agustin@raspberrypi:~/contiki-ng/contiki-ng/tools/serial-io $ sudo ./tunslip6 fd00::1/64
*****SLIP started on ``/dev/ttyUSB0''
opened tun device ``/dev/tun0''
ifconfig tun0 inet `hostname` mtu 1500 up
ifconfig tun0 add fd00::1/64
ifconfig tun0 add fe80::0:0:0:1/64
ifconfig tun0

tun0: flags=4305<UP,POINTOPOINT,RUNNING,NOARP,MULTICAST> mtu 1500
    inet 127.0.1.1 netmask 255.255.255.255 destination 127.0.1.1
    inet6 fe80::91ba:995c:8e65:eee2 prefixlen 64 scopeid 0x20<link>
    inet6 fe80::1 prefixlen 64 scopeid 0x20<link>
    inet6 fd00::1 prefixlen 64 scopeid 0x0<global>
    unspec 00-00-00-00-00-00-00-00-00-00-00-00-00-00-00-00 txqueuelen 500 (UNSPEC)
    RX packets 0 bytes 0 (0.0 B)
    RX errors 0 dropped 0 overruns 0 frame 0
    TX packets 0 bytes 0 (0.0 B)
    TX errors 0 dropped 0 overruns 0 carrier 0 collisions 0

[INFO: BR      ] Waiting for prefix
*** Address:fd00::1 => fd00:0000:0000:0000
[INFO: BR      ] Waiting for prefix
[INFO: BR      ] Server IPv6 addresses:
[INFO: BR      ]   fd00::212:4b00:613:f56
[INFO: BR      ]   fe80::212:4b00:613:f56
```

Figura 20 - Tunslip en ejecución

Se comprueba que la conexión se estableció con éxito. También se puede observar la dirección IPv6 asignada en el router de borde. Una forma de comprobar la conexión es ejecutando ping6 a la dirección del router de borde.

```
agustin@raspberrypi:~ $ ping6 fd00::212:4b00:613:f56
PING fd00::212:4b00:613:f56(fd00::212:4b00:613:f56) 56 data bytes
64 bytes from fd00::212:4b00:613:f56: icmp_seq=1 ttl=64 time=32.4 ms
64 bytes from fd00::212:4b00:613:f56: icmp_seq=2 ttl=64 time=32.4 ms
64 bytes from fd00::212:4b00:613:f56: icmp_seq=3 ttl=64 time=32.3 ms
64 bytes from fd00::212:4b00:613:f56: icmp_seq=4 ttl=64 time=32.5 ms
64 bytes from fd00::212:4b00:613:f56: icmp_seq=5 ttl=64 time=32.5 ms
64 bytes from fd00::212:4b00:613:f56: icmp_seq=6 ttl=64 time=31.2 ms
64 bytes from fd00::212:4b00:613:f56: icmp_seq=7 ttl=64 time=32.7 ms
64 bytes from fd00::212:4b00:613:f56: icmp_seq=8 ttl=64 time=32.4 ms
64 bytes from fd00::212:4b00:613:f56: icmp_seq=9 ttl=64 time=32.4 ms
^C
--- fd00::212:4b00:613:f56 ping statistics ---
9 packets transmitted, 9 received, 0% packet loss, time 8013ms
rtt min/avg/max/mdev = 31.156/32.309/32.671/0.417 ms
agustin@raspberrypi:~ $
```

Figura 21 - Ejecución de ping6 a la dirección del Router de Borde

Verificada la conexión procedemos a realizar la primera prueba con un nodo servidor. Para ello, se utilizará la placa de prueba con el sensor en conjunto con la Raspberry PI y el Router de Borde, como se muestra en la Figura 22.

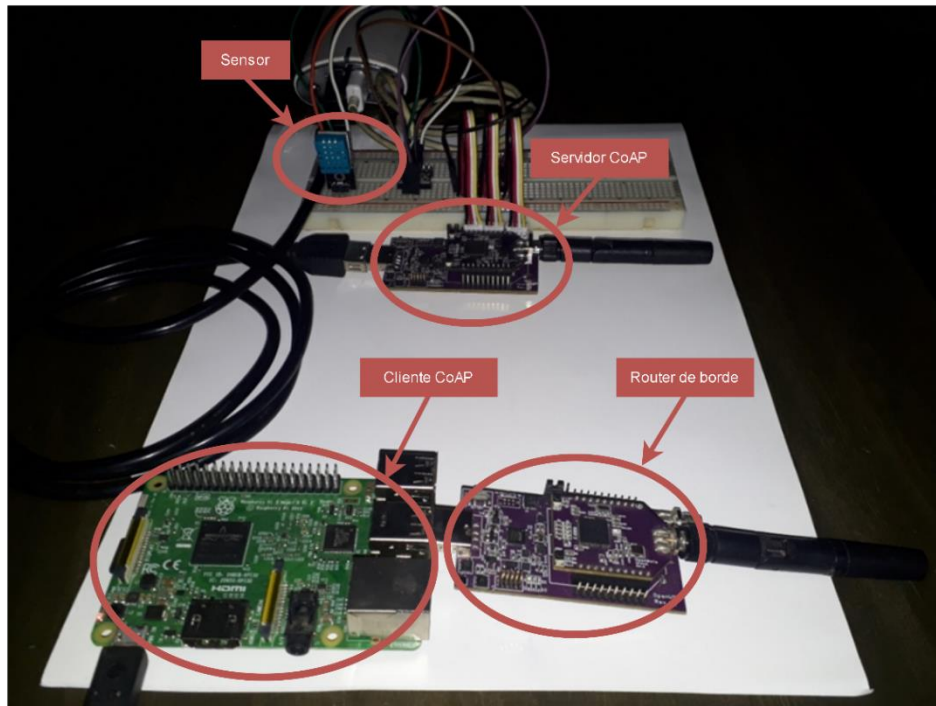


Figura 22 - Esquema de pruebas

Es importante destacar que Contiki utiliza RPL (Routing Protocol for Low Power and Lossy Networks), el cual es un protocolo de enrutamiento para redes inalámbricas de bajo consumo de energía y típicamente susceptibles a pérdidas de paquetes, que se implementa en la pila de red IPv6. Es un protocolo basado en vectores de distancia y opera sobre IEEE 802.15.4. Se basa en el modelo multisalto, en el que un nodo que transmite a la estación base, lo hace reenviando sus datos a uno de sus vecinos hasta que llega al destino. La información de enrutamiento se difunde a través de balizas de transmisión de forma no periódica.

Al encender el nodo servidor, este debe vincularse automáticamente con el router de borde. Para verificar la conexión, ejecutamos un ping6 a la dirección IPv6 del nodo servidor, que en este caso es: fd00::212:4b00:615:a4e9. Nota: la dirección IPv6 de los nodos se obtiene a partir de su dirección MAC.

Verificación la vinculación del nodo sensor:



```
agustin@raspberrypi:~ $ ping6 fd00::212:4b00:615:a4e9
PING fd00::212:4b00:615:a4e9(fd00::212:4b00:615:a4e9) 56 data bytes
64 bytes from fd00::212:4b00:615:a4e9: icmp_seq=1 ttl=63 time=73.4 ms
64 bytes from fd00::212:4b00:615:a4e9: icmp_seq=2 ttl=63 time=112 ms
64 bytes from fd00::212:4b00:615:a4e9: icmp_seq=3 ttl=63 time=92.0 ms
64 bytes from fd00::212:4b00:615:a4e9: icmp_seq=4 ttl=63 time=88.5 ms
64 bytes from fd00::212:4b00:615:a4e9: icmp_seq=5 ttl=63 time=52.9 ms
64 bytes from fd00::212:4b00:615:a4e9: icmp_seq=6 ttl=63 time=81.1 ms
64 bytes from fd00::212:4b00:615:a4e9: icmp_seq=7 ttl=63 time=77.4 ms
^C
--- fd00::212:4b00:615:a4e9 ping statistics ---
7 packets transmitted, 7 received, 0% packet loss, time 6003ms
rtt min/avg/max/mdev = 52.858/82.486/112.121/16.873 ms
agustin@raspberrypi:~ $
```

Figura 23 - Ejecución de ping6 a la dirección del nodo sensor

5.2.3.1 Ejecución del protocolo CoAP

El siguiente paso fue realizar consultas mediante el protocolo CoAP al nodo sensor. Para ello, se hizo uso de la herramienta Python, que cuenta recursos para el manejo de datos y protocolos tales como la librería aicoap, que implementa recursos para el manejo de CoAP.

Para la ejecución de una consulta, como Cliente CoAP, se hizo uso de la herramienta aicoap-client enviando una solicitud GET al nodo sensor. En este caso, el firmware del Servidor CoAP tiene cargado dos recursos, uno para realizar un test de prueba y otro que realiza la lectura de temperatura y humedad del sensor. Las pruebas se hicieron desde la terminal.

```
agustin@raspberrypi:~/aicoap $ ./aicoap-client coap://[fd00::212:4b00:615:a4e9]/test/hello
Hello World!
agustin@raspberrypi:~/aicoap $ |
```

Figura 24 - Solicitud y respuesta CoAP

Se comprueba que el nodo servidor devuelve una respuesta a la consulta realizada.

Se observa que la URI se conforma por:

- El esquema, que corresponde al protocolo CoAP
- La autoridad, que corresponde la dirección IPv6 del nodo servidor
- La ruta, muestra la ruta exacta al recurso. En este caso el recurso /test/hello

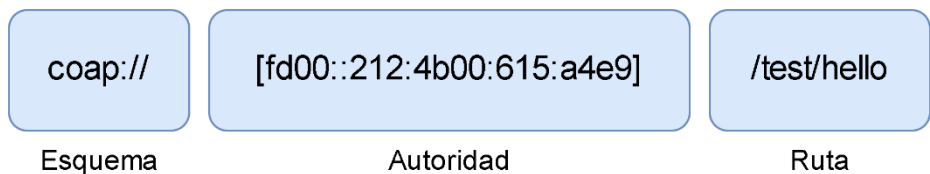


Figura 25 - URI CoAP



Solicitud de temperatura y humedad.

En la terminal: `./aiocoap-client coap://[fd00::212:4b00:615:a4e9]/sensors/dht11`

```
agustin@raspberrypi:~/aiocoap $ ./aiocoap-client coap://[fd00::212:4b00:615:a4e9]/sensors/dht11
30.9;25.0
agustin@raspberrypi:~/aiocoap $ ./aiocoap-client coap://[fd00::212:4b00:615:a4e9]/sensors/dht11
30.7;25.0
agustin@raspberrypi:~/aiocoap $ ./aiocoap-client coap://[fd00::212:4b00:615:a4e9]/sensors/dht11
31.1;26.0
agustin@raspberrypi:~/aiocoap $ ./aiocoap-client coap://[fd00::212:4b00:615:a4e9]/sensors/dht11
31.0;26.0
agustin@raspberrypi:~/aiocoap $ ./aiocoap-client coap://[fd00::212:4b00:615:a4e9]/sensors/dht11
31.1;26.0
agustin@raspberrypi:~/aiocoap $
```

Figura 26 - Solicitud CoAP de tempratura y humedad

Se corrobora con éxito la imprimación de comunicaciones. Cumplida esta etapa de prueba, lo siguiente es realizar el diseño de la base de datos.

5.2.4 Base de datos

En esta etapa se desarrolla la implementación de la base de datos, dónde se almacenan los datos recolectados de los nodos.

El procedimiento consiste en realizar consultas a los nodos como se vio anteriormente, pero de manera automática. Cuando el nodo envía una respuesta, en este caso el dato de un sensor, esta se almacena. Para llevar a cabo este proceso, se utiliza Python para realizar la consulta a los nodos a través de CoAP y almacenar estos datos en una base de datos relacional MySQL. Se aclara que la base de datos se encuentra en un servidor remoto, es decir, que lo datos se almacenan en un lugar distinto al coordinador.

MySQL es un sistema de administración de bases de datos relacionales. Es un software de código abierto desarrollado por Oracle. Entre sus ventajas podemos encontrar:

- Código abierto. Esto facilita su uso tanto académico como profesional.
- Uso multiplataforma.
- Escalabilidad. Tiene soporte para 40-50 millones de registros, 150.000-200.000 tablas y 5000 millones de filas.
- Tipos de datos. Soporta una amplia gama de tipos de datos, lo que permite tener una gran versatilidad en cuanto a las situaciones, industrias o casos de uso donde puede implementarse una base de datos MySQL.
- Amplio soporte para lenguajes de programación. Existe un amplio abanico de API nativas, librerías, paquetes, etc. que permiten integrar una base de datos MySQL en un sistema desarrollado en cualquier lenguaje de programación.



Figura 27 - Logo de MySQL

Se utilizó la herramienta MySQL Workbench para crear la base de datos, que consta de una tabla con 5 campos: identificador de sensor (idsensor), número de dato (numDato), fecha, temperatura y humedad. El paso siguiente, fue habilitar los permisos necesarios para poder insertar datos. Finalmente, se corrió el programa de Python que solicita datos a los sensores y los almacena en la base de datos.

```
async def main():
    protocol = await Context.create_client_context()

    request = Message(code=GET, uri='coap://[fd00::212:4b00:60d:7ff0]/sensors/dht11')

    try:
        response = await protocol.request(request).response
    except Exception as e:
        print('Failed to fetch resource:')
        print(e)
    else:
```

Figura 28 - Solicitud de datos desde Python

```
cursor = connection.cursor()
sql = "Insert into sensores (temperatura, humedad) values ('{}','{}').format(cadena[0], cadena[1])"
cursor.execute(sql)
connection.commit()
```

Figura 29 - Inserción de datos en la base de datos

Ejecución del programa:

```
agustin@raspberrypi:~ $ python3 clientGET.py
[31.5, 27.0]
[31.2, 27.0]
[31.2, 27.0]
[31.2, 27.0]
[31.3, 27.0]
[31.2, 27.0]
[31.3, 27.0]
[31.2, 27.0]
[31.3, 27.0]
[31.3, 27.0]
[31.3, 27.0]
[31.3, 27.0]
[31.3, 27.0]
[31.3, 27.0]
[31.3, 27.0]
[31.4, 27.0]
[31.4, 27.0]
```

Figura 30 - Solicitud y guardado



Se imprimen por terminal los datos de temperatura y humedad solicitados al nodo como se ve la Figura 29.

	idsensor	numData	fecha	temperatura	humedad
▶	1	93	2023-02-22 00:14:31	31.6	27
	1	92	2023-02-22 00:14:29	31.5	27
	1	91	2023-02-22 00:14:27	31.5	27
	1	90	2023-02-22 00:14:25	31.4	27
	1	89	2023-02-22 00:14:23	31.5	27
	1	88	2023-02-22 00:14:21	31.5	27
	1	87	2023-02-22 00:14:18	31.5	27
	1	86	2023-02-22 00:14:16	31.5	27
	1	85	2023-02-22 00:14:14	31.5	27
	1	84	2023-02-22 00:14:12	31.5	27
	1	83	2023-02-22 00:14:10	31.5	27
	1	82	2023-02-22 00:14:08	31.5	27
	1	81	2023-02-22 00:14:06	31.5	27
	1	80	2023-02-22 00:14:04	31.5	27
	1	79	2023-02-22 00:14:01	31.5	27
	1	78	2023-02-22 00:13:59	31.5	27
	1	77	2023-02-22 00:13:57	31.5	27
	1	76	2023-02-22 00:13:55	31.2	27
	1	75	2023-02-22 00:13:53	31.5	27
	1	74	2023-02-22 00:13:51	31.5	27
	1	73	2023-02-22 00:13:49	31.4	27
	1	72	2023-02-22 00:13:46	31.5	27

Figura 31 - Datos almacenados

5.2.5 Plataforma de visualización

En esta etapa se pretende implementar la plataforma de visualización de los datos almacenados. En primera instancia, se propone el uso de la herramienta Grafana. Grafana es una solución de monitoreo y análisis de código abierto para base de datos. Además, posee los complementos necesarios para poder vincularse con una base de datos MySQL.



Figura 32 - Logo de Grafana

Grafana ofrece toda la documentación necesaria para poder instalar los complementos MySQL y poder vincular la base de datos en cuestión. A continuación, se deja el enlace: <https://grafana.com/grafana/plugins/mysql/>.

Se presentan lo paneles de datos diseñados para esta etapa de pruebas:

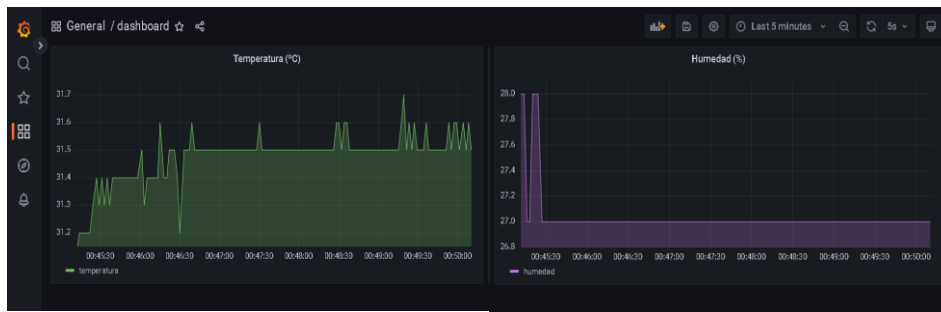


Figura 33 - Panel de temperatura y humedad

5.3 PROTOTIPO

Una vez realizadas las pruebas de funcionamiento se procedió al diseño del prototipo de laboratorio. Para ello, se definieron algunos puntos:

Nodo sensor

- Dada la posibilidad de integrar varios sensores, se optó por modularizar el diseño. Es decir, por un lado, un módulo de comunicaciones (en este caso el mote), y por otro un módulo encargado de realizar la adquisición de datos de los sensores.
- Módulo de energía
- El equipo será colocado dentro de una caja estanca, para luego ser adherido al poste.

Coordinador

- El conjunto (router de borde) y Raspberry Pi, serán colocados dentro de una caja estanca y ubicado en una posición estratégica respecto a los motes

Base de datos

- La base de datos será similar a la que se utilizó en las pruebas, pero la misma será implementada en el servidor de la UTN – FRM.

5.3.1 Nodo sensor

El prototipo de nodo sensor estará conformado por:

- Módulo de comunicaciones
- Módulo de adquisición de datos
- Módulo de energía
- Sensores

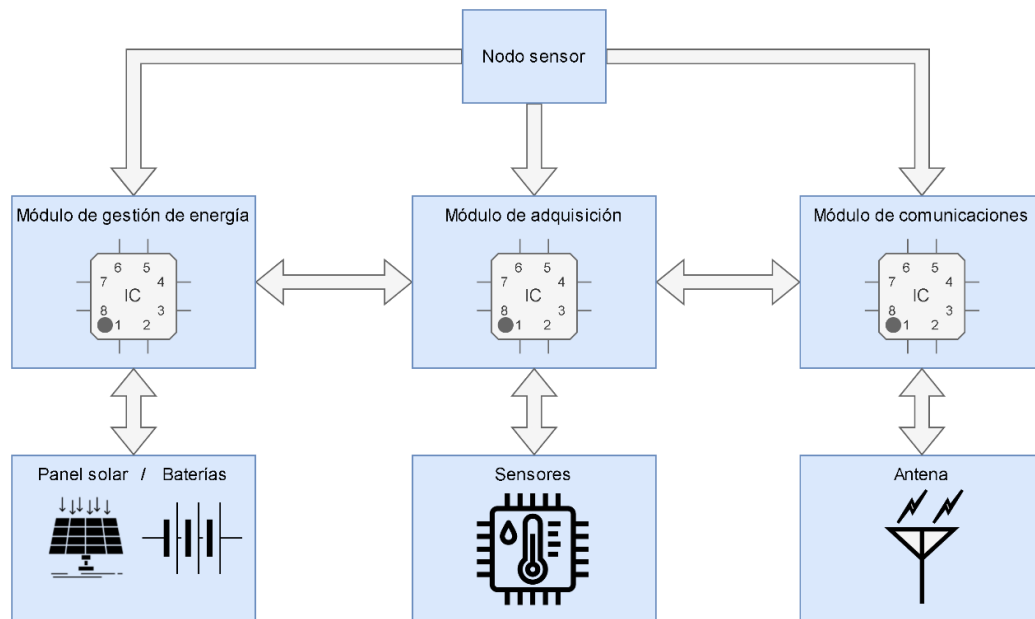


Figura 34 - Esquema de módulos del nodo sensor

5.3.1.1 Módulo de comunicaciones

El módulo de comunicaciones se conforma por la placa de comunicaciones Openmote-CC2538, manteniendo la implementación desarrollada anteriormente pero ahora modularizado la sección de adquisición de datos. Esto es, por un lado un módulo encargado de las comunicaciones y otro encargado de la adquisición de datos.

5.3.1.2 Módulo de adquisición

Si bien el microcontrolador Openmote posee algunas I/O de propósito general, estas podrían verse limitadas teniendo en cuenta la posibilidad de incluir más sensores en el nodo. Por ello, se decide incluir un microcontrolador encargado de realizar la adquisición de datos. Se propone Microcontrolador stm32f103 Blue Pill.



Figura 35 - Microcontrolador stm32 Blue Pill



Parámetros	Valores
Arquitectura	32 bit ARM Cortex M3
Voltaje de operación	3.3V
GPIOs	37
convertidores A/D de 12-bit	10
interfaces I2c	2
interfaces SPI	2
interfaces UART	3

Tabla 1 - Características técnicas Blue Pill

En primera instancia, se configura:

- Una interfaz UART para realizar el envío de datos a la placa Openmote-CC2538. El chip CC2538 trabaja a una tensión de 2,5V en comparación el microcontrolador Blue Pill que opera en 3,3V. Por lo anterior, se intercala un convertor de nivel entre las interfaces UART de cada microcontrolador



Figura 36 - Conversor de nivel lógico

- Una interfaz 1-wire para la comunicación con el sensor DHT11, cuyo voltaje de operación varía entre 3 y 5V.

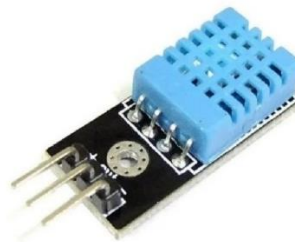


Figura 37 - Sensor DHT11



- Una entrada analógica para el sensor de humedad del suelo Decagon EC-5.



Figura 38 - Sensor de humedad del suelo

El sensor opera con voltajes de 2,5 a 3,6V, con un consumo de corriente máximo de 10 mA. Su salida varía entre del 10-40% el voltaje de alimentación, por lo cual este puede ser medido directamente con el ADC de la placa Blue Pill sin adaptación.

- Se definen dos entradas analógicas para la inclusión de sensores cuya salida analógica varíe en el rango de 0-5V. El ADC de la Blue Pill opera en hasta 3,3V de entrada, por lo tanto, se realiza una adaptación a partir de divisores resistivos.

Se muestra el esquema de interfaces:

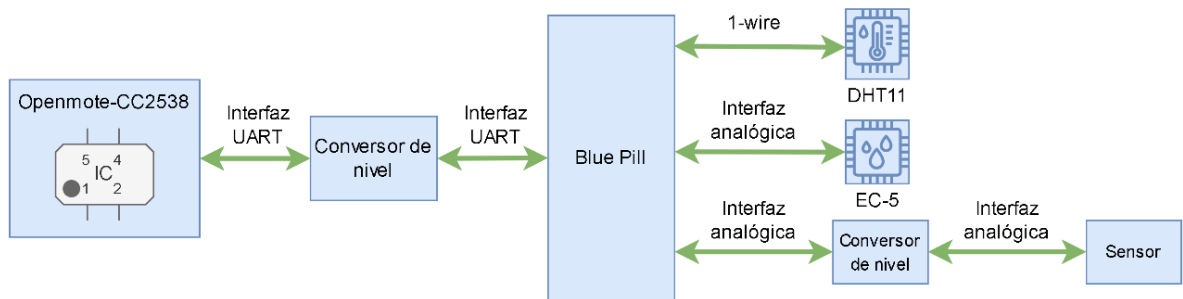


Figura 39 - Esquema de interfaces

Cabe aclarar la propuesta de módulo de adquisición tiene por finalidad poder escalar la cantidad de sensores, quedando la posibilidad de adaptar más entradas en función de los requerimientos futuros.

Al inicializarse el módulo de adquisición, este procese recolectar los datos correspondientes de los sensores, respetando los tiempos de establecimientos de los mismos. Una vez adquiridos, estos son enviados al módulo de comunicación.

5.3.1.3 Módulo de energía

El módulo de energía representa el conjunto módulo de almacenamiento de energía, módulo de administración de carga y módulo de panel solar.



El módulo de almacenamiento de energía

Se conforma de 6 baterías en paralelo 18650 de tensión nominal de trabajo de 3,7 V y 3000 mAh, dando un total de capacidad de 18000 mAh.



Figura 40 - Batería 18650

Módulo de administración de carga

El módulo de carga seleccionado se trata del chip CN3065.



Figura 41 - Módulo CN3065

El CN3065 carga baterías Li-ion y polímero de litio, obteniendo mayor potencia de panel solar y/o baterías recargables de 3.7V Lipo. Por defecto tiene una configuración para una corriente máxima de 1000 mA con un rango de voltaje de entrada de 6V a 4.4V.

Características:

- Tensión panel fotovoltaico: 4,4 – 6V (conector: SOLAR)
- Carga externa: conector microUSB a 5V (conector: microUSB)
- Batería: 1 celda LiPo (3,7V), corriente máxima de carga 500mA (conector: BAT IN)
- Salida: tensión de batería directa (conector: SYS OUT)

Dado que la salida de tensión de alimentación corresponde a la tensión directa de las baterías, se agrega para el caso de la Blue Pill y los sensores un regulador de tensión. Teniendo en cuenta que la tensión de alimentación de los dispositivos es de 3,3V, se selecciona el Regulador LDO AP2112-3.3.



Figura 42 - LDO AP2112-3.3



El AP2112 es un regulador lineal de baja caída de proceso CMOS que cuenta con un pin de habilitación de alimentación. El regulador es capaz de mantener la tensión estable para un consumo de hasta 600 mA de corriente de carga continua.

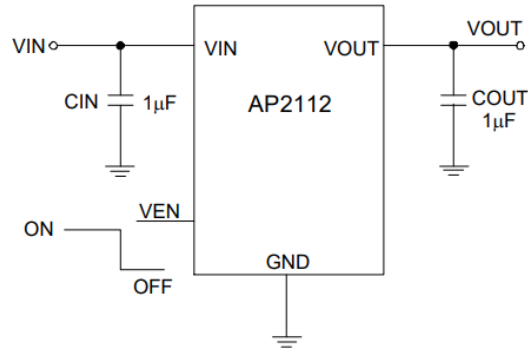


Figura 43 - Circuito de aplicación del AP2112

Características:

- Precisión del voltaje de salida: $\pm 1,5\%$
- Corriente de salida: 600 mA
- Protección de corriente corta plegable: 50 mA
- Habilitar la función para activar/desactivar VOUT
- Corriente de reposo baja: 55 μA (típ.)
- Corriente de espera baja: 0,01 μA (típ.)

El regulador presenta un pin de habilitación que se utiliza para el control de encendido del módulo de adquisición. Cuando la placa Openmote recibe la solicitud de datos, está habilita el encendido del módulo de adquisición que incluye tanto el microcontrolador como los sensores. De esta forma se ahorra consumo de energía.

En el caso de la placa Openmote-CC2538, se aprovecha el regulador de la placa OpenUSB.

5.3.1.4 Módulo de panel solar

El módulo de panel solar seleccionado es el Cnc130x150-5.



Figura 44 - Panel Solar Cnc130X150-5



Características:

- Panel solar de silicio policristalino epoxi
- Tensión nominal: 5V
- Corriente máxima: 500ma
- Potencia máxima: 2.5w

El bloque de energía se seleccionó a para a partir de las características del prototipo de prueba. Se aclara por lo tanto, que para implementaciones futuras tales como la escalabilidad de sensores cantidad de sensores, es importante tener él cuenta el consumo de los mismos, para lo cual, se deberán realizar las modificaciones que se requieran en el módulo de energía.

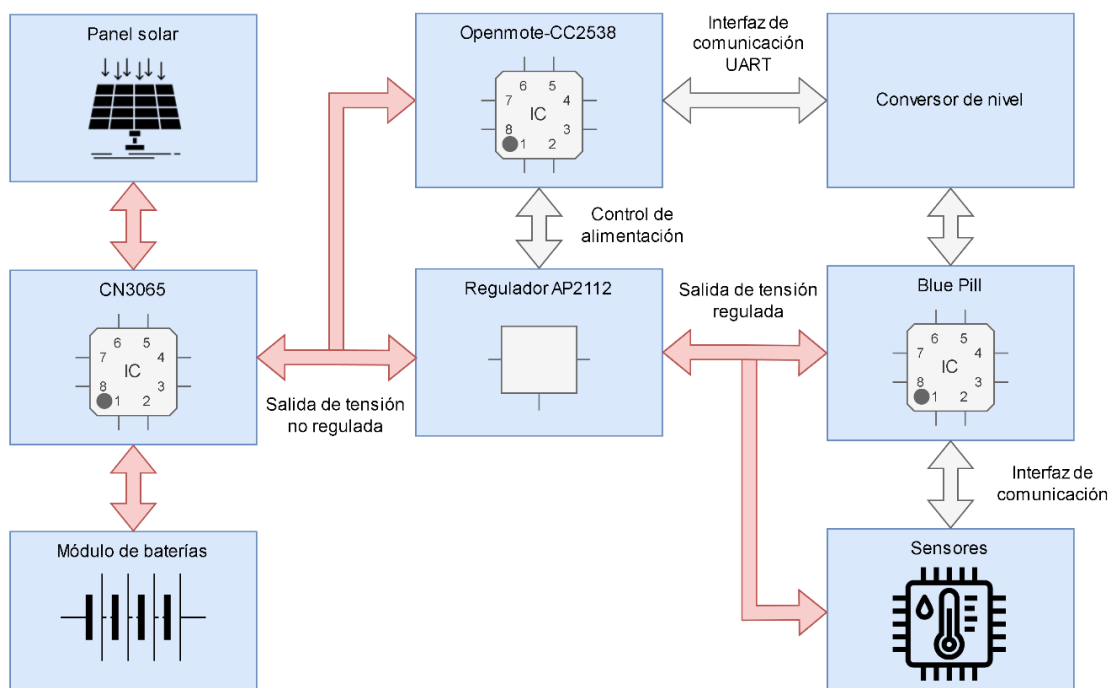


Figura 45 – Esquema final del Nodo Sensor

Inicialmente solo se encuentra en funcionamiento el módulo de comunicaciones, en este caso, el OpenMote – CC2538. Cuando se emite una solicitud CoaP desde el coordinador, el Openmote recibe esta solicitud y procede a encender el módulo de adquisición, esto es, microcontrolador Blue Pill y sensores. El encendido se realiza a través del regulador LDO de 3,3V, que provee la alimentación al módulo de adquisición. El regulador LDO posee un pin de habilitación el cual es manejado por el OpenMote, además también se toma alimentación de este regulador para los sensores. Una vez encendida la Blue Pill y los sensores, se realiza la lectura de los mismos y se envían estos datos al módulo de comunicaciones, para luego ser transmitidos al coordinador, luego, se vuelve a apagar todo el módulo de adquisición.



5.3.1.5 Armado del Nodo Sensor

Teniendo en cuenta que el prototipo puede tener modificaciones futuras como el agregado de sensores, se decidió en esta versión realizar el montaje de los componentes sobre una placa perforada. El sensor de humedad y temperatura fue introducido dentro de una carcasa de protección hecha en impresión 3D, el panel solar fue colocado en un soporte de impresión 3D. Luego, todo el sistema se colocó dentro de una caja estanca para realizar pruebas en el exterior.

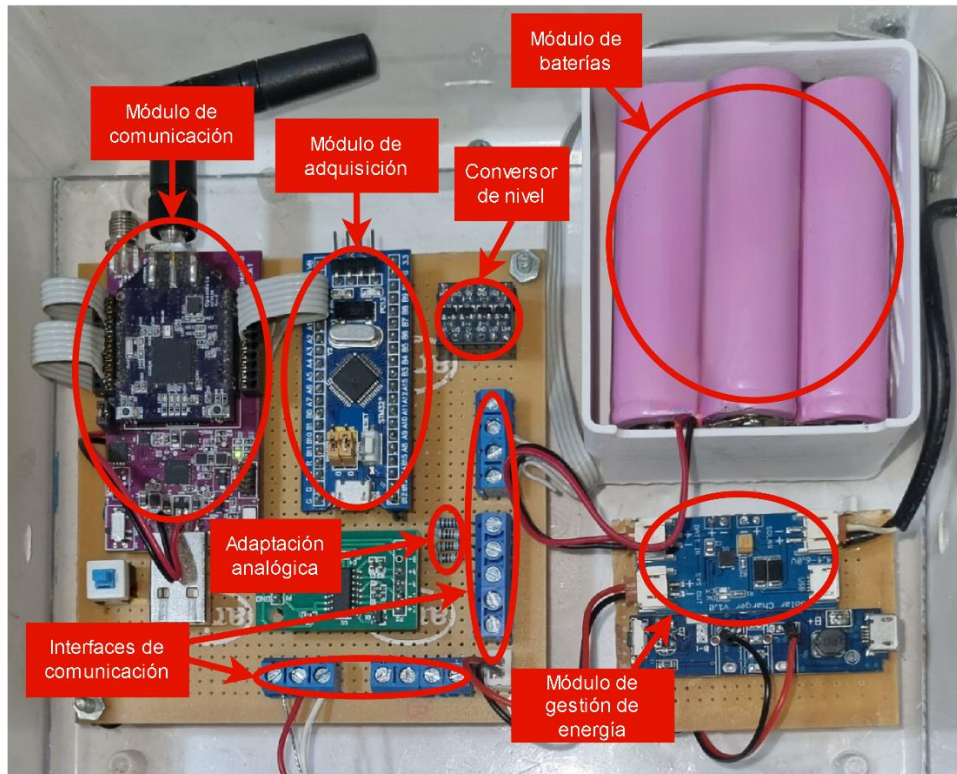


Figura 46 - Disposición de los módulos en prototipo

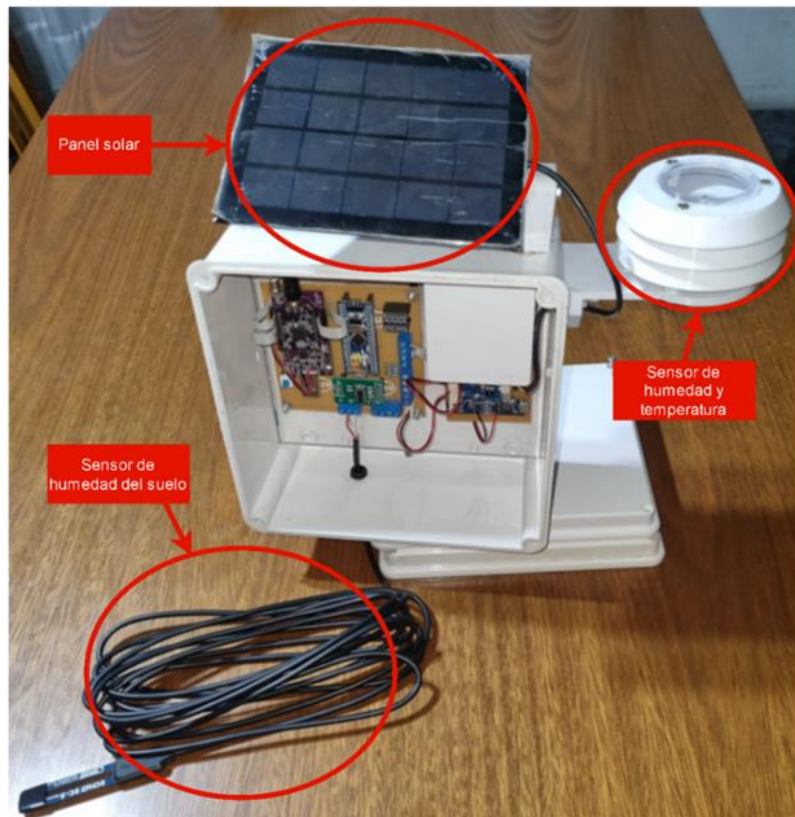


Figura 47 - Disposición de los módulos y sensores en el prototipo



5.3.2 Coordinador

En el coordinador se mantuvo el conjunto router de borde y Raspberry Pi, pero instalados dentro de una caja estanca con una fuente de alimentación, para poder realizar pruebas exteriores. Respecto al firmware, también se mantuvo el mismo implementado en las primeras etapas para realizar solicitudes de forma automática.

El coordinador estará conformado por:

- Módulo de comunicaciones
- Módulo de procesamiento
- Módulo de alimentación

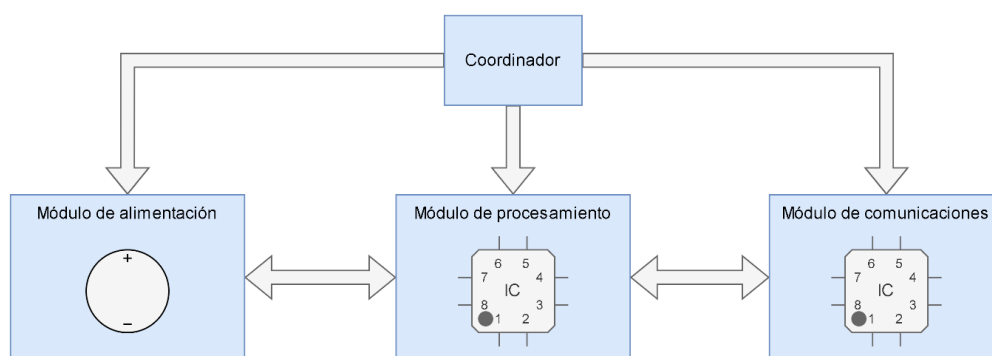


Figura 48 - Esquema del coordinador

5.3.2.1 Módulo de comunicación

Este está representado por la placa Openmote-CC2538 que actúa como router de borde.

5.3.2.2 Módulo de procesamiento

Este está representado por la placa Raspberry Pi que actúa como cliente CoAP.

5.3.2.3 Módulo de alimentación

En el módulo de alimentación se utilizó una fuente de alimentación de 12V – 5 A en conjunto con un módulo Step-down Lm2596 para realizar el ajuste a la tensión de alimentación de la placa Raspberry Pi.



Figura 49 - Fuente de alimentación y Step-Down LM2596

5.3.2.4 Armado del coordinador

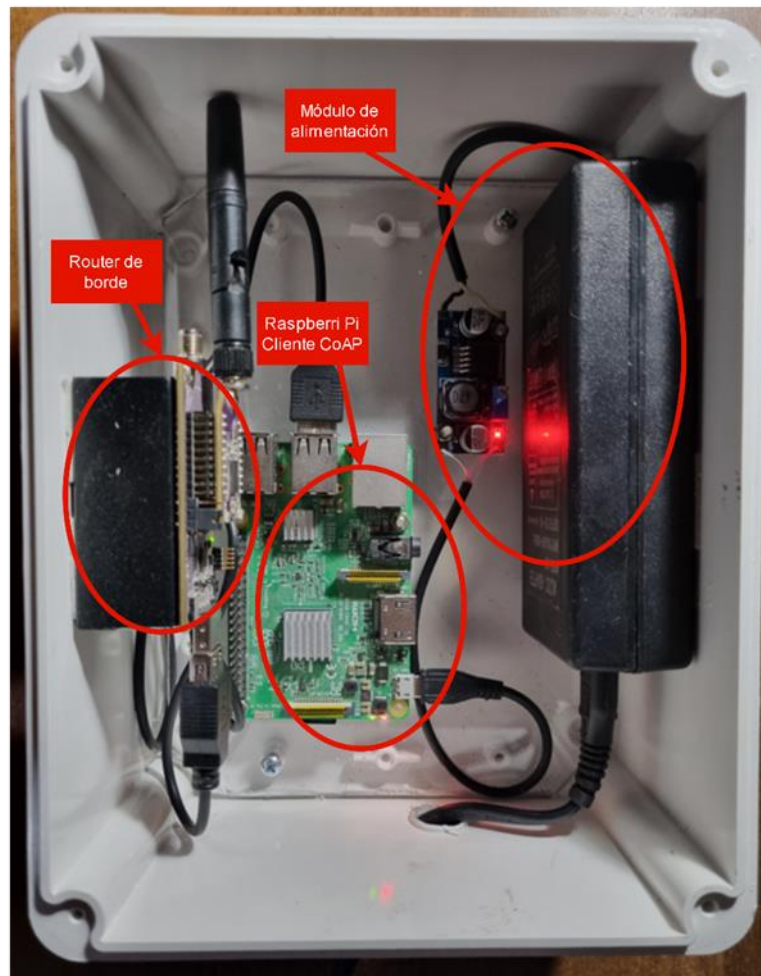


Figura 50 - Implementación del prototipo Coordinador

5.3.3 Base de datos

La base de datos mantuvo la implementación explicada en la sección 5.2.4, con la diferencia que la misma se implementó en el servidor de la UTN – Facultad Regional Mendoza.

5.3.4 Visualización de datos

Se mantuvo el uso de la herramienta Grafana para la visualización de datos, realizando mejoras en el formato de visualización del panel.



Figura 51 - Panel de visualización

5.4 FACTIBILIDAD ECONÓMICA

Para el cálculo de la factibilidad económica, se tuvieron los siguientes supuestos:

- Se considerará un horizonte de evaluación de 5 años
- El producto estará compuesto por 4 Nodos Sensores y un Coordinador
- El precio de venta del producto es de 2060 USD
- Dentro de los costos fijos se consideran los servicios básicos (Luz, Agua, etc.) y alquiler. Todo lo referido a marketing, ventas, etc. es realizado por la persona a cargo del proyecto
- Se cobrará el 50% del precio del producto al realizar la compra y el otro 50% 30 días después
- El equipo se produce en el mismo mes donde se ejecuta la compra
- Para el cálculo se toma una tasa de interés del 12%



5.4.1 Flujo de caja para VAN = 0

Flujo de caja	0	1	2	3	4	5
Unidades vendidas		1	1	1	1	1
Ingreso		\$ 2.060	\$ 2.060	\$ 2.060	\$ 2.060	\$ 2.060
Precio unitario		\$ 2.060	\$ 2.060	\$ 2.060	\$ 2.060	\$ 2.060
Costos fijos						
Total costos fijos		\$ 600	\$ 600	\$ 600	\$ 600	\$ 600
Costos variables						
Costo de venta del producto		\$ 1.060	\$ 1.060	\$ 1.060	\$ 1.060	\$ 1.060
Herramientas e instrumentos	\$ 100	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Equipos electrónicos	\$ 200	\$ -	\$ -	\$ 200	\$ -	\$ -
Costos variables totales		\$ 1.060	\$ 1.060	\$ 1.260	\$ 1.060	\$ 1.060
Depreciación herramientas		\$ 87	\$ 87	\$ 87	\$ 87	\$ 87
Utilidad antes de impuestos		\$ 313	\$ 313	\$ 113	\$ 313	\$ 313
Impuesto a las ganancias (35%)		\$ 110	\$ 110	\$ 40	\$ 110	\$ 110
Utilidad después de impuestos		\$ 204	\$ 204	\$ 74	\$ 204	\$ 204
Depreciación herramientas		\$ 87	\$ 87	\$ 87	\$ 87	\$ 87
Inversión inicial						
Herramientas y equipos electrónicos	\$ -300					
Capital de trabajo	\$ -276					
Recuperación capital de trabajo						\$ 276
Valor de desecho						\$ -
Flujo del proyecto	\$ -576	\$ 290	\$ 290	\$ 160	\$ 290	\$ 566

Tasa de interés	12%
VAN	\$ 535
TIR	42%

Figura 52 - Flujo de caja para VAN=0, VAN y TIR

Para el cálculo de VAN = 0, el precio de venta del producto fue de 2060 USD para cada año. La cantidad de ventas realizadas para cada año fue de 1 producto.

5.4.2 Capital de trabajo para VAN = 0

INGRESO MENSUAL AÑO UNO	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Precio de venta	\$2.060,00	\$2.060,00	\$2.060,00	\$2.060,00	\$2.060,00	\$2.060,00	\$2.060,00	\$2.060,00	\$2.060,00	\$2.060,00	\$2.060,00	\$2.060,00
Unidades vendidas	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Total de ventas	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$2.060,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00
Realización del cobro												
Cobro al momento de la compra	50%	\$0,00	\$0,00	\$1.030,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00
Cobro 30 días después de la compra	50%	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$1.030,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00
Ingreso total	0	0	0	1030	1030	0	0	0	0	0	0	0
PRODUCCIÓN												
Stock	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ventas	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Producción Mensual	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
EGRESOS												
Costos Fijos	12	\$50,00	\$50,00	\$50,00	\$50,00	\$50,00	\$50,00	\$50,00	\$50,00	\$50,00	\$50,00	\$50,00
Costos de Fabricación		\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$1.060,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00
Egreso total	\$50,00	\$50,00	\$50,00	\$1.110,00	\$50,00	\$50,00	\$50,00	\$50,00	\$50,00	\$50,00	\$50,00	\$50,00
CAPITAL DE TRABAJO												
Ingresos	0	0	0	1030	1030	0	0	0	0	0	0	0
Egresos	\$50,00	\$50,00	\$50,00	\$1.110,00	\$50,00	\$50,00	\$50,00	\$50,00	\$50,00	\$50,00	\$50,00	\$50,00
Acumulado	-\$50,00	-\$100,00	-\$150,00	-\$230,00	\$750,00	\$700,00	\$650,00	\$600,00	\$550,00	\$500,00	\$450,00	\$400,00
Máximo Acumulado	-\$230,00											
VERIFICACIÓN DEL CAPITAL DE TRABAJO												
Ingresos	0	\$230,00	0	0	1030	1030	0	0	0	0	0	0
Egresos	0	50	50	50	1110	50	50	50	50	50	50	50
Acumulado	0	\$180,00	\$130,00	\$80,00	\$0,00	\$980,00	\$930,00	\$880,00	\$830,00	\$780,00	\$730,00	\$680,00

CAPITAL DE TRABAJO SIN MARGEN		\$230,00
CAPITAL DE TRABAJO CON MARGEN	1,2	\$276,00

Figura 53 - Capital de trabajo para VAN = 0



5.4.3 Cálculo para VAN > 0

5.4.3.1 Flujo de caja para VAN > 0

Para el cálculo realizado en VAN > 0, el supuesto de ventas se basa en el área de “Agricultura de Precisión”. La agricultura de precisión se refiere a un sistema que mejora la calidad del suelo y aumenta el rendimiento de los cultivos mediante el uso de herramientas y sensores.

“Las voces de los expertos aseguran que en Argentina existe mucha innovación y que, a ojos del mundo, somos referentes. Argentina se encuentra realmente muy bien posicionada. A pesar de todos los problemas que podemos llegar a tener, en incorporación de tecnología, innovaciones y Agricultura de Precisión, estamos en el 3° lugar del mundo”. – Nota periodística: “Argentina, uno de los países más avanzados en Agricultura de Precisión” [1]

“Dentro de la Industria nacional hasta la actualidad, la agricultura de precisión no ha parado de crecer y de dar saltos tecnológicos.” – Nota periodística: “Agricultura de precisión: una revolución que cumple 25 años” [2]

A partir de lo investigado, podemos destacar que la agricultura de precisión tiene gran impacto en la actividad agrícola, por lo cual se considera que la demanda de productos y servicios en esta área es elevada. Pero ello, el cálculo de VAN>0 se realizó bajo el supuesto de las siguientes ventas, que se pueden observar en el flujo de caja, unidades vendidas.

Flujo de caja	0	1	2	3	4	5
Unidades vendidas		1	2	3	3	4
Ingreso		\$ 2.060	\$ 4.120	\$ 6.180	\$ 6.180	\$ 8.240
Precio unitario		\$ 2.060	\$ 2.060	\$ 2.060	\$ 2.060	\$ 2.060
Costos fijos						
Total costos fijos		\$ 600	\$ 600	\$ 600	\$ 600	\$ 600
Costos variables						
Costo de venta del producto		\$ 1.060	\$ 1.060	\$ 1.060	\$ 1.060	\$ 1.060
Herramientas e instrumentos	\$ 200	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Equipos electrónicos	\$ 300	\$ -	\$ -	\$ 300	\$ -	\$ -
Costos variables totales		\$ 1.060	\$ 1.060	\$ 1.360	\$ 1.060	\$ 1.060
Depreciación herramientas		\$ 140	\$ 140	\$ 140	\$ 140	\$ 140
Utilidad antes de impuestos		\$ 260	\$ 2.320	\$ 4.080	\$ 4.380	\$ 6.440
Impuesto a las ganancias (35%)		\$ 91	\$ 812	\$ 1.428	\$ 1.533	\$ 2.254
Utilidad después de impuestos		\$ 169	\$ 1.508	\$ 2.652	\$ 2.847	\$ 4.186
Depreciación herramientas		\$ 140	\$ 140	\$ 140	\$ 140	\$ 140
Inversión inicial						
Herramientas y equipos electrónicos	\$ -500					
Capital de trabajo	\$ -156					
Recuperación capital de trabajo						\$ 156
Valor de desecho						\$ -
Flujo del proyecto	\$ -656	\$ 309	\$ 1.648	\$ 2.792	\$ 2.987	\$ 4.482

Figura 54 - Flujo de caja para VAN>0

Para el cálculo de VAN > 0, el precio de venta del producto fue de 2060 USD para cada año. La cantidad de ventas realizadas para cada año fue de 1 producto, para el año 2



fue 2 productos, para el año 3 fue 3 productos, para el año 4 fue 3 productos y para el año 5 fue 4 productos.

5.4.3.2 Capital de trabajo para VAN > 0

INGRESO MENSUAL AÑO UNO	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Precio de venta	\$2.060,00	\$2.060,00	\$2.060,00	\$2.060,00	\$2.060,00	\$2.060,00	\$2.060,00	\$2.060,00	\$2.060,00	\$2.060,00	\$2.060,00	\$2.060,00
Unidades vendidas	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
Total de ventas	\$0,00	\$2.060,00	\$0,00	\$2.060,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$2.060,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00
Realización del cobro												
Cobro al momento de la compra	50%	\$0,00	\$1.030,00	\$0,00	\$1.030,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$1.030,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00
Cobro 30 días después de la compra	50%	\$0,00	\$0,00	\$1.030,00	\$0,00	\$1.030,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$1.030,00	\$0,00	\$0,00
Ingreso total	0	1030	1030	1030	1030	0	0	0	1030	1030	0	0
PRODUCCIÓN												
Stock	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ventas	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
Producción Mensual	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
EGRESOS												
Costos Fijos	12	\$50,00	\$50,00	\$50,00	\$50,00	\$50,00	\$50,00	\$50,00	\$50,00	\$50,00	\$50,00	\$50,00
Costos de Fabricación		\$0,00	\$1.060,00	\$0,00	\$1.060,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$1.060,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00
Egreso total		\$50,00	\$1.110,00	\$50,00	\$1.110,00	\$50,00	\$50,00	\$50,00	\$1.110,00	\$50,00	\$50,00	\$50,00
CAPITAL DE TRABAJO												
Ingresos		0	1030	1030	1030	1030	0	0	1030	1030	0	0
Egresos		\$50,00	\$1.110,00	\$50,00	\$1.110,00	\$50,00	\$50,00	\$50,00	\$1.110,00	\$50,00	\$50,00	\$50,00
Acumulado		-\$50,00	-\$130,00	\$850,00	\$770,00	\$1.750,00	\$1.700,00	\$1.650,00	\$1.600,00	\$1.520,00	\$2.500,00	\$2.450,00
Máximo Acumulado		-\$130,00										
VERIFICACIÓN DEL CAPITAL DE TRABAJO												
Ingresos	0	\$130,00	1030	1030	1030	1030	0	0	1030	1030	0	0
Egresos	0	50	1110	50	1110	50	50	50	1110	50	50	50
Acumulado	0	\$80,00	\$0,00	\$980,00	\$900,00	\$1.880,00	\$1.830,00	\$1.780,00	\$1.730,00	\$1.650,00	\$2.630,00	\$2.580,00

CAPITAL DE TRABAJO SIN MARGEN		\$130,00
CAPITAL DE TRABAJO CON MARGEN	1,2	\$156,00

Figura 55 - Capital de trabajo para VAN > 0

5.4.3.3 Aproximación al valor actual neto

Tasa de interés	12%
VAN	\$ 7.362

Figura 56 - Cálculo de VAN>0

5.4.4 Tasa interna de retorno

TIR	155%
------------	-------------

Figura 57 - Cálculo de TIR para el caso de VAN>0

5.4.5 Payback o plazo de recuperación

PRI		
PERIODO	FLUJO	ACUMULADO
0	\$ -656	
1	\$ 309	\$ 309
2	\$ 1.648	\$ 1.957
3	\$ 2.792	\$ 4.749
4	\$ 2.987	\$ 7.736
5	\$ 4.482	\$ 12.218

PRI	1,18 años
------------	------------------

Figura 58 - Playback para VAN>0



5.4.6 Productos y servicios de otros fabricantes

Si bien, en el mercado existen equipos que permiten el monitoreo de parámetros, la mayoría de estos productos son importados, lo cual que puede generar una dificultad al momento de adquirirlos además los altos costos que podrían tener. Por otro lado, estos productos, en su mayoría, se limitan a trabajar con sus propios accesorios lo cual impediría poder adaptar sensores de distintos tipos y/o variedades.

Como ejemplo, podemos considerar la empresa Plantae® la cual ofrece un producto similar al proyecto propuesto por un costo de 1024 USD:

- 1 Hub/Receptor de datos con batería propia y placa solar o 220v
- 2 sondas de humedad en suelo, conductividad en suelo y temperatura superficial



Figura 59 - Producto de la empresa Plantae

Otro producto similar es la Estación de Monitoreo HOB0 MicroRX por un costo 2500 USD:

- La estación MicroRX ofrece un monitoreo ambiental que permite hasta 5 sensores inteligentes



Figura 60 - HOB0 MicroRX



Comparando nuestro prototipo con los productos anteriores, podemos considerarlo rentable desde el punto que estamos ofreciendo un equipo receptor con cuatro nodos sensores por un costo de 2060 USD. Esto considerando que los nodos sensores pueden adaptarse con distintos sensores sin limitarse a un fabricante en específico.

6 CONCLUSIONES Y ANEXOS

En función de lo desarrollado se puede concluir, que, si bien se el proyecto surge a partir de una problemática específica esto no implica que no puede ser trasladado a otras áreas de trabajo. Si bien esto requiere modificaciones en el prototipo, existen muchas aplicaciones en el mundo IoT que requieren que implementan esquemas similares de recolección de datos, almacenamiento y visualización, no limitándose a la agricultura de precisión.

Por otro lado, el uso tecnología IPv6 nos brinda la posibilidad de poder desplegar una gran cantidad de sensores con sus propias direcciones IP, permitiendo la conectividad de extremo a extremo. Si bien, es cierto que nos encontramos en un proceso de transición a la tecnología IPv6, en un futuro las aplicaciones vistas tendrán mayor posibilidad de impacto en el mundo IoT.

7 BIBLIOGRAFÍAS Y REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Expoagro Edición YPF agro. (05/01/2023). Argentina, uno de los países más avanzados en Agricultura de Precisión. <https://www.expoagro.com.ar/argentina-uno-de-los-paises-mas-avanzados-en-agricultura-de-precision/>
- [2] ALTINA®. (20/01/2021). Agricultura de precisión: una revolución que cumple 25 años. <https://www.altina.com.ar/agricultura-de-precision-una-revolucion-que-cumple-25-anos/>
- [3] George Oikonomou, Simon Duquennoy, Atis Elsts, Joakim Eriksson, Yasuyuki Tanaka, Nicolas Tsiftes, "The Contiki-NG open source operating system for next generation IoT devices", *SoftwareX*, 18, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.softx.2022.101089>.
- [4] ANRG. (2016). Contiki Development at ANRG, University of Southern California. https://anrg.usc.edu/contiki/index.php/Main_Page
- [5] Texas Instruments Incorporated. (1995-2023). CC2538. <https://www.ti.com/product/es-mx/CC2538>
- [6] Agustin Bassi. (2021). Introducción al protocolo CoAP. https://www.gotoiot.com/pages/articles/coap_intro/index.html
- [7] IEEE. (2020-07-23). IEEE Standard for Low-Rate Wireless Networks. <https://standards.ieee.org/ieee/802.15.4/7029/>
- [8] IETF Ted Lemon. (2005). IPv6 over Low power WPAN. <https://datatracker.ietf.org/wg/6lowpan/charter/>
- [9] RIOT. (2023). Blackpill and Bluepill common cod. https://api.riot-os.org/group_boards_common_blxxxpill.html
- [10] "PyPI", "Python Package Index". (02/04/2023). aiocoap 0.4.7. <https://pypi.org/project/aiocoap/>
- [11] ©Oracle. (2023). MySQL. <https://www.mysql.com/>



[12] © Grafana Labs. (2023). Grafana. <https://grafana.com/>

[13] © Grafana Labs. (2023). MySQL data source.
<https://grafana.com/docs/grafana/latest/datasources/mysql/#mysql-data-source>