



**FACULTAD  
DE INGENIERIA**

Universidad de Buenos Aires

# Sistema de sensores autónomos para monitoreo de redes de distribución de baja tensión mediante LoRaWAN

Autor:

Ing. Milton Eduardo Sosa

Director:

Ing. Marcelo E. Romeo (UNSAM)

Jurados:

Nombre y Apellido (1) (pertenencia (1))

Nombre y Apellido (2) (pertenencia (2))

Nombre y Apellido (3) (pertenencia (3))

*Este trabajo fue realizado en el curso de Gestión de proyectos  
entre el 22 de junio de 2020 y el 22 de Agosto de 2020.*

## Índice

Registros de cambios . . . . .	3
Acta de Constitución del Proyecto . . . . .	4
Descripción técnica-conceptual del Proyecto . . . . .	5
Identificación y análisis de los interesados . . . . .	7
1. Propósito del proyecto . . . . .	8
2. Alcance del proyecto . . . . .	8
3. Supuestos del proyecto . . . . .	9
4. Requerimientos . . . . .	9
Historias de usuarios ( <i>Product backlog</i> ) . . . . .	10
5. Entregables principales del proyecto . . . . .	10
6. Desglose del trabajo en tareas . . . . .	11
7. Diagrama de Activity On Node . . . . .	13
8. Diagrama de Gantt . . . . .	14
9. Matriz de uso de recursos de materiales . . . . .	18
10. Presupuesto detallado del proyecto . . . . .	19
11. Matriz de asignación de responsabilidades . . . . .	20
12. Gestión de riesgos . . . . .	20
13. Gestión de la calidad . . . . .	21
14. Comunicación del proyecto . . . . .	22
15. Gestión de Compras . . . . .	22
16. Seguimiento y control . . . . .	22
17. Procesos de cierre . . . . .	23

## Registros de cambios

Revisión	Detalles de los cambios realizados	Fecha
1.0	Creación del documento	22/06/2020
1.2	Avances hasta el desglose de trabajo en tareas.	10/07/2020
1.3	Se corrigen errores ortográficos y espaciado entre párrafos. Se agranda el tamaño de las figuras 1 y 2. Marcelo E. Romeo pasa a ocupar el rol de cliente. Se corrigen los requerimientos y estimaciones del desglose del trabajo en tareas. Se agregan tareas de documentación	17/07/2020
1.4	Se desarrollan los puntos 6 al 11. Se modifica el valor del presupuesto en base a la cotización del día del Banco Central de la República Argentina.	31/07/2020

## Acta de Constitución del Proyecto

Buenos Aires, 22 de junio de 2020

Por medio de la presente se acuerda con el Ing. Milton Eduardo Sosa que su Trabajo Final de la Carrera de Especialización en Sistemas Embebidos se titulará “Sistema de sensores autónomos para monitoreo de redes de distribución de baja tensión mediante LoRaWAN”, consistirá esencialmente en el prototipo preliminar de un sistema embebido que sea capaz de determinar valores eficaces de corriente alterna en redes de distribución de baja tensión y enviarlos a un centro de operaciones. Será no invasivo y autónomo. Tendrá un presupuesto preliminar estimado de 676 hs de trabajo y \$887.356, ochocientos ochenta y siete mil trecientos cincuenta y seis pesos argentinos, con fecha de inicio 22 de junio de 2020 y fecha de presentación pública 22 de Diciembre de 2020.

Se adjunta a esta acta la planificación inicial.

Ariel Lutenberg  
Director posgrado FIUBA

Ing. Marcelo E. Romeo  
Universidad Nacional de San Martín

Ing. Marcelo E. Romeo  
Director del Trabajo Final

Nombre y Apellido (1)  
Jurado del Trabajo Final

Nombre y Apellido (2)  
Jurado del Trabajo Final

Nombre y Apellido (3)  
Jurado del Trabajo Final

## Descripción técnica-conceptual del Proyecto

El presente trabajo surge como idea del autor, en base a la necesidad de permitir a las redes de distribución metropolitanas y megalopolitanas integrar características de las así llamadas Ciudades Inteligentes y así enmarcarlas dentro del concepto de Internet de las Cosas (IoT). Una ciudad inteligente, es aquella que hace uso de las diferentes tecnologías de información y comunicación disponibles con el objetivo de lograr su desarrollo sostenible, mejorar la calidad de vida de los ciudadanos y hacer un uso eficiente de los recursos energéticos.

Se siguen las premisas de minimizar impactos y costos de implementación en las redes de distribución actual y a la vez lograr un aumento en la calidad de servicio de energía eléctrica haciendo uso de los datos relevados.

Es menester mencionar que este trabajo es parte de un proyecto de una PyME de base tecnológica con el objeto de prestar servicios a diferentes empresas distribuidoras de energía eléctrica en Sudamérica, como así también a personas que deseen monitorear el estado de una carga eléctrica en particular haciendo uso de una estructura de red de comunicación de largo alcance.

El sistema que se propone implementar, ocuparía un mínimo espacio físico adicional en la red. Sin embargo, la información que proporcionaría sería de gran relevancia para realizar un relevamiento en tiempo semi real del estado de operación de la red de distribución de energía eléctrica.

Entre las características técnicas que sobresalen de este sistema se encuentra la utilización de tecnologías de comunicación de largo alcance y bajo consumo de energía, como por ejemplo LoRa y redes LoRaWAN, para reportar el estado de operación de un nodo en particular de la red. También propone el uso de formas de conversión y acumulación de energía eléctrica de bajo impacto medioambiental con el objeto de lograr autonomía de operación aún en condiciones meteorológicas desfavorables y operando en régimen 24/7.

Finalmente, es la intención de que este prototipo se mantenga independiente de la frecuencia y tensión de operación otorgando así, facilidad a la hora de realizar el comisionamiento en diferentes redes.

El sistema propuesto se compondrá por un hardware (HW) a desarrollar para cada nodo y los servicios interconectados en la nube también llamados backend services (BES).

El diagrama de bloques del HW a desarrollar es presentado en la Figura 1. Este posee cinco etapas:

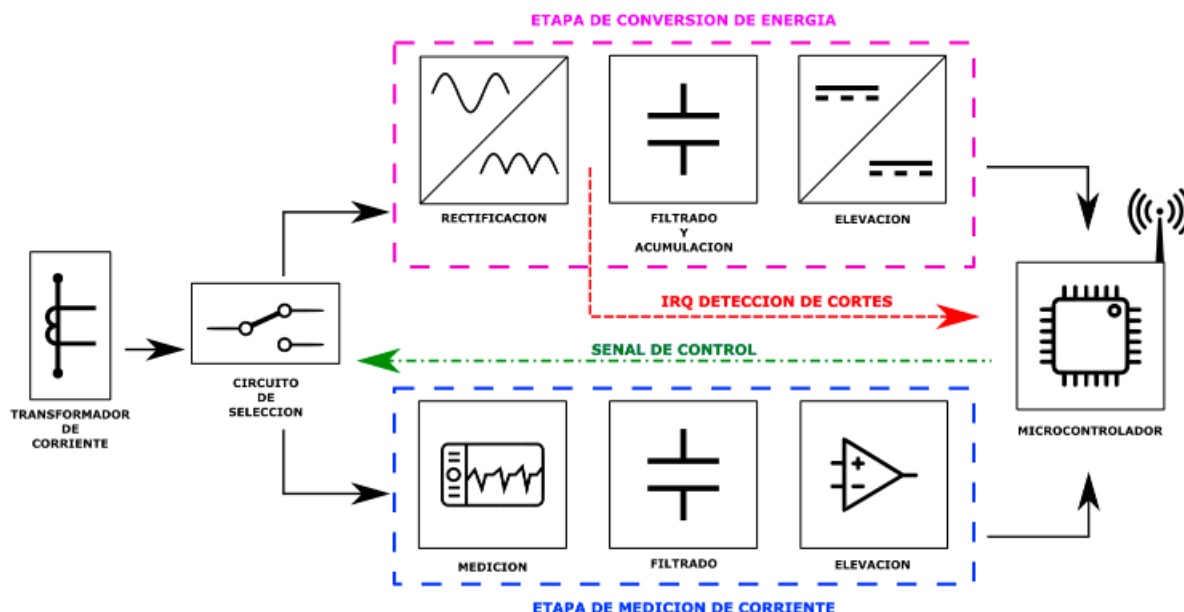


Figura 1: Diagrama en bloques del hardware asociado al sistema.

- Transformador de corriente (TI): encargado de proveer de corriente eléctrica para la carga del acumulador, como así también actuar como transductor de corriente para la medición de su valor eficaz.
- Etapa de conversión y acumulación de energía: compuesta por un rectificador de baja caída, un acumulador y un convertor DC/DC.
- Etapa de medición/detección de corriente: encargado de las mediciones de valor eficaz de corriente alterna junto a un circuito de acondicionamiento de señal.
- Circuito de selección de modo: compuesto por un relay (RL) acorde al TI y su circuito de excitación.
- Etapa de procesamiento, control y comunicaciones: compuesto por un microcontrolador (uC) y un módulo de comunicaciones (MC) LoRa.

Para lograr la recuperación de datos generados por el HW y enviados a la red LoRaWAN, es necesario contar con un conjunto de servicios privados de backend (BES). Estos deberán estar integrados de manera permanente con la red LoRaWAN, que se considera preexistente, y cuya infraestructura es presentada en la Figura 2.

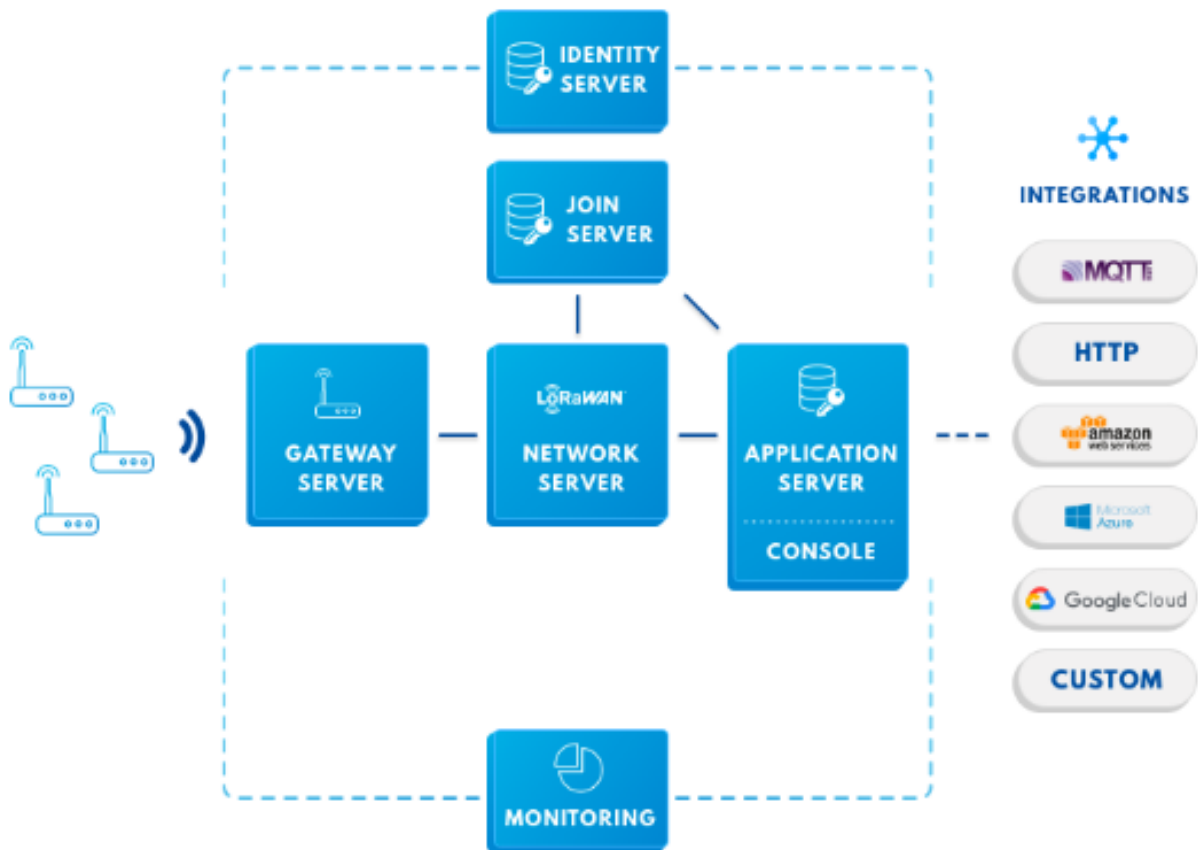


Figura 2: Diagrama en bloques de la red LoRaWAN a utilizar y sus posibles integraciones con terceras partes.

Esta integración se logrará a través de APIs HTTP o mediante suscripciones a tópicos de agentes de mensajería.

Los BES privados a desarrollar en este proyecto serán 3:

1. Servicio de Recuperación de Datos: encargado de recuperar los datos enviados por los nodos a través de la API proporcionada por la red LoRaWAN y almacenarlos en una base de datos.
2. Base de datos (DB): encargado de almacenar los valores históricos de los nodos sensores y generar diferentes métricas para los reportes de estado.
3. Interfaz Gráfica de Usuario (GUI): encargada de presentar el último estado recuperado de cada nodo al usuario final del sistema.

## Identificación y análisis de los interesados

Rol	Nombre y Apellido	Organización	Puesto
Cliente	Ing. Marcelo E. Romeo	UNSAM	Docente investigador
Responsable, auspiciante e impulsor	Ing. Milton E. Sosa	Universidad Nacional de Misiones	Egresado
Orientador	Ing. Marcelo E. Romeo	UNSAM	Docente investigador
Colaborador	Dr. Ing. Eduardo O. Sosa	Universidad Nacional de Misiones	Docente Investigador
Colaborador	Ing. Germán A. Xánder	Universidad Nacional de Misiones	Docente Investigador
Usuario final			

- Ing. Marcelo E. Romeo, de vasta experiencia profesional en el ámbito de la microelectrónica e investigación y desarrollo para diferentes entidades y universidades nacionales.
- Dr. Ing. Eduardo O. Sosa, cuenta con más de 20 años de experiencia en el área de las TELCO, ex miembro colaborador de la RIU, profesor titular de la cátedra de Física en la Universidad Nacional de Misiones y lidera proyectos bilaterales entre Argentina y Alemania en el ámbito de WSN.

## 1. Propósito del proyecto

El propósito de este proyecto es desarrollar un sistema formado por un circuito electrónico autónomo y un conjunto de software dedicado a la recuperación y almacenamiento de datos generados y transmitidos por el circuito.

El sistema debe ser capaz de permitir a las actuales redes de distribución de energía eléctrica reportar su estado actual de operación a un centro de monitoreo.

## 2. Alcance del proyecto

Se pretende desarrollar un prototipo de HW capaz de ser autosuficiente en cuanto a la conversión, acumulación y gestión de energía eléctrica con el objeto de alimentar y permitir su operación en estado autónomo y permanente. Para ello se desarrollará un circuito de *micro energy harvesting* basado en rectificadores de bajas pérdidas, acumuladores aptos para la aplicación final y un conversor DC/DC de alta eficiencia.

Se desarrollará una etapa de medición de valor eficaz de corriente alterna, con el objeto de medir la intensidad de corriente que actualmente circula por el conductor conectado a la salida de baja tensión e inmediatamente después del fusible aéreo de protección.

Agregado a los módulos mencionados anteriormente, un microcontrolador se encargará de la gestión de energía de todo el HW y de digitalizar todas las mediciones realizadas para finalmente,



enviarlas al centro de operaciones a través de un módulo de comunicación.

Los BES se albergarán en una computadora de bajo costo que proporcionará suficientes recursos para su operación y ensayo en la etapa de desarrollo.

No es parte del alcance del presente proyecto llegar a una etapa de lanzamiento del producto a clientes finales, sino la de lograr un demostrador tecnológico. Sin embargo, si los tiempos lo permiten y se logra contar con una infraestructura adecuada, se desean realizar ensayos *end-to-end* en laboratorio sobre el sistema, involucrando los prototipos de hardware que fueran desarrollados, y una integración mínima entre los BES y la red LoRaWAN ya existente.

### 3. Supuestos del proyecto

Para el desarrollo del presente proyecto se supone que:

- El autor del trabajo no tendrá ningún problema para hacerse de los insumos necesarios para alcanzar los objetivos recurriendo a distribuidores de componentes en el mercado local.
- Al momento de ensayar el sistema se contará con conectividad a internet.
- El responsable no tendrá en ningún momento limitaciones de movilidad.
- En caso de ser necesario realizar ensayos *end-to-end*, el responsable deberá fabricar un banco de ensayos apropiado para simular los casos de uso y probar el sistema en su conjunto, como así disponer de instrumentos patrones para contrastar y verificar el correcto funcionamiento.
- Los ensayos *end-to-end* no demorarán la fecha de finalización del proyecto.

### 4. Requerimientos

#### 1. Grupo de requerimientos asociados con hardware

- 1.1. El dispositivo deberá ser de tipo *plug and play*.
- 1.2. El circuito impreso no deberá ocupar un volumen mayor a 10x10x5 cm.
- 1.3. Basarse en un microcontrolador ESP32 y disponer de:
  - 1.3.1. 4 entradas analógicas.
  - 1.3.2. 3 salidas digitales.
  - 1.3.3. Unidad UART.
  - 1.3.4. Integrar un módulo de comunicaciones LoRa.
- 1.4. Deberá tener al menos 12 horas de autonomía de funcionamiento.
- 1.5. Bajo consumo en modo ocioso: el consumo del hardware en total, no deberá superar los 5 mA cuando no está midiendo ni transmitiendo.

- 1.6. El circuito elevador de tensión DC-DC deberá:
    - 1.6.1. Funcionar con tensiones menores a 2V en la entrada.
    - 1.6.2. Otorgar 5 Volts a la salida.
    - 1.6.3. Ser capaz de otorgar 300 miliamperes a la salida.
  - 1.7. El transformador de corriente debe:
    - 1.7.1. Ser de tipo núcleo partido.
    - 1.7.2. Admitir 100 Amperes de corriente en el circuito primario y un máximo 5 Amperes en el circuito secundario.
  - 1.8. El relay encargado de cambiar el modo de operación debe:
    - 1.8.1. Ser de tipo doble inversor sin retención.
    - 1.8.2. Su bobina debe poder energizarse con 5V o menos.
    - 1.8.3. Soportar al menos 5 Amperes de corriente por los contactos.
  - 1.9. Debe funcionar de manera independiente a la frecuencia de operación de la red 50/60 Hz.
  - 1.10. Debe funcionar de manera independiente a la tensión de fase del sistema de distribución 110/220 Voltios.
2. Grupo de requerimientos asociados con el firmware
    - 2.1. Debe manejar un módulo de comunicación LoRa y protocolo LoRaWAN.
    - 2.2. Deberá tener un porcentaje de cobertura de tests unitarios del 60 % como mínimo.
    - 2.3. Antes configurarse en modo ocioso, debe desenergizar la etapa de medición de corriente y el módulo de comunicaciones con el objeto de ahorrar energía.
  3. Grupo de requerimientos asociados con los BES
    - 3.1. Todos los servicios deben poder correr en una Raspberry Pi 3.
    - 3.2. El software de los BES se desarrollará en lenguaje Python.
    - 3.3. Recuperar los datos de la red LoRaWAN.
    - 3.4. Almacenar los datos en una tabla de MySQL.
    - 3.5. GUI basada en Grafana.
  4. Grupo de requerimientos asociados con ensayos de integración y *end-to-end*
    - 4.1. El banco de ensayos de hardware debe contar con una carga fantasma de al menos 10 Amperes y permitir realizar interrupciones de corriente de manera programada mediante una computadora adicional tipo Raspberry Pi o de manera manual.
    - 4.2. Los BES deben estar operativos al momento de realizar los ensayos.
    - 4.3. Contar con un gateway de acceso a una red LoRaWAN como por ejemplo *The Things Network*.

## Historias de usuarios (*Product backlog*)

### 5. Entregables principales del proyecto

- Diagrama esquemático

- Lista de materiales
- Código fuente del firmware
- Diagrama de instalación
- Informe final

## 6. Desglose del trabajo en tareas

1. Grupo de tareas asociadas a planificación (Total: 35 hs)
  - 1.1. Diseño de la arquitectura global del proyecto. (15 hs)
  - 1.2. Documentación del plan de proyecto. (20 hs)
2. Grupo de tareas asociadas al hardware (Total: 300 hs)
  - 2.1. Transductor de corriente. (Total: 16 hs)
    - 2.1.1. Análisis de transductores aptos para el hardware a desarrollar. (5 hs)
    - 2.1.2. Selección de componentes. (3 hs)
    - 2.1.3. Ensayo y evaluación del transductor de manera individual. (4 hs)
    - 2.1.4. Documentación de resultados del ensayo del transductor. (4 hs)
  - 2.2. Etapa de circuito de selección. (Total: 24 hs)
    - 2.2.1. Análisis de alternativas disponibles en el mercado. (10 hs)
    - 2.2.2. Selección de relays aptos en base a los requerimientos: tensión de bobina de 5 Volts y 5 Amperes de corriente. (6 hs)
    - 2.2.3. Ensayo del circuito de selección de manera individual. (4 hs)
    - 2.2.4. Documentación de ensayo. (4 hs)
  - 2.3. Etapa de rectificación y filtrado. (Total: 49 hs)
    - 2.3.1. Análisis comparativo de alternativas para técnicas de rectificación. (30 hs)
    - 2.3.2. Selección de componentes encargados de la etapa de rectificación. (10 hs)
    - 2.3.3. Ensayo de la etapa de rectificación de manera individual. (5 hs)
    - 2.3.4. Documentación de ensayos. (4 hs)
  - 2.4. Etapa de acumulación de energía. (Total: 35 hs)
    - 2.4.1. Análisis comparativo y selección de alternativas viables acorde al requerimiento de autonomía de operación. (10 hs)
    - 2.4.2. Ensayo de carga y descarga del acumulador de manera individual. (10 hs)
    - 2.4.3. Evaluación de resultados y estimación de la autonomía de operación en función de diferentes perfiles de consumo. (10 hs)
    - 2.4.4. Documentación ensayos. (5 hs)
  - 2.5. Etapa de elevación de tensión. (Total: 20 hs)
    - 2.5.1. Análisis de alternativas técnicas para elevación de tensión aptas para el hardware a desarrollar. (15 hs)
    - 2.5.2. Ensayo y evaluación de la etapa de elevación de tensión de manera individual. (5 hs)
  - 2.6. Etapa de medición de corriente. (Total: 34 hs)

- 2.6.1. Análisis comparativo y selección de un circuito integrado dedicado a realizar la medición del valor eficaz de corriente. (20 hs)
- 2.6.2. Ensayo y evaluación de la etapa de medición de valor eficaz de manera individual. (10 hs)
- 2.6.3. Documentación de ensayos. (4 hs)
- 2.7. Etapa de acondicionamiento de señal posterior a la medición de corriente. (Total: 13 hs)
  - 2.7.1. Análisis de alternativas técnicas para filtrado y amplificación. (4 hs)
  - 2.7.2. Selección de componentes. (2 hs)
  - 2.7.3. Ensayo y evaluación de la etapa de filtrado y amplificación de manera individual. (4 hs)
  - 2.7.4. Documentación de ensayos. (3 hs)
- 2.8. Microcontrolador y módulo de comunicaciones. (Total: 50 hs)
  - 2.8.1. Análisis y selección de microcontroladores y módulos de comunicaciones aptos para la aplicación. (30 hs)
  - 2.8.2. Pruebas de laboratorio del microcontrolador y módulo de comunicaciones de manera individual. (20 hs)
- 2.9. Circuito impreso. (Total: 59 hs)
  - 2.9.1. Ruteo del circuito impreso. (40 hs)
  - 2.9.2. Inspección. (6 hs)
  - 2.9.3. Montaje y soldado de componentes. (8 hs)
  - 2.9.4. Prueba y depuración. (5 hs)
- 3. Grupo de tareas asociadas al software (Total: 206 hs)
  - 3.1. Tareas asociadas al firmware del microcontrolador (Total: 110 hs)
    - 3.1.1. Definición de la "lógica de negocio" que regirá la operación del hardware a instalar *in-situ*. (10 hs)
    - 3.1.2. Prototipado del firmware. (60 hs)
    - 3.1.3. Depuración de errores. (20 hs)
    - 3.1.4. Pruebas unitarias. (20 hs)
  - 3.2. Tareas asociadas a los BES (Total: 96 hs)
    - 3.2.1. Diseño de la arquitectura y lógica de operación de cada servicio. (14 hs)
    - 3.2.2. Instalación de los servicios. (30 hs)
    - 3.2.3. Creación de tablas en base de datos para el almacenamiento de valores históricos. (4 hs)
    - 3.2.4. Desarrollo del software encargado de recuperar los datos de la red LoRaWAN y almacenar en la base de datos. (20 hs)
    - 3.2.5. Desarrollo de la interfaz gráfica en Grafana. (8 hs)
    - 3.2.6. Pruebas de integración. (15 hs)
    - 3.2.7. Depuración de errores. (5 hs)
- 4. Grupo de tareas asociadas a pruebas *end-to-end*. (Total: 65 hs)
  - 4.1. Definición de los casos de ensayo. (20 hs)
  - 4.2. Desarrollo del software. (20 hs)
  - 4.3. Ejecución de las pruebas. (15 hs)

4.4. Depuración de errores. (10 hs)

5. Grupo de tareas asociadas al cierre del proyecto (Total: 70 hs)

5.1. Elaboración de la memoria técnica. (50 hs)

5.2. Elaboración de la presentación final. (20 hs)

Cantidad total de horas: (676 hs)

## 7. Diagrama de Activity On Node

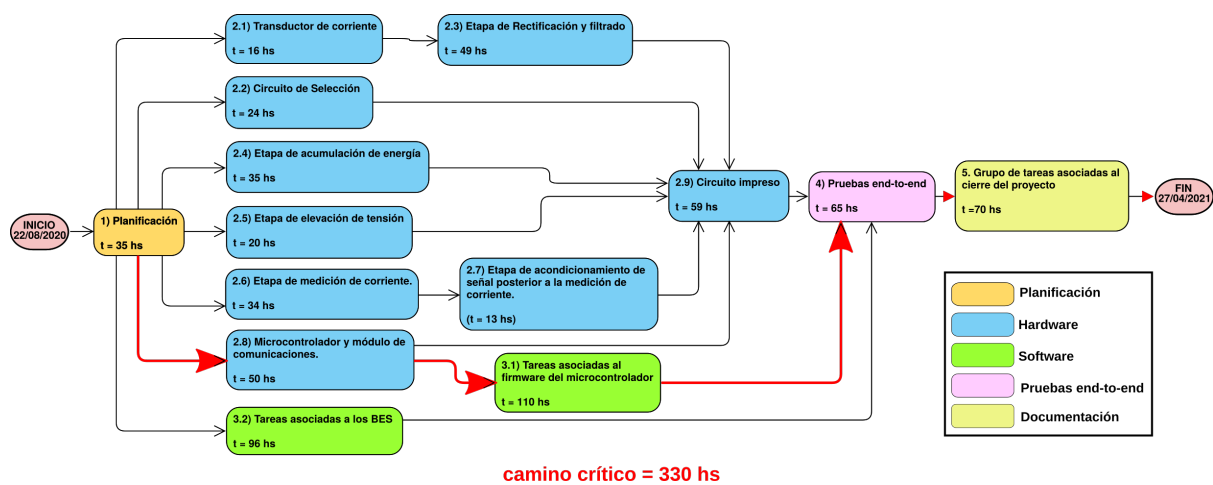


Figura 3: Diagrama en *Activity on Node*

## 8. Diagrama de Gantt

Nombre	Duración
INICIO	1día
☐ 1) Grupo de tareas asociadas a planificación	35horas
1.1) Diseño de la arquitectura global del proyecto	15horas
1.2) Documentación del plan de proyecto	20horas
☐ 2) Grupo de tareas asociadas al hardware (Total: 300 hs)	16días
☐ 2.1) Transductor de corriente. (Total: 16 hs)	19horas
2.1.1) Análisis de transductores aptos para el hardware a desarrollar	5horas
2.1.2) Selección de componentes	3horas
2.1.3) Ensayo y evaluación del transductor de manera individual	4horas
2.1.4) Documentación de resultados del ensayo del transductor	4horas
☐ 2.2) Etapa de circuito de selección. (Total: 24 hs)	25horas
2.2.1) Análisis de alternativas disponibles en el mercado.	10horas
2.2.2) Selección de relays aptos en base a los requerimientos: tensión de bobina de 5 Volts y 5 Amperes de corriente	6horas
2.2.3) Ensayo del circuito de selección de manera individual	4horas
2.2.4) Documentación de ensayo	4horas
☐ 2.3) Etapa de rectificación y filtrado. (Total: 49 hs)	49horas
2.3.1) Análisis comparativo de alternativas para técnicas de rectificación	30horas
2.3.2) Selección de componentes encargados de la etapa de rectificación	10horas
2.3.3) Ensayo de la etapa de rectificación de manera individual	5horas
2.3.4) Documentación de ensayos.	4horas
☐ 2.4) Etapa de acumulación de energía. (Total: 35 hs)	35horas
2.4.1) Análisis comparativo y selección de alternativas viables acorde al requerimiento de autonomía de operación.	10horas
2.4.2) Ensayo de carga y descarga del acumulador de manera individual	10horas
2.4.3) Evaluación de resultados y estimación de la autonomía de operación en función de diferentes perfiles de consu.	10horas
2.4.4) Documentación ensayos	5horas
☐ 2.5) Etapa de elevación de tensión. (Total: 20 hs)	20horas
2.5.1) Análisis de alternativas técnicas para elevación de tensión aptas para el hardware a desarrollar	15horas
2.5.2) Ensayo y evaluación de la etapa de elevación de tensión de manera individual	5horas
☐ 2.6) Etapa de medición de corriente (Total: 34 hs)	34horas
2.6.1) Análisis comparativo y selección de un circuito integrado dedicado a realizar la medición del valor eficaz de corri	20horas
2.6.2) Ensayo y evaluación de la etapa de medición de valor eficaz de manera individual	10horas
2.6.3) Documentación de ensayos	4horas
☐ 2.7. Etapa de acondicionamiento de señal posterior a la medición de corriente. (Total: 13hs)	13horas
2.7.1) Análisis de alternativas técnicas para filtrado y amplificación	4horas
2.7.2) Selección de componentes	2horas
2.7.3) Ensayo y evaluación de la etapa de filtrado y amplificación de manera individual	4horas
2.7.4) Documentación de ensayos	3horas
☐ 2.8) Microcontrolador y módulo de comunicaciones. (Total: 50 hs)	50horas
2.8.1) Análisis y selección de microcontroladores y módulos de comunicaciones aptos para la aplicación	30horas
2.8.2) Pruebas de laboratorio del microcontrolador y módulo de comunicaciones de manera individual	20horas
☐ 2.9) Circuito impreso. (Total: 59 hs)	59horas
2.9.1) Ruteo del circuito impreso.	40horas
2.9.2) Inspección	6horas
2.9.3) Montaje y soldado de componentes	8horas
2.9.4) Prueba y depuración	5horas

3) Grupo de tareas asociadas al software	160horas
3.1) Tareas asociadas al firmware del microcontrolador (Total: 110 hs)	110horas
3.1.1) Definición de la "lógica de negocio" que registrará la operación del hardware a instalar in-situ	10horas
3.1.2) Prototipado del firmware	60horas
3.1.3) Depuración de errores	20horas
3.1.4) Pruebas unitarias	20horas
3.2) Tareas asociadas a los BES (Total: 96 hs)	96horas
3.2.1) Diseño de la arquitectura y lógica de operación de cada servicio	14horas
3.2.2) Instalación de los servicios	30horas
3.2.3) Creación de tablas en base de datos para el almacenamiento de valores históricos	4horas
3.2.4) Desarrollo del software encargado de recuperar los datos de la red LoRaWAN y almacenar en la base de datos	20horas
3.2.5) Desarrollo de la interfaz gráfica en Grafana	8horas
3.2.6) Pruebas de integración	15horas
3.2.7) Depuración de errores	5horas
4) Grupo de tareas asociadas a pruebas end-to-end. (Total: 65 hs)	65horas
4.1) Definición de los casos de ensayo	20horas
4.2) Desarrollo del software	20horas
4.3) Ejecución de las pruebas	15horas
4.4) Depuración de errores	10horas
5) Grupo de tareas asociadas al cierre del proyecto (Total: 70 hs)	70horas
5.1) Elaboración de la memoria técnica.	50horas
5.2) Elaboración de presentación final	20horas
FIN	1día

Figura 4: Tabla para confección del diagrama de *gantt*

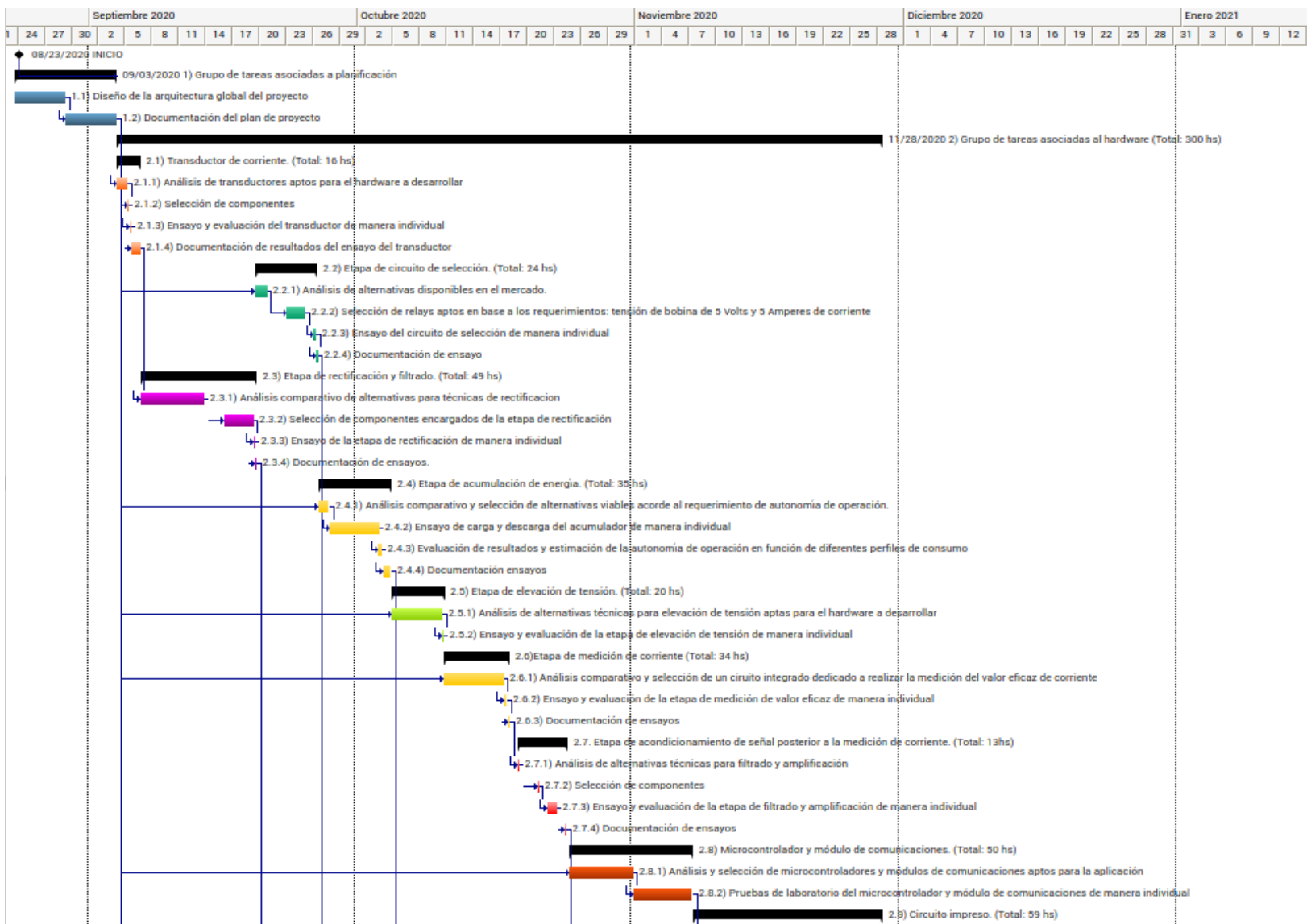


Figura 5: Diagrama de *gantt*



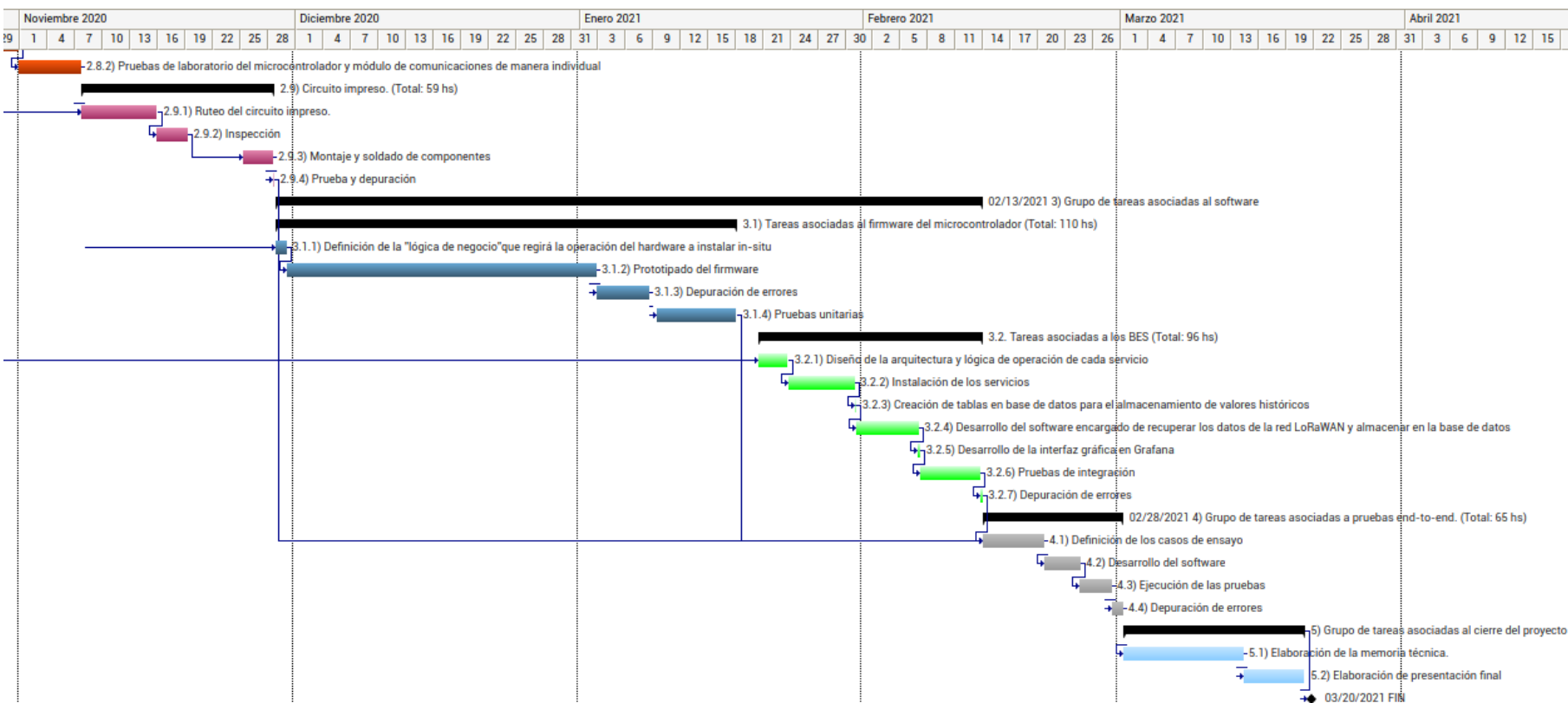


Figura 6: Diagrama de *gantt*, continuación

## 9. Matriz de uso de recursos de materiales

Código WBS	Nombre tarea	Recursos requeridos (horas)			
		PC	Laboratorio	Placa PCB	Raspberry Pi
<b>1</b>	<b>Grupo de tareas asociadas a planificación</b>				
1.1	Diseño de la arquitectura global	15			
1.2	Documentación del plan de proyecto	20			
<b>2.1</b>	<b>Transductor de corriente.</b>				
2.1.1	Análisis de transductores aptos para el hardware a desarrollar	5			
2.1.2	Selección de componentes	3			
2.1.3	Ensayo y evaluación del transductor de manera individual	4	4		
2.1.4	Documentación de resultados del ensayo del transductor	4			
<b>2.2</b>	<b>Etapas de circuito de selección</b>				
2.2.1	Análisis de alternativas disponibles en el mercado	10			
2.2.2	Selección de relays aptos en base a los requerimientos	6			
2.2.3	Ensayo del circuito de selección de manera individual	4	4		
2.2.4	Documentación de ensayo	4			
<b>2.3</b>	<b>Etapas de rectificación y filtrado</b>				
2.3.1	Análisis comparativo de alternativas para técnicas de rectificación	30			
2.3.2	Selección de componentes encargados de la etapa de rectificación	10			
2.3.3	Ensayo de la etapa de rectificación de manera individual	5	5		
2.3.4	Documentación de ensayos	4			
<b>2.4</b>	<b>Etapas de acumulación de energía</b>				
2.4.1	Análisis y selección de alternativas viables acorde al requerimiento de autonomía de operación	10			
2.4.2	Ensayo de carga y descarga del acumulador de manera individual	10	10		
2.4.3	Evaluación de resultados y estimación de la autonomía de operación	10			
2.4.4	Documentación ensayos	5			
<b>2.5</b>	<b>Etapas de elevación de tensión</b>				
2.5.1	Análisis de alternativas técnicas para elevación de tensión	15			
2.5.2	Ensayo y evaluación de la etapa de elevación de tensión	5	5		
<b>2.6</b>	<b>Etapas de medición de corriente</b>				
2.6.1	Análisis y selección de un chip dedicado a realizar la medición RMS de corriente	20			
2.6.2	Ensayo de la etapa de medición de valor RMS	10	10		
2.6.3	Documentación de ensayos	4			
<b>2.7</b>	<b>Etapas de acondicionamiento de señal posterior a la medición de corriente</b>				
2.7.1	Análisis de alternativas técnicas para filtrado y amplificación	4			
2.7.2	Selección de componentes	2			
2.7.3	Ensayo de la etapa de filtrado y amplificación	4	4		
2.7.4	Documentación de ensayos	3			
<b>2.8</b>	<b>Microcontrolador y módulo de comunicaciones</b>				
2.8.1	Análisis y selección de microcontroladores y módulos de comunicaciones	30			
2.8.2	Pruebas de laboratorio del microcontrolador y módulo de comunicaciones	20	20		
<b>2.9</b>	<b>Circuito impreso</b>				
2.9.1	Ruteo del circuito impreso	40			
2.9.2	Inspección	6			
2.9.3	Montaje y soldado de componentes	8	8	8	
2.9.4	Prueba y depuración	5	5	5	
<b>3.1</b>	<b>Tareas asociadas al firmware del microcontrolador</b>				
3.1.1	Definición de la "lógica de negocio" que regirá la operación del hardware	10			
3.1.2	Prototipado del firmware	60			
3.1.3	Depuración de errores	20			
3.1.4	Pruebas unitarias	20			
<b>3.2</b>	<b>Tareas asociadas los BES</b>				
3.2.1	Diseño de la arquitectura y lógica de operación de cada servicio	14			
3.2.2	Instalación de los servicios	30			30
3.2.3	Creación de tablas en base de datos para el almacenamiento de valores históricos	4			4
3.2.4	Desarrollo del software encargado de recuperar los datos de la red LoRaWAN	20			20
3.2.5	Desarrollo de la interfaz gráfica en Grafana	8			8
3.2.6	Pruebas de integración	15			15
3.2.7	Depuración de errores	5			5
<b>4</b>	<b>Grupo de tareas asociadas a pruebas end-to-end</b>				
4.1	Definición de los casos de ensayo	20			
4.2	Desarrollo del software	20			20
4.3	Ejecución de las pruebas	15	15	15	15
4.4	Depuración de errores	10	10	10	10
<b>5</b>	<b>Grupo de tareas asociadas al cierre del proyecto</b>				
5.1	Elaboración de la memoria técnica	50			
5.2	Elaboración de la presentación final	20			
	<b>Totales</b>	<b>676 hs</b>	<b>100 hs</b>	<b>38 hs</b>	<b>127 hs</b>

### Referencias:

- PC = Computadora personal con todo el software necesario para el desarrollo de proyecto.
- Laboratorio = Espacio físico donde se realizaran diferentes ensayos.
- Placa PCB = Circuito impreso del prototipo a desarrollar.
- Raspberry Pi = Computadora de bajo costo donde correran los BES.

## 10. Presupuesto detallado del proyecto

Los precios expresados en la siguiente tabla se encuentran en Euros €.

COSTOS DIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Transformador de intensidad tipo núcleo partido y clase 0.5	1	92.00	92.00
Circuito impreso	1	40.00	40.00
Componentes electrónicos varios *	1	100.00	100.00
Módulo de desarrollo basado en ESP32 y transceptor LoRa *	1	40.00	40.00
Raspberry Pi 3 B+	1	45.00	45.00
Acumulador	1	10.00	10.00
Viáticos de movilidad	1	600.00	600.00
Honorarios profesionales	676	10	6760.00
SUBTOTAL			7687.00
COSTOS INDIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Multímetro digital True RMS	1	100.00	100.00
Generador de señales	1	80.00	80.00
Servicios de energía eléctrica e internet	1	70.00	70.00
SUBTOTAL			250.00
TOTAL			7937.00

€7937 = 887.356 Pesos Argentinos\*

(\*) Valores aproximados

## 11. Matriz de asignación de responsabilidades

Código WBS	Nombre de la tarea	Listar todos los nombres y roles del proyecto			
		Responsable Ing. Milton Eduardo Sosa	Orientador Ing. Marcelo E. Romeo	Colaborador Ing. Germán A. Xánder	Cliente Ing. Marcelo E. Romeo
1.1	Diseño de la arquitectura global	P	A	C	A
1.2	Documentación del plan de proyecto	P	A/C	C	A
2.1.1	Análisis de transductores aptos para el hardware a desarrollar	P	C/A	C	I
2.1.2	Selección de componentes	P	C	C	
2.1.3	Ensayo y evaluación del transductor de manera individual	P	C/A	C	
2.1.4	Documentación de resultados del ensayo del transductor	P	A		
2.2.1	Análisis de alternativas disponibles en el mercado	P			
2.2.2	Selección de relays aptos en base a los requerimientos	P	C/A	C	
2.2.3	Ensayo del circuito de selección de manera individual	P			
2.2.4	Documentación de ensayos	P	A		
2.3.1	Análisis comparativo de alternativas para técnicas de rectificación	P	C	C	
2.3.2	Selección de componentes encargados de la etapa de rectificación	P	C/A	C	
2.3.3	Ensayo de la etapa de rectificación de manera individual	P			
2.3.4	Documentación de ensayos	P	A		
2.4.1	Análisis y selección de alternativas viables acorde al requerimiento de autonomía de operación	P	C		
2.4.2	Ensayo de carga y descarga del acumulador de manera individual	P			
2.4.3	Evaluación de resultados y estimación de la autonomía de operación	P	C		
2.4.4	Documentación ensayos	P	A		
2.5.1	Análisis de alternativas técnicas para elevación de tensión	P			
2.5.2	Ensayo y evaluación de la etapa de elevación de tensión	P	C		
2.6.1	Análisis y selección de un chip dedicado a realizar la medición RMS de corriente	P	C	C	
2.6.2	Ensayo de la etapa de medición de valor RMS	P			
2.6.3	Documentación de ensayos	P	A		
2.7.1	Análisis de alternativas técnicas para filtrado y amplificación	P	C	C	
2.7.2	Selección de componentes	P	C/A	C	
2.7.3	Ensayo de la etapa de filtrado y amplificación	P			
2.7.4	Documentación de ensayos	P	A		
2.8.1	Análisis y selección de microcontroladores y módulos de comunicaciones	P			
2.8.2	Pruebas de laboratorio del microcontrolador y módulo de comunicaciones	P			
2.9.1	Rutéo del circuito impreso	P	A		
2.9.2	Inspección	P	C	C	
2.9.3	Montaje y soldado de componentes	P			
2.9.4	Prueba y depuración	P			
3.1.1	Definición de la "lógica de negocio" que regirá la operación del hardware	P	C		A
3.1.2	Prototipado del firmware	P	C		
3.1.3	Depuración de errores	P			
3.1.4	Pruebas unitarias	P			
3.2.1	Diseño de la arquitectura y lógica de operación de cada servicio	P	C	C	A
3.2.2	Instalación de los servicios	P		C	
3.2.3	Creación de tablas en base de datos para el almacenamiento de valores históricos	P		C	
3.2.4	Desarrollo del software encargado de recuperar los datos de la red LoRaWAN	P		C	
3.2.5	Desarrollo de la interfaz gráfica en Grafana	P	C/A		A
3.2.6	Pruebas de integración	P			
3.2.7	Depuración de errores	P			
4.1	Definición de los casos de ensayo	P	C/A		A
4.2	Desarrollo del software	P	C	C	
4.3	Ejecución de las pruebas	P			
4.4	Depuración de errores	P	C		
5.1	Elaboración de la memoria técnica	P	A	C	
5.2	Elaboración de la presentación final	P	A	I	I

### Referencias:

- P = Responsabilidad Primaria
- A = Aprobación
- I = Informado
- C = Consultado

## 12. Gestión de riesgos

a) Identificación de los riesgos (al menos cinco) y estimación de sus consecuencias:

Riesgo 1: detallar el riesgo (riesgo es algo que si ocurre altera los planes previstos)

- Severidad (S): mientras más severo, más alto es el número (usar números del 1 al 10). Justificar el motivo por el cual se asigna determinado número de severidad (S).
- Probabilidad de ocurrencia (O): mientras más probable, más alto es el número (usar del 1 al 10). Justificar el motivo por el cual se asigna determinado número de (O).

Riesgo 2:

- Severidad (S):
- Ocurrencia (O):

Riesgo 3:

- Severidad (S):
- Ocurrencia (O):

b) Tabla de gestión de riesgos: (El RPN se calcula como  $RPN=S \times O$ )

Riesgo	S	O	RPN	S*	O*	RPN*

Criterio adoptado: Se tomarán medidas de mitigación en los riesgos cuyos números de RPN sean mayores a ....

Nota: los valores marcados con (\*) en la tabla corresponden luego de haber aplicado la mitigación.

c) Plan de mitigación de los riesgos que originalmente excedían el RPN máximo establecido:

Riesgo 1: Plan de mitigación (si por el RPN fuera necesario elaborar un plan de mitigación). Nueva asignación de S y O, con su respectiva justificación: - Severidad (S): mientras más severo, más alto es el número (usar números del 1 al 10). Justificar el motivo por el cual se asigna determinado número de severidad (S). - Probabilidad de ocurrencia (O): mientras más probable, más alto es el número (usar del 1 al 10). Justificar el motivo por el cual se asigna determinado número de (O).

Riesgo 2: Plan de mitigación (si por el RPN fuera necesario elaborar un plan de mitigación).

Riesgo 3: Plan de mitigación (si por el RPN fuera necesario elaborar un plan de mitigación)

### 13. Gestión de la calidad

Para cada uno de los requerimientos del proyecto indique:

- Req #1: Copiar acá el requerimiento.

Verificación y validación:

- Verificación para confirmar si se cumplió con lo requerido antes de mostrar el sistema al cliente:  
Detallar

- Validación con el cliente para confirmar que está de acuerdo en que se cumplió con lo requerido:  
Detallar

Tener en cuenta que en este contexto se pueden mencionar simulaciones, cálculos, revisión de hojas de datos, consulta con expertos, etc.

#### 14. Comunicación del proyecto

El plan de comunicación del proyecto es el siguiente:

PLAN DE COMUNICACIÓN DEL PROYECTO					
¿Qué comunicar?	Audiencia	Propósito	Frecuencia	Método de comunicac.	Responsable

#### 15. Gestión de Compras

En caso de tener que comprar elementos o contratar servicios: a) Explique con qué criterios elegiría a un proveedor. b) Redacte el Statement of Work correspondiente.

#### 16. Seguimiento y control

Para cada tarea del proyecto establecer la frecuencia y los indicadores con los se seguirá su avance y quién será el responsable de hacer dicho seguimiento y a quién debe comunicarse la situación (en concordancia con el Plan de Comunicación del proyecto).

El indicador de avance tiene que ser algo medible, mejor incluso si se puede medir en % de avance. Por ejemplo, se pueden indicar en esta columna cosas como “cantidad de conexiones ruteadas” o “cantidad de funciones implementadas”, pero no algo genérico y ambiguo como “%”, porque el lector no sabe porcentaje de qué cosa.

SEGUIMIENTO DE AVANCE						
Tarea del WBS	Indicador de avance	Frecuencia de reporte	Resp. de seguimiento	Persona a ser informada	Método de comunic.	

## 17. Procesos de cierre

Establecer las pautas de trabajo para realizar una reunión final de evaluación del proyecto, tal que contemple las siguientes actividades:

- Pautas de trabajo que se seguirán para analizar si se respetó el Plan de Proyecto original:  
- Indicar quién se ocupará de hacer esto y cuál será el procedimiento a aplicar.
- Identificación de las técnicas y procedimientos útiles e inútiles que se utilizaron, y los problemas que surgieron y cómo se solucionaron: - Indicar quién se ocupará de hacer esto y cuál será el procedimiento para dejar registro.
- Indicar quién organizará el acto de agradecimiento a todos los interesados, y en especial al equipo de trabajo y colaboradores: - Indicar esto y quién financiará los gastos correspondientes.