



Sistema de detección de interrupciones para subestaciones transformadoras de distribución de baja tensión

Autor:

Ing. Lucas Gabriel Robles

Director:

Mg. Ing. Leonardo Del Sancio (FIUBA)

*Esta planificación fue realizada en el curso de Gestión de proyectos
entre el 20 de octubre de 2022 y el 8 de diciembre de 2022.*

Índice

| | |
|---|----|
| 1. Descripción técnica-conceptual del proyecto a realizar | 5 |
| 2. Identificación y análisis de los interesados | 6 |
| 3. Propósito del proyecto | 6 |
| 4. Alcance del proyecto | 6 |
| 5. Supuestos del proyecto. | 7 |
| 6. Requerimientos | 7 |
| 7. Historias de usuarios (<i>Product backlog</i>). | 8 |
| 8. Entregables principales del proyecto | 9 |
| 9. Desglose del trabajo en tareas | 9 |
| 10. Diagrama de Activity On Node. | 10 |
| 11. Diagrama de Gantt | 11 |
| 12. Presupuesto detallado del proyecto | 12 |
| 13. Gestión de riesgos | 12 |
| 14. Gestión de la calidad | 13 |
| 15. Procesos de cierre | 13 |

Registros de cambios

| Revisión | Detalles de los cambios realizados | Fecha |
|----------|--|------------------------|
| 0 | Creación del documento | 20 de octubre de 2022 |
| 1 | Redacción del acta de constitución del proyecto Redacción de la descripción técnica-conceptual Identificación y análisis de los interesados Definición del propósito y alcance del proyecto | 3 de noviembre de 2022 |

Acta de constitución del proyecto

Buenos Aires, 20 de octubre de 2022

Por medio de la presente se acuerda con el Ing. Lucas Gabriel Robles que su Trabajo Final de la Carrera de Especialización en Sistemas Embebidos se titulará “Sistema de detección de interrupciones para subestaciones transformadoras de distribución de baja tensión”, consistirá esencialmente en una red de sensores inalámbricos que detecten la ausencia de tensión y/o corriente en una subestación transformadora de distribución de baja tensión, y tendrá un presupuesto preliminar estimado de 600 hs de trabajo, con fecha de inicio 20 de octubre de 2022 y fecha de presentación pública a confirmar.

Se adjunta a esta acta la planificación inicial.

Dr. Ing. Ariel Lutenberg
Director posgrado FIUBA

Ing. Adrián Abella
EDET SA

Mg. Ing. Leonardo Del Sancio
Director del Trabajo Final

1. Descripción técnica-conceptual del proyecto a realizar

Uno de los principales objetivos de una empresa de distribución eléctrica es mantener los índices de calidad de servicio y producto técnico dentro de determinados parámetros predefinidos para garantizar que el usuario final goce de una buena calidad de suministro eléctrico. Es por esta razón que la gestión de la calidad de producto técnico se ocupa de que la onda de tensión suministrada se encuentre dentro de los umbrales establecidos por la entidad reguladora, mientras que la gestión de la calidad de servicio técnico se encarga de minimizar el tiempo y la frecuencia de las interrupciones del suministro eléctrico. Gracias al avance tecnológico, se pudieron adoptar nuevos sistemas capaces de optimizar la gestión de reclamos por falta de suministro, lo que permitió agilizar el proceso de restablecimiento del servicio y, por consiguiente, aminorar el tiempo en el que un cliente se encuentra desenergizado. A pesar de ello, estos sistemas pueden carecer de precisión al momento de determinar las posibles causas y las zonas afectadas por la interrupción, lo que en ocasiones resulta en una mala gestión de los recursos y las tareas. Por lo expuesto, se le propone a la Empresa de Distribución Eléctrica de Tucumán (EDET SA) implementar la utilización de un sistema electrónico embebido que sea capaz de sensar a nivel de cada subestación transformadora de baja tensión el estado del suministro eléctrico. Esto permitirá, en caso de ocurrir una interrupción, detectarla inmediatamente y así poder contar con una mayor velocidad de respuesta, mayor precisión, menor tiempo de reposición del servicio y menor cantidad de personal abocado a estas tareas. En la Figura 1 se muestra el diagrama en bloques del sistema propuesto, en el que se pueden diferenciar dos componentes principales: el nodo sensor (izquierda) y el concentrador o *Gateway* (derecha).

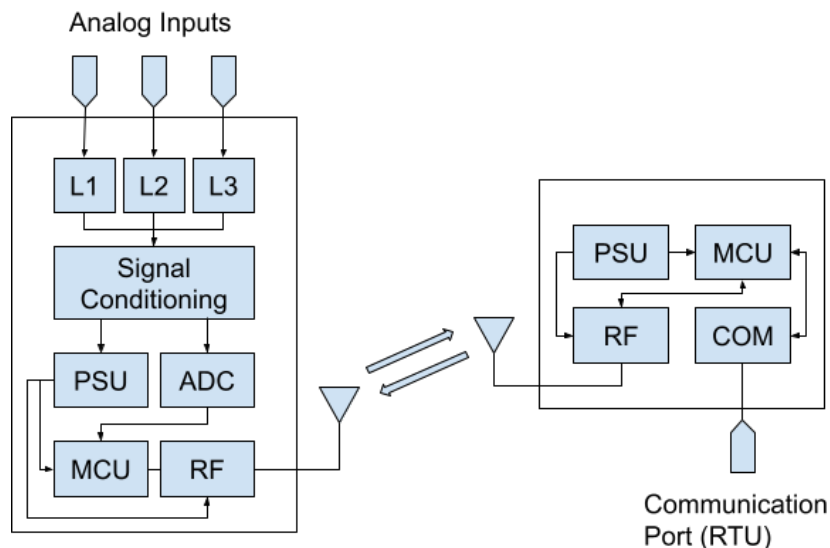


Figura 1. Diagrama en bloques del sistema.

El concentrador o *Gateway* será el encargado de gestionar y monitorear la red de nodos sensores y de almacenar la información que luego será consultada por la *RTU*. Estará conformado por un microcontrolador de 32 bits, una fuente de alimentación que puede adicionalmente funcionar como cargador de baterías, un módulo de conectividad inalámbrica mediante el cual se comunicará con los nodos sensores y un puerto de comunicaciones para la conexión con la *RTU*. Respecto al módulo RF, en principio se propone utilizar alguna tecnología *LPWAN* (*Low Power Wide Area Network*) para minimizar el consumo de energía y proporcionar un largo alcance. En cuanto a las comunicaciones con la unidad remota, se propone utilizar el protocolo Modbus-RTU o Modbus-TCP. Los nodos sensores serán los encargados de traducir las variables analógicas (tensiones y/o corrientes) en señales digitales binarias *ON-OFF* que se activarán si

se superan los umbrales predefinidos; luego, estas serán transmitidas hacia el concentrador. Se propone que sea de esta manera para minimizar la cantidad de información enviada, lo que permitirá ahorrar espacio de almacenamiento, reducir la cantidad de información transmitida hacia el sistema SCADA y reducir los tiempos de actualización de los estados y las alarmas. También se prevé que cada nodo sensor posea una fuente de alimentación capaz de obtener su energía sin necesidad de conectarla a la red de 220 V, siendo las opciones más probables las que operen con energía solar o inducción magnética. La intención de esta prestación es la de facilitar la instalación del sistema, además de reducir el riesgo eléctrico al eliminar la necesidad de conectarse directamente a la red de baja tensión. Al igual que el concentrador, los nodos también contarán con un microcontrolador de 32 bits, aunque se espera que estos sean de baja potencia o que admitan trabajar en modos de ultra bajo consumo o *deep-sleep*. También se utilizarán los mismos módulos RF *LPWAN* para la comunicación con el *Gateway*.

2. Identificación y análisis de los interesados

| Rol | Nombre y Apellido | Organización | Puesto |
|---------------|------------------------------|--------------|-----------------------------|
| Cliente | Ing. Adrián Abella | EDET SA | Jefe de Calidad de Servicio |
| Responsable | Ing. Lucas Gabriel Robles | FIUBA | Alumno |
| Orientador | Mg. Ing. Leonardo Del Sancio | FIUBA | Director Trabajo Final |
| Usuario final | EDET SA | | |

3. Propósito del proyecto

Mejora de la calidad del servicio eléctrico brindado por la distribuidora mediante la obtención de información precisa y en tiempo real sobre el estado del suministro eléctrico en subestaciones transformadoras (SETS) de baja tensión a través de un sistema distribuido de sensores inalámbricos que detecten la presencia de tensión y/o corriente en cada una de las salidas de baja tensión de las SETS.

4. Alcance del proyecto

Se encuentra dentro del alcance de este proyecto el desarrollo del hardware y del firmware de ambos componentes principales: concentrador y nodo sensor. Se espera desarrollar al menos una unidad del primero y al menos dos del segundo. Los nodos sensores deberán ser capaces de convertir las señales analógicas de tensión y/o corriente en señales digitales binarias y transmitirlas hacia el concentrador. El concentrador deberá ser capaz de recibir la información enviada por los nodos sensores, almacenarla en una memoria no volátil y organizarla de acuerdo con las especificaciones del protocolo Modbus. También deberá proveer un método o interfaz que le permita a una unidad terminal remota acceder a dicha información.

No se incluye en el desarrollo del proyecto la encriptación de la información transmitida desde los sensores hacia el concentrador. Tampoco se incluye el desarrollo de una interfaz humano-máquina (HMI) para la configuración de los dispositivos y la visualización de la información.

5. Supuestos del proyecto

Para el desarrollo del presente proyecto se supone que:

- Se podrá adquirir todos los componentes necesarios para el desarrollo de los dispositivos.
- Se podrán realizar pruebas de campo en instalaciones reales.
- Se podrá utilizar una unidad de transmisión remota de la distribuidora para enviar la información al sistema SCADA.
- Se podrán dedicar al menos 15 horas semanales al desarrollo del proyecto.
- Se podrá finalizar el proyecto en 600 horas o menos.

6. Requerimientos

1. Requerimientos funcionales

- 1.1. Los dispositivos deben ser de tipo *Plug and Play*.
- 1.2. La distancia mínima de comunicación entre los nodos y el *Gateway* debe ser de 3 metros.
- 1.3. El emparejamiento entre los nodos y el *Gateway* debe ser automático.
- 1.4. Tanto el *Gateway* como los nodos sensores deben almacenar la información de la red en memoria no volátil.
- 1.5. Los nodos sensores deben enviar el estado del suministro eléctrico cada 1 minuto.

2. Requerimientos de hardware

- 2.1. El *Gateway* debe estar basado en un microcontrolador ESP32 del fabricante Espressif.
- 2.2. Cada nodo sensor debe estar basado en un microcontrolador ESP8266 del fabricante Espressif.
- 2.3. El *Gateway* debe contar con una fuente de alimentación universal de 220 VAC.
- 2.4. Los nodos sensores deben poseer una fuente de alimentación que utilice energía solar o inducción magnética.
- 2.5. Los nodos sensores deben poseer 3 entradas de corriente o tensión, las cuales:
 - se deben conectar a la línea de baja tensión (220/380 VAC) por intermedio de transformadores de corriente o de tensión,
 - deben soportar hasta 100 A o 1000 V en el lado primario,
 - deben soportar hasta 1 A o 5 V en el lado secundario.

3. Requerimientos de firmware

- 3.1. El firmware del *Gateway* debe:
 - administrar la red de nodos sensores y poseer un algoritmo para registrarlos y desvincularlos de esta,
 - almacenar la información de cada uno de los nodos sensores registrados en la red,

- consultar el estado y las mediciones de los nodos sensores,
- almacenar la información obtenida de los sensores en una base de datos Modbus,
- proveer una interfaz de comunicación que permita que la base de datos sea consultada por una RTU.

3.2. El firmware de los nodos sensores debe:

- procesar las señales analógicas y convertirlas en señales digitales binarias *ON-OFF* que indiquen el estado del suministro eléctrico,
- transmitir el estado del suministro hacia el *Gateway* a través del módulo RF *LPWAN*,
- poner en modo de bajo consumo al microcontrolador y al módulo RF mientras no se esté transmitiendo información.

7. Historias de usuarios (*Product backlog*)

Se analizan las historias de usuario con los índices de ponderación que representan el valor que aporta la historia de usuario al cliente o usuario y con el índice de prioridad que refleja el orden de importancia en la implementación de las historias. Se valora cada dimensión de 1 a 10, donde 10 representa la ponderación o prioridad más alta. Los *story points* se calculan como la suma de la ponderación y la prioridad.

Como encargado del área de calidad de servicio quiero conocer en tiempo real el estado del suministro eléctrico de cada subestación transformadora para reducir el tiempo en el que los usuarios se encuentran sin suministro.

- Ponderación: 10.
- Prioridad: 8.
- *Story Points*: 18.

Como encargado del área de operaciones quiero conocer en todo momento el estado de la red de distribución para poder contar con mayor información posible a la hora de realizar las operaciones.

- Ponderación: 6.
- Prioridad: 5.
- *Story Points*: 11.

Como encargado del área de reclamos quiero conocer de manera inequívoca e inmediata las zonas que se encuentran afectadas por un corte de energía para poder gestionar eficientemente los recursos humanos con los que contamos.

- Ponderación: 9.
- Prioridad: 7.

- *Story Points*: 16.

Como encargado del área de mantenimiento de la red quiero conocer cuáles son las subestaciones transformadoras o las zonas con mayor tasa de fallas para realizar un mejor plan de mantenimiento y enfocar las inversiones en esos lugares.

- Ponderación: 5.
- Prioridad: 4.
- *Story Points*: 9.

8. Entregables principales del proyecto

Los entregables del proyecto son:

- Un prototipo de *Gateway*.
- Dos prototipos de nodo sensor.
- Manual de uso.
- Diagrama de instalación.
- Listado de materiales.
- Diagramas esquemáticos.
- Informe final.

9. Desglose del trabajo en tareas

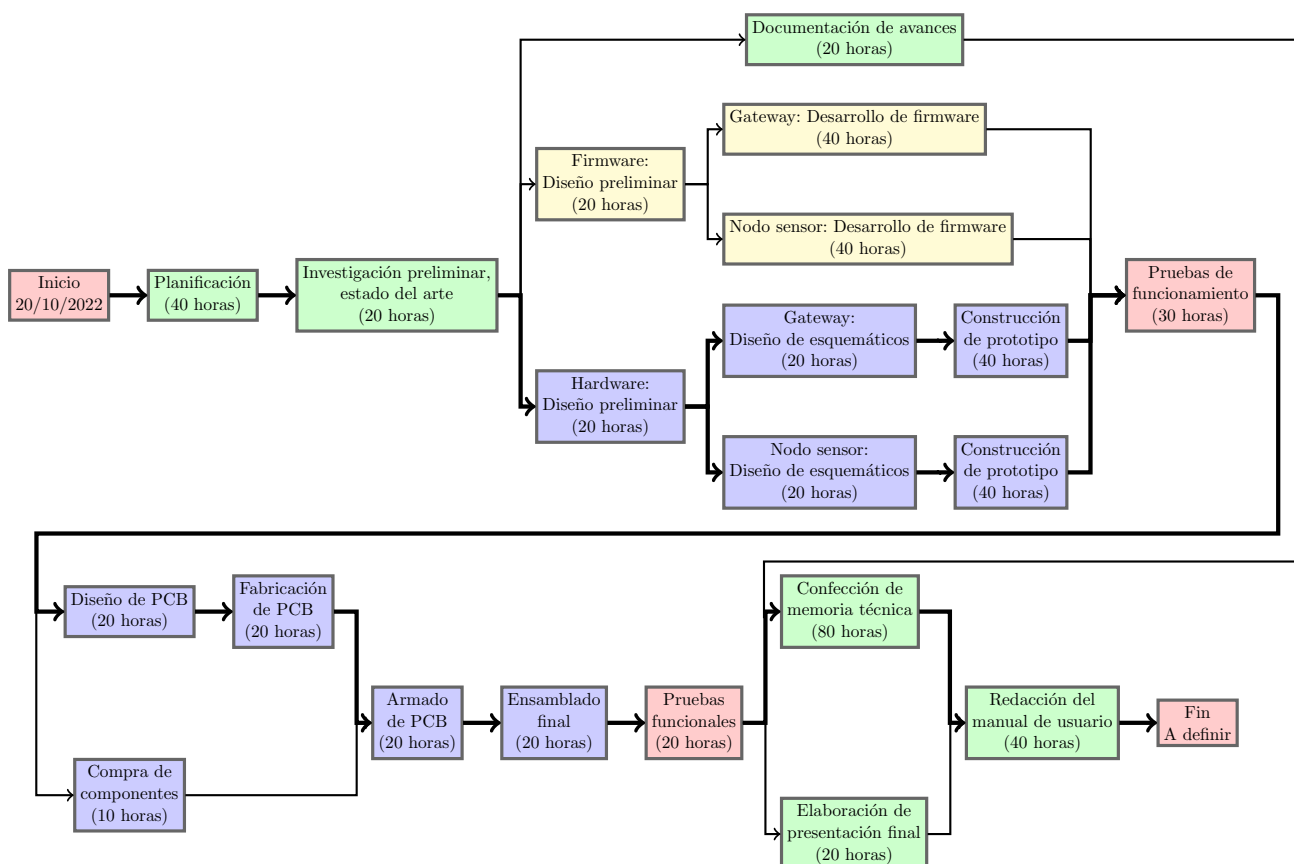
1. Gestión y documentación (220 horas).
 - 1.1. Planificación del proyecto (40 horas).
 - 1.2. Investigación preliminar (20 horas).
 - 1.3. Documentación de avances (20 horas).
 - 1.4. Confección de la memoria técnica (80 horas).
 - 1.5. Elaboración de la presentación final (20 horas).
 - 1.6. Redacción del manual de usuario (40 horas).
2. Desarrollo de hardware (210 horas).
 - 2.1. Diseño preliminar (20 horas).
 - 2.2. Diseño de esquemáticos del *Gateway* (20 horas).
 - 2.3. Diseño de esquemáticos del nodo sensor (20 horas).
 - 2.4. Construcción de prototipo del *Gateway* (40 horas).
 - 2.5. Construcción de prototipo del nodo sensor (40 horas).

- 2.6. Diseño de PCB (20 horas).
- 2.7. Fabricación de PCB (20 horas).
- 2.8. Compra de componentes (10 horas).
- 2.9. Armado de PCB (20 horas).
- 3. Desarrollo de firmware (130 horas).
 - 3.1. Diseño preliminar (20 horas).
 - 3.2. Desarrollo del código para el *Gateway* (40 horas).
 - 3.3. Desarrollo del código para el nodo sensor (40 horas).
 - 3.4. Pruebas de funcionamiento (30 horas).
- 4. Verificación y finalización (40 horas).
 - 4.1. Montaje final (20 horas).
 - 4.2. Pruebas funcionales (20 horas).

Cantidad total de horas: 600.

10. Diagrama de Activity On Node

En la Figura 2 se observa el diagrama de *Activity on Node* con los tiempos en horas de trabajo. El camino critico se encuentra resaltado con trazo grueso, en el que se totalizan 390 horas.



11. Diagrama de Gantt



Figura 2. Diagrama de Gantt

12. Presupuesto detallado del proyecto

| COSTOS DIRECTOS | | | |
|--|----------|-----------------------|-------------------|
| Descripción | Cantidad | Valor unitario (AR\$) | Valor total(AR\$) |
| ESP32 Development Board | 1 | 4285 | 4285 |
| ESP8266 Development Board | 2 | 2000 | 4000 |
| SX1278 LoRa Module | 3 | 3542 | 10626 |
| Sensor de corriente efecto Hall 100 A | 3 | 4415 | 13245 |
| Batería de litio 18650 3,7 V | 2 | 2230 | 4460 |
| Fabricación de PCB | 3 | 3000 | 9000 |
| Resistencias, capacitores, conectores, etc | 3 | 1000 | 3000 |
| Hora de trabajo | 600 | 2000 | 1200000 |
| SUBTOTAL | | | 1248616 |
| COSTOS INDIRECTOS | | | |
| Descripción | Cantidad | Valor unitario | Valor total |
| 40 % de los costos directos | | | 19449,40 |
| SUBTOTAL | | | 19449,40 |
| TOTAL | | | 1268062,40 |

13. 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 de forma negativa)

- 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).

14. Gestión de la calidad

Para cada uno de los requerimientos del proyecto indique:

- Req #1: copiar acá el requerimiento.
 - 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, mediciones, etc. Las acciones de verificación suelen considerar al entregable como “caja blanca”, es decir se conoce en profundidad su funcionamiento interno. En cambio, las acciones de validación suelen considerar al entregable como “caja negra”, es decir, que no se conocen los detalles de su funcionamiento interno.

15. 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 emplearon, 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.