



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS BASADOS EN INTERNET DE LAS
COSAS

Tarea 1 - Requerimientos

Nicolás Ruminot Ahumada
Leslie Cárdenas Villegas

Santiago
9 de julio de 2023

Índice

1	Descripción General	2
2	Estado actual del sistema propuesto	3
3	Requerimientos del negocio	3
4	Casos de uso	3
5	Requerimientos de usuario	4
6	Requerimientos del sistema	4
7	Diagrama de solución	5
8	Plan de pruebas unitarias	6
9	Plan de pruebas globales	7
10	Referencias	7

1. Descripción General

En Chile, se vive con catastrofes que saturan el sistema de salud regularmente. Temblores e incendios forestales son los que más se repiten durante el año y la organización encargada de gestionar estos recursos es SENAPRED (Servicio Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres).

El presente proyecto se enfoca en la supervisión y seguimiento de la electricidad del Hospital San Borja, ubicado en Av. Sta. Rosa 1234, Santiago, Región Metropolitana, a una distancia de 2,3 [km] del edificio de SENAPRED en Av. Beauchef 1671 como se muestra en la Figura 1. Para conseguirlo se emplearán dispositivos integrados en el hospital para monitorear los sistemas de respaldo a servicios básicos, estableciendo una conexión fluida y eficiente desde un punto estratégico hasta las oficinas de SENAPRED. Esto permitirá a SENAPRED realizar una asignación eficiente de sus recursos para una respuesta adecuada en caso de alguna catástrofe.

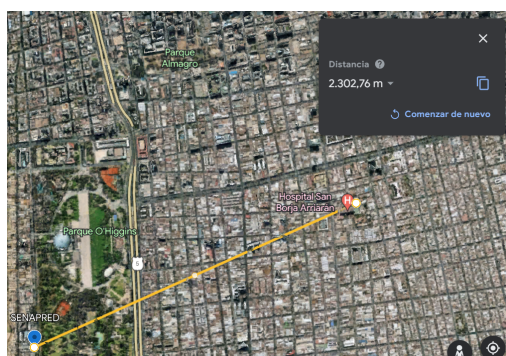


Figura 1: Medición de la distancia entre los puntos de interés con Google Earth.

El dispositivo encargado de supervisar el servicio de electricidad será un dispositivo autónomo de bajo consumo, independiente de la red de infraestructura crítica en la que se encuentra, y establecerá comunicación inalámbrica con SENAPRED. La información transmitida no solo debe contar con alta redundancia, sino que también debe ser confidencial. En el edificio de SENAPRED se dispondrá de un dispositivo central capaz de recibir y enviar información a múltiples dispositivos que monitorean diversos parámetros críticos. En este informe, el enfoque se limita a un único servicio crítico, por lo que se abordará únicamente un canal y enlace de comunicación. En la Figura 2 se presenta un esquema general del sistema propuesto.

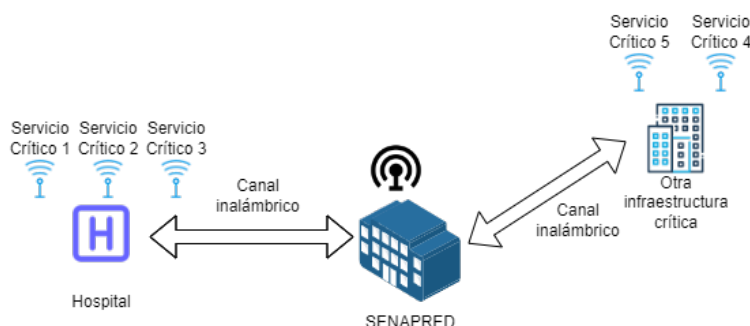


Figura 2: Diagrama general del sistema propuesto.

2. Estado actual del sistema propuesto

El hospital en cuestión se encuentra en el área que ENEL se encarga de abastecer de electricidad. Se asume que el sistema eléctrico del edificio es el usual de un hospital de su envergadura, es decir, que cuentan con generadores y bancos de baterías para suplir las necesidades si es que se genera un corte de suministro. Según una licitación de Mercado Público del 2018 [1], el Hospital San Borja cuenta con al menos 5 generadores con una potencia total de 2585[KVA], cuyas capacidades varían desde los 310 [lts] a los 1500 [lts].

En la actualidad, en Chile se asigna una considerable suma de dinero para hacer frente a los desastres naturales. Según la OCDE en 2012, Chile figuraba como uno de los países con mayores niveles de daños catastróficos en relación a su PIB en los últimos 72 años, alcanzando un 18 % del PIB en el año 2010 [2]. Tan solo en el manejo de emergencias, se destinaron cerca de 246 millones de dolares en 2015. Durante ese año, los incendios forestales representaron un gasto de más de 35 millones de dolares, mientras que los aluviones ascendieron a 89 millones y las erupciones volcánicas a otros seis millones.

El sistema abordaría tanto la prevención como la respuesta ante una catástrofe, lo que implica una gestión eficiente de los recursos una vez que ocurre el evento. Estimar el porcentaje exacto de pérdidas económicas evitables con las medidas implementadas resulta complicado, pero se podría suponer que oscila entre el 5 % y el 10 %. Cabe destacar que no solo se trata de pérdidas económicas en estas situaciones, sino también de la pérdida de vidas humanas.

3. Requerimientos del negocio

- El sistema de comunicación entre el hospital y SENAPRED debe ser seguro.
- La comunicación entre el hospital y SENAPRED debe ser continua.
- Debe alertarse a las personas de mantención del hospital si los generadores tienen un nivel bajo de diesel.
- Debe alertarse a las personas de mantención del hospital si los generadores empiezan a funcionar sin que haya un corte de suministro.
- Debe almacenarse en una base de datos lo recibido desde el hospital en SENAPRED.
- La base de datos debe ser segura.
- Debe limitar las interacciones humanas a aquellas únicamente necesarias por su naturaleza.

4. Casos de uso

- **Personal de Mantención:** Es el personal encargado de realizar los mantenimientos preventivos al sistema de generadores e intervenir en caso de una falla menor o crítica. Son quienes recibe todas las detecciones de anomalías desde SENAPRED, reparan y entregan un informe del problema y su (eventual) solución. También, parte de ese equipo se encarga del mantenimiento programado de elementos esenciales para el monitoreo y la comunicación de este sistema, lo que incluye por ejemplo cambio de baterías o verificación del estado de ciertos sensores cada cierto tiempo.
- **Personas hospitalizadas:** Estas personas están en el Hospital siendo tratadas y muchas las cosas que los rodean funcionan con electricidad, partiendo por el simple monitoreo de signos vitales. En una situación de emergencia donde este servicio crítico se vea comprometido, estos usuarios deben percibir mínimamente el problema y por ningún motivo los generadores pueden tardar más de ciertos segundos en activarse. Así mismo, no puede comprometerse la vida de las personas en un

estado dependiente de estas máquinas y la red de suministro eléctrico base debe reestablecerse en un tiempo no mayor a 8 horas. En el caso de que eso no pueda ocurrir, las personas hospitalizadas deben ser trasladadas a otros centros asistenciales con todas las medidas de precaución posibles.

- **Personal de SENAPRED:** El personal de SENAPRED debe procesar los datos recibidos desde el hospital y poder determinar si estos tienen alguna falla. Si es así, debe dar aviso al personal de mantención del hospital a través de una llamada a alguien de esa área, para que se restablezca lo más pronto posible el estado correcto de los generadores. En caso de una emergencia, debe poder conocer el estado de los servicios críticos del hospital de forma rápida, ya que la prioridad debe estar en las personas que necesiten ser atendidas.

5. Requerimientos de usuario

- **Documentación:** El sistema debe contar con una documentación completa y precisa, de manera que en caso de cualquier eventualidad, un técnico de mantenimiento pueda identificar y solucionar la falla de la manera más eficiente y efectiva posible. Además, dicha documentación permitirá a los operadores de SENAPRED familiarizarse adecuadamente con el sistema, facilitando su proceso de adaptación y comprensión del mismo en óptimas condiciones.
- **Panel de interacción para el operario:** El sistema debe contar con una interfaz interactiva que permita al operario visualizar y evaluar de manera efectiva los datos generados por el sistema.
- **Imperceptible para el usuario indirecto:** Para los usuarios indirectos, es decir, los clientes del hospital, el sistema debe ser transparente y no debe permitir ninguna interacción por parte de ellos en ninguna circunstancia.

6. Requerimientos del sistema

1. El sistema debe contar con fuentes de alimentación que aseguren su funcionamiento durante un periodo de al menos 5 años.
2. El sistema debe poder establecer comunicación entre un nodo y la estación base a una distancia de hasta 5 [km].
3. Cada generador debe contar con dos sensores en su interior.
4. Los sensores del generador deben poder medir entre una distancia de 0,2 y 2 [m].
5. Los sensores del generador requieren una precisión de 0,02 [m].
6. Las mediciones de los generadores deben realizarse cada 5 [seg].
7. La detección de la caída de la red eléctrica debe tardar máximo 2 [seg].
8. Los sensores de la red eléctrica deben poder medir 10 [kA] (asumiendo que el hospital regularmente usa 3 veces la corriente que dan los generadores a 220 [V] y un factor de potencia de 0,8)
9. La medición de corriente de la red eléctrica requiere de una precisión de 100 [A].
10. La transmisión de información debe ser altamente redundante con el fin de garantizar un BER de máximo 10^{-4} en el peor de los casos.
11. La transmisión debe incorporar un mecanismo de detección de errores tipo *parity check* que permita solicitar el mensaje de nuevo en caso de no cumplir con la paridad.
12. El sistema debe funcionar hasta un 80 % de humedad.

13. El sistema debe poder funcionar entre -10 y 50 $^{\circ}\text{C}$ de temperatura.
14. El sistema debe tener una alta disponibilidad, en específico con un 99,9 % de disponibilidad anual.
15. La información desde el hospital se envía de forma periódica 1 vez por minuto.
16. El sistema debe considerar carcasas de ABS.
17. El sistema debe incorporar un sólido cifrado que garantice la confidencialidad de los datos. RSA para la distribución de la clave secreta y AES 128 para cifrar la información a enviar.
18. La base de datos debe tener respaldo a la nube.
19. La base de datos debe poder almacenar la información de al menos los 5 años anteriores.
20. La base de datos debe estar cifrada con AES256.
21. El sistema debe contar con una interfaz para que el operador de SENAPRED pueda observar la información recibida.
22. El sistema debe contar con una interfaz para que el operador de SENAPRED pueda manipular la información recibida.

7. Diagrama de solución

A continuación se presenta en más detalle la solución planteada (Figura 3). Partiendo desde el monitoreo en el Hospital San Borja, se tienen 2 secciones importantes:

- **Sala Eléctrica:** se ubica en el subterráneo del Hospital San Borja, cuenta con mala señal al exterior y es donde se encuentran los generadores.
Aquí se tendrá un sistema de monitoreo tanto de los generadores como de la red eléctrica, cuyas mediciones se procesarán por un microcontrolador alimentado por una batería (o a través de un transformador conectado al generador). En el caso de la red eléctrica, se agrega un transductor que transforme la corriente en un valor de voltaje entre 0 y 5 [V] para que sea medible por el microcontrolador. Estas mediciones se envían a través de cables a otro punto en el hospital con mejor recepción.
- **Zona de altura:** este punto se espera que cuente con el mejor SNR del complejo y es por tanto donde se reciben las mediciones, se codifican y se transmiten a través de una antena externa.

En las oficina de SENAPRED también se tienen dos secciones:

- **Zona de altura:** Es donde se reciben las señales desde los diferentes hospitales, en particular, el San Borja. Estas señales son luego transmitidas mediante un cable a un microcontrolador en la oficina de monitoreo.
- **Oficina de monitoreo:** Es una de las tantas oficinas del edificio y donde se decodifica y transmite a un computador cercano la información del hospital. Desde este se debe poder procesar las detecciones en busca de anomalías y, posteriormente, guardar aquello en una base de datos, ya sea en un servidor dentro de la misma oficina u otra. Además es desde este computador donde el personal de SENAPRED puede levantar una alerta, en caso de que algo funcione mal en los generadores. Por ejemplo, que se activen sin que la red eléctrica esté caída.

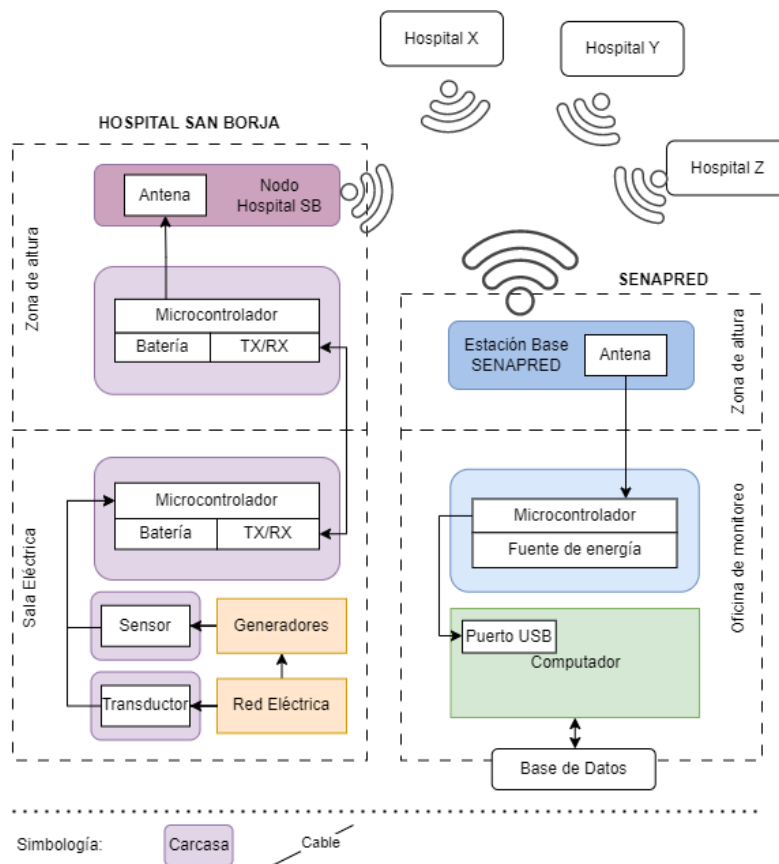


Figura 3: Esquema de la solución.

8. Plan de pruebas unitarias

1. Medir el consumo energético del microcontrolador con todos sus periféricos conectados y estimar el consumo total a 5 años para elegir una batería que se adecue a este consumo.
2. Crear un montaje que permita establecer conexión entre dos dispositivos separados por una distancia de hasta 5 [km].
3. Corroborar que con los parámetros del sistema (distancia entre los puntos de comunicación, densidad poblacional, entre otros) se cumple un BER de 10^{-4} con el montaje propuesto.
4. Programar el mecanismo *parity check* y probarlo en el montaje realizado.
5. Cifrar la información enviada con el sistema criptográfico propuesto y probar descifrar la información en el lado del receptor.
6. Para verificar las mediciones de los sensores de distancia, se pueden hacer pruebas moviendo un objeto de 30x30 [cm] de superficie plana frente a este en el rango de 0,2 a 2 [m] verificando la medición con una cinta métrica de buena calidad. Al mismo tiempo, se puede verificar que tenga la precisión necesaria.
7. Para verificar que las mediciones del sensor de distancia sean cada 5 [seg] se puede programar una secuencia en el microcontrolador que muestre las mediciones, mientras se mueve el objeto 10 [cm] cada 5 [seg].

8. Para verificar las mediciones de voltaje proveniente del transductor, se reemplaza este por una fuente de voltaje confiable y se observan las mediciones que hace el microcontrolador cuanto la fuente entrega desde 0 a 5 [V]. De igual forma, se puede verificar la precisión, realizando variaciones de 0,1 [V] (la equivalencia lineal de una lectura de 100 [A] desde el transductor) y que la detección más crítica (de 0 a 5 [V]) se detecte en menos de 2 [seg] (simulando que la red eléctrica se cae).
9. Hacer una caja que pueda encapsular parcialmente el sistema y cuente con sensores confiables de humedad y temperatura. Verificar que las mediciones coincidan con lo esperado mientras, por separado:
 - Se aumenta la humedad hasta 80 % usando un humidificador.
 - Se aumenta la temperatura a 50 [°C] con un radiador.
 - Se disminuye la temperatura hasta -10 [°C] llevándolo a un congelador.

9. Plan de pruebas globales

1. Prueba global 1: Corresponde a la verificación de la transmisión de información desde los sensores y transductores de la sala eléctrica hasta el microcontrolador de la zona de altura del Hospital San Borja. Para realizar esta prueba es necesario:
 - a) Realizar y mostrar las mediciones de los sensores de distancia y del estado de la red usando el microcontrolador de la sala eléctrica.
 - b) Transmitir lo anterior mediante el protocolo UART al microcontrolador de la zona de altura.
 - c) Leer lo transmitido al microcontrolador de la zona de altura
 - d) Comparar lo recibido con los datos del primer punto.
2. Prueba global 2: La prueba de enlace consiste en probar las características de la comunicación entre el nodo y la estación base en su completitud, para esto es necesario:
 - a) Posicionar los dispositivos a una distancia equivalente a la del caso real.
 - b) Establecer comunicación entre ellos y calcular el BER.
 - c) Cifrar y decifrar paquetes de datos.
 - d) Inducir un error para probar el mecanismo de detección y corrección de errores.

10. Referencias

[1] “Ficha Licitación PCV- Mantencion Grupos Electrogenos” *Ficha Licitación*, 23-Aug-2018. [Online]. Disponible en: <https://www.mercadopublico.cl/Procurement/Modules/RFB/DetailsAcquisition.aspx?qs=IYL6YI7P0nc0ar0%2Ffirx0KQ>. [Accedido: 10-Apr-2023].

[2] “Cuánto Cuestan Las Emergencias por catástrofes Naturales en Chile,” *CITRID*, 15-May-2017. [Online]. Disponible en: <https://citrid.uchile.cl/2017/05/15/cuanto-cuestan-las-emergencias-por-catastrofes-naturales-en-chile/>. [Accedido: 09-Apr-2023].