

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

PRÁCTICA PROFESIONAL SUPERVISADA

Sistema de monitoreo de temperaturas en tiempo real para refrigeradores críticos de salud

Autor:
Juan Perez

Supervisor docente:
Esp. Ing. Marcelo Castello (UTN - FRRO)

Supervisor de campo:
Nombre del supervisor de campo (pertenencia)

Empresa/Institución:
Nombre de la empresa/institución

*Este trabajo fue realizado en la ciudad de Rosario,
entre agosto de 2020 y agosto de 2021.*

Resumen

En esta memoria se describe el diseño e implementación de un sistema de alertas y vigilancia de temperatura para freezers y heladeras que almacenan hemoproductos o especialidades medicinales. El mismo surge de la necesidad de la secretaría de salud pública de la municipalidad de Rosario de implementar un sistema de bajo costo para garantizar la cadena de frío de vacunas.

En el trabajo se aplicaron conocimientos referidos a ciberseguridad en aplicaciones, infraestructura y protocolos de comunicación para dispositivos sensores, procesamiento de mensajes, visualización y graficación de datos.

Agradecimientos

A la municipalidad de Rosario por permitirme plasmar esta idea.

A mis compañeros de la Dirección de Bioingeniería por permitirme tomar tiempo de trabajo para esta realización.

Al Mg. Ing. Juan Salerno por la paciencia en el acompañamiento y revisión del trabajo.

Índice general

Resumen	I
1. Introducción general	1
1.1. Internet de las Cosas	1
1.2. Estado del arte	2
1.3. Motivación	3
1.4. Objetivos y alcance	4
1.5. Requerimientos	5
2. Marco de referencia	9
3. Ejecución del plan de trabajo	11
4. Resultados y conclusiones	13
5. Vinculación del proyecto con las materias de la carrera	15
6. Lecciones aprendidas y recomendaciones	17

Índice de figuras

1.1. Futuro de las redes en IoT ¹	2
--	---

Índice de tablas

1.1. Comparación del trabajo con productos similares importados y nacionales.	3
---	---

Capítulo 1

Introducción general

En este capítulo se presenta una breve introducción técnica y se describen la motivación, los objetivos, el alcance y requerimientos del trabajo.

1.1. Internet de las Cosas

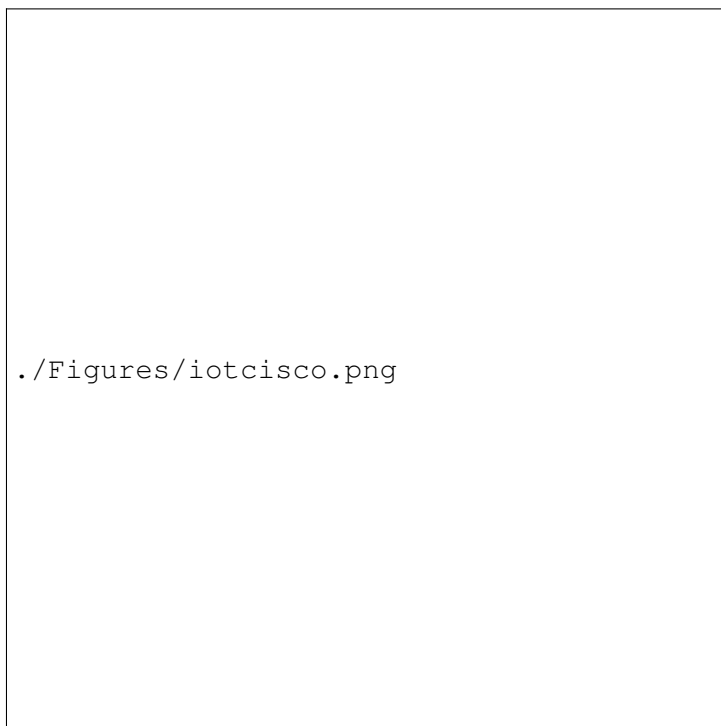
El término Internet de las Cosas (IoT) describe a una red de interconexión de objetos que incorporan software, hardware y otras tecnologías con el fin de interactuar con otros dispositivos o sistemas a través de Internet. Los objetos físicos que se conectan a esta red, van desde simples sensores de temperaturas domésticos hasta redes de sensores industriales utilizados para el mantenimiento predictivo.

De esta manera, es posible capturar información clave para la detección de patrones de comportamiento que servirán para mejorar la eficiencia de los dispositivos o sistemas a los cuales están conectados. Dada la gran cantidad de sensores y datos recopilados y la alta precisión necesaria para su tratamiento, IoT necesita de tecnologías orientadas al almacenamiento, manipulación y análisis de grandes volúmenes de datos. Una de estas tecnologías que ha penetrado a ritmo acelerado en IoT es la Inteligencia Artificial, ya que al aplicar algoritmos inteligentes, permite inferir conocimiento acerca de los sensores conectados a la red.

Esta información se hace relevante al usuario de alguna forma, ya sea por la realización de alguna acción automática como una notificación o a través de gráficos y valores actuales en los llamados *dashboards* o paneles de control que muestran los datos ya procesados.

Actualmente, IoT está compuesta por una colección dispersa de redes diferentes y con distintos fines [cisco]. Los automóviles, las industrias, los edificios comerciales y residenciales, tienen múltiples redes para vigilar y controlar el funcionamiento de sus sistemas. A medida que IoT evolucione, estas redes se interconectarán con la incorporación de capacidades de seguridad, análisis y administración que se podrán convertir en información y conocimiento. La figura 1.1 muestra una proyección de este concepto.

Esto abre una ventana de oportunidades para crear aplicaciones en las áreas de la automatización, el uso de sensores y la comunicación entre máquinas.

FIGURA 1.1. Futuro de las redes en IoT¹.

1.2. Estado del arte

Si bien en el mercado existen soluciones para vigilancia de temperaturas aplicadas al área de salud, la mayoría de estos sistemas son de origen importado. Esto hace que los costos y los servicios de mantenimiento sean elevados. Además, en general se comercializan por módulos, por lo que no se proveen soluciones completas.

Ejemplo de algunas empresas que comercializan estos sistemas en nuestro país:

- Testo (Alemania) [**testo**].
- Novus (Brasil) [**novus**].
- Honeywell (USA) [**honeywell**].
- Absolut Mobile, empresa nacional que provee soluciones de telemetría a partir de módulos hardware/software importados [**absolutmobile**].
- Bemakoha, empresa nacional que provee productos importados con algunos desarrollos nacionales [**bemakoha**].

También hay productos de origen nacional, Celsius Patagon [**celsius**], empresa rosarina que produce soluciones para IoT, posee un desarrollo para supervisión remota de temperatura.

Casi todas las soluciones necesitan que el cliente tenga un abono mensual para el monitoreo continuo, además de adquirir el hardware correspondiente. Desde este punto de vista, el presente trabajo se destaca especialmente por incorporar

¹Imagen tomada de: https://www.cisco.com/c/dam/global/es_mx/solutions/executive/assets/pdf/internet-of-things-iot-ibsg.pdf

una solución integral, de bajo costo, sin gastos de abono y con la característica distintiva que los datos pueden estar guardados en los servidores de la municipalidad de Rosario. Esto lo diferencia de otros sistemas similares en que los datos quedan en poder del fabricante, quien eventualmente, ofrece un portal para poder hacer una visualización. Además, al no ofrecer una solución integral, cada módulo extra incorporado representa un gasto o abono adicional.

En la tabla 1.1 se muestra una comparación de algunos ítems importantes entre este trabajo y los sistemas similares de fabricación nacional o importados. En ella se ponen de manifiesto las características de bajo costo y alta prestación del sistema desarrollado.

TABLA 1.1. Comparación del trabajo con productos similares importados y nacionales.

Beneficios	Este trabajo	Importados	Nacionales
Bajo costo del producto	Sí	No	Sí
Solución integral	Sí	No	No
No requiere abono mensual	Sí	No	No
No requiere hardware adicional	Sí	No	No
Datos en servidores propios	Sí	No	No

1.3. Motivación

El presente proyecto está dirigido a solucionar una problemática existente en la municipalidad de Rosario, donde en el área salud pública funcionan hospitales, centros de salud, droguerías y bancos de sangre. Todos estos efectores necesitan, para almacenar los insumos médicos, sistemas de refrigeración que provean alta confiabilidad en su prestación. El buen funcionamiento de estos sistemas es afectado a menudo por cortes de energía, mermas en el rendimiento del equipo compresor, o pérdidas en el sello, ya sea por desgaste de burletes o puertas mal cerradas. En el área de salud esto resulta crítico puesto que productos medicinales, como hemoproductos o vacunas, pueden perder la eficacia médica. Esto no sólo se traduce en pérdidas económicas, sino también implica que los tratamientos sobre las personas pueden no ser efectivos o que no puedan ser accedidos por la pérdida del material, con el consecuente impacto social que esto representa para el municipio. Además, la Administración Nacional de Medicamentos Alimentos y Tecnología Médica (ANMAT), a través de la disposición: “Buenas Prácticas de Distribución de Medicamentos”, resolución N° 2069/2018 [anmat], define un conjunto de prácticas para el transporte y almacenamiento de productos farmacéuticos donde exige trazabilidad, equipamiento para el control y registro continuo de temperaturas con el fin de asegurar las condiciones ambientales de almacenamiento de tales productos.

La medición a distancia, continua y en tiempo real de estas temperaturas, sumado a un sistema de alerta, aseguran las condiciones legales, minimizan los riesgos y garantizan la disponibilidad de hemoproductos y vacunas seguros en el momento y lugar en que se requieran.

Los equipos y software disponibles en plaza, en su mayoría, son de origen extranjero y su utilización -además de onerosa- implica una dependencia con los

fabricantes en términos económicos pero también de criterios. En otras palabras, para trabajar con estos recursos se deben seguir criterios técnico-económicos diseñados para otras latitudes y otras condiciones. Se deben realizar adaptaciones y aproximaciones que implican tareas adicionales y que no siempre son del todo efectivas. El personal destinado a estas tareas debe entrenarse, lo que implica tiempo y esfuerzo. Este entrenamiento debe reforzarse cada vez que el propietario del sistema decide algún cambio o actualización. Por consiguiente, es menester redirigir este esfuerzo a tareas más provechosas. Se requiere para ello, el desarrollo de tecnología propia destinada a este fin, que pueda ser adaptada a las necesidades de los investigadores locales para evitar la dependencia tecnológica en equipos y en software y reducir en todo lo posible las erogaciones durante la investigación.

1.4. Objetivos y alcance

El propósito de este trabajo es poner en marcha un sistema de registro y visualización de temperaturas para refrigeradores críticos del área salud, con el objetivo de minimizar los riesgos de pérdida de material, mantener la calidad y eficacia médica de los productos y asegurar las condiciones legales exigidas por la autoridad competente.

La solución se compone de las siguientes partes:

- medición de la temperatura.
- transporte de los datos.
- lógica de procesamiento y persistencia de datos.
- visualización y alarmas.

En el trabajo se diseñaron los componentes fundamentales para que el sistema sea capaz de realizar una vigilancia de temperatura de heladeras y freezers pertenecientes a distintos efectores de salud de la ciudad de Rosario.

Para ello se desarrollaron las siguientes actividades:

- producción de las placas de circuito impreso para los nodos sensores de temperatura.
- instalación y configuración de un servidor para proveer la visualización de los datos capturados por los sensores.
- creación de reglas lógicas para originar las alarmas.
- instalación de una base de datos en el servidor donde se almacenan las temperaturas y las configuraciones del sistema.
- configuración de paneles de visualización de temperatura y estado para cada dispositivo conectado al sistema.
- configuración del envío de las notificaciones de alarmas.

Quedan fuera del alcance del trabajo las siguientes características:

- la provisión de la infraestructura para el transporte de los datos: puntos de acceso a Internet y conexiones a Internet para cada área donde estarán emplazados los sensores.

- las certificaciones emitidas por las autoridades competentes.
- el desarrollo de sensores aptos para su instalación en equipos ultrafreezer (-70°C).
- el almacenamieto de los valores de temperaturas en memorias externas.
- el uso de baterías para su funcionamiento.

1.5. Requerimientos

Las actividades mencionadas en la sección 1.5 fueron diagramadas en base a los requerimientos planteados en la planificación. Los mismos se listan a continuación.

1. Requerimientos de hardware de los nodos

- a) Cada nodo estará compuesto por un microcontrolador, un elemento sensor de temperatura y la electrónica asociada para su funcionamiento.
- b) El microcontrolador utilizado deberá estar en fase de producción activa.
- c) El microcontrolador deberá contener capa física WiFi.
- d) El elemento sensor deberá tener un rango de medición entre -50 y 100 °C.
- e) El nodo deberá incluir en su circuito un filtro activo de 2° orden para filtrar las componentes de alta frecuencia de la entrada de temperatura.
- f) El nodo deberá incorporar indicadores luminosos de conexión con la red WiFi, conexión con el servidor central e indicador de fuera de rango de temperatura.

2. Requerimientos del software de los nodos

- a) Deberá contener un conjunto de parámetros que identifiquen de forma unívoca al sensor dentro del sistema.
- b) Los parámetros se deberán almacenar en memoria no volátil.
- c) Deberá gestionar el procesamiento de los valores de temperatura: muestreo cada segundo y promediado cada 600 segundos.
- d) Deberá incluir parámetros de calibración como offset y ganancia para su futuro contraste con un instrumento patrón.
- e) El nodo deberá incorporar una página web para configuración de parámetros específicos/calibración del sensor.
- f) Deberá incorporar un sistema de actualización remota del firmware.
- g) Deberá ser capaz de conectar distintos modelos de sensores de temperatura.

3. Requerimientos de seguridad informática

- a) La transmisión de los datos se deberá realizar con encriptación, utilizando para ello protocolos de seguridad.
- b) El acceso al sistema de visualización deberá ser con usuario y contraseña.
- c) El acceso a la página web del sensor deberá ser con usuario y contraseña.

4. Requerimientos del cliente

- a) El sistema de visualización debe incluir roles para distintos usuarios.
 - 1) Rol Administrador: podrá dar alta a usuarios y cambiar sus roles.
 - 2) Rol Jefe: podrá cambiar parámetros, visualizar series de tiempo y recibir alertas.
 - 3) Rol Operador: sólo podrá visualizar series de tiempo y recibir alertas.
- b) El sistema deberá prever la incorporación de otras variables a monitorear, que serán materia de desarrollos futuros de sensores.
- c) El sistema de visualización deberá mostrar claramente la estructura jerárquica geográfica de la empresa.
- d) El sistema deberá ser escalable para implementar nuevas áreas a monitorear.

5. Requerimientos del sistema de visualización

- a) Deberá mostrar la temperatura.
- b) Deberá mostrar el estado del dispositivo que puede ser *online* o fuera de rango.
- c) Deberá mostrar la fecha y hora de la última telemetría enviada al servidor.
- d) Deberá mostrar la configuración de los parámetros de alertas (rangos de temperatura).
- e) Deberá mostrar una vista rápida de los sensores fuera de rango mediante plano en pantalla del área.
- f) Deberá mostrar una tabla con el histórico de alarmas por cada sensor.
- g) Deberá mostrar mediante gráficas la evolución de las temperaturas en el dominio del tiempo con entorno configurable.
- h) Deberá mostrar el lugar de emplazamiento del dispositivo.

6. Requerimientos de las alarmas

- a) Deberá enviar las alarmas discriminadas por efector/área.
- b) Deberá enviar notificaciones ante desplazamientos de la temperatura por encima del rango.
- c) Deberá enviar notificaciones ante desplazamientos de la temperatura por debajo del rango.

- d)* Deberá enviar notificaciones ante desconexiones del dispositivo sensor.
- e)* Deberá enviar notificaciones ante recupero de la conexión del dispositivo sensor.

7. *Requerimientos de compras*

- a)* Se deberá utilizar la gestión de compras directas para elementos con presupuesto menor a \$10.000.
- b)* Se deberán realizar las gestiones correspondiente para realizar compras en el exterior.

Capítulo 2

Marco de referencia

Capítulo 3

Ejecución del plan de trabajo

Capítulo 4

Resultados y conclusiones

Capítulo 5

Vinculación del proyecto con las materias de la carrera

Capítulo 6

Lecciones aprendidas y recomendaciones