

Sistema de detección de fallas de semáforos basado en tecnología de automatización y telemetría

Lucas Gabriel Kucuk¹, Hernán Bareiro¹, Martín Alejandro Martínez¹,
Fernando Gondallier De Tugny¹, Diego Alberto Godoy¹

¹Centro de Investigación en Tecnologías de la Información y Comunicaciones (C.I.T.I.C.)
Departamento de Ingeniería y Ciencias de la Producción-Universidad Gastón Dachary

lukucuk@citic.ugd.edu.ar, hbareiro@citic.ugd.edu.ar, telaf1997@gmail.com,
fernandoegondallierdt@gmail.com, diegodoy@citic.ugd.edu.ar

RESUMEN

El correcto funcionamiento de los semáforos es fundamental para garantizar la seguridad y la circulación adecuada del tráfico vehicular y peatonal en las calles públicas. Cuando estos dispositivos presentan fallas o no operan de manera adecuada, se generan inconvenientes para la seguridad y se producen situaciones no deseadas en la movilidad urbana.

En este artículo se presenta un análisis de la problemática presentada, para luego determinar una posible solución sobre cómo detectar de forma temprana las fallas en los semáforos, y transmitir las al personal encargado de solucionarlas.

Se establecen criterios técnicos sobre una propuesta de solución por hardware considerando componentes de bajo costo basado en Arduino y telemetría. Como resultado, se muestran las primeras aproximaciones del prototipo a utilizar las cuales resultan positivas.

Palabras claves: Semáforos, Telemetría, Automatización, Ciudades Inteligentes

CONTEXTO

Este trabajo tiene como contexto al proyecto de investigación denominado “Tecnologías para Desarrollos Sostenibles de Ciudades Inteligentes apoyados por machine learning”, registrado actualmente en la Secretaría de Investigación y Desarrollo de la Universidad Gastón Dachary (UGD) con el número Código IP A12001/22 y radicado en el Centro de Investigación en Tecnologías de la Información y Comunicaciones de dicha universidad. Además, este se desarrolla en el

marco de un trabajo de final de carrera de Ingeniería en Informática en la Universidad Gastón Dachary de la provincia de Misiones.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad se encuentran distintos trabajos vinculados a la mejora de servicios de las ciudades. La red de semáforos constituye una necesidad para el buen funcionamiento vial, para la seguridad de los habitantes, y también, para la educación y conducción responsable.

Existe una fuerte corriente de empezar a migrar servicios ciudadanos tradicionales a otros más modernos dentro de los parámetros de lo que se llaman ciudades inteligentes, que consiste en establecer un ecosistema tecnológico y social donde se implemente tecnología vinculada a la inteligencia artificial, automatización, robótica e internet de las cosas [1].

Las fallas en los semáforos no es un problema que se circunscribe solamente en la ciudad de Posadas, es una problemática recurrente en todo tipo de poblaciones urbanas y constituyen un gran peligro en cuanto a la gestión del tránsito [2] y en accidentes producidos por los mismos [3]. El gran desafío es desarrollar sistemas que permitan la implementación de tecnología accesible y económica que permita su rápida expansión [4].

En el marco de este trabajo se desarrolla una propuesta que consiste en un sistema que detecta y transmite las fallas de los semáforos, teniendo en cuenta los recursos de la telemetría [4], el cual permite conocer los

estados de los mismos, teniendo en cuenta que la distancia de transmisión entre semáforos será como máximo 100 metros en línea recta simulando el diagrama de circulación de esquema de manos únicas (Fig 1).



Fig. 1: Manos únicas - Posadas Misiones. Fuente IDE Posadas [5]

Esta propuesta busca implementar una idea innovadora que aproveche los recursos de los sistemas embebidos [6][7], para brindar una solución robusta, económica y adaptada de la manera lo más real posible a las necesidades e infraestructura actual que posee la ciudad de Posadas Misiones, incorporando un nuevo desarrollo local sin alterar el preexistente, es decir, sin reemplazar el equipamiento actual.

2. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

Dentro de la línea de investigación, la primera etapa fue establecer cuáles son las fallas más comunes que se pueden identificar en los semáforos, estas son:

Leds quemados: En esta falla cabe mencionar que la detección de leds quemados no es algo trivial. En la actualidad los semáforos poseen iluminación, denominados tortas leds, que se encuentran en distintas posiciones, una en el extremo superior y otra en el extremo inferior a una altura media, los cuales se encuentran conectados en serie a una misma salida de alimentación. Por lo que se produce una dificultad para detectar cuál de ellas está quemada o fuera de funcionamiento, teniendo en cuenta, además, que se utilizan diferentes tipos de tortas leds, que tienen diferentes consumos de energía.

Falta de energía eléctrica: En esta falla se buscará detectar e informar enviando el estado

del semáforo cuando pierde en su totalidad el suministro eléctrico.

Falla en la sincronización: Actualmente la gran mayoría de los semáforos funcionan como nodos independientes, es decir, no están comunicados entre sí, lo cual hace propenso que se presente desincronización. Por lo que se debe detectar el fallo mediante los tiempos de los diferentes colores, y la ubicación respecto a los demás semáforos [8].

La segunda etapa implica analizar y estudiar qué tipos de hardware y tecnologías de software se podrían utilizar para solucionar las problemáticas identificadas. En cuanto al hardware, se indagó sobre las tecnologías actualmente disponibles en el mercado, considerando su accesibilidad.

La tecnología seleccionada permitió el desarrollo de un prototipo capaz de detectar y transmitir la información mediante una red de comunicación compuesta por semáforos, a cada punto de la red se denomina nodo. Para interconectar los nodos de la red, se propone un prototipo conectado a cada semáforo basado en tecnología Arduino y telemetría, las cuales, se mencionan a continuación.

Arduino UNO (Fig. 2): Es una placa de microcontrolador de código abierto. La placa está equipada con conjuntos de pines de E/S digitales y analógicas que pueden conectarse a varios módulos y otros circuitos.



Fig. 2: Placa Arduino UNO

HC-12 (Fig. 3): Es un módulo de comunicación de tipo transceptor de 433 MHz de puerto serie inalámbrico, el cual se basa en el chip RF SI4463, tiene un microcontrolador incorporado y se pueden configurar mediante comandos.



Fig 3: Módulo HC-12

Ra-02 LORA (Fig. 4): Es un módulo de transmisión inalámbrica basado en el transceptor inalámbrico SX1278 de SEMTECH. Funciona a una frecuencia de 433MHz. Es un módulo hecho de alta calidad. De dimensiones pequeñas, solo con 17 x 16 mm.



Fig 4: Módulo LORA

ACS712 (Fig. 5): Es un módulo sensor de corriente. Internamente trabaja con un sensor de efecto Hall que detecta el campo magnético que se produce por inducción de la corriente que circula por la línea que se está midiendo. El sensor entrega una salida de voltaje proporcional a la corriente.

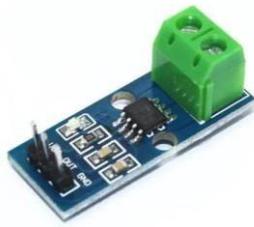


Fig. 5: Módulo ASC712.

3. FUNCIONAMIENTO DEL PROTOTIPO

El funcionamiento del prototipo se puede describir en las siguientes etapas:

1. El primer paso es instalar el prototipo en cada semáforo, el módulo debe ir conectado en serie al cable positivo de la torta led que es alimentada por la placa controladora (Fig. 6). Permitiendo saber cuando existe corriente y cuando no. Un

tiempo prolongado de corriente cero indicará que la misma está quemada o a priori no funciona correctamente.

2. Una vez instalado el equipamiento, se establece una comunicación utilizando información inalámbrica por radiofrecuencia. Para ello se utilizan los módulos HC12 y RA-02 Lora.



Fig. 6: Cable verde positivo y cable negro negativo conectados a la controladora.

3. Cada prototipo realiza una medición de corriente alterna que consumen las denominadas tortas led (Fig. 7) de un semáforo. El programa que tiene embebido determina el tipo de falla que tiene y lo transmite al nodo más inmediato.

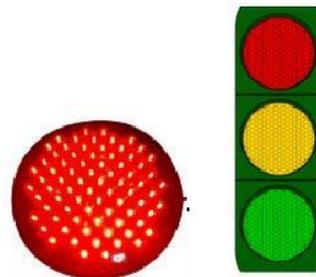


Fig. 7: Torta Led de Semáforo

Los dispositivos de transmisión por radiofrecuencia (HC12 o RA-02) están conectados al Arduino UNO. Estos últimos permiten la transmisión punto a punto entre nodos de semáforos.

4. La comunicación por red permite la transmisión de mensajes de fallas hasta llegar a un nodo central que es el encargado de subir la información que poseen los arduinos de cada semáforo a una base de datos hallada en la nube.

5. Una aplicación web utilizará esta información almacenada y mostrará el estado de funcionamiento de cada semáforo, específicamente el estado de sus tortas led, y su respectiva sincronización con el próximo nodo. Para la sincronización se implementa un algoritmo que permite saber, por medio de tiempos, el color de la torta led que debería estar encendido en un tiempo determinado.
6. En caso de detectarse una falla o mal comportamiento el software genera un aviso mostrando la falla encontrada y la geolocalización del semáforo. Al mismo tiempo, si la falla fue solucionada, también lo indicará.

La arquitectura del sistema puede visualizarse en la Fig. 8. Al estar comunicados entre nodos, los arduinos podrán saber el estado del nodo anterior, y así determinar la sincronización respectiva.

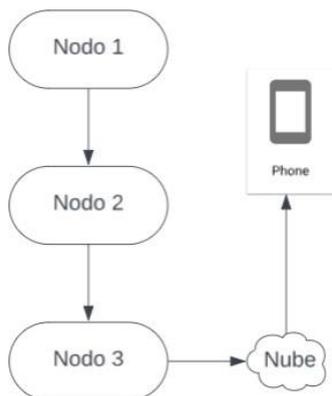


Fig.8: Diagrama de prototipo de conexión.

Cada arduino posee cargado un programa que determina la sincronización, uno que determina el estado de sus tortas led y otro algoritmo que se encarga de la transmisión y recepción de los datos.

Se analizaron diferentes servicios gratuitos como ser render.com, fly.io, koyeb.com y railway.app [9]. Esto permite mantener un registro actualizado de las fallas detectadas y facilita su análisis posterior. Además, se evaluó la implementación de una API REST conectada a la base de datos que permite consumir servicios GET y POST. Por parte de la aplicación de software se hace énfasis en el diseño y programación de una aplicación web

responsive [10] con un sistema de logueo con usuario y contraseña, que en base al consumo de la API REST, permite representar de forma visual los estados de los semáforos, para que las personas encargadas de control puedan estar informados sobre las fallas.

4. RESULTADOS

En esta etapa del trabajo se llevó a cabo un análisis sobre el desempeño de la controladora y de los módulos más específicamente del ASC712 junto al Arduino UNO, y a su vez el desempeño de los módulos RA-02 y HC12 para la transmisión por radiofrecuencia entre nodos.

A través de pruebas realizadas con el sensor ASC712 se pudo determinar que es posible medir la corriente que consumía los leds de los semáforos permitiendo así identificar si funcionan o no. La medición se constató respecto a los valores obtenidos por un amperímetro, las cuales fueron correctas.

Para la transmisión por radiofrecuencia se probaron los dos módulos tanto el HC12 como el RA-02 LORA, como resultados se obtuvieron que poseen gran conectividad y nula pérdida de paquetes en espacios reducidos, pero a medida que las distancias aumentan con un valor mayor a 100 metros la calidad de transmisión se afecta, provocando pérdida de paquetes e inestabilidad de la conexión punto a punto. En cuanto al desarrollo de software, el HC12 es más sencillo de programar ya que con un código se puede poner a punto el mismo y por medio de comandos configurar los modos disponibles. El RA-02 por otro lado requiere de una mayor configuración y utilización de librerías externas. Sin embargo, en las pruebas preliminares, ha demostrado mayor estabilidad en la conexión.

La siguiente etapa de este trabajo tiene que ver con el avance sobre el desarrollo del algoritmo de sincronización e integración de la aplicación web, con la cual los operadores podrán previsualizar los estados de los semáforos. Una vez finalizadas todas las etapas se implementará y se evaluará el funcionamiento del sistema integral con los

usuarios finales. Los resultados de esta etapa final se abordarán en artículos futuros.

Se prevé la incorporación de algunas funcionalidades como la detección de luminosidad de las tortas led por medio de fotocélulas, la cual se está estableciendo su viabilidad técnica.

El presente artículo ha descrito una propuesta en desarrollo para brindar una solución sobre las dificultades en los avisos tempranos de fallas en semáforos. La propuesta ha mostrado viabilidad técnica y económica, y permite la integración de tecnologías de automatización y telemetría.

5. FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS

El equipo encargado del desarrollo de este trabajo se encuentra formado por un investigador del C.I.T.I.C. Un Doctor en Tecnología de la Información y Comunicación. Un Magíster en Tecnologías de la Información y Doctorando en Informática, un Doctorando en Informática y dos estudiantes en instancia de realización de trabajo final de la carrera de Ingeniería en Informática de la UGD. Además, el número de trabajos finales de carrera finalizados en este proyecto es de siete y en curso un total de cuatro.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Bouskela, M., Casseb, M., Bassi, S., De Luca, C., & Facchina, M. (2016). La ruta hacia las smart cities: Migrando de una gestión tradicional a la ciudad inteligente. Inter-American Development Bank.
- [2] Garibay Ortiz, E., & Garibay Ortiz, B. Señalización preventiva con semáforo inteligente de aproximación vehicular en sentido contrario en curvas cerradas entre Huaral–Ancón.
- [3] Reyes Jarrín, D. J., & Sánchez Sánchez, J. K. (2019). Diseño e implementación de un prototipo de semáforo controlado inalámbricamente y con sistema de energía emergente para el control del tránsito vehicular en la Ciudad de Guayaquil (Doctoral dissertation, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas. Carrera de Ingeniería en Networking y Telecomunicaciones).
- [4] Savithramma, R. M., & Sumathi, R. (2020, December). Road traffic signal control and management system: A survey. In 2020 3rd International Conference on Intelligent Sustainable Systems (ICISS) (pp. 104-110). IEEE.
- [5] Infraestructura de datos espaciales Posadas (2024). Sitio web: www.ide.posadas.gob.ar. Fecha de visita: 02/02/2024
- [6] Hughes, J. M. (2016). Arduino: a technical reference: a handbook for technicians, engineers, and makers. "O'Reilly Media, Inc."
- [7] Oshana, R., & Kraeling, M. (Eds.). (2019). Software engineering for embedded systems: Methods, practical techniques, and applications. Newnes.
- [8] Deroussi, A., Abdessalam, A. I. T., Addaim, A., & Erraoui, A. (2018, December). New scalable smart telemetry for industrial systems: Iot solutions. In 2018 International Conference on Electronics, Control, Optimization and Computer Science (ICECOCS) (pp. 1-4). IEEE.
- [9] Panjaitan, C., Abednego, B., Sihombing, S., Andreas, F., Sembiring, P., & Simatupang, J. W. (2018, November). Radio Frequency Communication for Data Transceiver in Fluid Pressure Monitoring on U-tube. In 2018 International Seminar on Research of Information Technology and Intelligent Systems (ISRITI) (pp. 358-361). IEEE.
- [10] Kucuk, L., & Añais, L. (2021). Jabutí EDU, plataforma de robótica educativa IOT open hardware. In XXIII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación (WICC 2021, Chilecito, La Rioja).