

ANTEPROYECTO

DISEÑO DE UN SENSOR INTELIGENTE PARA LA MEDICIÓN DE VARIABLES AMBIENTALES Y MECÁNICAS PARA APLICACIONES DE MONITOREO DE SALUD ESTRUCTURAL

TUTOR ACADÉMICO: José Romero

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela
por el BR. Jose Alejandro Tovar Briceño
para optar por el título de
Ingeniero Electricista

INTRODUCCIÓN

La seguridad en la construcción de infraestructuras es un tema de gran importancia en la actualidad, especialmente cuando se trata de estructuras críticas como edificios o puentes.

Los primeros indicios del monitoreo del estado de las infraestructuras data de nuestros comienzos como especie sedentaria. En la antigüedad, los constructores utilizaban técnicas de inspección visual y auditiva para detectar posibles problemas en las estructuras, como grietas o ruidos inusuales. Con el tiempo, se desarrollaron técnicas más avanzadas para el monitoreo de estructuras, como la utilización de medidores de deformación y sensores de vibración.

La integración de la instrumentación con el análisis estructural comenzó a desarrollarse en la década de 1960 con el advenimiento de la informática y la disponibilidad de computadoras capaces de realizar cálculos estructurales complejos. En esa época, se comenzaron a utilizar sistemas de medición de datos para recopilar información sobre el comportamiento de las estructuras en tiempo real y utilizarla para calibrar y validar los modelos estructurales.

Actualmente, las normas sismoresistentes apuntan a estructuras que sean capaces de mantener su integridad ante un evento de esta magnitud. Además, el monitoreo continuo de la salud estructural permite evaluar el comportamiento de la estructura en caso de sismo y validar los modelos estructurales utilizados en la normativa sismorresistente. Para el monitoreo a largo plazo, el resultado de este proceso es información actualizada periódicamente sobre la capacidad de la estructura para desempeñar su función prevista a la luz del inevitable envejecimiento y degradación resultantes de los entornos operativos.

En este sentido, el monitoreo de las estructuras se ha convertido en una herramienta esencial para garantizar la seguridad de las personas en caso de sismos y cumplir con las normas sismorresistentes. Además, el monitoreo de las estructuras puede ayudar a mejorar la eficacia de las normas sismorresistentes, ya que permite validar y mejorar los modelos estructurales utilizados en la normativa.

Para garantizar la seguridad de estas estructuras, es necesario contar con sistemas de monitoreo que permitan detectar posibles daños o fallas en su funcionamiento y tomar medidas preventivas. En este sentido, los sistemas de adquisición de datos y monitoreo son herramientas esenciales en la prevención de accidentes y daños.

En este trabajo de grado se abordará el diseño e implementación de un sistema de adquisición de datos inalámbrico de bajo costo basado en un microcontrolador para el monitoreo de variables como aceleración, inclinación, humedad y temperatura en estructuras críticas, con el objetivo de prevenir daños y accidentes en estas estructuras.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La seguridad en las estructuras es un tema crítico en la ingeniería, especialmente en lo que respecta a estructuras críticas como edificios y puentes. A medida que el tiempo pasa, estas estructuras pueden deteriorarse y presentar fallas que pueden poner en riesgo la vida de las personas que las utilizan. Por lo tanto, es fundamental contar con sistemas de monitoreo que permitan detectar posibles problemas en las estructuras y tomar medidas preventivas.

Sin embargo, la mayoría de los sistemas de monitoreo de estructuras disponibles en el mercado son costosos y no están diseñados específicamente para aplicaciones de salud estructural. Además, muchos de estos sistemas no son inalámbricos, lo que limita su aplicación en estructuras de gran tamaño o en áreas de difícil acceso, además de los costos asociados a un sistema de cableado fiable que no perturbe las mediciones. Por lo tanto, existe una necesidad clara de desarrollar un sistema de adquisición de datos y monitoreo inalámbrico y de bajo costo para aplicaciones de salud estructural inalámbrico que permita detectar posibles fallas en las estructuras y tomar medidas preventivas para garantizar la seguridad de las personas.

Los principales equipos de medición estructural cuentan con salidas digitales o en su defecto salidas analógicas que pueden ser convertidas y soportan distintos protocolos de comunicación, lo que representa una ventaja al trabajar con microcontroladores, pues estos son adaptables a la mayoría de los protocolos lo que facilita la adquisición de los datos a partir del medidor. Tomando en cuenta lo antes expuesto, se evidencia la necesidad del desarrollo de un sistema de adquisición de datos capaz de atacar esta problemática.

JUSTIFICACIÓN

Un sensor inteligente que conste de un sistema de adquisición de datos basado en un microcontrolador que recolecte y procese la información adquirida en conjunto con varios sensores dispuestos en un solo dispositivo permite realizar la medición de variables ambientales y mecánicas de interés en aplicaciones de salud estructural a un bajo costo; además, un sistema de este tipo es flexible en cuanto a las variables a medir puesto que es compatible con distintos tipos de sensores y a los métodos de comunicación a utilizarse, permitiendo crear soluciones canalizadas a proyectos en específico, logrando disminuir costos y contribuir de una forma más eficaz al proceso de toma de decisiones estructurales.

Para lograr medir todas estas variables en tiempo real es conveniente contar con un microcontrolador capaz de manejar toda esta información sin dejar de lado la fiabilidad en la adquisición de estos datos y que su vez sea capaz de emplear las herramientas necesarias para comunicar estos datos de forma inalámbrica.

ANTECEDENTES

La implementación de microcontroladores para sistemas de adquisición de datos es un tema que se ha desarrollado en múltiples aplicaciones. Muchas veces, se logran desarrollar soluciones que permiten disminuir costos sin que eso afecte la calidad de las mediciones. Las soluciones que se tomarán como referencia lograron: Desarrollar sistemas de adquisición de datos basados en microcontroladores para la medición de variables físicas. Además, se han logrado crear redes de sensores inteligentes que permiten facilitar el envío de los datos de forma inalámbrica.

El concepto de una red mallada no es algo nuevo, consiste en una serie de dispositivos conectados todos entre sí con la capacidad de comunicarse y enviar datos a un lugar de destino. Las soluciones ya existentes que se tomarán como referencia han logrado: utilizar redes malladas de sensores que permiten una recolección y transmisión de datos fuera de la red. Además se ha logrado comunicar de manera inalámbrica a dispositivos que originalmente no poseen esa facultad, equipando estos aparatos con módulos WiFi y un microcontrolador para el manejo del envío y recepción. Los trabajos mencionados se presentan a continuación:

El trabajo de los ingenieros Ruiz-Ayala et al. (2018) en el artículo "Monitoreo de variables meteorológicas a través de un sistema inalámbrico de adquisición de datos" publicado en la Revista de investigación, desarrollo e innovación de Colombia. En este artículo se presenta el desarrollo de un sistema de monitoreo inalámbrico de variables climáticas. El diseño se realizó a partir de microcontroladores de Microchip, los cuales realizan la adquisición, almacenamiento y transmisión de las señales digitales. Se utilizó cinco canales para conexión con sensores, una memoria micro SD para el almacenamiento y un módulo WiFi para la supervisión inalámbrica de las variables. La información fue almacenada en una página web donde es posible consultar los datos, además se diseñó una aplicación de Android para visualización desde dispositivos móviles. El rendimiento en comparación con una estación meteorológica comercial fue satisfactorio. Se concluye que los microcontroladores son dispositivos adecuados para implementar sistemas de adquisición de datos que al ser combinados con aplicativos desarrollados, brindan soluciones competitivas a un costo razonable.

En cuanto al desarrollo realizado por el ingeniero Dávila Frias (2006) "Diseño y construcción de un prototipo para medición y transmisión inalámbrica del consumo de energía eléctrica de un sistema monofásico bifilar" se abordó el diseño y la construcción de un dispositivo medidor (esclavo) y un dispositivo maestro. El dispositivo esclavo almacena distintas variables además de pares de energía-tiempo ordenados para generar información sobre la demanda. El esclavo es capaz de establecer comunicación bidi-

reccional y responder a comandos para extracción de datos o configuración de parte del maestro. En caso de falla del suministro, el valor contador de energía se guarda en una memoria no volátil para su posterior recuperación. El hardware de medición de energía utiliza un chip ADE7753 de Analog Devices, en la comunicación inalámbrica se utiliza una radio de 433 MHz ATR-XTR-903 de ABACOM. El procesamiento queda a cargo de un PIC16F877A. El dispositivo maestro conectado al puerto serial del PC permite configurar al esclavo, visualizar y almacenar los datos de manera remota mediante una aplicación en el computador. La circuitería es idéntica a la del esclavo. Las pruebas de comunicación fueron satisfactorias permitiendo confirmar el funcionamiento de todas las características, con la limitación de 1 a 65535 esclavos, además se reservaron espacios de la trama para futuras ampliaciones.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar un sensor inteligente para la medición de variables ambientales y mecánicas para aplicaciones de Monitoreo de Salud Estructural.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Documentar los principales métodos de extracción de datos soportados por los sensores necesarios para la medición de las variables de interés.
2. Seleccionar el hardware adecuado tanto sensores como microcontrolador para la implementación del sistema capaz de cumplir con los requerimientos.
3. Documentar y proponer el protocolo de comunicación inalámbrica y el hardware adecuado que permita el envío fiable de los datos recolectados por el sensor inteligente.
4. Diseñar el módulo de programa encargado de la recolección y almacenamiento de los datos provenientes de los sensores.
5. Desarrollar el módulo de programa encargado de la comunicación de los datos de forma inalámbrica usando la tecnología escogida.
6. Diseñar un programa capaz de mostrar en la estación base los datos recibidos en tiempo real por el sensor inteligente.
7. Implementar un prototipo tanto del sensor inteligente como el módulo encargado de la recepción de los datos (estación base).
8. Validar el funcionamiento del sistema.

MARCO METODOLÓGICO

Con la finalidad de realizar efectivamente cada objetivo del proyecto, se llevarán las siguientes metodologías:

1. Documentación de los principales métodos de extracción de datos soportados por un medidor de energía, enfocándose en el protocolo Modbus por RS485 y la salida por pulsos
 - a) Investigación documental acerca de los principales métodos de extracción soportados por medidores.
 - b) Comparación de los métodos para extracción de datos desde un medidor según las ventajas que ofrecen al ser realizado desde un microcontrolador
 - c) Selección del método de extracción de datos a ser utilizado en el sistema.
2. Diseño del módulo del programa para los nodos que componen la red mallada, conformados por microcontroladores ESP32.
 - a) Programación de la conectividad entre los nodos de la red
 - b) Programación del Envío y recepción de mensajes internos en la red.
 - c) Programación de la transmisión de los datos hacia el exterior.
3. Adaptación del nodo para su compatibilidad con la salida por pulsos de un medidor de energía y almacenar el valor de la medida para su adquisición mediante la red.
 - a) Extracción de datos mediante detección de pulsos y almacenamiento en memoria volátil
 - b) Almacenamiento de los datos en la memoria no volátil en caso de fallos en la alimentación.
 - c) Compatibilidad como nodo de la red, para transmitir los datos captados.
4. Adaptación de un nodo para la adquisición de datos desde un medidor de energía que soporte protocolo Modbus RTU vía RS485.
 - a) Programación para el manejo del hardware externo al ESP32, capaz de recibir y transmitir datos por el bus RS485.
 - b) Compatibilidad como nodo de la red, para transmitir los datos captados.
5. Realización de pruebas para comprobar el funcionamiento del sistema.

- a)* Pruebas para comprobar el funcionamiento de la red mallada, reorganización y enrutamiento de la red en caso de la pérdida de comunicación entre nodos.
- b)* Pruebas para comprobar la comunicación hacia el interior y exterior de la red mallada, así como la transmisión de los datos extraídos.

ALCANCE Y LIMITACIONES

Los desafíos al usar el ADC de un microcontrolador en mediciones estructurales pueden ser varios. Uno de los principales desafíos es la precisión de la medición, ya que el ADC puede presentar errores en la conversión analógico-digital. Además, la resolución del ADC puede limitar la precisión de las mediciones, lo que puede afectar la calidad de los datos obtenidos.

Otro desafío importante es la velocidad de medición, ya que en aplicaciones estructurales puede ser necesario tomar mediciones en tiempo real para detectar posibles fallas o cambios en el comportamiento de la estructura. En este sentido, es importante que el ADC del microcontrolador tenga una velocidad de muestreo adecuada para las necesidades de la aplicación.

No obstante, los ADC de los microcontroladores pueden ser adecuados para aplicaciones de medición estructural, siempre y cuando se realice un cuidadoso diseño del sistema de adquisición de datos y se utilicen técnicas de calibración y validación para asegurar la precisión de las mediciones.

El sistema de adquisición y transmisión de datos implementado es solo un prototipo, en el que se tendrán las siguientes limitantes:

- La red se compondrá de al menos cinco nodos interconectados entre sí mediante el módulo WiFi propio del ESP32.
- Habrá al menos un medidor con extracción de datos por salida de pulsos con carga y conectado a los nodos
- Al menos un nodo de la red es capaz de conectarse al exterior y transmitir los datos.
- Habrá al menos un medidor con extracción de datos por RS485 conectado a los nodos, este medidor puede no tener carga.
- Se contará con al menos un nodo como repetidor en la red.
- Los datos transmitidos serán mostrados en un software o terminal de computadora.

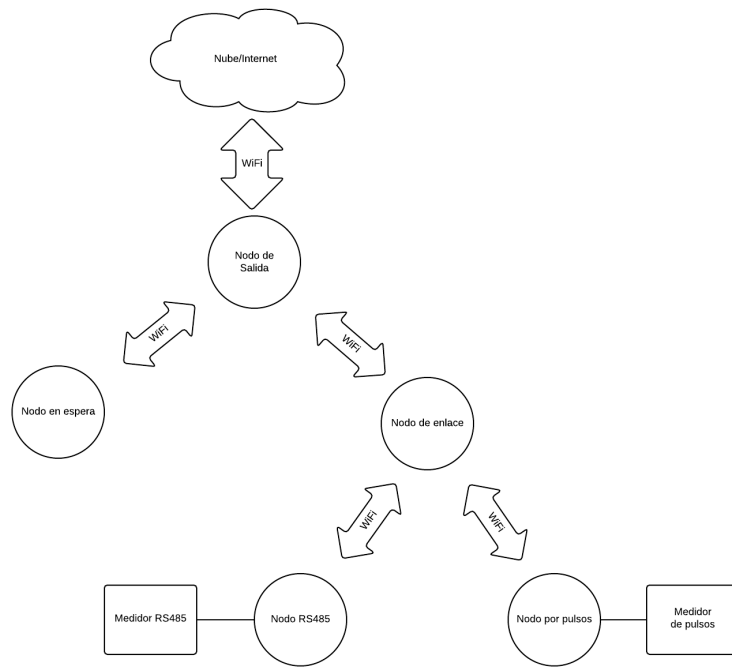


Figura 1: Representación gráfica de la red descrita en el alcance.

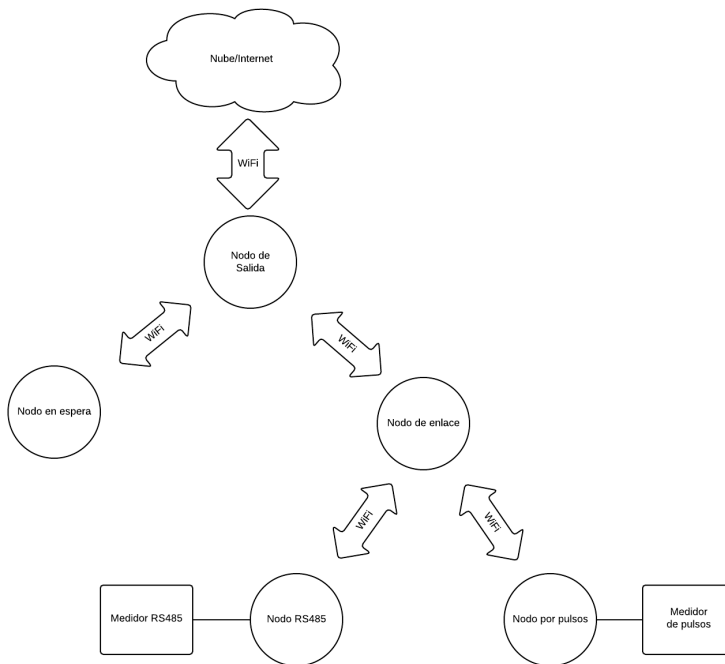


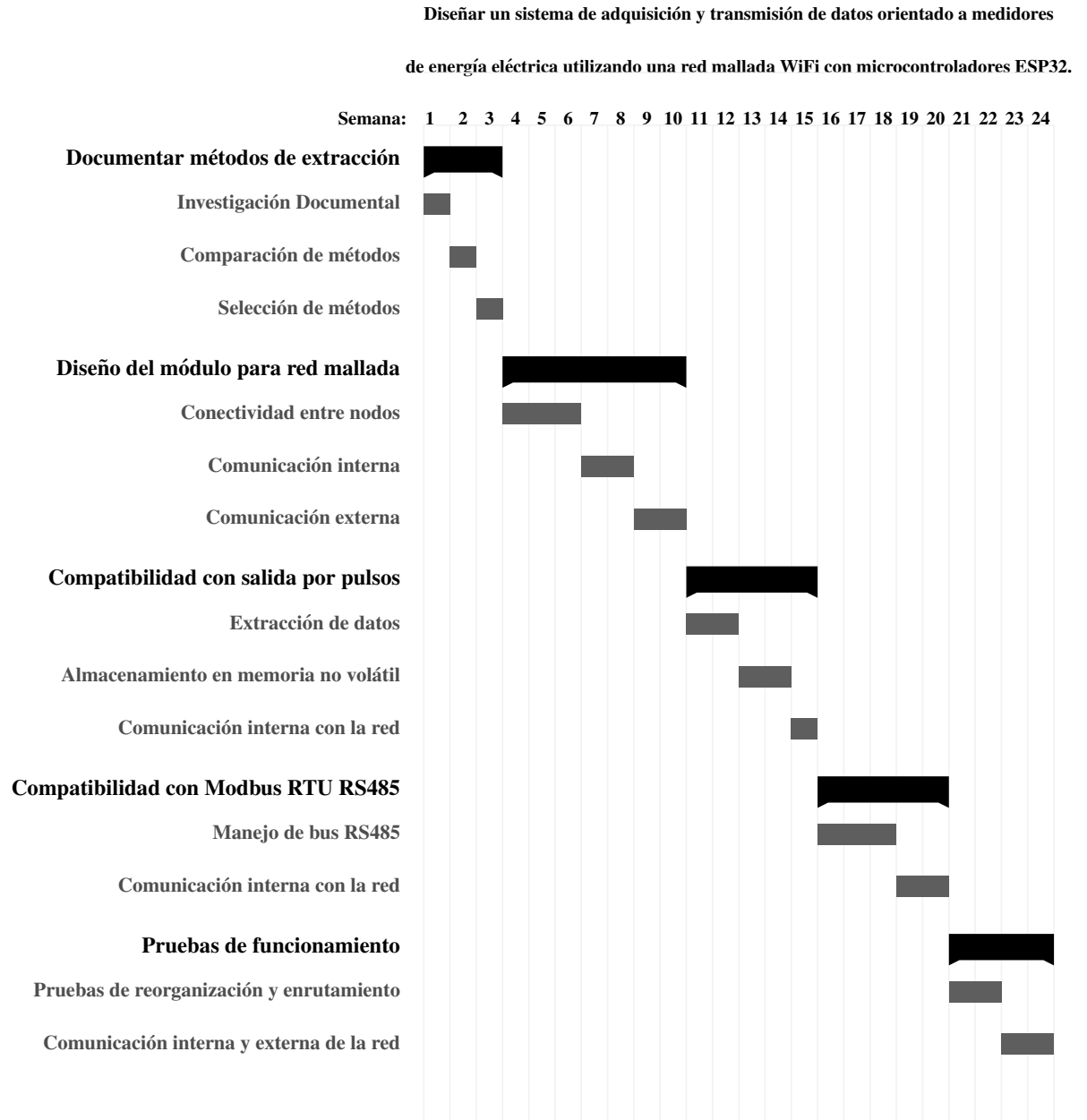
Figura 2: Representación gráfica de la red descrita en el alcance. PRUEBA

RECURSOS Y FACTIBILIDAD

Para el desarrollo e implementación del sistema se requiere de microcontroladores ESP32/STM32, sensores de aceleración, humedad, inclinación y temperatura, módulos de radiofrecuencia LoRa de 915 Mhz y un computador para la instalación del IDE necesario para el desarrollo de aplicaciones en el microcontrolador.

Tanto los microcontroladores ESP32 como los serán suministrados por el tutor, ya se encuentran disponibles. El IDE (Interfaz de desarrollo) a utilizarse será Visual Studio Code en conjunto con el framework de Espressif y Platformio, necesario para programar el ESP32 (Cambiar al entorno de ARM si se escoge el STM32). El código estará disponible en el manejador de versiones Github y contará con la documentación necesaria, escrita por los desarrolladores, para el correcto funcionamiento del sistema.

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES



Referencias

- Dávila Frias, A. V. (2006). Diseño y construcción de un prototipo para medición y transmisión inalámbrica del consumo de energía eléctrica de un sistema monofásico bifilar. Trabajo de Grado, <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/5119>, EPN, Quito.
- Ruiz-Ayala, D. C., Vides-Herrera, C. A., and Pardo-García, A. (2018). Monitoreo de variables meteorológicas a través de un sistema inalámbrico de adquisición de datos. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2027-83062018000100333&nrm=iso, 8:333 – 341.