

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.

Existe variedad en cuanto al hardware de bajo costo que puede utilizarse para la implementación del sistema, lo que ofrece una alternativa atractiva a los sistemas de adquisición actuales, además de la capacidad de transmisión que ofrecen las redes de larga distancia disponibles, permitiendo que la estación base pueda ubicarse lejos de la estructura crítica.

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. Implementar un prototipo de pruebas tanto del sensor inteligente como del módulo encargado de la recepción de los datos (estación base).
7. Validar el funcionamiento del sistema.

MARCO METODOLÓGICO

Con la finalidad de realizar efectivamente cada objetivo del proyecto, se llevará a cabo la siguiente metodología:

1. Documentación de los principales métodos de extracción de datos soportados por los sensores necesarios para la medición de las variables de interés.
 - a) Investigación documental acerca de los principales métodos de extracción de datos soportados por los sensores de interés.
 - b) Comparación de los métodos para extracción de datos desde un sensor según las ventajas que ofrecen al usar un microcontrolador.
 - c) Selección del método de extracción de datos a ser utilizado en el sistema con miras a su posterior procesamiento y envío.
2. Selección del hardware adecuado tanto sensores como microcontrolador para la implementación del sistema capaz de cumplir con los requerimientos.
 - a) Investigación documental sobre el hardware disponible en el mercado capaz de realizar las actividades previstas.
 - b) Comparación entre sensores para cada una de las variables de interés.
 - c) Comparación entre microcontroladores con base en la naturaleza de los sensores, su método de comunicación y su adaptabilidad al sistema
 - d) Selección del hardware a utilizarse en el prototipo.
3. Documentación del protocolo de comunicación inalámbrica y del hardware adecuado que permita el envío fiable de los datos recolectados por el sensor inteligente.
 - a) Investigación documental sobre los protocolos de comunicación disponibles según el MCU y el hardware de radiofrecuencia a utilizarse.
 - b) Comparación entre las distintas opciones.
 - c) Selección del método de comunicación inalámbrica y del hardware necesario para el envío y recepción de datos.
4. Diseño del módulo de programa encargado de la recolección y almacenamiento de los datos provenientes de los sensores.
 - a) Programación para el manejo del hardware externo al MCU, capaz de recibir datos de señales analógicas.

- b)* Adquisición de datos de variables físicas.
 - c)* Almacenamiento de los datos en memoria no volátil.
- 5. Desarrollo del módulo encargado de la comunicación de los datos de forma inalámbrica usando la tecnología escogida.
 - a)* Programación para el manejo del hardware capaz de enviar los datos recolectados y manejo de la interfaz con el MCU.
 - b)* Envío de datos en tiempo real.
- 6. Implementación de prototipo de pruebas tanto del sensor inteligente como del módulo encargado de la recepción de los datos (estación base).
 - a)* Montaje de prototipo tomando en cuenta consideraciones de ruido y acondicionamiento de señales.
- 7. Realización de pruebas para comprobar el funcionamiento del sistema.
 - a)* Pruebas para comprobar el funcionamiento del sistema de adquisición.
 - b)* Pruebas para comprobar la comunicación hacia la estación base.
 - c)* Comprobación de la calidad 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.

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

- El acceso a las estructuras a monitorear puede ser una limitación importante, especialmente si se trata de estructuras privadas o con restricciones de seguridad. Esto puede limitar la cantidad de datos que se pueden obtener y, por lo tanto, afectar la precisión del monitoreo.
- El sistema se enfocará en aplicaciones de monitoreo a largo plazo, es decir, se dejará un elemento instrumentado durante largos períodos de tiempo.
- La implementación del sistema de adquisición de datos y monitoreo puede requerir una inversión significativa en equipos y materiales, y el presupuesto disponible puede limitar las opciones de tecnología y equipos a utilizar. Esta limitación podría afectar la elección de los componentes y la calidad de los resultados obtenidos. Para superar esta limitación, se buscará financiamiento adicional y se explorarán opciones de tecnología más económicas y de calidad adecuada.
- A pesar de estar enfocado en aplicaciones de campo, se plantea el diseño del hardware y software asociado al sistema de adquisición de datos, mas no se toma en cuenta el diseño del molde de protección, esto por la naturaleza no comercial de la investigación a realizarse.
- El sistema contará con una fuente de poder cercana para su funcionamiento.
- Los datos transmitidos serán mostrados en un software o terminal de computadora.

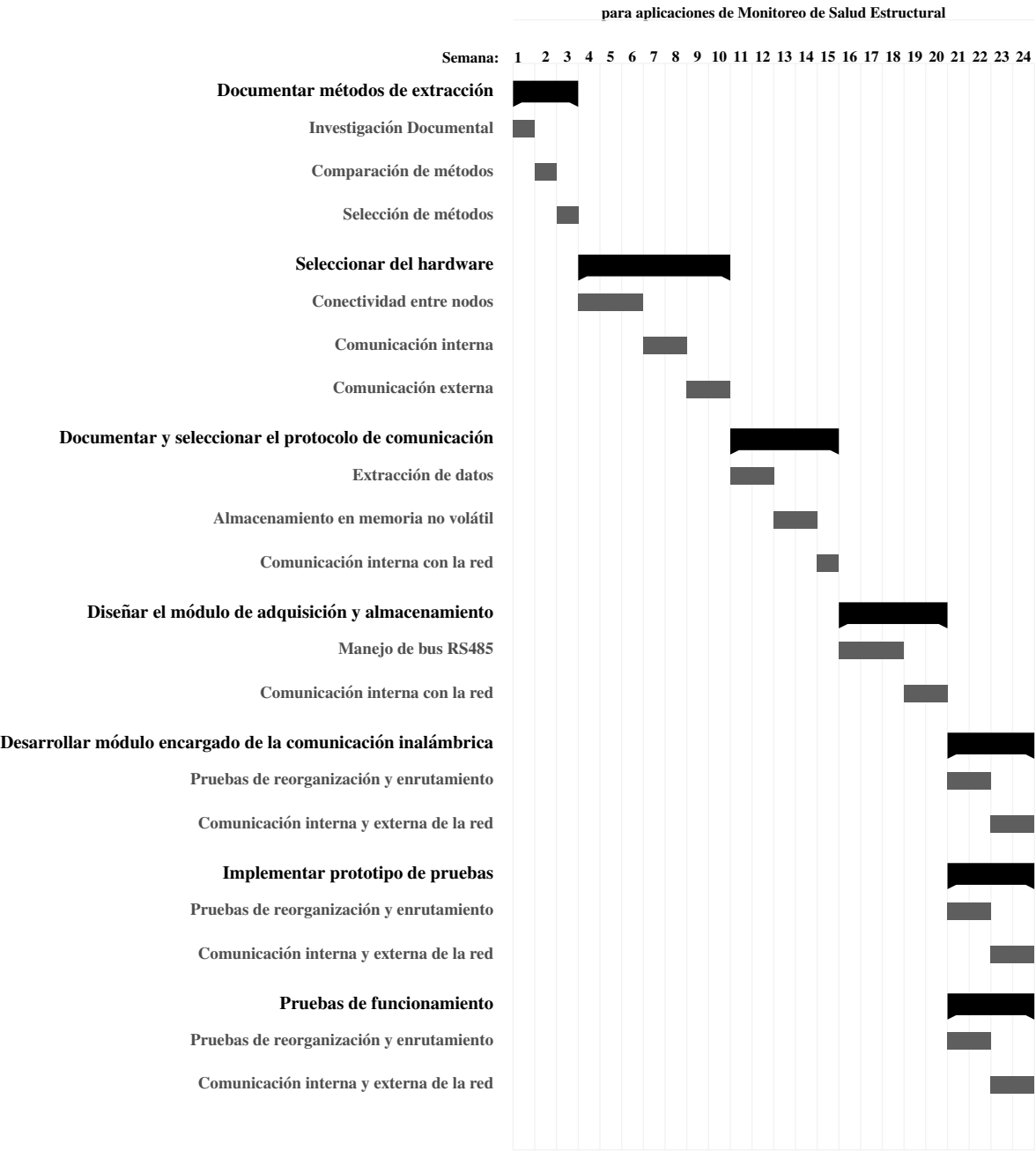
RECURSOS Y FACTIBILIDAD

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

Diseñar un sensor inteligente para la medición de variables ambientales y mecánicas



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.