

PROPUESTA DE PROYECTO CAPSTON 2021

Nombre:

Sistema de monitoreo para la detección de actividad sísmica y prevención de accidentes dentro de casas habitación.

Participantes:

Dr. Genaro Hernández Valdez

M. en C. Mario Alberto Ramírez Reyna (Representante)

Ing. Víctor Hugo Caro Martínez

Resumen:

En este documento se presenta la propuesta de un proyecto tecnológico para el monitoreo de la salud estructural y prevención de daños colaterales de casas habitación que experimenten movimientos y vibraciones debidos a actividades sísmicas. El sistema de monitoreo está compuesto por una red inalámbrica de nodos que recolectan información relacionada a la actividad sísmica y la transmiten a un centro de control (servidor) con la finalidad de detectar movimientos y vibraciones de la casa habitación, reportar posibles daños estructurales y prevenir accidentes colaterales dentro de hogares debidos a movimientos telúricos. Los nodos de la red inalámbrica se componen de sensores, actuadores y cámaras de video que permiten detectar movimientos y vibraciones, posibles daños estructurales, fugas de gas y aumento de temperatura de la casa habitación. Dependiendo del grado de las vibraciones y movimiento de la estructura monitoreada, el centro de control puede ordenar a los nodos que activen a los actuadores para cerrar válvulas de gas y agua con la finalidad de prevenir accidentes colaterales dentro de la casa habitación. El desarrollo de este proyecto tiene como finalidad mejorar la seguridad en viviendas que se encuentren en zonas sísmicas de riesgo medio o alto; de esta manera, se contribuye en el Objetivo Mundial 11 de las Naciones Unidas (Ciudades y Comunidades Sostenibles) [1].

Introducción:

Las redes inalámbricas para aplicaciones del Internet de las Cosas (IoT) se componen de nodos que integran a un número grande de sensores y actuadores de pequeñas dimensiones físicas. Dichos nodos tienen capacidades de cómputo limitada y se pueden intercomunicar entre ellos o con un centro de control a través de una red inalámbrica [2]. La programación y electrónica de los nodos, sensores, actuadores y del centro de control se debe configurar de forma adecuada para trabajar de manera efectiva y para adaptarse dinámicamente para cumplir con las tareas requeridas por una determinada aplicación. En este proyecto se pretende implementar una red inalámbrica de sensores que apoye tanto en la evaluación del posible daño estructural como en la prevención de accidentes en casas habitación (o departamentos) debido a movimientos telúricos (sismos). Este es un tópico importante en nuestro país ya que es bien conocido, que nos encontramos dentro de una zona conocida como el “cinturón de fuego” (en la que también se encuentran Japón y Chile, entre otros países) caracterizada por la alta actividad sísmica [3]. El sistema que se pretende desarrollar se enfoca en recolectar información relevante correspondiente a una actividad sísmica con el propósito de transmitirla a un centro de control, el cual la procesa para realizar acciones al respecto. Por tratarse de una aplicación en construcciones reales, es importante colocar los sensores y actuadores en lugares estratégicos dentro de la vivienda. En específico, se recomienda colocar las cámaras en lugares donde se puedan obtener fotografías o videos de las principales estructuras de carga de la vivienda (trabes, columnas, paredes), mientras que los giroscopios se colocan en los extremos de la vivienda para medir los desplazamientos verticales [2].

Objetivo General:

Diseñar e implementar una red inalámbrica de sensores para la detección de actividad sísmica que permita el apoyo en la prevención de accidentes dentro de los hogares ubicados en zonas sísmicas, a través de la detección de movimientos y vibraciones anómalos y que permita el corte de los suministros de agua y gas.

Objetivos Particulares:

1. Construir un bloque de adquisición de información para medir la salida de un acelerómetro y sensor de vibración para la detección de actividad sísmica.

2. Construir un bloque de adquisición de información para medir la salida de un sensor de luminosidad y de temperatura para la detección de incendios.
3. Construir un bloque de adquisición de imagen utilizando una cámara integrada a una tarjeta de desarrollo para determinar el estado de paredes y soportes.
4. Diseñar e implementar un bloque de conexión inalámbrica local para la comunicación de los nodos de la red con un centro de control.
5. Construir un bloque de activación para los actuadores que permitan controlar el suministro de agua y gas.
6. Construir un bloque para la transmisión de información por intercambio de mensajes entre los diferentes nodos con un servidor central.
7. Diseñar e implementar un servidor donde se concentre la información adquirida por los nodos de la red.
8. Diseñar e implementar una interfaz gráfica donde se presente de manera clara la información generada por los sensores.

Justificación:

Para fines de diseño antisísmico, el territorio mexicano está dividido en 4 zonas sísmicas (ver figura 1), cada una con sus respectivas peculiaridades [4]:

- La zona A (Riesgo Bajo), no se han reportado sismos durante los últimos 80 años y no se esperan aceleraciones del suelo mayores al 10% de la aceleración de la gravedad a causa de temblores.
- La zona B y C (Riesgo Medio), no se presentan sismos frecuentemente y se esperan aceleraciones del suelo a causa de temblores de alrededor del 70% de la aceleración gravedad.
- La zona D (Riesgo Alto), se reportan sismos muy frecuentes y la aceleración del suelo a causa de sismos suele sobrepasar el 70% de la aceleración gravedad.

VULNERABLES ANTE SISMOS

El mapa muestra los grados de peligro y vulnerabilidad calculados por el Cenapred ante temblores a los que están expuestos los estados de la República mexicana.



Figura 1. Mapa de Vulnerabilidad ante sismos en México, extraído de [4]

Para el contexto en el que trabajaremos se pretende que este sistema funcione en edificaciones que se encuentran en la zona del Valle de México (aunque su uso no se limita a esta zona ya que puede adecuarse para que opere en cualquier ciudad del mundo). Es importante destacar que a pesar de que la Ciudad de México (CDMX) se encuentra en la zona B las condiciones del subsuelo del Valle de México (ver figura 2) hacen que la CDMX sea catalogada como una zona de alta actividad sísmica [5].

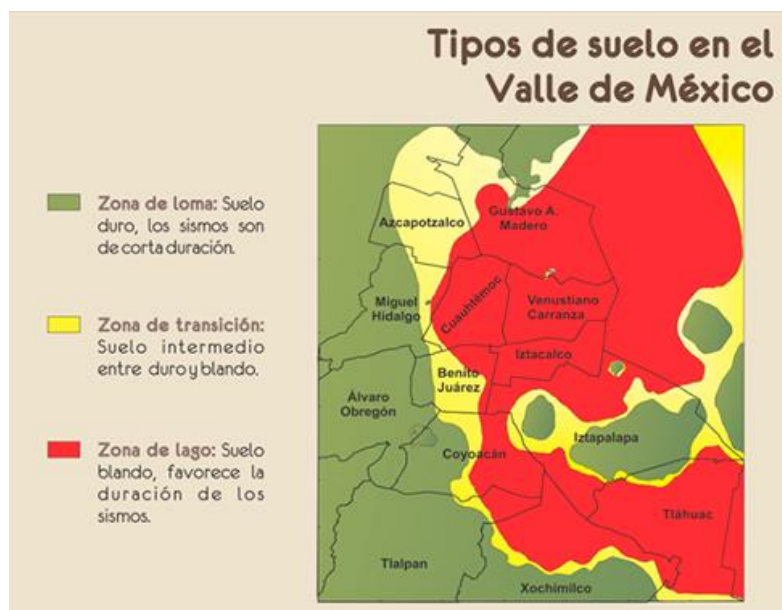


Figura 2. Mapa de Tipos de Suelo en la CDMX, extraído de [5]

Históricamente, desde 1957 hasta 2020 se han suscitado 8 eventos sísmicos que han dejado a la CDMX con grandes daños [6], cada uno dejando un panorama desolador en la vida de los ciudadanos de la CDMX.

Es importante mencionar que los daños que sufren los habitantes de la CDMX a sus viviendas no solamente son daños estructurales que son causados por los movimientos agresivos producidos durante el sismo, sino que también llegan a suceder daños secundarios. De acuerdo con [7] durante el sismo del 23 de junio del 2020 el C5 tuvo reporte de 8 caídas de postes de energía eléctrica, cuatro fugas de gas en departamentos, 3 incendios y caídas de cables con corriente eléctrica.

Por tal motivo, el sistema de monitoreo propuesto en este trabajo tiene como finalidad apoyar al usuario en garantizar la seguridad de su vivienda permitiendo cortar el flujo de los servicios que comúnmente podrían causar algún accidente derivado de la actividad sísmica, generalmente incendios por corto circuito o fugas de gas; o inundaciones por fugas de agua internas dentro del departamento.

Por otro lado, este sistema también permitirá tomar información estadística de la actividad sísmica y como ha afectado al inmueble, permitiendo monitorear la intensidad con la que las paredes o soportes experimentan los movimientos y en caso de tener una actividad fuerte, permita al usuario poder realizar un reconocimiento remoto a través de imagen para garantizar que la entrada al inmueble sea segura.

En la sección de metodología se describirá a detalle el funcionamiento de dicho sistema.

Metodología:

El diagrama a bloques del sistema de monitoreo para la detección de movimiento y vibraciones, reportar posibles daños estructural y prevenir accidentes en casas habitación durante actividades sísmicas se muestra en la figura 3.

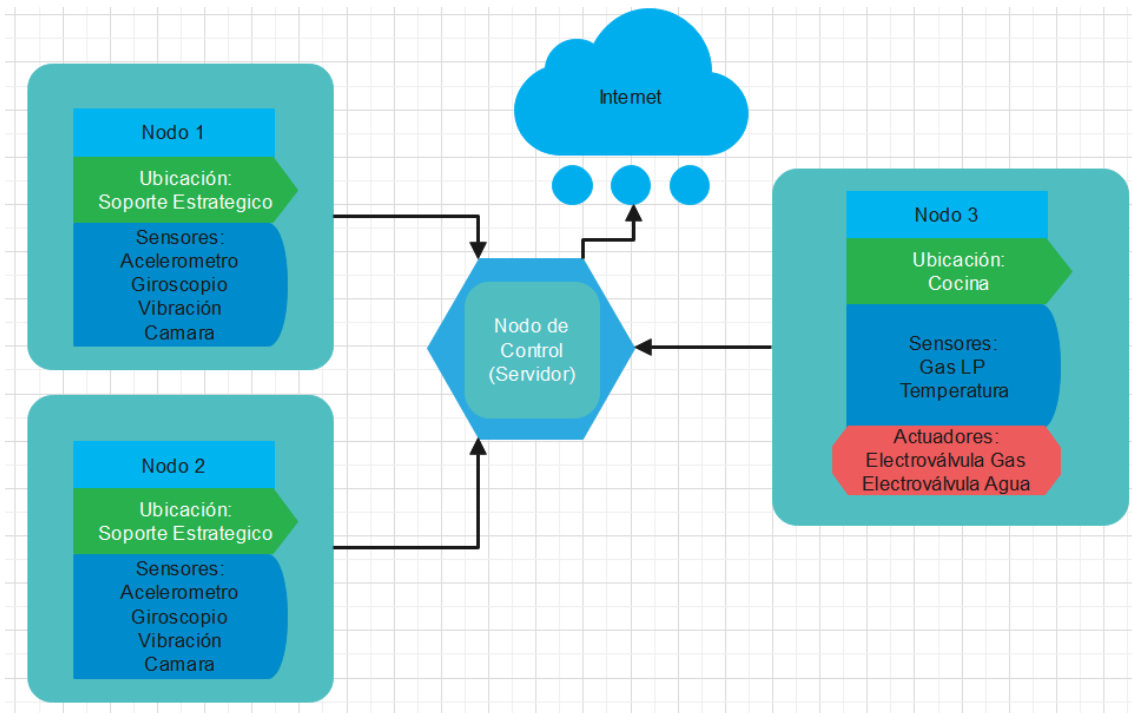


Figura 3. Topología del sistema de monitoreo, creación propia.

Los **nodos N1 y N2** se ubicarán en una posición estratégica para que la cámara de video pueda tomar fotografías de las columnas y trabes de carga (y si es posible de alguna pared de la vivienda; a estos nodos se le integrará un acelerómetro con giroscopio, una cámara de video), servirán para monitorear los movimientos y vibraciones anómalos sucedidos durante y después del sismo. La figura 4 muestra un diagrama de la tarjeta de desarrollo ESP32CAM con la integración de los sensores de monitoreo.

El **nodo N3** se ubicará en la cocina de la vivienda y se le integrarán los siguientes elementos: un sensor de gas LP, un sensor de temperatura y una cámara de video, además de dos actuadores, una electroválvula para agua y una electroválvula para gas. La figura 5 muestra un diagrama de la tarjeta de desarrollo ESP32CAM con la integración de los actuadores y los sensores de temperatura y gas LP.

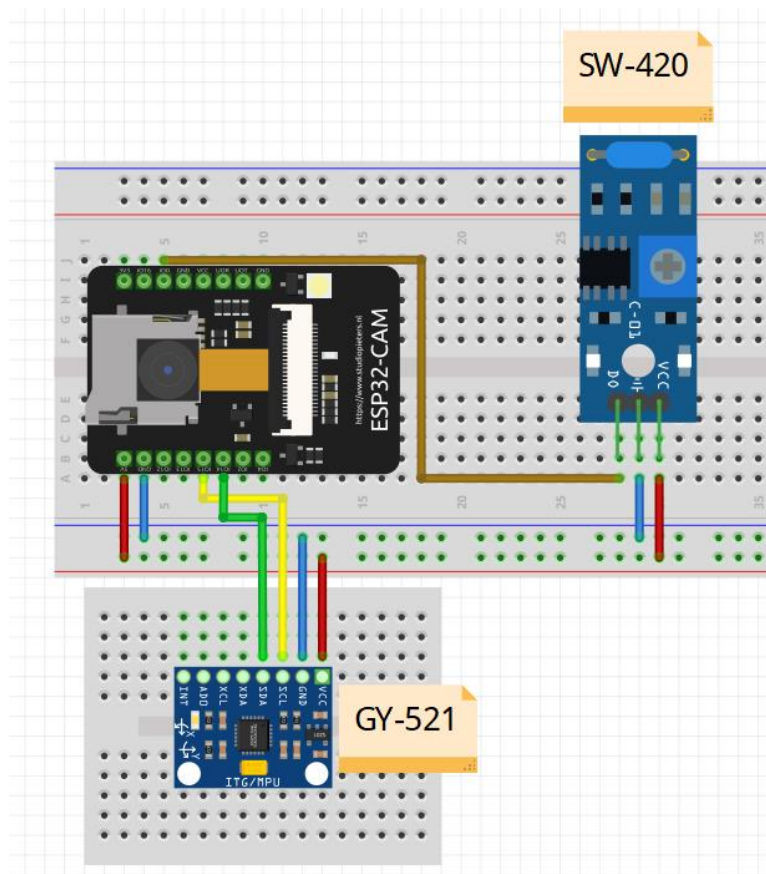


Figura 4. Diagrama del circuito de integración de la ESP32-CAM con los sensores de monitoreo (Nodos N1 y N2), creación propia.

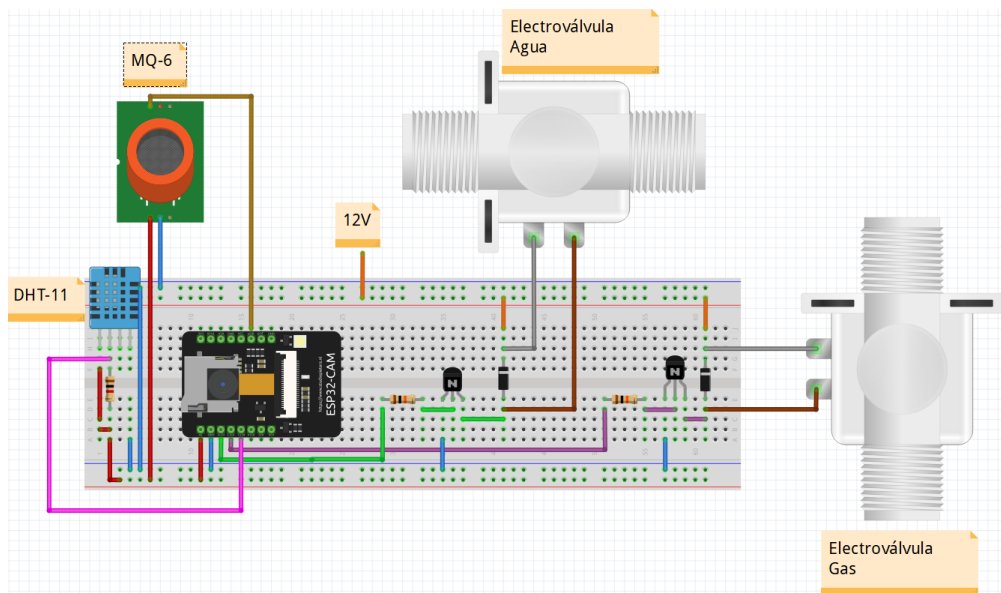


Figura 5. Diagrama del circuito de integración de la ESP32-CAM con los sensores de monitoreo y actuadores (Nodo N3), creación propia.

Los **nodos N1, N2 y N3** del sistema de monitoreo que se muestra en la figura 3, están representados físicamente por tarjetas de desarrollo ESP32-CAM, las cuales se pueden programar para conectarse a una red inalámbrica y comunicarse con el nodo de control (servidor).

El **nodo de control** que se muestra en la figura 3, corresponde a un nodo con capacidad de conexión a Internet (Raspberry Pi 4) utilizado para procesar las lecturas de las magnitudes físicas recolectadas por los sensores, así como imágenes del interior de la vivienda recolectadas por las cámaras de las tarjetas de desarrollo ESP32CAM. La comunicación entre el servidor y los nodos se realizará a través de un agente mediante la suscripción y publicación en diferentes tópicos (por ejemplo, se puede utilizar el agente público MQTT). Además, este sensor permitirá brindar alertas auditivas (a través de una bocina) en caso de que este sucediendo algún sismo o exista posibilidad de algún otro accidente derivado a causa de este (incendio).

La comunicación entre los nodos y el servidor es bidireccional. Cuando alguno (o ambos) nodos N1 o N2 detecten movimiento y vibración estructural arriba de cierto umbral, o que el nodo N3 detecte presencia de gas LP o temperatura arriba de cierto umbral, se lo informa al servidor. El servidor analizará la información y tomará decisiones al respecto; por ejemplo, si el sismo tiene una magnitud mayor a 5 grados en la escala de Richter, instruye a los nodos para que activen su cámara e instruye al nodo N3 para que active los servomotores (para cerrar las válvulas de gas y agua y prevenir posibles accidentes). El servidor procesará la información y permitirá que sea visualizada a través de algún otro dispositivo móvil conectado a la misma red o a la Internet, de esta forma se podrán visualizar las gráficas de las magnitudes físicas que miden los sensores y fotografías del interior de la vivienda, todo esto como apoyo para evaluar el posible daño estructural causado por la actividad sísmica y decidir si es seguro regresar a la vivienda y reactivar los servicios de gas y agua, o si es necesario solicitar a personal especializado una evaluación más detallada y profesional de la salud estructural de la vivienda.

La programación de los diferentes sensores y la comunicación entre el centro de control y los diferentes nodos se realizará con ayuda de lenguajes de alto nivel tales como Python y C++. Para la comunicación entre el centro de control y los nodos se utilizará un

agente MQTT y las gráficas y fotografías en la Internet se presentarán con ayuda de la aplicación NODE-RED.

La lista de material requerido para realizar el presente proyecto se lista a continuación:

- 1 computadora de bajo costo (Raspberry Pi 4)
- 3 tarjetas de desarrollo ESP32CAM con cámara integrada
- 2 acelerómetros con giroscopio, resolución de 16 bits (MPU6058).
- 2 sensores de vibración (SW-420).
- 1 sensor de gas LP (MQ6)
- 1 sensor de temperatura (DHT11)
- 1 electroválvula para Gas
- 1 electroválvula para Agua
- 1 bocina
- 1 Resistencia 1 k Ω
- 2 Resistencia 10 k Ω
- 2 transistores 2n2222
- 2 diodos 1N4001
- 1 Fuente externa de 12V
- 3 Fuentes externas de 5V

Como trabajo a futuro se propone establecer un enlace entre el servidor y el canal del Sistema de Alerta Sísmica Nacional para alertar con anticipación a las personas de la vivienda y éstas puedan salir con calma antes de que inicie el sismo (es bien sabido que en ocasiones no se activa la alerta por fallas técnicas). También se propone que la red inalámbrica sea tipo ad-hoc o basada en el concepto de radio cognoscitivo para solventar posibles fallas de las redes inalámbricas o móviles comerciales (WiFi o Celular) [2].

Referencias.

- [1] UN, 2015. Transforming Our World: the 2030 Agenda for Sustainable Development. A/RES/70/1. New York, US.
- [2] Hassel A. Alcalá-Garrido, Mario E. Rivero-Angeles, Eleazar Aguirre-Anaya, Felipe A. Cruz-Pérez, Sandra L. Castellanos-López, and Genaro Hernández-Valdez, "Performance Analysis of a Wireless Sensor Network with Cognitive Radio Capabilities in Structural Health Monitoring Applications: A Discrete Model," International Journal of Distributed Sensor Networks (Special Collection on Structural Health Monitoring for Mechanical Structures Using Multi-Sensor Data), no. 5, vol, 14, pp. 1-16, 2018.
- [3] López, A., C. I. Álvarez y E. Villarreal. 2017. Migración de fuentes sísmicas a lo largo del Cinturón de Fuego del Pacífico. La Granja: Revista de Ciencias de la Vida. Vol. 25(1):5-15. pISSN:1390-3799; eISSN:1390-8596.
- [4] Gobierno de México, 2021. *Sismología de México*. [online] Sgm.gob.mx. Disponible en: <<https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Riesgos-geologicos/Sismologia-de-Mexico.html>> [Última visita 21 octubre 2021].
- [5] CIRES, 2021. *Tipos de suelo en el Distrito Federal y Zona Metropolitana*. [online] Blogcires.mx. Disponible en: <<https://blogcires.mx/tag/tipos-de-suelo-en-el-distrito-federal-y-zona-metropolitana/>> [Última visita 21 octubre 2021].
- [6] PAOT, 2021. *Panorama de Riesgo Sísmico*. [online] Paot.org.mx. Disponible en: <<http://www.paot.org.mx/micrositios/riesgo-sismico/antecedentes.html>> [Último acceso 21 octubre 2021].
- [7] Rincón, S., 2021. CDMX reporta 14 daños en inmuebles tras sismo. [online] Forbes México. Disponible en: <<https://www.forbes.com.mx/noticias-cdmx-reporta-14-danos-en-inmuebles-tras-sismo-de-esta-manana/>> [Último acceso 21 octubre 2021].