

Electronic design of the early warning system for monitoring and detection of floods

Diseño electrónico del sistema de alerta temprana para monitoreo y detección de inundaciones

Raúl U. Rentería Flores¹, Raúl T. Aquino Santos^{*1}, Omar Alvarez Cardenas¹, Ismael Amezcua Valdovinos¹, Victor Rangel Licea¹, and Margarita Glenda Mayoral Baldivia¹

¹ Universidad de Colima (UCOL), Facultad de Telemática,
Avenida. Universidad No. 333, Col. Las Víboras, Colima, Col. México, 28040
{rrenteria5, aquino, xe1aom, ismaelamezcua, mglenda}@ucol.mx, vrangelicea@gmail.com

Abstract

Floods are one of the most severe natural disasters that humans faces regarding casualties in terms of victims, infrastructure damage, economic losses, and long-term effects, often with very adverse social consequences. Flash floods are hazardous because they often carry little or no warning of impending disaster. This project addresses one of the great challenges facing population centers in the context of climate change: flash floods. As a consequence, it is proposed to develop an electronic prototype oriented to the Internet of Things (IoT), which integrates an early warning system, notifications and real-time monitoring of areas at risk of flooding.

Keywords— Flash floods, Internet Of Things, LTE.

Resumen

Las inundaciones son uno de los desastres naturales más graves a los que se enfrentan los seres humanos en términos de víctimas, daños a la infraestructura, pérdidas económicas y efectos a largo plazo, que a menudo tienen consecuencias sociales muy adversas. Las inundaciones repentinas son particularmente peligrosas porque a menudo tienen poca o ninguna advertencia del desastre inminente. El proyecto propuesto aborda uno de los grandes retos que enfrentan los centros de población en el contexto del cambio climático: las inundaciones repentinas. Como consecuencia de ello, se plantea

desarrollar un prototipo electrónico orientado al Internet de las Cosas (IoT por sus siglas en inglés), que integre un sistema de alerta temprana, notificaciones y monitoreo en tiempo real de las zonas en riesgo de inundación.

Palabras clave— Inundaciones, Internet de las Cosas, LTE.

I. Introducción

Un desastre es un evento destructivo que afecta significativamente a la población, en su vida o en sus fuentes de sustento y funcionamiento. En las últimas décadas, los fenómenos naturales en México han dejado daños con un costo promedio anual de 100 vidas humanas y cerca de 9,500 millones de pesos [1].

Es por ello por lo que el tema de la prevención y atención de desastres ha tomado relevancia en la agenda de protección civil, reconociendo que es indispensable establecer estrategias y programas de largo alcance enfocados a prevenir y reducir sus efectos y no solo prestar atención a las emergencias y desastres.

Sin duda, se ha avanzado en este sentido en los últimos años, sin embargo, son aún insuficientes los logros en la materia y es indispensable invertir más esfuerzo y recursos para transitar lo más pronto posible de un esquema fundamentalmente reactivo a uno de carácter preventivo.

La ubicación del país en una región intertropical lo hace sujeto a los embates de huracanes que se generan tanto en el océano Pacífico como en el Atlántico. Las lluvias intensas que estos fenómenos originan pueden causar inundaciones y deslaves no sólo en las costas sino también en el interior del territorio.

De los 25 ciclones que en promedio llegan cada año a los océanos cercanos al país, cuatro o cinco suelen

* Autor de correspondencia

penetrar en el territorio y causar daños severos, de hecho, en los años 2008-2017 las personas afectadas fueron alrededor de 73.1 millones, en contraste con el año 2018 la cifra fue de 34.2 millones de personas [2].

El proyecto propuesto ofrece una solución que integra un sistema de alerta temprana con un microcontrolador, sensor ultrasónico y de humedad del suelo, se incluyen notificaciones y monitoreo en tiempo real de las zonas en riesgo de inundación.

El poder disponer de este tipo de plataformas, junto a los pronósticos hidrológicos, ayuda a las comunidades, tomadores de decisiones, funcionarios de gobierno a identificar las zonas de amenaza con mayor probabilidad de una inundación.

El artículo se organiza de la siguiente manera: en la Sección II se muestra el estado del arte, donde se mencionan algunos trabajos previos, productos y patentes relacionados con el proyecto. En la Sección III se detalla las herramientas necesarias para su implementación del trabajo tanto en software como en hardware. En la Sección IV se describen los pasos a realizar para conseguir los resultados deseados de una manera eficaz. En la Sección V se muestran trabajos previos realizados en este proyecto y en la Sección VI se muestran los resultados obtenidos y las conclusiones de las pruebas realizadas.

II. Estado del Arte

II.1. Trabajos Relacionados

Así como en el proyecto propuesto, otros investigadores han desarrollado sistemas, investigaciones y productos para poder medir algún cuerpo de agua y transmitirlo de manera inalámbrica a algún punto de control. Para poder tener una idea general de lo que se requiere, se realizó una investigación de trabajos realizados anteriormente, haciendo una comparación con respecto al proyecto planteado.

Por parte de las patentes se puede observar el uso de sensores de nivel [3], sensores ultrasónicos [4], incluso cámaras de reconocimiento [5]. También en cuanto a microprocesadores algunos usan Raspberry o Arduino.

En la búsqueda de patentes se puede observar que existen muchas maneras de abordar el objetivo general del proyecto sobre la medición en tiempo real de un cuerpo de agua, pero la mayoría de estas patentes están basadas en prototipos básicos y con poca fiabilidad o conectados a un sistema de alimentación básico, en cambio, el proyecto propuesto es autosustentable y tiene hardware de uso industrial para poder usar sensores de mayor precisión.

En la Tabla 1 se muestra un concentrado de las patentes más similares al proyecto propuesto.

En cuanto a los artículos se puede observar que existen varios trabajos para la medición de nivel y alerta de un cuerpo de agua y los realizan de diversas maneras, unos

usan redes neuronales (ANN, por sus siglas en inglés), el cuál es un método de inteligencia artificial para diseñar algoritmos de predicción, monitorear la humedad, nivel de agua, etc., [6]. En otro estudio usaron un detector de voltaje con un microcontrolador MC68HC11 y un sensor LiDAR (siglas en inglés de Light Detection and Ranging) [7], también se usa un acelerómetro para monitorear la velocidad del río acoplado con un sonar en UAV (siglas en inglés de Unmanned Aerial Vehicle) para tomar videos de los ríos [8]. En otros incorporan un ESP32, GSM (siglas en inglés de Global System for mobile communications) [9], y en otro artículo implementan un sensor ultrasónico en la ciudad de Japón [10].

En la Tabla 2 se anexa un concentrado de estos y otros artículos con algún aporte para nuestro proyecto.

Además, se puede identificar que ya existen soluciones comerciales para el monitoreo del nivel de agua, aunque la mayoría de ellos brindan información sobre algunos parámetros específicos, son más robustos que los sensores de nivel laboratorio, estos sensores tienen la desventaja de que son muy costosos.

Además de que no están comercialmente disponibles en México, por lo que se tienen que importar, un ejemplo es el producto frondiast [11], esta boya contiene sensores para la medición de nivel, sensores de clima, dataloggers, etc. Pero su costo es de 6,500 Euros, esto sin incluir el costo de importación.

II.2. Arquitectura de Hardware

Sensores para la detección del flujo de agua

Los dispositivos electrónicos que se utilizan para determinar el flujo de agua llegan a medir diversas variables como pueden ser: velocidad, caudal, profundidad, etc. En este artículo nos enfocaremos en algunas de ellas:

- Velocidad media del flujo.
- Velocidad superficial.
- Profundidad.
- Vibración del suelo.

Para el desarrollo de este proyecto, se propone una combinación de estos sensores para medir las variables necesarias para predecir inundaciones y flujos de agua, enviando los datos analógicos y digitales en tiempo real a través de la red celular 4G (cuarta generación de tecnología de redes móviles), a una plataforma para poder observar y predecir una inundación.

Sensores de distancia y mapeo de superficies

Los sensores de distancia se usan para monitorear la superficie terrestre, en el siguiente estudio se puede observar diversas maneras de abordar ello, una de ellas con

Tabla 1: Patentes relacionadas al proyecto propuesto

Patente	Recolección	Procesamiento	Lenguaje
[3]	Cámara CCVT	Procesamiento de imágenes	C
[4]	Sensor de nivel, lluvia y ubicación GPS	Aprendizaje automático	Python
[5]	Barra de Nivel	Medición	Centro de control
[6]	Sensor humedad del suelo	Temperatura + nivel	Predicción

Tabla 2: Artículos relacionados al proyecto propuesto

Artículo	Análisis	Procesamiento	Almacenamiento	Tiempo de alerta
[7]	Sensores de temperatura	Redes Neuronales	Servidor en la nube	Segundos
[8]	Sensor LiDAR	Aprendizaje automático	Servidor en la nube	Local
[9]	Acelerómetro, sonar	Velocidad del agua	Imágenes	Segundos
[10]	Sensor ultrasónico y temperatura	ESP32	Arduino	Alarma SMS
[11]	Sensor ultrasónico	EnOcean	Servidor	No tiene

un sensor de distancia [12]. Esto se llega a obtener midiendo la distancia entre una fuente y su objetivo usando ondas ultrasónicas, mediante un cabezal que emite una onda ultrasónica y recibe la onda reflejada que retorna desde el objeto.

Los sensores ultrasónicos miden la distancia al objeto contando el tiempo entre la emisión y la recepción. Estos sensores pueden generar una matriz tridimensional midiendo puntos específicos de una superficie definida y variando el ángulo de estas mediciones. Debido a esto es posible detectar el crecimiento del nivel de agua y también determinar variaciones en el volumen del flujo.

En el proyecto propuesto se va a medir el aumento del nivel de agua en tiempo real, una manera de realizarlo es usando un sensor ultrasónico para hacer proyecciones más precisas de las inundaciones a lo largo del tiempo.

Redes de sensores en tiempo real para adquisición de datos

Las aplicaciones para el monitoreo hidrológico utilizan redes de sensores para la adquisición de datos en tiempo real con diferentes dispositivos electrónicos y sensores para poder recopilar información de predicción de inundaciones más confiables junto con un sistema de advertencia de ello.

En el trabajo reportado en [13], los autores desarrollan un dispositivo que utiliza diferentes protocolos de comunicación para interactuar con los sensores, como son el SDI-12 o RS-485 y varias entradas analógicas. El dispositivo está basado en una unidad de procesamiento que es un microcontrolador de 8 bits PIC18F8722.

El proyecto propuesto utiliza un diseño bajo una arquitectura de 32 bits, el cual permite a los usuarios conectarse a una amplia variedad de sensores con diferentes

protocolos que se describen en la Sección V.

Tecnologías IoT

Existen muchas tecnologías en estos días que se pueden utilizar para interconectar dispositivos y se puedan enviar los datos recopilados a Internet. La tecnología WWAN (siglas en inglés de Wireless Wide Area Network), también llamada de banda ancha móvil, proporciona acceso a Internet a través de una red de telefonía móvil y está dividida en celular y en LPWAN (siglas en inglés de Low Power Wide Area Networks).

Protocolos de comunicación

Existe una diversidad de protocolos de comunicación para conectar sensores, entre los más comunes se encuentran: I2C (siglas en inglés de Inter-Integrated Circuit), el cual es un protocolo de dos líneas SCL (siglas en inglés de System Clock) y SDA (siglas en inglés de System Data) y permite conectar hasta 180 diferentes dispositivos [14]. RS-232, este protocolo tiene algunas limitaciones como puede ser la falta de canales de transmisión [15], y su versión más común es de 9 pines (DB-9).

El protocolo SDI-12 es un protocolo de comunicaciones en serie asíncrono para sensores inteligentes que monitorean datos ambientales, estos suelen ser de bajo consumo, se tiene el protocolo SPI (siglas en inglés de Serial Peripheral Interface), el cual es usado principalmente para la transferencia de información entre circuitos integrados o dispositivos periféricos, y el protocolo UART (siglas en inglés de Universal Asynchronous Receiver-Transmitter), el cual permite una comunicación sencilla al conectar dos dispositivos y solamente requiere dos señales TX (Transmisión) y RX (Recepción).

En la Tabla 3 se muestra una tabla comparativa de estos protocolos.

Análisis de protocolos de transmisión inalámbrica

Se realizó una comparación entre los protocolos que pueden ser compatibles con el diseño electrónico de comunicaciones, para este propósito se necesita que los módulos de comunicación tengan el protocolo de comunicación UART, además de que sean compatibles con el socket tipo XBEE. En la Tabla 4 se detallan algunos tipos de comunicaciones que cumplen con estas características.

También se realizó un estudio de modelos de propagación para estos protocolos de transmisión inalámbrica, en la Tabla 5 se muestra el estudio realizado.

III. Herramientas de Software y Plataforma de Hardware

III.1. Altium designer

Altium designer es un paquete de software de automatización para diseño electrónico y PCB (siglas en inglés de Printed Circuit Board) para placas de circuito impreso. Puede realizar todo tipo de procesamiento de señales, entre ellos: filtros, codificadores de canal, demoduladores, decodificadores y muchos otros elementos de procesamiento de señales representados en forma de bloques.

La característica más importante es la manera de interconectar estos bloques entre sí a través de diagramas, ofrece un entorno de diseño unificado, desde el diseño esquemático hasta el diseño del PCB y la documentación del diseño.

III.2. Maquinaria LPKF (PCB prototype technology/laser material processing)

ProtoMat S63

El ProtoMat S63 domina el procesado de material en 2.5 dimensiones y posee velocidad de 60,000 rev/min. Esta maquinaria cuenta con cambio automático de herramientas, cámara de reconocimiento fiducial, puede hacer circuitos multicapa de 4, 6 u 8 capas siempre en conjunto con los sistemas LPKF multipress y LPKF contact S4. Esta maquinaria va incluida con un software suministrado por la empresa, denominado CircuitPro, el cual simplifica el proceso de realización del PCB.

IV. Metodología

La parte del desarrollo del diseño electrónico está compuesta por 4 etapas:

1. Diseño: mediante el software de diseño (Altium Designer), se hace el proceso para diseñar circuitos impresos combinando la colocación y el enrutamiento de componentes para definir la conectividad eléctrica dentro de un circuito impreso fabricado.
2. Fabricación: una vez realizado el diseño de la conectividad eléctrica y el diseño 3D de la tarjeta PCB, se procede a la fabricación de las tarjetas de manera física, a la colocación de las vías y de las líneas de conectividad eléctrica.
3. Soldado de componentes electrónicos: teniendo la tarjeta PCB, se procederá a realizar lo que es el soldado de los componentes necesarios para el funcionamiento de la tarjeta.
4. Pruebas de funcionamiento: después de soldados los componentes, se procederá a realizar la prueba de funcionamiento de estos, la prueba de funcionamiento puede constar de varias maneras, una de ellas puede ser de manera visual, verificando que se vean bien soldados los componentes y de manera electrónica, la cual es verificando que lleguen las señales o voltajes adecuados a cada componente.

V. Trabajo Realizado

V.1. Diseño electrónico tarjeta de potencia

En la parte del diseño electrónico se seleccionaron tres dispositivos de diferentes salidas de voltaje, 12V al sensor ultrasónico, 3.3V para el módulo LTE (siglas en inglés de Long Term Evolution) y 5V para el microcontrolador y los sensores analógicos y digitales que se deseen conectar.

Convertidor aislador de CC/CC de 3.3V

En el proyecto propuesto se seleccionó un dispositivo "THD 15-1210N" debido a que este tiene la capacidad de soportar voltajes de entrada de 9V – 18V, lo cual es idóneo para los voltajes que suministra la batería "UPS12-210MR" de 12V y nos entrega un voltaje de salida de 3.3V. Además, fue adaptado un diodo de estado.

Convertidor aislador de CC/CC de 5V

En el proyecto propuesto se seleccionó un dispositivo "TEL8-1211" debido a que este tiene la capacidad de soportar voltajes de 9V – 18V, lo cual es idóneo para los voltajes que suministra la batería "UPS12-210MR" de 12V y nos llega a entregar un voltaje de 5V. Además, fue adaptado un diodo indicador de estado.

Tabla 3: Protocolos de comunicación

Protocolo	UART	I2C	SPI
Complejidad	Sencillo	Fácil encadenamiento de dispositivos	Complejo
Velocidad	Lento	Más rápido que UART	El más rápido
Número de dispositivos	2	Hasta 180	Múltiples, pero se vuelve complejo
Dúplex	Completo	Medio	Completo

Tabla 4: Protocolos de comunicación inalámbrica

Protocolo	Potencia	Frecuencia	SOM	Sensibilidad de recepción
SigFox	14 dBm	868 MHz	48.83 dBm	-126 dBm
LoRa	18.5 dBm	863-870 MHz Europa 902-928 MHz USA	72.74 dBm	-146 dBm
Lte-Cat1	23 dBm	19000 MHz	27.03 dBm	-102 dBm

Convertidor aislador de CC/CC de 12V

Para el desarrollo del presente proyecto, se eligió el dispositivo “UHE-12/2500-D12-C” ya que este es capaz de funcionar con rangos desde los 9V hasta los 18V, los cuales son proporcionados por la batería “UPS12-210MR” de 12V con un voltaje de salida regulado de 12V. También se agregó un diodo que indica el estado de trabajo de esta.

En la Figura 1 se muestra un diagrama a bloques de la etapa de potencia.

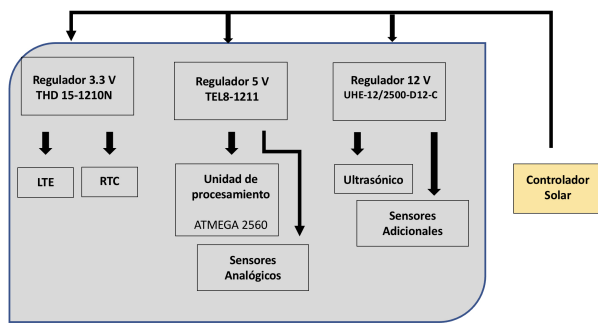


Figura 1: Etapa de potencia

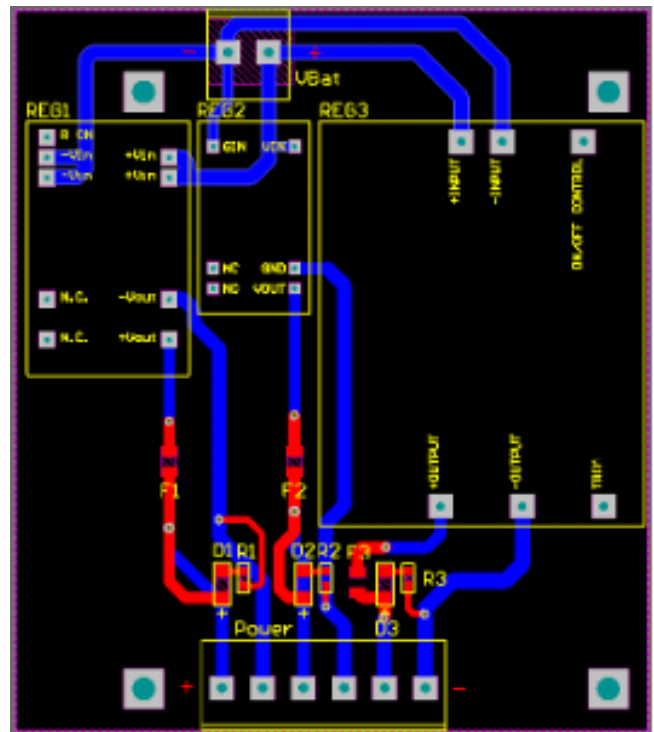


Figura 2: PCB de la etapa de potencia

En la Figura 2 se observa un recorte de la placa de potencia desarrollado en el software Altium designer.

V.2. Diseño electrónico tarjeta de procesamiento

El sistema embebido que integra la tarjeta de procesamiento está compuesto por el módulo de comunicación inalámbrica, módulo de procesamiento y módulo de sensores. El módulo de comunicación inalámbrico para esta prueba fue el SIM5320, también se cuenta con un socket tipo XBee en donde se conecta el módulo LTE.

El módulo de procesamiento es un ATMEGA2560 el cual es el encargado de procesar todas las tareas.

El dispositivo desarrollado emplea un sensor de nivel de agua ultrasónico. Además, para esta propuesta agregamos un sensor de temperatura ambiental y un sensor de humedad relativa, los cuales están conectados al microcontrolador para enviar los datos periódicamente mediante el protocolo de mensajería MQTT (siglas en inglés de Message Queuing Telemetry Transport), a través de Internet, a un servidor de adquisición de datos.

En la Figura 3 se muestra un diagrama con los com-

Tabla 5: Modelos de propagación

Protocolo	Mhz	Rs (dBm)	Pt (dBm)	Distancia Max	Distancia Min	SOM
AT86RF212B	769 A 935	-110	10	25.67 km	1 km	28.19 dB
RN2903 LoRa	902 A 928	-146	18.5	20 km	1 km	72.74 dB
Xbee Pro XSC S3B	902 A 928	-110	24	129.56 km	1 km	42.25 dB
LTE CAT 1	1900	-102	23	22.46 km	1 km	27.03 dB
SigFox	868	-126	14	276.37 km	1 km	48.83 dB

ponentes que contiene nuestro prototipo en la parte de comunicación y procesamiento.

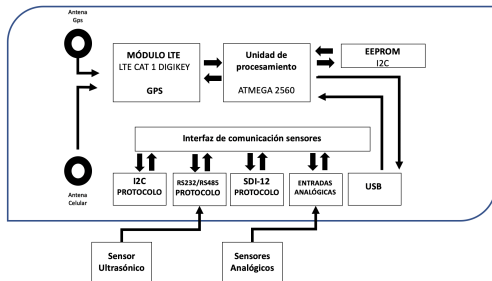


Figura 3: Etapa de procesamiento

En la Figura 4 se muestra el 3D de nuestro prototipo en la parte de comunicación y procesamiento.

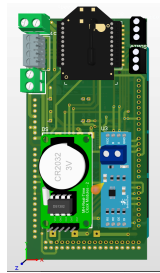


Figura 4: 3D Tarjeta de procesamiento y comunicación

El procedimiento para poder realizar el sistema embebido para la toma de muestras, almacenamiento y el envío de la información es primero conectarse a la fuente de alimentación o de potencia, en ese momento se inicia lo que es la configuración de los sensores y una vez realizado este procedimiento se manda toda la información recopilada a través de nuestro módulo de comunicación inalámbrica.

En la Figura 5 se observa nuestra tarjeta de procesamiento en funcionamiento.

En las figuras 6, 7 y 8 se muestran los datos recolectados cada segundo durante 24 horas, comenzando desde las 8 a.m. y terminando a las 8 p.m. sobre un lugar controlado.

En la Figura 6 se puede observar los datos recopilados midiendo la profundidad en cm. La Figura 7 muestra



Figura 5: Hardware

la variación de la temperatura durante este periodo de medición, en la Figura 8 se muestra un gráfico el cual informa el porcentaje de la humedad relativa durante este periodo de medición.

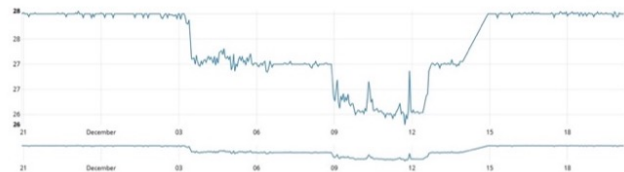


Figura 6: Medición de la profundidad del agua durante 24 horas

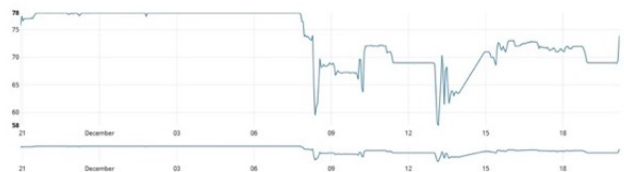


Figura 7: Temperatura ambiental durante 24 horas

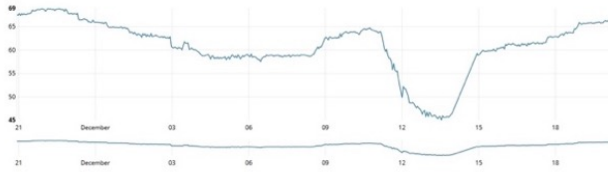


Figura 8: Humedad relativa durante 24 horas

VI. Conclusiones

Los resultados obtenidos en la implementación del hardware han sido satisfactorios, aún falta trabajo para realizar, se tiene que implementar el nuevo diseño en un ambiente real para probar la comunicación inalámbrica, la fiabilidad de los sensores y la etapa de alimentación.

Dado los resultados obtenidos se puede concluir que la tarjeta de procesamiento, junto con los sensores y la etapa de potencia, ha funcionado de una manera correcta en un ambiente controlado.

Para este proyecto propuesto aún se continua trabajando en la elaboración de una implementación de inteligencia artificial para la predicción de inundaciones. Además de seguir trabajando en las actualizaciones de los protocolos de comunicación inalámbrica, próximamente 5G (quinta generación de redes móviles).

Agradecimientos

Gracias al Programa Nacional de Posgrados de Calidad CONACYT por el apoyo económico utilizado en parte para la realización de los experimentos y un agradecimiento especial a todos los involucrados directamente en el proyecto.

Referencias

- [1] Centro Nacional de Prevención de Desastres. México. Secretaría de Gobernación. Sistema Nacional de Protección Civil. *Diagnóstico de peligros e identificación de riesgos de desastres en México : atlas nacional de riesgos de la República Mexicana*. Secretaría de Gobernación, Sistema Nacional de Protección Civil, Centro Nacional de Prevención de Desastres, 2001. ISBN: 9706285938.
- [2] UCLouvain. *Natural Disasters 2018*. 2. UCLouvain, Centre for Research on the Epidemiology of Disasters CRED, USAID., 2019.
- [3] Christian Claudel. *Patent US 9047775*. 3. KING ABDULLAH UNIVERSITY OF SCIENCE y TECHNOLOGY, 2012.
- [4] Edward B. Panganiban y Jennifer C. Dela Cruz. «Rain water level information with flood warning system using flat clustering predictive technique». En: vol. 2017-December. Institute of Electrical y Electronics Engineers Inc., dic. de 2017, págs. 727-732. ISBN: 9781509011339. DOI: 10.1109/TENCON.2017.8227956.
- [5] Paschalis Koutalakis y George N. Zaimis. «River Flow Measurements Utilizing UAV-Based Surface Velocimetry and Bathymetry Coupled with Sonar». En: *Hydrology* 9 (8 ago. de 2022), pág. 148. ISSN: 2306-5338. DOI: 10.3390/hydrology9080148. URL: <https://www.mdpi.com/2306-5338/9/8/148>.
- [6] Swapnil Bande y Virendra V Shete. *Smart flood disaster prediction system using IoT Neural Networks*. 2017. ISBN: 9781538605691.
- [7] Nor Anum Zuraimi Md Noar y Mahanijah Md Kamal. «The development of smart flood monitoring system using ultrasonic sensor with blynk applications». En: 2017, págs. 1-6. DOI: 10.1109/ICSIMA.2017.8312009.
- [8] Paschalis Koutalakis y George N. Zaimis. «River Flow Measurements Utilizing UAV-Based Surface Velocimetry and Bathymetry Coupled with Sonar». En: *Hydrology* 9 (8 ago. de 2022), pág. 148. ISSN: 2306-5338. DOI: 10.3390/hydrology9080148. URL: <https://www.mdpi.com/2306-5338/9/8/148>.
- [9] Shiva Shankar et al. «Early Detection of Flood Monitoring and Alerting System to Save Human Lives». En: Institute of Electrical y Electronics Engineers Inc., nov. de 2020, págs. 353-357. ISBN: 9781728197722. DOI: 10.1109/RTEICT49044.2020.9315556.
- [10] Dalibor Purkovic et al. *Smart river monitoring and early flood detection system in Japan developed with the EnOcean long range sensor technology; Smart river monitoring and early flood detection system in Japan developed with the EnOcean long range sensor technology*. 2019.
- [11] Frondiest. *Frondiest CB-450 DATA BUOY*. 2022. URL: <https://www.fondriest.com/nexsens-cb-450-data-buoy.htm>.
- [12] J Teng et al. «Flood inundation modelling: A review of methods, recent advances and uncertainty analysis». En: *Environmental Modelling Software* 90 (2017), págs. 201-216. ISSN: 1364-8152. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.01.006>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364815216310040>.

- [13] Rafael Marin-Perez, Javier García-Pintado y Antonio Skarmeta Gómez. «A real-time measurement system for long-life flood monitoring and warning applications». En: *Sensors* 12 (4 abr. de 2012), págs. 4213-4236. ISSN: 14248220. DOI: 10.3390/s120404213.
- [14] Mathivanan. «N. PC-based instrumentation: concepts and practice». En: (2007).
- [15] Jonathan R. Wolpaw. «Brain-Computer Interfaces: Principles and Practice». En: (2012).