

# Implementando recursos de IoT hacia la industria 4.0 en el estado de Sinaloa

Sandra Maricela Castro Graciano  
Departamento de Metal-Mecanica  
Tecnologico Nacional de México  
Campus Culiacán  
Culiacán, México  
Sandra.CG@culiacan.tecnm.mx

Héctor Manuel Cárdenas López  
Departamento de Metal-Mecanica  
Tecnologico Nacional de México  
Campus Culiacán  
Culiacán, México  
Hector.CL@culiacan.tecnm.mx

Carlos Alberto Martínez Felix  
Departamento de Metal-Mecanica  
Tecnologico Nacional de México  
Campus Culiacán  
Culiacán, México  
Carlos.MF@culiacan.tecnm.mx

Juan Carlos Cabanillas Noris  
Departamento de estudios de posgrado  
Tecnologico Nacional de México  
Campus Culiacán  
Culiacán, México  
Juan.CN@culiacan.tecnm.mx

Armando Payan Angulo  
Estudiante del TECN  
Tecnologico Nacional de México  
Campus Culiacán  
Culiacán, México  
18170732@itculiacan.edu.mx

Jesus Antonio Angulo Ovalles  
Estudiante del TECN  
Tecnologico Nacional de México  
Campus Culiacán  
Culiacán, México  
18170577@itculiacan.edu.mx

**Abstract**— This article presents a proposal for the implementation of IoT technologies in the industry 4.0 in the state of Sinaloa. The advantages of data collection and its use in optimizing industrial processes are discussed, as well as the importance of adapting analysis methods to the particularities of each process. The development of specialized and flexible tools that can adjust to the diverse demands of processes, even when coexisting in the same business entity, is described. In addition, the field research carried out to define the plant architecture and make strategic decisions regarding the deployment of hardware and the choice of communication protocol used in the system is detailed. In summary, this article provides an overview of how the implementation of IoT can improve operational efficiency and foster innovation in the industry of Sinaloa.

**Keywords**— *IoT, industry 4.0, process optimization, specialized tools, flexibility, operational efficiency, innovation.*

## I. INTRODUCCION

En el contexto industrial del estado de Sinaloa, se ha identificado una creciente necesidad de monitorear y comprender una amplia variedad de variables en sus procesos productivos. Actualmente, la mayoría de los procedimientos en la agroindustria, así como una pequeña fracción de la producción secundaria, se llevan a cabo de manera artesanal. Esta situación plantea una clara oportunidad para la implementación de sistemas avanzados basados en el Internet de las Cosas (IoT, por sus siglas en inglés) con el propósito de optimizar y perfeccionar los procesos industriales.

La adopción de tecnologías IoT ofrece la posibilidad de establecer sistemas de monitoreo que permitan una observación más precisa y eficaz del entorno industrial. Estos sistemas tienen el potencial de proporcionar una visión en tiempo real de los procesos, lo que a su vez facilita la toma de decisiones informadas y la mejora continua. Es importante destacar que este tipo de sistemas ya ha demostrado su eficacia en diversos ámbitos, como el monitoreo de mercancías en la logística [1] y el control inteligente en sistemas de domótica [2].

Además, es fundamental mencionar que la aplicación de tecnología IoT no se limita a estas áreas. También se ha implementado con éxito en situaciones más complejas, como el monitoreo de la calidad del aire [3], donde se requiere

medir variables específicas en entornos desafiantes. La versatilidad de esta tecnología abre una amplia gama de oportunidades para su implementación en el estado de Sinaloa, aprovechando su potencial para transformar diversos sectores económicos, con un enfoque particular en la agricultura, que desempeña un papel central en la economía regional.

Sin embargo, es importante destacar que, debido a la falta de sistemas de alta competencia, como los basados en tecnología IoT, se ha planteado la necesidad de desarrollar un sistema específico. Este sistema tiene la capacidad de integrar una gran cantidad de sensores para llevar a cabo un monitoreo exhaustivo y en tiempo real de diversas variables. La información recopilada se presenta de manera accesible a través de una plataforma en línea, lo que lo convierte en una herramienta versátil que puede aplicarse en una variedad de sectores económicos en el estado de Sinaloa, con un énfasis significativo en la agricultura. En este artículo, exploraremos en detalle la implementación de este sistema, sus beneficios y su impacto en la industria sinaloense, brindando una visión integral de cómo la tecnología IoT puede contribuir al avance y la eficiencia de los procesos en esta región.

## II. ESTADO DEL ARTE

A nivel mundial es indudable la relevancia del IoT en el desarrollo tecnológico general de la sociedad y la industria, su adopción e integración en múltiples aspectos de estas es cada vez más notorio, pasando de curiosidades y dispositivos de nicho a estar presente en dispositivos de todos los tipos y ámbitos.

Aunque a nivel social encontramos muchísimos ejemplos de aplicaciones, en cuanto al sector productivo ocurre lo contrario, el contar con algún grado de automatización e instrumentación resulta ser relativamente raro, sobre todo en el último caso pues, tanto la ejecución como el control de los procesos productivos en la industria se realizan de manera manual, artesanal y/o sumamente metódica (en el contexto Sinaloense). El ritmo con el que dichos procesos evolucionan se ve directamente afectado por las herramientas disponibles para el usuario final, partiendo

de esto, podemos ver en casos como el de [4] en el cual se utilizó la tecnología de IoT para el desarrollo de sistemas los cuales permitieron visualizar el comportamiento de variables en este caso para la monitorización de variables contempladas en ambientes de avicultura, así mismo se pueden observar que este tipo de sistemas no solamente funcionan en ambientes donde las variables sean de ámbito ambiental, como en [5] donde se visualizan variables más controladas en ambientes específicos, de este modo se puede observar que no solamente se utilizan variables ambientales, esto brinda una idea de que las aplicaciones de IoT tienen grandes aplicaciones a nivel global.

Hablando específicamente del caso de Sinaloa contamos con una clara falta de datos en el área en cuestión, aunque, a nivel global vemos un panorama diferente, tal como se puede ver en [6] en donde se utilizan las tecnologías de IoT aplicadas en Sinaloa, en ámbitos específicos, pero actualmente este tipo de tecnología si bien se encuentra en proceso de aplicación este no tiene el impacto necesario para que este crezca de manera considerable como en diferentes estados o países donde esta tecnología ya se hizo o se está haciendo más común tanto así que la mayoría de procesos ya cuentan con la tecnología o están en proceso de aplicarla como se describe en [7] las tecnologías IoT son muy factibles para aplicaciones específicamente hablando de los procesos de agricultura, ya que este tipo de tecnología será la base para el desarrollo de granjas inteligentes, este tipo de aplicaciones son de lo más común hablando del ámbito de las IoT ya que el ambiente se presta para situaciones en las cuales los sistemas convencionales de control tienden a quedar demasiado escasos para resolución de problemas de manera que se requiere un cambio el cual permita solucionar los problemas actuales y que este sienta bases para posibles situaciones futuras tal como se interpreta en [8], este entre muchísimas aplicaciones mas nos da a entender que las IoT aplicadas en otros lugar nos sirven de referente para que este tipo de tecnología escale en el estado de Sinaloa.

Partiendo de las aplicaciones anteriormente mencionadas y de lo especificado en [9], Podemos decir que la adopción de IoT es un proceso que avanza de forma constante a nivel global, impactando múltiples niveles productivos, tecnológicos y sociales. Dicho comportamiento se aprecia en la gran mayoría de sectores productivos con necesidad de mejora continua. A pesar de la importancia de Sinaloa como productor nacional e internacional en el ámbito agropecuario, la falta de modernización y conocimiento por parte de los productores y diferentes industrias del gremio genera el desaprovechamiento de múltiples oportunidades de mejora, pues al contar con tecnologías y herramientas al nivel o superiores al resto del mundo se puede ofrecer un servicio competitivo y de mayor calidad, brindando a su vez un grado de control y conocimiento exponencialmente mayor al contar con medios para monitorear el comportamiento de las múltiples variables involucradas en cualquier proceso productivo.

### III. METODOLOGIA

En el contexto de una entidad tan diversa y próspera en el ámbito agropecuario, es natural buscar una mejora continua en los procesos productivos, independientemente del sector o producto en cuestión. Esta búsqueda constante de mejora tiene

como objetivo aumentar el volumen, la calidad y la rentabilidad de la producción.

En este sentido, se ha emprendido la tarea de desarrollar una herramienta, un sistema o un conjunto de estos, con el propósito de facilitar y promover mejoras en el sector productivo y en otras áreas relacionadas. Este enfoque busca ofrecer una flexibilidad que rara vez se encuentra en las alternativas existentes en el mercado. Actualmente, las tecnologías de monitorización y captura de datos suelen depender de sistemas propietarios los cuales pueden ser costosos, o que estos mismo sistemas no tengan una aplicación tangible ya que se presentan en forma de propuestas como en [10] lo que hace que su adopción sea prohibitiva para la mayoría de las empresas, especialmente las pequeñas y medianas en el estado. Además, se ha identificado una falta de instrumentación en muchos procesos productivos del mismo, lo que los hace deficientes en comparación con los estándares de los principales productores a nivel mundial.

#### A. Criterios para la selección de variables

Cada proceso industrial presenta sus propios requisitos y variables específicas que influyen en su desempeño y ejecución. Es evidente que, aunque sea factible llevar a cabo una operación exitosa sin una amplia cantidad de información detallada sobre estos aspectos, como se demuestra en [11] donde se observa que las en las diferentes aplicaciones hay que considerar correctamente las variables necesarias para cada proceso.

contar con datos que describan el comportamiento de un proceso puede generar mejoras significativas en términos de eficiencia y resultados independientemente de la industria en la que se aplique. Además, esta información facilita la posibilidad de implementar la automatización mediante el uso de datos recopilados por sensores y diversos dispositivos.

Dadas las posibilidades planteadas en base a la recopilación de datos y su uso, se optó por realizar un sistema el cual fuera capaz de realizarla, su almacenamiento y despliegue, esto aplicado en las condiciones proporcionadas por una planta de procesos agro-biológicos como la maduración y el cultivo de hongos, de modo que para este tipo de procesos las variables que se capturaron fueron:

- Temperatura: medida en grados centígrados esto con la finalidad de llevar un control de las fluctuaciones en el cuarto de experimentación. Dicho control se vuelve necesario pues se trabaja con agentes biológicos altamente sensibles que pueden afectar su desarrollo si el ambiente se vuelve inestable.
- Humedad: medida en porcentaje, se registra en conjunto a la temperatura pues es necesario mantenerla dentro de márgenes muy precisos para el correcto crecimiento del cultivo.
- Luz: se mide en *luxes*, se busca conocer el cómo la luz llega hasta los cultivos con el propósito de evaluar su crecimiento, el cómo la misma lo afecta, y, el si la distribución del sistema de iluminación es la más óptima.

A pesar de que en este contexto se mencionan principalmente magnitudes físicas, es importante destacar que la naturaleza del sistema no se limita exclusivamente a la cuantificación de datos físicos, sino que también ofrece la

posibilidad de cuantificar datos virtuales o digitales. Estos datos abarcan una amplia gama de información, como la cantidad de solicitudes realizadas a un servidor, estadísticas de uso en un sistema, el espacio ocupado o vacío en unidades de almacenamiento, datos de identificación de dispositivos, el número de clientes conectados en una red, y muchos otros aspectos relevantes.

A continuación, en la Tabla 1 se mencionan algunos ejemplos de variables consideradas en diversos procesos.

TABLE I. EJEMPLOS DE VARIABLES EN DIFERENTES PROCESOS

#	Variables seleccionadas		
	Proceso	Cantidad	Descripción
1	Industrial	6	Peso, producto procesado, merma, producto entrante, producto saliente, tiempos entre etapas del proceso[12]
2	Agrobiológico	4	Temperatura, humedad, luz, calidad del aire (PPM)[13]
3	Software	8	Datos escritos, datos leídos, velocidad de I/O, procesos activos, uso de recursos, clientes conectados al sistema, conexiones entrantes, conexiones salientes[14]
4	Automatismo	4	Tiempos del proceso, <i>uptime</i> , <i>downtime</i> , consumo energético, estado de actuadores.[15]

Al observar los ejemplos proporcionados en la Tabla 1 como punto de partida, se revela claramente que, a pesar de su carácter generalizado, existen notables diferencias entre las variables relevantes en cada uno de los procesos. Esta diferencia demuestra la necesidad de herramientas especializadas y valida la idea principal del proyecto: la falta de un sistema versátil capaz de adaptarse a las distintas necesidades de los procesos particulares en la industria. Es importante señalar que, a pesar de estas diferencias, es factible que los cuatro ejemplos mencionados coexistan en cualquier empresa en Sinaloa, lo que suma validez al enfoque del proyecto.

Como se muestra en la investigación [16] donde la obtención de datos históricos es esencial en ciertas áreas aplicadas ya que estos pueden dar bastante información y al utilizarla se pueden realizar predicciones de ciertos comportamientos de los sistemas. El análisis de datos históricos cuando se trata del desarrollo de productos y la investigación en diversos campos es de suma importancia. Este enfoque es fundamental para comprender la evolución de los procesos a lo largo del tiempo y proporciona información crucial para la toma de decisiones fundamentadas y eficaces.

No obstante, la clave se encuentra en la capacidad de adaptar estos métodos de análisis a las particularidades de cada proceso, como se ha evidenciado en los ejemplos de la

Tabla 1. Por lo tanto, el proyecto se enfoca en abordar esta necesidad en la industria, desarrollando herramientas especializadas que sean flexibles y que puedan ajustarse a las diversas demandas de los procesos, incluso cuando coexisten en la misma entidad empresarial. Este enfoque tiene como objetivo no solo mejorar la eficiencia operativa, sino también fomentar la innovación y el progreso en un amplio espectro de aplicaciones industriales en Sinaloa y más allá al proveer al cliente con la capacidad de instrumentar y monitorizar un proceso ya existente.

*B. Especificaciones de planta*

Para definir la arquitectura de la planta, se llevó a cabo una exhaustiva investigación de campo con el propósito de comprender su disposición y tomar decisiones estratégicas con respecto al despliegue del hardware y la elección del protocolo de comunicación utilizado en el sistema.

La planta actual en la cual se implementó un proceso agro biológico cuenta con ciertas características las cuales la hacen factible para la implementación de este tipo de procesos, como se puede observar en la Fig. 1 la planta se muestra como una habitación la cual cuenta con unas dimensiones de 5 metros de ancho, 4.5 metros de largo y 2.6 metros de altura. Una característica clave de esta habitación era la disposición de la iluminación en los laterales, lo que proporcionaba una iluminación uniforme y constante en toda la sala. Además, se identificaron dos racks en la habitación, cada uno con dimensiones específicas. Uno de los racks tenía una altura de 2.26 metros y una longitud de 3.2 metros, mientras que el otro rack tenía una altura de 2 metros y una longitud de 3.42 metros. Cada uno de estos racks estaba dividido en 10 niveles, lo que permitía una distribución estratégica de los sensores de humedad y temperatura.

Esta disposición de los sensores se diseñó con el objetivo de obtener datos específicos y detallados de zonas particulares dentro de la planta.



Fig. 1. Fotografía de la distribución de la planta

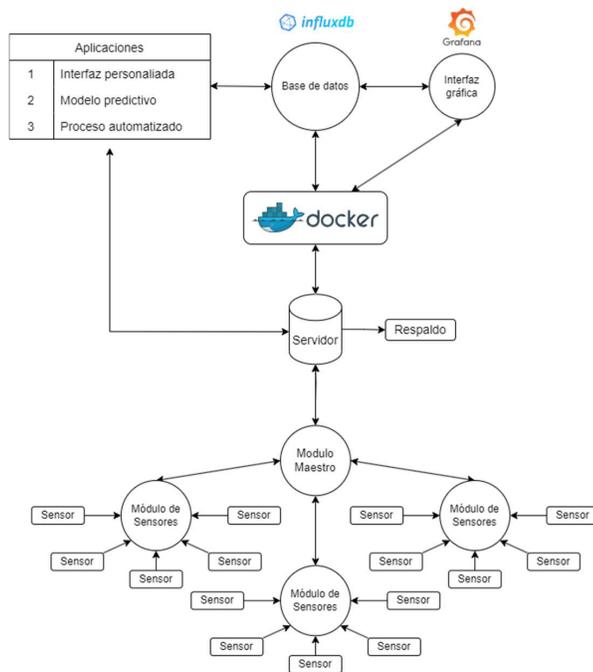


Fig. 2. Diagrama descriptivo de la arquitectura del sistema completo, incluyendo hardware y software.

En la etapa de prueba de concepto, se tomó la decisión de organizar los dispositivos de manera que estuvieran lo más cerca posible de cada uno de los racks. Esta disposición tenía el propósito de optimizar la distribución de cables, lo que resultaría en lecturas más precisas y eficientes durante la toma de datos. Esta elección estratégica en la distribución de los dispositivos permitió una gestión más efectiva de los cables y garantizó que las lecturas se realizaran de manera eficiente y con la menor interferencia posible pues, los racks iban a ser manipulados una vez que comenzase el periodo de muestreo en el cuarto experimental.

La investigación de campo proporcionó una base sólida para la definición de la arquitectura de la planta y la ubicación estratégica de los dispositivos, lo que a su vez contribuyó a la efectividad de la prueba de concepto y sienta las bases para el desarrollo futuro del sistema en un entorno de prototipo de producción.

1) *Requerimientos de hardware/software*

para poder cumplir de manera asertiva con el monitoreo específico de la planta, además de poder visualizar las variables seleccionadas para este sistema se requirió hardware específico para poder obtener los datos necesarios para su despliegue además de contemplar rangos en los cuales los valores tendrían un valor para el sistema.

Se definió un rango para cada una de las variables en el caso de la temperatura se definió que los valores mas significativos para los datos se encontraban en un rango de 17° a 23° para esto se utilizó el sensor DHT11 el cual tiene un voltaje de operación de entre 3v a 5v y cuenta con un rango de medición desde 0° hasta 50° y una resolución de 0.1°, con

este sensor en particular se pudo medir valores de temperatura los cuales son de valor para el sistema, así mismo este mismo sensor también cuenta con la capacidad de medir valores de humedad la cual es otra variable la cual se requirió para el sistema, el rango de valores de humedad el cual es de valor para el sistema se encuentra entre un 20% y un 80% esto con la finalidad de poder medir grandes cambios de humedad en el cuarto experimental este rango fue de mucha ayuda también ya que el sensor DHT11 permite medir entre valores de 20% al 90% además de que su resolución es de 1% por lo tanto este sensor fue el adecuado para el desarrollo de este sistema.

Así mismo se contemplo como variable a medir la luminosidad del cuarto ya que se buscaba observar los cambios luminosidad y la distribución de la misma de manera granular, para esto se utilizó el sensor analógico KY-018 el cual es un módulo con una fotoresistencia el cual permite medir los cambios de luminiscencia en una zona, el voltaje operativo de este modulo es de 3.3v a 5v, este sensor permitió tomar medidas de la cantidad de luz que tenía la planta.

C. *Arquitectura del sistema de software*

Habiendo definido el proceso particular de la aplicación, el siguiente paso crucial es establecer la arquitectura y topología principal del sistema. Para esta implementación se utilizó una arquitectura de cliente-servidor, donde el cliente realiza peticiones al servidor el cual tiene la responsabilidad de guardar de manera histórica la información de estas peticiones y de generar respuestas que sean útiles para el conocimiento del cliente. El comportamiento y los componentes de estos módulos se define a continuación:

1-Servidor: Este componente actúa como el núcleo central del sistema. Es aquí donde reside la base de datos, específicamente InfluxDB 2.7, alojada en un servidor independiente. La elección de InfluxDB se basa en su capacidad para proporcionar una base de datos secuencial altamente eficiente y escalable, lo que lo convierte en un recurso invaluable para la gestión de datos en tiempo real. Para simplificar aún más la administración y la implementación,

InfluxDB se despliega utilizando la versatilidad de contenedores Docker, que brindan ventajas adicionales en términos de portabilidad y escalabilidad.

2-Cliente: El componente cliente se divide en dos subcategorías clave:

2.1-Módulo o Controlador Maestro: Este elemento es esencialmente el cerebro del sistema, equipado con un ESP32 que tiene la capacidad de supervisar y coordinar un conjunto de dispositivos encargados de la recolección de información.

Su función principal radica en la adquisición, el procesamiento y la transmisión de los datos recolectados hacia la base de datos. El controlador maestro es el encargado de garantizar la calidad y la coherencia de los datos, filtrando la información relevante antes de enviarla a la base de datos.

2.2-Módulo de Sensores: Este componente es la pieza fundamental encargada de la recolección de datos en el sistema. Consiste en una placa diseñada para albergar al menos un sensor o medio de lectura para cada variable relevante en el proceso de monitoreo. La flexibilidad de esta placa permite la integración de una amplia gama de sensores según las necesidades específicas del cliente. Cada sensor en esta placa está dedicado a la lectura y captura precisa de datos, lo que garantiza una adquisición confiable y constante de información crítica.

El sistema está pensado para permitir la visualización de información por parte del usuario de forma sencilla, teniendo la interfaz alojada dentro del servidor, misma que se encarga de mostrar los datos recolectados y el control de los dispositivos del sistema, permitiendo activar, desactivar y reiniciar algunos elementos del mismo desde dicha interfaz todo lo anteriormente mencionado se encuentra reflejado de manera gráfica en la Fig. 2. A su vez, el servidor actúa como el nexo central para la información y los comandos necesarios para el correcto funcionamiento del sistema, recibiendo los datos recolectados del maestro en forma de *queries*, y transmitiendo en forma de peticiones las órdenes del usuario.

*D. Diseño de sistema embebido (Hardware/Software)*

Partiendo de la prueba de concepto realizada en un protoboard, se emprendió el diseño de dos módulos esenciales: el maestro y el esclavo. Estos módulos están equipados con un microcontrolador principal y una serie de periféricos cuidadosamente seleccionados para cumplir con sus respectivas funciones.

El controlador principal, también denominado maestro, juega un papel central en este sistema. Se basa en un potente ESP32, un microcontrolador de alto rendimiento ampliamente utilizado en aplicaciones de Internet de las Cosas (IoT) y proyectos de automatización. La misión principal del ESP32 en este contexto es la adquisición de datos procedentes de una variedad de módulos de sensores conectados al sistema.

Como se observa en la Fig. 3 La placa del ESP32 se encuentra diseñada con minuciosidad y precisión, incorporando las conexiones necesarias para establecer una transferencia de datos física y fiable entre los módulos maestro y esclavo. Además de esta funcionalidad de comunicación directa, el ESP32 aprovecha al máximo sus capacidades inalámbricas, lo que le permite transmitir los datos capturados a una instancia de InfluxDB. InfluxDB, una base de datos secuencial altamente eficiente y escalable, se convierte en el almacén de datos perfecto para registrar y gestionar los valiosos datos obtenidos por el sistema.

Uno de los aspectos más destacados del controlador principal es su capacidad de realizar una tarea crítica: el filtrado de información. En su rol de transmisor de datos, el ESP32 se encarga de verificar y depurar los paquetes de información antes de enviarlos a InfluxDB. Este proceso de filtrado asegura que solo los datos relevantes y completos sean transmitidos, excluyendo cualquier información vacía o incompleta que pueda ser generada por los módulos de sensores en ciertas circunstancias.



Fig. 3. Modelo 3D representativo de la placa del maestro

La elección del Devkit V1 como base para la placa maestra se basó en una cuidadosa evaluación de su practicidad y en las ventajas que ofrece en el contexto del desarrollo del sistema. El uso de esta presentación del microcontrolador se traduce en una notable simplificación de la configuración inicial, lo que, a su vez, contribuye significativamente a la reducción del tiempo necesario para la fabricación y el diseño del prototipo.

Además, la placa cuenta con tres puertos de alimentación que brindan flexibilidad al suministrar voltajes variables según los requisitos específicos del sistema. Esta versatilidad en la alimentación es esencial para acomodar una variedad de sensores y componentes conectados al microcontrolador. Además, se han habilitado cuatro puertos de transmisión de datos que aprovechan el bus I2C integrado en el mismo. Esta característica simplifica la interconexión de los componentes

del sistema y garantiza una comunicación fluida y eficaz entre ellos.

Para garantizar una transmisión eficiente de datos, se ha implementado en el código una estructura diseñada para serializar la información relevante de cada variable que se desea monitorizar. Esta estructura de datos en el código desempeña un papel crucial al asegurar la integridad y la organización de la información. Los datos serializados se transmiten a través del bus I2C, aprovechando la conexión constante establecida entre el microcontrolador y la base de datos. Esta estrategia de comunicación es fundamental para mantener una transmisión de datos constante y confiable. Una vez que los datos llegan a su destino, quedan automáticamente organizados en función del tiempo de captura. Este enfoque temporal simplifica el acceso y el análisis de los datos por parte del usuario, ya que los mismos están dispuestos de manera lógica y coherente en la base. Además, la conexión constante entre el microcontrolador y la base de datos asegura que la información se envíe en tiempo real, lo que es esencial para aplicaciones de monitoreo y control.

En cualquier proceso que involucre la Internet de las

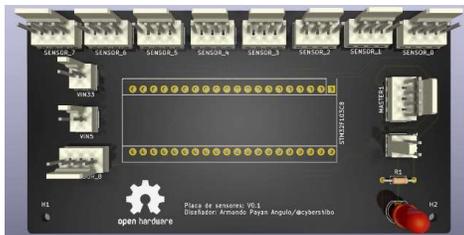


Fig. 4. Modelo 3D representativo de la placa del esclavo

Cosas (IoT), es esencial contar con una ingesta constante de información para alimentar las distintas etapas del proceso y permitir su correcta operación. En este contexto, la captura de datos es llevada a cabo por el módulo de sensores, también conocido como módulo esclavo. Para este propósito, se seleccionó el microcontrolador STM32F103C8, una elección ampliamente respaldada por su popularidad en el mercado actual. Esta elección no solo se basa en la disponibilidad y la familiaridad con el microcontrolador, sino también en su capacidad para integrarse con una amplia variedad de sensores. La flexibilidad que ofrece este microcontrolador es esencial para adaptar el sistema a las necesidades específicas de cada cliente, aprovechando el bajo costo del dispositivo y la abundancia de soporte y librerías de software disponibles.

Como se observa en la Fig. 4, Al igual que en el caso del microcontrolador principal, se optó por utilizar un Devkit ya ensamblado para el módulo de sensores debido a su facilidad de integración y diseño eficiente en el proceso de prototipado. Esta placa se conecta directamente a la PCB que aloja los sensores, proporcionando la alimentación necesaria al microcontrolador y permitiendo la adquisición de datos de los sensores conectados. Además, se establece la conexión con el bus utilizado para transmitir los datos capturados al

controlador principal, garantizando una comunicación fluida y confiable entre ambos módulos. Esta integración de componentes contribuye en gran medida a la eficiencia y la capacidad de adaptación del sistema, lo que resulta fundamental en un entorno de IoT en constante evolución.

A diferencia del controlador principal, el módulo de sensores se caracteriza por contar con un firmware de naturaleza relativamente sencilla, diseñado con un único propósito: recolectar las lecturas procedentes de cada sensor, organizarlas en la estructura de datos requerida para su transmisión, y esperar a que el controlador principal realice una solicitud. El enfoque de simplicidad en el firmware del módulo de sensores permite que este dispositivo se dedique de manera eficaz a la tarea fundamental de adquirir datos, evitando tareas computacionalmente intensivas que podrían afectar su rendimiento.

La decisión de incorporar un microcontrolador externo para el manejo de sensores se basó en dos consideraciones fundamentales. En primer lugar, se reconoció la limitación de puertos disponibles en el ESP32, lo que podría restringir la capacidad de conectar múltiples sensores de manera directa al controlador principal. En segundo lugar, se tuvo en cuenta la carga computacional asociada con la creación de paquetes de datos que se transmiten a la base de datos. Al trasladar la responsabilidad del manejo y la lectura de los sensores a un microcontrolador dedicado, se asegura que cada sensor pueda utilizarse de manera eficiente sin afectar la transmisión de datos, independientemente de cualquier retraso que pueda surgir debido a la lectura de sensores o las conexiones. Un ejemplo ilustrativo de esta necesidad se encuentra en el caso de algunos módulos GPS específicos, que requieren una comunicación constante con el microcontrolador. La pérdida de esta comunicación podría resultar en el reinicio o la pérdida de precisión en las lecturas del GPS, lo que podría generar datos inexactos. El uso de un microcontrolador externo garantiza una gestión óptima de estos sensores, minimizando cualquier interrupción en la comunicación o en las lecturas.

#### E. Transición de una prueba de concepto a un prototipo de producción

Al comenzar el proyecto fue necesario comprobar que lo planteado de manera teórica fuese realizable y los requisitos a nivel técnico, económico y práctico no fuesen demasiado elevados, por ello, se optó por comenzar con una prueba de concepto en la cual se redujeron los elementos del sistema al mínimo indispensable como para permitir su funcionamiento básico contando con los siguientes elementos:

- 1 servidor de pruebas
- 1 ESP32 que actúa como maestro
- 1 STM32F103C8 que actúa como esclavo
- 1 sensor de temperatura y humedad (DHT11)
- 1 sensor de luz análogo
- 1 sensor de gas MQ (indistinto)

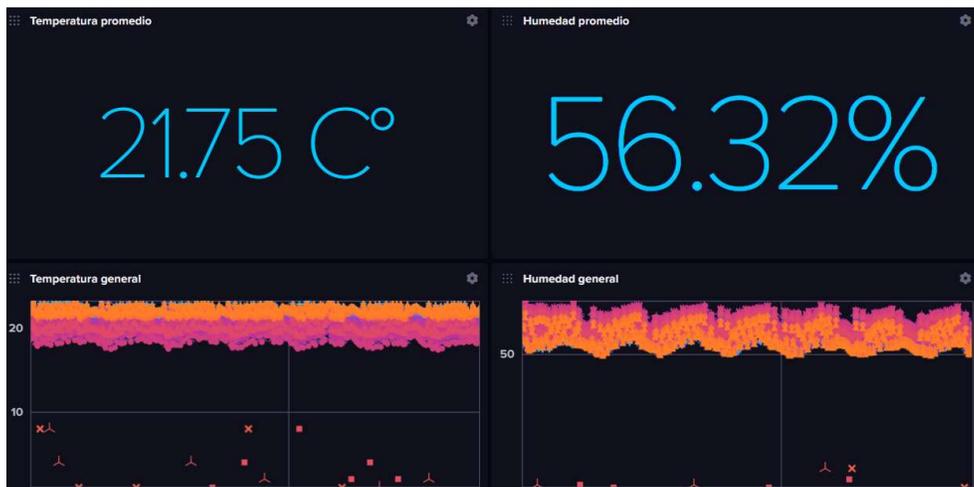


Fig. 5. Presentación de la información recopilada por los sensores en un rango de 7 días con valores promedio.

Se instalaron los elementos en una protoboard con una fuente de alimentación fija para permitir que el sistema funcionase durante un tiempo y así comprobar que tanto la información recibida como los paquetes transmitidos fuesen correctos.

Se dejó funcionando al sistema durante un periodo aproximado de un mes, a lo largo del cual se fueron registrando los cambios en las variables mencionadas anteriormente.

Esto permitió conocer y detectar las fluctuaciones en los valores de las variables medidas, comprobando algo que se había planteado de manera únicamente teórica. Situaciones como la entrada, salida y movimiento de personal, el cambio y crecimiento del cultivo, todo se ve reflejado en las gráficas de las variables al mostrar el cómo los valores cambian cuando cualquiera de estas situaciones se presenta, estos cambios de valores a lo largo del tiempo pueden verse reflejados en la Fig. 5.

A partir de los datos recolectados se pudieron definir las características de las placas de circuitos del maestro y esclavo respectivamente, permitiendo así contar con un medio más práctico y confiable que podía dejarse en producción para realizar pruebas más concretas y en condiciones realistas. Como se describe en el apartado de diseño de hardware, cada una de las placas cuenta con las conexiones pertinentes para su funcionamiento, además integran los elementos necesarios para que cada microcontrolador realice su función.

#### IV. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

##### A. Resultados

Durante los 6 meses de desarrollo de este proyecto, se logró crear una plataforma lo suficientemente madura como para su integración en un proceso productivo real en campo. Además, hemos realizado con éxito la incorporación de tecnologías relacionadas con la industria 4.0 y el Internet de

las cosas (IoT). Gracias a estas integraciones, hemos alcanzado el objetivo principal del proyecto, que consistía en proporcionar una solución para la instrumentación de procesos industriales sin incurrir en costos prohibitivos ni realizar alteraciones drásticas en la infraestructura existente en los procesos donde se implementó la plataforma.

Una de las ventajas clave de la plataforma es su flexibilidad para integrar cualquier dispositivo o sensor necesario para generar registros relevantes que permitan la implementación de mejoras en los procesos existentes. Como se señaló anteriormente, la capacidad de visualizar de manera gráfica y organizada las variables de un proceso revela detalles que, de lo contrario, pasarían desapercibidos. Por ejemplo, podemos observar cómo los patrones de temperatura y humedad cambian en un ambiente controlado al alterar cualquiera de sus variables, como un sistema de refrigeración, la apertura o cierre de puertas o ventanas, la presencia de personal o un cambio en el cultivo como se observa en la Fig. 6. Aunque estos cambios puedan parecer evidentes en un proceso controlado, poder ver de manera clara y definida el comportamiento de estas oscilaciones proporciona una comprensión más profunda de cómo estas variables afectan el crecimiento o desarrollo de la aplicación.

En este caso particular, la interfaz se accede a través de un navegador web, lo que representa un cambio significativo en la forma en que se revisan los parámetros que anteriormente se verificaban y registraban de manera manual. Después de implementar el sistema en la sala controlada, la revisión y el registro de datos pasaron a ser completamente remotos y automatizados. Esto resultó en una considerable reducción en la cantidad de trabajo necesario para supervisar el experimento, al tiempo que aumentó de manera exponencial la cantidad de información disponible para el cliente. Pasamos de realizar lecturas de temperatura y humedad cada hora a obtener datos automáticamente cada 10 segundos mientras el sistema estuvo en funcionamiento.

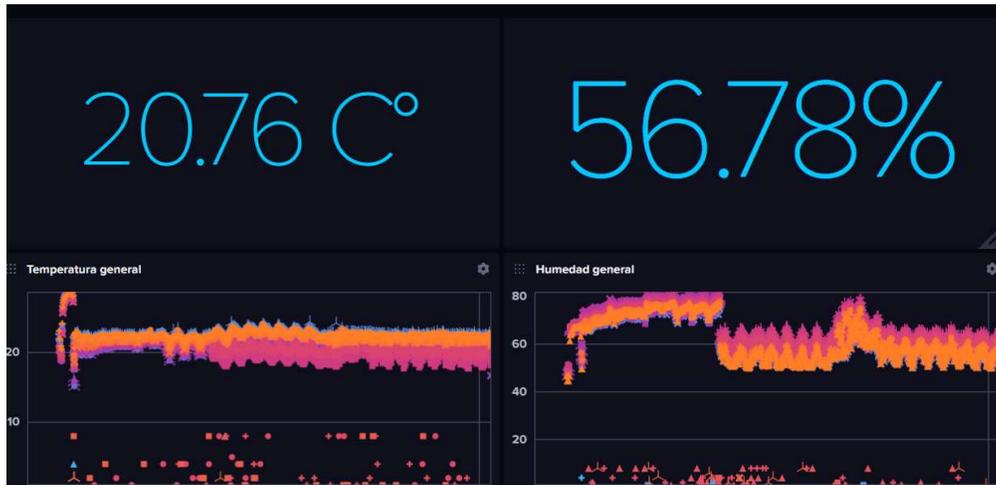


Fig. 6. Presentación de la información recopilada por los sensores en un rango de 7 días con valores promedio.

El funcionamiento continuo de la plataforma también reveló necesidades adicionales que no se habían considerado inicialmente durante la implementación del servidor original. A medida que se acumulaban registros en la base de datos, se hizo evidente la necesidad de aumentar las capacidades del servidor o de realizar descargas periódicas de información para liberar espacio y mantener datos históricos consistentes. Como resultado, se optó por mejorar las capacidades del sistema principal para poder gestionar la creciente carga de información y el continuo crecimiento de los registros con el tiempo. Esta adaptación garantizó la integridad y la disponibilidad de los datos históricos a lo largo del desarrollo del proyecto así mismo en base a los resultados obtenidos se observó que el sistema tenía una alta capacidad de mejora como las mencionadas anteriormente para la parte de software así mismo en el ámbito del hardware se observaron oportunidades de crecimiento para el mismo sistema como mejoras en los circuitos impresos como la posibilidad de realizar encapsulados del mismo.

### B. Conclusiones

El sistema propuesto tiene la capacidad de monitorizar las variables clave necesarias para el análisis, seguimiento y desarrollo efectivo de los procesos que se deseen supervisar. Esto se logra a través de una plataforma flexible que puede adaptarse a diversos entornos según las necesidades del cliente. La interfaz diseñada especialmente proporciona información clasificable y legible, que, a pesar de su flexibilidad, es fácil de usar para el usuario. Una vez cumplidos estos requisitos, el cliente puede obtener una visión clara del comportamiento, desarrollo y evolución de sus procesos, lo que le capacita para tomar decisiones informadas y realizar los cambios necesarios para mejorar su proceso. Además, el sistema permite documentar y comparar estas mejoras gracias a los datos recopilados, todo esto se logra mediante un sistema de comunicación maestro/esclavo que utiliza protocolos de comunicación para transmitir y procesar los datos necesarios de manera precisa y comprensible.

Encontramos tanto una necesidad constante de mejora como una falta de herramientas disponibles y de fácil acceso para el consumidor. Como se detalló en la metodología, el interés y el esfuerzo por implementar estas tecnologías son evidentes en el panorama actual, con numerosos ejemplos citados a lo largo del documento. A partir de estos ejemplos, podemos identificar características comunes que son esenciales en la mayoría de los casos, lo que contrasta con las necesidades actuales en el contexto actual. Como se vio en la selección de variables, cada cliente y aplicación en cualquier campo requiere capacidades y adaptaciones específicas según sus necesidades. Aunque desarrollar una herramienta universal es cercano a imposible, es posible crear un ecosistema lo suficientemente flexible como para que el proceso de ajuste en cada caso de uso sea eficiente y sencillo.

La elección de utilizar plataformas existentes, como InfluxDB para el almacenamiento de datos, y los ecosistemas de Espressif (ESP32) y STM (STM32F103C8), permitió construir el proyecto sobre bases sólidas y de fácil acceso. La gran cantidad de librerías y el soporte activo de una comunidad en constante movimiento fueron recursos significativos. Esto permitió experimentar y llevar el proyecto de manera óptima para su aplicación en campo.

Podemos concluir que una solución como la que se planteó al inicio de este documento no solo es completamente viable, sino que también aporta beneficios significativos al permitir la modernización de procesos establecidos sin alterarlos de manera drástica ni afectar la infraestructura subyacente en la que se basan. Esta adaptabilidad y mejora constante son esenciales para mantenerse al día en un entorno en constante evolución como el de la IoT y la Industria 4.0.

### RECONOCIMIENTOS

Nos complace expresar nuestro más sincero agradecimiento al Tecnológico Nacional de México por su invaluable apoyo en la realización del proyecto número 18571. La contribución

del Tecnológico ha sido instrumental para el desarrollo de la investigación, proporcionando tanto recursos como orientación técnica que han enriquecido la calidad del trabajo presentado. Este apoyo ha permitido no solo llevar a cabo una investigación rigurosa, sino también contribuir al avance del conocimiento en el campo de estudio abordado. Sin la colaboración y el respaldo del Tecnológico Nacional de México, la ejecución exitosa de este proyecto no habría sido posible.

#### REFERENCES

- [1] R. G. Moreno, «Diseño e implementación de una red de sensores basada en protocolos IoT para monitorización de mercancías». 1 de febrero de 2020.
- [2] Marco Antonio Pérez González, Daniel Alfonso Verde Romero, Héctor Ramiro Carvajal Pérez, Eduardo Hernández Barón, Efraín Villalvazo Laureano, y Joel Salome Baylon, «Diseño e implementación de una Red de Sensores gestionada por IoT para Aplicaciones de Domótica», *INVURNUS*, vol. 18, n.º 1, 2023, doi: 10.46588/invurnus.v18i1.60.
- [3] A. G. O. Duarte, L. D. C. Aljure, Tatiana Delgado, Tatiana Delgado, Tatiana Delgado, y T. Delgado, «Alternativa Open Source en la implementación de un sistema IoT para la medición de la calidad del aire.», vol. 12, n.º 1, pp. 189-204, mar. 2018.
- [4] J. E. Herrera Rubio y V. J. Ortiz E, «Implementación de un sistema de monitoreo y control con tecnología IoT para determinar el comportamiento de las variables ambientales en la avicultura», *Investig. E Innov. En Ing.*, vol. 10, n.º 1, pp. 30-41, feb. 2022, doi: 10.17081/invinno.10.1.5016.
- [5] G. G. Romera, «Diseño e implementación de sensores y lectores iot para la caracterización dieléctrica y la detección de espesores», tesis doctorales, Universidad Carlos III de Madrid, Madri, España, 2019.
- [6] J. A. N. Pintor, H. A. G. Osuna, G. O. Vargas, L. O. S. Sánchez, y R. C. Miranda, «Aplicación de Sistemas Embebidos e IoT para el Monitoreo de Estanques Acuícolas en Eldorado, Sinaloa», maestría en ingeniería y tecnología aplicada, universidad autonoma de zacatecas, El dorado, Sianloa, 2018. [En línea]. Disponible en: <http://ricaxcan.uaz.edu.mx/jspui/handle/20.500.11845/2088>
- [7] M. S. Farooq, S. Riaz, A. Abid, K. Abid, y M. A. Naeem, «A Survey on the Role of IoT in Agriculture for the Implementation of Smart Farming», *IEEE Access*, vol. 7, pp. 156237-156271, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2949703.
- [8] M. Abbasi, M. H. Yaghmaee, y F. Rahnama, «Internet of Things in agriculture: A survey», en *2019 3rd International Conference on Internet of Things and Applications (IoT)*, Isfahan, Iran: IEEE, abr. 2019, pp. 1-12. doi: 10.1109/IICITA.2019.8808839.
- [9] V. K. Quy *et al.*, «IoT-Enabled Smart Agriculture: Architecture, Applications, and Challenges», *Appl. Sci.*, vol. 12, n.º 7, p. 3396, mar. 2022, doi: 10.3390/app12073396.
- [10] C. Tipantuna y X. Hesselbach, «IoT-Enabled Proposal for Adaptive Self-Powered Renewable Energy Management in Home Systems», *IEEE Access*, vol. 9, pp. 64808-64827, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3073638.
- [11] W.-S. Kim, W.-S. Lee, y Y.-J. Kim, «A Review of the Applications of the Internet of Things (IoT) for Agricultural Automation», *J. Biosyst. Eng.*, vol. 45, n.º 4, pp. 385-400, dic. 2020, doi: 10.1007/s42853-020-00078-3.
- [12] M. Landeta, E. Gloria, G. Pillajo, y Y. Evelyn, «Desarrollo de un prototipo de una máquina empacadora de snacks de multi gramaje para fábrica productos Suin.», tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana, ecuador, 2018.
- [13] S. Berrios Gomez y H. J. Rivera Herrera, «Sistema IoT basado en ESP32 para el control y monitoreo de cultivos en invernadero con enfoque de agricultura 4.0», *Ing. INVESTIGA*, vol. 4, jun. 2022, doi: 10.47796/ing.v4i0.624.
- [14] G. R. Solarte-Martínez, F. Silva Castro, y L. E. Muñoz-Guerrero, «Análisis, diseño y desarrollo de un prototipo de software para la administración de parqueaderos», *Ing. Compet.*, vol. 22, n.º 1, pp. 1-13, ene. 2020, doi: 10.25100/icy.v22i1.8752.
- [15] A. Ruiz y J. David, «Sistema de control y monitoreo de consumo energético para equipos de climatización orientado a internet de las cosas (IOT)», trabajo de grado, universidad de la costa, Barranquilla, Colombia, 2019.
- [16] S. Gavilan, J. I. Pastore, J. Uranga, A. Ferral, A. Lighezzolo, y P. Aceñolaza, «Metodología operativa para la obtención de datos históricos de precipitación a partir de la misión satelital Tropical Rainfall Measuring Mission. Validación de resultados con datos de pluviómetros», *Rev. Fac. Agron.*, vol. 118, n.º 1, pp. 115-125, jun. 2019, doi: 10.24215/16699513e011.