

## **SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN PARA EXPERIMENTOS SOBRE EL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE HARDWARE ESPECÍFICO**

### **AUTOMATION SYSTEM FOR EXPERIMENTS ON THE THERMAL BEHAVIOR OF SPECIFIC HARDWARE**

Alex Santana G.<sup>1</sup>, Mauricio Naranjo E.<sup>2</sup>, Luis Santana A.<sup>3</sup>, María Oñate P.<sup>3</sup>, Pedro Malagón M.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>IA-KUNTUR S.A.S. B.I.C., - Latacunga-Ecuador

<sup>2</sup>Unidad Educativa Primero de Abril - Latacunga-Ecuador

<sup>3</sup>Instituto Superior Tecnológico Baños - Baños-Ecuador

<sup>4</sup>Universidad Politécnica de Madrid, ETSIT - Madrid-España

e-mail : <sup>1</sup>amsantanagallo@gmail.com , <sup>2</sup>naermaxa@gmail.com , <sup>3</sup>fersantana63@hotmail.com , <sup>4</sup>fersitaonate@gmail.com , <sup>3</sup>malagon@die.upm.es

Revista Energía Mecánica Innovación y Futuro, IX Edición 2020, No. 2 (10)

#### **Resumen**

En este trabajo se plantea la creación de un sistema para la realización de experimentos de caracterización, en un sistema de refrigeración de una aplicación concreta.

Se divide el sistema en tres bloques y se centra en en: El módulo de ejecución y control del experimento. Las tareas necesarias para completar este módulo son la realización del PCB en un nodo de caracterización flexible, con un elemento irradiador de calor y elementos sensores prototipo de irradiador de calor, controlable por el protocolo de comunicación I2C, la red de nodos necesaria para un experimento junto con el análisis de limitaciones térmicas, el software de control del experimento que se comunica con los nodos de caracterización para generar un perfil de disipación térmica y así obtener los datos de los sensores de temperatura.

**Palabras Clave:** Internet en la nube, Internet de las cosas, temperatura, Potencia, Microcontrolador.

#### **Abstract**

*This paper presents a system for performing experiments to model cooling system, in concrete applications.*

*The system is divided in three blocks, and this work is focused on the experiment execution and control block. There are three tasks within this block: First, the development of a flexible PCB device to generate controlled heat and monitor temperatures, controllable through an I2C interface. Second, the definition and evaluation of a communication protocol between a controller and each of the PCB devices, structured in a tree-based network. Third, the design and implementation of the experiment control software.*

**Keywords:** Cloud Computing, Edge Computing, Temperature, Power, Microcontroller.



El objetivo del segundo experimento es caracterizar el comportamiento térmico de un sistema de computación con una densidad de potencia superior a 1MW/m<sup>3</sup>, utilizando el mismo tanque y el mismo armazón metálico. Considerando un volumen del tanque de 16,25dm<sup>3</sup>, la potencia máxima disipada en el escenario tiene que ser de 16,26kW. El número de elementos presente en el sistema depende de la potencia máxima que se plantee en el nodo de caracterización. Como requisito nos planteamos una potencia máxima disipada de 110W en los nodos, por lo que el número de nodos necesarios en este escenario será de 148 nodos de caracterización.

## 1.2. Requisitos

Los requisitos del nodo de caracterización (tarjeta electrónica) son:

1. Dimensiones compatibles con un armazón existente de dimensiones 60cmx8cmx19cm.
2. Compatible tanto con fuente de alimentación DC de 12V como de 48V.
3. Identificador de cada nodo imprimible, para facilitar su manejo y configuración.
4. Reducción del número de cables necesarios para la interconexión de múltiples nodos.
5. Disipación de potencia regulable con un máximo que permita una densidad de potencia superior a 1MW/m<sup>3</sup>. Planteamos 110W.
6. Disipación térmica centrada en el elemento calefactor, no en la electrónica de control.
7. Ausencia de obstáculos (elementos sobresalientes) para las burbujas generadas alrededor del elemento calefactor en la trayectoria vertical.

Los requisitos del módulo de ejecución y control son:

1. Especificación de secuencias de potencias disipadas
2. Especificación de muestreos periódicos de temperatura
3. Generación de mensajes I2C a partir de los datos de entrada y envío en el instante adecuado al nodo de caracterización correspondiente.

## 2. Materiales y Métodos

Los distintos módulos se comunican a través de ficheros o a través de un API establecida. Actualmente, se establece que el módulo de

configuración genera dos ficheros con formato JSON para definir un experimento: el fichero “events.json”, con los eventos puntuales, asociados a los cambios en el valor de potencia disipada de un nodo, y el fichero “measure.json”, con los datos de las medidas periódicas que hay que realizar. Además, el módulo de configuración genera otro fichero JSON destinado al módulo de visualización, con los datos de los nodos de caracterización dentro del experimento: identificador y posición X, Y, Z en el sistema. El módulo de ejecución y control genera varios tipos de salidas, siguiendo una interfaz. Sin cambiar la lógica del módulo se puede registrar uno o varios mecanismos de salida, destacando dos: fichero JSON de resultados, con los datos de temperatura medida y potencia disipada, y la conexión UDP con el módulo de visualización, que en los proyectos anteriores.

En este proyecto nos centramos en el módulo de ejecución y control. Hemos diseñado un módulo dividido en un controlador, un software que se ejecuta en un dispositivo cercano al tanque de inmersión, con conexión I2C y Sistema Operativo (para facilitar su desarrollo y la conexión con el resto de módulos), y una red de nodos de caracterización conectadas entre sí por buses I2C, con un microcontrolador de coste reducido, los sensores de temperatura, el generador de calor y varios conectores para permitir la reprogramación de su firmware como la interconexión entre ellos, para formar la red.

### 2.1. Nodos de caracterización

Se desarrolló un sistema compuesto por unidades distintas basadas en un microcontrolador que denominamos nodos de caracterización. Cada nodo de caracterización tiene unas dimensiones reducidas, para poder implementar sistemas grandes mediante la unión de múltiples nodos de caracterización de manera flexible, mostrado en la Figura 2. Cada nodo tiene dos interfaces de comunicación: una esclava, para comunicarse con el controlador, y otra maestra, para comunicarse con los sensores de temperatura, otros sensores que se puedan conectar en un futuro, y con otros sensores que estén por debajo en la jerarquía de red. El controlador, además de las comunicaciones, controla la potencia disipada en un elemento calefactor, según se haya configurado por I2C, y monitoriza el valor de temperatura, para enviarlo al controlador bajo petición.

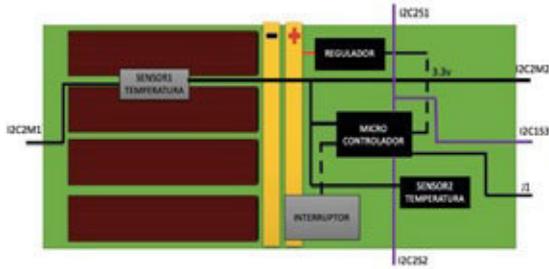


Figura 2 Arquitectura propuesta para el PCB del sistema.

El sistema está formado por un conglomerado de PCB's cuya unidad de alimentación puede variar entre los 48V, 24V y 12V. En los experimentos previstos la alimentación se distribuye mediante un busbar, formado por dos barras de cobre fijas en el tanque de inmersión, al que se conectaron unos cables que se conectarán a los nodos de caracterización, atornillados a la placa. La conexión de las líneas de alimentación se realiza con tornillos y juntas metálicas.

Se plantea un rediseño del PCB que forma el nodo calefactor. El elemento principal del nodo es el conjunto de líneas de cobre para la generación de calor, compuesto por cuatro elementos calefactores. La resistencia individual de cada una de ellas es  $5,25\Omega$  y se pueden organizar con múltiples configuraciones: serie, paralelo y mezcla, teniendo todas ellas el mismo comportamiento térmico esperado. La configuración en serie permite aumentar la impedancia, reduciendo la potencia disipada. La configuración en paralelo, permite el aumento de la potencia disipada. Gracias a esta configuración se puede adaptar el nodo de caracterización para disipar 110W, independientemente de la que la tensión de alimentación sea 12V, 24V o 48V. La potencia máxima disipada por cada una de las resistencias en paralelo ( $5,25\Omega$  cada una), con una tensión de alimentación de 12V, es de aproximadamente 27,5W, lo que supone un total de 110W. La potencia máxima disipada por las resistencias en serie ( $21\Omega$  en total), con una tensión de alimentación de 48V, es de aproximadamente 110W.

## 2.2. Software controlador

La estructura del software del controlador, el cerebro del módulo de ejecución y control del experimento, se plantea mediante la desmultiplexación de eventos sincrónicos, técnica conocida como Reactor, esto indicado en la Figura 3. El módulo obtiene la configuración de los eventos, tanto puntuales como periódicos, de los ficheros de configuración JSON. Los eventos se registran en el Reactor y se inicia el

bucle infinito de gestión y procesado de eventos. Cada evento estará identificado por el identificador del nodo de caracterización relacionado, el instante temporal (o el periodo) y la acción que hay que realizar, con los argumentos necesarios. Cuando la condición temporal de un evento se active producirá bien una de las dos posibles operaciones: operación de lectura a través de I2C (de un registro y cantidad de bytes concreto) o una operación de escritura a través de I2C (de un registro y valor concreto).

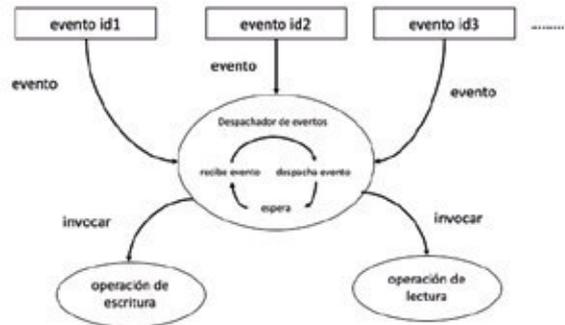


Figura 3 Ejemplo del funcionamiento de la estructura reactor del sistema.

## 3. Resultados y Discusión

### 3.1. Implementación Hardware PCB

Los nodos del calentador deben ser lo suficientemente flexibles como para simular el comportamiento térmico de muchas aplicaciones diferentes, con diferentes requisitos de tamaño y potencia. Los nodos de calefacción resultantes son pequeños y sus principales requisitos de diseño incluyen consumo controlado de energía (generación de calor), sensores integrados y conectores para interconectar muchos de ellos. La fuente de alimentación del sistema se distribuye mediante una barra de bus, que normalmente se alimenta a 48 VCC, 24 VCC o 12 VCC. Por lo tanto, los nodos experimentales incluyen conectores de entrada y salida para las líneas eléctricas que provienen de la barra colectora.

El tamaño del nodo diseñado es 125,9 x66mm. La generación de calor se ajusta mediante un interruptor de alimentación del lado alto, controlado por un módulo PWM, entre las líneas de alimentación y una resistencia de calentamiento. La resistencia de calentamiento consta de 4 líneas de microchips PCB, sin máscara de soldadura, con un área de 60x14,1 mm cada una y una resistencia de  $5.25\Omega$ . Estas líneas de PCB de calefacción se pueden conectar en serie

o en paralelo al montar la PCB. Una barra colectora de 48VCC con una conexión en serie y una barra colectora de 12VCC con una conexión en paralelo generan 110w como máximo para este caso, además estos cálculos podrán ser ampliados en la sección de implementación.

### 3.1.1. Implementación de PCB

Después de investigar los componentes más viables para implementación tanto en aspectos técnicos como económicos el diseño de PCB es el siguiente:

#### 3.1.1.1. Espiras Resistivas

El diseño dispositivo en su parte más importante incluye una resistencia formada por las líneas de cobre sobre la placa que generan radiación de calor al ser alimentada y para la monitorización e interpretación de la temperatura, en el conjunto de espiras se usa un sensor de temperatura I2C.

Ocupa una dimensión de 62 x 15 mm, que se encarga de generar energía calórica suficiente para el experimento del hidruofluoéter. Todo el diseño consta de una formación de líneas paralelas y uniones parabólicas aumentando así la capacidad de las pistas con un ancho de 8 mils equivalente a 2,03x10-4m.

Los parámetros físicos están relacionados a factores como la resistividad del cobre que es 1,71 x 10-8 Λ.m, la altura elegida es de 32m, una anchura de 2 x 10-4m y una longitud de línea de 2.16 mm, todos estos parámetros tomados por condiciones económicas de fabricación.

$$R = \rho \times \frac{L}{T \times W}$$

Ec. 1

Una espira individual adquiere el valor de 5,25Ω mediante los cálculos de (1), esta representación se muestra en la Figura 4.

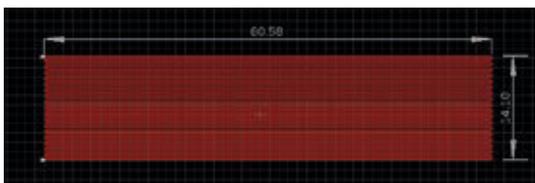


Figura 4. Modelo del diseño experimental de las espiras del dispositivo.

#### 3.1.1.2. Implementación del esquemático

En el diseño esquemático del dispositivo una de las características principales de funcionamiento

es poder identificar y monitorear la potencia que se disipa en las espiras ya que es el mayor indicativo de la temperatura, diseño mostrado en la Figura 4. Todo esto se genera a partir del interruptor que se configura en salida de colector abierto que controla el paso de la corriente, para el cálculo de la potencia disipada por las espiras se usa (2); así en la siguiente Tabla 1, se muestra los posibles resultados con un Dutty Cycle de 100%, en las distintas configuraciones de las espiras.

Tabla 1. Cálculos de potencia promedio disipada.

V <sub>DD</sub>	R(individual, serie, paralelo)	Pavg
12v 5	,25	27.43w
	21	6.86w
24v	5,25	109.71w
	21	27.43w
48v 5	,25	438.86w
	21	109.71w

#### 3.1.1.3. Implementación del ruteo

El ruteo se implementó a partir de las condiciones necesarias de conexión para los elementos descritos y comentados en las secciones anteriores. Todo esto se encuentra en un área de 126 x 67 mm de extensión total de placa entre las condiciones principales tanto en la cara frontal (rojo) y trasera (azul), mostrados en la Figura 5, Figura 6 y Figura 7; que se utilizaron fueron:

- Ruteo de 2 capas.
- Planos de masa GND en la cara frontal (rojo) y trasera (azul).
- Planos de VPOW (alimentación 12,24 o 48v) en la cara frontal (rojo) y trasera (azul).
- Una parte de control del circuito ubicado en la parte frontal derecha que contiene el

microcontrolador, regulador y uno de los sensores de temperatura, con todos sus elementos activos y pasivos de configuración descritos en secciones anteriores, así como los conectores macho y hembra; en la parte trasera también se ubica un sensor de temperatura con sus elementos parte de este circuito.

Una parte de potencia que se ubica en la cara frontal izquierda compuesta por las espiras y los planos de alimentación y masa que se conectaran a unas barras de cobre en la carcasa del contenedor donde se aloje; en la parte trasera se ubica el interruptor encargado de la conmutación de las espiras.

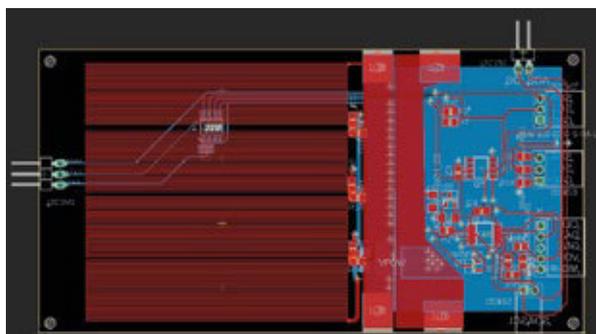


Figura 5. Modelo de ruteo del diseño experimental.



Figura 6. Modelo de ruteo del diseño experimental plano frontal con alimentación y tierra.

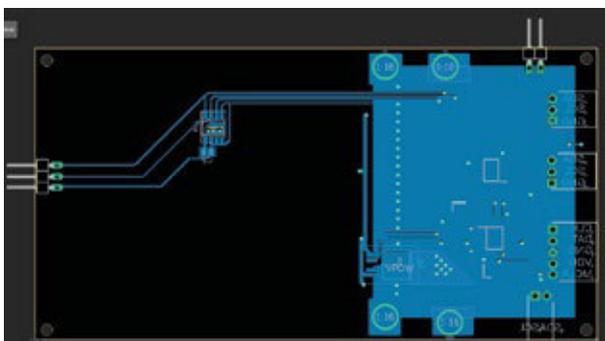


Figura 7. Modelo de ruteo del diseño experimental plano trasero con tierra.

### 3.2. Dispositivo final de PCB

La Figura 8 y Figura 9, muestran un modelo 3D del nodo experimental. El controlador es un microcontrolador PIC de 8 bits que incluye dos módulos I2C y varios módulos PWM de 10 bits. I2C1 está configurado como esclavo, con una dirección asociada, y se utiliza para recibir mensajes y solicitudes del controlador. I2C2 está configurado como maestro y se usa para comunicarse con sensores conectados y, opcionalmente, como maestro de un conjunto de otros nodos experimentales. Dos conectores I2C1 están alineados verticalmente, un encabezado y un zócalo, lo que permite una pila fácil de nodos experimentales en el mismo bus I2C sin cables. Y el conector I2C1 (que puede aislarse) y un conector I2C2 están alineados horizontalmente, lo que permite la concatenación fácil de nodos experimentales de forma jerárquica, siendo uno de los maestros de un nuevo conjunto, sin cables. Si el conector está aislado, no hay conexión eléctrica, sino sólo mecánica, creando una superficie similar a un equipo electrónico. Además, un conector I2C2 adicional está disponible para sensores externos o para su conexión a nodos experimentales paralelos. Ni los repetidores de bus I2C ni los multiplexores están incluidos en el nodo experimental, aunque una placa externa podría implementarse y usarse en la interconexión de nodos experimentales si un experimento no es viable con estos nodos.

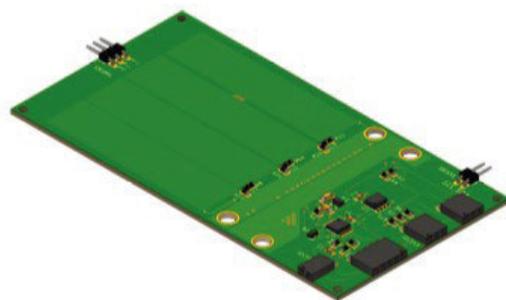


Figura 8. Modelo 3D del nodo experimental cara frontal.

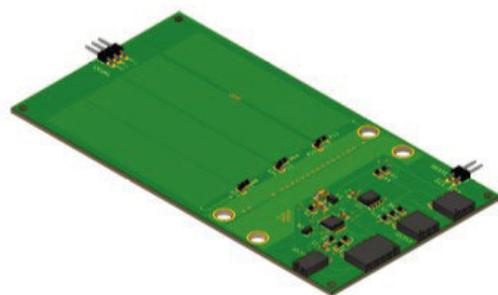


Figura 9. Modelo 3D del nodo experimental cara posterior.

### 3.3. Software

En este apartado se muestra, la arquitectura de la estructura de los eventos sincrónicos en que permiten tomar eventos y medidas de archivos (.json), esto es registrado y controlado por el archivo (.py), de resultados el cual escribe y lee la información del Maestro principal del protocolo I2C mediante funciones asociadas en sus respectivos programas, todo esto mostrado en la Figura 10.

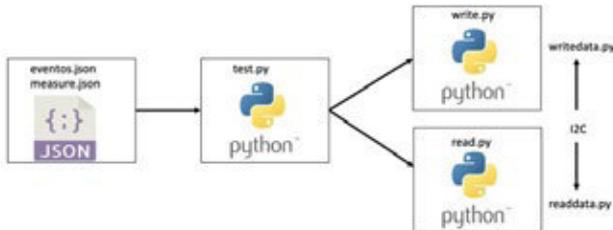


Figura 10. Arquitectura de la estructura de eventos sincrónicos del sistema.

#### 3.3.1. Implementación Reactor

La estructura de reactor es la encargada de manejar los eventos para la investigación en los datos ingresados en la sección anterior los que identifican cada dispositivo conectado al sistema, esto hace que cada operación sea ingresada, recibida y despachada dependiendo de la información. Este proceso hace que cuando un evento se recibe el despachador hace su tarea el comportamiento del sistema entra en espera hasta cumplir con las tareas de escritura y lectura en los eventos puntuales y periódicos del sistema, hasta terminar la tarea una vez cumplido el ciclo hace que el ciclo de vida se reinicie, todo esto se ilustra en la Figura 11.

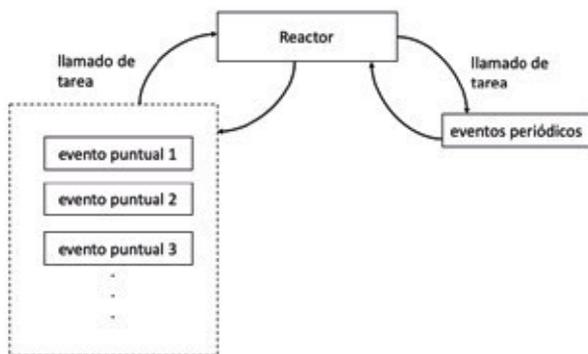


Figura 11. Ejemplo del funcionamiento de la operación de lectura del sistema

### 4. Pruebas y resultados

Si la frecuencia de muestreo máxima estimada para

el experimento es de 1 Hz, el modelo muestra que la implementación actual, Reactiva y con ACK, es válida para el experimento más pequeño sin necesidad de centrarse en la conectividad. Sin embargo, la solución que utiliza el enfoque codificado en el escenario más grande está cerca de 1 Hz.

Otra de las pruebas importantes, es la simulación del comportamiento de disipación de potencia de los 43 elementos distribuidos en la placa el material en el que se modeló esta simulación fue el aire, con una entrada de voltaje de 24v y una resistencia de espira individual de  $5,25\Omega$  tomando estos datos como un experimento habitual para la caracterización del hidruofluoéter así existe una potencia total disipada de 110w, dando como resultado una temperatura máxima de 894.5oC, esto no genera valores críticos de riesgo ya que sería una temperatura más que suficiente para que el investigador realice las pruebas correspondientes en el sistema dentro del contenedor y el líquido, esta prueba se muestra en la Figura 12.



Figura 12 Experimentación calorífica en diferentes niveles del dispositivo

### 5. Conclusiones

La investigación presenta un sistema para la realización de experimentos de modelado y caracterización del comportamiento térmico del hidruofluoéter como elemento principal de un sistema de refrigeración en dos fases en aplicaciones específicas. Hemos organizado el sistema en tres módulos (configuración, visualización y ejecución y control) centrandó nuestra tarea en el diseño y la implementación del módulo de ejecución y control.

Este módulo está formado por un controlador que gobierna, a través del bus I2C, el funcionamiento de múltiples nodos de caracterización. Un nodo de caracterización es una tarjeta PCB de reducidas

dimensiones, 12cmx7cm, que se pueden unir para formar grandes superficies y simular el comportamiento térmico de un equipo informático. El sistema propuesto permite la generación de perfiles de carga dinámica y heterogénea que pueden ser adaptados para representar perfiles reales de aplicaciones IoT. La flexibilidad del modelo de comunicaciones permite la disposición de los dispositivos de monitorización y actuación según topologías 3D adaptativas. Esta característica es relevante para optimizar la ubicación de dispositivos reales dentro del tanque de inmersión de acuerdo con la carga de trabajo distribución y sus perfiles térmicos.

Los siguientes pasos son la fabricación del PCB y el montaje de 150 nodos para realizar los experimentos planteados en los casos de uso. Para facilitar el diseño de los perfiles de carga será necesario implementar el módulo de configuración, que actualmente se ha realizado de forma manual editando los dos ficheros JSON de entrada al módulo de ejecución que ha centrado este trabajo.

## 6. Referencias

- [1] Schneider Electric, «Schneider Electric,» DCSC@Schneider-Electric.com , 2012. [En línea]. Available: [https://download.schneider-electric.com/files?p\\_File\\_Name=JMON-5ZLP8M\\_R3\\_EN.pdf&p\\_Doc\\_Ref=SPD\\_JMON-5ZLP8M\\_EN](https://download.schneider-electric.com/files?p_File_Name=JMON-5ZLP8M_R3_EN.pdf&p_Doc_Ref=SPD_JMON-5ZLP8M_EN). [Último acceso: 29 MAYO 2020].
- [2] Patterns in C – Part 5: REACTOR, «adamtornhill.com,» [En línea]. Available: <https://www.adamtornhill.com/Patterns%20in%20C%205,%20REACTOR.pdf>. [Último acceso: 29 MAYO 2020].
- [3] TEXAS INSTRUMENTS, «Understanding the I2C Bus,» TEXAS INSTRUMENTS, JUNIO 2015. [En línea]. Available: <http://www.ti.com/lit/an/slva704/slva704.pdf?ts=1590853054268>. [Último acceso: 30 MAYO 2020].
- [4] Z.-w. Hu, «10 Third International Symposium on Information Processing,» de I2C Protocol Design for Reusability, Qingdao, 2010.
- [5] NXP Semiconductors, «I2C-bus specification and user manual,» NXP Semiconductors, 4 ABRIL 2014. [En línea]. Available: <https://www.nxp.com/docs/en/user-guide/UM10204.pdf>. [Último acceso: 30 MAYO 2020].
- [6] JavaScript, «<https://www.json.org/>,» JavaScript, [En línea]. Available: <https://www.json.org/json-es.html>. [Último acceso: 31 MAYO 2020].
- [7] R. d. S. M. a. F. d. S. d. C. A. A. Frozza, «An Approach for Schema Extraction of JSON and Extended JSON Document Collections,» de 2018 IEEE International Conference on Information Reuse and Integration (IRI), Salt Lake City, 2018.
- [8] S. S. Sriparasa, JavaScript and JSON Essentials, P. Publishing, Ed., BIRMINGHAM - MUMBAI: Packt Publishing, 2013.
- [9] K. M. B. D. A. A. S. D. Müller, Complete PCB Design Using OrCAD Capture and PCB Editor, ELSEIVER ed., vol. 4, ELSEIVER, Ed., Silverdale, WA: ELSEIVER, 2019.
- [10] raspberry.org, «[raspberrypi.org](https://www.raspberrypi.org/),» raspberrypi.org, [En línea]. Available: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b-plus/>. [Último acceso: 3 JUNIO 2020].
- [11] MICROCHIP, «[microchip.com](http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Microchip-8-bit-PIC-MCU-PIC16(L)F18426_46-Datasheet-40001985A.pdf),» MICROCHIP, 2017. [En línea]. Available: [http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Microchip-8-bit-PIC-MCU-PIC16\(L\)F18426\\_46-Datasheet-40001985A.pdf](http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Microchip-8-bit-PIC-MCU-PIC16(L)F18426_46-Datasheet-40001985A.pdf). [Último acceso: 3 JUNIO 2020].
- [12] MICROCHIP, «[microchip.com](http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/MCP1792-Family-Data-Sheet-DS20006229C.pdf),» MICROCHIP, 2020. [En línea]. Available: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/MCP1792-Family-Data-Sheet-DS20006229C.pdf>. [Último acceso: 4 JUNIO 2020].
- [13] ANALOG DEVICES, «[analog.com](https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADT7410.pdf),» ANALOG DEVICES, 2017. [En línea]. Available: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ADT7410.pdf>. [Último acceso: 4 JUNIO 2020].
- [14] 3M, «Refrigeración por inmersión para centros de datos,» 3m.com.es, [En línea]. Available: <https://www.3m.com.es/>. [Último acceso: 7 JUNIO 2020].
- [15] A. Crespo, «Análisis de los límites de operación de hidro-fluoro-éteres para la refrigeración de sistemas de computación de alta densidad,» 2018.

[16] I. Vasco, «Diseño y Prototipado de un Módulo de Caracterización de Comportamiento Térmico del Hidrofluoroéter,» ETSIT, MADRID, 2019.

## 7. Biografía



<sup>1</sup>Alex Mauricio Santana Gallo. – Máster Universitario en Ingeniería de Sistemas Electrónicos (Universidad Politécnica de Madrid), Investigador invitado HCT-LAB Universidad Autónoma de Madrid 2016 (Becario Universidad de

Fuerzas Armadas ESPE), Ingeniero en Electrónica e Instrumentación (Universidad de Fuerzas Armadas ESPE). CEO de la empresa IA-KUNTUR S.A.S. B.I.C. dedicada al desarrollo de inteligencia artificial y ciencia de datos ubicados en la ciudad de Latacunga-Ecuador.



<sup>2</sup>Naranjo Erazo Mauricio Xavier. – Supervisor Eléctrico (PRODICEREAL S.A.), Investigador invitado HCT-LAB Universidad Autónoma de Madrid 2017 (Becario Universidad de Fuerzas Armadas ESPE), Ingeniero en Electrónica e Instrumentación

(Universidad de las Fuerzas Armadas Espe), DESARROLLADOR TÉCNICO de la empresa IA-KUNTUR S.A.S. B.I.C. dedicada al desarrollo de inteligencia artificial y ciencia de datos ubicados en la ciudad de Latacunga-Ecuador.



<sup>3</sup>Luis Fernando Santana Acurio. – Master en Educación Superior y Curriculum (Universidad Técnica de Ambato), Rector (Unidad Educativa Primero de Abril), Director Distrital 05D01 de Educación Latacunga(2017-2018), Doctor en ciencias de la Educación

mención Física (Escuela Superior Politécnica de Chimborazo), Licenciatura Física Matemáticas (Universidad Técnica de Ambato), CONSULTOR de la empresa IA-KUNTUR S.A.S. B.I.C. dedicada al desarrollo de inteligencia artificial y ciencia de datos ubicados en la ciudad de Latacunga-Ecuador.



<sup>4</sup>María Fernanda Oñate Pico. – Master en Educación Superior (Universidad de las Fuerzas Armadas Espe), Docente especialidad técnica (Instituto Superior Tecnológico Baños), Docente Matemáticas (Unidad La Salle Ambato), Ingeniería Mecatrónica (Universidad de

las Fuerzas Armadas Espe), GERENTE FINANCIERA de la empresa IA-KUNTUR S.A.S. B.I.C. dedicada al desarrollo de inteligencia artificial y ciencia de datos ubicados en la ciudad de Latacunga-Ecuador.



<sup>5</sup>Pedro Malagón. – obtuvo un doctorado en Ingeniería de Telecomunicación por la Universidad Politécnica de Madrid, España, en 2015. Es profesor desde 2010 en la UPM. Sus intereses profesionales son

principalmente hardware reconfigurable y computación consciente de la seguridad y la energía.

### REGISTRO DE LA PUBLICACIÓN

Fecha recepción	08 octubre 2020
Fecha aceptación	18 diciembre 2020