

# Prototipo para el monitoreo y control aplicado a calentadores solares mediante IOT.

Trabajo Terminal NO.2023-A032

Alumnos: \*Arzate López Jose Gabriel, \* \*Sánchez Hidalgo Oscar Eduardo

Directores: Maldonado Castillo Idalia, González Ortega Rubén

\*e-mail: jarzate11400@alumno.ipn.mx, \*\*[osanchezh0902@alumno.ipn.mx](mailto:osanchezh0902@alumno.ipn.mx)

Resumen:

Un calentador solar permite aprovechar la energía solar en forma de radiación para el calentamiento del agua, en este protocolo de TT se propone realizar un prototipo que permita hacer el monitoreo y control del calentador solar utilizando un sensor de temperatura y un sensor de nivel de agua, en conjunto con un algoritmo de control para colocar un valor de referencia en el calentador usando tecnología SOC (System On Chip) y una aplicación móvil para realizar el monitoreo de este.

Palabras clave: Academia de sistemas digitales , Control y monitoreo, IOT, Sistema embebido.

## 1. Introducción

Hoy en día, adoptar tecnologías amigables con el medio ambiente ha sido reconocido como una solución clave para combatir el calentamiento global [1]. Tecnologías como los sistemas solares de calentamiento de agua son una fuente de energía limpia y renovable comparada con otras fuentes de calentamiento [2] tales como calentadores eléctricos y calentadores de gas.

En la Ciudad de México, existen cerca de 1,773,909 viviendas que cuentan con algún tipo de calentador de agua, del cual únicamente el 3.22% hacen uso de un calentador de agua solar [3], sin embargo, debido a que la Ciudad de México se localiza en el Eje Neovolcánico Transversal [19°01'00"N 97°16'00'O] y que se encuentra rodeada por sierras volcánicas [4], el 87% de su territorio presenta un clima templado subhúmedo con una temperatura promedio anual de 16°C a 25°C [5], la cual afecta la eficiencia de los calentadores solares.

Actualmente, hemos observado que existen múltiples estrategias que buscan incrementar el rendimiento y eficiencia de los calentadores solares mediante un sistema de control y monitoreo, pero muy pocas que utilicen tecnología IOT (Internet of Things) o Internet de las Cosas.

1. Academia de sistemas digitales no es una palabra clave, sin embargo, se coloca aquí para especificar la academia a la cual pertenece este protocolo.

Oracle menciona que el IOT describe la red de objetos físicos "cosas" que están embebidos con sensores, software y otras tecnologías con el propósito de conectar e intercambiar datos con otros dispositivos y sistemas a través de Internet [61]

Es por esto, que nuestro proyecto está enfocado en implementar un dispositivo que esté conectado a Internet para poder monitorear los datos de temperatura y nivel de agua del calentador solar en un dispositivo móvil.

Algunos trabajos similares que hemos encontrado hacen uso de un sistema de control y monitoreo mediante software y hardware, muy pocos hacen uso de IOT como la tecnología que los destaca.

En [21] Mekali y otros investigadores proponen un sistema de control de bucle cerrado que considera la temperatura del agua en el calentador solar y en el tanque de reserva de agua fría para generar un bucle automático controlado por el usuario usando una caja de control que muestra los valores actuales de temperatura.

En [71] Saravia y otros investigadores proponen como un sistema de sensores para leer la temperatura en distintas partes del sistema solar térmico. Recolecta datos mediante los sensores, se digitalizan y se transmiten a la nube para poder ser mostrados en un LCD.

En [81] Tasnin y Choudhury proponen un sistema basado en el uso de sensores y microcontroladores para adquirir los valores de temperatura y hacer los ajustes necesarios con ayuda de un sistema de apoyo de calentamiento de agua eléctrico para obtener la temperatura deseada.

Por último, en [91] Conteras propone un sistema electrónico embebido que funciona de forma autónoma, mide la temperatura, recolecta datos, los filtra y envía información registrada mediante conexión inalámbrica a bases de datos ubicadas de forma remota.

TRABAJO	ESTRATEGIA DE CONTROL	TECNOLOG	M DULO DE COMUNICACIÓN	SOFTWARE DE APLICACIÓN
Design and Development of Automatic Temperature Control System for Solar Water Heater System [21]	Sistema de control de bucle cerrado mediante controlador PID.	Microcontrolador	Caja de control con HMI (Human machine interface) con bluetooth.	Android App (simulación)
Monitoring system for solar thermal station with IOT and	Sistema de sensores mediante microcontroladores.	Microcontrolador PIC16f877A.	Raspberry Pi3 Arduino Wi-Fi	Muestra datos que se han subido a la nube en LCD de Ras be

M2M [71]				
Design and development of an automatic solar water heater controller [81]	Sistema de control basado en sensores microcontroladores.	Microcontrolador 8051	No disponible Usa LCD para mostrar datos.	No disponible
Sistema Inteligente de monitoreo de temperatura, TERMOSIM [91]	Sistema de monitoreo inalámbrico de temperatura.	Microcontrolador ESP32-WROOM-32	Microcontrolador ESP32-WROOM-32 Wi-Fi	Aplicación Móvil "Blynk"
Sistema propuesto	A definir en la etapa de análisis del trabajo terminal	Sistema en chip (SOC)	Módulo Wi-Fi usando el sistema de comunicaciones móviles	Aplicación Móvil Android

Tabla 1. Comparación del estado del arte

Fuente: Elaboración propia

## 2. Objetivo

Implementar un prototipo de sistema para el monitoreo y control de la temperatura y niveles del agua de un calentador de agua solar, a través del uso de sensores, microcontroladores y una aplicación móvil.

### Objetivos específicos

1. Desarrollar un módulo de hardware basado en sensores que facilite la lectura de los valores del nivel del agua en el calentador de agua solar.
2. Desarrollar un módulo de hardware basado en sensores que facilite la lectura de los valores de la temperatura del agua en el calentador de agua solar.
3. Desarrollar una aplicación móvil para la visualización de los valores obtenidos por los módulos de hardware.
4. Implementar un módulo wifi para la comunicación entre los módulos hardware y la aplicación móvil.

### 3. Justificación

El territorio de la Ciudad de México predomina como subhúmedo por lo que en las distintas estaciones del año cuenta con un verano lluvioso y un invierno seco, en los meses de marzo y mayo se encuentran las temperaturas más altas y en el mes de enero las temperaturas más bajas.

Debido a esto, las más de 58,420 viviendas que cuentan con un calentador solar se ven en la necesidad de utilizar otro tipo de calentador ya que disminuye la eficiencia de los calentadores solares durante el tiempo de temperaturas bajas.

Aunado a esto, el desconocimiento de las variables físicas afecta directamente su aprovechamiento, el desconocer el valor medible de un fenómeno nos lleva a no poder mejorar la eficiencia del sistema al que pertenece. No se puede saber si el calentador solar es suficiente o no para el consumo.

Existen muchos dispositivos para medir la temperatura, típicamente estos dispositivos son escasos, caros y difíciles de configurar, sus lecturas en muchos de los casos requieren de conocimiento especializado para hacer el cálculo de la cantidad de agua caliente que se puede esperar con la lectura de la temperatura y el volumen disponible.

La deficiencia del calentador en temperaturas bajas afecta el incremento en temperatura del agua en el termotanque debido al alto volumen que debe calentar. El prototipo aumenta la eficiencia del calentador al disminuir el volumen de agua que tiene que calentar para aprovechar el calor producido por la energía solar.

4.

#### Productos o Resultados esperados

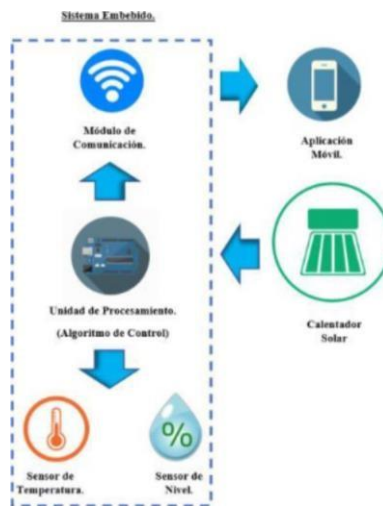


Figura 1 : Diagrama de Componentes del Sistema.

Fuente: Elaboración propia

#### Sensor de Temperatura.

En la etapa del sensor de temperatura, se utilizará un sensor para tomar la temperatura del tanque del calentador solar y medir la temperatura del agua.

#### Sensor de Nivel.

En la etapa del sensor de nivel, se utilizará un sensor para tomar medida de los niveles a los que se encuentra el tanque del calentador solar.

#### Unidad de Procesamiento (Algoritmo de Control).

En esta etapa se utilizará un dispositivo de procesamiento para implementar un algoritmo de control dentro del sistema.

#### Módulo de Comunicación.

En esta etapa se utilizará un módulo para poder enviar los datos desde el sistema hacia la aplicación móvil.

Se espera obtener los siguientes productos en el desarrollo del sistema.

- 1 . Aplicación móvil para la visualización de las variables físicas del calentador solar.
2. Módulo de hardware para el control y monitoreo de la temperatura y nivel de agua del calentador.

5.

3. Documentación Técnica.

4. Código fuente de los distintos módulos que componen el sistema. Metodología

Al utilizar elementos de Hardware y Software es necesario implementar una metodología que se ajuste a las necesidades de este prototipo, por lo que se decidió hacer uso del modelo en V para el desarrollo de sistemas embebidos.

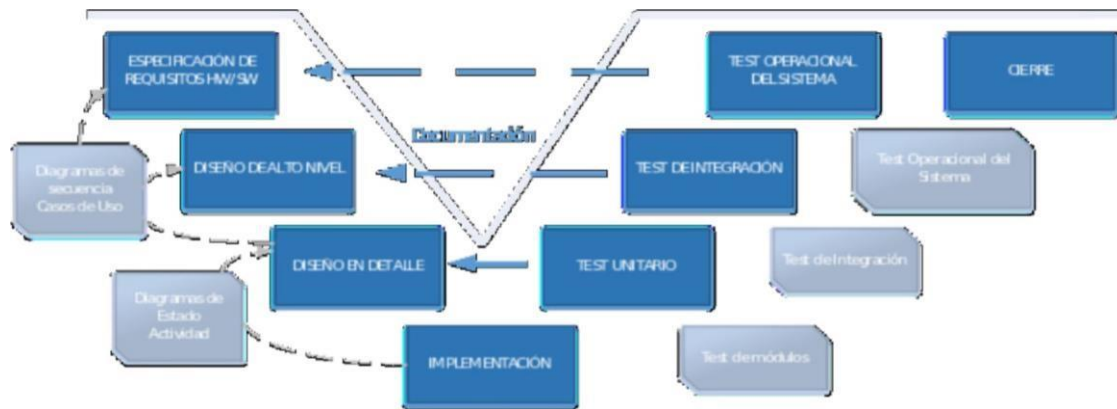


Figura 2: Modelo en V para sistemas embebidos [101].

**Especificación de requisitos Hardware/Software:** Definición y documentación de requisitos del sistema, tipos de los algoritmos que el sistema procesará, requisitos funcionales, no funcionales y selección de componentes.

**Diseño de alto nivel:** Creación de diagramas esquemáticos para el hardware, así como diagramas de descripción del sistema para el software, para una visión general del sistema.

**Diseño detallado:** Consiste en agregar información específica de las partes del sistema descritas en el esquemático y diagramas de descripción del sistema para su mejor comprensión.

**Implementación:** Fase de realización del diseño detallado (armado de los circuitos y programación de los algoritmos).

**Pruebas unitarias:** En esta fase se verifican los módulos de hardware y software de forma independiente, comprobando su adecuado funcionamiento de acuerdo con los requerimientos, al final, debe reportarse el resultado de cada prueba.

**Prueba de integración Hardware/Software:** Fase de integración de los distintos módulos que forman el sistema. Tal como en el caso anterior, debe reportarse la prueba general; se debe comprobar el funcionamiento correcto de todo el sistema. También se debe comprobar el cumplimiento de los requisitos establecidos.

6.

Prueba operacional del sistema: Realización de las últimas pruebas, anotando una vez más las pruebas realizadas y los resultados obtenidos. Cronogramas

Cronogramal (Sensores y algoritmo de control)

Alumno: Sánchez Hidalgo Oscar Eduardo

Actividad	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
Investigación de sensores y algoritmos de control											
Diseño de alto nivel de sensores y algoritmo de control											
Diseño en detalle de sensores y algoritmo de control											
Presentación de TT-I											
Implementación de sensores y algoritmo de control											
Pruebas unitarias de sensores y algoritmo de control											
Pruebas de integración de sensores y algoritmo de control											
Pruebas operacionales de sensores y algoritmo de control											
Presentación de TT-II											
Documentación											

Tabla 2. Cronograma de actividades I

Fuente: Elaboración propia

## Cronograma2 (módulo de comunicación y Aplicación móvil)

Alumno: Arzate López José Gabriel

Actividad	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
Investigación de módulo de comunicación y aplicación móvil											
Diseño de módulo de comunicación y aplicación móvil											
Diseño en detalle de módulo de comunicación y aplicación móvil											
Presentación de TT-I											
Implementación de módulo de comunicación y aplicación móvil											
Pruebas unitarias de módulo de comunicación y aplicación móvil											
Pruebas de integración de módulo de comunicación y aplicación móvil											
Pruebas operacionales de módulo de comunicación y aplicación móvil											
Presentación de TT-II											
Documentación											

Tabla 3. Cronograma de actividades 2

Fuente: Elaboración propia

## 7. Referencias

[11] W. Li, K. Thirugnanam, W. Tushar, C. Yuen, K. T. Chew and S. Tai, "Improving the Operation of Solar Water Heating Systems in Green Buildings via Optimized Control Strategies," in IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol. 14, no. 4, pp. 1646-1655, April 2018, doi: 10.1109/TII.2018.2797018.

[2] H. V. Mekali, K. R. Somashekhar, A. Gowda Baragur, M. Arfan, S. Surendra and K. C. Nayak, "Design and Development of Automatic Temperature Control System for Solar Water Heater System," 2018 IEEE 7th International Conference on Power and Energy (PECon), 2018, pp. 19-22, doi: 10.1109/PECON.2018.8684084.

[31] Dgeiawf.semarnat.gob.mx. 2022. SEMARNAT. [online] Available at: <[http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi\\_apps/WFServlet?IBIF\\_ex=D2\\_ENERGIA06\\_22](http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFServlet?IBIF_ex=D2_ENERGIA06_22)> [Accessed 24 April 2022].



- [41] Data.sedema.cdmx.gob.mx. 2022. Biodiversidad CDMX. [online] Available at: <<http://data.sedema.cdmx.gob.mx/biodiversidadcdmx/geografia.html>> [Accessed 24 April 2022].
- [5] Cuentame.inegi.org.mx. 2022. Clima. Distrito Federal. [online] Available at: <<https://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/df/territorio/clima.aspx?tema=me>> [Accessed 24 April 2022].
- [6] Oracle.com. 2022. What is the Internet of Things (IoT)?. [online] Available at: <<https://www.oracle.com/internet-of-things/what-is-iot/>> [Accessed 24 April 2022].
- [7] M. W. Diaz Saravia, R. Salvador, C. M. Palencia and A. E. P. Zepeda, "Monitoring system for solar thermal station with 10T and M2M," 2017 IEEE 37th Central America and Panama Convention (CONCAPAN xxxvll), 2017, pp. 1-6, doi: 10.1109/CONCAPAN.2017.8278533.
- [8] W. Tasnin and P. K. Choudhury, "Design and development of an automatic solar water heater controller," 2015 International Conference on Energy, Power and Environment: Towards Sustainable Growth (ICEPE), 2015, pp. 1-6, doi: 10.1109/EPETSG.2015.7510073.
- [9] Romero Conteras, V. H. (2020) Sistema Inteligente de monitoreo de temperatura, TERMOS/M 2020, [Tesis de maestría, INFOTEC POSGRADOSI. [https://infotec.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1027/423/1/INFOTEC\\_MSE\\_VH\\_RC\\_09102020.pdf](https://infotec.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1027/423/1/INFOTEC_MSE_VH_RC_09102020.pdf)]
- [10] PEREZ, A; et al. "Una metodología para el desarrollo de hardware y software embebidos en sistemas críticos de seguridad". Systemics, Cybernetics and Informatics Journal, vol 3, Num. 2, 2006, pp. 70-75.

## 8. Alumnos y Directores

Arzate López José Gabriel.- Alumno  
de la Carrera de Ing. En Sistemas  
Computacionales en  
ESCOM, Especialidad Sistemas,  
Boleta: 2015040108 Tel. 5526845411, e-mail:  
jarzatel  
1400@alumno.ipn.mx

FIRMA:



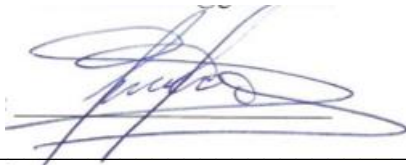
Sánchez Hidalgo Oscar  
Eduardo. Alumno de la Carrera de  
Ing. En Sistemas Computacionales en  
ESCOM, Especialidad  
Sistemas,  
Boleta: 2018631401, Tel. 5526845411, e-mail:  
osanchezh0902@alumno.ipn.mx

FIRMA:



M. en C. Maldonado Castillo Idalia. — Profesora de la ESCOM, Egresada de la Ing. En  
Sistemas Computacionales de la Escuela Superior de Cómputo del IPN, Maestría en Ciencias  
de la Computación en la University of Saskatchewan, Canadá.  
Areas de interés: Sistemas de Información, Clasificación y Procesamiento de Imágenes  
e Ingeniería de Software, agilidad y calidad de software. Tel. 57296000 ext 52000 email:  
idalia.maldonadoc@gmail.com

FIRMA:



Dr. Rubén Ortega González.- Recibí el grado de licenciatura en ingeniería eléctrica por el Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México, 1999, el grado de M.Sc. en ingeniería de sistemas en el Instituto Politécnico Nacional, México, el de M. Sc. en ingeniería eléctrica, electrónica de computadores y sistemas de la Universidad de Oviedo, Oviedo, España, en 2009. El grado de Ph.D con mención honorífica en ingeniería electrónica por la Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España, en 2012. He sido profesor en la Escuela Superior de Computo, Instituto Politécnico Nacional desde 1995. Mis principales campos de investigación son en el modelado y control de convertidores de potencia aplicados en la generación de energía en el ámbito de las microrredes, smart grids y energías renovables, así como procesamiento digital de señales. Tel. 57296000 ext 52000 e-mail: rortegag@ipn.mx

FIRMA: \_\_\_\_\_

