

## Development of an embedded system for the remote collection of data in real time in a hybrid solar dehydrator type greenhouse

Ing. Oscar Orlando Torres Carrillo <sup>1</sup>, M.I. Aurelio Castillo Liñán <sup>2</sup>, Dr. Fernando Blanco Castañeda., Dra. Yolocuauhtli Salazar Muñoz.

Instituto Tecnológico de Durango, Unidad de Posgrado de Investigación y Desarrollo Tecnológico, Boulevard Felipe Pescador 1830, Nueva Vizcaya, 34080, Email: (1) [oscar\\_orlando\\_torres@hotmail.com](mailto:oscar_orlando_torres@hotmail.com), (2) [cala1234@hotmail.com](mailto:cala1234@hotmail.com). Victoria de Durango, Dgo, México.

### Resumen

Este artículo presenta el diseño de un sistema embebido para la obtención remota vía Wi-Fi [1] de datos en tiempo real que caracterizan el proceso de deshidratación de producto agrícola en un secador solar tipo invernadero.

El desarrollo del trabajo se dividió en el diseño del sistema de monitoreo de variables, registro y almacenamiento en una memoria y la validación de los datos entregados por el equipo. Se obtuvo un dispositivo capaz de registrar las variables del proceso de secado además de una App móvil que monitorea el proceso en tiempo real.

El sistema consta de sensores de humedad y temperatura los cuales son los encargados de la obtención de los valores de las variables físicas que son enviados y procesados por una placa de desarrollo, para luego ser enviados mediante Wi-Fi a una plataforma ubicada en la nube la cual a su vez sirve como un servidor proporcionando los datos a una interfaz usuario para visualizar los datos en tiempo real en cualquier lugar con acceso a internet, a su vez los datos leídos por los sensores son almacenados en un módulo lector de tarjeta micro SD para su respectivo análisis.

El sistema se instaló en una cámara de deshidratación para la obtención de los datos experimentales, sometiendo el producto a temperaturas de entre 50°C y 60°C y a la velocidad del aire de secado de 1 m/s. De acuerdo con los datos obtenidos se puede observar que las horas de mayor concentración de calor dentro de la cámara van desde 6 a 7 horas diarias.

**Palabras clave**— *Entorno de desarrollo integrado, Internet de las cosas, One wire, Reloj en tiempo real, Sistema embebido*

### Abstract

This paper presents the design of an embedded system for the remote obtaining through Wi-Fi of real-time data that characterize the process of dehydration of agricultural product in a solar-type solar dryer.

The work development was divided into the design of the system for monitoring variables, recording and storage in a memory and the validation of the data provided by the system.

A device capable of recording the variables of the drying process was obtained in addition to a mobile App that monitors the process in real time.

The system consists of humidity and temperature sensors which are responsible for obtaining the values of the physical variables that are sent and processed by a development board, to then be sent through a Wi-Fi antenna to a platform located in the cloud which in turn serves as a server providing the data to a user interface to visualize the data in real time anywhere with internet access, in turn the data read by the sensors are stored in a micro SD card reader module for their respective analysis.

The system was installed in a dehydration chamber to obtain the experimental data, subjecting the product to temperatures between 50 ° C and 60 ° C and the drying air speed of 1 m / s. According to the data obtained, it can be observed that the hours of greatest concentration of heat inside the chamber range from 6 to 7 hours a day.

**Keywords**—*Embedded system, Integrated development environment, Internet of things, One wire, Real time clock,*

## 1. INTRODUCCIÓN

Los avances tecnológicos en las redes de comunicación avanzan a una velocidad vertiginosa. La amplia disponibilidad de nuevos métodos de comunicación, combinadas con el rápido desarrollo de las tecnologías Web y la generalización de componentes para la adquisición de datos, permiten incorporar estos recursos a procesos experimentales y de investigación que son de gran ayuda gracias a la accesibilidad a procesos en instalaciones remotas. Gracias a la inmersión de este tipo de tecnologías en la industria agroalimentaria es viable lograr un análisis y una mejora continua de procesos como la deshidratación y conservación de alimentos.

En este contexto, el presente trabajo consiste en el diseño y montaje de un sistema embebido en términos de hardware y software capaz de registrar y monitorear datos relacionados con la cinética del secado de chile poblano como lo son la evolución de la humedad, temperaturas de bulbo seco y húmedo, instalado en una cámara de deshidratación.

### a) Justificación y Antecedentes

Los procesos de deshidratación con energías renovables se hacen de una manera rudimentaria y aleatoria, esto quiere decir que se hace de la manera más básica y no existe un monitoreo preciso en cuanto a las variables que se involucran en el proceso lo cual es imprescindible a la hora de un diseño que encamine a un sistema de control del mismo, este artículo proporciona la solución y estrategia adecuada para la recaudación y monitoreo de estos datos en el proceso.

La importancia que tiene la implementación de la tecnología dentro del sector agrícola es muy grande ya que hace que se detone el aprovechamiento de los recursos naturales en la

zona con miras a incrementar la economía, además el uso de deshidratadores híbridos tipo invernadero para el secado de productos agrícolas ofrece ventajas como [2]:

- Ahorro en costos de combustibles fósiles.
- Evitar la emisión de gases de efecto invernadero.
- Reducir considerablemente el contenido de CO<sub>2</sub> en el producto.

La optimización del proceso de deshidratación es de vital importancia y con ello viene la creación e implementación de dispositivos capaces de monitorear, registrar, almacenar y transmitir vía internet los valores de las variables de interés, y tales datos son usados para un análisis que nos lleve a tal objetivo.

Existen sistemas mediante ZigBee que conecta una red de sensores a un microcontrolador y en unión con sistema móvil GSM para control de todo el sistema [3].

Se han realizado experimentos de secado de chile jalapeño en rodajas a diferentes temperaturas, humedad relativa y velocidad de secado, usando la ecuación de Page para determinar las características del secado del chile [4]. Montero (2005) realizó experimentación con un secador solar, donde los productos con los que trabajó contenían 55%, 70%, y 90% de humedad inicialmente, y mediante el uso del secador solar estos valores se redujeron al 20%, encontrando datos positivos de secado [5].

El presente trabajo ofrece la flexibilidad del manejo y unión sinérgica de nuevas tecnologías como lo es la implementación de placas de programación con la facilidad de una conexión a internet para poder abastecer a un servidor el cual nos ofrece el servicio de despliegue y monitoreo de datos al menor costo en el mercado.

### b) Descripción del problema

Debido a los métodos rudimentarios usados en el proceso de deshidratación como la exposición directa al sol del producto y con la poca o nula aplicación de la tecnología, resulta en una baja calidad del producto, debido a su dependencia a las condiciones del clima y a la vulnerabilidad al contacto con insectos, bichos, microorganismos y al viento.

A la hora de implementar una cámara de deshidratación tipo invernadero siguen siendo rústicos los métodos de monitoreo del proceso, de esta manera estos experimentos resultan tediosos, por lo que conlleva el registro manual de los datos y el evidente error humano que se incorpora a la información generada [6]. EL problema radica en la limitación de recursos en personas, tiempo y espacios restringidos, ya que la situación tradicional requiere de la presencia física del usuario [7].

### c) Método

Se implementa la integración de 3 partes de un sistema embebido, las cuales son la captación o detección de datos y el procesamiento de señales, el almacenamiento en una base de datos en internet y el requerimiento de tales datos para el

despliegue mediante una app móvil que funge como interface de usuario.

El presente sistema se caracteriza por hacer mediciones multipunto gracias a la instalación tanto hardware como software de diversos sensores que cuentan con la tecnología one wire, además de que consta de alta precisión, un amplio rango de medición de temperatura y humedad, tal sistema permite el monitoreo y recaudación de estos datos que ayudan a un análisis para un entendimiento de la cinética del secado del producto.

## 2. CONTENIDO

### 2.1 Materiales

#### DHT22

Sensor de humedad y temperatura:

Alimentación: 3.3Vdc a 6Vdc, rango de medición de temperatura: -40°C a 80 °C, precisión de medición de temperatura:  $\pm 0.5$  °C, resolución Temperatura: 0.1°C, rango de medición de humedad: De 0 a 100% RH, precisión de medición de humedad: 2% RH, resolución Humedad: 0.1%RH.

#### DS18B20

Sensor de temperatura:

Rango de medición temperatura: -55 a 125°C, resolución: de 9 a 12 bits (configurable), interfaz 1-Wire (Puede funcionar con un solo pin), precisión:  $\pm 0.5$ °C (de -10°C a +85°C).

#### Placa de desarrollo NodeMCU [8]

Tarjeta de adquisición de datos (DAQ) la cual puede ser programada mediante el IDE de Arduino [9] desde cualquier sistema operativo:

Procesador: ESP8266 [8] @ 80MHz (3.3V), 4MB de memoria FLASH (32 MBit), Wi-Fi 802.11 b/g/n, regulador 3.3V integrado (500mA), 9 pines GPIO con I2C y SPI, 1 entrada analógica (1.0V max), pulsador de RESET, entrada alimentación externa VIN (20V max).

#### Módulo lector tarjeta micro SD

Permite concentrar una memoria SD la cual almacena los datos proporcionados por la placa de desarrollo:

Voltaje de alimentación: 3.3-5VCD, regulador de tensión: 3.3VCD, consumo de corriente: 200mA, interfaz: SPI.

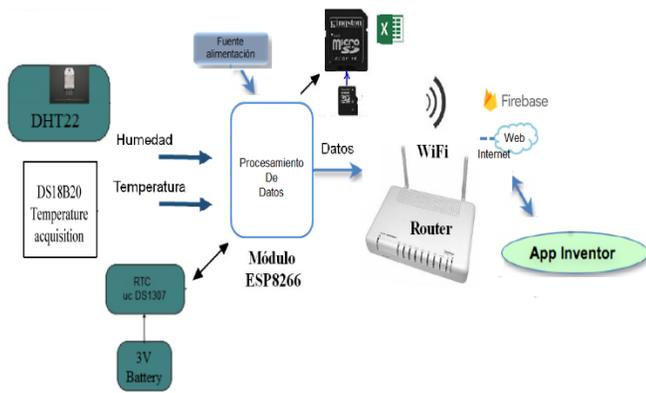
#### RTC (Real Time Clock)

Elemento que permite proporcionar la hora actual al sistema aún y cuando la alimentación del mismo haya sido cortada, esto gracias a su pila de botón interna.

### 2.2 Procedimiento

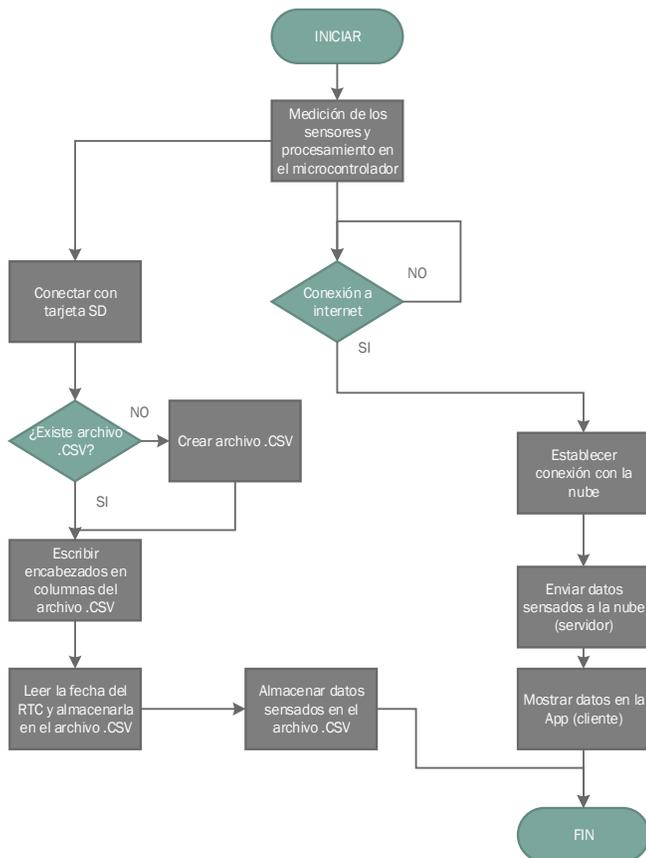
La integración de los elementos que conforman el sistema embebido está representada en el siguiente diagrama:

Figura 1: Diagrama a bloques del sistema embebido para monitoreo de humedad y temperatura



Fuente: Elaboración propia.

Diagrama 1: Diagrama de flujo general del software



Fuente: Elaboración propia.

Para conformar el sistema se dispuso de la construcción de un arnés formado por los sensores de humedad y temperatura los cuales recogen los datos proporcionados por las variables físicas para luego ser digitalizados y procesados por la DAQ para ser almacenados creando un archivo “.CSV” en la memoria SD de la siguiente manera:

Tabla 1. Archivo Excel creado por el programa

Fecha	Hora	Sensor 1	Sensor 2	Sensor 3	
		Temperatura°C	Temperatura°C	Temperatura°C	Humedad %
17/10/2019	16:0:37	52.3	53	52.7	23

Fuente: Elaboración propia.

Para lograr vincular la hora precisa a la que se tomaron los datos se usa en elemento RTC el cual cuenta con una pila de 3 volts tipo botón que le suministra energía cuando el sistema es desconectado de la fuente de alimentación principal lo que provoca que el sistema no pierda la noción del tiempo.

Los datos procesados por la DAQ son enviados mediante la antena Wi-Fi hacia una plataforma en internet llamada Firebase [10] la cual genera una base de datos en la nube los cuales pone a disposición de una aplicación móvil para su respectivo despliegue y la cual sirve como interfaz para el productor o usuario de una manera remota, siempre y cuando cuente con acceso a internet.

A la hora de programar la aplicación de celular se usa el ambiente de Desarrollo App Inventor el cual consta de una programación intuitiva a bloques, se programa de tal manera que la aplicación funja como cliente haciendo la petición de la recepción de los datos leídos por los sensores los cuales se despliegan en la pantalla del móvil.

Una vez lista la programación y la integración de los elementos se procede a instalar el sistema cerca del proceso a monitorear para comenzar con la adquisición de datos.

La estructura implementada está ubicada en la Unidad de Posgrado Investigación y Desarrollo Tecnológico perteneciente al Instituto Tecnológico de Durango en el municipio de Durango, Durango, México.

Figura 2: Instalación del sistema de adquisición de datos



Fuente: Elaboración propia.

La cámara consta de un sistema de doble recinto y es construida en perfiles de P.T.R unidos por láminas de acero y cubiertas por vidrio, toda la estructura metálica está pintada de color negro.

Figura 3: Cámara de deshidratación solar tipo invernadero



Fuente: Elaboración propia.

Ya que está instalado el sistema se procede a preparar el producto a deshidratar el cual será de 3 kilos (32 elementos), se dispone a pesar cada elemento y a enumerarlos según la posición tomada dentro de la cámara de deshidratación.

Se eligieron varias muestras para monitorear su peso, la medición del peso del producto al inicio del proceso se realizó empleando basculas tipo Tefal OPTISS.

Para determinar el peso final se usó las siguientes formulas

$$Ps = (R) * (Pf) \quad (1)$$

$$R = \frac{100\% - Hf}{100\% - Hs} \quad (2)$$

Donde:

Ps = Peso final del producto seco

R = Rendimiento teórico

Pf = Peso inicial neto

Hs %= Contenido residual de humedad

Hf %= Contenido de humedad en producto fresco

Partiendo del peso inicial de las muestras se determinó su peso final de producto seco de la siguiente manera

$$R = \frac{100\% - 87\%}{100\% - 8\%} = .142304 \quad Ps = (.142304) * (93gr) = 13gr$$

Figura 4: Pérdida de peso de la muestra



Fuente: Elaboración propia.

Se logró monitorear remotamente la humedad y temperatura, a su vez se tomaron mediciones en las muestras del producto

cada hora durante 7 horas (horas de mayor concentración de calor en la cámara).

Figura 5: Interfaz usuario para monitoreo de humedad y temperatura



Fuente: Elaboración propia.

La experimentación se realizó con chile poblano rojo conseguido en la región de Poanas, Durango.

Figura 4: Carga de producto dentro de la cámara de deshidratación

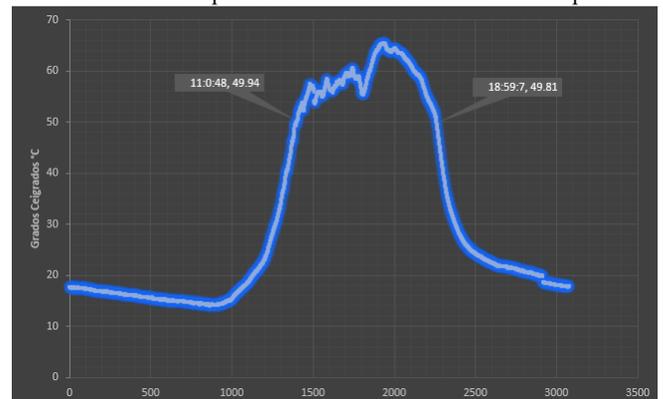


Fuente: Elaboración propia.

## 2.3 Resultados

El funcionamiento de la cámara de deshidratación dependió 100% de la energía solar, así como de la época del año de acuerdo a experimentos realizados. Los datos arrojados por el sistema nos muestran que las horas donde más radiación solar incide sobre ella, se genera más calor dentro de la cámara y por ende se tiene un mayor aprovechamiento del proceso, van desde 7 hasta 8 horas pudiendo alcanzar temperaturas mayores de 50°C como lo muestra la gráfica 1, “11:02:48 a.m.; 49.94°C” y “18:59:07 p.m.; 49.81°C” son las etiquetas que muestran las horas limites donde está el periodo de mayor concentración de calor dentro de la cámara.

Gráfica 1. Temperatura interna en la cámara vs Tiempo.



Fuente: elaboración propia

La implementación del sistema embebido nos permitió adquirir datos de humedad y temperatura los cuales nos ayudaran a un constante análisis de los mismos y poder seguir mejorando el proceso.

La implementación de monitoreo virtual y remoto de dichas variables mediante el desarrollo de una aplicación de celular, facilita la realización de experimentos, incluso en ubicaciones remotas, es decir en un monitoreo virtual se puede observar el comportamiento de fenómenos y modelos físicos en cualquier momento del día y ubicación física siempre y cuando se tenga acceso a internet.

### 3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para poder optimizar este proceso es necesario entender la cinética del secado, así como el comportamiento de todas las variables que influyen en él, para esto se seguirá adquiriendo datos de las variables que influyen en él para su posterior análisis en cuanto al comportamiento de ellas y como es que influyen entre sí para llevar a cabo el proceso.

Mediante pruebas experimentales se puede concluir que las horas de mayor concentración de calor dentro de la cámara de deshidratación pueden fluctuar dependiendo de la época del año y podrían ir desde 7 hasta las 9 horas, durante este lapso la temperatura en la cámara es adecuada para efectuar el proceso a un buen nivel manteniendo la temperatura entre los 50°C y los 60°C, esto bajo días soleados quedando como obstáculo la presencia de días nublados o lluviosos ya que se carece de una fuente adicional que pueda suministrar calor a horas poco efectivas en cuanto a radiación solar.

El tipo de estructura diseñado, ha permitido efectuar una deshidratación limpia y de calidad además de reducir el tiempo de deshidratación para el producto en relación a el método tradicional por exposición directa al sol.

El diseño del sistema de monitoreo de humedad y temperatura por medio de comunicación inalámbrica y puede ser extendido para detectar otras señales como co<sub>2</sub>, velocidad del viento entre otras, esto añadiendo sensores y modificando la programación del código acorde a las necesidades.

Este proyecto marca la pauta para el desarrollo de tecnología aplicada al área agrícola además de una manera fácil y económica.

#### 3.1 Trabajos futuros

Luego del trabajo realizado se identifican algunas mejoras que pueden desarrollarse en proyectos futuros, entre ellos se encuentran:

- \* Instalar paneles solares como recurso para el suministro de energía eléctrica al sistema.
- \* Implementar un control difuso en el proceso que permita controlar temperaturas que sobrepasen los 60°C.
- \* Implementar un método de extracción de la capsaicina del producto.

\* Instalar galgas extensiométricas en las rendijas que permitan monitorear el peso de las cargas situadas en ellas.

### 4. REFERENCIAS

[1] Sanz Jose Luis. (2011). ADSLZONE.net. España. prensa[AT]grupoadslzone. Recuperado de <https://www.adslzone.net/reportajes/tecnologia/que-es-wifi-como-funciona/>

[2] Munir, A., Sultan, U., & Iqbal, M. (2013). Development and Performance Evaluation of a Locally Fabricated Portable Solar Tunnel Dryer for Drying of Fruits, Vegetables and Medicinal Plants. Pakistan Journal of Agricultural Sciences, 50 (3), 493-498.

[3] Veeramankandasamy, T., Rajendran, K., Sambath, K., & Sangeetha, D. (2014). Remote Monitoring and Closed Loop Control System for Social Modernization in Agricultural System Using GSM and Zigbee Technology. Advances in Electrical Engineering (ICAEE). Vellore.

[4] M.A. Hossain; B.K. Bala. Thin Layer Drying Characteristics for Green Chilli. Drying Technology. Vol 20. No 2. 2002. pp 489-505.

[5] Montero p. Irene. "Modelado y Construcción de un Secadero Solar Híbrido para Residuos Biomásicos.(2005).

[6] Baniasadi, E., Ranjbar, S., & Boostanipour, O. (2017). Experimental Investigation of the Performance of a Mixed-mode Solar Dryer with Thermal Energy Storage. Renewable Energy, 112, 143-150.

[7] Fito, P. y otros tres autores; Introducción al Secado por Aire Caliente, 1ª Edición, 111-144. Editorial U.P.V., Valencia, España (2001).

[8] Macario Laborda Jaime. (2015). *Planta-Twittera*. GitHub. Recuperado de <https://github.com/jaimelaborda/Planta-Twittera/wiki/1.-Introducci%C3%B3n-al-ESP8266-y-NodeMCU>

[9] Rozman Ciril. (2017). *Aquae fundación*. Madrid, España. La fundación del agua. Recuperado de <https://www.fundacionaquae.org/wiki-aquae/ciencia-e-innovacion/sabes-arduino-sirve/>

[10] Google Developers. (2019). *Firebase*. Estados Unidos de América. Recuperado de <https://firebase.google.com/?hl=es-419>