



**Universidad Michoacana de San  
Nicolás de Hidalgo**

Facultad de Ingeniería en Tecnología  
de la Madera

División de Estudios de Posgrado



## **Maestría en Ciencias y Tecnología de la Madera**

**Construcción y desarrollo de una tarjeta electrónica con conexión a  
internet para monitorear la humedad relativa y temperatura de un horno  
de secado de madera.**

**Tesis para obtener el grado de**

**Maestro en Ciencias y Tecnología de la Madera.**

Presenta

Alumno: Ing. Gustavo Rojas Bravo

Mesa de sinodales

|             |                                    |
|-------------|------------------------------------|
| Director    | Dr. José Cruz de León              |
| Co-Director | M.C. Héctor Manuel Sosa Villanueva |
| Vocales:    | Dr. Gildardo Cruz de León          |
|             | Dr. Jorge Enrique Ambriz Parra     |
|             | M.C. Antonio Ulises Sáenz Trujillo |

Morelia, Mich. Noviembre de 2025

## Tabla de contenido

### ***Construcción y desarrollo de una tarjeta electrónica con conexión a internet para monitorear la humedad relativa y temperatura de un horno de secado de madera***

|                                                                                     |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Resumen.....</b>                                                                 | <b>4</b>  |
| <b>1.- Introducción.....</b>                                                        | <b>6</b>  |
| <b>2. Antecedentes.....</b>                                                         | <b>7</b>  |
| 2.1. Importancia del secado.....                                                    | 9         |
| 2.2. Estado Actual de la Tecnología de monitoreo en secado de madera.....           | 9         |
| 2.3. Tecnologías de Monitoreo Electrónico en la Industria de la Madera.....         | 9         |
| 2.4. Sensores y Dispositivos de Monitoreo en la Industria de la Madera.....         | 9         |
| 2.5. Sistemas de Comunicación Inalámbrica y Conectividad en la Industria.....       | 10        |
| 2.6. Plataformas de Almacenamiento en la Nube y Hojas de Cálculo Colaborativas..... | 10        |
| 2.7. Limitaciones Actuales y Brechas de Conocimiento.....                           | 10        |
| <b>3. Justificación del Proyecto.....</b>                                           | <b>11</b> |
| 3.1 Implementación de tecnologías propias:.....                                     | 11        |
| 3.2 Sostenibilidad y Acceso a Datos:.....                                           | 11        |
| <b>4. Hipótesis.....</b>                                                            | <b>12</b> |
| <b>5. Objetivo General.....</b>                                                     | <b>13</b> |
| 5.1 Objetivos Particulares.....                                                     | 13        |
| <b>6. Materiales y métodos.....</b>                                                 | <b>14</b> |
| 6.1 Horno de secado para madera.....                                                | 14        |
| 6.2. Construcción de la Tarjeta Electrónica.....                                    | 16        |
| 6.3 Pantalla TouchScreen Nextion.....                                               | 18        |
| 6.4 Modem Router GSM.....                                                           | 19        |
| 6.5 Hoja de calculo en Google Sheet.....                                            | 20        |
| 6.6 Arduino con Visual Code Studio.....                                             | 21        |
| 6.7 Secuela de secado.....                                                          | 23        |
| 6.8 Conexión de tarjeta electrónica al horno de secado.....                         | 24        |
| <b>7. Resultados y discusión.....</b>                                               | <b>26</b> |
| 7.1.- Resultado de la construcción de la tarjeta electrónica.....                   | 26        |
| 7.2 Resultado de la programación y desarrollo de Firmware.....                      | 26        |
| 7.3 Resultado desarrollo de código en Google Sheets.....                            | 27        |
| 7.4 Resultados en general.....                                                      | 28        |
| <b>8.- Conclusión.....</b>                                                          | <b>31</b> |
| <b>9. Recomendaciones.....</b>                                                      | <b>32</b> |
| 9.1 Diseño y construcción del hardware del sistema.....                             | 32        |
| 9.2 Desarrollo e implementación del firmware.....                                   | 32        |
| 9.3 Configuración de la plataforma de visualización y almacenamiento remoto.....    | 32        |
| 9.4 Recomendación objetivo general.....                                             | 32        |
| <b>10.- Bibliografía.....</b>                                                       | <b>34</b> |
| <b>11.- Apendice A.....</b>                                                         | <b>35</b> |

## Índice de Ilustraciones

|                                                                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <a href="https://www.secalsrl.com/piattaforma.aspx">Figura 1: Equipo para secado de madera, https://www.secalsrl.com/piattaforma.aspx</a> | 8  |
| Figura 2: Horno de secado de madera marca Hildebrand                                                                                      | 15 |
| Figura 3: Esquemático de tarjeta electrónica de monitoreo                                                                                 | 17 |
| Figura 4: Tarjeta electrónica de monitoreo utilizada para el registro de datos                                                            | 17 |
| Figura 5: Pantalla Nextion mostrando datos locales para el operador del horno                                                             | 20 |
| Figura 6: Diagrama a bloques general del sistema completo de monitoreo                                                                    | 21 |
| Figura 7: Entorno de programación de Arduino con Visual Code Studio                                                                       | 23 |
| Figura 8: Tabla que muestra ejemplo de secuela de secado                                                                                  | 24 |
| Figura 9: Wood Handbook, Forest Product Laboratory, 2021, pag. 4-3                                                                        | 25 |
| Figura 10: Wood Handbook, Forest Product Laboratory, 2021, pag. 4-3                                                                       | 25 |
| Figura 11: Grafica de parámetros físicos registrados de forma directa por la tarjeta electrónica                                          | 28 |
| Figura 12: Hoja de calculo en la nube, se observan los datos registrados y que son enviados desde la tarjeta electrónica de monitoreo     | 29 |
| Figura 13: Grafica resultado de un solo sensor                                                                                            | 30 |
| Figura 14: Estadísticos descriptivos de los parámetros medidos por la tarjeta de monitoreo                                                | 31 |
| Figura 15: Grafica de señal de sensores SHT22 2, SHT22 3 y SHT22 4                                                                        | 37 |
| Figura 16: Colocación de los sensores SHT22 y PT100 en la madera a secar dentro del horno de secado                                       | 38 |
| Figura 17: Grafica completa del monitoreo del proceso de secado de la madera                                                              | 39 |
| Figura 18: Etapas 1, 2 y 3                                                                                                                | 40 |
| Ilustración 19: Grafica etapas 4, 5, 6 y 7                                                                                                | 41 |
| Figura 20: Grafica etapas 8, 9 y 10                                                                                                       | 42 |
| Figura 21: Grafica etapas 11 y 12                                                                                                         | 43 |

## Resumen

En el presente proyecto de tesis de maestría se muestra en el capítulo 1 introducción la necesidad del proceso de secado de madera, la importancia que tiene el desarrollo propio de una tarjeta electrónica que permita el monitoreo del proceso de secado de forma confiable, en el capítulo 2 de antecedentes se menciona parte de las tecnologías usadas en la actualidad usando estándares y normas para lograr una buena calidad en el secado de madera y la importancia que tienen las tecnologías existentes y el desarrollo tecnológico para estas aplicaciones. En el capítulo 3 se menciona cuáles son las condiciones en los procesos de secado de madera en hornos en el mercado mexicano y la necesidad de generar tecnología propia y confiable y con ello contribuir al desarrollo tecnológico en el país. En el capítulo 4 se establece la hipótesis de lo que se pretende lograr con el desarrollo de la tarjeta electrónica. En el capítulo 5 se plantea nuestro objetivo general y particulares mencionando que se pretende con el desarrollo de la tarjeta electrónica acoplando los sensores, qué importancia tiene la programación donde se contempla todo el entorno que se conecta al microcontrolador y aprovechando sus características como logra la conexión y monitoreo remoto al configurar y programar una hoja de cálculo en la nube para lograr el monitoreo del proceso de secado de madera en hornos. En el capítulo 6 mencionamos el horno que se utilizó describiendo sus características, la carga de madera que fue monitoreada con sus dimensiones, como se diseñó y desarrolló la tarjeta electrónica y que se utilizó para ello, se muestra como quedó la fabricación de la tarjeta electrónica y que se utilizó para ello, que elementos fueron conectados como la pantalla touchscreen, sensores, el acoplamiento y conexión al modem router GSM, se menciona el enlace a la hoja de cálculo, se menciona el software de código abierto Arduino, utilizado para programar el microcontrolador, se menciona la importancia de la secuela de secado mencionando las fórmulas de Simpson fundamentales para el cálculo del contenido de humedad en equilibrio CHE en la madera y aplicado al proyecto y su implementación en el horno. En el capítulo 7 se muestran resultados como, de forma resumida, a través de una gráfica se observa un monitoreo mostrando a detalle los cambios que sufre el proceso de secado, se muestra cómo se van registrando los datos en la hoja de cálculo en la nube y la versatilidad que se puede tener con los datos en la hoja trabajar los registros que uno quiera y convenga, se muestran tablas gráficas, imágenes de cómo se montó el equipo y los resultados que se obtuvieron durante el proceso del monitoreo. Se muestra a detalle y por secciones la gráfica del monitoreo realizado seccionando y analizando cada sección mostrando el seguimiento que se dio con el registro de parámetros cada 5 minutos de separación entre registros. En el capítulo 8 de conclusiones se muestra que en base a lo desarrollado y con los resultados obtenidos se cubre el monitoreo de secado de madera en hornos. Por último, en el capítulo 9 recomendaciones, se menciona trabajo que falta por hacer desde mejorar el hardware incluyendo la posibilidad de simplificarlo, mejoras en el software.

Palabras Clave: Secado de madera, proceso de secado, hornos, tecnología, microcontrolador.

## **Abstract**

This master's thesis project begins with the introduction to Chapter 1, which outlines the need for a wood drying process and the importance of developing a reliable electronic board to monitor this process. Chapter 2, "Background," describes some of the technologies currently used, including standards and regulations for achieving high-quality wood drying, and highlights the importance of existing technologies and technological development for these applications. Chapter 3 describes the conditions of wood drying processes in kilns in the Mexican market and the need to develop reliable, proprietary technology to contribute to the country's technological development. Chapter 4 presents the hypothesis for the intended outcome of developing the electronic board. Chapter 5 outlines our general and specific objectives, explaining the purpose of developing the electronic board and integrating the sensors. It also details the importance of programming, encompassing the entire environment connected to the microcontroller, and how its features enable remote connection and monitoring by configuring and programming a cloud-based spreadsheet to track the wood drying process in kilns. Chapter 6 describes the kiln used, including its characteristics, the monitored wood load and its dimensions, the design and development of the electronic board, and the materials used. It presents the final fabrication of the electronic board and the components used, including the connected elements such as the touchscreen, sensors, and the GSM modem/router connection. The link to the spreadsheet is provided, and the open-source Arduino software used to program the microcontroller is mentioned. Finally, the importance of the drying sequence is discussed, including Simpson's formulas, which are fundamental for calculating the equilibrium moisture content (EMC) of wood and their application to the project and its implementation in the kiln. Chapter 7 presents summarized results, including a graph illustrating the monitoring process and detailing the changes it undergoes. It demonstrates how data is recorded in a cloud-based spreadsheet and the flexibility of using the spreadsheet to work with the data as needed. The chapter also includes tables, graphs, images of the equipment setup, and the results obtained during the monitoring process. The monitoring graph is presented in detail, section by section, analyzing each segment and showing the parameter recordings made every 5 minutes. Chapter 8, the conclusions, shows that the development and results obtained cover the monitoring of wood drying in kilns. Finally, Chapter 9, recommendations, mentions work that remains to be done, including hardware improvements (such as simplifying the hardware) and software enhancements.

Keywords:

## 1.- Introducción

Toda la madera de los árboles en crecimiento contiene una cantidad considerable de agua, comúnmente llamada savia. Aunque la savia contiene algunos materiales en solución, desde el punto de vista del secado, la savia puede considerarse agua corriente. La mayor parte de esta agua debe eliminarse para obtener un servicio satisfactorio para la mayoría de los usos de la madera. Toda madera pierde o gana humedad en un intento de alcanzar un estado de equilibrio o balance con las condiciones del aire circundante. Este estado de equilibrio depende de la humedad relativa y la temperatura del aire circundante [Simpson, 1991].

La industria de la madera desempeña un papel muy importante en diversos sectores, desde la construcción hasta la fabricación de muebles ([Aguilar & Nakano, 2021]; [FAO, 2022]), siendo la calidad de la madera un factor determinante en la eficiencia y durabilidad de los productos finales ([Bodig & Jayne, 1992]). El proceso de secado de la madera, esencial para estabilizarla dimensionalmente y mejorar sus propiedades mecánicas ([Bergman et al., 2010]), requiere una gestión precisa y controlada de la humedad y temperatura ambiente en los hornos de secado ([Keey et al., 2000]; [Simpson, 1991]). Este proyecto de tesis de maestría se centra en monitorear y registrar continuamente la humedad relativa y temperatura en un horno de secado convencional, permitiendo determinar el contenido de humedad en equilibrio (CHE) de la madera ([Simpson, 1973]) así como de otros parámetros físicos que conviene tener presentes durante el proceso de secado a través de una tarjeta electrónica.

La necesidad de una monitorización detallada durante el proceso de secado de la madera se ha vuelto cada vez más evidente para garantizar un rendimiento óptimo y la calidad final del producto ([Resch, 2006]). El control preciso de la humedad relativa y temperatura en el horno es crucial para evitar deformaciones, fisuras y otros defectos que podrían surgir de un secado inadecuado ([Kollmann & Côté, 1968]). Este proyecto propone el desarrollo de una herramienta electrónica avanzada que no solo mida estos parámetros críticos, sino que también realice cálculos *in situ* del contenido de humedad en equilibrio de la madera, brindando así información valiosa para la toma de decisiones informadas y la optimización del proceso de secado ([Thiam et al., 2022]; [Pang, 2007]).

La tarjeta electrónica diseñada integrará sensores de precisión para la medición de humedad y temperatura, así como algoritmos inteligentes que permitan calcular el contenido de humedad en equilibrio de la madera en tiempo real ([Haque et al., 2020]). Este enfoque innovador no solo simplificará el monitoreo continuo, sino que también proporcionará una visión más profunda y detallada del proceso de secado, permitiendo ajustes inmediatos según las condiciones cambiantes del horno los cuales son manipulados por el operador.

Este proyecto se alinea con las tendencias actuales de la Industria 4.0, donde la integración de tecnologías avanzadas busca mejorar la eficiencia y la calidad en los procesos de producción ([Kagermann et al., 2013]; [Lasi et al., 2014]), aplicando los conceptos de Internet de las Cosas (IoT) y big data a la industria maderera ([Tapia et al., 2021]; [Vera et al., 2020]).

## **2. Antecedentes.**

A medida que avanzó la ciencia y la tecnología, se realizaron estudios y experimentos científicos para comprender mejor los aspectos técnicos y las propiedades de la madera durante el proceso de secado ([Keey et al., 2000]). Investigadores y científicos han estudiado la física y la química involucradas en el proceso, desarrollando modelos y métodos más precisos para controlar y monitorear el secado de la madera ([Pang, 2007]). El desarrollo de tecnologías aplicadas a la monitorización y control de procesos en la industria de la madera ha experimentado avances significativos en las últimas décadas ([Tapia et al., 2021]). El monitoreo de condiciones ambientales durante el secado de la madera, en particular, se ha vuelto un área clave para mejorar la calidad del producto final y optimizar los recursos empleados ([Resch, 2006]).



*Figura 1: Equipo para secado de madera, tomado de <https://www.secalsrl.com/piattaforma.aspx>*

Con el desarrollo de tecnologías y herramientas de medición más avanzadas, se han creado instrumentos y dispositivos específicos para monitorear el secado de la madera. Estos incluyen medidores de humedad relativa, registradores de datos de temperatura y humedad relativa, termómetros, higrómetros y otros equipos que permiten obtener mediciones precisas y monitorear las condiciones ambientales durante el proceso de secado ([Simpson, 1991]).

A nivel nacional e internacional, se han establecido estándares y normas que definen los requisitos y especificaciones para el secado de la madera. Estos estándares proporcionan formas correctas para el monitoreo y control del secado, asegurando la calidad y uniformidad de los productos maderables ([ASTM D4442-20]; [NMX-C-470-2018]).

El desarrollo de la electrónica y las comunicaciones han servido como herramienta para potenciar todo tipo de procesos industriales y combinado con las comunicaciones permite acercar estos procesos a cualquier distancia con lo que ahora se conoce como internet de las cosas pero que son desarrollos que ya se han aplicado anteriormente y que han ido evolucionando facilitando su desarrollo y su aplicación por parte de los operadores de los equipos ([Kagermann et al., 2013]). Esto implica que quien opera o manipula algún equipo electrónico requiere de tener cierta preparación o capacitación técnica por parte del operador que permita primero entender el proceso sobre el que se trabaja, segundo entender el equipo como funciona, tercero manipular el equipo para que trabaje de acuerdo a las características que requiere el proceso sobre el cual se está trabajando y esto en ocasiones no es de una sola persona sino de un equipo de trabajo ([Vera et al., 2020]).



## **2.1. Importancia del secado**

Las funciones del secado de la madera, primero disminuir ó impedir la presencia de defectos de la madera, ya que representan pérdidas de madera y por consecuencia pérdida de árboles y segundo, utilizar racionalmente la madera de los árboles existentes de manera que tengamos un recurso renovable y sustentable ([Cruz de León, 2012]; [FAO, 2022]).

## **2.2. Estado Actual de la Tecnología de monitoreo en secado de madera**

En la actualidad, la mayoría de los sistemas de monitoreo en la industria maderera se basan en métodos convencionales que, aunque efectivos, presentan limitaciones en términos de precisión y accesibilidad a datos en tiempo real ([Haque et al., 2020]). La introducción de tarjetas electrónicas específicamente diseñadas para el monitoreo de humedad y temperatura en hornos de secado de madera ha marcado un avance significativo. Estas tarjetas no solo ofrecen mediciones más precisas sino que también permiten una integración más sencilla con tecnologías de comunicación modernas ([Thiam et al., 2022]).

## **2.3. Tecnologías de Monitoreo Electrónico en la Industria de la Madera**

Se han desarrollado diversos dispositivos electrónicos para medir la humedad y temperatura en la madera, desde sondas simples hasta sistemas más complejos con capacidades de registro de datos ([Bergman et al., 2010]). Sin embargo, la integración de estas tecnologías con conectividad inalámbrica para una supervisión remota en tiempo real es un área que ha evolucionado recientemente ([Tapia et al., 2021]).

## **2.4. Sensores y Dispositivos de Monitoreo en la Industria de la Madera**

Investigaciones previas han explorado el uso de sensores de humedad y temperatura en el proceso de secado de la madera (Pang, 2007). Dispositivos comerciales, como dataloggers, higrómetros y sensores integrados en equipos de secado, han sido utilizados para obtener mediciones precisas (Simpson, 1991). Los higrómetros, en particular, han evolucionado desde instrumentos mecánicos basados en cabello humano o membranas orgánicas hacia sensores electrónicos capacitivos o resistivos, ofreciendo mayor precisión y capacidad de registro continuo en las condiciones adversas de un horno de secado [Bergman et al., 2010].

## **2.5. Sistemas de Comunicación Inalámbrica y Conectividad en la Industria**

La conexión a través de WiFi y la transmisión de datos a través de módems GSM se han vuelto estándar en la mayoría de los entornos industriales ([Lasi et al., 2014]). La posibilidad de acceder a datos de forma remota facilita la toma de decisiones ágil y mejora la eficiencia operativa ([Vera et al., 2020]).

## **2.6. Plataformas de Almacenamiento en la Nube y Hojas de Cálculo Colaborativas**

El uso de plataformas en la nube, como Google Drive y Google Sheets, ha simplificado la gestión de datos en tiempo real ([Google Cloud, 2023]). La posibilidad de cargar automáticamente los datos recopilados en hojas de cálculo colaborativas proporciona un acceso rápido y compartido a la información relevante ([Microsoft Azure, 2022]).

## **2.7. Limitaciones Actuales y Brechas de Conocimiento**

Aunque existen diversas tecnologías para el monitoreo de humedad relativa y temperatura en madera, aún hay limitaciones en términos de la precisión de los cálculos de contenido de humedad en equilibrio y la facilidad de integración con sistemas de comunicación inalámbrica y plataformas en la nube ([Haque et al., 2020]; [Thiam et al., 2022]).

Este capítulo de antecedentes proporciona un marco contextual para el proyecto de tesis, destacando la evolución de las tecnologías de monitoreo en la industria maderera y señalando las áreas específicas donde este proyecto busca aportar innovación y mejoras significativas.

### **3. Justificación del Proyecto**

El desarrollo de este proyecto se justifica en la conveniencia de utilizar tecnologías que faciliten la producción en la industria maderera en México. Esta justificación se sustenta en tres pilares fundamentales:

#### **3.1 Implementación de tecnologías propias:**

La industria maderera utiliza tecnologías a menudo importadas poco adaptadas a las necesidades locales, lo que conlleva a procesos ineficientes incluyendo a sus operadores([Innovación Madera. (2023)]). La fabricación de una tarjeta electrónica de desarrollo local, basada en el microcontrolador ESP32 ([Espressif Systems. (2024)]), representa una solución accesible para optimizar el proceso de secado de la madera. Al automatizar el monitoreo y registro de variables como la humedad y la temperatura, parámetros fundamentales descritos en la literatura técnica ([Forest Products Laboratory, 2021]), este proyecto busca elevar los estándares de calidad de la producción y fomentar la autonomía tecnológica del sector.

#### **3.2 Sostenibilidad y Acceso a Datos:**

Una monitorización precisa del secado de la madera minimiza el consumo energético y reduce significativamente el desperdicio de materia prima, contribuyendo a prácticas industriales más responsables [Forest Products Laboratory, 2021]. La conexión con plataformas en la nube (Google Sheets) garantiza un almacenamiento seguro y accesible de los datos, facilitando su análisis, la trazabilidad del proceso y la colaboración entre diferentes actores, lo que sienta las bases para una industria más orientada a los datos (data-driven).

En conclusión, este proyecto se justifica al ofrecer una respuesta integral, práctica y local a los desafíos específicos de la industria del secado de madera, proponiendo una solución que no solo optimiza un proceso técnico, sino que también promueve la innovación, la sostenibilidad y la competitividad del sector maderero en México.

#### **4. Hipótesis**

El desarrollo e implementación de un sistema de monitoreo inalámbrico, basado en una tarjeta electrónica con sensores de temperatura y humedad relativa, permitirá determinar el contenido de humedad de equilibrio (CHE) de la madera *en sitio* y en tiempo real, lo que se traducirá en una mejora significativa en la eficiencia del proceso de secado en hornos convencionales, al reducir el tiempo de ciclo, minimizar los defectos por tensiones de secado y optimizar el consumo energético.

## **5. Objetivo General**

Desarrollar e implementar un sistema electrónico de adquisición de datos con conectividad inalámbrica, para el monitoreo y registro en tiempo real de la temperatura y humedad relativa al interior de un horno convencional de secado de madera, que determine el contenido de humedad en equilibrio (CHE) de la madera [Forest Products Laboratory, 2021], permitiendo la visualización local mediante una interfaz gráfica y remota a través de una hoja de calculo en la nube.

### **5.1 Objetivos Particulares**

#### **5.1.1 Diseño y Construcción del Hardware del Sistema**

Diseñar y ensamblar el prototipo de una tarjeta electrónica basada en la arquitectura de microcontrolador, integrando capacidades de comunicación inalámbrica WiFi para conexión a internet y puertos estándar para la interconexión de sensores digitales de variables ambientales. El sistema incluirá una interfaz gráfica local para la visualización de datos en tiempo real.

#### **5.1.2 Desarrollo e Implementación del Firmware**

Programar el firmware embebido del sistema, utilizando un entorno de desarrollo de acceso libre, en lo que es el código de programación del microcontrolador, para gestionar la adquisición de datos de los sensores, el procesamiento de las señales, la visualización en la interfaz local y la transmisión segura de los datos a una plataforma de almacenamiento en la nube a intervalos de tiempo programado.

#### **5.1.3 Configuración de la Plataforma de Visualización y Almacenamiento Remoto**

Implementar una solución en la nube basada en hojas de cálculo para la gestión de datos, la cual automatice la recepción, el almacenamiento histórico (base de datos) y la visualización gráfica de las variables monitoreadas, garantizando la accesibilidad remota a la información para su análisis.

## 6. Materiales y métodos

### 6.1 Horno de secado para madera.

Para nuestro monitoreo se utilizó un horno de secado de madera de fabricación alemana marca HILDEBRAND, modelo Kleintrockner HD 74, cuyas dimensiones internas son las siguientes: ancho de 0.84 mts, altura de 1.20 mts y fondo de 2.5 mts aproximadamente, un volumen interno aproximado de



*Figura 2: Horno de secado de madera marca Hildebrand.*

2.52 m<sup>3</sup>, el horno cuenta con una fuente de calor por resistencia eléctrica con 3 niveles de potencia de las cuales solo trabajan 2, tiene dos ventilaciones para la humedad una de inyección y otra de extracción con la que se regula el contenido de humedad relativa de forma manual, cuenta con una caldera eléctrica para producir vapor de agua y ser inyectado al interior del horno a través de una válvula mecánica manipulada manualmente. Para el censado y control de la temperatura cuenta con dos termostatos uno para el bulbo seco y otro para el bulbo húmedo, lo que permite ajustar el nivel de humedad en el interior del horno de secado, pero sobre todo el termostato de bulbo que fue el que se utilizó solo para fijar la temperatura de calentamiento del horno, estos termostatos no fueron utilizados para el monitoreo.

La madera que se utilizó para realizar el monitoreo del proceso de secado fue madera de pino con cuatro dimensiones, a continuación se muestra una Tabla 1 mostrando las características de la madera que se ingresó al horno para secar. Aunque en el aspecto comercial es común hablar en la industria maderera en pulgadas, pies, pie-tablar, por facilidad de calculo se utilizo el sistema internacional de medidas, centímetros, metros, metros cúbicos, kg/m<sup>3</sup>, etc.

*Tabla 1: Madera de pino ingresada para secado.*

| <b>Cantidad</b>      | <b>Espesor<br/>cm</b> | <b>Ancho<br/>cm</b> | <b>Largo<br/>cm</b> | <b>Volumen M3</b> |
|----------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|-------------------|
| 24                   | 2.7                   | 11.8                | 250                 | 0.191             |
| 24                   | 2.7                   | 17.0                | 250                 | 0.275             |
| 17                   | 2.7                   | 21.4                | 250                 | 0.245             |
| 14                   | 2.7                   | 26.0                | 250                 | 0.245             |
| <b>Volumen Total</b> |                       |                     |                     | <b>0.956</b>      |

*Tabla 2: Muestras de madera de pino.*

| <b>Muestra</b>  | <b>Espesor<br/>cm</b> | <b>Ancho<br/>cm</b> | <b>Largo<br/>cm</b> | <b>Volumen<br/>m<sup>3</sup></b> | <b>Masa anhidra<br/>kg</b> | <b>Densidad<br/>(Kg/M3)</b> |
|-----------------|-----------------------|---------------------|---------------------|----------------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| M1              | 2.4                   | 5.2                 | 20.0                | 0.0002446                        | 0.101                      | 413                         |
| M2              | 2.4                   | 5.0                 | 20.2                | 0.0002374                        | 0.094                      | 396                         |
| M3              | 2.4                   | 5.0                 | 19.8                | 0.0002376                        | 0.102                      | 429                         |
| <b>Promedio</b> |                       |                     |                     |                                  |                            | <b>413</b>                  |

Las muestras de madera M1, M2 y M3 se ingresaron por dos días a un horno eléctrico Marca Elisa, se estuvo monitoreando su peso en una bascula digital y cuando dejo de cambiar el peso de la madera se registro su peso que es el que se muestra en la tabla anterior obteniendo una densidad básica, el volumen se tomo cuando era madera verde sin secar y dio un promedio de 413 kg/m<sup>3</sup> de densidad básica.

## 6.2. Construcción de la Tarjeta Electrónica.

Para la construcción de la tarjeta electrónica se utilizó una placa de circuito impreso de doble cara de cobre teniendo el diseño del circuito electrónico, diseño que fue elaborado con el software Proteus, se imprimieron las dos caras sobre papel en impresora láser y se plancharon sobre la placa en sus dos caras y se ataco el cobre de las caras con cloruro férrico diluido quedando visible las pistas de cobre para soldar y conectar los componentes electrónicos. Se soldaron los componentes y se probó la conexión de cada una de las conexiones de los diferentes componentes electrónicos que conforman la tarjeta electrónica.

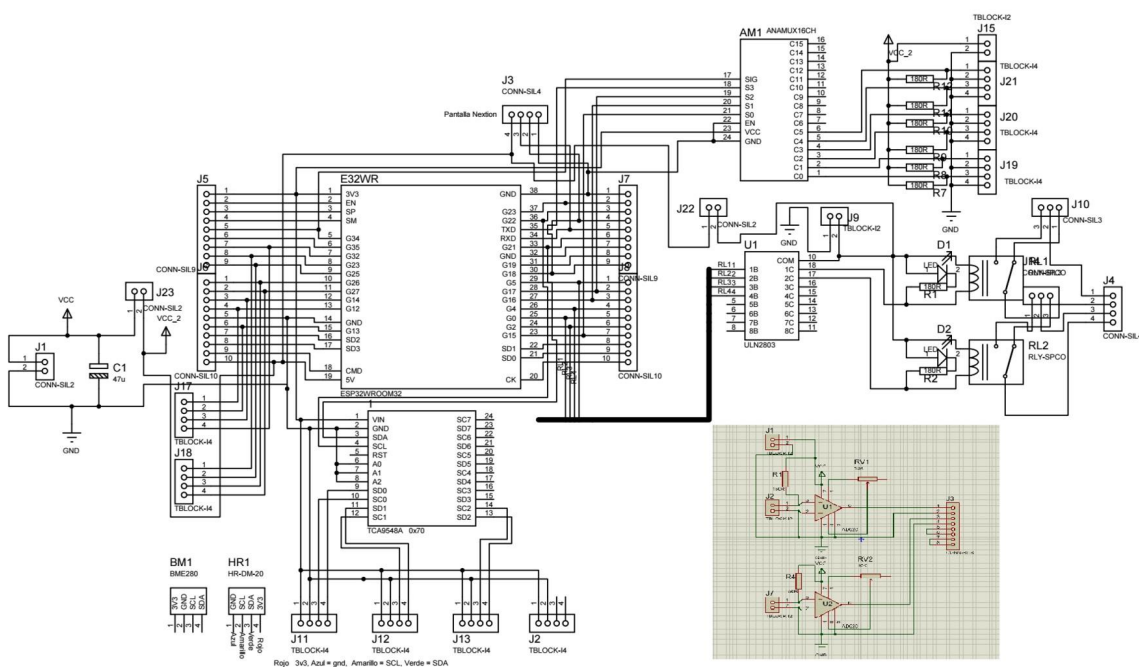
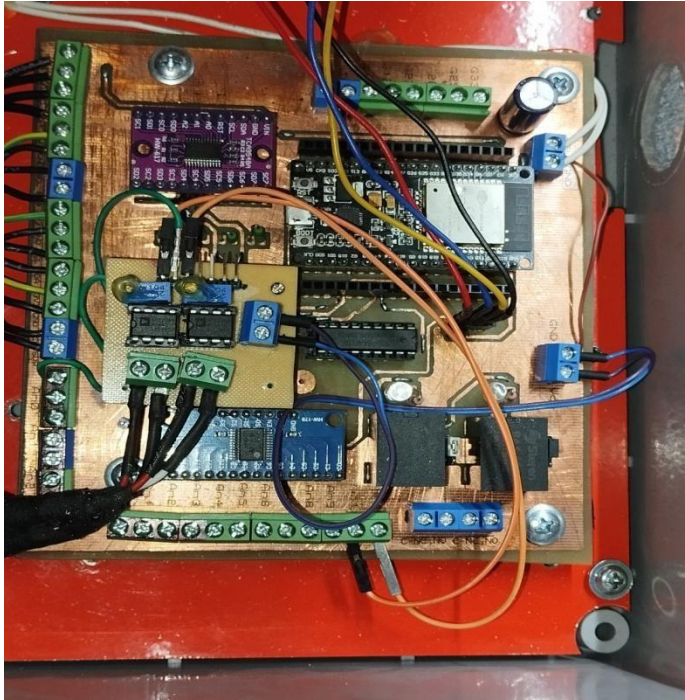


Figura 3: Esquemático de tarjeta electrónica de monitoreo. Elaboración propia.



La fabricación de la tarjeta electrónica viene de un proceso que ha evolucionado hasta lo desarrollado y que se muestra en este documento, ha sufrido varios cambios en cuanto a conexión de sensores, distribución de componentes, conectividad en cuanto a comunicación local y remota. Finalmente la



*Figura 4: Tarjeta electrónica de monitoreo utilizada para el registro de datos.*

tarjeta electrónica que fue probada para el monitoreo de parámetros es la que se muestra en la figura 4 y es la que se utilizó para mostrar parámetros en la pantalla táctil y también para enviar los datos registrados de humedad relativa y temperatura con los sensores SHT22 y temperatura con sensores PT100 y datos procesados del contenido de humedad en equilibrio de la madera, datos enviados a la hoja de cálculo en la nube.

El ESP32 es un microcontrolador de bajo costo y alto rendimiento desarrollado por Espressif Systems, es el dispositivo principal con el que se construyó la tarjeta electrónica esta basado en una arquitectura de procesador de doble núcleo Xtensa LX6 de 32 bits. Integra Wi-Fi 802.11 b/g/n y Bluetooth 4.2/BLE, lo que permite la comunicación inalámbrica. Soporte para múltiples interfaces de comunicación, incluyendo SPI, I2C, UART, y más, puertos GPIO para la expansión de periféricos. Es compatible con el entorno de programación Arduino que es una plataforma de programación de código abierto.

El desarrollo utiliza el componente electrónico TCA9548A es un multiplexor/demultiplexor I2C de 8 canales, lo que significa que puede manejar hasta ocho dispositivos diferentes en un bus I2C compartido. El TCA9548A permite seleccionar cada uno de sus ocho canales para establecer una conexión entre el bus maestro I2C y cada uno de los dispositivos esclavos conectados. Se conecta al bus I2C principal y sirve como un punto de conexión para múltiples dispositivos.

También se utiliza el 74HC4067 es un multiplexor analógico de 16 canales y 1 vía (16:1) o un demultiplexor digital de 1 canal y 16 vías (1:16), este componente recibe la señal de los sensores PT100 conectados a su interfase de señal.

También utiliza el AD620 es un amplificador operacional de instrumentación (INA, por sus siglas en inglés) fabricado por Analog Devices, permite configurar la ganancia del amplificador según las necesidades de la aplicación. La ganancia típicamente se puede ajustar mediante resistencias externas. Puede operar con un rango amplio de voltajes de alimentación, lo que mejora la flexibilidad en el diseño; en nuestro caso es alimentado con 5vdc. La ganancia del amplificador se puede configurar mediante la selección de resistencias externas de acuerdo con la ecuación de ganancia del AD620.

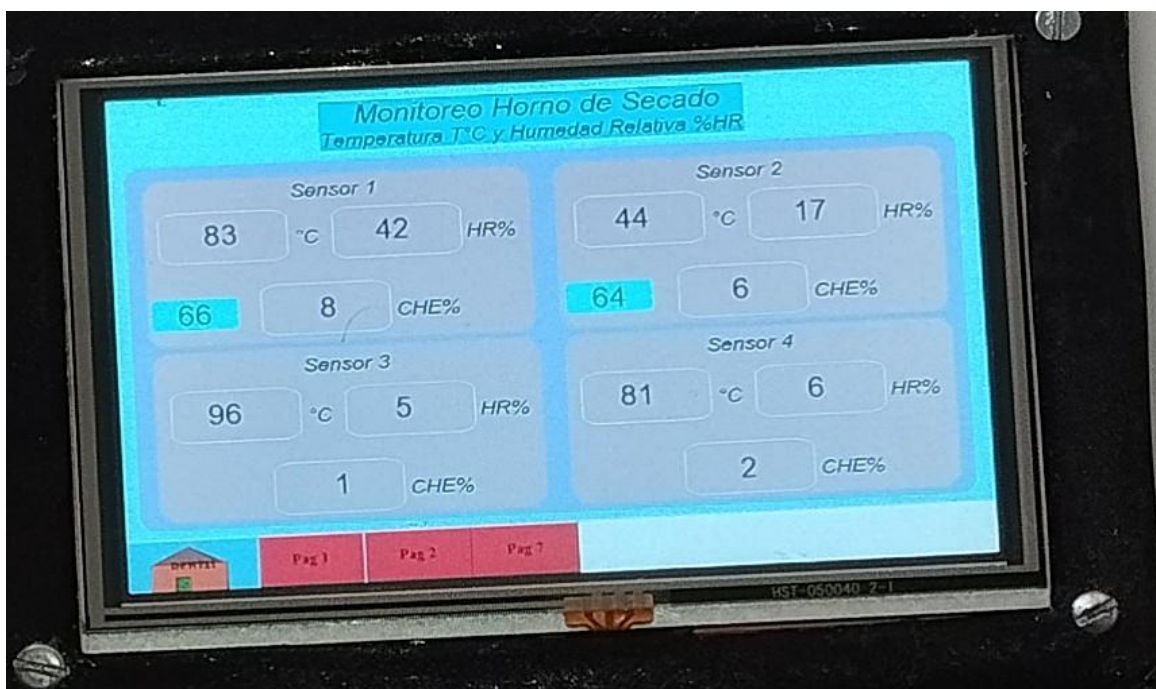
Se utiliza el sensor de humedad y temperatura SHT22 generalmente mide la humedad relativa en un rango de 0% a 100%, ofrece una precisión típica de  $\pm 2\%$  RH. Mide la temperatura en un rango que suele estar alrededor de  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $125^{\circ}\text{C}$ , proporciona una precisión típica de  $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ . Se comunica a través de la interfaz I2C (también conocida como bus I2C o TWI). Tiene una resolución típica de 8 bits para la temperatura y 12 bits para la humedad.

Se utiliza el sensor PT100 es un sensor de temperatura de resistencia, parte de una serie de sensores de temperatura de resistencia de platino (RTD, por sus siglas en inglés) que utilizan platino como material resistivo. El rango de temperatura típico para un PT100 es de  $-200^{\circ}\text{C}$  a  $600^{\circ}\text{C}$ . El coeficiente de temperatura para la resistencia de platino es de aproximadamente  $0.00385\text{ ohmios}/^{\circ}\text{C}$ , lo que proporciona una respuesta bastante lineal a cambios de temperatura.

### **6.3 Pantalla Tactil Nextion**

La pantalla Nextion NX8048P050 es una pantalla HMI LCD de 8 pulgadas con una resolución de 800 x 480 píxeles. La pantalla está fabricada con una pantalla táctil resistiva y cuenta con una capa anti reflejos que hace que sea fácil de ver en condiciones de luz brillante. La pantalla también tiene una

interfaz de usuario (UI) incorporada que se puede programar usando el lenguaje de programación Nextion. (<https://nextion.tech/instruction-set/>)

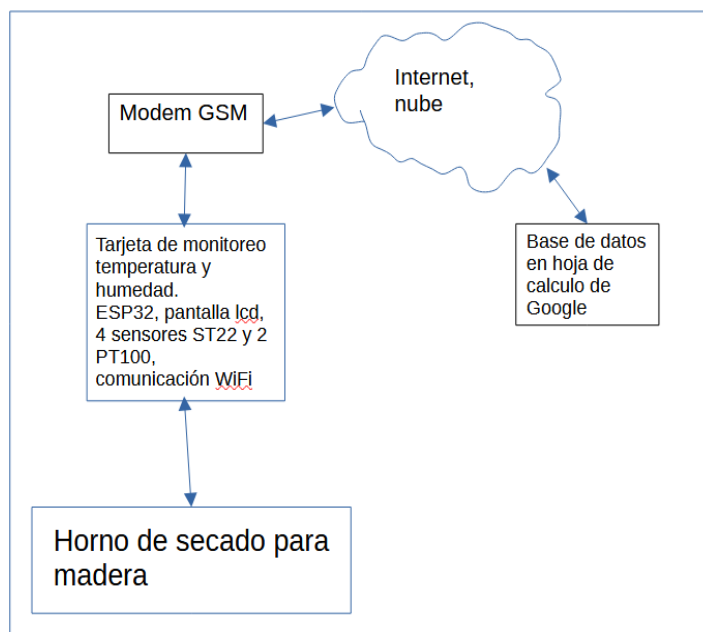


*Figura 5: Pantalla Nextion mostrando datos locales para el operador del horno.*

En la imagen anterior se muestra una pantalla donde se observan los datos registrados por los sensores conectados en la tarjeta electrónica y enviados a la pantalla touchscreen Nextion, se muestra el monitoreo de 4 sensores SHT22 de humedad y temperatura y de 2 sensores pt100 de temperatura y el valor calculado del contenido de humedad en equilibrio en la madera.

#### **6.4 Modem Router GSM**

La tarjeta electrónica de monitoreo teniendo canal de comunicación por WiFi se optó por conectarlo a un Modem router GSM para tener independencia y exclusividad en la comunicación a la hoja de cálculo de Google sheet en la nube, lo que permitió con ello enlazar la comunicación de forma exclusiva de la tarjeta con la hoja de cálculo.



*Figura 6: Diagrama a bloques general del sistema completo de monitoreo. Elaboración propia.*

Un módem router GSM es un dispositivo que combina las funciones de un módem (para la conexión a la red móvil GSM, que se utiliza comúnmente para la comunicación de datos móviles) y un router (para distribuir la conexión a varios dispositivos a través de Wi-Fi o conexiones por cable). Un módem router GSM está diseñado para ser compatible con las redes móviles GSM, lo que le permite conectarse a través de tarjetas SIM y aprovechar la infraestructura de comunicación móvil. Tiene una interfaz de usuario web que permite configurar y gestionar las funciones del dispositivo. Puedes acceder a esta interfaz a través de un navegador web. Incluye características de seguridad, como cifrado Wi-Fi (WPA2, por ejemplo) y funciones de firewall para proteger la red contra amenazas externas. Permite la conexión de varios dispositivos a la vez, distribuyendo la conexión a Internet de la red móvil GSM a través de la red local. Admite estándares inalámbricos como 802.11n, 802.11ac, o incluso 802.11ax (Wi-Fi 6) para proporcionar velocidades de conexión inalámbrica más rápidas y una mejor cobertura.

### 6.5 Hoja de calculo en Google Sheet

Se utilizo Google Sheets, es una aplicación de hojas de cálculo basada en la nube proporcionada por Google como parte de su suite de oficina Google Workspace. Parte de sus características es que varios usuarios pueden editar una hoja de cálculo simultáneamente, lo que facilita la colaboración en tiempo real. Al ser una aplicación basada en la nube, Google Sheets permite acceder a las hojas de cálculo

desde cualquier dispositivo con conexión a Internet. Google Sheets presenta una interfaz de usuario intuitiva y fácil de usar, similar a las hojas de cálculo tradicionales. Ofrece una amplia variedad de fórmulas y funciones que permiten realizar cálculos complejos y análisis de datos. Permite la creación de gráficos y visualizaciones para representar los datos de manera efectiva. Facilita la importación y exportación de datos en diversos formatos, incluidos CSV, Excel y más. Google Apps Script permite la automatización de tareas y la creación de scripts personalizados para extender la funcionalidad de Google Sheets. Proporciona opciones de seguridad y control de acceso para garantizar que solo las personas autorizadas puedan acceder y editar la información. En nuestro caso fue utilizada para programar la autorización de acceso a las variables de la base de datos que se reciben desde la tarjeta electrónica generando el código llave de sincronización para recepción de datos a la hoja de calculo

## **6.6 Arduino con Visual Code Studio**

Arduino es una plataforma de desarrollo de hardware de código abierto que utiliza una combinación de hardware y software para crear proyectos interactivos. Visual Studio Code (VSCode) es un editor de código fuente desarrollado por Microsoft.

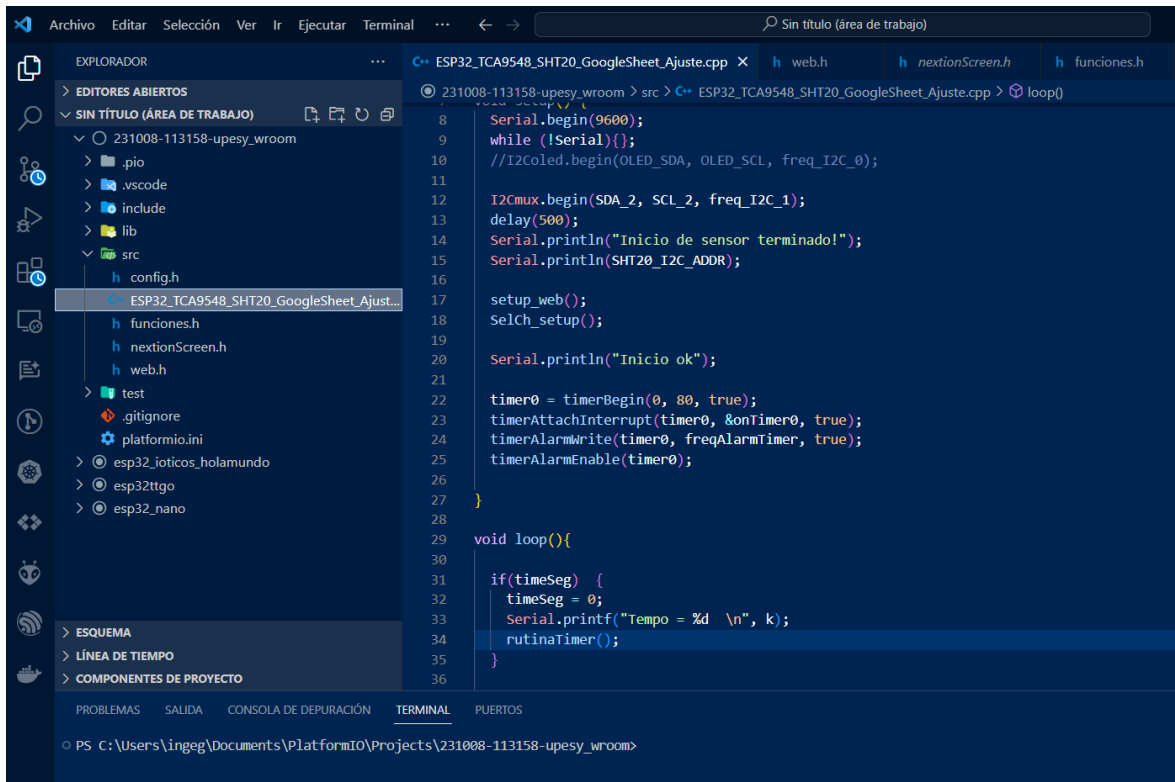


Figura 7: Entorno de programación de Arduino con Visual Code Studio.

La combinación de Arduino y Visual Studio Code se realiza a través de extensiones y plugins específicos para el desarrollo de proyectos Arduino en este entorno. Las extensiones permiten la integración con diversas placas, lo que significa que puedes seleccionar y programar diferentes modelos de placas directamente desde Visual Studio Code. Permite verificar y cargar el código directamente en la placa desde el entorno de desarrollo. El entorno de desarrollo es compatible con múltiples sistemas operativos (Windows, macOS, Linux), lo que facilita el desarrollo de proyectos Arduino en diversas plataformas. Arduino utiliza un lenguaje basado en C/C++. Visual Studio Code proporciona soporte nativo para estos lenguajes, lo que mejora la experiencia de desarrollo. Dado que Arduino es frecuentemente utilizado en proyectos de Internet de las cosas (IoT), Visual Studio Code proporciona herramientas y extensiones que facilitan el desarrollo de aplicaciones IoT. Con ello se proporciona un entorno de desarrollo flexible y potente para proyectos de hardware, permitiendo a los desarrolladores escribir, depurar y cargar código en placas Arduino de manera eficiente.

## 6.7 Secuela de secado

La secuela de secado es fundamental tradicionalmente en el proceso de secado de la madera, establece el perfil de los parámetros que deben seguir las condiciones ambientales de humedad y temperatura dentro del horno para llevar a la madera a un contenido de humedad en equilibrio adecuado y sin riesgo de daño a la madera. Esto se muestra en el libro “Dry Kiln Operator’s Manual”[Simpson, 1991] en donde al formar la secuela de secado se utilizan valores de temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo húmedo, con ello se determina la humedad relativa y con apoyo en base a tablas y cartas psicrométrica se determina el contenido de humedad en equilibrio que tendrá la madera en cada paso de la secuela.

| Especie           | Pino                           |                              |                               |    |                                    |    |                       |    |             |    |                    |                                      |                     |
|-------------------|--------------------------------|------------------------------|-------------------------------|----|------------------------------------|----|-----------------------|----|-------------|----|--------------------|--------------------------------------|---------------------|
| Espeor            |                                |                              |                               |    |                                    |    |                       |    |             |    |                    |                                      |                     |
| Programa          | T11-F5                         |                              |                               |    |                                    |    |                       |    |             |    |                    |                                      |                     |
| CH inicial        | 143                            |                              |                               |    |                                    |    |                       |    |             |    |                    |                                      |                     |
| CH final<br>uso   | 13.8                           |                              |                               |    |                                    |    |                       |    |             |    |                    |                                      |                     |
| Etapa de Secado   | Etapa de Temperatura<br>Numero | Etapa de Depresion<br>Numero | Clase de Contenido de Humedad |    | Programa de Temperatura Bulbo Seco |    | Programa de Depresion |    | Bulbo Hmedo |    | Humedad Relativa % | Contenido de Humedad en Equilibrio % | Gradiente de Secado |
|                   |                                |                              | De:                           | A: | °C                                 | °F | °C                    | °F | °C          | °F |                    |                                      |                     |
| Calentamiento     |                                |                              |                               |    |                                    |    |                       |    |             |    |                    |                                      |                     |
|                   | 1                              |                              | >70                           | 70 | 66                                 |    | 5.56                  |    | 60.44       |    | 76.00%             | 11.82                                | 5.92                |
|                   | 2                              |                              | 70                            | 60 | 66                                 |    | 7.78                  |    | 58.22       |    | 68.39%             | 10.16                                | 5.91                |
|                   | 3                              |                              | 60                            | 50 | 66                                 |    | 11.11                 |    | 54.89       |    | 57.35%             | 8.21                                 | 6.09                |
|                   | 4                              |                              | 50                            | 40 | 66                                 |    | 13.89                 |    | 52.11       |    | 49.12%             | 6.97                                 | 5.74                |
|                   | 5                              |                              | 40                            | 35 | 66                                 |    | 16.67                 |    | 49.33       |    | 41.71%             | 5.95                                 | 5.88                |
|                   | 6                              |                              | 35                            | 30 | 71                                 |    | 19.44                 |    | 51.56       |    | 37.32%             | 5.18                                 | 5.79                |
|                   | 7                              |                              | 30                            | 25 | 71                                 |    | 19.44                 |    | 51.56       |    | 37.32%             | 5.18                                 | 4.83                |
|                   | 8                              |                              | 25                            | 20 | 77                                 |    | 19.44                 |    | 57.56       |    | 39.72%             | 5.25                                 | 3.81                |
|                   | 9                              |                              | 20                            | 15 | 82                                 |    | 27.78                 |    | 54.22       |    | 26.31%             | 3.51                                 | 4.27                |
|                   | 10                             |                              | 15                            | 13 | 82                                 |    | 27.78                 |    | 54.22       |    | 26.31%             | 3.51                                 | 3.70                |
| Iguatamiento      | 11                             |                              | 13                            | 16 | 82                                 |    | 13.81                 |    | 68.19       |    | 73.00%             | 10                                   | 1.60                |
| Acondicionamiento | 12                             |                              | 16                            | 13 | 82                                 |    | 9                     |    | 73          |    | 84.70%             | 13                                   | 1.00                |

Figura 8: Tabla que muestra ejemplo de secuela de secado. Elaboración propia

En el caso de este proyecto y al utilizar una tarjeta electrónica y utilizar sensores de humedad relativa y temperatura y con ello determinar el contenido de humedad en equilibrio de la madera y mostrarlos al operador permite visualizar estos datos de forma directa con lo que el operador o personas en general se familiaricen de una forma más rápida con el proceso de secado.

En el libro “Wood Handbook, Wood as an Engineering Material”[Forest Products Laboratory, 2021] muestra una imagen que contiene el contenido de humedad en equilibrio de la madera en relación con la temperatura (°C) y la humedad relativa (%) del ambiente y menciona que esa grafica es calculada con la siguiente ecuación:

$$EMC(\%) = \left( \frac{1800}{W} \right) * \left( \frac{K * h}{(1 - K * h)} + \frac{K1 * K * h + 2 * K1 * K2 * K^2 * h^2}{(1 + K1 * K * h + K1 * K2 * K^2 * h^2)} \right)$$

Figura 9: Wood Handbook, Forest Product Laboratory, 2021, pag. 4-3

donde h es la humedad relativa (  $0 \leq h \leq 1$  ) y los parametros W, K, K1 y K2 dependen de la temperatura en °C,  $W = 349 + 1.29T + 0.0135T^2$ ,  $K = 0.805 + 0.000736T - 0.00000273T^2$ ,  $K1 = 6.27 - 0.00938T - 0.000303T^2$ ,  $K2 = 1.91 + 0.0407T - 0.000293T^2$ .

Simpson en 1973 mostró esta ecuación del contenido de humedad en equilibrio de la madera teniendo una buena aproximación a la mostrada en la tabulación de 1955 en el libro “Wood Handbook”. Una ecuación alterna para el cálculo del contenido de humedad en equilibrio fue presentada por Glass y otros en 2014:

$$EMC(\%) = 100 \left[ AT \left( 1 - \frac{T}{T_c} \right)^B \ln(1 - h) \right]^{(CT^D)}$$

Figura 10: Wood Handbook, Forest Product Laboratory, 2021, pag. 4-3

donde h es la humedad relativa (  $0 \leq h \leq 1$  ), T es la temperatura, y los parámetros A, B, C, D y Tc son: para T en grados kelvin (K) = [°C] + 273.15, A = -0.000612, B = 2.43, C = 0.0577, D = 0.430, Tc = 647.1

Estos son dos algoritmos que utilizo para el calculo del contenido de humedad en equilibrio en función de la temperatura y humedad relativa que se monitorean de forma directa con la tarjeta electrónica y que se muestran de forma local en la pantalla del equipo y se envían a la hoja de calculo en la nube. (Puede observarse la Figura 5 y la Figura 12)

## 6.8 Conexión de tarjeta electrónica al horno de secado.

Una vez que se tiene la integración de todos estos materiales y elementos de la tarjeta electrónica y el horno se ingresa la madera al horno y durante el proceso se van colocando los sensores de humedad relativa y temperatura SHT22 y temperatura PT100 a diferentes niveles en el arpillado de la madera dentro del horno en alturas aproximadas de  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$  y  $\frac{3}{4}$  de altura colocando los sensores en contacto con



la madera y a nivel de superficie de la madera con lo que se logra un registro de la condición de frontera madera-aire de la humedad relativa y temperatura con el SHT22 y temperatura con el PT100. A partir de aquí y estando en funcionamiento el horno de secado de madera y encendida la tarjeta electrónica la tarjeta empieza a registrar parámetros, inicialmente carga el programa, realiza conexión con el modem, configura periféricos, toma lecturas de sensores, procesa sus datos y calcula contenido de humedad en equilibrio de la madera y cada 5 min ejecuta una rutina donde toma valores registrados de humedad relativa y temperatura de los sensores SHT22 y temperatura de los sensores PT100 y calculados CHE y los envía a la hoja de calculo y repite el proceso hasta que el operador apaga la tarjeta electrónica.

## **7. Resultados y discusión.**

### **7.1.- Resultado de la construcción de la tarjeta electrónica.**

Se diseñó y ensambló una tarjeta electrónica basada en un microcontrolador con puerto de comunicación WiFi, integrando puertos estándar para la conexión de 4 sensores humedad/temperatura y 2 sensores de temperatura (ver Fig. 3). El sistema incluyó una pantalla táctil local para visualización en tiempo real (Fig. 11), cumpliendo con los requisitos de hardware establecidos. Para probarlo se instaló en un horno convencional de secado de madera, donde los sensores se distribuyeron estratégicamente en la interfase madera-aire para monitorear los datos registrados.

### **7.2 Resultado de la programación y desarrollo de Firmware.**

Como resultado del código generado y que se ingresó como programa al microcontrolador se logró procesar la captación de datos de los sensores de humedad relativa y temperatura y de los sensores de temperatura conectados al microcontrolador manipulando con el código la pantalla touch screen para visualizar los datos en forma local, el código también permitió determinar el contenido de humedad en equilibrio y estos datos enviarlos por wifi utilizando conexión de internet a la hoja de cálculo en la nube.

Como resultado de la programación y desarrollo del firmware, que es el código ingresado al microcontrolador y que configura la forma de como tomara las mediciones de los sensores y como se desplegara la información en la pantalla local touchscreen (Fig. 5), como enviara los datos registrados por WiFi por donde se enviaran las claves y registros para enviar los datos a la hoja de cálculo de Google (Fig. 6), se puede observar en los resultados de los datos registrados y visibles en la hoja de cálculo en la nube (Fig. 13) y que estos también se visualizan de forma gráfica en el mismo documento.

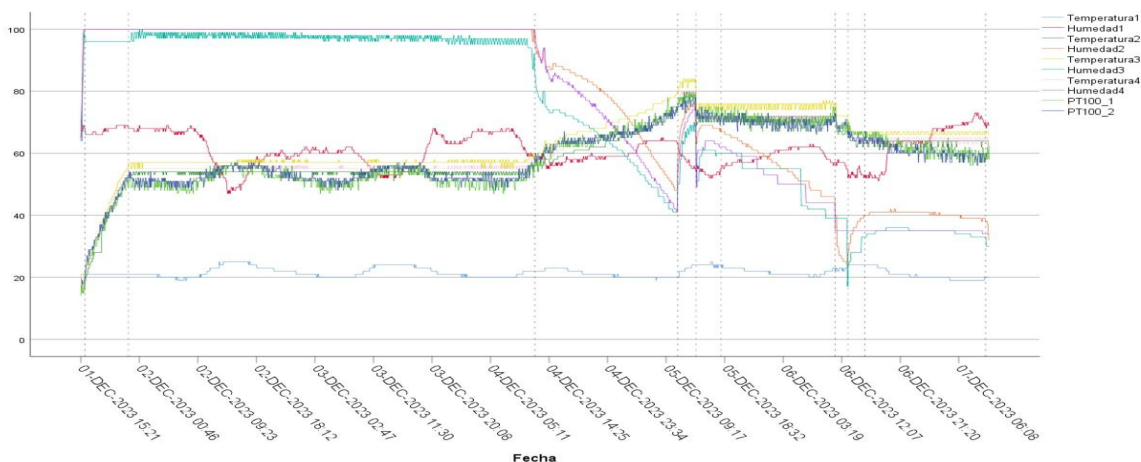


Figura 11: Grafica de parámetros físicos registrados de forma directa por la tarjeta electrónica.

En la figura 11 se muestra los datos registrados de los parámetros físicos de humedad y temperatura de los cuatro sensores de humedad y temperatura y de dos sensores de solo temperatura los cuales fueron colocados en el arpillado en el interior del horno. Los datos graficados corresponden a el monitoreo que registro la tarjeta electrónica del 1 de Diciembre del 2023 al 7 de Diciembre del 2023 con un total de 1553 registros. Podemos mencionar que el registro de datos fue continuo y permanente durante el proceso de secado que duro la madera en el horno secándose.

### 7.3 Resultado desarrollo de código en Google Sheets.

Se implemento una solución con un script que permitió habilitar el registro remoto con los datos enviados con la tarjeta electrónica, este script es un programa de funciones que indica las variables que van a ser recibidas desde el microcontrolador, con esto la hoja de calculo sabe que datos van a ser recibidos.

| Item | Time       | Temperatura | Humedad | Temperatura2 | Humedad2 | Temperatura3 | Humedad3 | Temperatura4 | Humedad4 | che0  | che1  | che2  | che3  | che4  | che5  | che6  | che7  | pt100_1 | pt100_2 | adc   | Menu |
|------|------------|-------------|---------|--------------|----------|--------------|----------|--------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|---------|-------|------|
| 127  | 7/12 15:21 | 21.90       | 65.00   | 26.00        | 87.00    | 21.00        | 64.00    | 21.00        | 64.00    | 13.69 | 14.09 | 13.47 | 13.47 | 12.41 | 12.94 | 12.19 | 12.19 | 14.00   | 17.00   | 11.90 |      |
| 128  | 7/12 15:26 | 21.00       | 71.00   | 19.00        | 70.00    | 19.00        | 64.00    | 20.00        | 73.00    | 14.95 | 14.77 | 13.51 | 15.46 | 13.85 | 13.74 | 12.32 | 14.45 | 17.00   | 17.00   | 11.00 |      |
| 129  | 7/12 15:31 | 21.00       | 67.00   | 18.00        | 75.00    | 19.00        | 64.00    | 20.00        | 73.00    | 14.07 | 15.06 | 13.51 | 16.88 | 12.87 | 15.16 | 12.32 | 15.91 | 15.00   | 19.00   | 11.00 |      |
| 130  | 7/12 15:36 | 21.00       | 67.00   | 15.00        | 83.00    | 16.00        | 64.00    | 18.00        | 91.00    | 14.07 | 18.75 | 19.14 | 22.57 | 12.87 | 18.09 | 18.41 | 21.84 | 15.00   | 18.00   | 11.00 |      |
| 131  | 7/12 15:41 | 21.00       | 69.00   | 15.00        | 90.00    | 16.00        | 64.00    | 17.00        | 98.00    | 14.50 | 22.06 | 19.14 | 28.03 | 13.63 | 21.49 | 18.41 | 30.24 | 15.00   | 18.00   | 11.00 |      |
| 132  | 7/12 15:46 | 21.00       | 69.00   | 15.00        | 98.00    | 17.00        | 99.00    | 18.00        | 100.00   | 14.50 | 28.07 | 29.07 | 30.17 | 13.35 | 30.48 | 33.68 | inf   | 17.00   | 19.00   | 11.00 |      |
| 133  | 7/12 15:51 | 21.00       | 68.00   | 16.00        | 100.00   | 19.00        | 98.00    | 19.00        | 100.00   | 14.32 | 30.21 | 27.98 | 30.15 | 13.24 | inf   | 30.00 | inf   | 18.00   | 19.00   | 11.00 |      |
| 134  | 7/12 15:56 | 21.00       | 68.00   | 18.00        | 100.00   | 20.00        | 98.00    | 19.00        | 100.00   | 14.28 | 30.17 | 27.94 | 30.15 | 13.1  | inf   | 29.87 | inf   | 18.00   | 21.00   | 11.00 |      |
| 135  | 7/12 16:16 | 21.00       | 66.00   | 19.00        | 100.00   | 22.00        | 96.00    | 21.00        | 100.00   | 13.86 | 30.15 | 26.01 | 30.09 | 12.64 | inf   | 26.02 | inf   | 21.00   | 23.00   | 11.00 |      |
| 1673 | 7/12 10:04 | 20          | 70      | 64           | 38       | 66           | 33       | 63.00        | 34.00    | 12.30 | 8.26  | 7.68  | 7.91  | 10.62 | 5.54  | 4.82  | 5.05  | 58.00   | 59.00   | 11.00 |      |
| 1674 | 7/12 10:14 | 20          | 68      | 64           | 38       | 67           | 30       | 65.00        | 34.00    | 14.30 | 8.26  | 7.33  | 7.82  | 13.17 | 5.54  | 4.40  | 4.98  | 60.00   | 60.00   | 11.00 |      |
| 1675 | 7/12 10:19 | 20          | 69      | 64           | 38       | 67           | 30       | 65.00        | 34.00    | 14.52 | 8.26  | 7.33  | 7.82  | 13.42 | 5.54  | 4.40  | 4.98  | 58.00   | 60.00   | 11.00 |      |
| 1676 | 7/12 10:24 | 20          | 69      | 64           | 37       | 67           | 30       | 65.00        | 34.00    | 14.52 | 8.16  | 7.33  | 7.82  | 13.42 | 5.41  | 4.40  | 4.98  | 62.00   | 60.00   | 11.00 |      |
| 1677 | 7/12 10:29 | 20          | 70      | 64           | 37       | 67           | 30       | 65.00        | 34.00    | 14.75 | 8.16  | 7.33  | 7.82  | 13.68 | 5.41  | 4.40  | 4.98  | 61.00   | 60.00   | 11.00 |      |
| 1678 | 7/12 10:35 | 20          | 69      | 62           | 32       | 66           | 30       | 63.00        | 34.00    | 14.52 | 7.74  | 7.37  | 7.91  | 13.42 | 4.83  | 4.44  | 5.05  | 58.00   | 60.00   | 11.00 |      |
| 1679 | 7/12 10:40 | 20          | 69      | 62           | 32       | 66           | 30       | 63.00        | 34.00    | 14.52 | 7.74  | 7.37  | 7.91  | 13.42 | 4.83  | 4.44  | 5.05  | 62.00   | 60.00   | 11.00 |      |

Figura 12: Hoja de calculo en la nube, se observan los datos registrados y que son enviados desde la tarjeta electrónica de monitoreo.

En la tabla de la figura 13 se observa el registro de datos que tubo el proceso de secado desde que ingreso madera verde con más de 100% de contenido de humedad hasta el secado de un 8% aproximadamente de CHE de acuerdo a lo mostrado y determinado por la tarjeta electrónica, dato calculado (Fig. 9 y Fig. 10), enviado por la tarjeta electrónica y registrado en la hoja de calculo, durante un periodo de 6 días aproximadamente.

## 7.4 Resultados en general

Los resultados del objetivo general de construir, desarrollar e implementar una tarjeta electrónica con conexión WiFi conectando sensores de humedad relativa y temperatura y determinar el contenido de humedad en equilibrio CHE de la madera, que permita monitorear de forma eficiente el proceso de secado de madera dentro de un horno convencional de forma local y remota (Fig. 12), se muestra a continuación con la información registrada y procesada.

(Figura 9 y Figura 10) y graficamos esos datos obtendríamos la siguiente grafica de la figura 13.

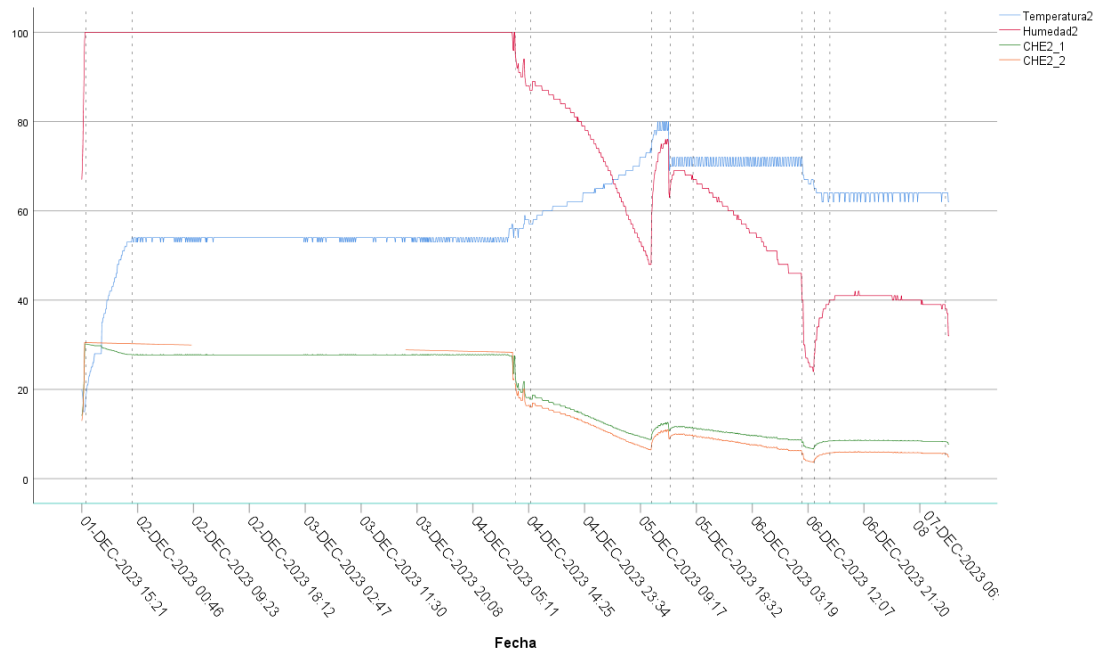


Figura 13: Grafica resultado de un solo sensor. Elaboración propia.

En la grafica se puede observar que a partir del lunes 4 de diciembre empieza a disminuir el contenido de humedad en equilibrio por debajo del punto de saturación de la fibra y a partir de ahi se toman los datos para realizar un Estadístico descriptivo.

### Estadísticos descriptivos

|                      | N           | Mínimo      | Máximo      | Media       |             | Desv. Desviación |
|----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------------|
|                      | Estadístico | Estadístico | Estadístico | Estadístico | Desv. Error | Estadístico      |
| Temp2                | 777         | 54          | 80          | 66.62       | .177        | 4.923            |
| Hum2                 | 777         | 24          | 95          | 57.47       | .625        | 17.416           |
| CHE2_1               | 777         | 6.63        | 22.60       | 10.9050     | .11502      | 3.20602          |
| CHE2_2               | 777         | 3.66        | 21.07       | 8.7513      | .12684      | 3.53567          |
| Temp3                | 777         | 59          | 84          | 70.92       | .186        | 5.174            |
| Hum3                 | 777         | 17          | 85          | 50.03       | .511        | 14.236           |
| CHE3_1               | 777         | 5.38        | 16.78       | 9.3337      | .06388      | 1.78060          |
| CHE3_2               | 777         | 2.67        | 15.06       | 7.0532      | .07879      | 2.19625          |
| Temp4                | 777         | 57          | 80          | 67.80       | .171        | 4.756            |
| Hum4                 | 777         | 34          | 99          | 52.95       | .608        | 16.952           |
| CHE4_1               | 777         | 7.62        | 26.25       | 10.1341     | .10389      | 2.89598          |
| CHE4_2               | 777         | 4.85        | 28.31       | 7.8819      | .11820      | 3.29467          |
| PT100_1              | 777         | 55          | 80          | 66.81       | .188        | 5.242            |
| PT100_2              | 777         | 56          | 78          | 66.11       | .177        | 4.926            |
| N válido (por lista) | 777         |             |             |             |             |                  |

*Figura 14: Estadísticos descriptivos de los parámetros medidos por la tarjeta de monitoreo.*

En el Apéndice A se discute más a detalle el comportamiento de la gráfica de resultados.

## **8.- Conclusión.**

Se concluye que se logro el objetivo general de monitorear humedad relativa y temperatura que determine el contenido de humedad en equilibrio CHE, a través de construir, desarrollar e implementar una tarjeta electrónica con conexión WiFi conectando sensores, parámetro necesario para dar seguimiento al proceso de secado de madera, con ellos se concluye que el desarrollo e implementación del firmware programado en la tarjeta permitió monitorear de forma eficiente dentro de un horno convencional de forma local los parámetros antes mencionados y también de forma remota (Fig. 12), registrando y graficando los datos en hoja de calculo en la nube, lo que permite concluir que la programación en la hoja de calculo en la nube para recibir los datos y graficarlos fue satisfactoria.

## **9. Recomendaciones.**

### **9.1 Diseño y construcción del hardware del sistema.**

Si bien la tarjeta electrónica que se desarrollo fue suficiente para logra el monitoreo del secado de madera hay mucho por hacer como mejorar el diseño de la tarjeta tratando de eliminar ruido electrónico que se presento e influyo en las lecturas de los sensores, con ello se podría disminuir la desviación estándar al mejorar la lectura, de igual modo se podria buscar un sensor de mas calidad que su lectura sea mas eficiente.

### **9.2 Desarrollo e implementación del firmware.**

Recomendación para subsanar por software ruido electrónico, si observamos en las graficas como se registra la humedad relativa en un inicio que tenemos estabilidad en la lectura hay un sensor que muestra el comportamiento de un diente de sierra pero los otros no, los otros mantienen la lectura más estable, esto podría ser debido a una señal de ruido electrónico presente en la señal de los sensores, error que se podría subsanar agregando un filtro por software y que compensaría este tipo de errores o anomalías que se presentan en los desarrollos de tarjetas electrónicas, también se podría agregar una interfase de Bluetooth para modificar parámetros de configuración como tiempos de muestreo, tiempos de envío de información por ejemplo.

### **9.3 Configuración de la plataforma de visualización y almacenamiento remoto.**

Recomendación para ampliar potencial de hoja de calculo en la nube, el uso de la hoja de calculo en la nube permitió que el desarrollo logrado se convirtiera en una aplicación con mucha flexibilidad para registrar y mostrar los datos recibidos, esto lo convierte en una herramienta muy poderosa para manipular datos, puede ser ampliado su potencial ya que las prestaciones que tiene una hoja de calculo para registrar datos, para realizar cálculos, para presentar los datos en forma de datos dinámicos, cálculos estadísticos, gráficos de todo tipo, etc. y esta parte así como todo puede ser motivo de continuar con otros desarrollos para el área de secado de madera.

### **9.4 Recomendación objetivo general.**

El desarrollo de este proyecto permitió monitorear la interfase madera-aire dentro del horno de secado, revelando que el comportamiento prácticamente idéntico de los tres sensores sugiere la posibilidad de simplificar el diseño utilizando solo un sensor estratégicamente ubicado, de acuerdo al diseño del horno. Los resultados obtenidos validan la versatilidad del sistema para estudiar diferentes maderas y



secuelas de secado, sentando las bases para futuros monitoreos y análisis de los datos que se registren, mejorando y ampliando la tarjeta desarrollada como la mejora de sensores, la implementación de control adaptativo y la conversión del módulo de monitoreo en un sistema de control integral para hornos.

## 10.- Bibliografía

Aguilar & Nakano, 2021: Aguilar, R. M., & Nakano, J. , La industria maderera en México: situación actual y perspectivas. , 2021

- 1.- FAO, 2022: , El estado de los bosques del mundo , 2022,<https://www.fao.org/state-of-forests/es/>
- 2.- Bodig & Jayne, 1992: , Mechanics of wood and wood composites, 1992,
- 3.- Bergman et al., 2010: Bergman, R., Cai, Z., Carll, C. G., Clausen, C. A., Dietsberger, M. A., Falk, R. H., ... & Winandy, J. E. , Wood as an engineering material, 2010,
- 4.- Keey et al., 2000: Keey, R. B., Langrish, T. A. G., & Walker, J. C. F. , Kiln-drying of lumber., 2000,
- 5.- Simpson, 1991: Simpson, W. T. , Dry kiln operator's manual. , 1991,
- 6.- Simpson, 1973: Simpson, W. T. , Predicting equilibrium moisture content of wood by mathematical models., 1993,
- 7.- Resch, 2006: Resch, H. , High-quality drying of wood: The key to value optimization. Drvna industrija, 2006,
- 8.- Kollmann & Côté, 1968: Kollmann, F. F. P., & Côté, W. A., Principles of wood science and technology: , 1968,
- 9.- Thiam et al., 2022: Thiam, M., Méot, J. M., Rémond, R., & Mougél, E., A review on advanced control strategies for improving the drying process of wood., 2022,
- 10.- Pang, 2007: Pang, S. , Modeling of heat and mass transfer and related processes in timber drying. In A. W. K. Law, & H. T. Chua (Eds.), Transport Phenomena in Drying , 2007,
- 11.- Haque et al., 2020: Haque, M. N., Sharif, S., & Mohd, S., IoT-based real-time monitoring system for lumber drying kiln., 2020,
- 12.- Kagermann et al., 2013: Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J., Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. , 2013,
- 13.- Lasi et al., 2014: Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H. G., Feld, T., & Hoffmann, M., Industry 4.0. Business & Information Systems Engineering,, 2014,
- 14.- Tapia et al., 2021: Tapia et al., 2021, Towards a smart kiln drying: A review on the application of IoT in wood drying. , 2021,
- 15.- Vera et al., 2020: Vera, J., Torres, P., & Salazar, F. , Low-cost monitoring system for an industrial wood drying kiln based on IoT., 2020,
- 16.- ASTM D4442-20: ASTM D4442-20., Standard Test Methods for Direct Moisture Content Measurement of Wood and Wood-Based Materials. , 2020,
- 17.- NMX-C-470-2018: NMX-C-470-2018, Madera - Secado Técnico - Especificaciones. , 2018,
- 18.- Cruz de León, 2012: Cruz de León, J. , Tecnología de la Madera en México. , 2012,
- 19.- Google Cloud, 2023: Google Cloud, Google Sheets API, 2023,<https://developers.google.com/sheets>
- 20.- Microsoft Azure, 2022: Microsoft Azure, , Cloud Computing Services., 2022,<https://azure.microsoft.com/>
- 21.- Innovación Madera. (2023): Innovación Madera., Análisis de la brecha tecnológica en la industria maderera mexicana. , 2023,
- 22.- Espressif Systems. (2024): Espressif Systems, ESP32 Series Datasheet., 2024,[https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf)
- 23.- Forest Products Laboratory, 2021: Forest Products Laboratory, Wood handbook: Wood as an engineering material., 2021,<https://www.govinfo.gov/content/pkg/GOVPUB-A13-PURL-gpo158673/pdf/GOVPUB-A13-PURL-gpo158673.pdf>

## 11.- Apéndice A

### Discusión del monitoreo por zonas

En la figura 12 ya se mostró la tabla que se va generando al ir registrando los datos que va recibiendo la hoja de calculo en la nube y que son enviados por la tarjeta electrónica colocada en el horno de secado y se muestran los registros de 4 sensores SHT22, 2 sensores PT100 y 8 valores calculados CHE(1-8), de los cuales para nuestro proyecto usamos de manera directa para nuestro propósito, de dar seguimiento a la secuela de secado de la madera, usamos en especifico SHT22\_2, SHT22\_3 y SHT22\_4, los cuales son los colocados dentro del horno de secado de madera pegados en la madera en lo que es la interfase madera-aire y con lo que podemos monitorear los parámetros de humedad relativa y temperatura, con cada uno de ellos, en la interfase madera-aire y ese monitoreo se muestra en la siguiente grafica.

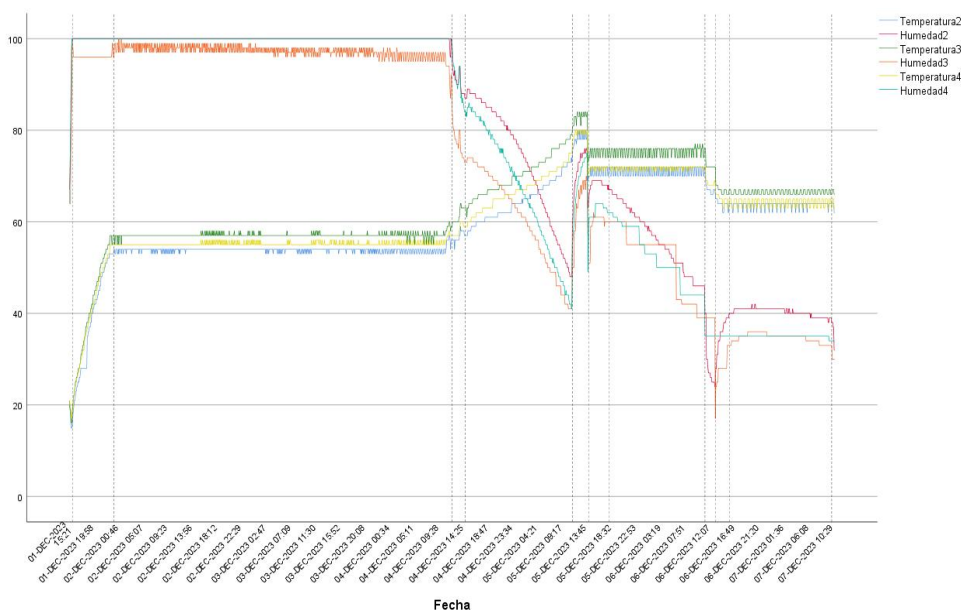


Figura 15: Grafica de señal de sensores SHT22\_2, SHT22\_3 y SHT22\_4.

En la grafica se muestra la señal de humedad relativa y temperatura de los sensores SHT22\_2, SHT22\_3 y SHT22\_4 que son los sensores colocados en el interior del horno de secado haciendo contacto con la madera en la interfase madera-aire y que son utilizados por la tarjeta electrónica para calcular el contenido de humedad en equilibrio de la madera. La ubicación de los sensores se muestra en la siguiente figura.



*Figura 16: Colocación de los sensores SHT22 y PT100 en la madera a secar dentro del horno de secado*

La grafica en la figura 16 al estar establecida en la hoja de calculo en la hoja denominada “Gráficos” muestra los parámetros habilitados y se van actualizando de forma automática conforme se van recibiendo los datos los cuales son mostrados en la tabla de la hoja “datos”.

Apoyándonos del software de IBM SPSS versión 25 obtenemos un grafico en el que se observa el comportamiento que tienen las variables temperatura2, humedad2, CHE2-1 y CHE2-2 y VolH2O (volumen de agua total contenida en madera secando).

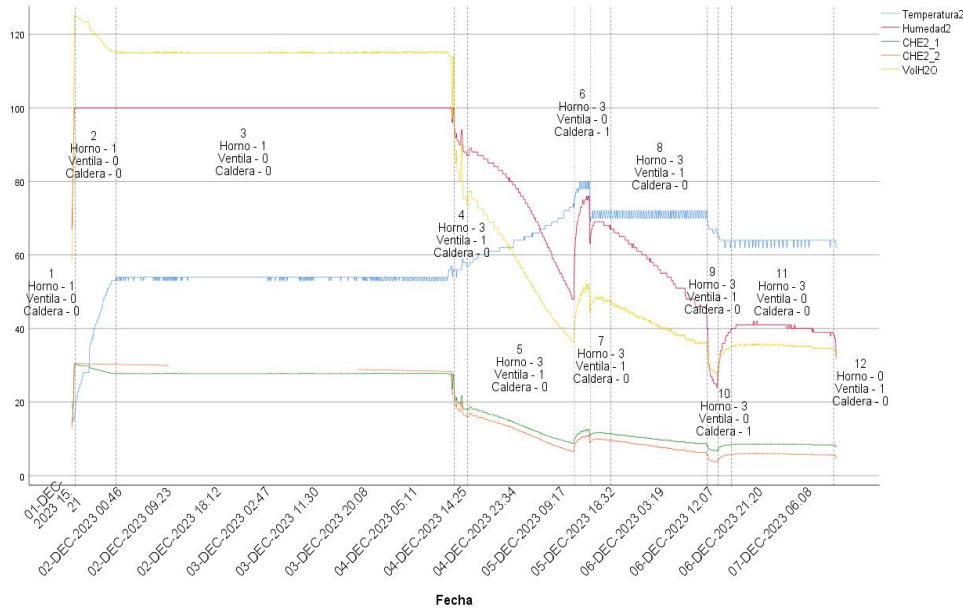


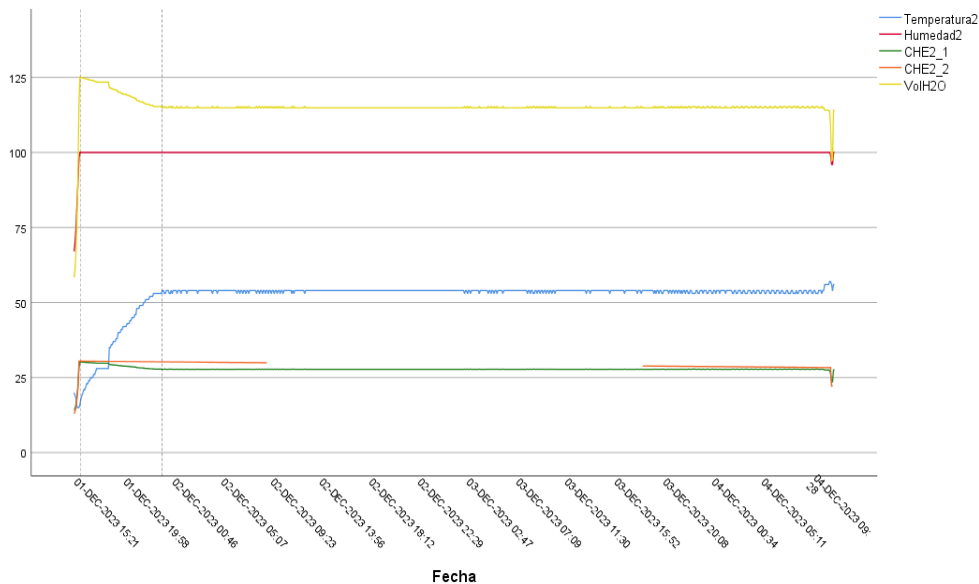
Figura 17: Grafica completa del monitoreo del proceso de secado de la madera.

Observando la grafica anterior revisaremos y haremos una descripción del comportamiento que se tuvo al registrar los datos obtenidos por el sensor SHT2 y que con base a esos datos de humedad y temperatura se obtuvo y se registro los valores de CHE2-1, de CHE2-2 y VolH2O.

El grafico esta seccionado en 12 etapas las cuales corresponden a cambios observados durante el proceso de registro y de manipulación del horno de secado, en el que lo que se controla en este horno es el encendido de la potencia eléctrica para el calentamiento, la ventilación para la expulsión de la humedad dentro del horno y la inyección de vapor de agua que se inyecta al interior del horno.

En la etapa 1 se observa como la humedad2 se incrementa hasta alcanzar un valor estable hasta el 100% de HR, esto es asi porque desde un principio se considero que no había razón para registrar valores mayores al 100% de humedad relativa, en el caso de la temperatura2 se observa que alcanza su estabilidad hasta el final de la zona 2 arriba de los 50°C, de igual manera se observa como CHE2-1 y CHE2-2 alcanzan el equilibrio hasta lo que podría indicar el PSF (punto de saturación de la fibra) al final de la etapa 1 y CHE2-1desciende hasta que se estabiliza al final de la etapa2 con lo que

observaríamos que existe equilibrio entre las condiciones ambientales dentro del horno y el contenido de humedad en la madera y se mantiene estable esto podemos observarlo hasta el final de la etapa 3.

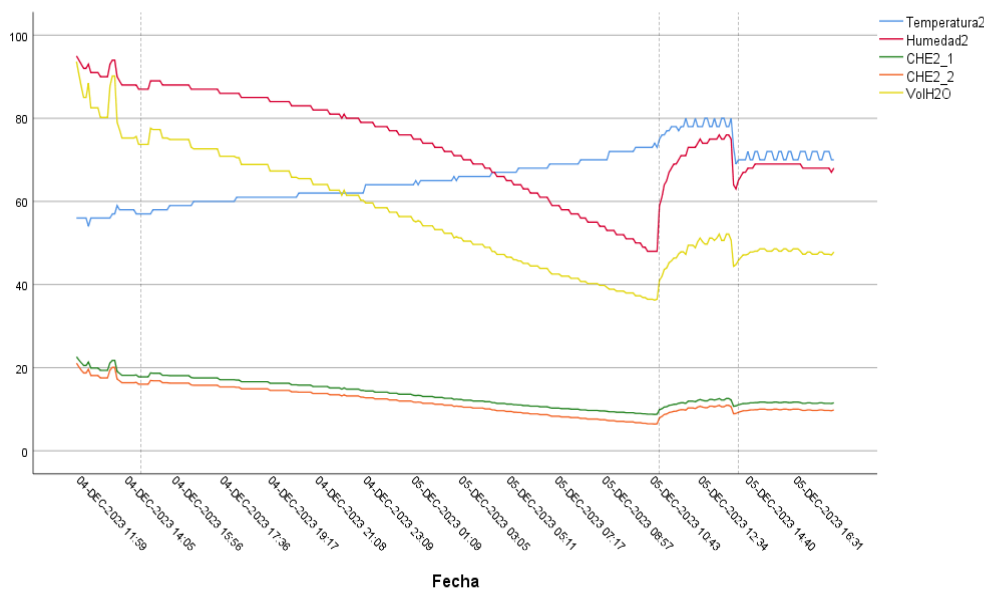


*Figura 18: Etapas 1, 2 y 3*

En estas condiciones el horno quedo activo su fuente de calentamiento en el primer nivel de potencia de calentamiento y las ventilas cerradas para no permitir la expulsión de la humedad relativa dentro del horno.

A partir de la etapa 4 se activa la potencia máxima de calentamiento del horno y se abre la ventila totalmente para expulsar la humedad relativa dentro del horno, en esta etapa se puede observar que la temperatura2 se incrementa y la humedad relativa desciende, lo mismo sucede a los valores calculados de CHE2<sub>1</sub>, CHE2<sub>2</sub> y VolH<sub>2</sub>O y se puede observar que estos 3 parámetros siguen la silueta que registra la humedad relativa aunque con otras magnitudes pero su comportamiento es muy similar. Se observa como en la zona de en medio de la etapa 4 va descendiendo la humedad relativa, se cierra la ventila y empieza a subir la humedad relativa, se vuelve a abrir la ventila y vuelve a descender la humedad relativa indicándonos el registro que se hace del monitoreo de los parámetros de humedad relativa y temperatura sigue la acción de cierre y apertura de la ventila del horno con lo que manipulamos manualmente el bloqueo o la expulsión de la humedad relativa dentro del horno, observamos como resultado que estos cambios de cierre y apertura de la ventila fueron en intervalos de 5 a 10 minutos lo que indica que el registro del monitoreo sigue el actuar de la manipulación de la ventila para controlar la humedad relativa y que es coherente con el monitoreo registrado por el sensor SHT22<sub>2</sub>, En esta grafica podemos comentar como resultado que la respuesta del monitoreo a las condiciones ambientales de temperatura y humedad relativa que se da en la frontera madera-aire, son un reflejo de

las condiciones ambientales que se generan y están presentes en la frontera madera-aire y que son un reflejo de como se esta dando la interacción del cambio de humedad en la frontera madera-aire, como interactúa la humedad relativa, temperatura con el contenido de humedad en equilibrio de la madera, estando en un estado transitorio hasta que alcanza la condición de equilibrio a las condiciones ambientales de humedad relativa y temperatura que tiene el horno en ese momento y cuando estas condiciones cambian nuevamente se entra a un estado transitorio hasta que nuevamente alcanza la condición de equilibrio a las nuevas condiciones ambientales. Otra condición que observamos es que la colocación del sensor en la frontera madera-aire y en un extremo del arpillado de la madera donde se da la salida del flujo de aire si vemos el nivel del arpillado de la madera como un canal que forma un túnel y en que consideramos que el flujo de aire recoge las condiciones ambientales que genera una atmósfera de temperatura y humedad relativa y su monitoreo se registra al final de este trayecto.



*Ilustración 19: Grafica etapas 4, 5, 6 y 7.*

En la etapa 6 se cierra la ventila y se deja de expulsar humedad del horno, también se enciende la caldera para inyectar vapor de agua al interior del horno, lo que provoca un incremento pequeño en la temperatura y un incremento mayor en la humedad relativa hasta que empiezan a alcanzar estabilidad saliendo de esa condición transitoria, al final de la etapa 6 se apaga la caldera y se deja de inyectar vapor de agua, se mantiene la ventila cerrada y se observa como decrementa tanto la temperatura como la humedad relativa y durante la etapa 7 se estabiliza la temperatura y la humedad relativa tarda mas pero también empieza a equilibrarse a las nuevas condiciones de humedad relativa y temperatura que se tienen en el interior del horno de secado.

Durante la etapa 8 se abre la ventila, no totalmente, para expulsar la humedad relativa de una manera mas suave debido a que en estas etapas ya se empieza a observar niveles de CHE2\_1 y CHE2\_2 de 10 a 8 niveles aproximados a los que se pretende secar la madera.

En la etapa 9 se inyecta vapor de agua y se cierra la ventila con lo que se entra a la etapa de igualamiento, la temperatura se estabiliza al final de la etapa 10.

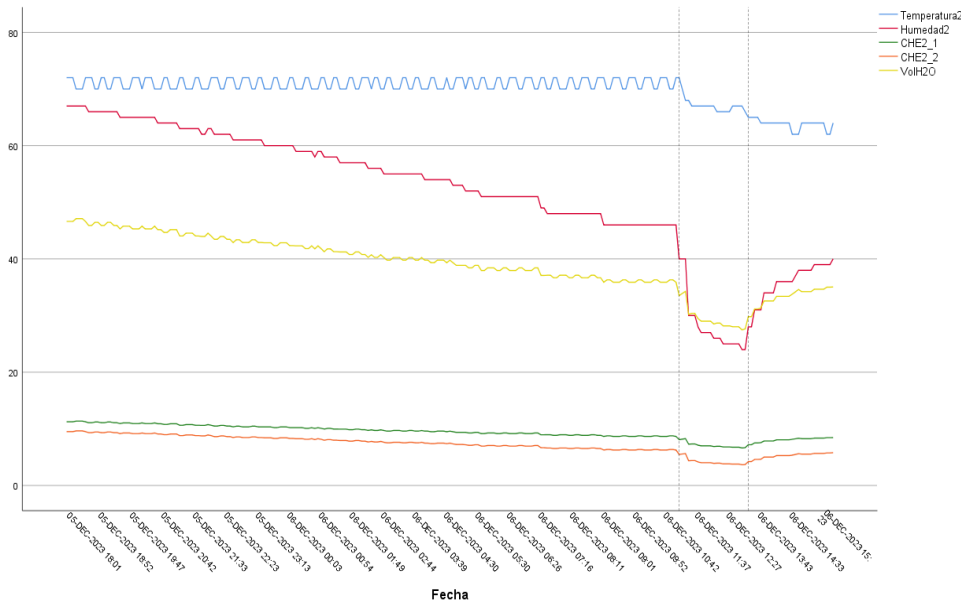


Figura 20: Grafica etapas 8, 9 y 10

Con esto el sistema de monitoreo conformado por la tarjeta electrónica a la que se le conectan 4 sensores de humedad y temperatura, 2 sensores de temperatura y que cuenta con comunicación WiFi y que de manera opcional puede enlazarse con un router GSM lo que permite enlazar y tener comunicación con una hoja de calculo en la nube como hojas de Google Sheet, la cual puede ser consultada desde cualquier punto geográfico que cuente con conexión a internet, forma el sistema de la tarjeta electrónica de monitoreo para procesos de secado en hornos de secado convencionales.



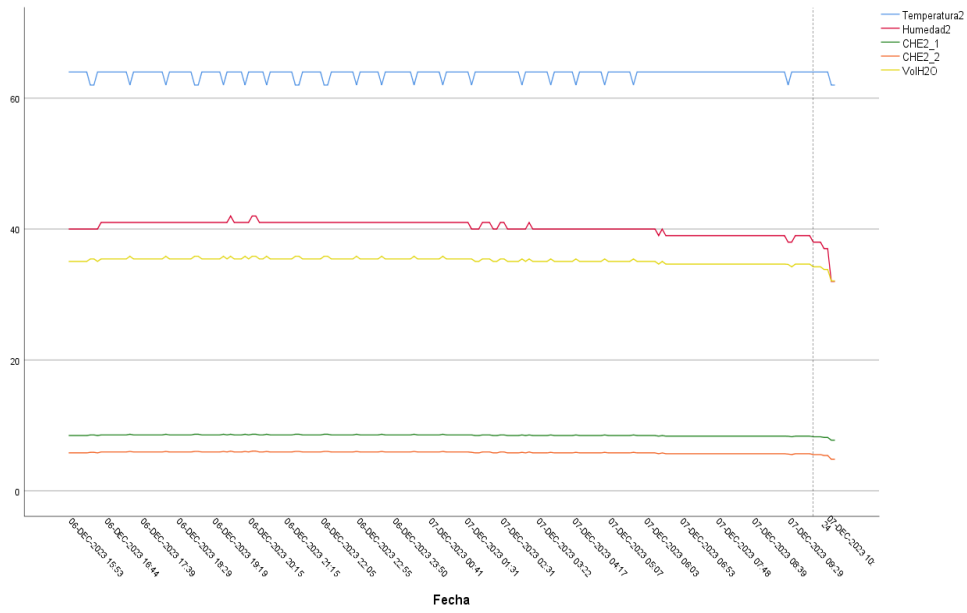


Figura 21: Grafica etapas 11 y 12

En la etapa 11 se cierra ventila y se mantiene la temperatura y se mantienen en equilibrio y al final de la etapa 11 se apaga el horno y en etapa 12 se abre ventila para dejar enfriar horno y expulsar humedad relativa.

# Gustavo Rojas Bravo

## Construcción y desarrollo de una tarjeta electrónica con conexión a internet para monitorear la humedad relativa y te...

 Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

### Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::3117:523533095

Fecha de entrega

5 nov 2025, 2:11 p.m. GMT-6

Fecha de descarga

5 nov 2025, 2:18 p.m. GMT-6

Nombre del archivo

Construcción y desarrollo de una tarjeta electrónica con conexión a internet para monitorear la ....pdf

Tamaño del archivo

2.2 MB

41 páginas

9320 palabras

53.229 caracteres

# 15% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

## Fuentes principales

- 14%  Fuentes de Internet
- 5%  Publicaciones
- 0%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

## Marcas de integridad

### N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

# Formato de Declaración de Originalidad y Uso de Inteligencia Artificial

Coordinación General de Estudios de Posgrado  
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo



A quien corresponda,

Por este medio, quien abajo firma, bajo protesta de decir verdad, declara lo siguiente:

- Que presenta para revisión de originalidad el manuscrito cuyos detalles se especifican abajo.
- Que todas las fuentes consultadas para la elaboración del manuscrito están debidamente identificadas dentro del cuerpo del texto, e incluidas en la lista de referencias.
- Que, en caso de haber usado un sistema de inteligencia artificial, en cualquier etapa del desarrollo de su trabajo, lo ha especificado en la tabla que se encuentra en este documento.
- Que conoce la normativa de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, en particular los Incisos IX y XII del artículo 85, y los artículos 88 y 101 del Estatuto Universitario de la UMSNH, además del transitorio tercero del Reglamento General para los Estudios de Posgrado de la UMSNH.

| Datos del manuscrito que se presenta a revisión |                                                                                                                                                            |                      |
|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| Programa educativo                              | Programa de Maestría en Ciencias y Tecnología de la Madera                                                                                                 |                      |
| Título del trabajo                              | Construcción y desarrollo de una tarjeta electrónica con conexión a inter para monitorear la humedad relativa y temperatura de un horno de seca de madera. |                      |
|                                                 | Nombre                                                                                                                                                     | Correo electrónico   |
| Autor/es                                        | Gustavo Rojas Bravo                                                                                                                                        | 2146646g@umich.m     |
| Director                                        | José Cruz de León                                                                                                                                          | jose.leon@umich.m    |
| Codirector                                      | Hector Manuel Sosa Villanueva                                                                                                                              | hector.sosa@umich.mx |
| Coordinador del programa                        | Abril Munro Rojas                                                                                                                                          | abril.munro@umich.mx |

| Uso de Inteligencia Artificial |             |             |
|--------------------------------|-------------|-------------|
| Rubro                          | Uso (sí/no) | Descripción |
| Asistencia en la redacción     | Si          | deepseek    |

# Formato de Declaración de Originalidad y Uso de Inteligencia Artificial

Coordinación General de Estudios de Posgrado  
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo



| Uso de Inteligencia Artificial             |             |                  |
|--------------------------------------------|-------------|------------------|
| Rubro                                      | Uso (sí/no) | Descripción      |
| Traducción al español                      | Si          | Google traductor |
| Traducción a otra lengua                   | No          |                  |
| Revisión y corrección de estilo            | No          |                  |
| Análisis de datos                          | No          |                  |
| Búsqueda y organización de información     | No          |                  |
| Formateo de las referencias bibliográficas | No          |                  |
| Generación de contenido multimedia         | No          |                  |
| Otro                                       | No          |                  |

| Datos del solicitante |                                              |
|-----------------------|----------------------------------------------|
| Nombre y firma        | Gustavo Rojas Bravo                          |
| Lugar y fecha         | Morelia, Michoacán a 04 de noviembre de 2025 |