

Facultad de Tecnología de la Industria

Diseño de sistema automático para monitoreo de la cinemática del secado de madera en un horno solar, evaluando condiciones de convección natural y convección forzada, ubicado en las instalaciones del programa institucional de la madera (PIMA) de la UNI RUPAP

Trabajo monográfico para optar al título de ingeniero mecánico.

Elaborado por:

Br. Brayan
Alexander Álvarez
Torres.

Carnet: 2014-0911U

Br. Brian Ernesto
Espinoza Vicente

Carnet: 2015-
0156U

Br. Rodrigo José
Mendoza Zeledón.

Carnet: 2015-
0273U

Tutor:

Ing. Mary Triny
Gutiérrez

10 de junio de 2022

Managua, Nicaragua



DEDICATORIA

Primordialmente a Dios quien nos ha dado la vida y fortaleza para culminar este proyecto de investigación.

A nuestros Padres y aquellos considerados como padres y familiares cercanos, gracias a sus sacrificios y abnegaciones, que apoyaron incondicionalmente para culminar la carrera universitaria pese a todas las adversidades, en especial a un gran Padre de familia quien en vida fuera Rodrigo Casimiro Mendoza Rizo, de igual forma a nuestros hermanos que han sido un apoyo fundamental.

A nuestros amigos y amigas, a todas las personas que de una u otra manera supieron apoyarnos en esta etapa, difícil pero muy apasionada y hermosa.

A nuestra tutora por su prologado y constante apoyo en el desarrollo de este documento, MSc. Ing. Mary Triny Gutiérrez Mendoza.

LOS AUTORES



Agradecimientos

Agradecemos principalmente a Dios por bendecir nuestras vidas, por la oportunidad de realizar este estudio, por estar presente en todas las etapas vividas hasta el momento, por ser apoyo y fortaleza en esos momentos de dificultad y debilidad. De la misma manera agradecer a nuestra familia, primordialmente a nuestras madres, por apoyarnos siempre, por sus consejos, por sus valores y por su constante empeño en hacernos buenas personas, pero lo más importante, su amor.

Agradecemos a los docentes de la Universidad Nacional de Ingeniería por compartir sus conocimientos a lo largo de la preparación de la carrera, en especial a la ingeniera Mary Triny Gutiérrez Mendoza, asesora de nuestro proyecto de investigación, quien lo orientó con su paciencia, integridad como docente y sus invaluable aportes a nuestra investigación.

De igual manera agradecemos a todos los involucrados y amigos que aportaron un poco de su conocimiento y esfuerzo para lograr finalizar esta investigación de los cuales destacan Ing. Yosdany Palacios, Ing. Claudia Jalina, Juan Antonio Moreno Tinoco y su madre, Nohemí Tinoco; Claudio Chavarria, Dickson Sains, Marilyn Flores, Manyell Arauz, Brandon Saavedra, a una amiga de la infancia, Sarahi Flores, por sus 21 años amistad. A todos ellos mil gracias esto no se podría haber logrado sin su gran ayuda.

A Valeria Zeledón por su incondicional apoyo y motivación para lograr las metas de su amado esposo, Rodrigo Mendoza.

En aporte científico, técnico e investigativo de las áreas multidisciplinarias abarcadas en este documento, agradecemos a los profesionales, Ing. Mecánico enfocado en el diseño industrial y automatización, Richard Valverde; Ing. Electrónico enfocado en automatización, investigación, telecomunicación y desarrollo web, Ricardo Jarquín; Ing. Industrial especializado con maestría en la planificación de la producción, Pietro Silvestri. Ing. Industrial especializada con doctorado en metalurgia e investigadora, Krishna Brautigam.



Diseño de sistema automático para monitoreo de la cinemática del secado de madera en un horno solar, evaluando condiciones de convección natural y convección forzada, ubicado en las instalaciones del Programa Institucional de la Madera (PIMA) de la UNI-RUPAP

Finalmente agradecemos al programa institucional de la madera (PIMA) ubicado en el Recinto Universitario Pedro Arauz Palacios (RUPAP), por el apoyo en la medida de lo posible hacia nuestro proyecto y esperamos este documento sea de mucha utilidad para ellos.



Resumen

En Nicaragua la industria de madera y sus derivados en un área que está en avance día con día, una de las etapas más esenciales es el secado y esta comúnmente se realiza exponiendo principalmente los productos directamente al sol colocándolos sobre el piso.

En el programa institucional de la madera (PIMA) ubicado en el Recinto Universitario Pedro Arauz Palacios (RUPAP) está instalado un horno solar de secado de madera que no posee ningún sistema de control de temperatura y monitoreo. Este proceso de secado produce pérdidas y disminuye la calidad del producto seco pues no se tiene ninguna medida de la madera en tiempo real y no se puede analizar a detalle el secado y comportamiento del horno para lograr alcanzar mejores resultados.

Frente a esta problemática, sistema automático para monitoreo de la cinemática del secado de madera en un horno solar, evaluando condiciones de convección natural y convección forzada, es una eficiente solución a este problema que posibilita la conservación de las propiedades físicas de la madera, protección contra la contaminación ambiental y un control mucho más detallado hacia el secado de madera, sus parámetros. Este funcionamiento se basa en la utilización de un sistema capaz de controlar y monitorear los parámetros del horno en dos modos: Convección Natural (Manual) y Convección Forzada (Automático). El objetivo principal del modo manual es monitorear los parámetros sin incidir en ellos con ventiladores y ningún tipo de trabajo, solo la carga solar y el objetivo del modo automático es monitorear y de controlar los parámetros internos del horno por medio de actuadores, para que se produzca el secado del producto en la cámara de secado y determinar el mejor tipo de secado para la madera en cuestión.

El presente trabajo de tesis define los parámetros de diseño, automatización y operación de un sistema automático para monitoreo de la cinemática del secado de madera en un horno solar, evaluando condiciones de convección natural y convección forzada.



Summary

In Nicaragua, the wood industry and its derivatives is an area that is advancing day by day, one of the most essential stages is drying and this is commonly done by exposing the products directly to the sun by placing them on the floor.

In the institutional wood program (PIMA) located at the Pedro Arauz Palacios University Campus (RUPAP) there is a solar wood drying kiln that does not have any temperature control and monitoring system. This drying process produces losses and decreases the quality of the dried product because there is no real time measurement of the wood and it is not possible to analyze in detail the drying and behavior of the kiln to achieve better results.

Faced with this problem, an automated system for monitoring the kinematics of wood drying in a solar kiln, evaluating conditions of natural convection and forced convection, is an efficient solution to this problem that enables the preservation of the physical properties of wood, protection against environmental pollution and a much more detailed control of wood drying parameters. This operation is based on the use of a system capable of controlling and monitoring the kiln parameters in two modes: Natural Convection (Manual) and Forced Convection (Automatic). The main objective of the manual mode is to monitor the parameters without influencing them with fans and any type of work, only the solar load, and the objective of the automatic mode is to monitor and control the internal parameters of the kiln by means of actuators, so that the drying of the product in the drying chamber takes place and to determine the best type of drying for the wood in question.

This thesis work defines the design, automation and operation parameters of an automaton system for monitoring the kinematics of wood drying in a solar kiln, evaluating natural convection and forced convection conditions.

Índice de Contenido

I.	Introducción.....	1
II.	Antecedentes	3
III.	Justificación.....	5
IV.	Objetivos	6
4.1.	Objetivo General	6
4.2.	Objetivos Específicos.....	6
V.	Marco teórico	7
5.1.	Componentes del secador solar.....	7
5.1.1.	Techo del Horno Solar.....	7
5.1.2.	Colector.....	7
5.1.3.	Ventiladores.....	8
5.1.4.	Ventilas.....	8
5.1.5.	Paredes, puertas y ventanas.....	8
5.2.	Proceso actual de secado de madera	9
5.2.1.	Condiciones del horno de secado de madera previo al sistema automático	10
5.3.	Eficiencia del sistema.....	11
5.3.1.	Eficiencia Térmica	15
5.3.2.	Eficiencia del colector solar de aire.....	16
5.3.3.	Eficiencia del secado.....	17
5.4.	Condiciones óptimas de secado de la madera	19
5.4.1.	Endurecimiento.....	19
5.4.2.	Grietas superficiales	19
5.4.3.	Grietas internas	20
5.4.4.	Apilamiento de madera.....	20
5.5.	Ecuaciones para el cálculo del apilado de madera.....	22

5.5.1.	Número de tablas de la cara frontal de la pila	22
5.5.2.	Número de filas de tablas que tiene cada pila	23
5.5.3.	Número total de tablas en la pila	23
5.6.	Evaluación del sistema autómeta bajo los parámetros de los estados finitos.....	23
5.7.	Coeficiente De Correlación De Karl Pearson.....	24
5.7.1.	Datos no agrupados	25
5.7.2.	Para datos agrupados	26
VI.	Hipótesis y variables	28
6.1.	Hipótesis De Investigación (Hi)	28
6.2.	Hipótesis Nula (H0)	28
6.3.	Hipótesis Alternativa (Ha).....	28
6.4.	Cuadro de variables	28
VII.	Diseño Metodológico	31
7.1.	Ubicación geográfica del proyecto	31
7.2.	Enfoque de la investigación	31
7.3.	Diseño de investigación	31
7.4.	Método de investigación.....	31
7.5.	Método de recolección de datos.....	31
7.6.	Procesamiento de los datos	32
VIII.	Instrumentación y equipos.....	33
8.1.	Equipos de medición usados en el censo piloto	33
8.1.1.	Medidor de humedad de madera Merlín HM8-WS13.....	33
8.1.2.	Higrotermómetro digital	34
8.1.3.	Medidor de temperatura por contacto	34
8.1.4.	Multímetro para mantenimiento industrial con gancho	35
8.2.	Elementos del sistema autómeta	36

8.2.1.	Arduino mega 2560	36
8.2.2.	Sensor de temperatura y humedad relativa DHT22	37
8.2.3.	Sensor de temperatura LM35	38
8.2.4.	Sensor de humedad relativa YL-69.....	38
8.2.5.	Keypad de membrana 4x3.....	39
8.2.6.	LCD I2C 16x4	40
8.2.7.	Reloj RTC DS3231	40
8.2.8.	Lector de MICRO SD WH-125.....	41
8.2.9.	Módulo relay 4 canales	41
8.2.10.	Estabilizador descendente DC-DC LM2596.....	42
8.2.11.	Contactador ABB AF16-30-10-13.....	43
8.2.12.	Fuentes de Alimentación 5V 3Amp.....	43
8.2.13.	Sensor de temperatura tipo sonda DS18B20.....	44
8.2.14.	Micro servo Motor torque 1.6kgf SG90	45
8.2.15.	Extractor Fulgore 8" 25W 950m ³ /h.....	45
8.2.16.	Extractor Fulgore 12" 43W 1900m ³ /h.....	46
8.2.17.	Opamp Lm358.....	46
8.2.18.	Resistencia 10MOhm 1W	47
8.2.19.	Termocupla tipo k	48
8.2.20.	Siemens LOGO! POWER 24V 1,3A	48
8.2.21.	Guarda motor siemens	49
8.2.22.	Cable de Red UTP CAT-5E.....	50
8.2.23.	Gabinete metálico ATLANTIC.....	52
8.2.24.	Modulo Bluetooth HC05.....	53
IX.	Propuesta de diseño	54
9.1.	Propuesta de Funcionalidad y operación del sistema automático.....	54

9.1.1.	Propuesta del apilado de madera	54
9.1.2.	Propuesta de proceso de secado.	56
9.1.3.	Propuesta en modos de operación y control del sistema automática. 57	
9.2.	Propuesta en la alimentación y distribución inicial del sistema	59
9.2.1.	Análisis de los consumos eléctricos.....	59
9.2.2.	Selección del conductor.....	61
9.2.3.	Dimensionamiento de transformadores	62
9.2.4.	Cálculo de longitud	62
9.2.5.	Calculo de caída de tensión.....	65
X.	Parametrización, diseño y construcción del sistema automática	67
10.1.	Diseño del sistema automática para censo y monitoreo de la temperatura y humedad interna del horno	67
10.1.1.	Diseño y construcción del prototipo inicial	67
10.1.2.	Rediseño y mejoras al sistema automática	72
10.1.3.	Diseño y construcción de Prototipo Final	75
10.1.4.	Monitoreo y censado de prueba inicial.....	76
10.1.5.	Plan de mantenimiento	78
10.1.6.	Presentación final del sistema automática.....	79
10.1.7.	Costos de proyecto.....	79
XI.	Modo de operación de la interfaz	82
11.1.	Interfaz del sistema Automata.....	82
11.1.1.	Inicio.....	83
11.1.2.	Pantalla principal	83
11.1.3.	Pass de Acceso.....	84
11.1.4.	Menú de Control	85
11.1.5.	Modo de operación	85

11.1.6. Temperatura ON/OFF en Modo Automático	86
11.1.7. Apertura de ventilas en modo automático	86
11.1.8. Accionamiento de motores en Modo Manual	87
11.2. Guardado de datos	88
11.2.1. Archivo de texto	88
11.2.2. Hoja de Cálculo de Excel	89
XII. Análisis de resultados	91
12.1. Caracterización el proceso actual de secado de madera del programa institucional de la madera (PIMA) de la UNI RUPAP	91
12.1.1. Funcionamiento inicial (mayo 2019)	91
12.1.2. Censo inicial de la temperatura y humedad dentro del horno	91
12.1.3. Eficiencia actual de horno	92
12.1.4. Análisis de la cinemática actual del secado de madera	93
12.2. Análisis del comportamiento de la cinemática del secado de la madera en condiciones de convección natural y convección forzada, mediante el sistema autómatas	95
12.2.1. Análisis del comportamiento de la cinemática del secado de la madera en condiciones de convección natural	96
12.2.2. Análisis del comportamiento de la cinemática del secado de la madera en condiciones de convección forzada	99
12.3. Comparativa de la cinemática del secado actual de la madera con respecto a la implementada por el sistema autómatas para la identificación del proceso más eficiente en el horno solar	102
12.3.1. Comparativa de la cinemática en convección natural y convección forzada	102
12.3.2. Identificación del proceso más eficiente en el horno solar	106
XIII. Conclusiones	111
XIV. Recomendaciones	112

XV. Anexo.....	114
Anexo 1. Medición Piloto Inicial temperatura Externa e Interna del horno ..	114
Anexo 2. Resumen Censo Piloto Inicial	115
Anexo 3. Medición Inicial temperaturas del colector solar.....	116
Anexo 4. Plano de medidas Horno Solar	117
Anexo 5. Medición Humedad Interna de la Madera en el proceso actual de secado.....	118
Anexo 6. Tabla de Calibres de conductores AWG.....	119
Anexo 7. Gráfico de variaciones de temperatura (T prom-T) según ubicación	120
Anexo 8. Valores resistivos según el tipo de madera y porcentaje de Humedad.	121
Anexo 9. Mediciones en campo del consumo en el sistema Automata	122
Anexo 10. Pruebas Internas de confiabilidad del sistema	123
Anexo 11. Pruebas Externas de confiabilidad del sistema.....	124
Anexo 12. Circuitos electrónicos del sistema automática	125
Anexo 13. Conexiones del circuito electrónico del sistema en PCB.....	126
Anexo 14. Datos meteorológicos de UNI-RUPAP según sitio oficial climatológico de la NASA 2021.....	127
Anexo 15. Datos meteorológicos de UNI-RUPAP según sitio oficial climatológico de la NASA 2019.....	128
Anexo 16. Costos de tarifa energética para el mes de septiembre y octubre del 2021.	129
Anexo 17. Tasa de cambio de córdoba a dólar según el banco central de Nicaragua.....	130
Anexo 18. Propiedades del aire a 1 atm	131
Anexo 19. Resistencia Térmica	132
Anexo 20. Propiedad de materiales de construcción	133

Anexo 21. Detalle de apilamiento de madera en horno	134
Anexo 22. Propiedades Termodinámicas del agua.....	135
Anexo 23. Datos meteorológicos de UNI-RUPAP según sitio oficial climatológico de la NASA (septiembre-octubre 2021).....	136
Anexo 24. Datos meteorológicos de UNI-RUPAP según sitio oficial climatológico de la NASA (junio-julio 2021)	137
Anexo 25. Facturas	138
Anexo 26. Cotización Sistema Automata, Grupo Antón.....	150
Anexo 27. Tasa de Cambio de córdoba a dólares según el banco central de Nicaragua	151
XVI. Apéndice	152
16.1. Elaboración del sensor resistivo de madera.....	152
16.1.1. Acondicionamiento con Arduino	153
16.1.2. Configuración de sensor	155
16.1.3. Contenido de humedad del equilibrio de la madera (CHE)	155
16.2. Carga térmica en proceso actual (Mayo 2019).....	157
16.2.1. Calculo de carga térmica captada en el colector solar	157
16.2.2. Pérdida de calor a la máxima temperatura	161
16.3. Carga térmica en Convección Natural.....	172
16.3.1. Memoria de cálculo carga térmica captada en el colector solar ..	172
16.3.2. Memoria de cálculo carga térmica perdida para la temperatura promedio.....	174
16.4. Carga térmica en Convección Forzada.....	177
16.4.1. Memoria de cálculo carga térmica captada en el colector solar ..	177
16.4.2. Memoria de cálculo carga térmica perdida para la temperatura promedio.....	179
16.5. Eficiencia de secado por medio de convección natural	182

16.5.1. Muestreo primer apilamiento	182
16.5.2. Radiación Solar.	182
16.5.3. Disminución requerida de humedad	183
16.5.4. Masa total húmeda a evaporar	183
16.5.5. Calculo de eficiencia.....	184
16.5.6. Calculo de eficiencia para una humedad de 14%	185
16.6. Eficiencia de secado por medio de convección Forzada.....	187
16.6.1. Muestreo segundo apilamiento.....	187
16.6.2. Radiación Solar.	187
16.6.3. Disminución requerida de humedad	188
16.6.4. Masa total húmeda a evaporar	189
16.6.5. Calculo de eficiencia.....	189
16.7. Costos energéticos por producción.....	191
16.8. Código del Sistema Automata.....	195
XII. Bibliografía	217

Índice de Ilustraciones

Ilustración V.1.Horno Solar (Fuente propia)	7
Ilustración V.2.Horno Solar (Fuente propia)	7
Ilustración V.3.Localización del Horno Solar (Google Mapas)	10
Ilustración V.4. Esquema de aprovechamiento de calor en una maquina solar (Çengel, 2012)	12
Ilustración V.5. Esquema del horno solar. (a) En convección Natural. (b) En convección Forzada. (Fuente propia)	14
Ilustración V.6.Desempeño térmico del horno. (1) en convección Natural. (2) en convección Forzada. (Çengel, 2012).....	16
Ilustración V.7.Espacio mínimo de apilamiento con respecto al suelo Fuente: (CITEmadera), 2009)	21
Ilustración V.8. Apilamiento correcto de la madera.	22
Ilustración V.9. Dispersiones de los diferentes tipos de correlación	24
Ilustración V.10. Calculo de correlación en datos no agrupados, Excel.....	26
Ilustración VIII.1. Medidor de humedad de Madera Merlín	33
Ilustración VIII.2. Medidor de humedad y temperatura Ambiente	34
Ilustración VIII.3. Medidor de humedad y temperatura Ambiente	34
Ilustración VIII.4. Multímetro para mantenimiento industrial con gancho	35
Ilustración VIII.5. Arduino Mega 2560	36
Ilustración VIII.6. Sensor DHT22	37
Ilustración VIII.7. Sensor de temperatura LM35	38
Ilustración VIII.8. Sensor de humedad relativa YL-69.....	38
Ilustración VIII.9. Keypad de membrana 4x3.....	39
Ilustración VIII.10. LCD I2C 16x4	40
Ilustración VIII.11. Reloj RTC DS3231	40
Ilustración VIII.12. Lector de MICRO SD WH-125	41

Ilustración VIII.13. Módulo relay 4 canales	41
Ilustración VIII.14. Estabilizador descendente DC-DC LM2596	42
Ilustración VIII.15. Contactor ABB AF16-30-10-13	43
Ilustración VIII.16. Fuentes de Alimentación 5V 3Amp	43
Ilustración VIII.17. 8.2.13. Sensor de temperatura tipo sonda DS18B20	44
Ilustración VIII.18. 8.2.14. Micro servo Motor SG90	45
Ilustración VIII.19. Extractor Fulgore 8"	45
Ilustración VIII.20. Extractor Fulgore 12"	46
Ilustración VIII.21. Opamp Lm358	46
Ilustración VIII.22. Resistencia 10MOhm 1W	47
Ilustración VIII.23. Termocupla tipo k	48
Ilustración VIII.24. Siemens LOGO! POWER	48
Ilustración VIII.25. Guarda motor Siemens	49
Ilustración VIII.26. Cable de Red UTP CAT-5E	50
Ilustración VIII.27. Gabinete metálico ATLANTIC	52
Ilustración VIII.28. Modulo Bluetooth HC05	53
Ilustración IX.1. Circulación del aire dentro del horno	56
Ilustración IX.2. Modo de operación y control del sistema automática	58
Ilustración IX.3. Ubicación de los sensores DHT-22	63
Ilustración IX.4. Ubicación de sensores LM35 y YL69	64
Ilustración X.1. Componentes del horno solar	72
Ilustración X.2. Tarjeta electrónica PCB	79
Ilustración XI.1. Pantalla de bienvenida/ Inicio del sistema	83
Ilustración XI.2. Pantalla principal	84
Ilustración XI.3. Pass de acceso	84
Ilustración XI.4. Menú de control	85

Ilustración XI.5. Modo de Operación	85
Ilustración XI.6. Temperatura ON/OFF en modo Automático	86
Ilustración XI.7. Apertura de ventilas	87
Ilustración XI.8. ON/ OFF en Modo Manual.....	87
Ilustración XI.9. Archivos de texto	88
Ilustración XI.10. Base de datos del Horno en Excel	89
Ilustración XI.11. Base de Datos Ambiente Exterior	90
Ilustración XI.12. Tablas Dinámicas en Convección Natural y Forzada	90
Ilustración XVI.1. Diagrama de fuente de voltaje.....	153
Ilustración XVI.2. Diagrama de conexión de resistencia extraída de (Wandel, 2010).....	153
Ilustración XVI.3. Amplificador operacional extraída de (Wandel, 2010)	154
Ilustración XVI.4. Diagrama de conexión de amplificador operacional extraída de (Wandel, 2010)	154
Ilustración XVI.5. Diagrama del circuito del sensor. Fuente propia.....	154
Ilustración XVI.6: Pared este del horno solar	163
Ilustración XVI.7: Pared oeste del horno solar.....	163

Índice de Tablas

Tabla V.1. Separadores de madera con respecto a espesor de madera.	21
Tabla V.2. Cuadro de Variable	30
Tabla IX.1. Consumo de corriente del circuito electrónico	60
Tabla IX.2. Consumo de corriente del circuito eléctrico	61
Tabla IX.3. Consumo total de corriente	61
Tabla IX.4. Propiedades del conductor de corriente	62
Tabla IX.5. Distancia de cables a utilizar para sensor DHT-22	63
Tabla IX.6. Distancia de cables a utilizar para sensor LM35 y YL69	64
Tabla IX.7. Distancia de cables a utilizar para extractores de aire	65
Tabla IX.8. Distancia de cable total a utilizar	65
Tabla IX.9. Caída de tensión	66
Tabla X.1. Valores máximos y mínimos de censo piloto inicial	67
Tabla X.2: Consumo eléctrico del sistema	76
Tabla X.3. Plan de mantenimiento preventivo del horno	78
Tabla X.4. Costo del producto final	80
Tabla X.5. Cronograma de instalación	81
Tabla XII.1. Tabla de correlación H-T, Convección Natural	97
Tabla XII.2. Correlación T Colector, T Madera y %HR, convección natural	99
Tabla XII.3. Tabla de correlación H-T, Convección Forzada	100
Tabla XII.4. Correlación T Colector, T Madera y %HR, convección forzada ...	101
Tabla XII.5. Correlación Temperaturas del sistema, convección natural	102
Tabla XII.6. Correlación Temperaturas del sistema, convección forzada	104
Tabla XII.7. Tabla resumen, eficiencia a 37 días, convección natural	106
Tabla XII.8. Tabla resumen, eficiencia a 49 días, convección natural	107
Tabla XII.9. Tabla resumen, eficiencia a 20 días, convección forzada	108

Tabla XVI.1.Contenido de humedad en equilibrio.	156
Tabla XVI.2: Contenido de humedad en equilibrio (%) a diferentes valores de humedad relativa	156
Tabla XVI.3. Interpolación con respecto a la temperatura, propiedades del fluido	159
Tabla XVI.4. Datos, cálculo de resistencia global, perdida de calor por paredes	165
Tabla XVI.5. Valores de resistencia térmica, cálculo de resistencia global, perdida de calor por paredes	165
Tabla XVI.6. Velocidades, cálculo de resistencia global, perdida de calor por infiltraciones	169
Tabla XVI.7. Valores de resistencia térmica, cálculo de resistencia global, perdida de calor por infiltracion	169
Tabla XVI.8. Áreas, cálculo de resistencia global, perdida de calor por puertas	171
Tabla XVI.9.Datos, cálculo de carga térmica en convección natural, sistema autómatas	173
Tabla XVI.10: consumo eléctrico del sistema a lo largo del estudio realizado	192
Tabla XVI.11: Consto económico relacionado al consumo energético.	193

Índice de Grafica

Gráfica X.1. Proceso de construcción de Prototipo Inicial	75
Gráfica X.2. Censo de T- HR interna del horno 1ra Prueba.....	77
Gráfica X.3. Censo de T- HR externa del horno 1ra Prueba.....	77
Gráfica XII.1. % HR de Madera, primer censo.....	93
Gráfica XII.2. Humedad relativa de la madera	94
Gráfica XII.3. Temperatura interna del horno	94
Gráfica XII.4. Comparativo Humedad vs Temperatura en Horno- DHT22 en Convección Natural.....	97
Gráfica XII.5. Comportamiento global, convección natural	98
Gráfica XII.6. Comparativo Humedad vs Temperatura DTH22 en Convección Forzada.....	100
Gráfica XII.7. Comportamiento global, convección forzada	101
Gráfica XII.8. Comportamiento de temperaturas promedios diarios del sistema, convección natural	102
Gráfica XII.9. Comportamiento de %HR promedios diarios del sistema, convección natural	103
Gráfica XII.10. Comportamiento de temperaturas promedios diarios del sistema, convección forzada	104
Gráfica XII.11. Comportamiento de %HR promedios diarios del sistema, convección forzada	105
Gráfica XII.12. % HR de Madera, segundo censo, convección natural.....	106
Gráfica XII.13. Comparativo Parámetros internos- externos de %HR, convección natural.....	107
Gráfica XII.14. % HR de Madera, segundo censo, convección forzada.....	108
Gráfica XII.15. Comparativo Parámetros internos- externos de %HR, convección forzada.....	108

Gráfica XII.16.Comparativo Parámetros internos- externos de temperatura, convección natural	109
Gráfica XII.17. Comparativo Parámetros internos- externos de temperatura, convección forzada	110
Gráfica XVI.1. Configuración de sensor	155
Gráfica XVI.2. Horas promedio de arranque en convección forzada	191

Índice de Ecuaciones

Ecuación V.1. Trabajo neto en relación al trabajo.	14
Ecuación V.2. Trabajo neto en relación al calor	14
Ecuación V.3. Eficiencia térmica (Çengel, 2012).....	15
Ecuación V.4. Eficiencia Térmica del Colector solar.....	16
Ecuación V.5. Eficiencia de secado.	17
Ecuación V.6. Eficiencia en secadores convección natural	18
Ecuación V.7. Eficiencia en secadores convección forzada.	18
Ecuación V.8. Número de cara frontal.....	22
Ecuación V.9. Número de filas de tablas.....	23
Ecuación V.10. Número total de tablas en el apilamiento.....	23
Ecuación V.11. Correlación para datos no agrupados.....	25
Ecuación V.12. Correlación para datos agrupados	26

Índice de Diagramas

Diagrama X.1. Circuito del sistema Inicial	70
Diagrama X.2. Circuito de rediseño del sistema.....	74
Diagrama XI.1. Organigrama de operación de la interfaz.....	82



I. Introducción

Desde el comienzo de los tiempos la madera ha tomado un papel importante para la humanidad. En la prehistoria se desempeñó en el uso de lanzas, mazos, etc. Con el paso del tiempo esta fue empleada en la construcción de casas, carrozas, puentes y otras construcciones.

En Nicaragua la producción de este recurso se estimó en 130 mil m³, para el 2018 se reportó un aumento del 15.1% con respecto al anterior. Este recurso aporta anualmente al PIB (Producto Interno Bruto) del país 3,800 millones de córdobas. En todo proceso de producción de madera de calidad, esta debe pasar por un lapso de tiempo de secado. Actualmente, el método más frecuentemente usado por el país es el secado al aire libre, que da como resultado un secado no homogéneo de la madera, sin mencionar que la madera está propensa a deformaciones por el mal ordenamiento, fisuras causadas por el sol (secado a nivel perjudicial), contaminación y exposición a las polillas. Ante esta problemática, surge la implementación del secado de madera usando hornos solares, un método sin duda eficaz, pero no eficiente; Pese a ofrecer una zona hermética, al momento de revisar el nivel de humedad dentro de la madera se debe de abrir el horno, producto de la diferencia de temperatura con respecto al ambiente exterior se da como resultado una significativa pérdida del calor obtenido dentro del horno. Estos métodos afectan directamente en la calidad y durabilidad de la madera utilizada para hacer viviendas y muebles. Tal resultado conlleva a un producto de baja calidad y a su vez a un descenso en el nivel de exportación del mismo.

La automatización de los procesos industriales es un tema que se ve con mucha frecuencia hoy en día y su uso reduce el margen de error; por su rapidez en la producción, este tiende a marcar el inicio de una nueva era para la industria mundial; y la industria de Nicaragua no será la excepción.

Por ende, en esta investigación se lleva a cabo el diseño de un sistema automático usando el microcontrolador Arduino para obtener un monitoreo constante de la cinemática del secado de madera y a su vez aumentar la eficiencia del proceso,



teniendo como caso de estudio un horno solar, ubicado en las instalaciones del programa institucional de la madera (PIMA) de la UNI RUPAP,

El estudio considera distintos aspectos referentes a la caracterización del método actual para secar la madera, el desarrollo de un sistema automático utilizando Arduino, el análisis del comportamiento de la cinemática del secado actual al igual que utilizando el sistema a diseñar y por último la comparación de los resultados obtenidos de dichos análisis para determinar el modo más eficiente.



II. Antecedentes

La primera investigación para captar y exportar la energía solar se remonta a la antigüedad. Los egipcios descubrieron el “efecto del vidrio” es decir el hecho que un cuerpo expuesto al sol en un recipiente de vidrio se calienta más que al aire libre.

(Arévalo Villalta, 2015) menciona en el “Horno secador de madera con tecnología económica y amigable con el medio ambiente, que funcione de acuerdo a las necesidades y requerimientos del Programa Institucional de Madera (PIMA)” la elaboración de un prototipo en las instalaciones del programa institucional de la madera con fines experimentales. Esta investigación se elaboró utilizando como referencia el Horno de secado solar existente en las instalaciones del técnico de costa rica ubicado en Cartago al cual se realizó visitas técnicas en busca de un posible convenio de cooperación e intercambio de información.

(Villegas & Guevara, 2017) por medio de su tesis: “Diseño y construcción de un horno solar para el secado de madera dirigido a las pequeñas y medianas empresas del sector madera en Nicaragua”, plantearon proveer una alternativa, para el secado de la madera al Programa Institucional de la Madera (PIMA) y a las pymes del Municipio de Managua, que actualmente utilizan la madera como materia prima, para la fabricación de sus productos; Cabe destacar que las Pymes del sector madera no cuenta con este tipo de tecnología, para superar los problemas ocasionados en uno de los eslabones más importantes de la cadena de valor del sector madera mueble. Se realizó el diseño y construcción del horno solar ubicado en el Programa Institucional de la Madera.

(Oporta Fonseca & Mendoza Ruiz , 2017) realizaron el “prototipo de un sistema automatizado para el secado de madera en la corporación intermunicipal para el desarrollo local (cidel) en el municipio de catarina-masaya”. El trabajo consiste en el diseño, construcción e implementación de un prototipo automatizado para el proceso en el secado de madera en una cámara climatizada, controlando la temperatura y humedad relativa del ambiente interno, por medio de un código de programación basado en un microcontrolador. Se incorporan elementos electrónicos innovadores que trabajen de manera autónoma, regidos por un



código de programación para mejorar la eficiencia en el proceso y obtener una buena calidad de madera en menor tiempo.

En el artículo científico (Meza, Castillo, Ramírez, & Fuentes, 2017) se caracterizaron los parámetros físicos de funcionamiento del secador solar por convección forzada, se describió el nivel de percepción de las personas que se dedican al proceso de secado de la madera para fines industriales y se determinó la relación causa-efecto del tiempo de secado necesario para reducir el contenido de humedad de la madera desde el estado verde hasta un nivel apto para el uso. Esta investigación tiene un enfoque mixto por que posee elementos cuantitativos y cualitativos, se basa en un estudio experimental descriptivo clasificándose en un estudio correlacionar y debido al tiempo de ocurrencia de los hechos y registro de la información es Retro prospectivo.



III. Justificación

El presente trabajo pretende mejorar el proceso de secado de madera en las instalaciones del programa institucional de la madera (PIMA) de la UNI RUPAP. El programa cuenta con un horno solar cuyo proceso de control de variables es totalmente manual, lo que dificulta la rapidez del procesamiento de los parámetros internos y obliga a los trabajadores a tomar las mediciones dentro de la cámara de secado a elevadas temperaturas provocando que la carga térmica que este posea se transfiera al ambiente reduciendo la eficiencia de secado, por lo tanto es necesario implementar un innovador sistema que contribuya a solucionar estas problemáticas y así incrementar la eficiencia del mismo.

Este proyecto beneficiará directamente al programa institucional de la madera y todas las personas que laboran con este programa, al tener un control fiable y automatizado de los parámetros que intervienen en todos los aspectos funcionales del horno, impedirá daños en la madera, disminuirá el tiempo de secado y evitará que los trabajadores del programa se sometan a estrés térmico.



IV. Objetivos

4.1. Objetivo General

- Desarrollar sistema automático para estudio comparativo de la cinemática del secado de la madera en un horno solar, evaluando condiciones de convección natural y convección forzada.

4.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar el proceso actual de secado de madera en un horno solar para la estipulación de los parámetros iniciales del estudio.
- Diseñar un sistema automático para censo y monitoreo de la temperatura y humedad en un horno solar utilizando el método de máquinas de estado finito con un microcontrolador Arduino Mega.
- Analizar el comportamiento de la cinemática del secado de la madera en condiciones de convección natural y convección forzada, mediante el sistema automático.
- Comparar la cinemática del secado actual de la madera con respecto a la implementada por el sistema automático para la identificación del proceso más eficiente en el horno solar.



V. Marco teórico

5.1. Componentes del secador solar

Los elementos que componen el horno está basados en el prototipo que presento Guevara E & Villegas J (2017), y cuenta con los siguientes componentes:



Ilustración V.1.Horno Solar (Fuente propia)

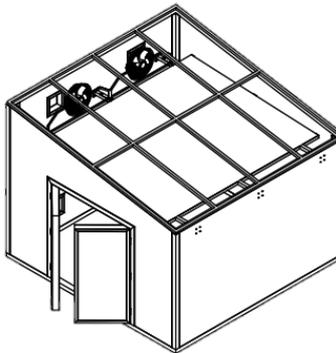


Ilustración V.2.Horno Solar (Fuente propia)

5.1.1. Techo del Horno Solar.

En el techo se capta la energía solar que calentara el aire interno de la cámara, el cual es el responsable del secado de la madera. Para su construcción se puede utilizar vidrio o lamina transparente; dando mejores resultados el vidrio.

5.1.2. Colector.

El colector está ubicado entre el techo y la pila de madera. La función de este componente es capturar la energía solar térmica, aumentando su temperatura y transmitiendo esta energía térmica al aire lo que produce que este se caliente, la presencia del colector impide que los rayos del sol incidan directamente sobre la



madera que se pretende secar, evitándole daños a superficie como las grietas y la decoloración.

Se recomienda utilizar una lámina de hierro con aproximadamente 3 mm de espesor, pintada con pintura anticorrosiva color negro mate.

5.1.3. Ventiladores.

La energía solar capturada en el colector debe ponerse en movimiento a lo interno de la secadora, a fin de que ese aire caliente circule entre la pila de la madera que se va a secar. La velocidad promedio del aire a través de la pila de madera que se seca de esta entre 1 m/s y 2 m/s, Si se tiene una velocidad más baja, el secado no es eficiente y si la velocidad es más alta, se pueden causar daños severos a la madera, como reventadora e incluso grietas.

5.1.4. Ventilás.

El aire caliente que circula a través de la pila de madera recoge la humedad que hay contenida en la madera, esa humedad llega a saturar el aire caliente y eleva la humedad relativa a lo interno del horno. Cuando esto ocurre, el secado se estanca y si esa humedad no se saca del horno se corre el riesgo de que el proceso de secado se detenga, e incluso, que la humedad retorne a la madera.

5.1.5. Paredes, puertas y ventanas.

La principal característica de los materiales de construcción para las paredes, puertas y ventanas, es que deben mantener el calor a lo interno de la cámara de secado, se busca que estos aseguren un aislamiento térmico adecuado y que sean de larga duración.

Para la construcción de paredes, puertas y ventanas se ha utilizado el poli estireno expandido como estructura principal y material aislante. Como forro externo e interno lamina galvanizado G70 Calibre 26, ampliamente disponible en el mercado nacional.

Si se requiere acabados más estéticos, se puede usar lámina corrugada como forro externo y lamina lisa como forro interno. También se puede usar el hierro



esmaltado número 26, aunque el costo de este es mayor; pero este último tipo de material tiene la ventaja de que no se corroe o herrumbra como el galvanizado.

Más importante que la estructura externa o interna de las paredes, es la selección del aislante adecuado y el espesor óptimo para que disminuya a su mínima expresión el flujo de calor hacia el exterior. Se ha utilizado fibra de vidrio flexible (lana de fibra de vidrio). Este material cubre todo el espacio que hay entre los forros internos y externos.

5.2. Proceso actual de secado de madera

El secador del PIMA usa como fuente de calor la energía del sol, que es gratuita y limpia, su funcionamiento no contamina.

Según la entrevista en (Gutiérrez & Zúñiga, 2018), este horno solar no utiliza ningún tipo de combustible fósil para ser operado lo que lo convierte en una herramienta ecológica ya que utiliza solamente la radiación solar para poder operar. Solamente se requiere una ubicación óptima para un mejor aprovechamiento.

Su techo está conformado de vidrio reforzado para aprovechar al máximo los rayos del sol y se incluyó una lámina de acero entre el techo y la estructura a manera de colector que permite que el aire fluya y caliente el horno para realizar la función de secado a través de un sistema de ventilación que seca uniformemente la madera conforme a los estándares de humedad de entre un 6 y 8 por ciento.

El horno posee además un sistema de ventilación que se abre para que el vapor salga al exterior y posteriormente continuar con el proceso de secado. El horno es alimentado con un sistema de energía eléctrica de 220 voltios porque tiene mayor potencia y disminuye los costos de energía.

El horno solar está ubicado en las instalaciones de recinto universitario Rigoberto López Pérez, exactamente en las coordenadas 12°08'08.6"N 86°13'28.6"W.



Ilustración V.3. Localización del Horno Solar (Google Mapas)

5.2.1. Condiciones del horno de secado de madera previo al sistema automático

Se observó que las compuertas en la parte superior e inferior de las ventilas están selladas, evitando la inserción y extracción del aire dentro del horno. Sin embargo, dentro de la cámara de secado, la diferencia de temperatura es notoria, una condición característica de un cuarto teóricamente hermético. Al examinarse a más detalle, se encontró con dos láminas de vidrio dañadas, comprometiendo la retención de temperatura del mismo. Como material adhesivo entre las láminas de vidrio y la estructura del horno, se utilizó silicona de grado industrial; un material cuya vida útil se encontraba finalizada y su reemplazo era necesario. Es notoria una falta de mantenimiento en las instalaciones del horno posterior a su instalación.

Pese a todo lo anteriormente mencionado, el PIMA, continúa utilizándolo en sus operaciones de secado, verificando el porcentaje de humedad de la madera, con un sensor de tipo capacitivo e introduciendo personal dentro del horno para dichas mediciones. Sin embargo, respondiendo al cuestionamiento inicial se puede decir lo siguiente:

La función principal del horno es el aprovechamiento de la radiación solar. Éste actúa bajo el concepto de efecto invernadero, es decir, al incidir radiación de onda corta por el vidrio transparente ubicado en el techo, esta onda es recibida por el colector y los rayos reflejados son devueltos por el vidrio del techo nuevamente hacia el colector, ganando temperatura. El calor se transfiere a la



madera presente en el horno mediante el aire, esto por medio de convección natural y forzada. Es importante mencionar que el proceso de medición de la humedad en la madera realizado por el personal, dura en promedio de 10 a 15 minutos.

Adicional al proceso de convección natural, existe otro método de secado muy poco utilizado por el PIMA, corresponde a la convección forzada. La ventilación forzada se hace imprescindible para el secado debido a que el aire debe circular varias veces por el apilamiento de madera. El aire que ya ha hecho su trabajo extrayendo la humedad dentro de la madera, es extraído y renovado del horno, desde las ventanas que tienen compuerta de regulación manual en la parte inferior de la cámara de secado.

Un equipo existente dentro del horno y a su vez de escasa utilidad por el PIMA son los ventiladores, característicos del proceso de secado en convección forzada. La velocidad de la circulación de aire producida por los ventiladores del techo debe ser controlada pues velocidades muy altas originan un secado perjudicial en la madera, mientras que velocidades muy bajas hacen muy lenta el proceso de secado. Guevara E & Villegas J (2017), mencionan que “Experimentalmente se obtienen condiciones óptimas de secado en la mayor parte de los casos cuando el aire circula en las pilas a una velocidad de 2 m/s. Si se utiliza velocidad de mayores sin un debido control puede comprometerse la calidad de la madera por cuanto se acelera considerablemente la tasa de evaporación de agua generándose un gradiente de humedad muy alto entre las superficies de la madera y su parte interna”. (pag.33).

5.3. Eficiencia del sistema

Según (Çengel, 2012), pagina 282, “*es posible caracterizar una maquina (o para este caso, un sistema térmico) de la siguiente manera:*

1. *Reciben calor de una fuente a temperatura alta (energía solar, horno de petróleo, reactor nuclear, etcétera).*
2. *Convierten parte de este calor en trabajo (por lo general en la forma de una flecha rotatoria).*



3. Rechazan el calor de desecho hacia un sumidero de calor de baja temperatura (la atmósfera, los ríos, etcétera).
4. Operan en un ciclo.

Las máquinas térmicas y otros dispositivos cíclicos por lo común requieren un fluido hacia y desde el cual se transfiere calor mientras experimenta un ciclo. Al fluido se le conoce como **fluido de trabajo.**”

Relacionándolo lo antes mencionado en el sistema de estudio mostrado en este documento, se tiene que parte del calor que recibe una maquina térmica se convierte en trabajo, mientras que el resto es rechazado aun suministro. (ver ilustración V.4):

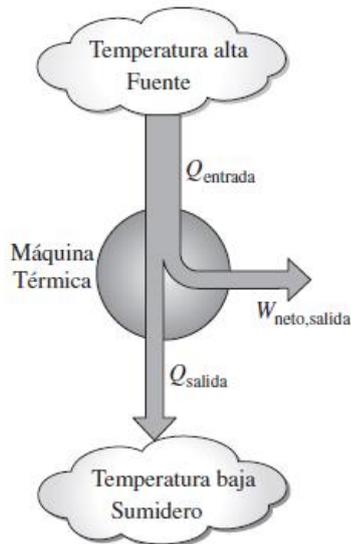


Ilustración V.4. Esquema de aprovechamiento de calor en una maquina solar (Çengel, 2012)

1. Se recibe el calor atreves de radiación solar según las condiciones climáticas presentes.
2. Aprovecha parte de ese calor elevando la temperatura en el medio y posterior (por transferencia de calor) en la evaporación del agua existente en la madera.
3. Rechaza el calor de desecho y a su vez la humedad extraída de la madera hacia el exterior (la atmósfera) o sumidero de calor.
4. Utilizando el aire como fluido de transferencia (o fluido de trabajo), el sistema opera en un ciclo incompleto.



(Çengel, 2012) también menciona que “*el término **máquina térmica** se usa con frecuencia en un sentido más amplio que incluye dispositivos que producen trabajo que no operan en un ciclo termodinámico. Las máquinas relacionadas con la combustión interna, como las turbinas de gas y los motores de automóviles, entran en esta categoría. Estos dispositivos operan en un ciclo mecánico, pero no en un ciclo termodinámico, porque el fluido de trabajo (los gases de combustión) no experimenta un ciclo completo. En lugar de ser enfriados a la temperatura inicial, los gases de escape se purgan y se reemplazan por una mezcla fresca de aire y combustible al final de ciclo.*”

Mismo es el caso de nuestro dispositivo, en el cual la radiación se genera en el sol, es decir, se produce fuera del sistema térmico y la radiación percibida de este proceso (según las condiciones climatológicas de la zona) se transfiere al colector en forma de calor. El esquema de esta máquina térmica en sus diferentes formas de operación (en convección natural y en convección forzada) se observa en la ilustración V.5 y las distintas cantidades mostradas en esta ilustración corresponden a:

Q_{entrada} = Cantidad de calor suministrada al colector desde la radiación solar percibida en la zona.

Q_{salida} = Cantidad de calor rechazado en conjunto con el vapor procedente de la madera hacia un sumidero de temperatura baja (atmósfera). En el caso de estudio en convección natural, la salida de calor estará determinada por las fugas a través de la estructura.

W_{salida} = Cantidad de trabajo requerido para reemplazar en el fluido de trabajo, previamente calentado y cargado de la humedad vaporizada de la madera, por una carga fresca de aire.

W_{entrada} = Cantidad de trabajo requerido para desplazar el fluido de trabajo hacia la zona de interés.

Observe que las direcciones de las interacciones de calor y trabajo se indican mediante los subíndices *entrada* y *salida*. Por lo tanto, las cuatro cantidades



descritas son positivas siempre. Para el caso de estudio en convección natural $W_{entrada}$ y W_{salida} son cero, dado la ausencia de energía cinética.

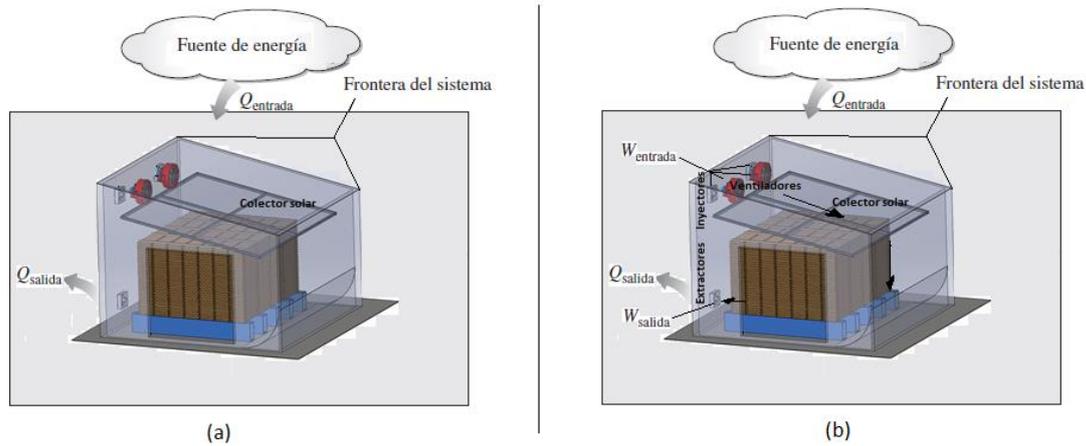


Ilustración V.5. Esquema del horno solar. (a) En convección Natural. (b) En convección Forzada. (Fuente propia)

Si bien, (Çengel, 2012) menciona que para “La salida de trabajo neto es la diferencia entre su salida de trabajo total y su entrada de trabajo total.”

$$W_{neto,salida} = W_{salida} - W_{entrada} (kJ)$$

Ecuación V.1. Trabajo neto en relación al trabajo.

Para el caso de estudio del documento, también menciona que “el trabajo neto también se puede determinar de los datos de transferencia de calor solamente.” Los cuatro componentes del horno solar tienen que ver con el flujo másico que entra y sale, por lo tanto, se deben considerar como un sistema abierto. Sin embargo, en el modo de operación por convección natural, estos componentes debido a las paredes del horno, mantienen la misma cantidad de fluido (sin contar el aire caliente que pudiera escapar por fallas de hermeticidad, por supuesto) lo cual se puede analizar como un sistema cerrado y, en consecuencia, la salida de trabajo neto del sistema también es igual a la transferencia de calor hacia el sistema:

$$W_{neto,salida} = Q_{entrada} - Q_{salida} (kJ)$$

Ecuación V.2. Trabajo neto en relación al calor

Recordando que la fuente de calor es el sol, el cual aumenta la temperatura del colector de radiación solar, el calor de entrada ($Q_{entrada}$) en el sistema estará



definido por la temperatura del colector solar y dado que el objetivo del sistema es la distribución del calor en la mayor cantidad de área interna posible para su posterior transferencia al apilamiento que se desee secar; la salida de trabajo neto ($W_{\text{neto,salida}}$) en el sistema está definido el calor percibido dentro del horno ($Q_{\text{aprovechado}}$). Así, se puede analizar para ambos métodos de operación, tanto en convección natural como en convección forzada, que entre más cercanos sean los valores de Q_{entrada} y $Q_{\text{aprovechado}}$, mas aprovechamiento de trabajo existirá en el sistema.

5.3.1. Eficiencia Térmica

En (Çengel, 2012) página 283, se menciona que en una maquina térmica, “*el calor de salida (Q_{salida}) representa la magnitud de la energía que se desperdicia con la finalidad de completar el ciclo. Pero Q_{salida} nunca es cero; de esta manera, la salida neta de trabajo de una máquina térmica es siempre menor que la cantidad de entrada de calor. Es decir, sólo parte del calor transferido a la máquina térmica se convierte en trabajo. La fracción de la entrada de calor que se convierte en salida de trabajo neto es una medida del desempeño de una máquina térmica y se llama eficiencia térmica (η_{ter}).*

Para las máquinas térmicas, la salida deseada es la de trabajo neto, mientras que la entrada que requieren es la cantidad de calor suministrado al fluido de trabajo. Entonces la eficiencia térmica de una máquina térmica se puede expresar como:

$$\text{Eficiencia térmica} = \frac{\text{Salida de trabajo neto}}{\text{Entrada de calor total}}$$

O bien,”

$$\eta_{\text{ter}} = \frac{W_{\text{neto,salida}}}{Q_{\text{entrada}}} = 1 - \frac{Q_{\text{perdido}}}{Q_{\text{total}}}$$

Ecuación V.3. Eficiencia térmica (Çengel, 2012)

De lo antes mencionado se observa en la ilustración V.3. un esquema aplicable a ambo métodos de operación, donde la eficiencia del sistema está relacionada con el aprovechamiento del calor obtenido en el colector y la distribución del



mismo sobre el interior del horno. Las distintas cantidades mostradas en esta ilustración corresponden a:

Salida de trabajo = Cantidad de calor transferido desde el colector hacia el ambiente dentro del horno.

Entrada de calor = Cantidad de calor suministrada al colector desde la radiación solar percibida en la zona.

Calor de desecho= el calor no aprovechado por fugas en el sistema.

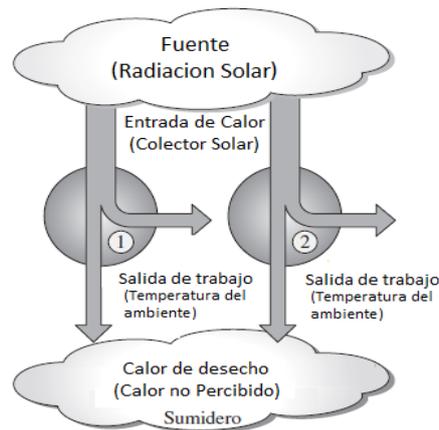


Ilustración V.6. Desempeño térmico del horno. (1) en convección Natural. (2) en convección Forzada. (Çengel, 2012)

5.3.2. Eficiencia del colector solar de aire.

Según (Roa Marín & Ortega Torres, 2011, pág. 79), una variable habitual para controlar en los dispositivos de secado dotados de calentadores solares de aire. Valores comunes para calentadores de placa plana en convección natural se encuentran en el rango del 40-60 %, siendo mayores para convección forzada con el caudal másico de aire adecuado. La eficiencia del calentador de aire se define según se muestra en la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{Q_u}{IT * A_c}$$

Ecuación V.4. Eficiencia Térmica del Colector solar



Donde:

A_C = Superficie de captación (m^2).

IT = Radiación total incidente sobre la superficie inclinada del colector (W/m^2).

Q_u = Calor útil que desplaza el aire a su paso por el colector (W).

5.3.3. Eficiencia del secado.

(Guereñu, 2012, pág. 29) menciona que, para esta eficiencia, el resultado final está en función de las temperaturas de entrada y de salida de la corriente. Este valor también recibe el nombre de (pick-up efficiency) en inglés.

$$\eta_p = \frac{W_0 - W(t)}{\rho * V_a * t * (\omega_{2a} - \omega_1)}$$

Ecuación V.5. Eficiencia de secado.

Donde:

W_0 = Representa el peso inicial (kg).

$W(t)$ = Representa el peso del producto tras un tiempo t (Kg).

ρ = Densidad del aire (kg/m³).

V_a = Flujo volumétrico de aire (m³ /s).

t = tiempo en segundos.

w_{2a} = Humedad absoluta del aire a la salida del secadero en condiciones de saturación adiabática (kgagua/kgaire).

w_1 = Humedad absoluta del aire a la entrada del secadero (kgagua/kgaire).

El valor de la “pick-up efficiency” disminuye a medida que baja el contenido de humedad del producto, ya que cada vez será más complicado absorber agua del producto puesto que queda menos. En algunas aplicaciones es conveniente dejar la eficiencia en función de humedades relativas.

Adicional, (Guereñu, 2012, pág. 30) explica que, para esta eficiencia, se mide conjuntamente lo bien o mal que está diseñado el secadero completo (captador



solar más cámara de secado) en una medida de la energía incidente (cómo la radiación solar es utilizada para secar productos).

Unos valores orientativos son de entre 10-50%. La variación tan sustancial es debida a que puede variar el funcionamiento y el tipo de secadero:

Secadores solares de convección natural:

La expresión que nos da la eficiencia del secadero solar en un secador que funciona mediante convección natural es:

$$\eta_s = \frac{W_0 - W(t) * L_v}{H_T * A_C}$$

Ecuación V.6. Eficiencia en secadores convección natural

Donde:

H_T = Radiación horaria sobre la superficie inclinada del colector (kJ/m^2)

L_v = Calor latente de vaporización del agua para la temperatura del aire de salida (kJ/kg).

Secadores solares con convección forzada:

En (Guereñu, 2012, pág. 31) la expresión que se obtiene para la eficiencia es muy parecida que, en el caso anterior, salvo que además hay que tener en cuenta el consumo de energía de los ventiladores, $P_v(\text{kJ})$.

$$\eta_s = \frac{W_0 - W(t) * L_v}{H_T * A_C + P_v}$$

Ecuación V.7. Eficiencia en secadores convección forzada.

5.3.3.1. Determinación de la curva de secado

(MONTROYA & JIMENEZ ARIAS, 2006, pág. 3) menciona que la duración del de secado al aire libre depende de factores climáticos (temperatura, humedad relativa y velocidad del aire) y de las características propias de la madera, (dimensiones, espesor de pared, contenido de humedad, edad, posición del



tramo con respecto a la longitud y sitio), por lo que no se puede estimar con exactitud un proceso normalizado.

Las ecuaciones que se pueden obtener empleando las expresiones matemáticas: ecuación lineal, exponencial, logarítmica y polinómica; se presentan las 4 posibilidades, puesto que los resultados obtenidos son compatibles con esas expresiones. De acuerdo a la forma de la curva y los valores de correlación lineal R_2 , donde un valor de $R_2 = 1$, es el valor ideal.

5.4. Condiciones óptimas de secado de la madera

Según Mendoza B & Oporta N (2017), “Las condiciones óptimas de secado de la madera son, mantener la temperatura de 40°C hasta un máximo de 45°C, velocidad del flujo de aire de 1.5 m/s hasta un máximo de 1.8 m/s” (pag.24). Estas condiciones permiten eliminar la cantidad de agua que se encuentra saturada en las paredes de las piezas sin producir cambios superficiales y dimensionales a las mismas.

Por tal razón Mendoza B & Oporta N (2017) mencionan varios defectos, en la madera, que puede provocar el no respetar esa condición, a como lo son:

5.4.1. Endurecimiento

El endurecimiento mediante el secado artificial, es una consecuencia gradiente fuerte de contenido de humedad relativa en una pieza de madera donde las capas superficiales han perdido mucha agua, mientras en el centro todavía permanece húmeda. Este defecto se debe a la aplicación de un horario de secado severo al iniciar el proceso de alta temperatura. (Pag.12).

5.4.2. Grietas superficiales

Las grietas superficiales en los extremos de las piezas de madera aserrada se producen con mayor frecuencia en las primeras etapas del secado, cuando se aplica un gradiente muy alto de secado.



La causa de la formación de estas grietas es el secado rápido de la superficie de la madera y de las capas adyacentes y la siguiente contracción de la zona. La contracción no se puede desarrollar en toda la pieza debido a que la madera húmeda de las zonas internas lo impide. (Pag.13).

5.4.3. Grietas internas

Un severo endurecimiento superficial puede traer como consecuencia la formación de grietas internas. Esto ocurre cuando los esfuerzos de tensión al plano y de cizalladura son superiores a la resistencia de la madera. Si la madera presenta este defecto prácticamente no tiene uso o es descartada.

Las grietas internas pueden darse por un control incorrecto del proceso de secado, para reducir este tipo de grieta interna se sugiere bajar la temperatura, el secado convencional puede reducir hasta en un cuarto las grietas internas dentro de los anillos en comparación al secado por alta temperatura. (Pag.14).

Por lo tanto, se pueden evitar estos problemas por medio de la selección de un programa de secado apropiado. Y para ello se debe monitorear muy de cerca la temperatura del horno y de la madera.

5.4.4. Apilamiento de madera.

El apilamiento es uno de los parámetros que se deben de revisar para asegurar la máxima eficiencia del sistema puesto que el flujo de aire al distribuirse mejor sobre todo el volumen utilizable de secado, que es aproximadamente 15m^3 , reducirá más rápido la humedad relativa de la madera.

La ubicación de la madera se hace de forma perpendicular del flujo de aire caliente, las piezas con mayor se colocan en la parte baja y se ubican de acuerdo a su espesor decente, quedando la madera de menor espesor en la parte de encima. Según Acosta F (2008), Las recomendaciones en espesor y distanciamiento de los separadores, de acuerdo al espesor de la madera a secar son:



Espesor madera (mm)	Espesor separador (mm)	Distancia entre separadores (mm)
< 20	20-30	300-400
20-25	20-30	400-500
25-40	20-30	500-600
40-65	30-40	700-800
65-80	40	900
> 80	45	1000

Tabla V.1. Separadores de madera con respecto a espesor de madera.

El distanciamiento entre madera y madera en la cara frontal debe ser de la misma medida del espesor del separador.

Preparar las bases o cimientos donde descansarán las maderas y que la mantendrán alejada de la superficie del suelo, facilitando la evacuación del aire húmedo que desciende a través de la pila y tiende a permanecer en la parte baja. El espacio mínimo es de 15 pulgadas, estos deben de estar separadas entre sí a la misma distancia de los otros separadores. Las bases tienen que ser de material resistente y duradero. Si son de madera, estas deben ser previamente secadas y preservadas. (Centro de Innovación Tecnológica de la Madera (CITEmadera), 2009).

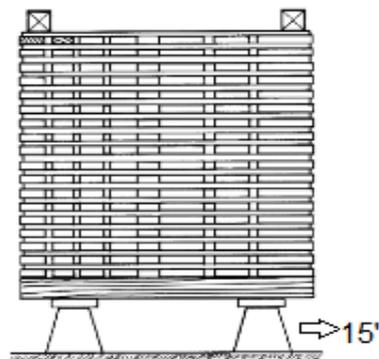


Ilustración V.7. Espacio mínimo de apilamiento con respecto al suelo Fuente: (CITEmadera), 2009

Las tablas a secar deben apilarse cuidando de:

- Evitar el sobresalido de los extremos de las tablas, en la pila.
- Alinear las pilas dentro del horno y evitar la presencia de corto-circuitos en la circulación del aire
- Colocar contrapesos o tensores para evitar las torceduras de las tablas de las piezas de las camadas superiores. (Viscarra, 1998)

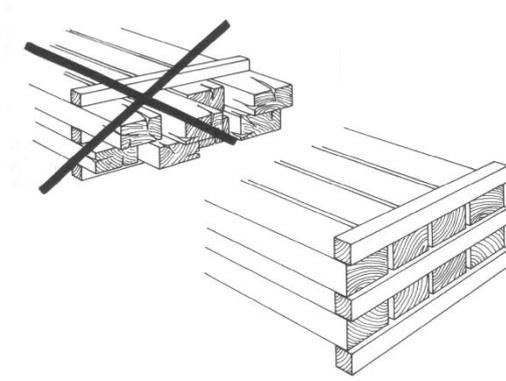


Ilustración V.8. Apilamiento correcto de la madera.

5.4.4.1. Sobresalido de Extremos

Los extremos de las piezas deben quedar alineados porque los que sobresalgan, al no estar soportados, se curvarán bajo su propio peso y se deformarán. Esto afecta a la tabla en particular y al resto de la pila, pudiendo causar distorsión en toda la carga. Por otro lado, con el sobresalido de los extremos, el secado de esas piezas es más rápido con respecto al resto de la pila y puede presentarse un severo agrietamiento de los extremos. (Viscarra, 1998)

5.5. Ecuaciones para el cálculo del apilado de madera

Para determinar el número de tablas en la pila de madera se debe utilizar las ecuaciones descritas a continuación (SUÁREZ, 2010).

5.5.1. Número de tablas de la cara frontal de la pila

$$N_{TCF} = \frac{L_C}{A_T + D_T}$$

Ecuación V.8. Número de cara frontal

Donde:

N_{TCF} : Es el número de tablas de la cara frontal de la pila en la base de la misma.

L_C : Longitud de la cara frontal

A_T : Ancho de la tabla

D_T : Distancia entre tablas en la cara frontal



5.5.2. Número de filas de tablas que tiene cada pila

$$N_{TCL} = \frac{H_{pila} - E_p}{(E_T + E_S)}$$

Ecuación V.9. Número de filas de tablas

Donde:

N_{TCL} = Número de tablas en la cara lateral de la pila.

H_{pila} = Altura de la pila.

E_p = Espesor del separador primerio.

E_T = Espesor de la tabla.

E_S = Espesor del separador o rastrel.

5.5.3. Número total de tablas en la pila

El número de tablas de la pila es igual al número de tablas de la base de la pila multiplicada por el número de tablas que tiene la cara lateral en su altura.

$$N_T = N_{TCF} * N_{TCL}$$

Ecuación V.10. Número total de tablas en el apilamiento

5.6. Evaluación del sistema automático bajo los parámetros de los estados finitos.

Desarrolla un sistema automático utilizando un microcontrolador Arduino Mega bajo los parámetros de los estados finitos con el fin de que sea confiable y seguro. (Málaga, 2008, pág. 39), menciona que se considera erróneamente que un automático es una máquina que imita funciones típicas de los seres vivos, sobre todo relacionadas con el movimiento, pudiendo incluso ejecutar ciertas órdenes. En realidad, el concepto de automático es mucho más genérico, debido a que se considera como un dispositivo que procesa cadenas de símbolos que recibe como entrada, cambiando de estado y produciendo una salida que, en algunos casos, puede estar formada por otra cadena de símbolos.

El sistema de control que se utilizara es por método de estados finitos, Automata Finito Determinista, debido a que se deberá de testear las variables controladas



para compararla con el microcontrolador y que esa manera el mismo sistema realice las operaciones necesarias para estar dentro de los rangos establecidos y así el horno sea el encargado de modificar la variable. Según (Málaga, 2008, pág. 40), los Autómatas Finitos son máquinas teóricas que van cambiando de estado dependiendo de la entrada que reciban. La salida de estos Autómatas está limitada a dos valores: aceptado y no aceptado, que pueden indicar si la cadena que se ha recibido como entrada es o no válida. Generalmente utilizaremos los Autómatas Finitos para reconocer lenguajes regulares, es decir, una palabra se considerará válida sólo si pertenece a un determinado lenguaje.

5.7. Coeficiente De Correlación De Karl Pearson

Dado dos variables, la correlación permite hacer estimaciones del valor de una de ellas conociendo el valor de la otra variable.

En (Ibujés, 2011, pág. 1) se menciona que los coeficientes de correlación son medidas que indican la situación relativa de los mismos sucesos respecto a las dos variables, es decir, son la expresión numérica que nos indica el grado de relación existente entre las 2 variables y en qué medida se relacionan. Son números que varían entre los límites +1 y -1. Su magnitud indica el grado de asociación entre las variables; el valor $r = 0$ indica que no existe relación entre las variables; los valores ± 1 son indicadores de una correlación perfecta positiva (al crecer o decrecer X, crece o decrece Y) o negativa (Al crecer o decrecer X, decrece o crece Y).

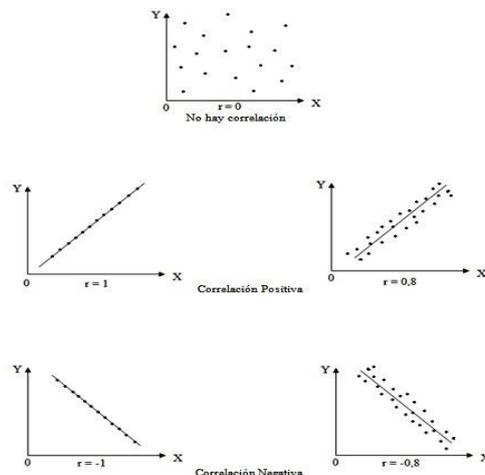


Ilustración V.9. Dispersiones de los diferentes tipos de correlación



(Ibujés, 2011, pág. 2) explica que para interpretar el coeficiente de correlación utilizamos la siguiente escala:

Valor	Significado
-1	Correlación negativa grande y perfecta
-0,9 a -0,99	Correlación negativa muy alta
-0,7 a -0,89	Correlación negativa alta
-0,4 a -0,69	Correlación negativa moderada
-0,2 a -0,39	Correlación negativa baja
-0,01 a -0,19	Correlación negativa muy baja
0	Correlación nula
0,01 a 0,19	Correlación positiva muy baja
0,2 a 0,39	Correlación positiva baja
0,4 a 0,69	Correlación positiva moderada
0,7 a 0,89	Correlación positiva alta
0,9 a 0,99	Correlación positiva muy alta
1	Correlación positiva grande y perfecta

Tabla 5.4.4.1. Escala para interpretar el coeficiente de correlación

5.7.1. Datos no agrupados

Para datos no agrupados se calcula aplicando la siguiente ecuación:

$$r = \frac{\sum xy}{\sqrt{(\sum x^2)(\sum y^2)}}$$

Ecuación V.11. Correlación para datos no agrupados

Donde:

r = Coeficiente producto-momento de correlación lineal

(Ibujés, 2011, pág. 3) explica que para x y y será:

$$x = X - \bar{X}; \quad y = Y - \bar{Y}$$



5.7.1.1. Aplicación en Excel

En Excel se inserta la función **COEF.DE.CORREL** y pulsar en **Aceptar**. En el cuadro de argumentos de la función, en el recuadro de la *Matriz 1* seleccionar las celdas de **X**, y en el recuadro de la *Matriz 2* seleccionar las celdas de **Y**. Pulsar en **Aceptar**.

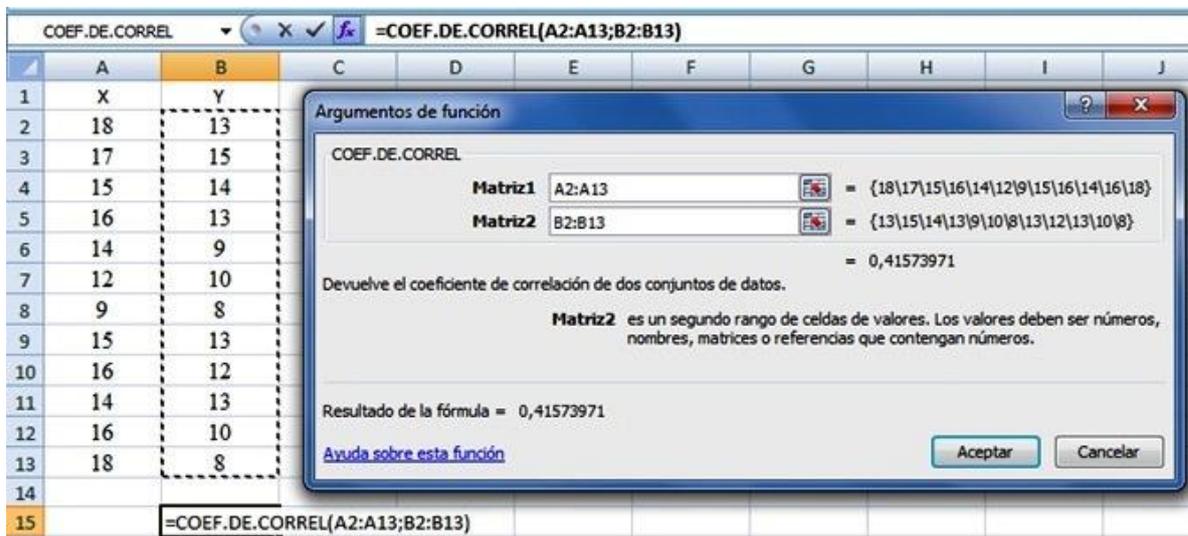


Ilustración V.10. Cálculo de correlación en datos no agrupados, Excel

5.7.2. Para datos agrupados

Para datos agrupados, el coeficiente de Correlación de Pearson se calcula aplicando la siguiente fórmula:

$$r = \frac{n \cdot \sum f \cdot dx \cdot dy - (\sum fx \cdot dx) (\sum fy \cdot dy)}{\sqrt{[n \cdot \sum fx \cdot dx^2 - (\sum fx \cdot dx)^2][n \cdot \sum fy \cdot dy^2 - (\sum fy \cdot dy)^2]}}$$

Ecuación V.12. Correlación para datos agrupados

Donde (Ibujés, 2011, pág. 4) menciona que:

n = número de datos.

f = frecuencia de celda.

fx = frecuencia de la variable X.

fy = frecuencia de la variable Y.



dx = valores codificados o cambiados para los intervalos de la variable X, procurando que al intervalo central le corresponda $dx = 0$, para que se hagan más fáciles los cálculos.

dy = valores codificados o cambiados para los intervalos de la variable X, procurando que al intervalo central le corresponda $dy = 0$, para que se hagan más fáciles los cálculos.

Para el caso de la investigación presente en este documento, no será necesaria la explicación para la aplicación en Excel de los datos agrupados, dado que los datos existentes en el mismo corresponden a datos dispersos mostrados en el Análisis de resultados (Capítulo XII).



VI. Hipótesis y variables

6.1. Hipótesis De Investigación (H_i)

H_i: El Desarrollo de sistema automático mejorara la eficiencia en un 30% del secado de la madera en un horno solar, con el fin de optimizar el proceso de secado actual.

6.2. Hipótesis Nula (H₀)

H₀: El Desarrollo de sistema automático no mejorara la eficiencia del secado de la madera en un horno solar, con el fin de optimizar el proceso de secado actual

6.3. Hipótesis Alternativa (H_a)

H_a: El Desarrollo de sistema automático afectara positivamente la eficiencia del secado de la madera en un horno solar, con el fin de optimizar el proceso de secado actual

6.4. Cuadro de variables

Variables	Definición	Dimensión	Tipo	Indicadores
Variable independiente				
Sistema Automata Arduino Mega	Maquina automática cuya función principal es censar humedad y temperatura del horno y de la madera.	Fiabilidad de recepción e interpretación de datos del sistema.	Cuantitativa	-Censado permanente, 24 horas. -Tiempo de respuesta de actuadores
			Cualitativa	-Precisión de los sensores.
Energía solar		Nivel de captación de radiación solar	Cuantitativa	-Horas de luz solar.



				-Temperatura ambiente.
Variable dependiente				
Proceso de secado de la madera (Nanciton)	Proceso en el cual la madera reduce su humedad relativa a 8%	Eficiencia de secado de madera	Cuantitativa	-Rapidez de secado. -Humedad relativa de la madera.
			Cualitativa	-Tipo de apilamiento de la madera.
Sub-variables dependientes				
Almacenamiento de la madera.	Lugar específico para almacenamiento de la madera durante el secado	Espacio disponible de almacenamiento.	Cuantitativo	-Área para apilamiento de la madera. - m ²
Velocidad del proceso de secado	Es un parámetro que determina la rapidez de con la cual la madera es secada	Tiempo de secado	Cuantitativo	-Días transcurridos para llegar a 8% de humedad relativa
Carga de madera a secar	Número de piezas o tablas que contendrá un lote.	Cantidad de madera por lote	Cuantitativo	-Unidades de piezas que soporta el horno



Peso de madera por pieza.		Temporal	Cuantitativo	
Humedad relativa de madera por pieza	La madera es un material higroscópico, lo que significa que es un material que absorbe agua.	El contenido de humedad de la madera	Cuantitativo	-El porcentaje de la relación masa agua y masa madera
Temperatura interna del horno	Magnitud referida a la noción de calor medible mediante un termómetro	Grado o nivel térmico que alcanzara el horno en su interior	Cuantitativo	-Grados Celsius

Tabla V.2. Cuadro de Variable



VII. Diseño Metodológico

7.1. Ubicación geográfica del proyecto

El proyecto se realizará en las instalaciones del programa institucional de la madera (PIMA) ubicado en el Recinto Universitario Pedro Arauz Palacios (RUPAP), Managua, Nicaragua.

7.2. Enfoque de la investigación

La presente investigación es de tipo mixto ya que durante toda la elaboración de este protocolo se analizan datos cuantitativos y cualitativos, para lograr un mayor entendimiento del fenómeno bajo estudio con la ayuda de un sistema automático.

7.3. Diseño de investigación

El diseño es de tipo no experimental debido a que el tipo de estudio es mixto y no habrá manipulación de las variables dependientes. Intrínsecamente del no experimental se seleccionó de carácter transeccional o transversal debido a que su propósito es describir variables y analizar su incidencia e interrelacionen un momento dado. Así mismo el será de tipo transeccional correlacional-causal debido a que se determinará si existe un vínculo causal entre las variables "Sistema automático " y "Secado de madera".

7.4. Método de investigación

La investigación es tipo deductivo-inductivo debido a que se analiza el fenómeno para llegar a un concepto fijo en este caso la hipótesis y verificar su validez y además es de un enfoque mixto.

7.5. Método de recolección de datos

El método principal de tomas de datos será mediciones presenciales de las variables en estudio, así como una entrevista con el encargado del horno solar del PIMA lo cual nos ayudará a obtener información actual del horno.

Las tomas de datos de forma manual serán tres veces por días hasta que la humedad de la madera descienda hasta 8% llenando una hoja con las variables en estudio, esto será en la condición actual de horno.



La entrevista esta seccionada en dos partes en las cuales ayuda a tener información de la situación actual de horno debido a que el encargado está conoce bien su funcionamiento.

- Información general: En esta parte se aborda temas relacionadas con generalidades del horno y problemas comunes en el horno.
- Procesos de secado actual: Se cuestiona acerca de todo el proceso actual de secado, funcionamiento del horno, tiempo promedio de secado, cantidad de madera que capaz de almacenar el horno entre otros detalles del proceso.

Otra técnica utilizada será el levantamiento de datos por medio del sistema automático, el sistema subirá los datos del horno y madera a una página web así como también guardara los datos en un microSD para un respaldo y con ello tener información para determinar si la hipótesis se cumplió o no.

Además, hacer la investigación más confiable se utiliza como medio de recolección de dato la observación que es una herramienta muy importante.

7.6. Procesamiento de los datos

Se ha decidido utilizar el software de Microsoft Office EXCEL para el procesamiento y análisis de datos, ya que su uso es común en las industrias y cuenta con las herramientas necesarias y facilita el trabajo procesamiento. Adicional, dada la accesibilidad a la información sobre su uso, facilitara a un futuro personal el aprendizaje del mismo. Con este software se pretende visualizar la diferencia entre el estado actual del horno y el utilizado con el sistema propuesto.



VIII. Instrumentación y equipos

8.1. Equipos de medición usados en el censo piloto

Para el estudio inicial, se deben de caracterizar el proceso actual de secado de madera en el horno solar, con el fin de lograr la estipulación de los parámetros iniciales del estudio. Para ello, fue necesario utilizar los equipos habituales del PIMA.

8.1.1. Medidor de humedad de madera Merlín HM8-WS13



Ilustración VIII.1. Medidor de humedad de Madera Merlín

Características según (Imbotec Group & MIZA-USA, 2022):

- Modelo: HM8-WS13 HD
- Calibración de madera dura 0,450 - 0,950 (g / cm³) seco Densidad
- Profundidad de escaneo: 20 mm (13 mm de espesor mínimo) incl. protector de goma
- batería de 9V
- Rango de medición: 4% - 99%
- Grupo de madera: 1-6 Rango de densidad
- Densidad: 370 - 670kg / m³
- Peso: 160g
- Dimensiones: 120 x 60 x 25 mm



8.1.2. Higrotermómetro digital



Ilustración VIII.2. Medidor de humedad y temperatura Ambiente

Medidor de humedad y temperatura mientras, con batería de litio de 3 V de larga duración para obtener el máximo tiempo de uso. Esta herramienta de medición capturará lecturas de humedad de 10 a 90% de HR y registrará temperaturas de 14 ° a 122 ° (-10 grados a 50 °). (Final Test SA , 2022)

Especificaciones:

- Distancia:
 - % Humedad relativa: 10 a 90 %
 - Temperatura: 14 a 122 ° F (-10 a 50 ° C)
- Precisión básica:
 - % Humedad relativa: $\pm 5\%$,
 - Temperatura: ± 1.8 ° F / 1 ° C
- Resolución:
 - % Humedad relativa: 0,1%
 - Temperatura: 0,1 ° C o ° F
- Dimensiones: 5,7 x 1,2 x 1 "(145 x 30 x 25 mm)
- Peso: 2,3 onzas (65 g)

8.1.3. Medidor de temperatura por contacto



Ilustración VIII.3. Medidor de humedad y temperatura Ambiente

Estos medidores de temperatura con contacto poseen un sensor de temperatura flexible que le permite formar diferentes ángulos, lo que permite un control rápido



y preciso de la temperatura superficial sobre los alimentos (u otros elementos) sin riesgo de contaminaciones. (ServoVendi S.L., 2022)

Especificaciones:

- Modelo TM-902C
- Fácil de leer con su pantalla LCD de 13mm
- Rango de Temperatura: -50°C a $+750^{\circ}\text{C}$ (se incluye sonda para medir de -50°C a $+204^{\circ}\text{C}$)
- Centígrados o Fahrenheit
- Indicación de batería baja
- Resolución: 1°C

8.1.4. Multímetro para mantenimiento industrial con gancho



Ilustración VIII.4. Multímetro para mantenimiento industrial con gancho

Características según (TRUPER S.A., 2022):

- Sistema de auto apagado (APO)
- Prueba de diodo y continuidad
- True RMS
- Pantalla retro iluminada de fácil lectura
- Tensión CC / CA: 600 mV -1,000 V / 600 mV- 750 V
- Corriente CC / CA: N/A / 60 A - 1,000 A
- Resistencia: 600 Ohms - 60 M Ohms
- Temperatura ($^{\circ}\text{C}$): -40°C a $1,370^{\circ}\text{C}$
- Largo del cable: 1100 mm
- Empaque individual: Caja



8.2. Elementos del sistema automático

El sistema estará compuesto principalmente por un microcontrolador Arduino Mega, sensores DTH22, que son elementos que permite censar tanto temperatura y humedad interna de cada pared de la cámara de secado, así como un sensor resistivo que medirá la humedad relativa de la madera, en pantalla LCD que nos permite ver los parámetros que el operario desee del interior de la recámara, 2 relé para el control de los ventiladores, un lector SD para el guardado de datos y un mando de control que se encargara darle acceso al sistema automático.

8.2.1. Arduino mega 2560



Ilustración VIII.5. Arduino Mega 2560

Arduino Mega es una tarjeta de desarrollo open-source construida con un microcontrolador modelo Atmega2560 que posee pines de entradas y salidas (E/S), analógicas y digitales. Esta tarjeta es programada en un entorno de desarrollo que implementa el lenguaje Processing/Wiring. Arduino puede utilizarse en el desarrollo de objetos interactivos autónomos o puede comunicarse a un PC a través del puerto serial (conversión con USB) utilizando lenguajes como Flash, Processing, MaxMSP, etc. (Ingeniería MCI Ltda, 2022)

Características:

- Voltaje de entrada de - 7-12V.
- Consumo de 93 mA.
- 54 pines digitales de Entrada/Salida (14 de ellos son salidas PWM).
- 16 entradas análogas.
- 256k de memoria flash.
- Velocidad del reloj de 16Mhz.



- Dimensiones: 102mm x 53mm

8.2.2. Sensor de temperatura y humedad relativa DHT22

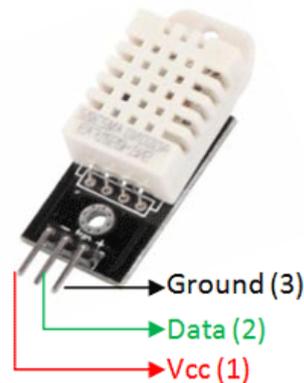


Ilustración VIII.6. Sensor DHT22

El DHT22 (AM2302) es un sensor digital de temperatura y humedad relativa de buen rendimiento. Integra un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circundante, y muestra los datos mediante una señal digital en el pin de datos (no posee salida analógica). (Naylamp Mechatronics SAC, 2021)

Características:

- Voltaje de Operación: 3V - 6V DC
- Consumo: 2.5 mA.
- 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
- Tiempo de censado: 2s



Especificaciones:

- La sensibilidad es ajustable a través del potenciómetro digital azul.
- Voltaje de funcionamiento 3.3V-5V
- Consumo: 35mA.
- Modo de salida dual del módulo: salida digital o salida analógica que brinda más precisión
- Tiene orificio pretaladrado para una fácil instalación
- Tamaño de PCB de placa pequeña: 3 cm * 1.6 cm

8.2.5. Keypad de membrana 4x3



Ilustración VIII.9. Keypad de membrana 4x3

Esta matriz de teclado 4x3 de alta calidad te permite añadir controles rápidamente a tus proyectos electrónicos. Ofrece números de 0 a 9, símbolos estándar de estrella (*) y hash (#). (amazon, 2022)

Características:

- 12 botón matriz
- Comunicación fácil con cualquier microcontrolador



8.2.6. LCD I2C 16x4



Ilustración VIII.10. LCD I2C 16x4

Característica según (ebay, 2022):

- Fuente de alimentación de + 5V (también disponible para + 3V)
- WG16032D3 opcional para fuente de alimentación de + 3V
- LED puede ser controlado por PIN1, PIN2, PIN15, PIN16 o A y K
- Interfaz: 6800 (ST7066 IC o equivalente), opción SPI / I2C (RW1063 IC)
- Consumo: 40 mA.

8.2.7. Reloj RTC DS3231



Ilustración VIII.11. Reloj RTC DS3231

Un reloj de tiempo real (RTC) es un dispositivo electrónico que permite obtener mediciones de tiempo en las unidades temporales que empleamos de forma cotidiana. (UNIT Electronics, 2022)

Características:

- Voltaje de funcionamiento: 3.3 - 5.5 V
- Consumo: 20 mA
- Conjunto de chips de reloj: chip de reloj de alta precisión DS3231
- Salida programable de onda cuadrada
- Chips de memoria: AT24C32 (capacidad de almacenamiento 32K)



- Interfaz de bus IIC, la velocidad máxima de transmisión de 400 KHz (voltaje de trabajo de 5 V)

8.2.8. Lector de MICRO SD WH-125



Ilustración VIII.12. Lector de MICRO SD WH-125

El módulo lector tarjeta micro SD es una solución sencilla para la transferencia de datos hacia y desde una tarjeta micro SD. (Naylamp Mechatronics SAC, 2021)

Características:

- Voltaje de alimentación: 3,3V o 5V
- Regulador de tensión incorporado 3,3V
- Consumo 20mA
- Interfaz: SPI

8.2.9. Módulo relay 4 canales



Ilustración VIII.13. Módulo relay 4 canales

Permite controlar el encendido/apagado de equipos de alta potencia (electrodomésticos). Funciona perfectamente con Arduino, Pic o cualquier otro sistema digital. (Naylamp Mechatronics SAC, 2021)

Características:

- Tensión de Alimentación: 12 VDC
- Consumo de por Módulo: 90mA (0.090A) Aprox.
- Diodo de protección para la bobina del Relé
- Diodo LED indicador de estado de alimentación



- Módulo con borneras para fácil conexión
- Soporta tensiones de 250VAC a 10A aprox. para carga Resistiva

8.2.10. Estabilizador descendente DC-DC LM2596



Ilustración VIII.14. Estabilizador descendente DC-DC LM2596

El convertidor de voltaje DC-DC Step-Down 2A LM2596 tiene como función entregar un voltaje de salida constante inferior al voltaje de entrada frente a variaciones del voltaje de entrada o de carga. (Naylamp Mechatronics SAC, 2021)

Características:

- Voltaje de entrada: 4.5V a 40V DC
- Voltaje de salida: 1.23V a 37V DC
- V. salida ajustable (el voltaje de entrada debe tener al menos 1.5V más que la salida).
- Corriente de Salida: máx. 3A, 2.5A recomendado (usar disipador para corrientes mayores a 2A).



8.2.11. Contactor ABB AF16-30-10-13



Ilustración VIII.15. Contactor ABB AF16-30-10-13

El AF16-30-10-13 es un contactor de 3 polos - 690 V IEC o 600 UL con 1 contacto auxiliar incorporado y terminales de tornillo, que controla motores de hasta 7,5 kW / 400 V CA (AC-3) o 10 hp / 480 V UL y circuitos de potencia de conmutación hasta 30 A (AC-1) o 30 A UL de uso general. Gracias a la tecnología AF, el contactor dispone de un amplio rango de tensión de control (100-250 V; 0.26 Amp. 50/60 Hz y DC), gestionando grandes variaciones de tensión de control, reduciendo los consumos energéticos del panel y asegurando distintas operaciones en redes inestables. Además, la protección contra sobretensiones está incorporada, lo que ofrece una solución compacta. (ABB, 2022)

8.2.12. Fuentes de Alimentación 5V 3Amp



Ilustración VIII.16. Fuentes de Alimentación 5V 3Amp

La función de una fuente de alimentación es convertir la tensión alterna en una tensión continua y lo más estable posible. (AliExpress, 2022)

Características:

- Tensión de Entrada AC: 100 a 240VAC @ 50/60Hz
- Conector de Salida: Micro USB



- Tensión de Salida: 5 Volts DC
- Salida Máxima de Corriente: 3 Amperes

8.2.13. Sensor de temperatura tipo sonda DS18B20



Ilustración VIII.17. 8.2.13. Sensor de temperatura tipo sonda DS18B20

Sensor de temperatura DS18B20 impermeable. Tiene como función el control ambiental de HVAC, sensor de temperatura interior, del colector de radiación solar dentro del horno. (Electronilab, 2021)

Características:

- Interfaz 1-Wire (Requiere un solo pin digital para comunicarse)
- Número de Serie único de 64 bits grabado en el chip (Múltiples sensores pueden compartir misma conexión)
- Sistema de alarma por límite de temperatura
- Exactitud de entre -10°C a $+85^{\circ}\text{C}$ ($\pm 0.5^{\circ}\text{C}$)
- Rango de temperatura: -55°C a 125°C (-67°F a $+257^{\circ}\text{F}$)
- Voltaje de Operación: 3 a 5 VCC
- Resolución: seleccionable de 9 a 12 bits
- Tiempo de consulta menor a 750ms
- Conexionado con 3 cables: VCC (Rojo), GND (Negro), Datos (Amarillo)
- Diámetro: 6 mm
- Sensor de Acero Inoxidable de 35 mm de largo
- Cable tipo taller de 4 mm



8.2.14. Micro servo Motor torque 1.6kgf SG90



Ilustración VIII.18. 8.2.14. Micro servo Motor SG90

Micro Servo SG90 un excelente servo pequeño pero un gran torque, encargado de abrir o cerrar las compuertas de las ventilas en el sistema de reposición de aire en el horno. (Amazon, Inc., 2022)

Características:

- Tamaño: 22 x 11.8 x 31 mm
- Peso: 9 g
- Grados / Angulo de Rotación Máximo: 180°
- Velocidad sin carga: 0,1 segundos / 60 grados
- Torque: Max 1.6kg/cm

8.2.15. Extractor Fulgore 8" 25W 950m³/h



Ilustración VIII.19. Extractor Fulgore 8"

Extractor Aire 8", ducto de conexión sellado para un mayor nivel de hermeticidad Puede ser instalado en paredes, cristales y techos. (Soelco S.A.S, 2022)

Características:

- Alto: 25,0cm
- Ancho: 25,0cm
- Fondo: 25,0cm
- Peso: 3,0kg



Diseño de sistema automático para monitoreo de la cinemática del secado de madera en un horno solar, evaluando condiciones de convección natural y convección forzada, ubicado en las instalaciones del Programa Institucional de la Madera (PIMA) de la UNIRUPAP

- Potencia: 25 W
- Frecuencia: 60 Hz
- Flujo de Aire: 950 m³ / hr.

8.2.16. Extractor Fulgore 12" 43W 1900m³/h



Ilustración VIII.20. Extractor Fulgore 12"

Extractor Aire 12", ducto de conexión sellado para un mayor nivel de hermeticidad Puede ser instalado en paredes, cristales y techos. (Soelco S.A.S, 2022)

Características:

- Medida de cuadro para instalar: 34 cm
- Flujo de aire: 1,900 m³ / hr.
- Potencia: 43 W
- Diámetro de las aspas: 1 mm
- Velocidad del extractor: 1 rpm
- Materiales: Polipropileno

8.2.17. Opamp Lm358

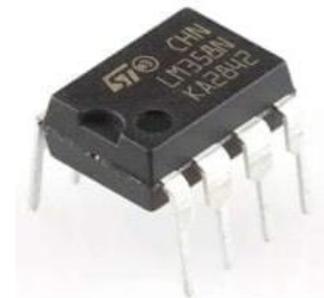


Ilustración VIII.21. Opamp Lm358

El amplificador LM358 es un circuito integrado (CI) de 8 pines que internamente está construido por dos amplificadores operacionales independientes de alta ganancia con compensación de frecuencia interna, diseñado específicamente



para operar mediante una única fuente de alimentación en un amplio rango de voltaje. (UNIT Electronics , 2022)

Características:

- Voltaje de alimentación: 3 @ 32 volts
- Voltaje offset de entrada: 7mV
- Corriente de salida por canal: 30 mA
- Corriente de suministro operativa: 350 uA
- Tipo: Amplificador Operacional

8.2.18. Resistencia 10MOhm 1W

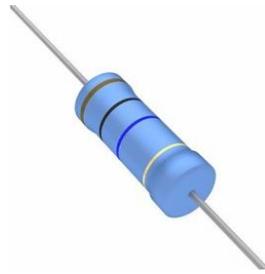


Ilustración VIII.22. Resistencia 10MOhm 1W

Resistencia 10 MOhms 1 Watt es una resistencia eléctrica de Metal Óxido de valor $10M\Omega$, con una tolerancia del 5% y una capacidad de disipación de 1 Vatio. Resistencia 10 MOhms 1 Watt dada su composición de Metal Óxido puede operar a altas temperaturas y eso es lo que la distingue de otros tipos de resistencias. (Electronica plug and play, 2022)

Características:

- Resistencia Eléctrica: $10M\Omega$
- Potencia de disipación: 1 vatio.
- Composición: Metal Óxido.
- Rango de operación de temperatura: -50°C a $+150^{\circ}\text{C}$.
- Tolerancia: 5%



8.2.19. Termocupla tipo k

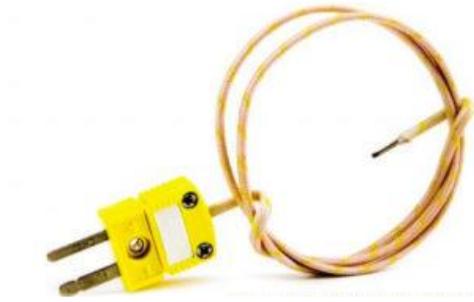


Ilustración VIII.23. Termocupla tipo k

El termopar tipo K (NiCr-NiAl) es la construcción de un sensor de temperatura con los elementos Níquel-Cromo y Níquel-Alumel, también conocido como Cromel – Alumel. Este tipo de aleación de termopares la más común que provee el más alto rango de operación en los denominados termopares económicos, además, su alta composición en Níquel lo hace altamente recomendado en muchas aplicaciones por su elevada resistencia a la corrosión.

Características según (CEIV S.A., 2022):

- Sensor de temperatura base metal de uso frecuente para altas temperaturas.
- Apropriado para: atmósferas oxidantes e inertes
- No apto para desempeño en ambientes con Sulfuros
- El rango de operación de un sensor con estas especificaciones es en promedio 0 a 400°C.

8.2.20. Siemens LOGO! POWER 24V 1,3A



Ilustración VIII.24. Siemens LOGO! POWER



Fuente de alimentación conmutada de Siemens con una tensión de salida de 24 VCC y una corriente de salida de 1,3 A es la fuente de alimentación ideal para LOGO mini controladores. La unidad de fuente de alimentación en modo conmutado proporciona un alto rendimiento en un espacio mínimo. La eficiencia mejorada en todo el rango de carga y las bajas pérdidas de energía en el funcionamiento sin carga garantizan la eficiencia. Gracias a la entrada de amplio rango, también es posible la conexión a corriente continua (Automation24, 2022)

Características:

- Flat LOGO! diseño mecánico
- Entrada de amplio rango para voltajes de 85 a 264 VCA y funcionamiento con voltaje de CC
- Voltaje de salida ajustable
- LED verde para "Tensión de salida correcta"
- Temperatura ambiente -20°C ... $+70^{\circ}\text{C}$ (reducción de $+55^{\circ}\text{C}$)
- Corriente constante en condiciones de sobrecarga para una conexión confiable de cargas difíciles

8.2.21. Guarda motor siemens

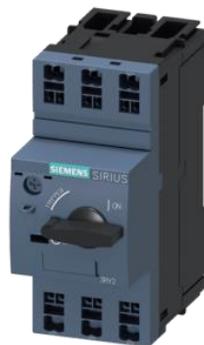


Ilustración VIII.25. Guarda motor Siemens

El guardamotor es un dispositivo electromecánico exclusivo para el comando de motores que se compone de un relé térmico más un contacto, De esta manera se puede energizar manualmente (o por línea) desde una botonera de arranque y parada. Los guardamotors Siemens incluyen un relé de sobrecargas llamado "protector térmico" que se dispara de acuerdo a curvas de calibración apropiadas



cuando la corriente alcanza valores peligrosos durante tiempos máximos bien determinados. (MercadoLibre S.R.L, 2022)

8.2.22. Cable de Red UTP CAT-5E

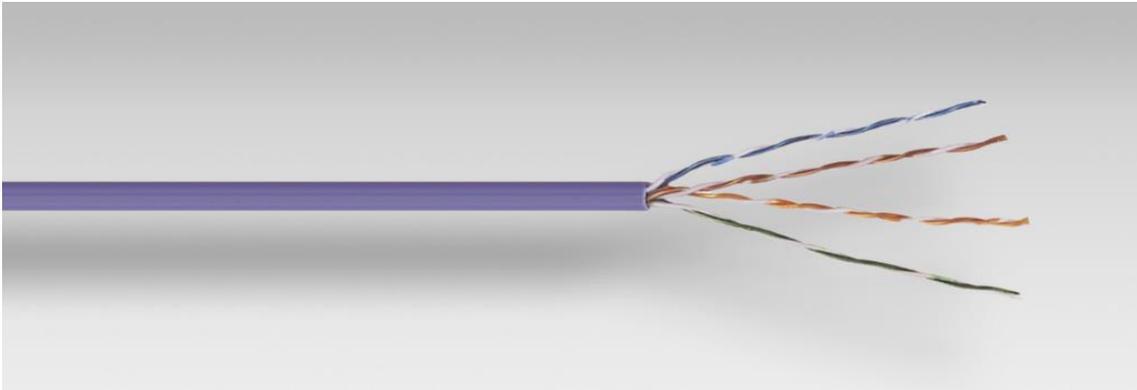


Ilustración VIII.26. Cable de Red UTP CAT-5E

El sistema de cableado estructurado UTP Cat5e permite montar una infraestructura de telecomunicaciones genérica dentro de un edificio, creando una red de área local (LAN). La categoría 5e se describe dentro de los estándares TIA/EIA 568A, ISO/IEC 11801, EN 50173 y EN 50288-3-1 y permite trabajar a velocidades de hasta 1000Mbps dentro de un entorno Ethernet, pudiendo también llevar otras señales como servicios básicos de telefonía, TokenRing y ATM. Diseñado para transmisión a frecuencias de hasta 100MHz. El sistema completo de cableado UTP Cat5e incluye el cable LSHF, módulos hembra, paneles de 24 o 48 puertos, paneles de telefonía de 50 puertos, paneles de ordenación y latiguillos de varias medidas y colores. (CERVI S.L., 2022)

Construcción:

- Conductor: 24AWG Cobre Sólido
- Aislamiento: Polietileno
- Formación: Dos conductores aislados trenzados formando un par
- Cableado: 4 pares trenzados cableados conjuntamente
- Cubierta exterior: Compuesto libre de halógenos
- Color standard: Violeta



Características:

- Diámetro exterior: 5,2 mm
- T^a de servicio Instalación fija: -20°C a +60°C
- Velocidad de propagación: 70%
- Rigidez dieléctrica:
 - kV d.c. o 0.7 kV a.c. durante 1 min
 - 2.5 kV d.c. o 1.7 kV a.c. durante 2 s
- Impedancia característica: 100±15 Ohm (1-100 MHz)



8.2.23. Gabinete metálico ATLANTIC



Ilustración VIII.27. Gabinete metálico ATLANTIC

Características según (ERCO, 2020):

- Modelo: 036910
- Armarios metálicos RAL 7035 – IP 66 – IK 10 según IEC EN 60529.
- Se suministra con: placa de montaje lisa galvanizada y cable de conexión a tierra.
- Puerta reversible.
- Equipados con cerradura de doble barra.
- Equipados con placa de entrada de cables desmontable a partir de 200mm. de profundidad.
- Se puede equipar con placas Cabstop.
- Se puede equipar con canales para cuadro, montantes, perfiles DIN o chasis con placas frontales aislantes.
- Revestimiento de poliéster granulado de 80 μ de espesor
- Alto: 300 mm
- Ancho: 200 mm
- Profundidad: 160 mm.
- Peso: 3,6 kg



8.2.24. Modulo Bluetooth HC05



Ilustración VIII.28. Modulo Bluetooth HC05

El módulo Bluetooth HC-05 nos permite conectar nuestros proyectos con Arduino a un smartphone, celular o PC de forma inalámbrica (Bluetooth), con la facilidad de operación de un puerto serial. La transmisión se realiza totalmente en forma transparente al programador, por lo que se conecta en forma directa a los pines seriales de nuestro microcontrolador preferido (respetando los niveles de voltaje, ya que el módulo se alimenta con 3.3V). Todos los parámetros del módulo se pueden configurar mediante comandos AT. La placa también incluye un regulador de 3.3V, que permite alimentar el módulo con un voltaje entre 3.6V - 6V. Este módulo es el complemento ideal para nuestros proyectos de robótica, domótica y control remoto con Arduino, PIC, Raspberry PI, ESP8266, ESP32, STM32, etc. (Naylamp Mechatronics SAC, 2021)

Características:

- Voltaje de operación: 3.6V - 6V DC
- Consumo corriente: 50mA
- Bluetooth: V2.0+EDR
- Frecuencia: Banda ISM 2.4GHz
- Modulación: GFSK(Gaussian Frequency Shift Keying)
- Potencia de transmisión: 4dBm, Class 2
- Sensibilidad: -84dBm a 0.1% BER
- Alcance 10 metros
- Interface comunicación: Serial TTL
- Velocidad de transmisión: 1200bps hasta 1.3Mbps
- Baudrate por defecto: 38400,8,1,n.
- Seguridad: Autenticación y encriptación



IX. Propuesta de diseño

9.1. Propuesta de Funcionalidad y operación del sistema automático.

9.1.1. Propuesta del apilado de madera

Utilizando las ecuaciones descritas en el [apartado 5.5](#), se presenta la siguiente propuesta para el apilamiento de madera dentro del horno.

Datos del área de apilamiento:

- Largo de la pila: 2.8 m
- Ancho de la pila: 2.6 m
- Alto de la pila: 1.9 m

En nuestro caso:

- La altura de la pila será de 1.9 m tomada desde el nivel del suelo, esto con el fin de tener un mejor acceso al apilar la madera.
- El ancho de la pila será nuestra longitud de la cara frontal.
- La longitud más larga de una tabla de madera que podremos apilar será de 2.8 m

Datos de la madera:

- Espesor: 1 pulgada = 0.0254 m
- Ancho: 12 pulgada = 0.3048 m
- Largo: 8 pies = 2.4384 m

Nota: Estos datos son tomados como medida estándar una tabla de madera, este dato puede variar en dependencia de las dimensiones de la tabla de madera que deseen apilar.

Datos de los separadores:

- Espesor del separador: 30 mm = 0.03 m
- Distancia entre tablas en la cara frontal: 30 mm = 0.03 m
- Espesor del separador primario: 15 pulgadas = 0.381 m



9.1.1.1. Número de tablas de la cara frontal de la pila

$$N_{TCF} = \frac{L_C}{A_T + D_T} \quad \text{Ecuación V.8}$$

$$N_{TCF} = \frac{2.6 \text{ m}}{0.3048 \text{ m} + 0.03 \text{ m}} = 7.76 \text{ Tablas} \cong 7 \text{ Tablas}$$

9.1.1.2. Número de tablas en la cara lateral de la pila

$$N_{TCL} = \frac{H_{pila} - E_{primer \ separador}}{(E_T + E_S)} \quad \text{Ecuación V.9}$$

$$N_{TCL} = \frac{1.9 \text{ m} - 0.381 \text{ m}}{(0.0254 \text{ m} + 0.03 \text{ m})} = 27.4 \text{ Tablas} \cong 27 \text{ Tablas.}$$

9.1.1.3. Número total de tablas en la pila

$$N_T = N_{TCF} * N_{TCL} \quad \text{Ecuación V.10}$$

$$N_T = 7 * 27 = 189 \text{ Tablas.}$$

9.1.1.4. Conclusión de los cálculos del apilamiento.

El apilamiento propuesto consta con una base de 7 tablas de 0.3048 metros de ancho acomodadas una en seguida de otra con un espacio de 0.03 metros entre cada tabla (acomodadas a lo largo de los 2.6 metros), y con 27 tablas de un espesor igual a 1 pulgadas (0.0254 metros) separadas una de otra por separadores de 0.03 metros de espesor, excepto el primer separador que es de 0.381 metros, donde el total de tablas a apilar serían 189 Tablas.



9.1.2. Propuesta de proceso de secado.

En el proceso de secado, es necesario aumentar gradualmente la temperatura hasta alcanzar los 45 grados centígrados para extraer el agua sin cambios superficiales y dimensionales a la madera. Las rejillas de ventilación superior e inferior deben mantenerse cerradas para evitar que el aire pierda calor y se aumente la humedad interna del horno. Cuando la madera comienza a reducir su contenido de humedad, el indicador de temperatura debe mantenerse a un máximo de 45 °C.

Durante el proceso de calentamiento (cuando alcanza 45°C), las rejillas de ventilación superior e inferior de la secadora deben mantenerse 100% abiertas para liberar el aire saturado extraído de la madera.

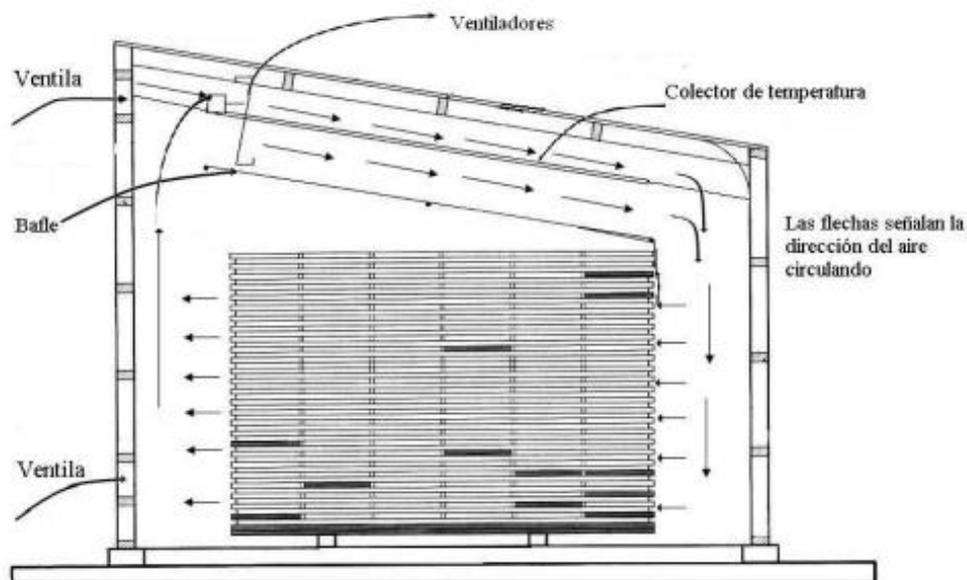


Ilustración IX.1. Circulación del aire dentro del horno

9.1.2.1. Propuesta de regulación de temperatura

La temperatura interna de la cámara de secado y de la madera se regula con la manipulación de las ventilas superiores, entre más abiertas estén más aire frío entrará al interior cuando presenta un ángulo de 45°C las ventanillas superiores se abren el 100% y la inferior 50% esto se hace hasta que la temperatura descienda a 40°C.



9.1.2.2. Propuesta de Regulación de humedad del aire

La humedad del aire en las ventanillas superiores a un 50% y las inferiores 100%, entre más abiertas estén más aire denso se libra es decir esta configuración hará que el aire húmedo salga por la parte inferior.

9.1.2.3. Propuesta de Recirculación y renovación del aire

Esta es una de las etapas de secado, el aire de la habitación se puede recircular calentando el aire de la habitación y volviéndolo a pasar por el apilamiento, sólo mediante el funcionamiento de los orificios de ventilación se puede renovar parte del aire. La recirculación de aire seco puede homogeneizar la humedad en la pila de madera. Para ello se usará una configuración del 10% de las aberturas inferiores para evitar que entre mucho aire húmedo del exterior.

La reposición de aire es realizada por medio de *ventanas que tienen compuerta de regulación manual en la parte superior e inferior de la cámara de secado*, siendo una de las primeras acciones durante el diseño y montaje, la sustitución de dichas compuertas por un dispositivo de apertura automático.

9.1.2.4. Propuesta de Enfriamiento de la cámara de secado

Cuando la madera esté por debajo del 13% de humedad y esté lista para ser retirada del horno necesita ser enfriada, esto evita que la madera sufra un choque térmico al salir de la cámara de secador con una temperatura elevada directamente al ambiente con aire frío. Se llevará a cabo con las ventilas superiores e inferiores 100% abiertas.

9.1.3. Propuesta en modos de operación y control del sistema automático.

En control que se pretende diseñar es por método de lazo cerrado, el cual analizara las variables del horno para compararla con el microcontrolador, que es el encargado de modificar la variable por medio de actuadores, lo único que no se puede controlar por medio del controlador es la incidencia de radiación solar, temperatura y humedad puesto que es muy cambiante y la calibración de los sensores que con el tiempo pierden su fiabilidad original.

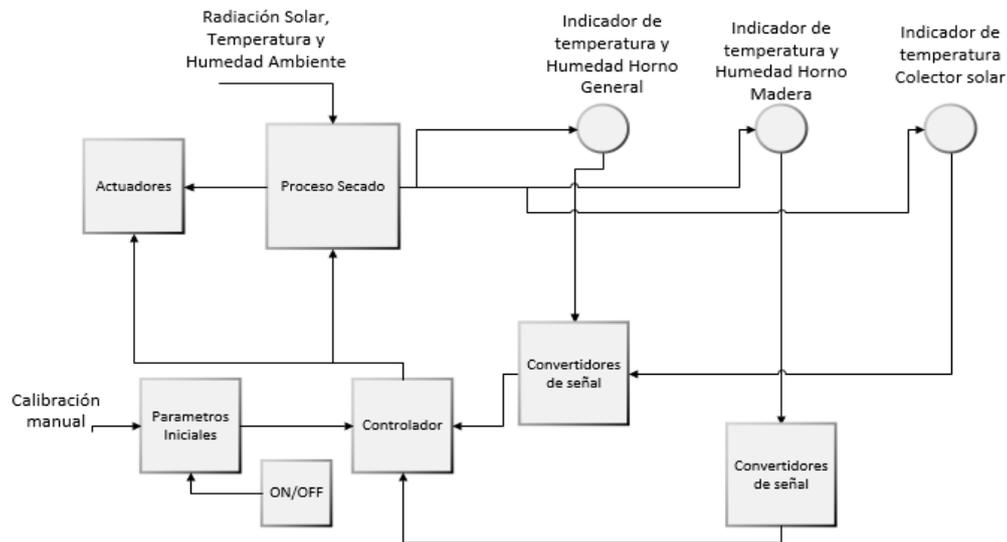


Ilustración IX.2. Modo de operación y control del sistema automático

9.1.3.1. Tipos de modos del sistema

El sistema debe ser autónomo sin embargo debe trabajar en varios modos de operación esto con el objeto de controlar las variables a conveniencia del operario. No obstante, cabe mencionar que el sistema siempre estará censando y guardando los valores de humedad y temperatura del horno en estudio sin importar el modo.

Ghajar & Çengel (2011), indican que la convección recibe el nombre de convección forzada si el fluido es forzado a fluir sobre la superficie mediante medios externos como un ventilador, una bomba o el viento. Como contraste, se dice que es convección natural (o libre) si el movimiento del fluido es causado por las fuerzas de empuje que son inducidas por las diferencias de densidad debidas a la variación de la temperatura en ese fluido. (pag.26)

El modo manual le dará el control al operario de encender o apagar el sistema en general, control sobre ventiladores, ver monitoreo de temperatura en un punto específico de la cámara de secado, hacer cambio en las variables del modo automático.

Mientras, el modo automático deberá ser capaz de monitorear la temperatura y humedad dentro del horno, esto con el fin de conocer la cinemática de secado de la madera, tanto en condiciones de convección natural, como de convección



forzada. determinando que nuestro sistema poseerá 2 modos principales de operación.

En el modo automático contara con dos modos: convección natural y convección forzada. Esto debido a que se busca buscar el mejor proceso de secado.

Modo automático en convección natural

El horno estará guardando los datos y enviando datos hacia la LCD de emergencias que indicaran avance del proceso o si hay alguna falla todo esto sin encender los ventiladores.

Modo automático en convección forzada

Los ventiladores estarán controlados por el mando principal, al tomar las mediciones de temperatura y humedad del horno tomara la decisión de encenderlos o no.

9.2. Propuesta en la alimentación y distribución inicial del sistema

En todo sistema tanto electrónico como eléctrico, una vez que se conocen los equipos a instalar ([apartado 8.2.](#)) y sus respectivas ubicaciones (puntos tomados para el Censo inicial de la temperatura y humedad dentro del horno, [apartado 12.1.2.](#)) es necesario calcular, tanto las longitudes como el calibre y numero de hilos del cableado a utilizar. Tomando como referencia el manual técnico de instalaciones eléctricas (ABB, 2007, pág. 378), para dimensionar correctamente una instalación, en general, se procede en base la secuencia que se describe:

9.2.1. Análisis de los consumos eléctricos

Con la alimentación eléctrica recibida por parte del PIMA, será necesario determinar, en base a los consumos mostrados en las fichas técnicas de los equipos a usar, un cableado adecuado capaz de evitar la caída de voltaje y soportan el consumo máximo del sistema cuando este opere en su máxima condición.



Debemos de recordad que el sistema posee dos tipos de circuitos, un circuito electrónico (ckto de mando), encargado de las mediciones de humedad y temperatura, así como el accionamiento del contactor y relé; Y un circuito eléctrico (ckto de fuerza), encargado de alimentar los dispositivos de potencia, ventiladores y extractores.

Consumo del circuito electrónico			
Equipos	Cantidad	Consumo (mA)	Consumo total (mA)
Arduino Mega 2560	1	93	93
Sensor de temperatura y humedad relativa DHT22	12	2.5	30
Sensor de temperatura LM35	10	0.06	0.6
Sensor de humedad relativa YL-69	5	35	175
Keypad de membrana 4x3	1	40	40
LCD I2C 16x4	1	40	40
Reloj RTC DS3231	1	20	20
Lector de MICRO SD	1	20	20
Módulo relay 4 canales	4	90	360
Micro servo Motor torque 1.6kgf SG90	4	850	3400
Total			4178.6

Tabla IX.1. Consumo de corriente del circuito electrónico



Consumo del circuito eléctrico			
Equipos	Cantidad	Consumo (A)	Consumo total (A)
Contactor	1	0.26	0.26
Extractores 25w	2	0.21	0.42
Extractores 43w	2	0.36	0.72
Ventiladores ¹	2	2.15	4.03
Total			5.43

Tabla IX.2. Consumo de corriente del circuito eléctrico

Haciendo los cálculos necesarios podemos determinar que el consumo máximo estimado para el sistema propuesto será:

Tipo de Circuito	Consumo (Amp.)
Consumo del circuito electrónico	4.2
Consumo del circuito eléctrico	5.43
Total	9.63

Tabla IX.3. Consumo total de corriente

9.2.2. Selección del conductor

Dado que, en el circuito electrónico, el equipo con mayor consumo corresponde a los servomotores (apartado 8.2.14), con un consumo máximo de 850 mAmp.; y a su vez, el mayor de los consumos en el circuito eléctrico corresponde al motor, con un consumo máximo de 2.15 Amp. Sin embargo, se debe de recordar que la alimentación de los ventiladores previamente fue instalada por el personal del PIMA, por lo que será reutilizada y conectada a nuestro contactor, dejando como mayor consumo a considerar en la selección del cableado, los extractores con un consumo de 0.36 Amp.

¹ Consumo de ventiladores obtenido por medición directa.



Según la tabla AWG (American Wire. Gauge), el calibre que decidimos utilizar para el diseño inicial corresponderá al número 18 (Powerstream, 2021), con las siguientes propiedades (ver anexo 6):

Calibre AWG	Diámetro del conductor mm	Ohmios por km	Amperios máximos para el cableado del chasis	Amperios máximos para transmisión de potencia
18	1.02362	6.385	16	2.3

Tabla IX.4. Propiedades del conductor de corriente

9.2.3. Dimensionamiento de transformadores

Los equipos descritos en el anterior apéndice, son energizados con un consumo promedio de 5V corriente continua y en cuanto a los circuitos de alta potencia, son energizados con 110v corriente alterna, exceptuado los ventiladores, los cuales operan a 220v. para el caso de la corriente alterna, el voltaje de operación corresponde al voltaje suministrado por las instalaciones del PIMA; sin embargo, para la operación del circuito electrónico, se necesitara adicional a la transformación de un voltaje 110v con salida en 5v, la rectificación de la misma.

Es importante mencionar que, según los cálculos realizados en el anterior apéndice, el consumo de todo el circuito electrónico corresponde a 3.9 Amp. para lo cual se seleccionan 2 fuentes de alimentación 5 V/ 3 Amp.

9.2.4. Cálculo de longitud

Para el cálculo de la longitud, es necesario conocer la cantidad exacta de equipos y sensores a utilizar, así como su ubicación en el horno. Es importante mencionar que los puntos de mediciones que se proponen, se tomaron considerando los puntos utilizados durante el estudio del funcionamiento actual que realizaron.



En relación al circuito electrónico, tratando de obtener una adecuada cantidad de mediciones se propone la siguiente ubicación de los sensores DHT-22:

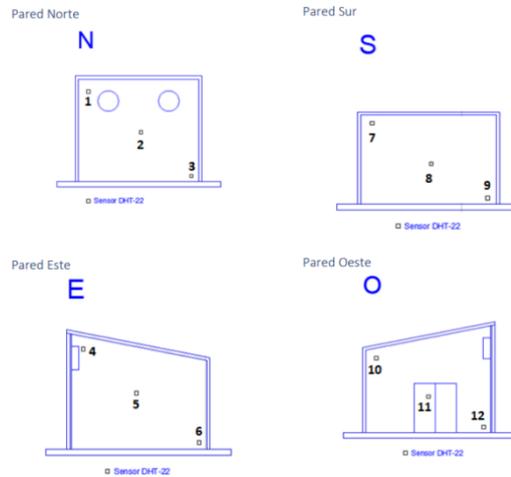


Ilustración IX.3. Ubicación de los sensores DHT-22

En el caso de este sensor se necesitan de 3 cables diferente, 2 de alimentación y 1 de datos, por lo que el cálculo para la distancia de cable, será el siguiente:

Pared	Sensores DHT22	Alimentación (cm)	Datos Digitales (cm)	Total (cm)
Norte	1	1065	325	1390
	2	834	202	1036
	3	581	93	674
Este	4	1233	328	1561
	5	1211	165	1376
	6	962	73	1035
Sur	7	701	253	954
	8	783	190	973
	9	842	93	935
Oeste	10	683	196	879
	11	713	193	906
	12	778	93	871
Total (Cm)				12590
Total (m)				12.59

Tabla IX.5. Distancia de cables a utilizar para sensor DHT-22



En cuanto a las mediciones correspondientes al apilamiento, se propone la siguiente ubicación de los sensores LM35 y YL69:

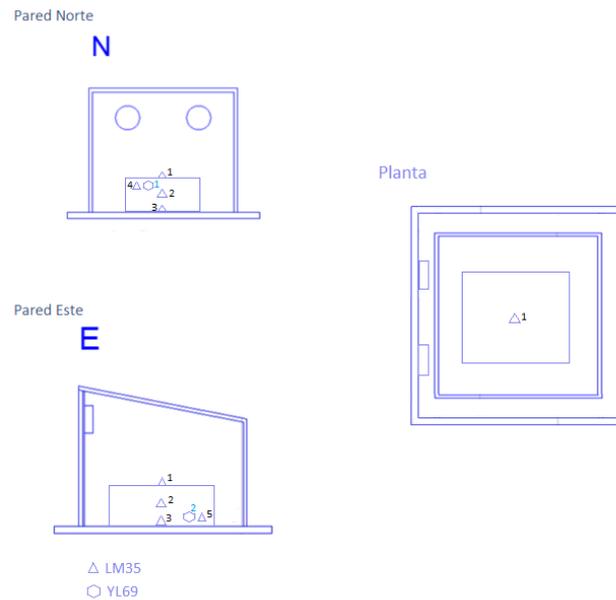


Ilustración IX.4. Ubicación de sensores LM35 y YL69

Para el caso del sensor LM35, se necesitan de 3 cables diferente, 2 de alimentación y 1 de datos, la misma conexión se aplica para el sensor YL69, el cálculo para la distancia de cable, será el siguiente:

Sensores	Cantidad	Alimentación (cm)	Datos Análogos (cm)	Total (cm)
LM35	1	764	189	953
	2	734	53	787
	3	724	68	792
	4	714	68	782
	5	784	53	837
YL69	1	714	68	782
	2	784	53	837
Total (Cm)				5770
Total (m)				5.77

Tabla IX.6. Distancia de cables a utilizar para sensor LM35 y YL69

En la Tabla IX.7, para el caso de la alimentación para los circuitos eléctricos, previo al estudio los ventiladores poseen un cableado a alimentación, por lo que



se agregara al cálculo de cableado, pero no en la cotización de compra. Los extractores, por otra parte, si serán agregados, siendo estos los únicos elementos a alimentar en el circuito eléctrico.

Equipo	Alimentación (cm)
Extractores Superiores	970
Extractores Inferiores	781
Ventiladores	965
Total (cm)	2716
Total (m)	2.716

Tabla IX.7. Distancia de cables a utilizar para extractores de aire

A continuación, se mostrará el resumen total de cableado que se necesitará en la instalación de nuestro sistema automático, tanto en circuito electrónico, como eléctrico:

Circuito	Longitud (cm)
Electrónico Digital	1259
Electrónico Análogo	5770
Eléctrico	2716
Total (cm)	9745
Total (m)	9.745

Tabla IX.8. Distancia de cable total a utilizar

Se decidió para el diseño inicial realizar una sola compra de cableado, el total en cableado a utilizar corresponde a **97.45 m de conductor**.

9.2.5. Calculo de caída de tensión

Para el cálculo de la caída de tensión, nos apoyamos en la plataforma de la compañía (PowerStream Technology , 2021) que tiene como objetivo ayudar a otras empresas a desarrollar productos, en base a las normas eléctricas NEC 2017 (Gerald Newton., s.f.). Es importante tener cuenta que la caída de voltaje no depende del voltaje de entrada, solo en la resistencia del cable y la carga en amperios.



Alimentación	Equipo	Distancia (ft)	Carga (Amp)	Caída de voltaje (voltios)	Caída de voltaje por ciento
6v DC	DHT22	37.17	0.0025	0.001	0.02
	LM35	25.72	0.0006	0	0
	YL69	25.72	0.035	0.012	0.2
120v AC	Extractores Superiores	31.82	0.42	0.176	0.15
	Extractores Inferiores	25.62	0.72	0.243	0.2
240v AC	Ventiladores	31.66	4.03	1.679	0.7

Tabla IX.9. Caída de tensión

Para el caso de los equipos existentes más de 1 vez, se utilizó la mayor de las longitudes. Todos los datos en la anterior tabla se realizaron con el calibre mencionado en el apartado.

En cuanto a caída de tensión, se tomaron todas las recomendaciones establecidas por las normas pertinentes:

IEC 60364-5-52 "Electrical installations of buildings Selection and erection of electrical equipment - Wiring systems", apartado 525, *la caída de tensión entre el origen de la instalación utilizadora y cualquier aparato utilizador, en la práctica, no sea superior al 4% de la tensión asignada de la instalación; sin embargo, pueden admitirse caídas de tensión más elevadas para los motores durante el arranque o para otros componentes eléctricos que requieran una absorción de corriente elevada. Las posibles condiciones transitorias debidas a un funcionamiento no ordinario pueden despreciarse.*

- IEC 60204-1 "Safety of machinery – Electrical equipment of machines – General requirements" en el apartado 13.5 se aconseja que: *la caída de tensión en el punto de entrada de la alimentación de la carga no sea superior al 5% de la tensión asignada en condiciones de funcionamiento corriente.*



X. Parametrización, diseño y construcción del sistema automático

10.1. Diseño del sistema automático para censo y monitoreo de la temperatura y humedad interna del horno

Lo fundamental en todo diseño experimental es una adecuada selección de los componentes a usar, en nuestro caso, sensores; para dicha selección se tomamos como referencia todos los datos obtenidos en un censo piloto con métodos y equipos usados por el PIMA ([ver apartado 8.1.](#)). Obteniendo datos referentes a la temperatura ambiente (ver anexo 1) y temperatura superficial de las paredes (ver anexo 2) internas del horno, así como las temperaturas superficiales del colector de radiación solar (ver anexo 3) y las humedades relativas dentro del horno (ver anexo 2), se muestran los siguientes datos en tabla:

Valores	Temp. prom. Horno	Temp. paredes prom. Gnl.	HR prom. Gnl.	Temp. prom. colector	Temp. prom. Amb.
Máximo	54.2	55.00	33.35	82	39.60
Mínimo	30	35.05	74.13	36	27.67

Tabla X.1. Valores máximos y mínimos de censo piloto inicial

Previo a un diseño, lo principal es definir los límites y funciones de operación del sistema automático, esto nos permitirá una propuesta de diseño más certera a lo deseado.

En el [apartado IX.](#) se detallan todos los factores y métodos de operación propuestos a considerar en el desarrollo del sistema automático.

10.1.1. Diseño y construcción del prototipo inicial

Conocido todos los parámetros antes mencionados de funcionalidad y operación, la definición de los sistemas automáticos bajo los parámetros de estados finitos ([apartado 5.6.](#)), así como los modos de operación y control del sistema automático ([apartado 9.1.3.](#)) se procede a una selección de equipos a



utilizar, dado que en el mercado existe una amplia variedad de dispositivos que cumplen con nuestras condiciones de operación, los factores más determinante para esta selección serán: los costos, mantenimientos futuros (tanto preventivos como correctivos), facilidad de adquisición en el mercado nacional y finalmente, dado que el sistema será operado por el personal técnico, un sistema que posea una gran variedad de información (tanto física como virtual) para su uso y programación, así como compatibilidad con el micro controlador Arduino será lo mejor para garantizar un correcto uso y durabilidad para el sistema automático.

10.1.1.1. Propuesta inicial para la selección de equipos y diseño del sistema automático

Lo principal en la selección es recordar que el micro controlador, Arduino, está definido desde los inicios del estudio, por su facilidad de aprendizaje, bajo costo de adquisición y recientes aplicaciones en áreas industriales. Para la selección de los modos de operación y función del sistema, se propone el uso de un teclado numérico. En todo sistema es necesario una pantalla donde se muestren datos de interés para el usuario, para ello seleccionamos una LCD I2C 16x4 con una amplitud en pantalla para mostrar la mayor cantidad de datos posibles.

Conocidas las temperaturas máximas y mínimas de los valores a medir en la Tabla X.1. Se seleccionó para la medición de la humedad y temperatura ambiente interna del horno, el sensor DHT22 un sensor de tipo digital comúnmente usado con el micro controlador Arduino. En el caso de la temperatura y humedad ambiente en el exterior del horno, se decidió no utilizar ningún tipo de sensor dentro del sistema, es muy importante mencionar que para el caso de sensores que se encuentren en contacto directo con el exterior, dado el grado de exposición, son sensores de tipo industrial. En la actualidad existen instituciones nacionales como el Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales (MARENA) o internacionales como la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio, más conocida como NASA (por sus siglas en inglés, National Aeronautics and Space Administration); donde es posible obtener un valor aproximado y muy preciso del ambiente exterior al horno, esto a su vez reducirá nuestros costos de adquisición, montaje y mantenimiento.



En el caso de la temperatura superficial en el colector de radiación solar, se propone utilizar los sensores de tipo resistivos LM35, son sensores de un amplio espectro de medición y soportan temperaturas altas superiores al máximo registrado duran el censo inicial del horno, eso nos garantiza un óptimo funcionamiento, sin mencionar los muy bajos costos de adquisición en comparación a otros sensores del mercado.

Para la medición de la humedad en la madera, dado que el sensor de madera usado en el censo inicial es de tipo capacitivo, y no se pudo encontrar en el mercado nacional. Lo más accesible fue considerar un sensor de tipo resistivo, muy familiar para el microcontrolador Arduino, siendo el más seleccionado el sensor YL-69 es importante mencionar que el uso principal de este sensor, es para medición de humedad de suelos; sin embargo, dado que, en este proceso de desarrollo, nos encontramos en pruebas iniciales, se consideró el uso experimental del mismo para la medición en madera. En el caso de la medición de la temperatura en la madera, se decidió utilizar el sensor por contacto de tipo resistivo LM35.

Todos los datos obtenidos deben ser almacenados para su posterior análisis y para ello propusimos utilizar, lector de MICRO SD en conjunto con un módulo de tiempo, reloj RTC, para el registro de fecha y hora de las mediciones tomadas. También se incorporará un módulo bluetooth como una segunda opción en la extracción de los datos.

Para el caso de la convección forzada, el control de los ventiladores internos será accionado por un contactor cuyo control está en mando del módulo relay; el cual además de accionar, los ventiladores, también (bajo el mando del Arduino), podrá accionar los extractores superiores y los extractores inferiores. El cierre y apertura de las compuertas para los extractores será dirigido con servo motores, controlando la reposición del aire dentro del sistema de secado del horno. Todo el sistema dado se trabando con electrónica de baja potencia, será alimentado por un transformador rectificador conectado a una alimentación previamente solicitada al PIMA.



10.1.1.2. Diagrama de circuito del sistema

Finalmente, para obtener una mejor comprensión del circuito a instalar en las pruebas del diseño inicial se trabajó con el programa (Fritzing, 2021), que permite simular y comprobar la programación de la placa Arduino y así corregir errores que se presenten al momento de compilar el código; con ello podemos obtener una mejor imagen sobre las conexiones de nuestro sistema, así como la simetría en las líneas que este puede poseer.

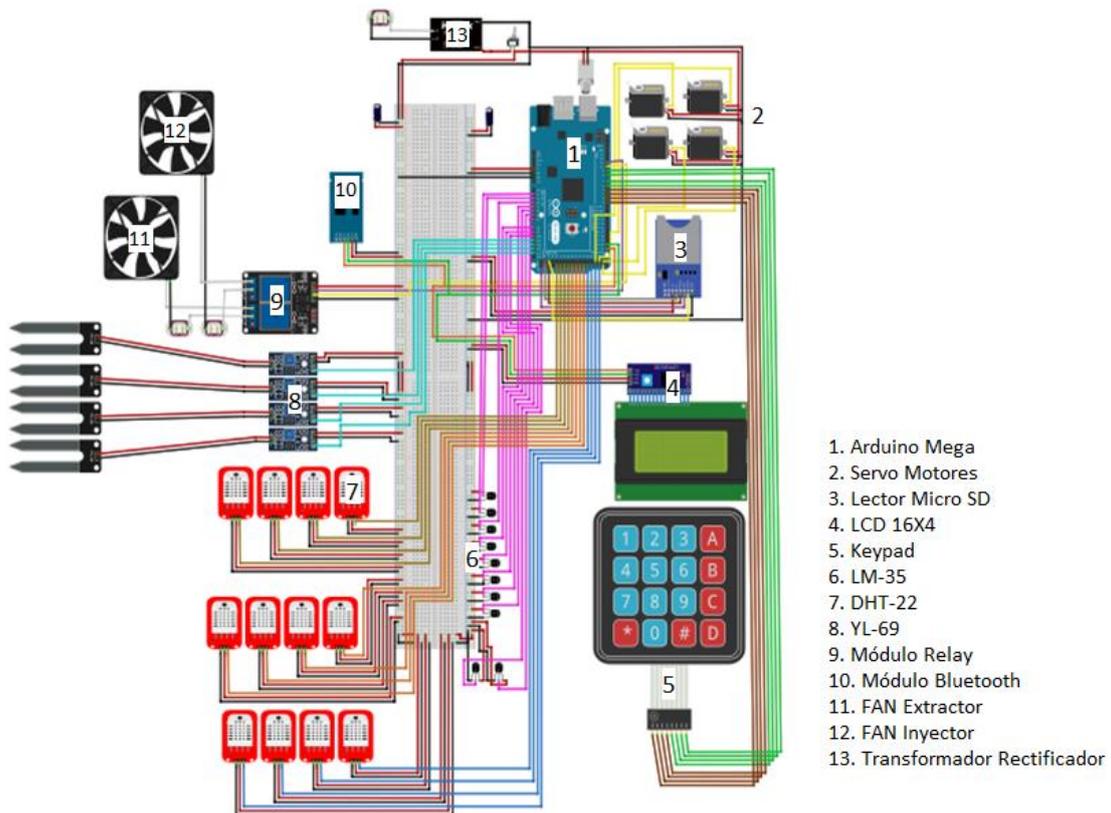


Diagrama X.1. Circuito del sistema Inicial



10.1.1.3. Consideraciones

Posterior a la instalación y pruebas iniciales, se encontraron ciertos puntos a mejorar para un óptimo funcionamiento del sistema automático, los cuales se describen a continuación:

- a. Dada una mala continuidad en las uniones entre el cableado, los sensores y el microcontrolador; la señal de datos tiende a perderse, por lo que se optó en cambiar el cableado por cable de red, seleccionándose el cable UTP CAT-5E. Esta selección se da debido a la buena conductividad que posee este tipo de cableado, necesario para la comunicación entre servidores y equipos, así como su diámetro 2.9 veces menor que el anterior (calibre 24 awg).
- b. Se decide eliminar el uso del módulo bluetooth con el fin reducir el tiempo de diseño, este asume el diseño de una aplicación capaz de conectar el sistema automático a dispositivos móviles, proceso que aumentará la complejidad del código y diseño de. apk (aplicación móvil).
- c. A largos tiempos de medición, el sensor DHT22, tiende a perder las mediciones de humedad del ambiente (indique medición NAN, no existe valor), investigando a detalle, esta falla es natural de dicho sensor; se corrigió la falla directamente en la programación (forum.arduino, 2019). En caso que la medición falle a futuro, se recomienda reiniciar el sistema automático.
- d. Durante las pruebas iniciales, al utilizar el sensor resistivo YL69 en la medición de la Humedad de la madera, pese a realizar varios métodos de unión entre sus pines y la madera, no se pudo obtener valores resistivos significativos que prueben que estos pueden variar según el porcentaje de humedad de la madera. Se investigará a más detalle papers previos que puedan ser aplicables a nuestro caso y con las que se puedan obtener valores concluyentes ([ver apartado 16.1.](#)).
- e. En el caso del sensor resistivo LM35, dado el valor resistivo aportado por las uniones entre el sensor y el microcontrolador, produce irregularidades en la medición de la temperatura que no se lograron calibrar con efectividad, se decidió la sustitución de las mismas, por el sensor de



- temperatura tipo sonda DS18B20, que cumple con los márgenes máximos y mínimos de la temperatura dentro del horno, así como la consideración en cuanto a costo y existencia en el mercado nacional refiere.
- f. Durante las pruebas se observó que la variación de temperatura en los 5 puntos de las paredes difiere en un promedio general de 2.3°C (ver anexo 7), lo cual, dado en enfoque del estudio y la velocidad de cambio de temperatura dentro del horno, se modificara la cantidad de sensores de temperatura dentro del horno de 3 a 1 por pared.
 - g. Al estar activado los ventiladores, se pudo observar que el flujo de aire no impactaba al apilamiento de manera uniforme, esto a causa de la perpendicularidad entre la pared y el suelo, por lo que se colocara una lámina metálica curvada que direcciona el flujo de aire.

10.1.2. Rediseño y mejoras al sistema automático

Tomando en consideración los hallazgos durante el diseño y pruebas iniciales, se realizaron mejoras dentro del sistema, así como la incorporación de nuevos elementos, como se observa en la siguiente ilustración:

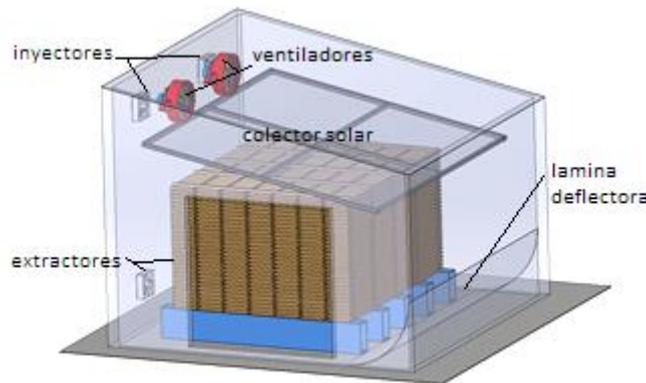


Ilustración X.1. Componentes del horno solar

10.1.2.1. Diagrama de circuito del sistema

Nuevamente, para obtener una mejor comprensión de las mejoras del circuito a instalar, se utilizó el programa Proteus, que permite simular y comprobar la



programación de la placa Arduino, es importante mencionar que previo se probó cada elemento de forma independiente, comprobando así su funcionalidad.



Diseño de sistema automático para monitoreo de la cinemática del secado de madera en un horno solar, evaluando condiciones de convección natural y convección forzada, ubicado en las instalaciones del Programa Institucional de la Madera (PIMA) de la UNI-RUPAP

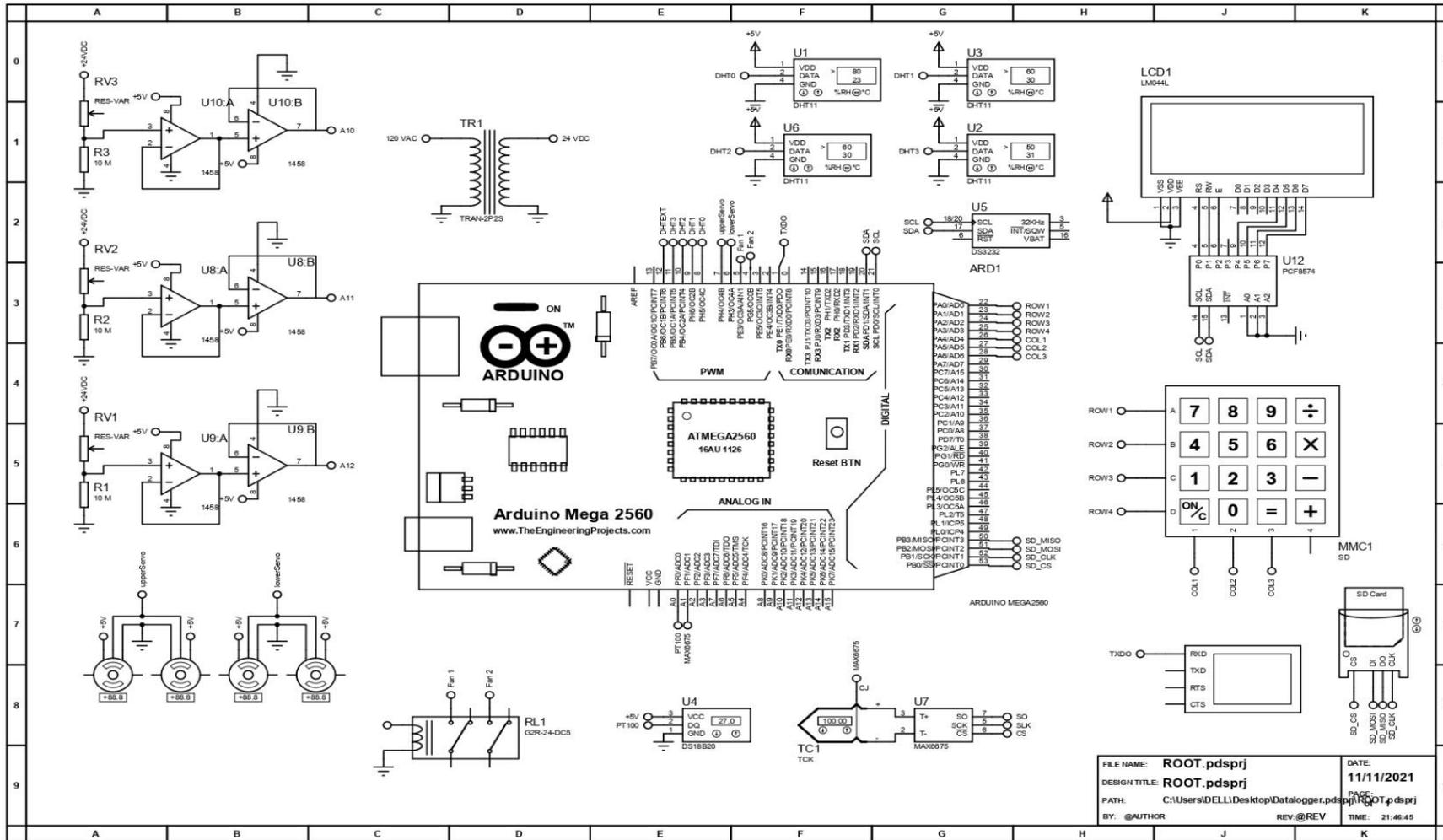
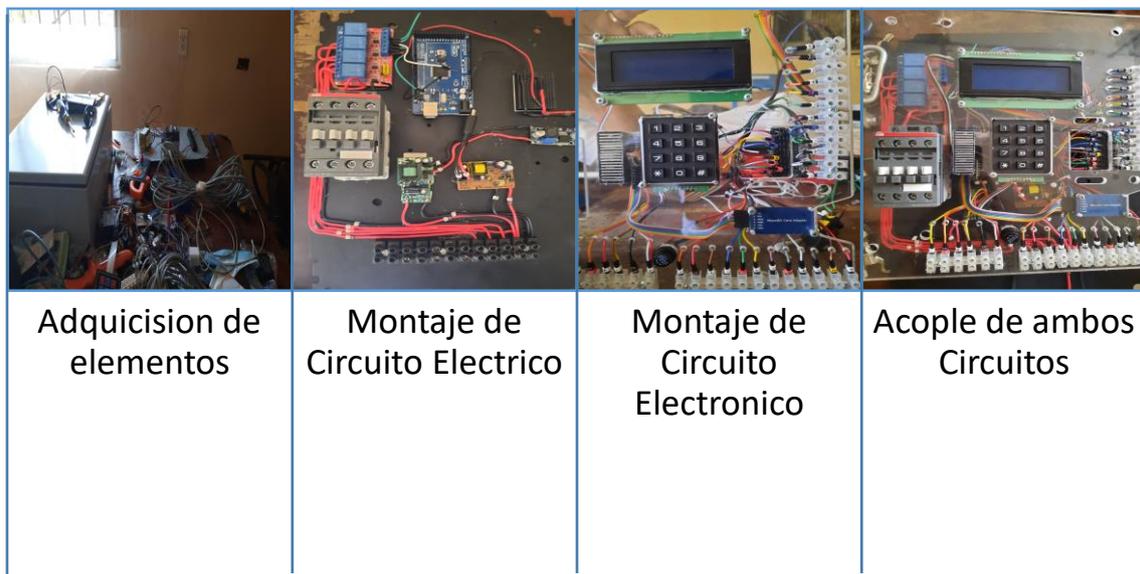


Diagrama X.2. Circuito de rediseño del sistema



10.1.3. Diseño y construcción de Prototipo Final

En cuanto a la posición del centro de monitoreo, se decidió ubicarlo en el costado norte exterior del horno, siendo esencial el uso de un panel para exteriores. Una vez adquirido, se comienza con el montaje de los elementos dentro del panel de control y a su vez, se realiza las correcciones necesarias dentro del horno (instalación de extractores, sensores, líneas de alimentación y datos; y lámina curvada), como se muestra en las siguientes imágenes:



Gráfica X.1. Proceso de construcción de Prototipo Inicial

Posterior a el proceso de construcción, lo siguiente fue la realización de la medición en relación al consumo y la interfaz del mismo.

Se concluyó que el sistema se encuentra en óptimas condiciones, sin embargo, dado que el sistema se utiliza por periodos prolongados, se consideró necesario un periodo ininterrumpido de censado con el fin de establecer con seguridad su funcionamiento.

10.1.3.1. Consumos eléctricos del sistema

A causa de las mejoras en el sistema, algunos de los elementos fueron cambiados o reducidos, por lo que se consideró, realizar mediciones en el campo con el fin de conocer los consumos actuales en el sistema, según sus modos de



operación, se utilizó un amperímetro digital, en la siguiente tabla se muestran los consumos del sistema automático (ver anexo 9):

Modos de operación	L1		L2		Descripción
	Amp.	Watt	Amp.	Watt	
Convección Natural	0.01	1.1	0	0	Únicamente los sensores se encuentran activos
Convección Natural con reposición de aire	0.02	2.2	0.925	101.75	Sensores siempre activos y extractores activos según temperatura UP/LOW
Convección Forzada sin reposición de aire	4.05	445.5	4.03	443.3	Sensores siempre activos y ventiladores activos según temperatura UP/LOW
Convección Forzada con reposición de aire	4.2	462	4.97	546.7	Sensores siempre activos. Extractores y ventiladores activos según temperatura UP/LOW

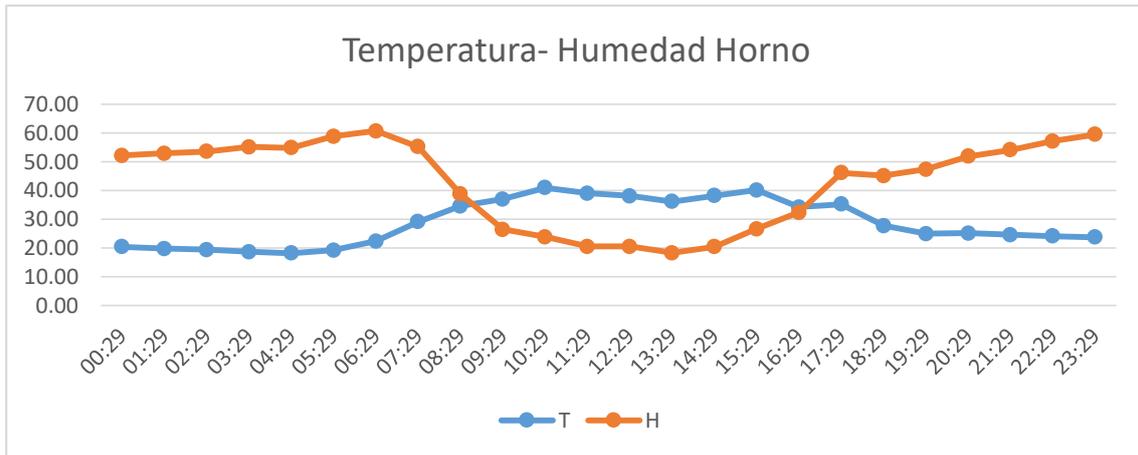
Tabla X.2: Consumo eléctrico del sistema

En la realización de este documento, los modos de operación que se utilizaron en los procesos de secado de madera, corresponden a *Convección natural* y *Convección forzada con reposición de aire*.

10.1.4. Monitoreo y censado de prueba inicial

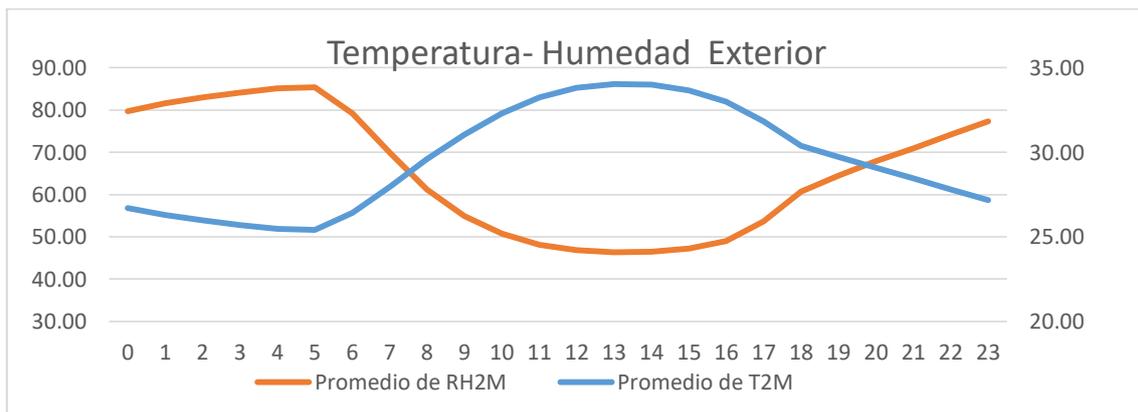
Reforzando la fiabilidad del sistema; una vez instalado el sistema, se inició el monitoreo de la temperatura y humedad, con el fin de encontrar posibles fallas notorias a causa de un uso prolongado. Se tomó para ello, mediciones desde las 14 horas del 22 de mayo de 2021 hasta las 24 horas del 02 de junio del mismo año. Es importante mencionar que, durante dichas pruebas, se presentó un problema entre las 18 horas del día 25 y las 6 horas de siguiente día, dado a causa de un apagón general y un mal reinicio del sistema, un suceso totalmente ajeno al control del sistema (ver anexo 10).

Basándonos en los resultados obtenidos y analizando el promedio de los datos en función de las horas, se puede observar de manera preliminar, un patrón del comportamiento entre la humedad-temperatura-hora dentro del horno.



Gráfica X.2. Censo de T- HR interna del horno 1ra Prueba

En el anterior gráfico se puede observar como la temperatura es inversamente proporcional a la humedad, así como los valores máximos de humedad se encuentran presentes en horas previas al alba, dando su descenso posterior y nuevamente su ascenso posterior al crepúsculo. Este tipo de comportamiento coincide con el mostrado a continuación, en los datos de humedad-temperatura exterior suministrados por (NASA - National Aeronautics and Space Administration) durante los mismos días de la prueba, que garantizan valores lógicos durante el censado (ver Anexo 11).



Gráfica X.3. Censo de T- HR externa del horno 1ra Prueba

Finalmente, podemos decir con mucha seguridad que posterior a 12 días de uso continuo, el sistema puede operar de manera funcional, sin presentar una falla a causa de un error en el sistema.



10.1.5. Plan de mantenimiento

Para un correcto funcionamiento del sistema automático a lo largo de su uso, se recomienda realizar, al igual que cualquier equipo, un plan de mantenimiento. Nuestro sistema cuenta de un plan de mantenimiento preventivo simple, esto debido a que los elementos que se seleccionaron, dado sus bajos costos y la experiencia adquiridas durante el desarrollo del estudio, requieren en caso de falla su reemplazo. Adicional, se tomó esta decisión con el fin de disminuir los costos de mantenimiento del sistema y de igual manera facilitar la comprensión y realización del mismo al personal técnico del PIMA.

Plan de mantenimiento preventivo.			
Cada 6 meses			
Actividad al realizar	Verificar	Ajuste	Reemplazar
Limpieza de panel y horno			
Sujeción de los dispositivos en el panel			
Conexiones en borneras			
Accionamiento correcto de contactor			
Voltajes de alimentación			
Amperaje de motor del fan			
Sensores DHT22			
Termocupla tipo K			

Tabla X.3. Plan de mantenimiento preventivo del horno

Es importante mencionar, que, durante la realización del estudio, solo se requirió el reemplazo de aquellos DHT22 que por acción humana fueron dañados. Durante el periodo de tiempo del estudio, no se observó fallas a causa de hardware, por lo que, en un periodo de tiempo superior al registrado en el documento, no se garantiza el óptimo funcionamiento de los sensores. Siendo la recomendación un reemplazo de los mismos. Sin embargo, para futuras investigaciones, se sugiere al lector interesado, realizar un estudio sobre la funcionalidad de los sensores en un periodo de tiempo superior al registrado.



10.1.6. Presentación final del sistema automático.

Durante el desarrollo del estudio, el sistema se vio afectado por diferentes factores del entorno mismo, sin embargo, la funcionalidad durante este periodo (7 meses) se concluye como correcta, por lo tanto, para la presentación final del sistema automático se presenta el circuito electrónico en PCB, garantizando el óptimo funcionamiento, despreciables o nulos problemas de continuidad y la seguridad de evitar cambios en el circuito, a esto se excluye las futuras modificaciones con cambios directos a los tipos de sensores y conexiones que alteren los modos de operación establecidos en el documento.

Para la elaboración del circuito PCB, se tomó el formato de circuito echo en PROTEUS, así como de EAGLE de Autodesk, en el cual una vez montado los puntos de unión, entradas y salidas (ver anexo 12), se realizó el simulado de la tarjeta electrónica PCB (ver anexo 13) obteniendo finalmente nuestro circuito impreso, mostrado en la siguiente imagen de simulación:

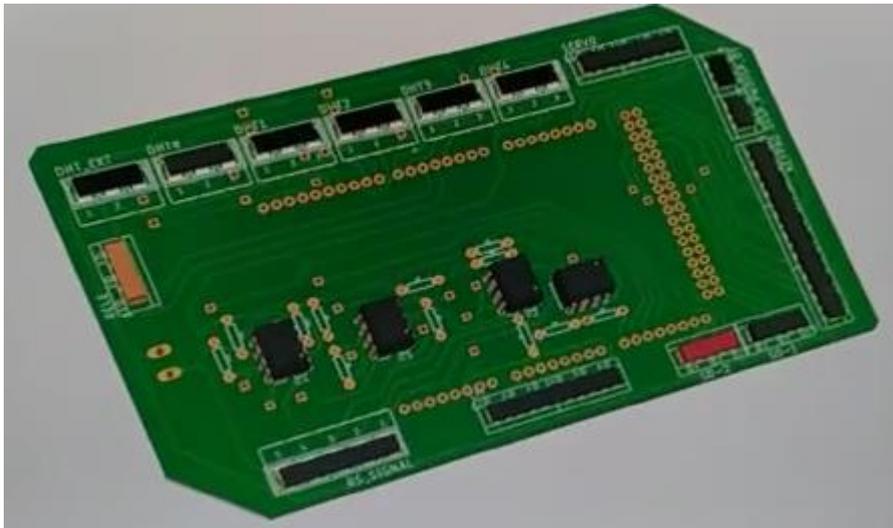


Ilustración X.2. Tarjeta electrónica PCB

10.1.7. Costos de proyecto

El sistema automático para monitoreo de la cinemática del secado de madera en un horno solar está enfocado principalmente para PYMES y pequeñas empresas. Los materiales y su diseño se centran en bajos costos de inversión comparado con sistemas aplicables a entornos altamente automatizados/ industrializados.



El costo total del proyecto aplicado en este documento, incluyendo prototipos, pruebas y correcciones, es de C\$47,467 córdobas netos (ver anexo 25). El costo antes mencionado es únicamente de suministro de materiales, no incluye costo por instalación y mejoras (mano de obra).

El costo del producto final incluyendo instalación del sistema es C\$47,661.75 córdobas; a continuación, se presentan en la Tabla X.4 los costos de los materiales y en la Tabla X.5 los alcances del proyecto.

Cantidad	Elementos	Costo Unitario (C\$)	Costo Total (C\$)
1	Arduino mega 2560	C\$2,300.00	C\$2,300.00
4	Sensor de temperatura y humedad relativa DHT22	C\$100.00	C\$400.00
1	Keypad de membrana 4x3	C\$113.00	C\$113.00
1	LCD I2C 16x4	C\$350.00	C\$350.00
1	Reloj RTC DS3231	C\$215.00	C\$215.00
1	Lector de MICRO SD	C\$250.00	C\$250.00
1	Módulo relay 4 canales	C\$270.00	C\$270.00
1	Estabilizador descendente DC-DC LM2596	C\$112.00	C\$112.00
1	Contactador ABB AF16-30-10-13	C\$2,590.00	C\$2,590.00
1	Fuentes de Alimentación 5V 3Amp	C\$180.00	C\$180.00
1	Sensor de temperatura tipo sonda DS18B20	C\$126.00	C\$126.00
4	Micro servo Motor torque 1.6kgf SG90	C\$146.00	C\$584.00
2	Extractor Fulgore 8" 25W 950m3/h	C\$2,950.00	C\$5,900.00
2	Extractor Fulgore 12" 43W 1900m3/h	C\$3,200.00	C\$6,400.00
2	Opamp Lm358	C\$130.00	C\$260.00
5	Resistencia 10MOhm 1W	C\$5.00	C\$25.00
2	Termocupla tipo k	C\$230.00	C\$460.00
1	Siemens LOGO! POWER 24V 1.3A	C\$1,780.00	C\$1,780.00
1	Guarda motor siemens	C\$3,500.00	C\$3,500.00
100m	Cable de Red UTP CAT-5E	C\$50.00	C\$5,000.00
50m	Cable Mono conductor AWG 18	C\$12.00	C\$600.00
1	Gabinete metálico ATLANTIC	C\$1,890.00	C\$1,890.00
	Consumibles de la instalación del sistema	C\$2,000.00	C\$2,000.00
	Mano de obra	C\$12,356.75	C\$12,356.75
Total (C\$)			C\$47,661.75

Tabla X.4. Costo del producto final



Cronograma de Instalación	
Descripción de Tarea	Duración
A) Preparativos de materiales o elementos que se utilizarán	
1. Compra de los elementos	3 días
B) Montaje de sistema automático en gabinete	
1. Preparación de gabinete	0.5 día
2. Preparación de tabla de acrílico	1 día
3. Montaje de elementos electrónicos	2 días
4. Montaje de elementos eléctricos	2 días
5. Conexiones de eleómetros eléctricos y electrónicos	2 días
C) Configuración de Arduino	
1. Instalación de código	1 día
2. Pruebas de laboratorio	5 días
D) Montaje de gabinete	
1. Instalación de gabinete en horno	1 día
2. Conexiones de alimentación eléctrica al sistema automático	1 día
E) Montaje de extractores de aire	
1. Instalación de servo motores en extractores de aire	2 días
2. Montaje de extractores	2 días
3. Instalación de conexiones eléctricas	2 días
F) Montaje de cableado y sensores	
1. Instalación de cableado de alimentación y datos	3 días
2. Instalación de sensores	1 día
3. Conexión de sensores	1 día
G) Pruebas del sistema automático	
1. Realización de pruebas	2 días

Tabla X.5. Cronograma de instalación

10.1.7.1. Comparación costo del sistema propuesto con el mercado nacional

Adicional al sistema de monitoreo automático implementado en este documento, es posible aplicar un segundo tipo de sistema automático, implementado elementos y equipos comúnmente usados en industrias con alto nivel de automatización. Haciendo uso del control lógico programable (PLC), componentes y sensores de grado industrial. Es natural, dado la confiabilidad y precisión de los productos, los elevados costos de adquisición e instalación.

En contraste, se encuentra el sistema automático implementado en esta investigación que utiliza microcontrolador Arduino, capaz de cumplir con las funciones necesarias de la automatización en el proceso de secado, sus componentes son eficaces y sus costos de adquisición son menor en



comparación con los implementados en el PLC, su principal consumidor son las pequeñas y medianas empresas.

Solicitando a (Grupo ANTÓN, 2021), una empresa que aporta soluciones ad hoc de eficiencia energética, robotización, digitalización, gestión de instalaciones; el costo un sistema con PLC implementando las mismas características y condiciones del desarrollado en este documento, se puede observar en el anexo 26, un costo de inversión por \$ 5,850.00 dólares, C\$207, 617.085 a la tasa de cambio del día de la cotización (ver anexo 27). En comparación, en sistema implementado es 77% más bajo.

XI. Modo de operación de la interfaz

11.1. Interfaz del sistema Automata

En el sistema automático, desde la propuesta en los modos de operación y control ([apartado 9.1.3.](#)) no fue necesario realizar muchos cambios durante el prototipo inicial, sin embargo, mencionar sobre la interfaz se considera necesario para dar un mejor entendimiento al lector sobre la funcionalidad y operación del sistema, en otras palabras, presentar de forma sencilla al usuario el entendimiento y selección del modo de operación.

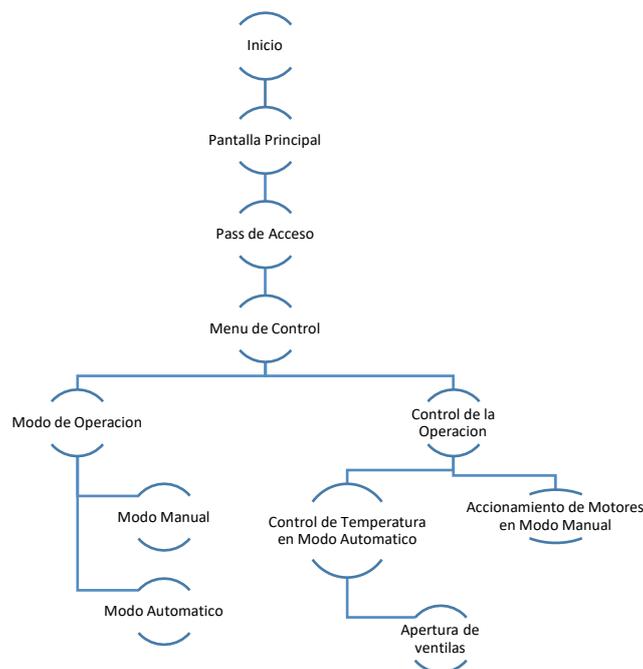


Diagrama XI.1. Organigrama de operación de la interfaz



En caso mayor interés en el desarrollo y contenido del código del sistema, se recuerda que el lenguaje de programación fue Processing, una adaptación del lenguaje en C++, aplicado en Arduino. En el [apéndice 14.8](#), se detalla todo el desarrollo del mismo.

11.1.1. Inicio

Una vez energizado el sistema, este iluminará la LCD y realizará un escaneo a detalle reconociendo todos los elementos del sistema, posterior mostrará el siguiente mensaje de bienvenida:

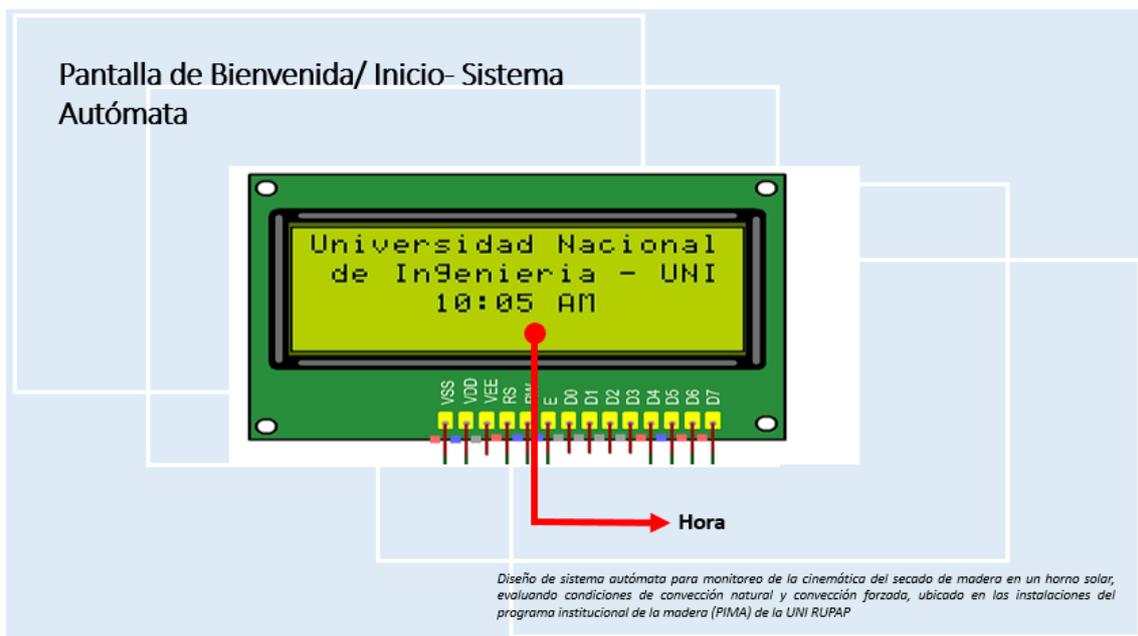


Ilustración XI.1. Pantalla de bienvenida/ Inicio del sistema

En caso que la pantalla quede en blanco, esto será un indicador que uno de los elementos del sistema no está siendo reconocido por el sistema, se aconseja chequear la alimentación y conectividad de los equipos con el microcontrolador. Cuando la conectividad sea restaurada, este pasará automáticamente a la pantalla principal.

11.1.2. Pantalla principal

En la pantalla principal se muestran los datos en tiempo real a una tasa de refresco de 3 segundos, cabe mencionar que, en la micro SD, los datos se guardan cada 2 minutos. Se puede refrescar la pantalla de forma manual presionando el botón numeral (#) en el teclado alfanumérico.



Para los cuales, corresponde los siguientes datos:

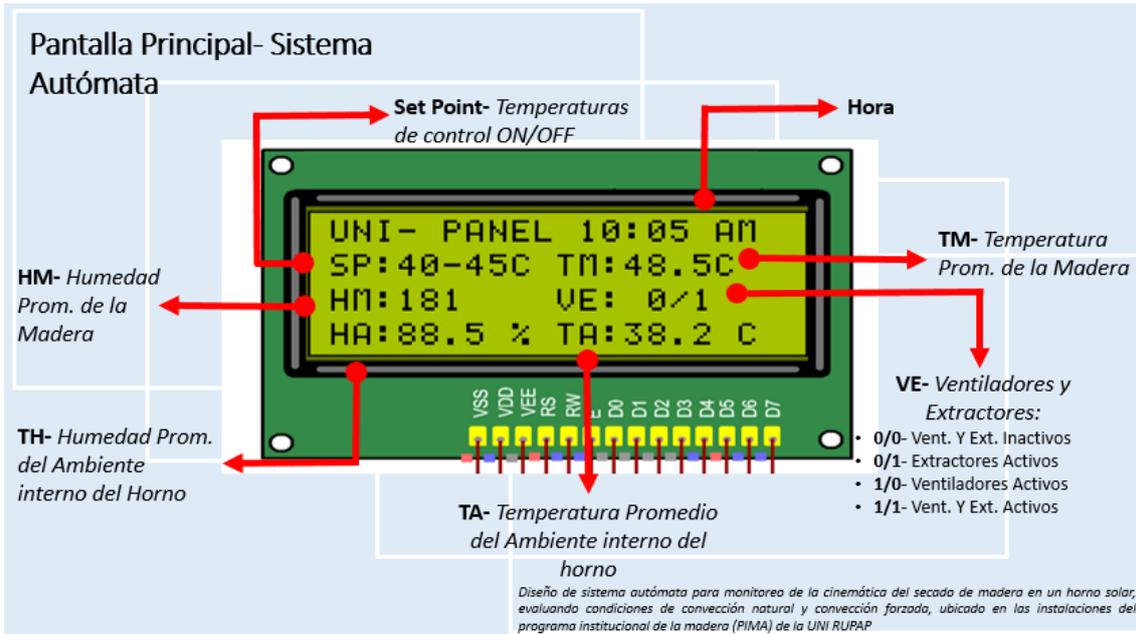


Ilustración XI.2. Pantalla principal

11.1.3. Pass de Acceso

Presionando el botón asterisco (*), se accede al menú PASS, una antesala con la que solo el operario calificado puede acceder al menú de control, evitando así posibles modificaciones al sistema no deseadas. La contraseña será de conocimiento del operario y quienes considere calificados; y podrá ser modificada directamente desde la programación del sistema.

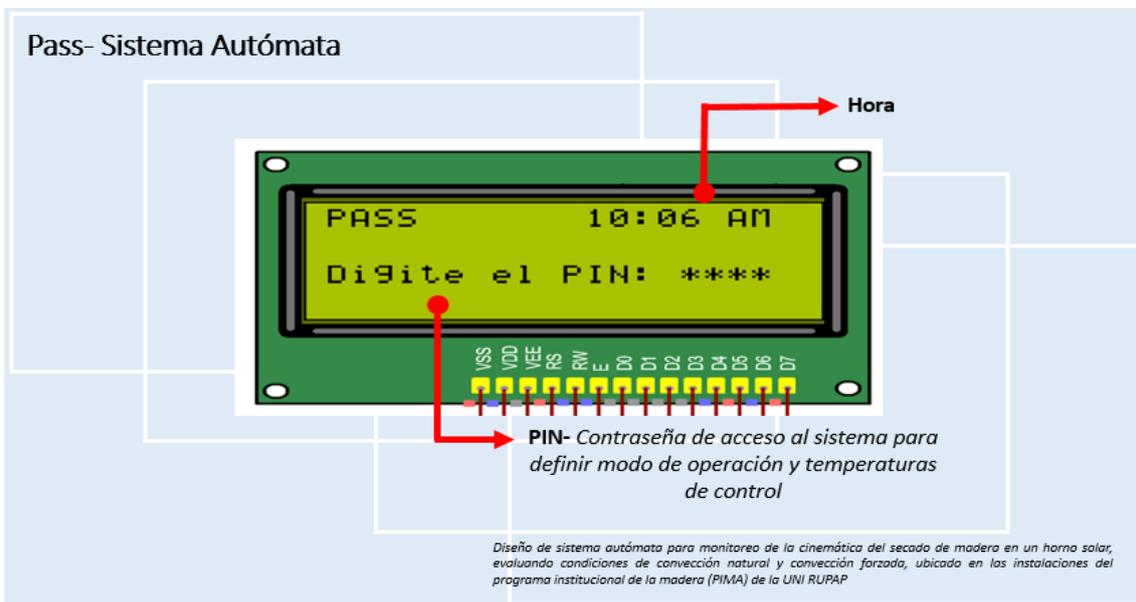


Ilustración XI.3. Pass de acceso



11.1.4. Menú de Control

En el podemos seleccionar el modo de operación y el control del mismo.

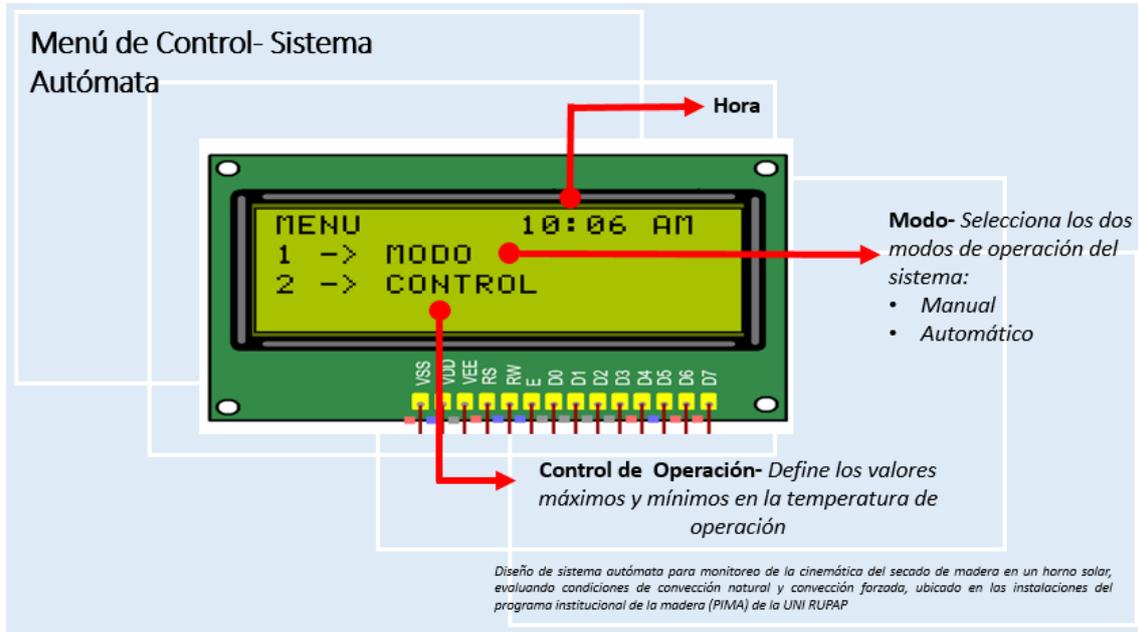


Ilustración XI.4. Menú de control

11.1.5. Modo de operación

En el **Modo de operación** se selecciona dos modos de operación:

- Manual, con encendidos y apagados de ventiladores y extractores a disposición del operario.
- Automático, con encendido y apagado según las temperaturas definidas en el control de operación.

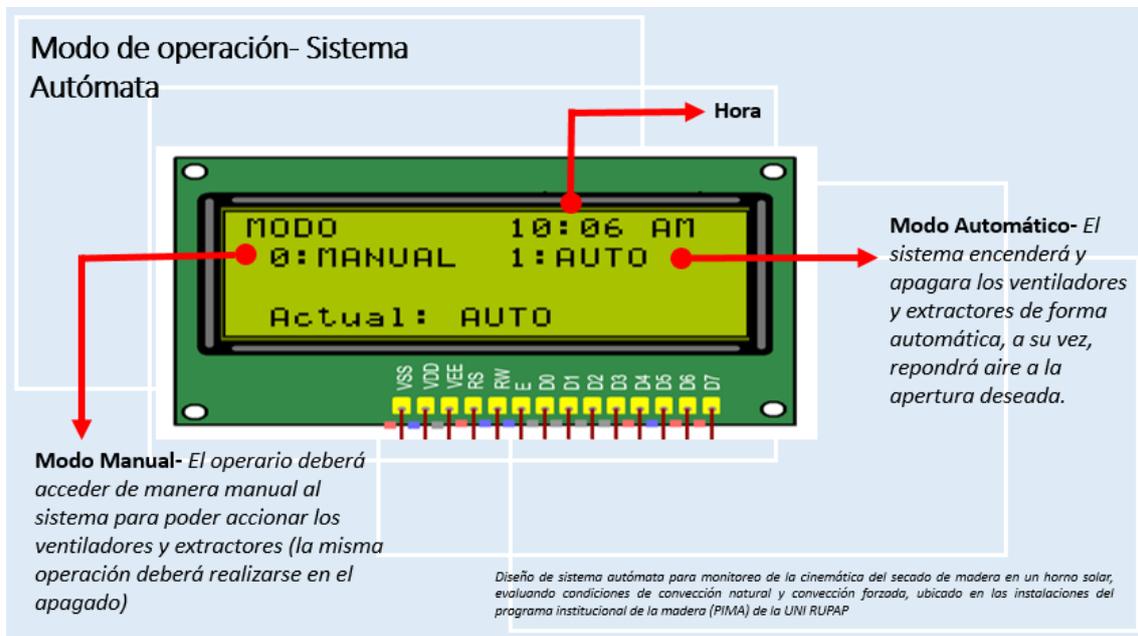


Ilustración XI.5. Modo de Operación



Posterior a la selección del modo de operación, el sistema volverá al menú de control ([apartado 9.1.4.](#)).

11.1.6. Temperatura ON/OFF en Modo Automático

Se accede a este control en *modo automático* (1) y seleccionando la opción de control (2) desde el menú de control. En él se definen los valores de temperaturas máximos y mínimos en los que, tanto los ventiladores como los extractores, serán activados o desactivados en modo Automático a la apertura de ventilas deseada.

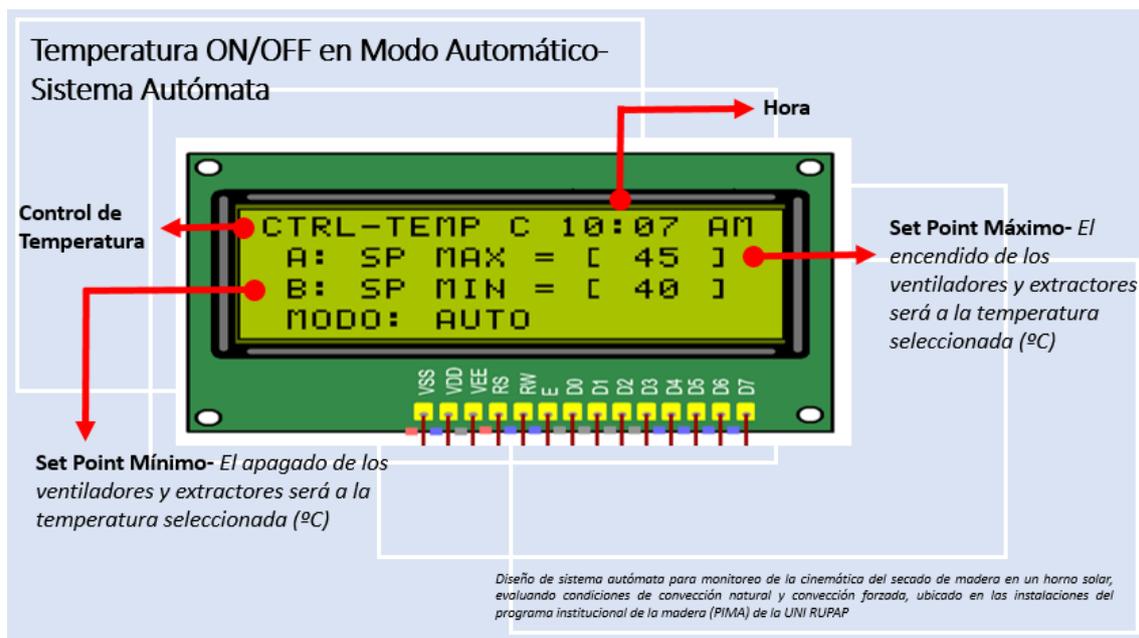


Ilustración XI.6. Temperatura ON/OFF en modo Automático

11.1.7. Apertura de ventilas en modo automático

La construcción de estas ventilas se realizó con los servomotores ([apartado 6.2.14.](#)) instalándolos en las compuertas de los extractores ([apartado 6.2.15.](#) y [apartado 6.2.16.](#)); dado que el rango desplazamiento de los servomotores es hasta un máximo de 90°, se decide dejar los desplazamiento en múltiplos de 10, con el fin de contralar la reposición de aire húmedo según desee el operador. Todo este proceso será en modo automático al accionar los ventiladores y extractores.

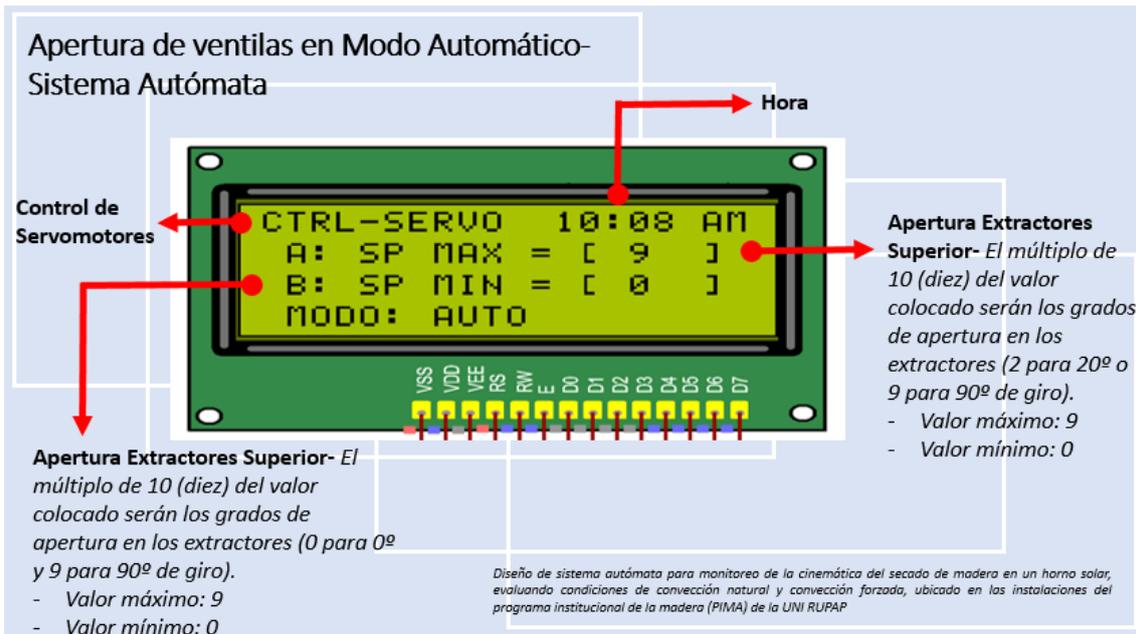


Ilustración XI.7. Apertura de ventilas

11.1.8. Accionamiento de motores en Modo Manual

Posterior a seleccionar el modo de operación manual, es posible llegar a este menú en la opción de *control* (2) desde el menú de control ([apartado 9.1.4.](#)). En este punto se puede activar o desactivar los ventiladores y extractores, según la lógica de códigos binarios (1 para ON y 0 para OFF). Todo el accionamiento será manual y a disposición del operador.

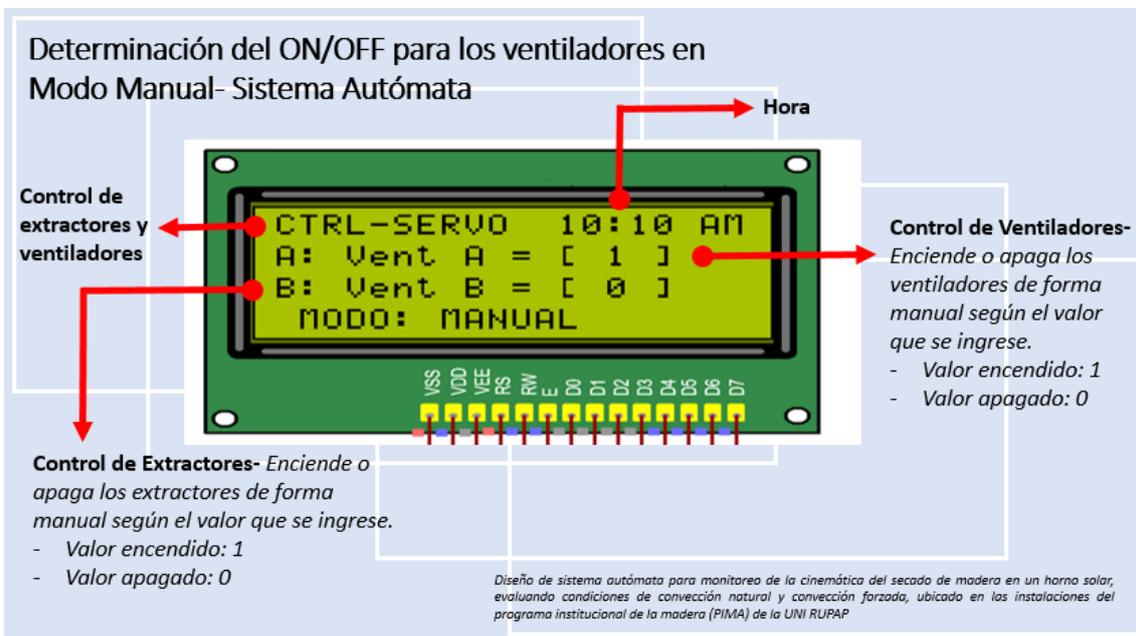


Ilustración XI.8. ON/ OFF en Modo Manual



11.2. Guardado de datos

El sistema guarda los datos censados cada 2 min. en la micro SD, en un documento de texto, formato **.txt**; esto con la facilidad de poder transferir la información a una hoja de cálculo de EXCEL, formato **.xlsx**; donde, en base a los objetivos del estudio, podrá ser procesada según el usuario considere conveniente.

11.2.1. Archivo de texto

Este tendrá el nombre de **DATALOG.txt**, el cual está definido por defecto en la programación de nuestro microcontrolador y se encontrará dentro de la micro SD. El archivo guarda como primer dato un número de serie con el fin de no guardar dos datos diferentes en la misma línea, posterior a ello, se colocará la fecha y hora en la que los datos fueron guardados, siguiendo con las temperaturas y humedades de las 4 paredes internas del horno, seguido de la temperatura del colector y finalmente la temperatura y humedad de la madera. Todos los datos separados por comas.

Archivo de Texto- Sistema Automata

1	1624406400	06-23-2021	00:00	30.32,95.01	30.34,78.85	29.23,92.74	30.15,94.10	27.89	26.84	140.80
	1624406520	06-23-2021	00:02	30.30,95.08	30.33,78.85	29.24,92.74	30.16,94.13	27.61	26.71	140.56
	1624406640	06-23-2021	00:04	30.30,95.12	30.35,79.03	29.23,92.81	30.18,94.16	27.75	26.76	142.83
	1624406760	06-23-2021	00:06	30.31,95.17	30.34,78.89	29.22,92.84	30.18,94.24	27.73	26.81	144.05
	1624406880	06-23-2021	00:08	30.31,95.18	30.33,79.05	29.26,92.86	30.18,94.21	27.71	26.73	142.88
	1624407000	06-23-2021	00:10	30.32,95.20	30.34,79.00	29.26,92.81	30.19,94.25	27.54	26.79	142.84
	1624407120	06-23-2021	00:12	30.33,95.20	30.33,79.00	29.26,92.87	30.19,94.19	27.10	26.81	143.07
	1624407240	06-23-2021	00:14	30.33,95.26	30.34,79.13	29.25,92.87	30.18,94.24	26.39	26.76	145.26
	1624407360	06-23-2021	00:16	30.34,95.20	30.35,79.11	29.23,92.90	30.19,94.20	26.41	26.74	144.32
	1624407480	06-23-2021	00:18	30.33,95.27	30.35,78.96	29.23,92.90	30.20,94.24	26.95	26.82	146.74
	1624407600	06-23-2021	00:20	30.34,95.28	30.36,79.00	29.23,92.99	30.19,94.26	26.75	26.72	146.49

- Numero de Serie.
- Fecha.
- Hora.
- DHT-22. Numero 2, pin de arduino 9.
- DHT-22. Numero 1, pin de arduino 8.
- DHT-22. Numero 3, pin de arduino 10.
- DHT-22. Numero 4, pin de arduino 11.
- DS18B20/ MAX6675. Pin de arduino 37, 39, 41.
- Termocupla tipo K. Numero 5, pin de arduino 12.
- Sensor Resistivo de Madera, Numero 6, pin de arduino A0

Diseño de sistema automático para monitoreo de la cinemática del secado de madera en un horno solar, evaluando condiciones de convección natural y convección forzada, ubicado en las instalaciones del programa institucional de la madera (PIMA) de la UNI RUPAP

Ilustración XI.9. Archivos de texto



11.2.2. Hoja de Cálculo de Excel

Para este apartado, se menciona la organización de los datos según el método más conveniente para datos constantemente actualizados, el uso de tablas dinámicas. Se decidió organizar la información como una base de datos convertida de archivo de texto a columna; dividida según la fecha, hora, y tipo de sensor. Dada la gran cantidad de información almacenada, 10,080 datos por día (14 datos cada 2 minutos), este método permitirá la versatilidad de la información, según se considere conveniente.

Archivo de Excel- Base de Dato del Horno- Sistema Automata

Tipo	Año	Seman	Mes	Fecha	h _{rel}	T1	H1	T2	H2	T3	H3	T4	H4	T5	H5	H6 h _{rel}	T _{prom}	H _{prom}	H61
Conv. Nat	2021	28	Julio	14/7/2021	23.52	28.1	99.9	28.05	85.21	27.11	97.52	28.09	98.36	28.31	27.18	151.31	27.84	95.25	16.3
Conv. Nat	2021	28	Julio	14/7/2021	23.54	28.1	99.9	28.04	85.18	27.1	97.68	28.04	98.48	28.31	27	149.71	27.82	95.31	16.1
Conv. Nat	2021	28	Julio	14/7/2021	23.56	28.1	99.9	28.02	85.84	27.1	97.82	28.01	98.64	28.28	26.89	150.92	27.81	95.55	16.2
Conv. Nat	2021	28	Julio	14/7/2021	23.58	28.09	99.9	28.01	85.4	27.1	97.94	28.01	98.74	28.25	26.89	150.92	27.80	95.50	16.2
Conv. Ford	2021	37	Septiembre	16/9/2021	0.00	27.7	99.9	27.62	97.51	26.5	99.9	27.57	99.9	27.69	23.43	158.07	27.35	99.30	16.9
Conv. Ford	2021	37	Septiembre	16/9/2021	0.02	27.7	99.9	27.6	97.36	26.48	99.9	27.53	99.9	27.69	23.42	159.5	27.33	99.27	17.1
Conv. Ford	2021	37	Septiembre	16/9/2021	0.04	27.7	99.9	27.6	97.31	26.5	99.9	27.5	99.9	27.67	23.36	156.88	27.33	99.25	16.8
Conv. Ford	2021	37	Septiembre	16/9/2021	0.06	27.69	99.9	27.59	97.36	26.42	99.9	27.5	99.9	27.62	23.39	157.38	27.30	99.27	16.9
Conv. Ford	2021	37	Septiembre	16/9/2021	0.08	27.63	99.9	27.58	97.52	26.4	99.9	27.5	99.9	27.62	23.34	156.33	27.28	99.31	16.8
Conv. Ford	2021	37	Septiembre	16/9/2021	0.10	27.6	99.9	27.52	97.38	26.38	99.9	27.48	99.9	27.62	23.29	157.99	27.25	99.27	16.9
Conv. Ford	2021	37	Septiembre	16/9/2021	0.12	27.6	99.9	27.5	97.22	26.37	99.9	27.45	99.9	27.58	23.41	157.53	27.23	99.23	16.9

Conv. Ford- Convección Forzada

Conv. Nat- Convección Natural

Diseño de sistema automático para monitoreo de la cinemática del secado de madera en un horno solar, evaluando condiciones de convección natural y convección forzada, ubicada en las instalaciones del programa institucional de la madera (PIMA) de la UNIRUPAP

Ilustración XI.10. Base de datos del Horno en Excel

Adicional a la anterior base de datos, con el fin de obtener una visión amplia del comportamiento durante el secado de la madera, se agrega una base de datos externa con información de temperatura, humedad y radiación solar en la zona donde se ubica el Horno solar (NASA - National Aeronautics and Space Administration, s.f.).



Archivo de Excel- Base de Dato Ambiente Exterior- Sistema Automática

NASA/POWER CERES/MERRA2 Native Resolution Hourly Data
 Dates (month/day/year): 06/08/2021 through 10/31/2021
 Location: Latitude 12.1368 Longitude -86.2248
 Elevation from MERRA-2: Average for 0.5 x 0.625 degree lat/lon region = 140.53 meters

Parameter(s):
 Precipitation (mm H2O/hour)
 Temperatura a 2 Metros (°C)
 Humedad Relativa a 2 Metros (%)
 Flujo de Calor Solar (W/m²)
 Potencia Irradiación Solar (MJ/hr)

YEAR	MO	DY	Fecha	HR	(mm H2O/hour)	T (°C)	HR(%)	(W/m²)	(MJ/hr)
2021	6	8	8/6/2021	0:00	0,68	26,23	90,5	0	0
2021	6	8	8/6/2021	1:00	0,56	25,97	90,94	0	0
2021	6	8	8/6/2021	2:00	0,63	25,73	91,38	0	0
2021	6	8	8/6/2021	3:00	0,6	25,51	91,75	0	0
2021	6	8	8/6/2021	4:00	0,59	25,4	91,62	0	0
2021	6	8	8/6/2021	5:00	0,55	25,59	91,19	7,48	0,06

Diseño de sistema automático para monitoreo de la cinemática del secado de madera en un horno solar, evaluando condiciones de convección natural y convección forzada, ubicado en las instalaciones del programa institucional de la madera (PIMA) de la UNI RUPAP

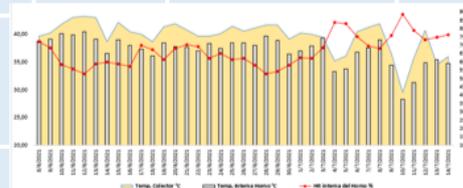
Ilustración XI.11. Base de Datos Ambiente Exterior

Esto facilitara la creación de graficas que permitan una mejor comprensión de los cambios ocurridos dentro del horno a lo largo del tiempo.

Archivo de Excel- Tabla Dinámica Convección Natural y Forzada- Sistema Automática

Mes (Todas)
 Tipo (Varios elementos)

Fecha	Temp. Colector °C	Temp. Interna Ho	HR Interna del Horno %
8/6/2021	39,63	38,74	72,4%
9/6/2021	40,21	39,11	68,4%
10/6/2021	41,80	40,17	58,6%
11/6/2021	43,01	39,93	55,8%
12/6/2021	43,31	40,50	53,0%
13/6/2021	43,01	39,12	59,0%
14/6/2021	38,66	36,52	60,1%
15/6/2021	42,16	39,02	58,9%
16/6/2021	40,49	38,04	57,3%
17/6/2021	40,01	37,28	70,1%
18/6/2021	38,66	36,05	67,2%
19/6/2021	41,32	38,41	61,4%
20/6/2021	41,91	37,73	68,2%
21/6/2021	40,76	37,62	70,5%
22/6/2021	39,70	37,01	69,2%
23/6/2021	39,69	38,28	62,4%
24/6/2021	40,14	37,43	65,1%
25/6/2021	41,45	38,45	61,3%
26/6/2021	40,58	38,40	61,3%
27/6/2021	41,16	37,97	58,1%
28/6/2021	41,69	39,66	53,0%
29/6/2021	41,64	38,90	54,3%



Diseño de sistema automático para monitoreo de la cinemática del secado de madera en un horno solar, evaluando condiciones de convección natural y convección forzada, ubicado en las instalaciones del programa institucional de la madera (PIMA) de la UNI RUPAP

Ilustración XI.12. Tablas Dinámicas en Convección Natural y Forzada



XII. Análisis de resultados

12.1. Caracterización el proceso actual de secado de madera del programa institucional de la madera (PIMA) de la UNI RUPAP

Lo ideal al iniciar el estudio es determinar los factores relevantes dentro del proceso de secado, para ello se realizarán los métodos de medición y secado actualmente implementados por el PIMA.

12.1.1. Funcionamiento inicial (mayo 2019)

La radiación solar de onda corta penetra por el vidrio transparente y calienta el colector el cual le trasfiere calor a la madera presente en el horno.

La ventilación forzada se hace imprescindible para el secado debido a que el aire debe circular varias veces por el apilamiento de madera. La reposición del aire que ya ha hecho su trabajo en el horno, se logra por ventanas que tienen compuerta de regulación manual en la parte superior e inferior de la cámara de secado.

La velocidad de la circulación de aire producida por los ventiladores del techo debe ser controlada pues velocidades muy altas originan un secado perjudicial en la madera, mientras que velocidades muy bajas hacen muy lenta el proceso de secado. Guevara E & Villegas J (2017), mencionan que “Experimentalmente se obtienen condiciones óptimas de secado en la mayor parte de los casos cuando el aire circula en las pilas a una velocidad de 2 m/s. Si se utiliza velocidad de mayores sin un debido control puede comprometerse la calidad de la madera por cuanto se acelera considerablemente la tasa de evaporación de agua generándose un gradiente de humedad muy alto entre las superficies de la madera y su parte interna”. (pag.33). Sin embargo, en visitas previas al horno se pudo observar que no se está utilizando este vital componente al momento de secar la madera.

12.1.2. Censo inicial de la temperatura y humedad dentro del horno

El método de censado consiste en la medición de temperatura ambiente exterior correspondiente a las cuatro paredes exteriores del horno, con el sensor aplicado



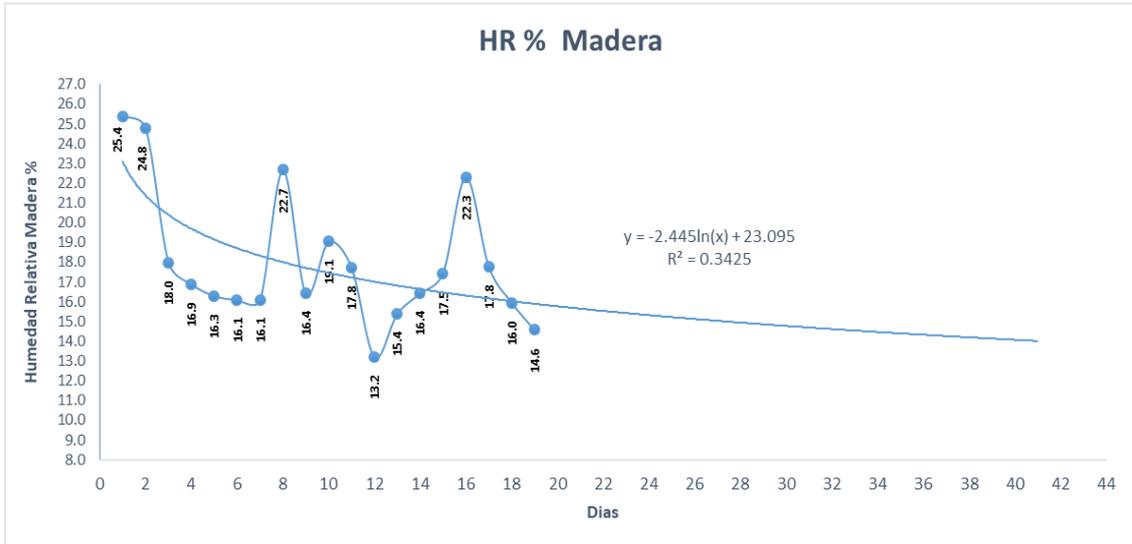
por el PIMA ([apartado 8.1.2.](#)), el mismo procedimiento se aplica para la medición de la temperatura ambiente dentro del horno. A su vez, se mide la temperatura superficial ([apartado 8.1.3.](#)) de las cuatro paredes internas, tomado 5 puntos de medición por cada pared, una en el centro y las demás cercanas a las 4 esquinas de dicha pared; el mismo procedimiento se aplica para la medición del colector de radiación solar. En la medición de humedad relativa para el apilamiento de madera se toman dos mediciones, superior e inferior, cercanas al apilamiento; el mismo procedimiento se aplica para la medición del porcentaje de humedad interna de la madera ([apartado 8.1.1.](#)), tomando 2 reglones diferentes previamente seleccionados para el estudio.

El estudio se realizó durante un periodo de 15 días del mes de mayo 2019, en los cuales las mediciones directas (ver anexo 2) en las que se registró que el honor alcanza temperaturas del ambiente de hasta 54.2 °C en su interior (ver anexo 1), no obstante, la temperatura superficial del colector sobrepaso los 82 °C (ver anexo 3).

12.1.3. Eficiencia actual de horno

12.1.3.1. Eficiencia de secado de madera

Durante el proceso de recolección de datos, se encontró un comportamiento fluctuante en los porcentajes de humedad relativa (un día se obtiene un 13.1 % y al siguiente un 22.3 %), decidiendo finalizar el día 15 con una humedad de 14.6 % en la madera e iniciar el diseño e instalación del sistema automático. Es importante mencionar la apertura de las puertas durante la toma medidas de humedad y temperaturas pertinentes, invalidando la hermeticidad del sistema. Utilizando Excel se pudo predecir con el uso de regresión logarítmica que para el día 41 la madera alcanzaría un 14 % de humedad (26 días después). Así que la referencia será tomada a partir de la convección natural con el sistema automático



Gráfica XII.1. % HR de Madera, primer censo

12.1.3.2. Eficiencia térmica horno promedio durante censado

Como se vio en el [apartado 5.3.1.](#), se define a la Eficiencia Térmica como “la entrada de calor que se convierte en salida de trabajo neto”, la cual se toma como una medida del desempeño de una máquina térmica, utilizando la Ecuación V.3, podemos calcular la eficiencia térmica del horno solar. (ver apéndice 16.2.1.1.8 y 0).

$$\eta_{ter} = 1 - \frac{Q_{perdido}}{Q_{total}} \quad \text{Ecuación V.3}$$

$$\eta_{ter} = 1 - \frac{720.92 \frac{BTU}{h}}{4985.58 \frac{BTU}{h}} = 0.8554$$

$$\eta_{ter} = 85.54\%$$

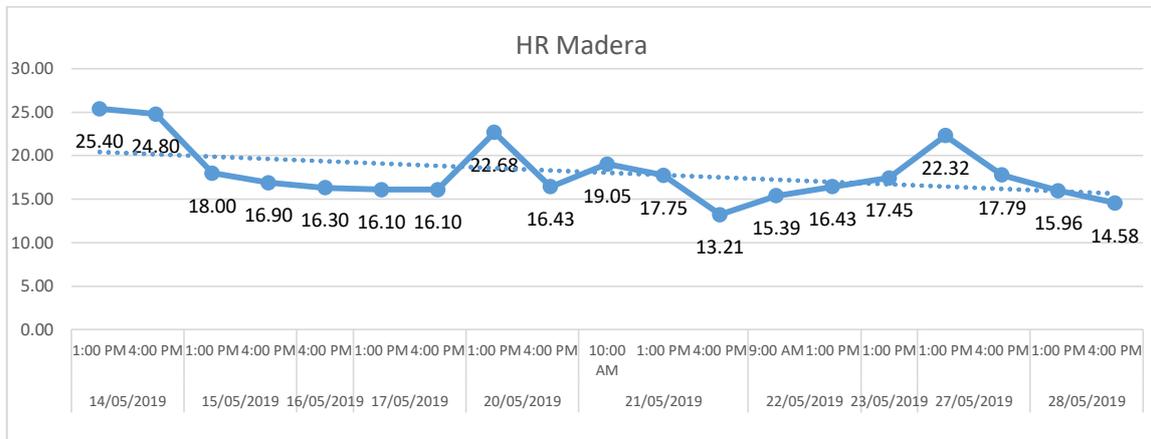
12.1.4. Análisis de la cinemática actual del secado de madera

En este análisis se presentan gráficas de las mediciones directas con respecto a los parámetros internos que incidan directamente en el sistema, como lo es la temperatura y humedad relativa tanto de la cámara de secado como de la

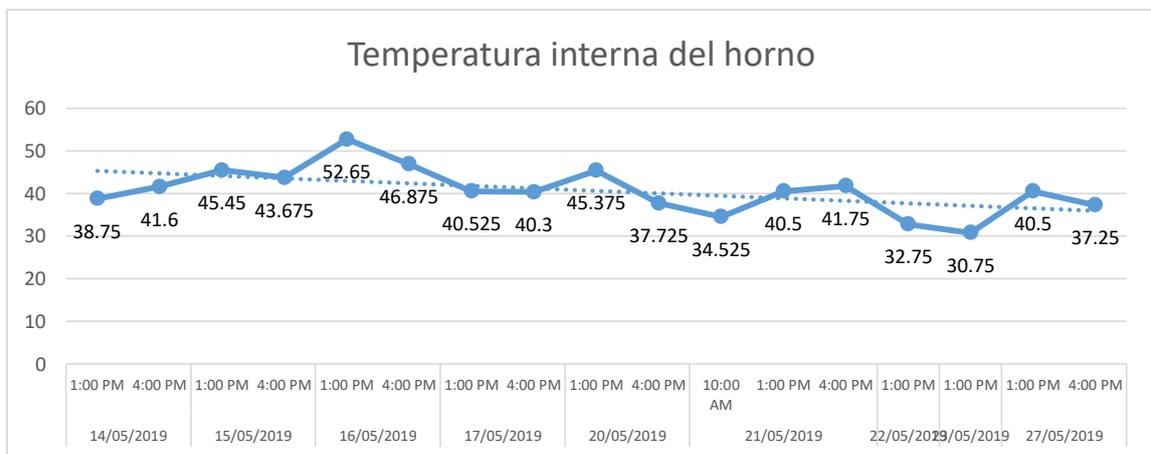


madera en cuestión. Esto con el objeto de proporcionar una mejor comprensión a detalles del comportamiento del sistema que ocurre en el interior del horno con relación al tiempo. Raffino M (2020) explica que: “La cinemática es una rama de la física que estudia el movimiento de los objetos sólidos y su trayectoria en función del tiempo, sin tomar en cuenta el origen de las fuerzas que lo motivan”.

En la siguiente gráfica se representa la Humedad Relativa promedio y la sensibilidad de la madera a las condiciones climáticas, variable dependiente, la madera inicia con una humedad relativa de 25.4% (ver Anexo 2), posteriormente entre los días 15 al 17 de mayo 2019 desciende paulatinamente hasta un 16.1 %, pero entre los días 20 al 27 de mayo la humedad ascendía y descendía hasta un promedio de 14.58%.



Gráfica XII.2. Humedad relativa de la madera



Gráfica XII.3. Temperatura interna del horno



Como se observa, el comportamiento de ambas gráficas van de forma descendentes, naturalmente con muchas variaciones en su recorrido. Las crestas en las gráficas reflejan de la gráfica la irregularidad de la temperatura en los 14 días de monitoreo, pudiéndose observar que el mayor efecto de picos decrecientes es por las pérdidas de calor generadas a la hora de abrir las puertas y tomar las mediciones pertinentes de monitoreo realizadas tanto a la madera como al horno en general. Las constantes aperturas de las puertas de horno generan un desequilibrio brusco en la temperatura y humedad de la madera, lo cual no es nada beneficioso al proceso de secado de la madera.

12.2. Análisis del comportamiento de la cinemática del secado de la madera en condiciones de convección natural y convección forzada, mediante el sistema automático

El sistema recopiló los datos de temperatura y humedad relativa adquiridos por los sensores presentes dentro del sistema desde los inicios hasta la culminación de la operación del secado de la madera. Con el uso de hojas de cálculo de Excel, se obtuvo una visión más amplia de los puntos donde se encuentra los mayores valores de temperatura y humedad relativa durante el transcurso del proceso de secado; y en dependencia del tipo de modo de operación que se seleccione, convección natural o convección forzada, se demostrara que condición de operación realiza el mayor aprovechamiento del calor ganado en un secado más uniforme de la madera, a su vez, tomando en consideración el tiempo transcurrido durante el proceso.

Se realizaron censados durante 26 días continuos para apreciar el comportamiento del horno en distintas circunstancias, en el caso de convección natural se decidió censar 9 días adicionales corrigiendo algunas variaciones de humedad en madera, a continuación, se presentan las gráficas de los días censados:



12.2.1. Análisis del comportamiento de la cinemática del secado de la madera en condiciones de convección natural

En el secado natural, la madera, adecuadamente apilada, se expone a la acción de los factores climáticos (temperatura, humedad relativa, velocidad del aire) del lugar donde está apilada. (CITEmadera, pág. 21)

No podemos controlar los factores ambientales de los cuales depende el proceso, por lo que, el tiempo requerido para el secado de la madera es mayor al tiempo que se requeriría de realizar el secado con un método artificial o técnico, es decir, controlando los factores que inciden directamente en el secado de la madera.

Una madera adecuadamente seca:

- Mejora la estabilidad dimensional y performance de la madera. La madera seca mantiene sus dimensiones durante su transformación y después de su manufactura.
- Disminuye la presencia de defectos, como arqueamientos, despegues, abertura de uniones, rajaduras, entre otros.
- Aumenta la resistencia física, mecánica y biológica (ataque de hongos e insectos).
- Mejora las condiciones de trabajo y de acabado final de los productos.

Sin embargo, para asegurar el abastecimiento oportuno y la calidad de la madera se debe tener en cuenta que:

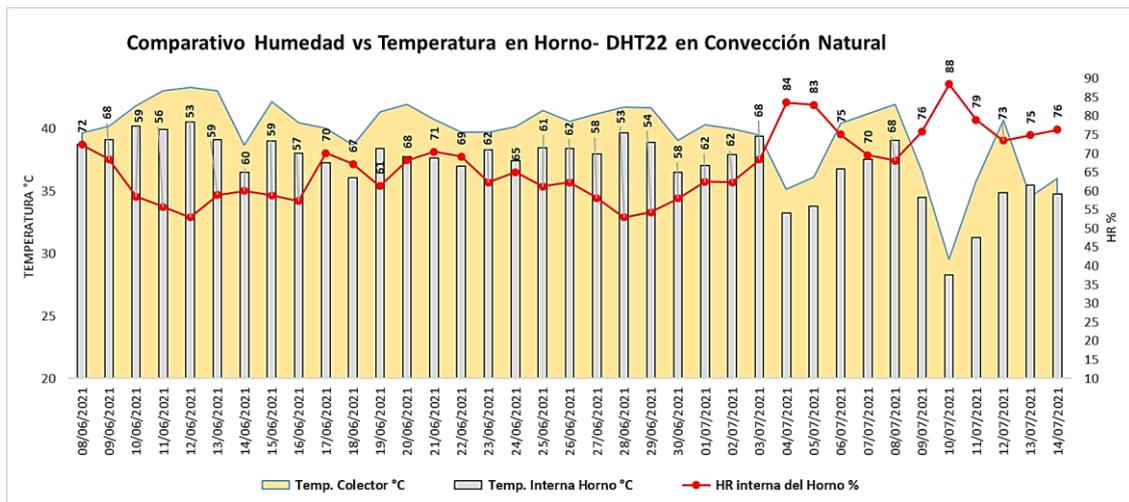
- La materia prima está inmovilizada durante el proceso de secado, generando la necesidad de un stock y la inmovilización de capital, el cual puede variar de 15 a 25 días, según especie y espesor.
- En el secado natural o al aire libre, ni el tiempo de secado ni el contenido de humedad pueden ser controlados con precisión ya que depende de las condiciones climáticas del lugar donde se realiza el secado y de la época del año en el que se realiza. Los procesos de secado pueden alcanzar los



4 meses para contenidos de humedad final del 20% al 14%. (CITEmadera, pág. 19)

12.2.1.1. Comparativo Humedad vs Temperatura DHT22 Convección Natural

La siguiente gráfica se muestra muchas irregularidades de la humedad con respecto a temperatura esto es debido a que el horno trabajando en convección natural no posee control alguno sobre la temperatura donde está totalmente dependiente de la ganancia y pérdidas de calor que tenga el horno, como bien sabemos la temperatura es el principal factor para la madera pierda humedad, cuando la temperatura va aumentando la humedad va disminuyendo y cuando la temperatura disminuye la humedad aumenta.



Gráfica XII.4. Comparativo Humedad vs Temperatura en Horno- DHT22 en Convección Natural

	Temp. Colector	Temp. Interna Horno	HR interna del Horno
Temp. Colector	1		
Temp. Interna Horno	0.899538024	1	
HR interna del Horno	-0.794729265	-0.814013662	1

Tabla XII.1. Tabla de correlación H-T, Convección Natural

Según la Tabla XII.1 de correlación, la temperatura del colector incide directamente sobre la temperatura interna del horno y por otra parte la humedad relativa en el interior del horno está indirectamente ligadas a la temperatura del

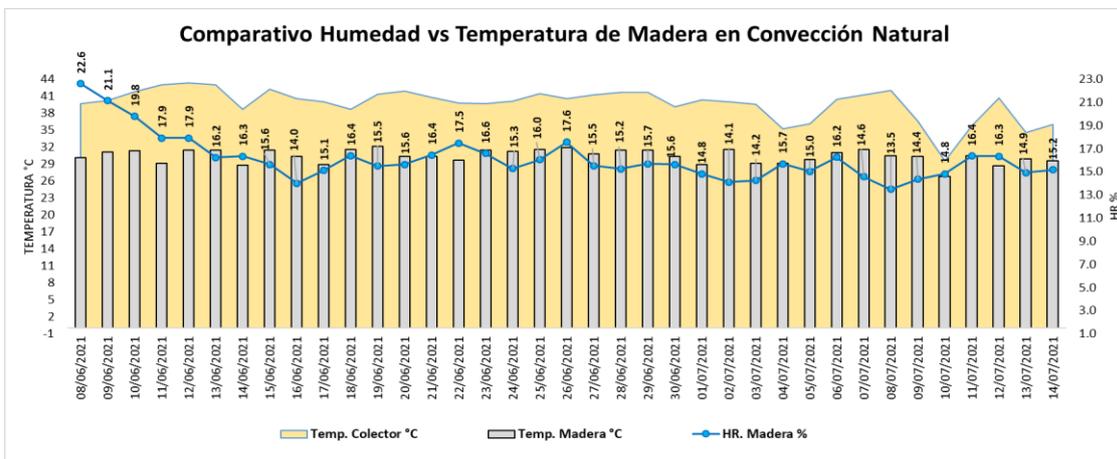


colector y la temperatura del horno debido a que la correlación es alta pero negativa.

12.2.1.2. Convección Natural

Como se observa en la siguiente grafica el comportamiento de la temperatura de la madera es bastante irregular, comportamiento ya antes observado en la Gráfica XII.4. Como bien sabemos para que la madera pueda perder humedad esta debe mantener una temperatura elevada; en los primeros 9 días que la humedad de la madera alcanzo la humedad deseada (13.9%) mostrando una tendencia a un rápido secado. En cuanto a los siguientes días, una lluvia el día 16/06/2021 provoca un descenso en la temperatura y un aumento en la humedad alargando el proceso de secado (Ver anexo 24).

En la Tabla XII.2 se puede apreciar las correlaciones entre las variables del colector y madera, constatando que la temperatura y humedad de la madera esta medianamente relacionada con la temperatura del colector. Se observa una correlación muy baja y positiva, justificables dada las contantes infiltraciones que el sistema obtuvo durante climas húmedos, a esto se le suma el no poder evacuar de ninguna manera la humedad evaporada, dando como resultado un sistema de alta temperatura y humedad.



Gráfica XII.5. Comportamiento global, convección natural



	Temp. Colector	Temp. Madera	HR. Madera
Temp. Colector	1		
Temp. Madera	0.586360874	1	
HR. Madera	0.207419832	0.150566037	1

Tabla XII.2. Correlación T Colector, T Madera y %HR, convección natural

12.2.2. Análisis del comportamiento de la cinemática del secado de la madera en condiciones de convección forzada

(CITEmadera, pág. 21) menciona que, en el secado artificial, se mantienen las condiciones climáticas para hacer que el aire dentro de la cámara, este constantemente seco y arrastre la humedad superficial de la madera, suministrando calor (temperatura) y controlando la humedad relativa del aire en la cámara con el uso de ventiladores y rociadores de agua.

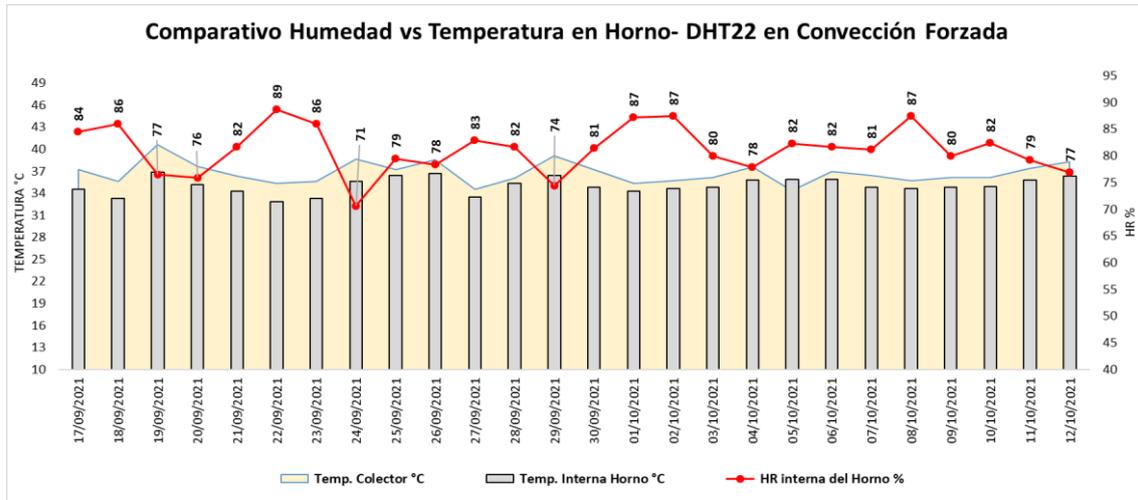
En el secado por convección forzada, el gradiente de secado puede ser controlado para generar un contenido de humedad de equilibrio en la cámara de secado, en cumplimiento con el programa de secado (CITEmadera, pág. 23). El gradiente de secado varía de acuerdo a la etapa de secado en la que se encuentre la madera durante el proceso en la cámara, siendo mayor cuando se quiere disminuir rápidamente el contenido de humedad de la madera.

12.2.2.1. Comparativo Humedad vs Temperatura DTH22 Convección Forzada

En la Gráfica XII.6 se muestran pocas irregularidades de la temperatura y la humedad, esto debido a que la temperatura del horno está siendo regulada por medio de la inserción o cierre al paso del aire hacia la cámara de secado del horno esto con el fin de aprovechar el calor dentro del horno, por medio de la convección forzada obtenemos mejor aprovechamiento del calor dentro del horno y gracias a la gráfica se logra corroborar, de igual manera se puede analizar que la correlación entre la temperatura del colector y la temperatura del horno están considerablemente relacionado esto pues que el sistema forzó a enviar todo el aire caliente de la superficie del colector a el interior del horno, y con respecto a la humedad interna del horno es muy alta negativamente esto pues el comportamiento que se esperaba debido a que mientras la temperatura



sube la humedad tiene que descender ya que el aire caliente húmedo es evacuado por los extractores.



Gráfica XII.6. Comparativo Humedad vs Temperatura DTH22 en Convección Forzada.

	Temp. Colector	Temp. Interna Horno	HR interna del Horno
Temp. Colector	1		
Temp. Interna Horno	0.720226211	1	
HR interna del Horno	-0.760086448	-0.71935089	1

Tabla XII.3. Tabla de correlación H-T, Convección Forzada

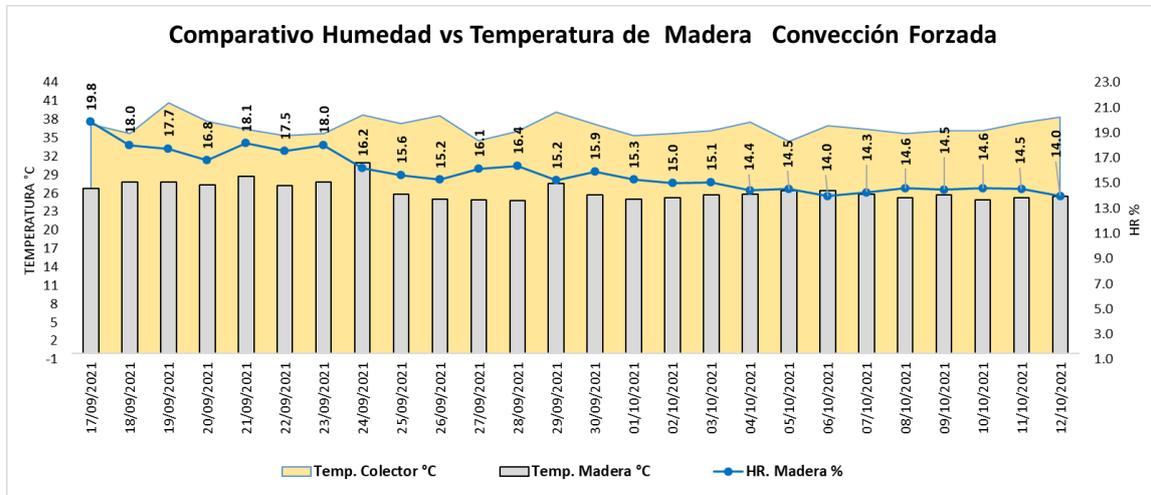
12.2.2.2. Convección Forzada

Como se observa en la Gráfica XII.7 y en Tabla XII.3, la temperatura de la madera es estable en comparación con la mostrada en convección natural, esto es debido a lo mencionado en la descripción de la gráfica (Comparativo Humedad vs Temperatura DTH22 Convección Forzada), la humedad de la madera va en descendencia de manera continua con pocas irregularidades, pero con un tiempo más prolongado, podemos decir que la madera logro llegar a un nivel de baja humedad, satisfactorio en 20 días (14.0%), pese a las bajas temperaturas del día 11 y el aumento de humedad en los días posteriores al 17.

La convección forzada ofrece mayor estabilidad en la temperatura de la madera y por ende un mejor secado de ella, debido a la adición de sistemas externos como los ventiladores, las ventanillas y los sensores que están todos



interconectados en total sinergia para lograr un secado de calidad manteniendo controlada la temperatura y humedad del horno. También es importante destacar que con este método fue posible la obtención de niveles más inferiores de humedad interna.



Gráfica XII.7. Comportamiento global, convección forzada

	Temp. Colector	Temp. Madera	HR. Madera
Temp. Colector	1		
Temp. Madera	0.343245857	1	
HR. Madera	0.046516626	0.518077144	1

Tabla XII.4. Correlación T Colector, T Madera y %HR, convección forzada

Las correlaciones con respecto a la madera son bajas entre la temperatura del colector y la temperatura de la madera esto esta baja correlación es explicada por el uso de ventiladores para bajar la temperatura del horno que al ingresar aire a temperatura ambiente perturba la correlación.

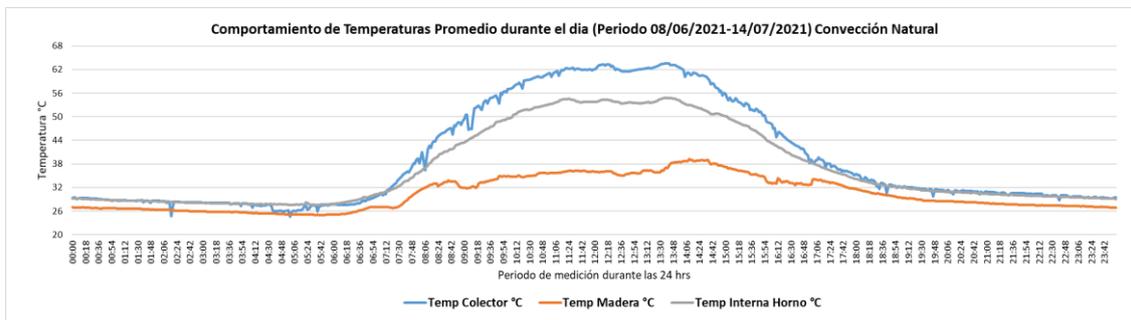


12.3. Comparativa de la cinemática del secado actual de la madera con respecto a la implementada por el sistema automático para la identificación del proceso más eficiente en el horno solar

Si bien en los anteriores acápite se explican los resultados almacenados a lo largo del estudio, tanto en convección natural como en convección forzada. Para el desarrollo de este capítulo, se mostrarán resultados de comportamientos promedios diarios seguido de un resumen desde nuestra experiencia de aquellos hallazgos que se consideran importante y se logran mencionar en los siguientes capítulos, finalizándose con la determinación del proceso más eficiente en el horno solar.

12.3.1. Comparativa de la cinemática en convección natural y convección forzada.

Analizando los comportamientos promedios diarios de las temperaturas dentro del horno, se analiza que en la convección natural, la Gráfica XII.8 muestra un comportamiento de campana de Gauss, donde las temperaturas más bajas, suceden entre las 7 pm y las 5 am, iniciando su ascenso hasta llegar a su punto máximo a las 12 pm. Adicional, en la Tabla XII.5 se observa una notoria correlación superior al 0.9 entre las temperaturas del sistema interno.



Gráfica XII.8. Comportamiento de temperaturas promedios diarios del sistema, convección natural

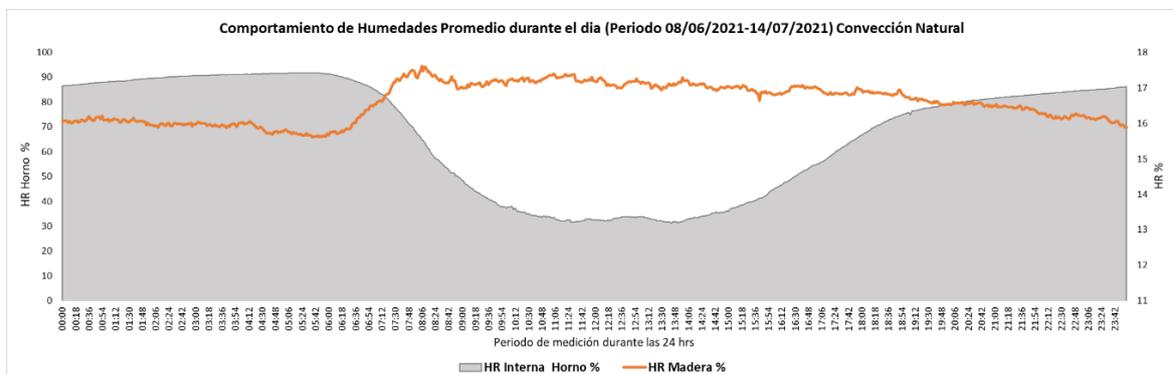
	Temp Colector	Temp Madera	Temp Interna Horno
Temp Colector	1		
Temp Madera	0.948776808	1	
Temp Interna Horno	0.998290081	0.954974031	1

Tabla XII.5. Correlación Temperaturas del sistema, convección natural



Por otra parte, analizando el comportamiento promedio diario del %HR entre la madera y el ambiente, entendemos que, pese a las altas temperaturas del colector, y su relación con las temperaturas del ambiente y madera, existe un gran margen entre el aprovechamiento del calor (°C) y el secado de la madera (%HR) dentro del sistema. El máximo aprovechamiento de la temperatura en relación al secado de la madera dentro del sistema no es muy posible dado que el sistema en convección natural no cuenta con reposición de aire húmedo. La humedad extraída y evaporada a lo largo del día, es condensada en el transcurso de la noche y en algunos casos, reingresa en la madera.

Recordando del Censo inicial de la temperatura y humedad dentro del horno (apartado 12.1.2) la ubicación de los sensores de %HR del ambiente a una altura no superior a los 1.5 m. Es natural entender que para las altas temperaturas la humedad evaporada ascienda, saliendo del rango de percepción de los sensores; y para las bajas temperaturas, la humedad aun retenida en la cámara, se condense y descienda a un nivel perceptible para los sensores de ambiente. Por otro lado, en el [apéndice 16.1.](#), menciona que para la medición de %HR en la madera, la sonda se encuentra incrustadas a 5/16” de la superficie de la madera; siendo perceptible un alto nivel de humedad en las altas temperaturas, a causa la extracción desde el centro hacia los bordes de la madera. En la Gráfica XII.9 se puede observar el comportamiento antes mencionado.

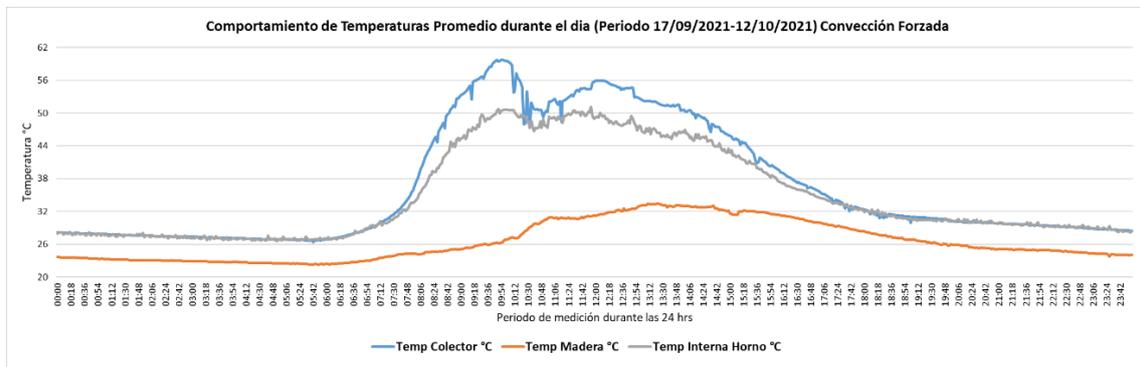


Gráfica XII.9. Comportamiento de %HR promedios diarios del sistema, convección natural



Un caso totalmente diferente se observa en la Gráfica XII.10, donde el comportamiento diario de la convección forzada no tiene gran diferencia de la natural en cuanto a las temperaturas nocturnas, pero si en las altas temperaturas. Una vez alcanzadas la temperatura de accionamiento del sistema, inicia la convección forzada, siendo característico un comportamiento de equilibrio térmico, en el que las altas temperaturas del colector son transferidas hacia la madera, hasta que la radiación solar sea tan escasa, que las temperaturas desciendan y el sistema detenga la convección forzada.

En la Tabla XII.6 se observa una excelente correlación entre las temperaturas del colector y el ambiente interno, demostrando una excelente distribución del calor obtenido. En el caso de la madera, puesto que el sistema realiza reposición de aire, el calor en la madera es extraído con más facilidad, siendo la temperatura en comparación, la menor correlación del sistema.



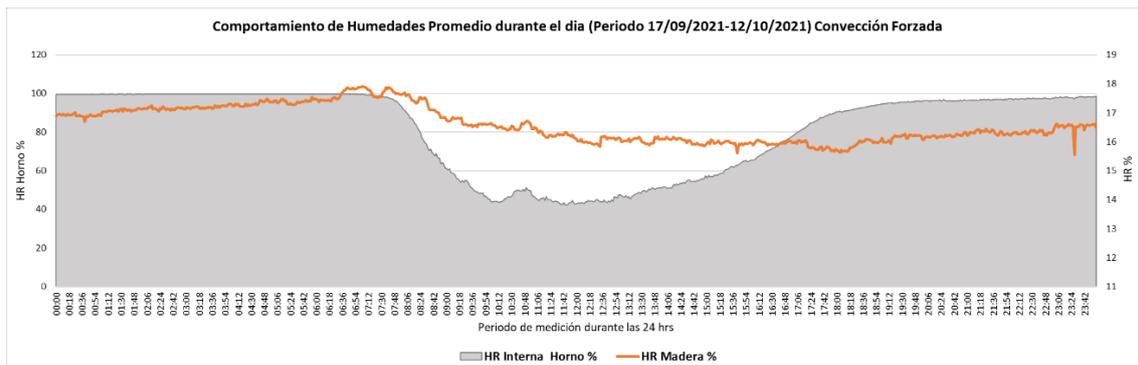
Gráfica XII.10. Comportamiento de temperaturas promedios diarios del sistema, convección forzada

	Temp Colector	Temp Madera	Temp Interna Horno
Temp Colector	1		
Temp Madera	0.731828992	1	
Temp Interna Horno	0.992125634	0.779323886	1

Tabla XII.6. Correlación Temperaturas del sistema, convección forzada



Recordando de la anterior gráfica, sabemos que las temperaturas de la madera son notablemente mayores durante el día, sin embargo, dado que durante este monitoreo la reposición de aire fue implementada, mucho del calor existente fue extraído junto a la humedad del horno. Por lo que, en comparación, durante la noche, se observan una menor temperatura en la madera que la obtenida durante la convección natural. Sin embargo, para la convección forzada, en la Gráfica XII.11 se observa que los niveles de humedad en la madera, poseen un descenso gradual.



Gráfica XII.11. Comportamiento de %HR promedios diarios del sistema, convección forzada

En resumen, podemos decir que para el periodo de tiempo y condiciones climáticas en las que se realizó el estudio en convección natural, la madera obtuvo un bajo valor de humedad desde el día 9, es decir, logro secarse satisfactoriamente ([apartado 12.2.1.2.](#)). Sin embargo, para el día 10, esta obtuvo un aumento buscó de humedad producto de un clima lluvioso y una mala hermeticidad en el horno, esto sumado a la falta de reposición de aire (y condensación de la humedad) y lo variante de los niveles de radiación solar diaria, determinan que este sistema, puede ser tanto lento como brusco en el proceso de secado de la madera, aumentando las posibilidades de desperfectos en la madera ([apartado 5.4.](#)). En cuanto al estudio en convección forzada se refiere, su proceso de secado es notoriamente más lento y a su vez, más estable por lo que la madera tiende a secarse de forma más uniforme y en un tiempo más prolongado en comparación con el anterior estudio.

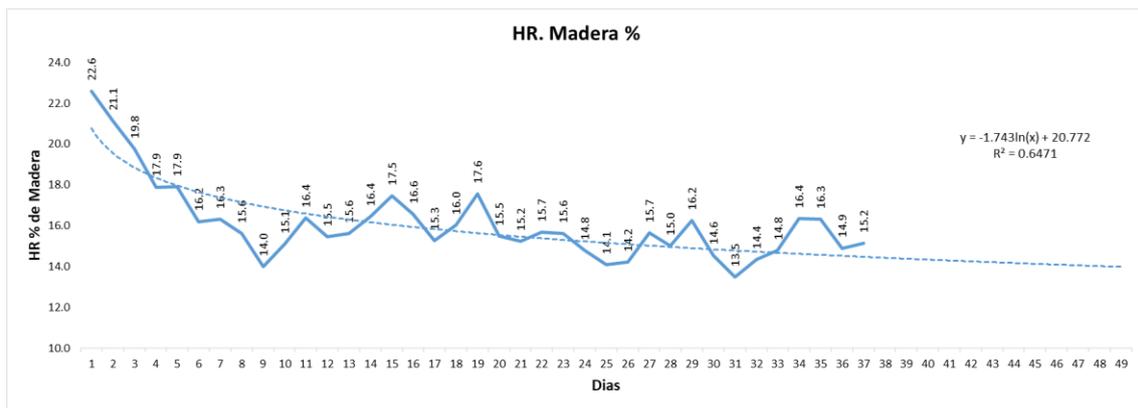


12.3.2. Identificación del proceso más eficiente en el horno solar

12.3.2.1. Eficiencia de aprovechamiento de energía solar

12.3.2.1.1. Secadores solares de convección natural

Según el comportamiento del horno solar mostrado en el [apéndice 16.5](#), durante el censo en convección natural se observa en la Tabla XII.7 una eficiencia de 21.6% para 37 días de secado, con una HR del 15.2%. No obstante, utilizando Excel se logró establecer en la Gráfica XII.12 una ecuación que pronostica en base a los datos obtenidos una HR del 14% al día 49, en la Tabla XII.8 se muestra una eficiencia teórica de 16.8% para este pronóstico.



Gráfica XII.12. % HR de Madera, segundo censo, convección natural

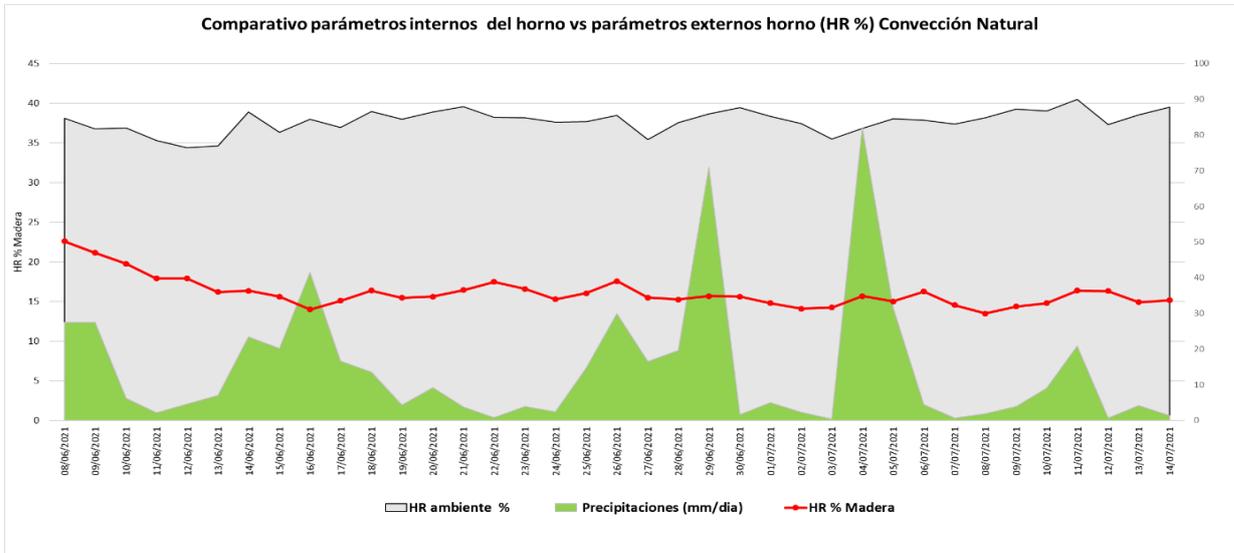
Wt(Peso madera seca)	589.2 kg
Wo(Peso madera humedad)	1037.9 kg
Lv (Temp 43.9)(Entalpia Evaporación)	2396.6 KJ/Kg
Ht (Radiación horaria sobre la superficie)	411859.7 KJ/m ²
Ac(Área de Colector)	12.0 m ²
Tiempo de secado	37.0 Días
Hora de radiación	12.0 Hr
IT (Radiación total incidente)	257.7 W/m ²
Energía utilizada por sistema (L1)	1.1 watt
Hora uso sistema	24.0 Hr
Pv1(consumo eléctrico)	976.8 Wh
Pv1(consumo eléctrico)	3516.5 KJ
Eficiencia	21.7%

Tabla XII.7. Tabla resumen, eficiencia a 37 días, convección natural



Wt(Peso madera seca)	577.8 kg
Wo(Peso madera humedad)	1037.9 kg
Lv (Temp 43.9)(Entalpia Evaporación)	2396.6 KJ/Kg
Ht (Radiación horaria sobre la superficie)	545435.9 KJ/m2
Ac(Área de Colector)	12.0 m2
Tiempo de secado	49.0 Días
Hora de radiación	12.0 Hr
IT (Radiación total incidente)	257.7 W/m2
Energía utilizada por sistema (L1)	1.1 watt
Hora uso sistema	24.0 Hr
Pv1(consumo eléctrico)	1293.6 Wh
Pv1(consumo eléctrico)	4657.0 KJ
Eficiencia	16.8%

Tabla XII.8. Tabla resumen, eficiencia a 49 días, convección natural



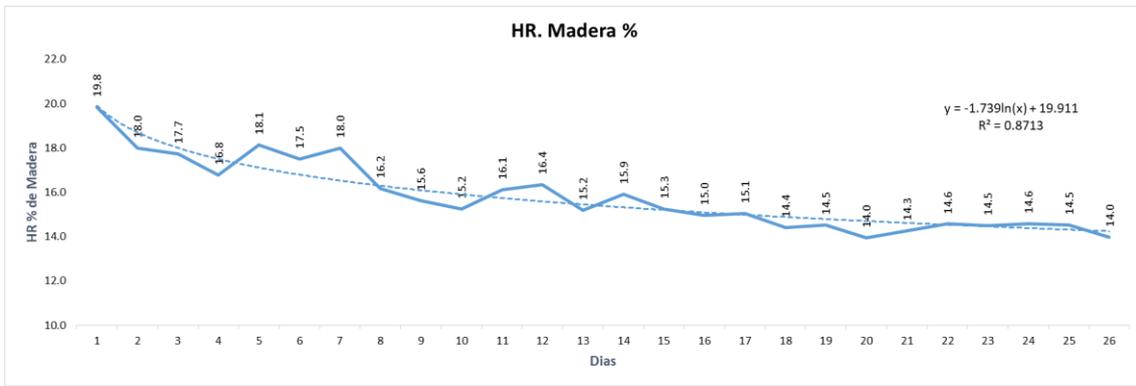
Gráfica XII.13. Comparativo Parámetros internos- externos de %HR, convección natural

12.3.2.1.2. Secadores solares con convección forzada:

En el [apéndice 16.6.](#) se entiende el comportamiento de la humedad en convección forzada alcanza una HR del 14%, el día 20. Sin embargo, se decidió alargar el estudio por 6 días, con el fin de determinar la existencia de un patrón de secado similar al existente en la convección natural (permanecía o elevación drástica de sus valores). En la Gráfica XII.14 se observa que para el día 26 está permaneció casi constante en sus valores, eliminando la posibilidad de similitud entre ambos comportamientos. En la Tabla XII.9 se muestra la eficiencia de 21.6% para la convección forzada.



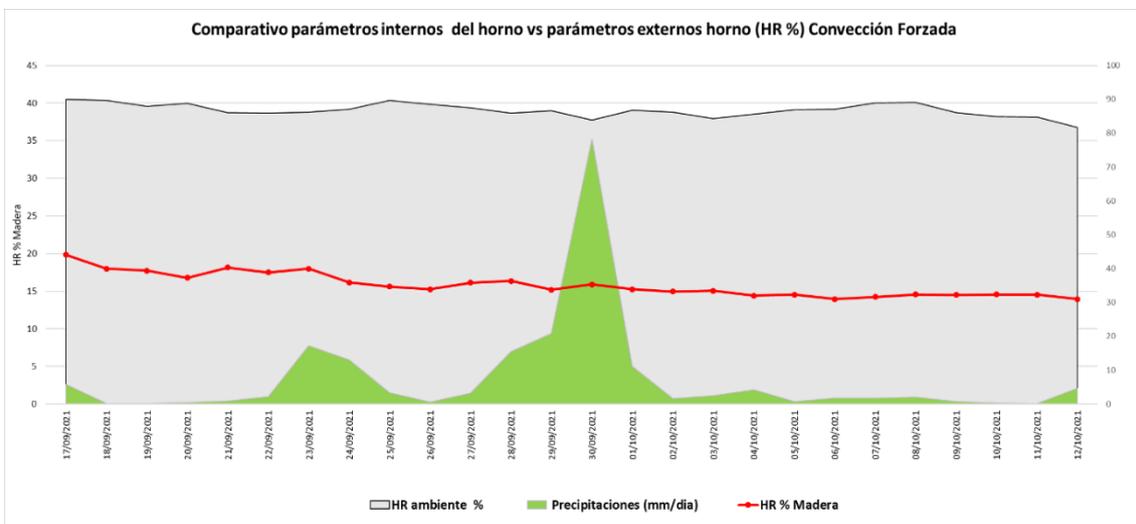
Diseño de sistema automático para monitoreo de la cinemática del secado de madera en un horno solar, evaluando condiciones de convección natural y convección forzada, ubicado en las instalaciones del Programa Institucional de la Madera (PIMA) de la UNI-RUPAP



Gráfica XII.14. % HR de Madera, segundo censo, convección forzada

Wt(Peso madera seca)	571.6 Kg
Wo(Peso madera humedad)	831.6 Kg
Lv (Temp 40)(Entalpia Evaporación)	2406.0 KJ/Kg
Ht (Radiación horaria sobre la superficie)	217442.9 KJ/m2
Ac(Área de Colector)	12.0 m2
Tiempo de secado	20.0 Días
Hora de radiación	12.0 Hr
IT (Radiación total incidente)	251.7 W/m2
Energía utilizada por sistema (L1)	1.1 watt
Hora uso sistema	24.0 Hr
Pv1(consumo eléctrico)	528.0 Wh
Pv1(consumo eléctrico)	1900.8 KJ
Energía utilizada por sistema (L2)	1007.6 watt
Hora uso sistema (L2)	4.0 Hr
Pv2(L2)	80608.0 Wh
Pv2(L2)	290188.8 KJ
Eficiencia	21.6%

Tabla XII.9. Tabla resumen, eficiencia a 20 días, convección forzada



Gráfica XII.15. Comparativo Parámetros internos- externos de %HR, convección forzada

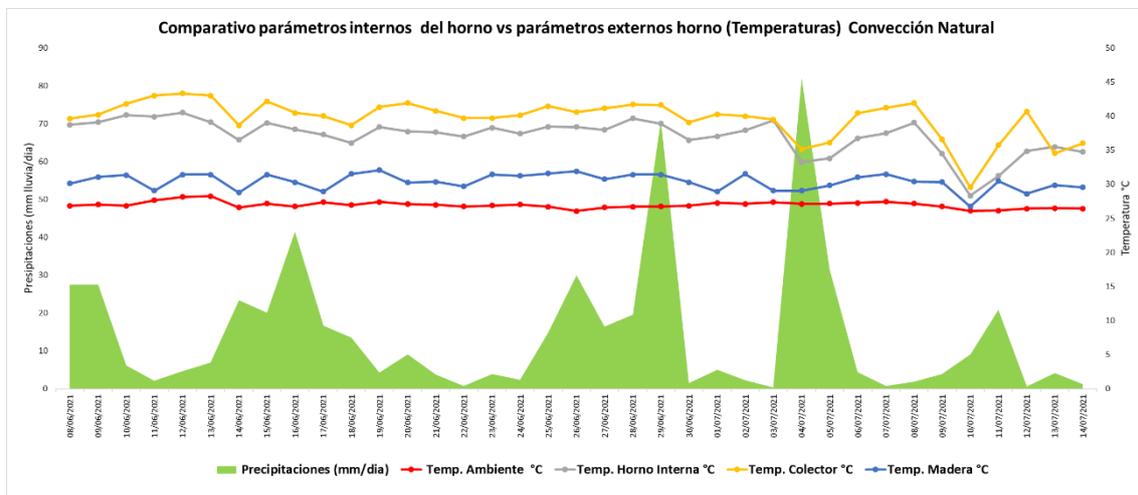


12.3.2.2. Eficiencia térmica promedio del horno durante censado

12.3.2.2.1. Secadores solares de convección natural:

En el [apéndice 16.3.](#), según el comportamiento del horno solar durante el censo en convección natural resulto como eficiencia térmica de 86 % para 37 días de secado.

A continuación, en la Gráfica XII.16, se observa el comportamiento del horno interno y parámetros externos a lo largo del censo. Todos los parámetros dependientes están correlacionados con la temperatura ambiente debido a que una pequeña variación en esta modifica los parámetros en el horno, de igual manera las precipitaciones inciden directamente sobre las lecturas, aunque la correlación es baja el efecto es muy significativo.



Gráfica XII.16. Comparativo Parámetros internos- externos de temperatura, convección natural

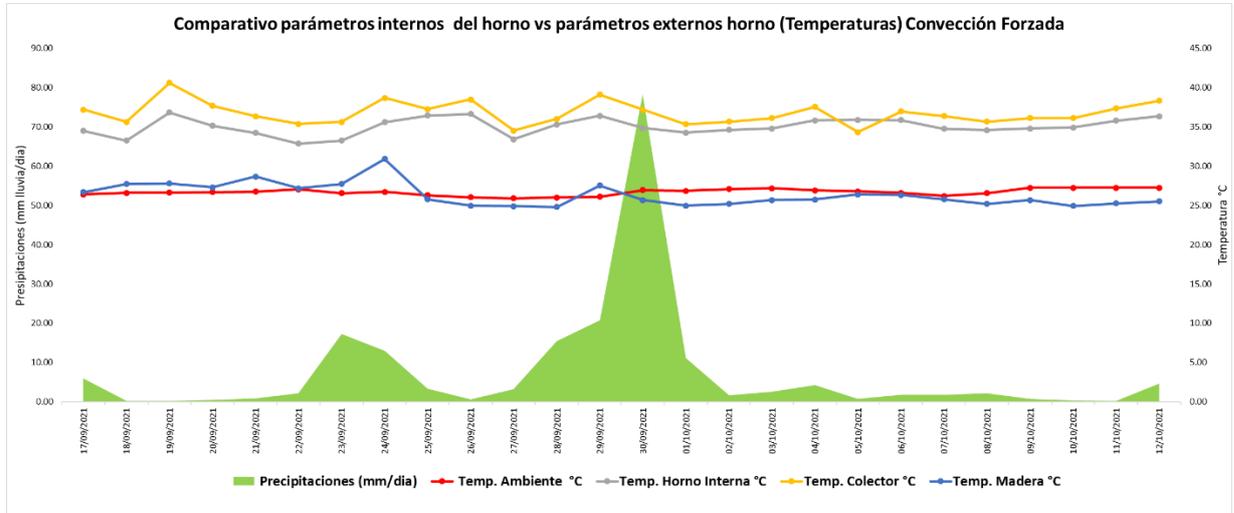
	Temp. Ambiente °C	Precipitaciones (mm/día)	Temp. Horno Interna °C	Temp. Colector °C	Temp. Madera °C
Temp. Ambiente °C	1				
Precipitaciones (mm/día)	-0.162870987	1			
Temp. Horno Interna °C	0.523195202	-0.112181076	1		
Temp. Colector °C	0.54804632	-0.141767324	0.899538024	1	
Temp. Madera °C	0.235290797	0.000322979	0.588465924	0.586360874	1

12.3.2.2.2. Secadores solares con convección forzada:

En el [apéndice 16.4.](#), según el comportamiento del horno solar durante el censo en convección natural resulto como eficiencia térmica de 92 % para 25 días de secado.



A continuación, en la Gráfica XII.17, se observa el comportamiento del horno interno y parámetros externos a lo largo del censo. Donde todos los parámetros no están directamente y no representan variaciones significativas puesto que el sistema está programado para alcanzar o mantener parámetros establecidos.



Gráfica XII.17. Comparativo Parámetros internos- externos de temperatura, convección forzada

	Temp. Ambiente °C	Precipitaciones (mm/día)	Temp. Horno Interna °C	Temp. Colector °C	Temp. Madera °C
Temp. Ambiente °C	1				
Precipitaciones (mm/día)	-0.014936707	1			
Temp. Horno Interna °C	-0.071212673	-0.038048284	1		
Temp. Colector °C	-0.076417662	0.103357641	0.720226211	1	
Temp. Madera °C	-0.031956776	0.009468069	-0.060085257	0.343245857	1



XIII. Conclusiones

La automatización de procesos es un tema cada vez más común en las áreas de la industria nicaragüense y resto de países. En el presente estudio se comprobó que el sistema automático creado es capaz de operar en condiciones variantes y brindar datos aceptables, la integración de este sistema tuvo como fin; la regulación y control del proceso de secado de madera en horno solar con nivel de asimilación sencillo para el operador del mismo. Dicho sistema, ayuda al análisis del comportamiento de la cinemática de secado en convección natural o forzada; con el fin de lograr una parametrización en los niveles de humedad, temperatura y tiempo necesarios para cada proceso de secado.

En base a los datos obtenidos por el sistema se comprobó que la convección natural es un proceso muy irregular, capaz de obtener un secado rápido cuando se mantienen altas temperaturas en la cámara de secado, de igual manera es vulnerable a ganar humedad cuando las temperaturas del horno descienden como consecuencia a la falta de reposición de aire (eliminación de la humedad extraída), resultando en un alargamiento del proceso de secado. Caso contrario es la convección forzada, un proceso controlado donde se obtienen pocas irregularidades en las temperaturas y una constante eliminación aire húmedo, logrando un mejor aprovechamiento del calor obtenido en la cámara.

Como finalidad de este estudio, se logró la integración de sensores y micro controladores de bajo costo, capaces de ser replicables para diferentes procesos en micro empresas con un capital bajo. Esto ofrece una pauta que facilita a futuro la integración de calidad y producción de productos, que los sistemas automáticos pueden ofrecer; sin mencionar, la posible reducción en la exposición a riesgos laborales del personal.



XIV. Recomendaciones

A lo largo del documento se mencionan una serie de recomendaciones tanto de uso y manejo del sistema automático como de la información descubierta en nuestro estudio, en el presente acápite, se mencionan nuevamente aquellas recomendaciones consideradas de suma importancia para el lector, sea el propósito del mismo, una réplica o continuación y mejora del presente estudio.

- a) Durante la instalación y pruebas del sistema automático, el horno solar a causas del invierno, sufrió averías en el techo por la caída de un árbol. Pese a su reparación, es posible este no conservara su hermeticidad; a esto se le suma un mal historial de mantenimientos realizados posterior a su instalación. Recomendamos para futuros estudios, considerar la hermeticidad del horno como un tema de análisis, con la posibilidad de obtener otros resultados a los presentados en el documento.
- b) Recordando la fuente principal de energía es la radiación solar y pese a que el sistema automático es capaz de regular la velocidad de secado, se debe tener en cuenta que su eficacia dependerá notoriamente de los factores climatológicos, por lo que realizar un proceso de secado en temporadas de mayor incidencia solar (verano) puede ofrecer mejores resultados que en temporadas frías y/o con altas presencias de nubes (invierno).
- c) En cuanto a los dispositivos del sistema automático, como son los sensores, su funcionamiento será garantizado si se respetan los planes de mantenimientos mencionados en el documento ([apartado 10.2.5.](#)).
- d) En caso de una falla en el sistema automático a causa de factores externos, como apagones o descargas eléctricas, se recomienda la revisión de la alimentación y el posterior reinicio del sistema; En caso que la falla persista, una revisión en la continuidad de las líneas y funcionamiento independiente de los sensores es aconsejable.
- e) Si llegasen a existir averías al hardware del sistema, solo se recomienda la sustitución de los elementos dañados. Si el daño existe en el circuito impreso en PCB, el personal del PIMA poseerá la información necesaria para su reemplazo.



- f) Referente a la información brindada sobre las temperaturas y humedades, se debe recordar que dependen directamente de las condiciones climatológicas y atmosféricas ocurridas en ese periodo de tiempo. Por lo que dichos datos pueden servir como referencia del funcionamiento del horno, mas no como indicadores definitivos. Para futuros estudios se recomienda tener en cuenta que las mediciones y resultados que se obtengan pueden diferir de los presentes en el documento.



XV. Anexo

Anexo 1. Medición Piloto Inicial temperatura Externa e Interna del horno

Información general		T (°C) ambiente exterior				Temp. amb prom	T ambiente horno(°C)				Temp. horno prom
Fecha	hora	Norte	Sur	Este	Oeste		Norte	Sur	Este	Oeste	
14/05/2019	1:00 PM	36.7	34.9	34.8	37	35.85	37.4	40.1	39.2	38.3	38.75
	4:00 PM	36.4	35	34.9	36.7	35.75	41.9	40.8	42	41.7	41.6
15/05/2019	1:00 PM	38.5	37.2	36.5	34.5	36.67	47.1	43	47.2	44.5	45.45
	4:00 PM	41.3	34.4	40.3	34.5	37.62	47.2	42.4	46.4	38.7	43.68
16/05/2019	1:00 PM	40	40.2	41.1	37.1	39.6	52.3	<u>54.2</u>	53.1	51	52.65
	4:00 PM	37.2	36.3	37.6	36.7	36.95	47.8	49.8	49.6	40.3	46.88
17/05/2019	1:00 PM	36.9	37	36.2	34.8	36.22	39.8	43.5	41.3	37.5	40.53
	4:00 PM	38.4	36.4	38.6	31.7	36.27	39.6	42.2	40.9	38.5	40.3
20/05/2019	1:00 PM	39.7	38.1	36.7	42.2	39.17	44.6	47.5	47.6	41.8	45.38
	4:00 PM	38.8	35.1	37.8	37.7	37.35	37.4	40.7	39.7	33.1	37.73
21/05/2019	10:00 AM	34.3	34.2	34.7	35	34.55	34.3	34.3	34.7	34.8	34.53
	1:00 PM	35	35	36	36	35.5	50	50	49	51	50
	4:00 PM	35	32	32	32	32.75	42	43	42	40	41.75
22/05/2019	1:00 PM	30	29	28	29	29	33	32	33	33	32.75
23/05/2019	1:00 PM	28	27	28	-	27.67	<u>30</u>	<u>30</u>	<u>30</u>	33	30.75
27/05/2019	1:00 PM	30	29	29	33	30.25	40	40	42	40	40.5
	4:00 PM	31	30	30	31	30.5	37	38	38	36	37.25
28/05/2019	1:00 PM	29	28.1	28.4	28.8	28.57	-	-	-	-	-



Anexo 2. Resumen Censo Piloto Inicial

Información general		T amb. prom.	T hrn. Prom.	HR-Madera prom. Gnl.	T paredes prom. Gnl.	HR prom. Gnl.	T colector prom.
Fecha	hora						
14/05/2019	1:00 PM	35.85	38.75	25.40	43.00	49.51	-
	4:00 PM	35.75	41.60	24.80	47.90	44.24	-
15/05/2019	1:00 PM	36.68	45.45	18.00	48.75	44.14	-
	4:00 PM	37.63	43.68	16.90	47.55	42.09	-
16/05/2019	1:00 PM	39.60	<u>52.65</u>	19.1	55.00	33.35	<u>77.60</u>
	4:00 PM	36.95	46.88	16.30	49.55	41.49	-
17/05/2019	1:00 PM	36.23	40.53	16.10	56.15	53.05	54.00
	4:00 PM	36.28	40.30	16.10	47.90	49.64	-
20/05/2019	1:00 PM	39.18	45.38	22.68	59.65	39.36	-
	4:00 PM	37.35	37.73	16.43	41.30	47.24	-
21/05/2019	1:00 PM	35.50	50.00	17.75	55.20	61.04	46.20
	4:00 PM	32.75	41.75	13.21	41.75	71.00	41.80
22/05/2019	1:00 PM	29.00	32.75	16.43	38.40	66.25	42.60
	4:00 PM	-	-	15.39	28.90	71.00	38.20
23/05/2019	1:00 PM	27.67	<u>30.75</u>	17.45	35.05	74.13	
27/05/2019	1:00 PM	30.25	40.50	22.32	44.30	54.65	53.00
	4:00 PM	30.50	37.25	17.79	40.40	71.56	44.20
28/05/2019	1:00 PM	28.58	-	15.96	38.08	67.75	50.00
	4:00 PM	-	-	14.58	32.20	-	-

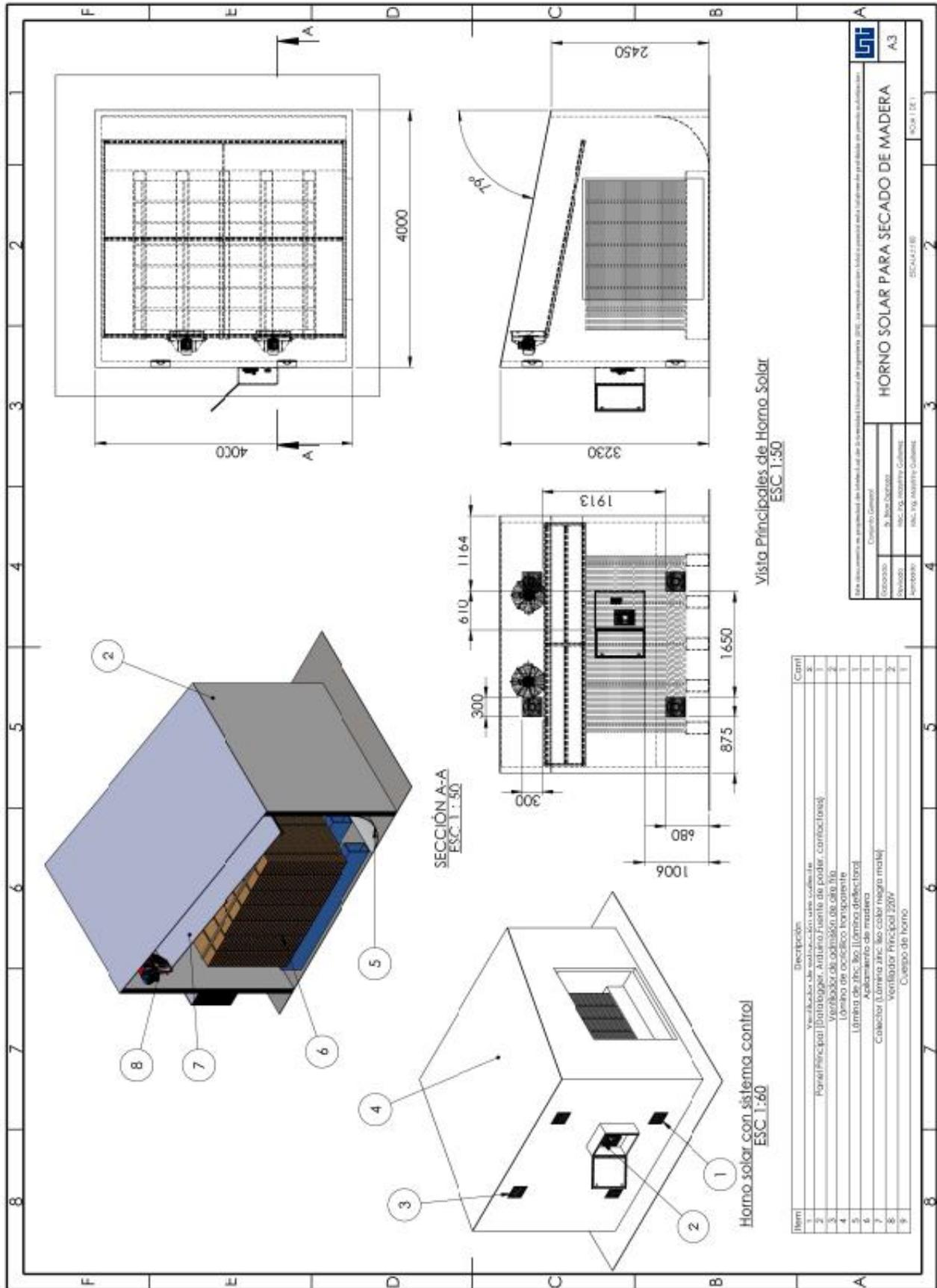


Anexo 3. Medición Inicial temperaturas del colector solar

Información general		Temperatura colector (°C)					
Fecha	hora	T1	T2	T3	T4	T5	T prom
16/05/2019	1:00 PM	76	82	77	74	79	77.6
17/05/2019	1:00 PM	56	52	53	55	54	54
	10:00 AM	44	46	48	46	47	46.2
21/05/2019	1:00 PM	75	80	75	71	77	75.6
	4:00 PM	40	43	43	42	41	41.8
	1:00 PM	42	43	43	42	43	42.6
22/05/2019	4:00 PM	36	40	39	39	38	38.4
23/05/2019	1:00 PM	37	36	37	37	37	36.8
	1:00 PM	55	52	52	52	54	53
27/05/2019	4:00 PM	43	45	44	44	45	44.2
28/05/2019	1:00 PM	50	50	51	50	49	50



Anexo 4. Plano de medidas Horno Solar





Anexo 5. Medición Humedad Interna de la Madera en el proceso actual de secado.

Fecha	hora	HR promedio
14/05/2019	1:00 PM	25.40
	4:00 PM	24.80
15/05/2019	1:00 PM	18.00
	4:00 PM	16.90
16/05/2019	4:00 PM	16.30
17/05/2019	1:00 PM	16.10
	4:00 PM	16.10
20/05/2019	1:00 PM	22.68
	4:00 PM	16.43
21/05/2019	10:00 AM	19.05
	1:00 PM	17.75
	4:00 PM	13.21
22/05/2019	9:00 AM	15.39
	1:00 PM	16.43
23/05/2019	1:00 PM	17.45
27/05/2019	1:00 PM	22.32
	4:00 PM	17.79
28/05/2019	1:00 PM	15.96
	4:00 PM	14.58



Anexo 6. Tabla de Calibres de conductores AWG

Calibre AWG	Pulgadas de diámetro del conductor	Diámetro del conductor mm	Sección de conductor en mm ²	Ohmios por 1000 pies	Ohmios por km	Amperios máximos para el cableado del chasis	Amperios máximos para transmisión de potencia	Frecuencia máxima para una profundidad de piel del 100% para conductores sólidos de cobre	Fuerza de rotura Cu suave recocido 37000 PSI
0000	0.46	11.684	107	0.049	0.16072	380	302	125 Hz	6120 libras
000	0.4096	10.40304	94.9	0.0610	0.202704	320	239	160 Hz	4060 libras
00	0.3648	9.26592	82.4	0.0779	0.255512	283	190	200 Hz	3860 libras
0	0.3249	8.25246	71.5	0.0983	0.322424	245	150	250 Hz	3060 libras
1	0.2893	7.34822	62.4	0.1239	0.406392	211	119	325 Hz	2430 libras
2	0.2576	6.54304	54.6	0.1563	0.512664	181	94	410 Hz	1930 libras
3	0.2294	5.82676	47.7	0.197	0.64616	158	75	500 Hz	1530 libras
4	0.2043	5.18922	41.1	0.2485	0.81608	135	60	650 Hz	1210 libras
5	0.1819	4.62026	35.8	0.3133	1.027624	118	47	810 Hz	960 libras
6	0.162	4.1148	31.3	0.3951	1.295928	101	37	1100 Hz	760 libras
7	0.1443	3.66522	27.6	0.4982	1.634096	89	30	1300 Hz	605 libras
8	0.1285	3.2639	24.3	0.6282	2.060496	73	24	1650 Hz	480 libras
9	0.1144	2.90576	21.3	0.7921	2.598088	64	19	2050 Hz	380 libras
10	0.1019	2.58826	18.6	0.9989	3.276392	55	15	2600 Hz	314 libras
11	0.0907	2.30378	16.1	1.26	4.1328	47	12	3200 Hz	249 libras
12	0.0808	2.05232	13.9	1.588	5.20864	41	9.3	4150 Hz	197 libras
13	0.072	1.8288	12.3	2.003	6.56984	35	7.4	5300 Hz	150 libras
14	0.0641	1.62814	10.8	2.525	8.282	32	5.9	6700 Hz	119 libras
15	0.0571	1.45034	9.5	3.184	10.44352	28	4.7	8250 Hz	94 libras
dieciséis	0.0508	1.29032	8.3	4.016	13.17248	22	3.7	11 k Hz	75 libras
17	0.0453	1.15062	7.3	5.064	16.60992	19	2.9	13 k Hz	59 libras
18	0.0403	1.02362	6.5	6.385	20.9428	dieciséis	2.3	17 kHz	47 libras
19	0.0359	0.91186	5.7	8.051	26.40728	14	1.8	21 kHz	37 libras
20	0.032	0.8128	5.0	10.15	33.292	11	1.5	27 kHz	29 libras
21	0.0285	0.7239	4.4	12.8	41.984	9	1.2	33 kHz	23 libras
22	0.0253	0.64516	3.9	16.14	52.9392	7	0.92	42 kHz	18 libras



Anexo 7. Gráfico de variaciones de temperatura (T prom-T) según ubicación

hora	Temperatura interior Norte(°C)					Temperatura interior Sur(°C)					Temperatura interior Este (°C)					Temperatura interior Oeste (°C)					T Prom Gral.					
	T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5						
1:00 PM	39	39	41	45	45	41.8	46	42	49	40	48	45	46	43	43	40	43.4	41	39	43	40	46	41.8	43		
Tprom-T	2.8	2.8	0.8	3.2	3.2	2.56	1	2	4	5	3	3.2	1.6	2.6	0.4	0.4	3.4	1.68	0.8	2.8	1.2	3	3	2.16	2.4	
4:00 PM	45	45	48	52	54	48.8	47	43	51	40	48	45.8	52	45	46	55	43	48.2	53	42	51	45	53	48.8	47.9	
Tprom-T	3.8	3.8	0.8	3	5	3.28	1	2.8	5.2	5.8	2.2	3.4	4	3.2	2.2	7	5.2	4.32	4.2	6.8	2.2	3.8	4	4.2	3.8	
1:00 PM	40	42	41	41	41	41.0	54	47	54	44	56	51	54	45	51	55	48	50.6	53	45	56	50	58	52.4	48.75	
Tprom-T	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.4	3	4	3	7	5	4.4	3	5.6	0.4	4	2.6	3.12	0.6	7.4	3.6	2.4	6	4	3.0	
4:00 PM	43	42	44	42	43	42.8	50	43	54	43	50	48	53	45	50	55	45	49.6	52	43	53	47	54	49.8	47.55	
Tprom-T	0.2	0.8	1.2	0.8	0.2	0.6	2	5	6	5	2	4	3	4.6	0.4	5	4.6	3.52	2.2	6.8	3.2	2.8	4	3.8	3.0	
1:00 PM	54	56	65	65	63	60.6	60	53	65	49	63	58	68	53	60	64	53	59.6	41	39	43	40	46	41.8	55	
Tprom-T	6.6	4.6	4.0	4.4	2.4	4.4	3	5	7	9	5	5.8	8	6.6	0.4	4	6.6	5.12	0.8	2.8	1.2	1.8	4	2.12	4.4	
4:00 PM	49	50	51	52	53	51	51	45	53	45	48	48.4	46	50	51	58	45	50	53	42	51	45	53	48.8	49.55	
Tprom-T	2.0	1.0	0.0	1.0	2.0	1.2	3	3.4	4.6	3.4	0.4	2.96	4	0	1	8	5	3.6	4.2	6.8	2.2	3.8	4	4.2	3.0	
1:00 PM	55	53	60	60	61	57.8	60	53	60	51	58	56.4	61	54	60	52	52	55.8	57	50	58	51	57	54.6	56.15	
Tprom-T	2.8	4.8	2.2	2.2	3.2	3.0	4	3.4	3.6	5.4	1.6	3.6	5	1.8	4.2	3.8	3.8	3.72	2.4	4.6	3.4	3.6	2	3.2	3.4	
4:00 PM	48	48	50	51	50	49.4	49	44	49	44	47	46.6	49	47	46	49	46	47.4	49	43	50	52	47	48.2	47.9	
Tprom-T	1.4	1.4	0.6	1.6	0.6	1.1	2	2.6	2.4	2.6	0.4	2	2	0.4	1.4	2	1.4	1.44	0.8	5.2	1.8	3.8	1.2	2.56	1.8	
1:00 PM	58	58	68	65	67	63.2	59	52	61	45	60	55.4	66	51	58	62	53	58	66	55	69	55	65	62	59.65	
Tprom-T	5.2	5.2	4.8	1.8	3.8	4.2	4	3.4	5.6	10.4	1.6	5	8	7	0	4	5	4.8	4	7	7	7	3	5.6	4.9	
4:00 PM	41	41	41	43	43	41.8	41	40	41	38	41	40.2	41	41	39	42	39	40.4	44	41	47	40	42	42.8	41.3	
Tprom-T	0.8	0.8	0.8	1.2	1.2	1.0	1	0.2	0.8	2.2	0.8	1	1	1	1.4	2	1.4	1.36	1.2	1.8	4.2	2.8	0.8	2.16	1.4	
10:00 AM	45	43	43	47	53	46.2	37	36	38	36	39	37.2	40	37	38	39	36	38	40	36	39	38	40	38.6	40	
Tprom-T	1.2	3.2	3.2	0.8	6.8	3.0	0.2	1.2	0.8	1.2	1.8	1.04	2	1	0	1	2	1.2	1.4	2.6	0.4	0.6	1	1.2	1.6	
1:00 PM	53	56	62	60	63	58.8	54	46	58	45	55	51.6	59	50	56	54	62	56.2	57	45	59	52	58	54.2	55.2	
Tprom-T	5.8	2.8	3.2	1.2	4.2	3.4	2	5.6	6.4	6.6	3.4	4.8	3	6.2	0.2	2.2	6	3.52	2.8	9.2	4.8	2.2	4	4.6	4.1	
4:00 PM	42	42	44	43	43	42.8	40	40	41	41	41	40	40.4	42	41	43	43	41	42	41	39	43	43	43	41.8	41.75
Tprom-T	0.8	0.8	1.2	0.2	0.2	0.6	0.4	0.4	0.6	0.6	0.4	0.48	0	1	1	1	1	0.8	0.8	2.8	1.2	1.2	1	1.4	0.8	
1:00 PM	30	30	31	32	33	31.2	27	28	29	27	29	28	29	29	29	29	28	28.8	28	28	27	28	27	27.6	28.9	
Tprom-T	1.2	1.2	0.2	0.8	1.8	1.0	1	0	1	1	1	0.8	0	0	0.2	0	0.8	0.2	0.4	0.4	0.6	0.4	0.6	0.48	0.6	
4:00 PM	38	40	40	39	40	39.4	39	39	38	40	39	39	40	37	39	39	37	38.4	35	38	39	33	39	36.8	38.4	
Tprom-T	1.4	0.6	0.6	0.4	0.6	0.7	1	0	1	1	0	0.6	2	1.4	0.6	1	1.4	1.28	1.8	1.2	2.2	3.8	2	2.2	1.2	
1:00 PM	35	34	34	35	35	34.6	35	34	36	36	35	35.2	35	35	35	35	36	35.2	36	35	35	34	36	35.2	35.05	
Tprom-T	0.4	0.6	0.6	0.4	0.4	0.5	0.2	1.2	0.8	0.8	0.2	0.64	0.2	0.2	0.2	0.2	1	0.36	0.8	0.2	0.2	1.2	1	0.68	0.5	
1:00 PM	42	44	45	47	47	45	49	45	46	40	45	45	46	41	45	46	40	43.6	44	38	46	47	43	43.6	44.3	
Tprom-T	3.0	1.0	0.0	2.0	2.0	1.6	4	0	1	5	0	2	2	2.6	1.4	2	3.6	2.32	0.4	5.6	2.4	3.4	0.6	2.48	2.1	
4:00 PM	41	41	43	42	42	41.8	40	38	41	37	40	39.2	41	40	41	41	38	40.2	40	36	42	41	43	40.4	40.4	
Tprom-T	0.8	0.8	1.2	0.2	0.2	0.6	0.8	1.2	1.8	2.2	0.8	1.36	1	0.2	0.8	1	2.2	1.04	0.4	4.4	1.6	0.6	3	2	1.3	
1:00 PM	35.1	37.3	39	42	40	38.68	37.9	33.7	39.8	36.2	40	37.62	39	35	37.2	39	36	37.24	40.4	36.4	36.4	40.6	40	38.7	38.07	
Tprom-T	3.6	1.4	0.3	3.3	1.3	2.0	0.28	3.92	2.2	1.42	2.9	2.144	2	2.2	0.04	2	1.24	1.504	1.6	2.36	2.36	1.8	1	1.82	4	
4:00 PM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	32	32	32	32	33	32.2	32.2	
Tprom-T	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2	0.2	0.2	0.2	1	0.36	0.36	
Variación prom																						2.3				



Anexo 8. Valores resistivos según el tipo de madera y porcentaje de Humedad.

Table 1 – The average electrical resistance along the grain of several species of wood at different levels of moisture content¹

Species of wood	Moisture content (pct)																								
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25						
	Resistance (MΩ)																								
Conifers																									
Baldcypress	12,600	3,980	1,410	630	265	120	60	33	18.6	11.2	7.1	4.6	3.09	1.78	1.26	0.91	0.66	0.51	0.42						
Douglas-fir (coast region)	22,400	4,780	1,660	630	265	120	60	33	18.6	11.2	7.1	4.6	3.09	2.14	1.51	1.10	.79	.60	.46						
Fir, California red	31,600	6,760	2,000	725	315	150	83	48	28.8	18.2	11.8	7.6	5.01	3.31	2.29	1.58	1.15	.83	.63						
Fir, white	57,600	15,850	3,980	1,120	415	180	83	46	26.9	16.6	11.0	6.6	4.47	3.02	2.14	1.55	1.12	.86	.62						
Hemlock, eastern	—	120,000	20,000	4,300	1,300	450	200	100	45.0	25.0	14.0	8.8	5.40	3.50	2.30	1.60	1.10	.78	.57						
Hemlock, western	22,900	5,620	2,040	850	400	185	98	51	28.2	16.2	10.0	6.0	3.89	2.52	1.58	1.05	.72	.51	.37						
Larch, western	39,800	11,200	3,980	1,445	560	250	120	63	33.9	19.9	12.3	7.6	5.02	3.39	2.29	1.62	1.20	.87	.66						
Pine, jack	450,000	52,000	9,500	2,800	1,000	440	210	110	60.0	35.0	21.0	13.0	8.80	5.80	3.80	2.60	1.80	1.30	.98						
Pine, longleaf	25,000	8,700	3,160	1,320	575	270	135	74	41.7	24.0	14.4	8.9	5.76	3.72	2.46	1.66	1.15	.79	.60						
Pine, red	700,000	100,000	17,000	4,300	1,300	470	210	100	52.0	28.0	16.0	10.0	6.80	4.40	2.80	1.90	1.20	.91	.67						
Pine, white	20,900	5,620	2,090	850	405	200	102	58	33.1	19.9	12.3	7.9	5.01	3.31	2.19	1.51	1.05	.74	.52						
Pine, ponderosa	39,800	8,910	3,310	1,410	645	300	150	81	44.7	25.1	14.8	9.1	5.62	3.55	2.34	1.62	1.15	.87	.69						
Pine, shortleaf	43,600	11,750	3,720	1,350	560	255	130	69	38.9	22.4	13.8	8.7	5.76	3.80	2.63	1.82	1.29	.93	.66						
Pine, sugar	22,900	5,250	1,660	645	280	140	76	44	25.7	15.9	10.0	6.6	4.36	3.02	2.09	1.48	1.05	.75	.56						
Redwood	22,400	4,680	1,550	615	250	100	45	22	12.6	7.2	4.7	3.2	2.29	1.74	1.32	1.05	.85	.71	.60						
Spruce, black	700,000	90,000	16,000	4,300	1,400	580	250	120	68.0	38.0	23.0	14.0	9.60	6.30	4.30	3.00	2.10	1.40	1.00						
Spruce, Sitka	22,400	5,890	2,140	830	365	165	83	44	25.1	15.5	9.8	6.3	4.27	3.02	2.14	1.58	1.17	.91	.71						
Hardwoods																									
Ash, black	14,000	2,300	600	200	85	40	20	10	6.0	3.4	2.1	1.3	.90	.60	.42	.32	.25	.20	.17						
Ash, white	12,000	2,190	690	250	105	55	28	14	8.3	5.0	3.2	2.0	1.32	.89	.63	.50	.44	.40	.40						
Aspen, bigtooth	300,000	24,000	4,000	1,100	360	150	60	30	16.0	8.6	5.0	3.1	2.00	1.30	.88	.61	.43	.33	.26						
Basswood ²	36,300	1,740	470	180	85	45	27	16	9.6	6.2	4.1	2.8	1.86	1.32	.93	.69	.51	.39	.31						
Birch ³	87,000	19,950	4,470	1,290	470	200	96	53	30.2	18.2	11.5	7.6	5.13	3.55	2.51	1.78	1.32	.95	.70						
Birch, paper	200,000	24,000	5,000	1,400	550	230	110	57	30.0	17.0	10.0	6.0	4.00	2.50	1.70	1.10	.81	.59	.43						
Elm, American	18,200	2,000	350	110	45	20	12	7	3.9	2.3	1.5	1.0	.66	.48	.42	.40	.40	.40	.40						
Hickory ²	—	31,600	2,190	340	115	50	21	11	6.3	3.7	2.3	1.5	1.00	.71	.52	.44	.40	.40	.40						
Khaya ³	44,600	16,200	6,310	2,750	1,260	630	340	180	105.0	60.2	35.5	21.9	14.10	9.33	6.16	4.17	2.82	1.99	1.44						
Magnolia ²	43,700	12,600	5,010	2,040	910	435	205	105	56.2	29.5	16.2	9.1	5.25	3.09	1.86	1.17	.74	.50	.32						
Mahogany (<i>Swietenia</i>)	20,900	6,760	2,290	870	380	180	85	43	22.4	12.3	7.2	4.4	2.69	1.66	1.07	.72	.49	.35	.26						
Maple, sugar	72,400	13,800	3,160	690	250	105	53	29	16.6	10.2	6.8	4.5	3.16	2.24	1.62	1.23	.98	.75	.60						
Oak, northern red ⁴	14,400	4,790	1,590	630	265	125	63	32	18.2	11.3	7.3	4.6	3.02	2.09	1.45	.95	.80	.63	.50						
Oak, white	17,400	3,550	1,100	415	170	80	42	22	12.6	7.2	4.3	2.7	1.70	1.15	.79	.60	.49	.44	.41						
Philippine mahogany (<i>Shorea</i> Spp.)	2,890	690	220	80	35	15	9	5	2.8	1.7	1.1	.7	.45	.30	.21	.16	.12	.09	.07						
Sweetgum	38,000	6,460	2,090	815	345	160	81	45	25.7	15.1	9.3	6.0	3.98	2.63	1.78	1.26	.87	.63	.46						
Tupelo, black ⁴	31,700	12,600	5,020	1,820	725	275	120	58	27.6	13.0	6.9	3.7	2.19	1.38	.95	.63	.46	.33	.25						
Walnut, black	51,300	9,770	2,630	890	355	155	78	41	22.4	12.9	7.3	4.9	3.16	2.14	1.48	1.02	.72	.51	.38						
Yellow-poplar ⁴	24,000	8,320	3,170	1,260	525	250	140	76	43.7	25.2	14.5	8.7	5.76	3.81	2.64	1.91	1.39	1.10	.85						

¹Resistance measured in megohms at 80 °F between two pairs of needle electrodes spaced 1-1/4 inches apart and driven to a depth of 5/16 inch. The reciprocals of these data are conductance in micro siemens.

²Exact species unknown.

³Known in the trade as "African mahogany."



Anexo 9. Mediciones en campo del consumo en el sistema Automata

		L1		L2	
Convección Forzada con reposición de aire		0.01		0.00	
	4.20	0.02		0.925	
Convección Forzada sin reposición de aire		4.05		4.03	
	4.20	4.03		4.97	



Anexo 10. Pruebas Internas de confiabilidad del sistema

Datos Internos Horno Solar

	05-22-2021		05-23-2021		05-24-2021		05-25-2021		05-26-2021		05-27-2021		05-28-2021		05-29-2021		05-30-2021		05-31-2021		06/01/2021		06/02/2021	
	DHT22																							
hora	T	H	T	H	T	H	T	H	T	H	T	H	T	H	T	H	T	H	T	H	T	H	T	H
0-29	0.00	0.00	20.59	63.45	13.11	21.74	14.02	44.51	0.00	0.00	27.83	81.44	21.84	53.89	21.97	61.91	29.83	80.58	33.20	76.29	31.34	68.60	31.46	74.22
1-29	0.00	0.00	20.59	63.63	13.11	22.19	13.94	44.83	0.00	0.00	27.31	84.34	14.36	38.53	21.60	63.95	29.22	81.65	34.39	84.22	32.76	76.62	30.12	75.15
2-29	0.00	0.00	13.36	42.98	13.11	22.46	13.89	44.62	0.00	0.00	27.07	85.71	21.63	55.50	21.39	65.42	28.76	82.84	31.99	83.68	33.99	84.64	28.71	74.80
3-29	0.00	0.00	13.14	44.20	13.11	46.68	13.81	45.19	0.00	0.00	26.96	85.95	21.63	56.29	21.25	65.64	28.27	82.86	27.41	77.09	31.13	82.23	28.19	75.81
4-29	0.00	0.00	6.50	22.65	12.96	47.05	13.46	48.00	0.00	0.00	27.01	85.07	28.51	76.65	20.75	66.37	27.73	80.95	26.94	78.58	27.48	76.81	27.70	76.24
5-29	0.00	0.00	13.18	46.29	12.93	47.47	13.01	49.95	0.00	0.00	27.15	84.06	28.23	77.37	27.36	85.93	27.35	80.88	26.91	78.53	27.28	78.32	27.33	76.96
6-29	0.00	0.00	28.55	85.09	22.99	65.02	13.48	49.94	0.00	0.00	28.51	78.21	22.66	53.18	29.50	76.41	30.78	80.47	31.50	82.44	31.72	81.50	29.47	75.54
7-29	0.00	0.00	31.78	69.85	23.91	53.70	24.06	61.76	22.42	57.75	33.75	58.92	33.58	58.12	34.22	57.17	37.16	63.00	35.85	59.84	36.32	59.74	36.86	63.09
8-29	0.00	0.00	26.51	41.07	27.62	40.21	26.19	49.27	34.18	62.76	28.50	35.69	20.50	21.35	21.39	20.11	57.63	50.52	66.49	53.10	53.39	44.79	53.49	46.70
9-29	0.00	0.00	22.53	16.75	20.71	21.00	29.71	37.90	34.36	27.48	29.30	33.41	24.59	15.23	25.02	14.98	68.38	47.12	70.66	37.78	60.77	33.02	57.92	33.28
10-29	0.00	0.00	22.87	16.04	20.64	20.69	27.06	40.85	40.26	19.84	36.25	23.65	43.33	16.40	39.93	19.03	64.51	43.63	65.71	27.58	67.71	29.52	63.64	29.75
11-29	0.00	0.00	23.94	14.63	22.40	17.81	19.00	25.15	37.61	21.69	22.79	16.77	29.47	10.53	50.39	25.61	64.05	28.80	69.60	24.52	64.22	29.96	64.91	31.33
12-29	0.00	0.00	24.49	13.96	21.33	19.58	28.11	38.01	31.11	29.37	23.11	16.12	28.78	11.04	27.55	11.53	62.56	25.60	80.35	25.18	65.94	25.65	64.02	30.86
13-29	0.00	0.00	23.98	13.99	23.39	16.90	10.19	11.53	32.32	28.62	23.76	14.92	27.58	11.89	27.80	11.28	64.12	25.61	66.66	24.72	61.82	26.43	72.35	34.19
14-29	22.53	14.94	11.83	7.06	22.27	18.21	10.23	11.82	38.49	46.21	38.56	19.41	26.67	12.54	41.64	16.46	63.45	23.85	62.26	21.63	58.79	23.83	62.05	29.23
15-29	10.94	7.80	11.02	7.98	30.02	33.25	37.80	50.54	35.43	52.20	25.41	13.29	25.19	13.78	25.08	13.23	70.16	34.08	95.44	40.15	58.09	26.54	57.10	27.29
16-29	19.30	22.79	18.23	26.70	25.78	42.73	17.23	29.14	33.43	58.65	22.51	16.18	20.35	19.39	21.53	17.00	56.43	43.17	64.05	36.94	55.49	37.08	57.07	38.59
17-29	26.12	43.40	17.01	29.96	24.30	46.66	24.20	47.28	31.45	65.62	19.22	20.40	18.96	22.22	65.51	86.36	46.77	47.22	45.05	40.43	50.85	50.73	53.33	54.40
18-29	23.35	57.67	7.86	16.22	22.84	53.92	0.00	0.00	23.19	52.39	17.45	24.12	34.05	53.17	33.88	54.48	46.97	61.83	48.90	60.91	37.81	53.33	36.74	54.40
19-29	30.41	78.05	7.31	18.03	14.96	39.06	0.00	0.00	15.03	38.50	32.31	53.01	32.45	58.05	32.33	58.04	33.18	54.26	35.60	55.39	33.23	57.24	32.96	59.06
20-29	22.47	55.87	14.60	38.33	22.02	59.72	0.00	0.00	14.80	39.25	31.36	58.07	31.39	59.62	33.36	69.70	32.11	56.41	32.26	56.22	32.21	57.29	35.72	72.36
21-29	22.11	58.58	14.43	40.40	21.52	63.59	0.00	0.00	14.77	38.79	30.58	61.99	30.87	65.69	32.92	77.97	31.34	58.01	31.59	56.26	31.66	56.93	33.85	70.82
22-29	28.84	79.94	14.19	41.37	14.14	43.63	0.00	0.00	28.66	75.92	22.64	48.92	22.81	55.32	31.17	77.19	30.96	61.95	32.20	65.39	31.79	64.08	32.52	72.11
23-29	21.22	62.25	14.13	43.53	13.98	44.51	0.00	0.00	28.21	78.98	22.28	51.50	29.91	76.82	30.45	77.95	31.78	68.92	31.20	66.09	31.69	70.04	31.19	73.46



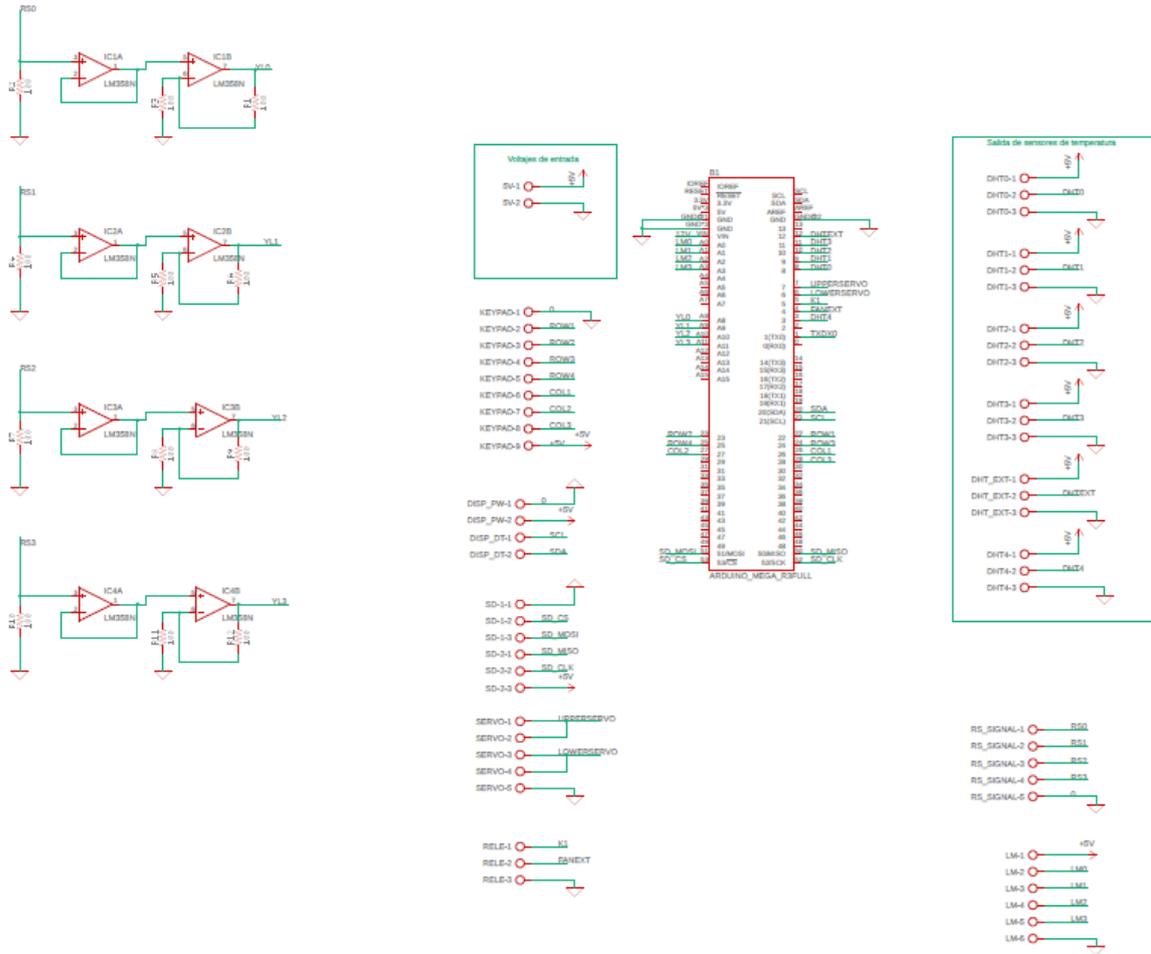
Anexo 11. Pruebas Externas de confiabilidad del sistema

Datos Externos Horno Solar

Hora	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1	2													
	HR (%) T(°C)																									
0		79.5	27.3	79.38	26.9	76.56	27.3	80	27.1	80.75	26.8	76.75	26.6	83.19	26.4	87.06	25.5	85.69	26.3	75.56	26.7	77.31	26.4	75.56	27.1	
1		81.06	26.9	80	26.6	76.81	26.9	81.56	26.8	82.69	26.4	79.12	26.2	86.19	25.9	90.06	25.1	86.19	25.8	77.56	26.3	79.69	26	78.12	26.6	
2		82.62	26.6	80.88	26.4	77.62	26.6	83	26.5	84.19	26.1	80.31	26	87.69	25.6	92.12	24.8	86.75	25.3	79.56	25.9	81.12	25.7	79.81	26.3	
3		83.94	26.3	82.31	26.1	78.56	26.4	84.12	26.2	85.38	25.8	81.25	25.7	88.06	25.2	92.94	24.6	87.69	24.9	81.62	25.6	82.12	25.5	81.25	26.1	
4		85.44	26.1	83.81	25.9	79.5	26.2	84.88	25.9	86.62	25.6	82.12	25.6	88	25	93	24.5	88.25	24.5	83.75	25.3	83.12	25.3	82.5	25.8	
5		86.44	25.9	84.75	25.8	79.88	26.1	84.5	25.9	86.75	25.6	82.69	25.5	87.81	24.9	92.5	24.5	87.88	24.5	85	25.1	83.75	25.2	82.81	25.7	
6		80.31	26.9	78.12	26.8	75.19	27	78.06	26.9	78.31	27	78	26.4	82.94	25.7	86.12	25.6	81.94	25.5	79.12	26	76.94	26.5	76.19	26.8	
7		71.31	28.3	68.56	28.3	68.44	28.2	67.62	28.5	68.88	28.8	70.69	27.9	74	27.2	75.56	27.1	72.19	26.7	68.38	27.8	66.88	28.3	66	28.5	
8		62.38	29.9	59.69	29.9	62	29.6	58.94	30.1	62.62	30.4	64.62	29.3	65.62	28.7	64.81	28.7	61.94	28.2	57.69	29.7	58.19	30.2	55.69	30.4	
9		54.62	31.6	53.38	31.4	57.5	30.7	54.75	31.3	59.06	31.6	59.94	30.5	57.94	30.3	56.94	30.2	54.56	29.7	49.62	31.4	52.75	31.7	47.56	32.3	
10		49.5	33	49.38	32.8	54.75	31.6	53.88	32.1	56.75	32.4	56	31.6	51.69	31.7	51.69	31.5	48.25	31.4	44.19	32.8	49.5	32.9	42.88	33.7	
11		46.62	34	46.81	33.8	53.19	32.3	54.56	32.4	55.25	32.8	52.25	32.7	47.38	32.8	48.62	32.5	44.12	33	40.94	34	47.38	33.8	40.69	34.8	
12		45.5	34.3	45.5	34.5	52.56	32.7	56.75	32.2	55	32.9	48.69	33.6	44.19	33.7	47.19	33.1	42.31	34.1	39.06	34.8	46.06	34.4	39.38	35.5	
13		45.5	34.3	45.31	34.5	52.88	32.8	58.44	32	54.69	32.9	45.81	34.2	42.31	34.2	46.81	33.2	41.69	34.8	38.38	35.2	45.31	34.7	38.69	35.9	
14		46.62	34.2	46.06	34.2	53.38	32.7	60	31.7	54.25	32.7	44.06	34.4	41.62	34.3	47.38	33.1	41.62	35	38.62	35.2	45.44	34.6	38.81	35.9	
15		49.25	33.7	48.12	33.5	54.31	32.5	60	31.7	53	32.6	43.5	34.2	42.38	33.9	48.56	32.6	42.31	34.8	39.5	34.9	45.81	34.3	39.62	35.5	
16		53.25	32.9	51.44	32.7	56.31	31.9	60.06	31.4	52.5	32.3	44.25	33.5	45.12	33	51.38	31.9	44.44	34.1	41.12	34.2	46.75	33.7	41.75	34.6	
17		59	31.8	56.5	31.6	60.62	31	62.31	30.8	55.69	31.3	48.06	32.2	52.69	31.2	58.12	30.5	49.69	32.7	45.25	32.8	49.81	32.7	45.75	33.4	
18	61.62	31.3	65.25	30.6	62.69	30.4	65	30	66.25	29.8	59.31	30	54.62	30.6	63.75	29.2	65.25	29.3	56.38	31.1	51.56	31.3	56.19	31.3		
19	64.75	30.6	68.88	29.9	67.5	29.6	67.56	29.6	68.62	29.3	60.75	29.5	59.06	29.7	68.69	28.4	69.56	28.7	61.31	30.3	57.38	30.3	59.5	30.8		
20	67.38	29.9	69.81	29.3	71.38	29	70.62	29	71.19	28.8	63.69	28.8	62.44	29.1	72.19	28	73.62	28.2	66.94	29.4	62.19	29.4	62.75	30.3		
21	70.25	29.2	72.62	28.5	73.88	28.5	73.75	28.5	74.06	28.2	67.06	28.2	67	28.4	74.12	27.5	78.19	27.7	70.19	28.6	64.75	28.7	65	29.8		
22	73.62	28.4	75.31	27.9	76.25	27.9	76.5	27.9	76.31	27.7	70.19	27.6	72.81	27.6	77.94	26.9	82.38	27.2	71.25	27.9	69.38	27.8	68.12	28.8		
23	77.38	27.7	77.56	27.3	77.19	27.6	78.56	27.5	78.56	27.2	73.25	27.1	78.75	26.9	83.06	26.1	84.75	26.7	73.38	27.2	73.81	27	72.19	27.9		

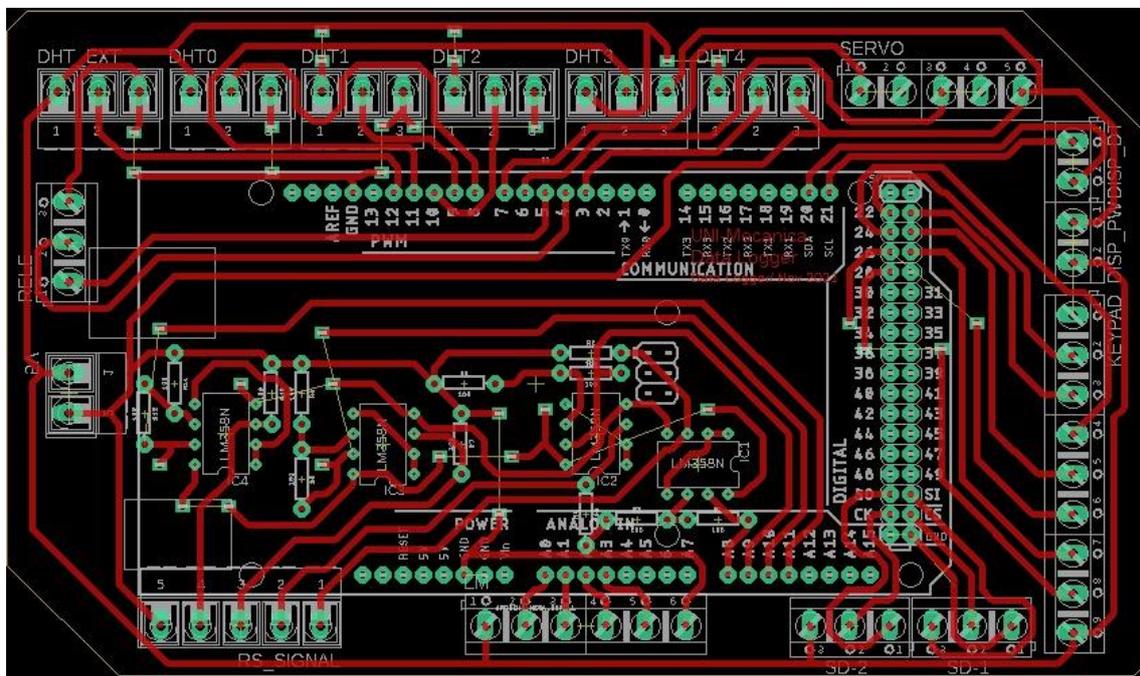
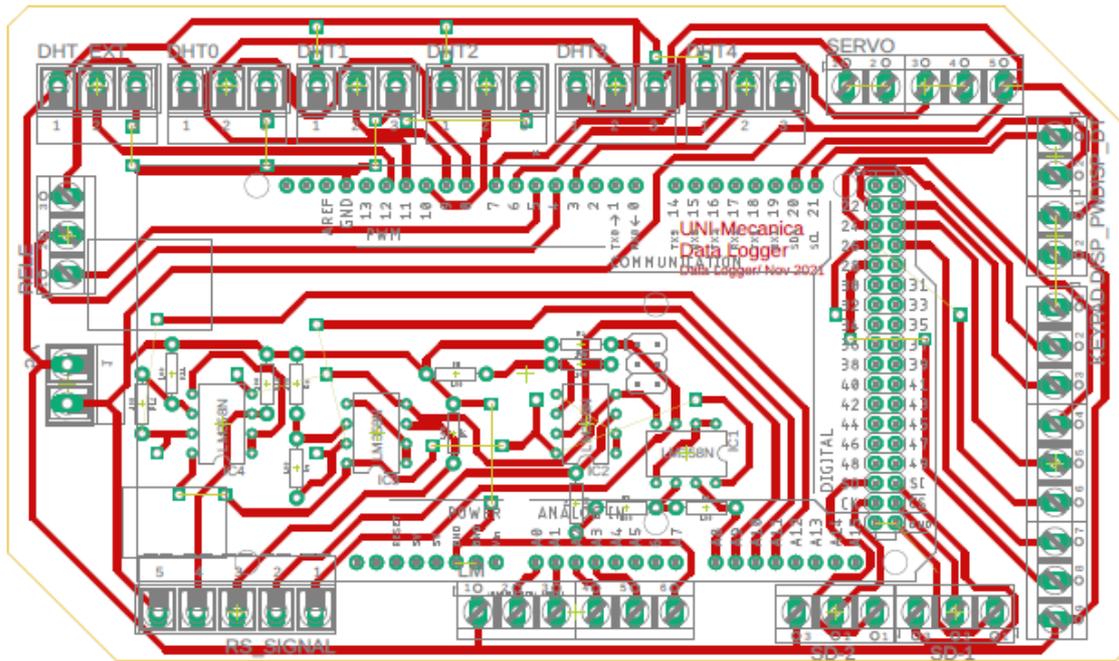


Anexo 12. Circuitos electrónicos del sistema automático





Anexo 13. Conexiones del circuito electrónico del sistema en PCB





Anexo 14. Datos meteorológicos de UNIRUPAP según sitio oficial climatológico de la NASA 2021

<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

NASA/POWER CERES/MERRA2 Native Resolution Daily Data

Dates (month/day/year): 06/01/2021 through 07/31/2021

Location: Latitude 12.1368 Longitude -86.2248

Elevation from MERRA-2: Average for 0.5 x 0.625 degree lat/lon region = 140.53 meters

The value for missing source data that cannot be computed or is outside of the sources availability range: -999

Parameter(s):

		PRECTOTCORR	MERRA-2 Precipitation Corrected (mm/day)		
		RH2M	MERRA-2 Relative Humidity at 2 Meters (%)		
		T2M	MERRA-2 Temperature at 2 Meters (C)		
YEAR	DAY	PRECTOTCORR	RH2M	T2M	
2021	01/06/2021	0	62.56	30.03	
2021	02/06/2021	0.04	59.5	30.7	
2021	03/06/2021	0.17	64.19	30.21	
2021	04/06/2021	0.01	57	30.88	
2021	05/06/2021	0.07	56.81	30.75	
2021	06/06/2021	4.47	62.88	30.44	
2021	07/06/2021	59.5	79.38	28.14	
2021	08/06/2021	27.49	84.69	26.84	
2021	09/06/2021	27.42	81.75	27.01	
2021	10/06/2021	6.14	82	26.83	
2021	11/06/2021	2.15	78.5	27.67	
2021	12/06/2021	4.64	76.38	28.16	
2021	13/06/2021	6.95	76.88	28.24	
2021	14/06/2021	23.42	86.44	26.61	
2021	15/06/2021	20.09	80.75	27.17	
2021	16/06/2021	41.46	84.44	26.76	
2021	17/06/2021	16.68	82.06	27.36	
2021	18/06/2021	13.47	86.62	26.95	
2021	19/06/2021	4.32	84.38	27.42	
2021	20/06/2021	9.13	86.44	27.1	
2021	21/06/2021	3.71	87.88	26.98	
2021	22/06/2021	0.79	84.94	26.74	
2021	23/06/2021	3.95	84.75	26.87	
2021	24/06/2021	2.41	83.56	27.02	
2021	25/06/2021	14.79	83.69	26.72	
2021	26/06/2021	30	85.44	26.08	
2021	27/06/2021	16.47	78.69	26.6	
2021	28/06/2021	19.59	83.44	26.72	



Anexo 15. Datos meteorológicos de UNI-RUPAP según sitio oficial climatológico de la NASA 2019

NASA/POWER CERES/MERRA2 Native Resolution Daily Data

Dates (month/day/year): 05/14/2019 through 05/31/2019

Location: Latitude 12.1368 Longitude -86.2248

Elevation from MERRA-2: Average for 0.5 x 0.625 degree lat/lon region = 140.53 meters

The value for missing source data that cannot be computed or is outside of the sources availability range: -999

Parameter(s):

CLRSKY_SFC_SW_DWN CERES SYN1deg Clear Sky Surface Shortwave Downward Irradiance (MJ/m²/day)

ALLSKY_SFC_PAR_TOT CERES SYN1deg All Sky Surface PAR Total (W/m²)

CLRSKY_SFC_PAR_TOT CERES SYN1deg Clear Sky Surface PAR Total (W/m²)

YEAR		CLRSKY_SFC_SW_DWN	ALLSKY_SFC_PAR_TOT	CLRSKY_SFC_PAR_TOT
2019	14/05/2019	25.56	104.79	138.6
2019	15/05/2019	25.47	110.9	137.15
2019	16/05/2019	25.75	103.36	138.99
2019	17/05/2019	25.99	103.17	140.93
2019	18/05/2019	25.07	95.12	134.66
2019	19/05/2019	25.66	113.87	138.91
2019	20/05/2019	25.61	100.24	138.55
2019	21/05/2019	25.44	97.16	137.6
2019	22/05/2019	25.46	87.7	138.43
2019	23/05/2019	25.76	62.91	140.5
2019	24/05/2019	25.32	77.49	137.15
2019	25/05/2019	24.99	96.83	134.56
2019	26/05/2019	26.15	66.14	142.56
2019	27/05/2019	26.28	82.87	143.5
2019	28/05/2019	26.77	87.44	147.05
Total		385.28	1389.99	2089.14



Anexo 16. Costos de tarifa energética para el mes de septiembre y octubre del 2021.



INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ENERGÍA
ENTE REGULADOR

TARIFAS ACTUALIZADAS A ENTRAR EN VIGENCIA EL 1 DE SEPTIEMBRE DE 2021
AUTORIZADAS PARA LAS DISTRIBUIDORAS DISNORTE Y DISSUR

MEDIA TENSION (VOLTAJE PRIMARIO EN 13.8 Y 24.9 kV)						
TIPO DE TARIFA	APLICACIÓN	TARIFA		CARGO POR		
		CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	ENERGÍA (C\$/kWh)	POTENCIA (C\$/kW-mes)	
GENERAL MAYOR	Carga contratada mayor de 25 kW para uso general (Establecimientos Comerciales, Oficinas Públicas y Privadas Centro de Salud, Hospitales, etc)	T-2D	TARIFA BINOMIA SIN MEDICIÓN HORARIA ESTACIONAL			
			Todos los kWh	6.1652		
				kW de Demanda Máxima		905.8240
		T-2E	TARIFA BINOMIA CON MEDICIÓN HORARIA ESTACIONAL			
			Verano Punta	10.0356		
			Invierno Punta	9.7158		
			Verano Fuera de Punta	6.9349		
			Invierno Fuera de Punta	6.7023		
			Verano Punta		1,008.6085	
			Invierno Punta		629.8920	
Verano Fuera de Punta			0.0000			
Invierno Fuera de Punta		0.0000				



INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ENERGÍA
ENTE REGULADOR

TARIFAS ACTUALIZADAS A ENTRAR EN VIGENCIA EL 1 DE OCTUBRE DE 2021
AUTORIZADAS PARA LAS DISTRIBUIDORAS DISNORTE Y DISSUR

MEDIA TENSION (VOLTAJE PRIMARIO EN 13.8 Y 24.9 kV)						
TIPO DE TARIFA	APLICACIÓN	TARIFA		CARGO POR		
		CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	ENERGÍA (C\$/kWh)	POTENCIA (C\$/kW-mes)	
GENERAL MAYOR	Carga contratada mayor de 25 kW para uso general (Establecimientos Comerciales, Oficinas Públicas y Privadas Centro de Salud, Hospitales, etc)	T-2D	TARIFA BINOMIA SIN MEDICIÓN HORARIA ESTACIONAL			
			Todos los kWh	6.1756		
				kW de Demanda Máxima		907.3489
		T-2E	TARIFA BINOMIA CON MEDICIÓN HORARIA ESTACIONAL			
			Verano Punta	10.0525		
			Invierno Punta	9.7322		
			Verano Fuera de Punta	6.9466		
			Invierno Fuera de Punta	6.7135		
			Verano Punta		1,010.3064	
			Invierno Punta		630.9524	
Verano Fuera de Punta			0.0000			
Invierno Fuera de Punta		0.0000				



Anexo 17. Tasa de cambio de córdoba a dólar según el banco central de Nicaragua.

Tipo de Cambio de Córdobas por USD de 09 - 2021

Mes	Córdobas por USD
01-Septiembre-2021	35.2885
02-Septiembre-2021	35.2904
03-Septiembre-2021	35.2924
04-Septiembre-2021	35.2943
05-Septiembre-2021	35.2962
06-Septiembre-2021	35.2981
07-Septiembre-2021	35.3000
27-Septiembre-2021	35.3383
28-Septiembre-2021	35.3403
29-Septiembre-2021	35.3422
30-Septiembre-2021	35.3441

Tipo de Cambio de Córdobas por USD de 10 - 2021

Mes	Córdobas por USD
01-October-2021	35.3460
02-October-2021	35.3479
03-October-2021	35.3498
04-October-2021	35.3518
05-October-2021	35.3537
06-October-2021	35.3556
07-October-2021	35.3575
27-October-2021	35.3959
28-October-2021	35.3978
29-October-2021	35.3997
30-October-2021	35.4017
31-October-2021	35.4036



Anexo 18. Propiedades del aire a 1 atm

TABLA A-15

Propiedades del aire a la presión de 1 atm

Temp., $T, ^\circ\text{C}$	Densidad, $\rho, \text{kg/m}^3$	Calor específico, $c_p, \text{J/kg} \cdot \text{K}$	Conductividad térmica, $k, \text{W/m} \cdot \text{K}$	Difusividad térmica, $\alpha, \text{m}^2/\text{s}^2$	Viscosidad dinámica, $\mu, \text{kg/m} \cdot \text{s}$	Viscosidad cinemática, $\nu, \text{m}^2/\text{s}$	Número de Prandtl, Pr
-150	2.866	983	0.01171	4.158×10^{-6}	8.636×10^{-6}	3.013×10^{-6}	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	8.036×10^{-6}	1.189×10^{-5}	5.837×10^{-6}	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	1.252×10^{-5}	1.474×10^{-5}	9.319×10^{-6}	0.7440
-40	1.514	1 002	0.02057	1.356×10^{-5}	1.527×10^{-5}	1.008×10^{-5}	0.7436
-30	1.451	1 004	0.02134	1.465×10^{-5}	1.579×10^{-5}	1.087×10^{-5}	0.7425
-20	1.394	1 005	0.02211	1.578×10^{-5}	1.630×10^{-5}	1.169×10^{-5}	0.7408
-10	1.341	1 006	0.02288	1.696×10^{-5}	1.680×10^{-5}	1.252×10^{-5}	0.7387
0	1.292	1 006	0.02364	1.818×10^{-5}	1.729×10^{-5}	1.338×10^{-5}	0.7362
5	1.269	1 006	0.02401	1.880×10^{-5}	1.754×10^{-5}	1.382×10^{-5}	0.7350
10	1.246	1 006	0.02439	1.944×10^{-5}	1.778×10^{-5}	1.426×10^{-5}	0.7336
15	1.225	1 007	0.02476	2.009×10^{-5}	1.802×10^{-5}	1.470×10^{-5}	0.7323
20	1.204	1 007	0.02514	2.074×10^{-5}	1.825×10^{-5}	1.516×10^{-5}	0.7309
25	1.184	1 007	0.02551	2.141×10^{-5}	1.849×10^{-5}	1.562×10^{-5}	0.7296
30	1.164	1 007	0.02588	2.208×10^{-5}	1.872×10^{-5}	1.608×10^{-5}	0.7282
35	1.145	1 007	0.02625	2.277×10^{-5}	1.895×10^{-5}	1.655×10^{-5}	0.7268
40	1.127	1 007	0.02662	2.346×10^{-5}	1.918×10^{-5}	1.702×10^{-5}	0.7255
45	1.109	1 007	0.02699	2.416×10^{-5}	1.941×10^{-5}	1.750×10^{-5}	0.7241
50	1.092	1 007	0.02735	2.487×10^{-5}	1.963×10^{-5}	1.798×10^{-5}	0.7228
60	1.059	1 007	0.02808	2.632×10^{-5}	2.008×10^{-5}	1.896×10^{-5}	0.7202
70	1.028	1 007	0.02881	2.780×10^{-5}	2.052×10^{-5}	1.995×10^{-5}	0.7177
80	0.9994	1 008	0.02953	2.931×10^{-5}	2.096×10^{-5}	2.097×10^{-5}	0.7154
90	0.9718	1 008	0.03024	3.086×10^{-5}	2.139×10^{-5}	2.201×10^{-5}	0.7132
100	0.9458	1 009	0.03095	3.243×10^{-5}	2.181×10^{-5}	2.306×10^{-5}	0.7111
120	0.8977	1 011	0.03235	3.565×10^{-5}	2.264×10^{-5}	2.522×10^{-5}	0.7073
140	0.8542	1 013	0.03374	3.898×10^{-5}	2.345×10^{-5}	2.745×10^{-5}	0.7041
160	0.8148	1 016	0.03511	4.241×10^{-5}	2.426×10^{-5}	2.976×10^{-5}	0.7014
180	0.7788	1 019	0.03646	4.593×10^{-5}	2.504×10^{-5}	3.212×10^{-5}	0.6992
200	0.7459	1 023	0.03779	4.954×10^{-5}	2.577×10^{-5}	3.455×10^{-5}	0.6974
250	0.6746	1 033	0.04104	5.890×10^{-5}	2.760×10^{-5}	4.091×10^{-5}	0.6946
300	0.6158	1 044	0.04418	6.871×10^{-5}	2.934×10^{-5}	4.765×10^{-5}	0.6935
350	0.5664	1 056	0.04721	7.892×10^{-5}	3.101×10^{-5}	5.475×10^{-5}	0.6937
400	0.5243	1 069	0.05015	8.951×10^{-5}	3.261×10^{-5}	6.219×10^{-5}	0.6948
450	0.4880	1 081	0.05298	1.004×10^{-4}	3.415×10^{-5}	6.997×10^{-5}	0.6965
500	0.4565	1 093	0.05572	1.117×10^{-4}	3.563×10^{-5}	7.806×10^{-5}	0.6986
600	0.4042	1 115	0.06093	1.352×10^{-4}	3.846×10^{-5}	9.515×10^{-5}	0.7037
700	0.3627	1 135	0.06581	1.598×10^{-4}	4.111×10^{-5}	1.133×10^{-4}	0.7092
800	0.3289	1 153	0.07037	1.855×10^{-4}	4.362×10^{-5}	1.326×10^{-4}	0.7149
900	0.3008	1 169	0.07465	2.122×10^{-4}	4.600×10^{-5}	1.529×10^{-4}	0.7206
1 000	0.2772	1 184	0.07868	2.398×10^{-4}	4.826×10^{-5}	1.741×10^{-4}	0.7260
1 500	0.1990	1 234	0.09599	3.908×10^{-4}	5.817×10^{-5}	2.922×10^{-4}	0.7478
2 000	0.1553	1 264	0.11113	5.664×10^{-4}	6.630×10^{-5}	4.270×10^{-4}	0.7539



Anexo 19. Resistencia Térmica

TABLA 3-8			Resistencia térmica unitaria (valor <i>R</i>) de componentes comunes usados en la construcción		
Componente	Valor <i>R</i>		Componente	Valor <i>R</i>	
	m ² · °C/W	ft ² · h · °F/Btu		m ² · °C/W	ft ² · h · °F/Btu
Superficie exterior (invierno)	0.030	0.17	Montante de madera nominal 2 in × 6 in		
Superficie exterior (verano)	0.044	0.25	(5.5 in o 140 mm de ancho)	0.98	5.56
Superficie interior, aire estático	0.12	0.68	Loseta de arcilla, 100 mm (4 in)	0.18	1.01
Espacio plano lleno de aire, vertical, superficies comunes ($\kappa_{\text{air}} = 0.82$):			Loseta acústica	0.32	1.79
13 mm ($\frac{1}{2}$ in)	0.16	0.90	Teja de asfalto	0.077	0.44
20 mm ($\frac{3}{4}$ in)	0.17	0.94	Papel para construcción	0.011	0.06
40 mm (1.5 in)	0.16	0.90	Bloque de concreto, 100 mm (4 in):		
90 mm (3.5 in)	0.16	0.91	Ligero	0.27	1.51
Aislamiento, 25 mm (1 in):			Pesado	0.13	0.71
Fibra de vidrio	0.70	4.00	Tablero de yeso, 13 mm ($\frac{1}{2}$ in)	0.079	0.45
Lámina de fibra mineral	0.66	3.73	Lámina de fibra de madera, 13 mm ($\frac{1}{2}$ in)	0.23	1.31
Espuma rígida de uretano	0.98	5.56	Madera contrachapada, 13 mm ($\frac{1}{2}$ in)	0.11	0.62
Estuco, 25 mm (1 in)	0.037	0.21	Concreto, 200 mm (8 in):		
Ladrillo de fachada, 100 mm (4 in)	0.075	0.43	Ligero	1.17	6.67
Ladrillo común, 100 mm (4 in)	0.12	0.79	Pesado	0.12	0.67
Forro de acero	0.00	0.00	Mortero de cemento, 13 mm ($\frac{1}{2}$ in)		
Escoria, 13 mm ($\frac{1}{2}$ in)	0.067	0.38	0.018	0.10	
Madera, 25 mm (1 in)	0.22	1.25	Tablas de forro achaflanadas y traslapadas de madera, 13 mm × 200 mm ($\frac{1}{2}$ in × 8 in)		
Montante de madera nominales 2 in × 4 in (3.5 in o 90 mm de ancho)	0.63	3.58	0.14	0.81	



Anexo 20. Propiedad de materiales de construcción

TABLA A-51

Propiedades de materiales de construcción (*conclusión*)
(a una temperatura media de 75°F)

Material	Espesor, L in	Densidad, ρ lbm/ft ³	Conductividad térmica, k Btu-in/h · ft ² · °F	Calor específico, c_p Btu/lbm · R	Valor R (para los espesores de la lista, L/k), °F · h · ft ² /Btu
Material para techos					
Tejas de asbesto-cemento		120	—	0.24	0.21
Asfalto en rollos		70	—	0.36	0.15
Tejas de asfalto		70	—	0.30	0.44
Techado incorporado	$\frac{3}{8}$ in	70	—	0.35	0.33
Piarra	$\frac{1}{2}$ in	—	—	0.30	0.05
Tejas de madera (simples y con cara de película de plástico)		—	—	0.31	0.94
Materiales para revoque					
Revoque de cemento, agregado de arena	$\frac{3}{4}$ in	1.16	5.0	0.20	0.15
Revoque de yeso:					
Agregado ligero	$\frac{1}{2}$ in	45	—	—	0.32
Agregado de arena	$\frac{1}{2}$ in	105	5.6	0.20	0.09
Agregado de perlita	—	45	1.5	0.32	—
Material para forro exterior (sobre superficies planas)					
Tejas de asbesto-cemento	—	120	—	—	0.21
Forro de tablero duro	$\frac{7}{16}$ in	—	—	0.28	0.67
Forro de madera (rebajada)	1 in	—	—	0.31	0.79
Forro de madera (contrachapada), traslapada	$\frac{3}{8}$ in	—	—	0.29	0.59
Forro de aluminio o acero (sobre encofrado):					
Con respaldo hueco	$\frac{3}{8}$ in	—	—	0.29	0.61
Con respaldo de tablero aislante	$\frac{3}{8}$ in	—	—	0.32	1.82
Vidrio arquitectónico	—	158	6.9	0.21	0.10
Maderas					
Maderas duras (arce, roble, etc.)	—	45	1.10	0.30	—
Maderas suaves (abeto, pino, etc.)	—	32	0.80	0.33	—
Metales					
Aluminio (1100)	—	171	1 536	0.214	—
Acero dulce	—	489	314	0.120	—
Acero inoxidable	—	494	108	0.109	—



Anexo 21. Detalle de apilamiento de madera en horno

Dimensiones del primer Apilamiento					
	L (m)	A (m)	H (m)	HR (%)	Volmen(m3)
1	0.99	0.165	0.085	17.50 %	0.014
2	1.41	0.28	0.096	18.20 %	0.038
3	0.87	0.25	0.1	19.40 %	0.022
4	1.2	0.33	0.097	26.00 %	0.038
5	1.06	0.35	0.102	25.00 %	0.038
6	1.05	0.245	0.112	22.90 %	0.029
7	1.57	0.27	0.07	19.50 %	0.030
8	1.33	0.355	0.098	21.90 %	0.046
9	1.73	0.3	0.1	22.20 %	0.052
10	1.725	0.252	0.101	19.30 %	0.044
11	1.35	0.38	0.095	19.10 %	0.049
12	1.532	0.31	0.081	23.80 %	0.038
13	1.773	0.2	0.08	18.30 %	0.028
14	1.415	0.26	0.091	24.50 %	0.033
15	0.93	0.48	0.11	26.30 %	0.049
16	1.2	0.42	0.101	25.40 %	0.051
17	1.075	0.377	0.097	24.90 %	0.039
18	0.97	0.34	0.11	24.20 %	0.036
19	1.789	0.392	0.11	20.00 %	0.077
20	1.31	0.33	0.1	25.10 %	0.043
21	1.4	0.41	0.108	21.90 %	0.062
Total (m3)					0.857

Dimensiones del segundo Apilamiento					
	L (m)	A (m)	H (m)	HR	Volmen (m3)
1	1	0.18	0.085	17.50 %	0.015
2	1.41	0.29	0.096	18.20 %	0.039
3	1.02	0.25	0.085	19.40 %	0.022
4	1.15	0.34	0.097	26.00 %	0.038
5	1.07	0.35	0.102	25.00 %	0.038
6	1.045	0.245	0.112	22.90 %	0.029
7	1.57	0.27	0.075	19.50 %	0.032
8	1.33	0.355	0.098	21.90 %	0.046
9	1.73	0.3	0.1	22.20 %	0.052
10	1.725	0.252	0.1	19.30 %	0.043
11	1.35	0.38	0.095	19.10 %	0.049
12	1.532	0.31	0.081	23.80 %	0.038
13	1.773	0.2	0.08	18.30 %	0.028
14	1.415	0.26	0.09	24.50 %	0.033
15	1	0.48	0.11	26.30 %	0.053
16	1.2	0.42	0.101	25.40 %	0.051
17	1.075	0.377	0.097	24.90 %	0.039
18	1.01	0.34	0.11	24.20 %	0.038
19	1.789	0.392	0.11	20.00 %	0.077
20	1.31	0.33	0.1	25.10 %	0.043
21	1.2	0.41	0.108	21.90 %	0.053
Total(m3)					0.857



Anexo 22. Propiedades Termodinámicas del agua

TABLA A-4

Agua saturada. Tabla de temperaturas

Temp., T °C	Pres. sat., P _{sat} kPa	Volumen específico, m ³ /kg		Energía interna, kJ/kg			Entalpía, kJ/kg			Entropía, kJ/kg · K		
		Liq. sat., v _f	Vapor sat., v _g	Liq. sat., u _f	Evap., u _{fg}	Vapor sat., u _g	Liq. sat., h _f	Evap., h _{fg}	Vapor sat., h _g	Liq. sat., s _f	Evap., s _{fg}	Vapor sat., s _g
0.01	0.6117	0.001000	206.00	0.000	2374.9	2374.9	0.001	2500.9	2500.9	0.0000	9.1556	9.1556
5	0.8725	0.001000	147.03	21.019	2360.8	2381.8	21.020	2489.1	2510.1	0.0763	8.9487	9.0249
10	1.2281	0.001000	106.32	42.020	2346.6	2388.7	42.022	2477.2	2519.2	0.1511	8.7488	8.8999
15	1.7057	0.001001	77.885	62.980	2332.5	2395.5	62.982	2465.4	2528.3	0.2245	8.5559	8.7803
20	2.3392	0.001002	57.762	83.913	2318.4	2402.3	83.915	2453.5	2537.4	0.2965	8.3696	8.6661
25	3.1698	0.001003	43.340	104.83	2304.3	2409.1	104.83	2441.7	2546.5	0.3672	8.1895	8.5567
30	4.2469	0.001004	32.879	125.73	2290.2	2415.9	125.74	2429.8	2555.6	0.4368	8.0152	8.4520
35	5.6291	0.001006	25.205	146.63	2276.0	2422.7	146.64	2417.9	2564.6	0.5051	7.8466	8.3517
40	7.3851	0.001008	19.515	167.53	2261.9	2429.4	167.53	2406.0	2573.5	0.5724	7.6832	8.2556
45	9.5953	0.001010	15.251	188.43	2247.7	2436.1	188.44	2394.0	2582.4	0.6386	7.5247	8.1633
50	12.352	0.001012	12.026	209.33	2233.4	2442.7	209.34	2382.0	2591.3	0.7038	7.3710	8.0748
55	15.763	0.001015	9.5639	230.24	2219.1	2449.3	230.26	2369.8	2600.1	0.7680	7.2218	7.9898
60	19.947	0.001017	7.6670	251.16	2204.7	2455.9	251.18	2357.7	2608.8	0.8313	7.0769	7.9082
65	25.043	0.001020	6.1935	272.09	2190.3	2462.4	272.12	2345.4	2617.5	0.8937	6.9360	7.8296
70	31.202	0.001023	5.0396	293.04	2175.8	2468.9	293.07	2333.0	2626.1	0.9551	6.7989	7.7540
75	38.597	0.001026	4.1291	313.99	2161.3	2475.3	314.03	2320.6	2634.6	1.0158	6.6655	7.6812
80	47.416	0.001029	3.4053	334.97	2146.6	2481.6	335.02	2308.0	2643.0	1.0756	6.5355	7.6111
85	57.868	0.001032	2.8261	355.96	2131.9	2487.8	356.02	2295.3	2651.4	1.1346	6.4089	7.5435
90	70.183	0.001036	2.3593	376.97	2117.0	2494.0	377.04	2282.5	2659.6	1.1929	6.2853	7.4782
95	84.609	0.001040	1.9808	398.00	2102.0	2500.1	398.09	2269.6	2667.6	1.2504	6.1647	7.4151
100	101.42	0.001043	1.6720	419.06	2087.0	2506.0	419.17	2256.4	2675.6	1.3072	6.0470	7.3542
105	120.90	0.001047	1.4186	440.15	2071.8	2511.9	440.28	2243.1	2683.4	1.3634	5.9319	7.2952
110	143.38	0.001052	1.2094	461.27	2056.4	2517.7	461.42	2229.7	2691.1	1.4188	5.8193	7.2382
115	169.18	0.001056	1.0360	482.42	2040.9	2523.3	482.59	2216.0	2698.6	1.4737	5.7092	7.1829
120	198.67	0.001060	0.89133	503.60	2025.3	2528.9	503.81	2202.1	2706.0	1.5279	5.6013	7.1292
125	232.23	0.001065	0.77012	524.83	2009.5	2534.3	525.07	2188.1	2713.1	1.5816	5.4956	7.0771
130	270.28	0.001070	0.66808	546.10	1993.4	2539.5	546.38	2173.7	2720.1	1.6346	5.3919	7.0265
135	313.22	0.001075	0.58179	567.41	1977.3	2544.7	567.75	2159.1	2726.9	1.6872	5.2901	6.9773
140	361.53	0.001080	0.50850	588.77	1960.9	2549.6	589.16	2144.3	2733.5	1.7392	5.1901	6.9294
145	415.68	0.001085	0.44600	610.19	1944.2	2554.4	610.64	2129.2	2739.8	1.7908	5.0919	6.8827
150	476.16	0.001091	0.39248	631.66	1927.4	2559.1	632.18	2113.8	2745.9	1.8418	4.9953	6.8371
155	543.49	0.001096	0.34648	653.19	1910.3	2563.5	653.79	2098.0	2751.8	1.8924	4.9002	6.7927
160	618.23	0.001102	0.30680	674.79	1893.0	2567.8	675.47	2082.0	2757.5	1.9426	4.8066	6.7492
165	700.93	0.001108	0.27244	696.46	1875.4	2571.9	697.24	2065.6	2762.8	1.9923	4.7143	6.7067
170	792.18	0.001114	0.24260	718.20	1857.5	2575.7	719.08	2048.8	2767.9	2.0417	4.6233	6.6650
175	892.60	0.001121	0.21659	740.02	1839.4	2579.4	741.02	2031.7	2772.7	2.0906	4.5335	6.6242
180	1002.8	0.001127	0.19384	761.92	1820.9	2582.8	763.05	2014.2	2777.2	2.1392	4.4448	6.5841
185	1123.5	0.001134	0.17390	783.91	1802.1	2586.0	785.19	1996.2	2781.4	2.1875	4.3572	6.5447
190	1255.2	0.001141	0.15636	806.00	1783.0	2589.0	807.43	1977.9	2785.3	2.2355	4.2705	6.5059
195	1398.8	0.001149	0.14089	828.18	1763.6	2591.7	829.78	1959.0	2788.8	2.2831	4.1847	6.4678
200	1554.9	0.001157	0.12721	850.46	1743.7	2594.2	852.26	1939.8	2792.0	2.3305	4.0997	6.4302



Anexo 23. Datos meteorológicos de UNI-RUPAP según sitio oficial climatológico de la NASA (septiembre-octubre 2021)

-BEGIN HEADER-					
NASA/POWER CERES/MERRA2 Native Resolution Hourly Data					
Dates (month/day/year): 09/15/2021 through 10/12/2021					
Location: Latitude 12.1368 Longitude -86.2248					
Elevation from MERRA-2: Average for 0.5 x 0.625 degree lat/lon region = 140.53 meters					
The value for missing source data that cannot be computed or is outside of the sources availability range: -999					
Parameter(s):					
PRECTOTCORR	MERRA-2 Precipitation Corrected (mm/hour)				
T2M	MERRA-2 Temperature at 2 Meters (C)				
RH2M	MERRA-2 Relative Humidity at 2 Meters (%)				
CLRSKY_SFC_PAR_TOT	CERES SYN1deg Clear Sky Surface PAR Total (W/m^2)				
CLRSKY_SFC_SW_DWN	CERES SYN1deg Clear Sky Surface Shortwave Downward Irradiance (MJ/hr)				
-END HEADER-					
Etiquetas de fila	Precipitaciones (mm/día)	Temp. Ambiente	HR ambiente	% RH2M	CLRSKY_SFC_PAR_TOT
▼	PRECTOTCORR	°C T2M			
15/09/2021	0.970	27.493	82.160		256.359
16/09/2021	0.365	27.871	80.327		258.409
17/09/2021	0.342	27.408	86.794		251.918
18/09/2021	0.009	27.727	85.333		256.556
19/09/2021	0.005	27.793	82.424		253.385
20/09/2021	0.016	27.683	83.900		258.221
21/09/2021	0.014	27.696	81.317		257.490
22/09/2021	0.071	28.217	79.654		257.602
23/09/2021	0.422	27.380	80.785		252.767
24/09/2021	0.463	27.829	81.889		251.462
25/09/2021	0.153	27.152	85.201		250.565
26/09/2021	0.033	27.315	84.312		246.585
27/09/2021	0.094	27.409	82.374		257.133
28/09/2021	0.706	27.656	79.251		254.229
29/09/2021	0.199	26.918	83.851		255.615
30/09/2021	3.365	28.200	78.592		253.751
01/10/2021	0.237	27.866	81.948		256.921
02/10/2021	0.028	28.498	79.462		255.038
03/10/2021	0.025	28.662	76.672		253.103
04/10/2021	0.136	28.104	79.835		252.859
05/10/2021	0.020	27.944	81.299		246.803
06/10/2021	0.051	27.759	81.582		241.969
07/10/2021	0.092	27.178	84.980		239.538
08/10/2021	0.043	27.637	84.847		242.792
09/10/2021	0.010	28.823	78.582		246.380
10/10/2021	0.006	28.870	76.164		248.928
11/10/2021	0.000	28.523	77.461		245.683
12/10/2021	0.004	28.579	73.894		244.917
Total general	0.281	27.864	81.246		251.678



Anexo 24. Datos meteorológicos de UNI-RUPAP según sitio oficial climatológico de la NASA (junio-julio 2021)

-BEGIN HEADER-					
NASA/POWER CERES/MERRA2 Native Resolution Hourly Data					
Dates (month/day/year): 06/08/2021 through 07/14/2021					
Location: Latitude 12.1368 Longitude -86.2248					
Elevation from MERRA-2: Average for 0.5 x 0.625 degree lat/lon region = 140.53 meters					
The value for missing source data that cannot be computed or is outside of the sources availability range: -999					
Parameter(s):					
PRECTOTCORR	MERRA-2 Precipitation Corrected (mm/hour)				
T2M	MERRA-2 Temperature at 2 Meters (C)				
RH2M	MERRA-2 Relative Humidity at 2 Meters (%)				
CLRSKY_SFC_PAR_TOT	CERES SYN1deg Clear Sky Surface PAR Total (W/m^2)				
CLRSKY_SFC_SW_DWN	CERES SYN1deg Clear Sky Surface Shortwave Downward Irradiance (MJ/hr)				
-END HEADER-					
Etiquetas de fila	Precipitaciones (mm/día)	Temp. Ambiente	HR ambiente	% RH2M	CLRSKY_SFC_PAR_TOT
▼	PRECTOTCORR	°C T2M			
08/06/2021	1.384	27.617	80.991		256.513
09/06/2021	1.399	28.205	73.668		258.681
10/06/2021	0.235	28.069	73.563		260.310
11/06/2021	0.046	29.283	69.097		257.857
12/06/2021	0.105	29.932	66.077		259.032
13/06/2021	0.092	29.625	67.832		254.146
14/06/2021	0.653	27.277	82.332		259.732
15/06/2021	0.404	28.478	72.486		259.982
16/06/2021	1.500	27.664	79.535		258.472
17/06/2021	0.467	28.289	76.470		253.156
18/06/2021	0.642	27.912	82.353		252.330
19/06/2021	0.102	28.705	77.323		256.760
20/06/2021	0.367	28.286	80.668		259.298
21/06/2021	0.165	28.054	82.447		256.052
22/06/2021	0.014	27.921	78.678		249.132
23/06/2021	0.158	27.924	79.621		252.993
24/06/2021	0.055	28.752	74.032		255.255
25/06/2021	0.262	27.875	76.986		258.534
26/06/2021	1.087	26.994	80.086		257.070
27/06/2021	0.286	27.989	70.485		251.298
28/06/2021	0.249	27.832	77.086		259.975
29/06/2021	3.648	27.805	81.067		254.533
30/06/2021	0.083	27.840	83.067		262.759
01/07/2021	0.062	28.572	78.524		258.318
02/07/2021	0.092	28.420	75.942		262.988
03/07/2021	0.012	28.236	74.855		266.861
04/07/2021	1.828	28.018	77.164		261.085
05/07/2021	1.694	28.310	79.045		257.762
06/07/2021	0.168	28.503	78.303		259.068
07/07/2021	0.000	29.045	74.856		263.781
08/07/2021	0.052	28.767	77.749		260.585
09/07/2021	0.167	27.720	83.375		247.922
10/07/2021	0.586	27.058	83.028		254.856
11/07/2021	1.575	27.319	86.447		262.311
12/07/2021	0.037	27.992	74.881		257.902
13/07/2021	0.241	27.822	79.860		260.722
14/07/2021	0.062	27.643	83.133		255.765
Total general	0.540	28.156	77.652		257.670



Anexo 25. Facturas



Cubas Eléctrica S.A.

RUC J031000046638 Tels.: 2254 7493 * 2254 7549 * 2522 1193 * 2713 5875 * Cel.: 8855 5992
E-Mail: cubaselectrica@gmail.com; info@grupocubas.com

Suc. Managua
Rotonda el Peridolia 300 Mts. al Sur, Frente a Oliglaza el Retiro, Edificio El Águila. Managua, Nicaragua

Suc. Masaya
Empalme Coyotepe 100 Mts. al Sur, detrás de la Iglesia Hosana. Masaya, Nicaragua

Suc. Chinandega
Rotonda entrada a Chinandega 300 Mts. al Oeste Chinandega, Nicaragua

Suc. Estelí
Hospital San Juan de Dios, 300 Mts. al Sur. Estelí, Nicaragua

Suc. Matagalpa
Km. 127 Carretera Sébaco Matagalpa, Santa Inés Matagalpa, Nicaragua

Suc. Juigalpa
Km. 142.1 Carretera Juigalpa-Rama Chontales, Nicaragua

FACTURA

Nº 151958

CLIENTE: UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA		CRÉDITO <input type="checkbox"/> CONTADO <input checked="" type="checkbox"/>	
DIRECCIÓN:		MONEDA CS <input checked="" type="checkbox"/> US\$ <input type="checkbox"/>	
TELÉFONO:		RUC N°	
RUC N°		FECHA 09 / 02 / 2021	

CÓDIGO	DETALLE DE FACTURA	U/M	CANT	P/U	TOTAL
D66813001	GABINETE METALICO 400X300X160 MM, IP68, C/FF LEGRAND	UNI	1.00	2,511.17	2,511.17



ENTREGADO

MANAGUA ALMACEN 4

Fecha: 09/02/2021

Firma: *Eduardo Burgos*



CUBAS ELECTRICA, S.A.

CANCELADO

Fecha:

Firma:

Observación:

Al vencer el plazo de crédito de 30 días de la presente factura, salvo disposición contraria de las partes por escrito, el deudor recaerá en mora automática/ Art.1899,1990 C. Sin perjuicio que el deudor pueda realizar el pago anticipado.

Al vencer el plazo de crédito de 30 días de la presente factura, salvo disposición contraria de las partes por escrito, el deudor recaerá en mora automática/ Art.1899,1990 C. Sin perjuicio que el deudor pueda realizar el pago anticipado.

	SUB TOTAL	C\$ 2,511.17
	I.V.A.	C\$ 376.68
	TOTAL	C\$ 2,887.85

ENTREGUÉ CONFORME

IMPRESO EN NICARAGUA PPLS/Imprenta La Salle RUC J0910000035418 AIMP120002710-2020 O.T. 11331 - 17-11-2020 - 10.000(3) - 148.501-156.500 - ACF/112409/11-2020

RECIBÍ CONFORME

FECHA DE VENCIMIENTO

Javier Benjamin Jaenz Guadamuz



Diseño de sistema automático para monitoreo de la cinemática del secado de madera en un horno solar, evaluando condiciones de convección natural y convección forzada, ubicado en las instalaciones del Programa Institucional de la Madera (PIMA) de la UNIRUPAP



La Casa del Perno S.A. RUC J0310000151059
 Dir.: Pista El Mayoreo de los Semáforos 90 mts. Al Sur
 Tel.: 2252-1266, Managua, Nicaragua
 www.casadelperno.net



Serie "B" **FACTURA Nº 372528**

Aniversario

Factura No. B00372528

Ediciones La Fe RUC: 4862401750000D AMP/30046/05-2020-200B, SOL. (3) # 366.001-376.000 ACF/4/2791-2021 O.T038001-2021

No.	CLIENTE	FECHA		
	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA	12/03/2021		
COMPRADOR	TELEFONO	ORDEN DE COMPRA	CONDICIONES	
			CONTADO	
LUGAR DE ENTREGA		ALISTADO	No. PED.	
CDP - Bodega: Pista Mayoreo		Jimmy Obregon		
CANTIDAD	CODIGO	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO	VALOR
4.00	H27-603	5/16 x 2-1/2" Esparrago P/Flecha, 731819000000	27.4598	109.84
4.00	BF8F-020	5/16" Tuerca Hex. Gr-8 HF, 731816000000	1.8859	7.54
4.00	BF8C-020	5/16"-18 Trca Hex.Gr-8 HO, 731816000000	1.5158	6.06
1.00	BDC-20	5/16" Broca de Cobalto 820750000000	211.5000	211.50
Política de Devolución: Contado 24 horas / Crédito 72 horas. Favor Revise su producto, después de estos plazos no aceptamos devoluciones		TOTAL VENTA	C\$	334.94
Pagaremos a la orden de LA CASA DEL PERNO, S.A. el valor total de la presente factura, en la fecha de su vencimiento con mantenimiento del valor del Córdoba con respecto al Dólar de los Estados Unidos de América, de conformidad al arto. 16 de la Ley Monetaria (Decreto Ley No. 1-92),. La falta de pago oportuno de su importe causará intereses moratorios correspondientes del 3% mensual sobre la cantidad insoluta desde su fecha de vencimiento hasta su efectivo pago total.		DESCUENTO	C\$	0.00
FIRMA DEL CLIENTE		SUB-TOTAL	C\$	334.94
AUTORIZADO POR		RET. I.R. %	C\$	0.00
		ISV %	C\$	0.00
		I.V.A.15%	C\$	50.25
		TOTAL C\$	C\$	385.19
		TOTAL US\$		10.93



LA CASA DEL PERNO, S.A.
ENTREGADO
 FECHA: **SUBURBIO EL MAYOREO**

ORIGINAL CLIENTE



Diseño de sistema automático para monitoreo de la cinemática del secado de madera en un horno solar, evaluando condiciones de convección natural y convección forzada, ubicado en las instalaciones del Programa Institucional de la Madera (PIMA) de la UNIRUPAP



La Casa del Perno S.A. RUC J0310000151059
 Dir.: Pista El Mayoreo de los Semáforos 90 mts. Al Sur
 Tel.: 2252-1266, Managua, Nicaragua
 www.casadelperno.net



Aniversario

Serie "B" **FACTURA Nº 372530**

Factura No. B00372530

No.	CLIENTE	FECHA
	BRYAN	12/03/2021
COMPRADOR	TELEFONO	ORDEN DE COMPRA
		CONDICIONES
		CONTADO

LUGAR DE ENTREGA	ALISTADO	No. PED.
CDP - Bodega: Pista Mayoreo	Jimmy Obregon	

CANTIDAD	CODIGO	DESCRIPCION	PRECIO UNITARIO	VALOR
1.00	APGU-010	3/16" Unidad A/Plana Gr-2 731822000000	0.2115	0.21
1.00	APGU-016	1/4" Unidad A/Plana Gr-2,731822000000	0.8500	0.85
1.00	APGU-020	5/16" Unidad A/Plana Gr-2, 731822000000	1.0000	1.00

Ediciones: La Fe RUC: 46824617500000 AIMP20040605-2020 2009, SOL (3) # 468.001.378.000 ACF47291-2021 O.T.0308001-2021



Política de Devolución: Contado 24 horas / Crédito 72 horas. Favor Revise su producto, después de estos plazos no aceptamos devoluciones

Pagaremos a la orden de LA CASA DEL PERNO, S.A. el valor total de la presente factura, en la fecha de su vencimiento con mantenimiento del valor del Córdoba con respecto al Dólar de los Estados Unidos de América, de conformidad al arto. 16 de la Ley Monetaria (Decreto Ley No. 1-92). La falta de pago oportuno de su importe causará intereses moratorios correspondientes del 3% mensual sobre la cantidad insoluta desde su fecha de vencimiento hasta su efectivo pago total.

FIRMA DEL CLIENTE

AUTORIZADO POR

TOTAL VENTA	CS	2.06
DESCUENTO	CS	0.00
SUB-TOTAL	CS	2.06
RET. I.R. %	CS	0.00
ISV %	CS	0.00
I.V.A. 15%	CS	0.31
TOTAL C\$	CS	2.37
TOTAL US\$		0.07

ORIGINAL CLIENTE



Diseño de sistema automático para monitoreo de la cinemática del secado de madera en un horno solar, evaluando condiciones de convección natural y convección forzada, ubicado en las instalaciones del Programa Institucional de la Madera (PIMA) de la UNI-RUPAP

ELECTRÓNICA DE NICARAGUA
 Electrónica de Nicaragua
 Puente El Paraíso 1 c. al Sur, 1/2 c. al Oeste. Barrio San Cristobal 2A23. Managua, Nicaragua
 Tel.: +505 8146 8453 (Movistar - WhatsApp) eMail: ventas@electronicaragua.com - https://electronicaragua.com
 RUC: 0012410700029L Factura #: FC000563

Facturar a: Jhader Zuniga, UNI-RUPAP, Managua, Managua
 Enviar a: Jhader Zuniga, UNI-RUPAP, Managua, Managua, Nicaragua

ASESOR	ORDEN COMPRA #	ENVIADO POR	CONT	PPG	FECHA ENTREGA	TERMINOS PAGO		FECHA	PAG.
Ronald			X			C.O.D.		24/3/2020	1
CANT	CODIGO	DESCRIPCION	PRECIO	U.M.	DESC %	SUBTOTAL			
1	ARD-LCD20X4PANTALLA+DF	Pantalla LCD 2004A 20X4 con Driver I2C con Retroiluminacion	C\$295.00	UNID		C\$295.00			
1	ARD-DS3231-MOD	Modulo DS3231 RTC (Real Time Clock) para Arduino. No incluye bateria.	C\$135.00	UNID		C\$135.00			
1	ARD-MICROSDCARDMOD	Modulo TF Micro SD Card para Arduino	C\$65.00	UNID		C\$65.00			
1	ARD-TECLADO4X4FLAT	Teclado 3X4 de Membrana p/Arduino	C\$45.00	UNID		C\$45.00			
2	ARD-SENSHUMSUELOMOD	FC-28 Modulo Sensor de Humedad de Suelo para Arduino	C\$65.00	UNID		C\$130.00			
1	ARD-NANDV3.DATMEGA328	Arduino NANO V3.0 ATmega328 (No incluye Cable USB)	C\$255.00	UNID		C\$255.00			
1	ARD-HC-05MOD	HC-05 Modulo Bluetooth Maestro - Esclavo 6 Pines para Arduino	C\$300.00	UNID		C\$300.00			
1	BAT-CR2032	Bateria CR 2032 3V	C\$45.00	UNID		C\$45.00			
1	CYC-MINIUSB5PUSBAM0.3M	Cab MiniUSB M - USB-A 5P 0.3m	C\$20.00	UNID		C\$20.00			
						SUBTOTAL		C\$1,290.00	
						ENVIO		C\$0.00	
						TOTAL A PAGAR		C\$1,290.00	

CANCELADO 24 MAR 2020
 *** GRACIAS POR PREFERIRNOS! ***
 ELECTRÓNICA DE NICARAGUA
 Tecnología Accesible... en sus manos!
 https://electronicaragua.com
 - CUOTA FIJA -

Favor elaborar cheque a nombre de:
 Rafael Angel Malespín Castellón

ELECTRÓNICA DE NICARAGUA
 Electrónica de Nicaragua
 Barrio Concepcion de Maria, Porton Principal del Mercado Mayoreo, 1 c. Este, 4 c. Norte, 1 c. Oeste.
 Tel.: +505 22630140 / 8146 8453 (Movistar - WhatsApp) eMail: ventas@electronicaragua.com - https://electronicaragua.com
 RUC: 0012410700029L Factura #: FC002041

Facturar a: Brian Espinoza, UNI RUSB, Managua, Managua
 Enviar a: Brian Espinoza, UNI RUPAP, Managua, Managua, Managua

ASESOR	ORDEN COMPRA	ENVIADO POR	CONT	PPG	FECHA ENTREGA	TERMINOS PAGO		FECHA	PAG.
Juan			X			C.O.D.		3/6/2021	1
CANT	CODIGO	DESCRIPCION	PRECIO	U.M.	DESC %	SUBTOTAL			
2	SEN-VOLTAJE-DC-25V-MOD	Modulo Sensor Voltaje 25V DC para Arduino	C\$35.00	UNID		C\$70.00			
1	SEN-DS18B20-SONDA-AC-1	DS18B20 Sonda Sensor de Temperatura -55 a +125 Grados C (Cable soporta hasta 85 Grados C) Cable 1 mt. Capsula Acero Inoxidable a prueba de agua.	C\$135.00	UNID		C\$135.00			
1	ENTREGA A DOMICILIO	Servicio de Entrega a Domicilio	C\$60.00	SERV		C\$60.00			
						SUBTOTAL		C\$265.00	
						ENVIO		C\$0.00	
						TOTAL A PAGAR		C\$265.00	

CANCELADO 03 JUN 2021
 *** GRACIAS POR PREFERIRNOS! ***
 ELECTRÓNICA DE NICARAGUA
 Tecnología Accesible... en sus manos!
 https://electronicaragua.com
 - CUOTA FIJA -

Favor elaborar cheque a nombre de:
 Rafael Angel Malespín Castellón



Diseño de sistema automático para monitoreo de la cinemática del secado de madera en un horno solar, evaluando condiciones de convección natural y convección forzada, ubicado en las instalaciones del Programa Institucional de la Madera (PIMA) de la UNI-RUPAP

möbius e n g i n e e r i n g		Möbius Engineering, S.A. Colonial Los Robles, Uno Plaza El Sol 2c al Sur, 2c al este, 1/2 al sur. Managua PBX: (505) 2225-3035 PBX: (505) 8705-6988 www.mobius-engineering.com RUC: J0310000172978		Cotización : MS-10059-V1 Fecha : 23-Mar-20	
Cliente : MARY TRINY GUTIERREZ MENDOZA 561-141087-0002G		Teléfono :		FACTURA Nº 2464	
Dirección :		E-mail :			
Condiciones de Pago : CONTADO		Vendedor : Gino F. Mondragon			
ITEM	CANT	DESCRIPCIÓN		PRECIO UNIT	TOTAL
1	1	4510043	CABLE MONOCONDUCTOR H05VK1X1 ROJO AWG 18	1,122.00	1,122.00
2	1	4510013	CABLE MONOCONDUCTOR H05VK1X1 NEGRO AWG 18	1,122.00	1,122.00
MS-10059-V3					
					2,244.00
SUB-TOTAL					336.60
IVA					2,580.60
TOTAL					2,580.60
<small>IMPRESIONES SOL S.A. - RUC: J0310000310830 - AMP/4/0022/03-2019 - OMR 50/ (3) - No. 2001 - 2500 - O.T. 2897 - 04/2019 - ACF/37/455/B-2019 - O.T. DGI 6354/08-2019</small>					
PAGARE Con el presente pagare al orden, pagaré a Möbius Engineering, S.A. o a su orden la suma estipulada que asciende al valor de la presente factura, en el plazo que se indica en las condiciones de pago, sin cobro ni requerimiento alguno y en sus oficinas centrales cuya dirección aparece al margen superior de esta factura. El aceptante comprador reconoce intereses moratorios a partir de la fecha de vencimiento a razón del 2% mensual. En caso de no pago el aceptante comprador se obliga a pagar los gastos de cobranza judicial o extrajudicial.					
CONDICIONES GENERALES 1. Esta factura devenga interés del 2% mensual en dólares después del plazo establecido cuando la venta es a crédito. 2. El pago de esta factura deberá realizarse al tipo de cambio establecido en la oferta de Möbius Engineering, S.A. 3. En toda venta, nuestra responsabilidad termina cuando hayamos entregado la mercadería					
Factura en Cordobas					
Nombre y firma :					
Cédula No. :					



Diseño de sistema automático para monitoreo de la cinemática del secado de madera en un horno solar, evaluando condiciones de convección natural y convección forzada, ubicado en las instalaciones del Programa Institucional de la Madera (PIMA) de la UNI-RUPAP

FERRERIA JENNY, S. A.
 ENTRADA DEL HOSP. DEL NIÑO, 50 MTS. AL ESTE Peso (lbs): 0.00
 240-0540 / 2248-2880 / 2248-0783 / 2248-0789 / 2253-0817 / 2253-0822
 X: 2253-1503 • APDO. EC-79 • MANAGUA, NICARAGUA.
 RUC: J031000002550 • E-mail: ventas@ferreriajenny.com

SERIE "D"
CONTADO

DÍA 19 / MES Febrero / AÑO 2021

Municipio: Managua

CODIGO: 04283 **RUC / CED:** J0310000115877 **BODEGA:** 1 **VENDEDOR:** Lester Mojica

NOMBRE DEL CLIENTE: DICSA (Diseños ingenieriles y construcción) **OBSERVACIONES:**

DIRECCION: Bello horizonte, del tope sur lc al lago **PLAZO:**

CODIGO	CANT.	DESCRIPCION	U.M.	P. UNIT.	TOTALES
013180243 0	2.0	EXTRACTOR DE AIRE 12" 43W 120V FUS33 FULGORE *** Ultima Linea ***	0.0 C/u	731.8746	1,463.75

REVISE SU MERCADERIA, NO ACEPTAMOS RECLAMOS NI DEVOLUCIONES

Subtotal C\$: 1,463.75
 Descuento C\$: 0.00
 Mas IVA C\$: 219.56
 Total C\$: 1,683.31
 Equivalente U\$: 48.21

GRACIAS POR PREFERIRNOS - SOMOS EXENTOS DEL 2% **FACTURA No. 0910019**

FIRMA CLIENTE: _____

BLANCO: CLIENTE - ROSADO: CONTABILIDAD - AMARILLO: BODEGA

Librería SOFIA
 Artículos escolares e informáticos
 Héctor Armando Moreno Montoya
 Propietario
 Colegio Cristo Rey 1c. al lago, 1c. abajo • Managua, Nicaragua
 Tel.: 2220 0966 • Cel.: 8560 5723 • email: barrettm107a2@gmail.com

FACTURA
 CREDITO
 CONTADO
Nº 0244
RUC 0013112790013X

Cliente: Universidad nacional de ingeniería
 Dirección: J0130000006891

DÍA 7 / MES 04 / AÑO 2021

CANTIDAD	DESCRIPCION	P. UNIT.	TOTAL
1	Arduino mega	c\$ 800	c\$ 800
8	Mipi servo	c\$ 160	c\$ 640
TOTAL			c\$ 1,440

CANCELADO

MultiGraphic RUC: 0011412640027H - AIMP 04/0002/01/2014-0 - No. Cont. 0004008367 - Q. T. # 2393 - S. B. G. y C. del 0001 al 0250 - 10/2014

Entregué Conforme: L. S. A. Recibi Conforme: _____

CUOTA FIJA



Diseño de sistema automático para monitoreo de la cinemática del secado de madera en un horno solar, evaluando condiciones de convección natural y convección forzada, ubicado en las instalaciones del Programa Institucional de la Madera (PIMA) de la UNIRUPAP

ELECTRÓNICA DE NICARAGUA
 Barrio Maria Auxiliadora A26. Detras de Plaza El Eden 3 1/2 c. al Sur. Managua, Nicaragua
 Tel.: +505 2252 8742 / 8146 8453 (Movistar - Whatsapp) eMail: ventas@electronicaragua.com - https://electronicaragua.com

RUC: 0012410700029L Factura #: FC001935

Facturar a: Universidad Nacional de Ingeniería
 Frente a la UCA
 Managua, Managua
 RUC: J0130000006891

Enviar a: Universidad Nacional de Ingeniería
 RUPAP
 Managua, Managua
 Nicaragua

ASESOR	ORDEN COMPRA #	ENVIADO POR	CONT	PPG	FECHA ENTREGA	TERMINOS PAGO	FECHA	PAG.
Willfort						Net 15	4/5/2021	1
CANT	CODIGO	DESCRIPCION			PRECIO	U.M.	DISC %	SUBTOTAL
1	ARD-S690-9g	MG90S Micro Servo Motor Torque 2 Kgf-Cm 4.8V DC Engranajes Plastico 14 Grs. Incluye 2 Golosos + 1 Tornillo + 3 Brazos Plasticos			C\$155.00	UNID		C\$155.00
1	ENTREGA A DOMICILIO	Servicio de Entrega a Domicilio			C\$60.00	SERV		C\$60.00
						SUBTOTAL		C\$215.00
						ENVIO		C\$0.00
						TOTAL A PAGAR		C\$215.00

ELECTRÓNICA DE NICARAGUA
 |Tecnología Accesible... en sus manos|
<https://electronicaragua.com>

CANCELADO 04 MAY 2021

*** GRACIAS POR PREFERIRNOS! ***

CUOTA FIJA -

Favor elaborar cheque a nombre de:
 Rafael Angel Malespín Castellón



Diseño de sistema automático para monitoreo de la cinemática del secado de madera en un horno solar, evaluando condiciones de convección natural y convección forzada, ubicado en las instalaciones del Programa Institucional de la Madera (PIMA) de la UNI-RUPAP

ELECTRÓNICA DE NICARAGUA Electrónica de Nicaragua
 Barrio Concepcion de Maria, Porton Principal del Mercado Mayoreo, 1 c. Este, 4 c. Norte, 1 c. Oeste.
 Tel.: +505 22630140 / 8146 8453 (Movistar - WhatsApp)
 eMail: ventas@electronicaragua.com - https://electronicaragua.com

RUC: 0012410700029L Factura #: FC002026

Facturar a: Bryan Alexander Alvarez RUPAP Managua, Managua

Enviar a: Bryan Alexander Alvarez RUPAP Managua, Managua Nicaragua

ASESOR	ORDEN COMPRA	ENVIADO POR	CONT	PPG	FECHA ENTREGA	TERMINOS PAGO	FECHA	PAG.
Juan			X			C.O.D.	29/5/2021	1
CANT	CODIGO	DESCRIPCION	PRECIO	U.M.	DESC %	SUBTOTAL		
1	CIR-LM358N	LM358N IC Amplificador Operacional Dual Low Power DIP-8	C\$35.00	UNID				C\$35.00
2	RES-MF390KRI/2W1%50PF	Resistencia Metal Film 390K Ohm 1/2W 1% 50 PPM Axial	C\$3.00	UNID				C\$6.00
2	RES-CFA100KRI/4W5%	Resistencia Carbon Film Axial de 100K Ohm 1/4W 5%	C\$2.50	UNID				C\$5.00
1	ENTREGA A DOMICILIO	Servicio de Entrega a Domicilio	C\$60.00	SERV				C\$60.00
1	ARD-MAX6675+TC-K-MDD	Modulo MAX6675 + Termocoupla Tipo K 600 Grados C (Sensor de Acero con Rasca MB) 5V DC para Arduino	C\$465.00	UNID				C\$465.00
							SUBTOTAL	C\$571.00
							ENVIO	C\$0.00
							TOTAL A PAGAR	C\$571.00

CANCELADO 29 MAY 2021
CANCELADO MAY 2021

ELECTRÓNICA DE NICARAGUA
 ¡Tecnología Accesible en sus manos!
<https://electronicaragua.com>

*** GRACIAS POR PREFERIRNOS! ***
 - CUOTA FIJA -

Favor elaborar cheque a nombre de:
 Rafael Angel Malespin Castellón

CANCELADO

Receipt:
 Date: 01-21-2022 10:09:35 AM
 Terminal: Libreria-PC
 Served by: Manager

Item	Price	Qty	Value
BROCA CARBURO PARCS	50.00	x1	C\$ 50.00
PLACA PCB 15X20CM\$	200.00	x1	C\$ 200.00

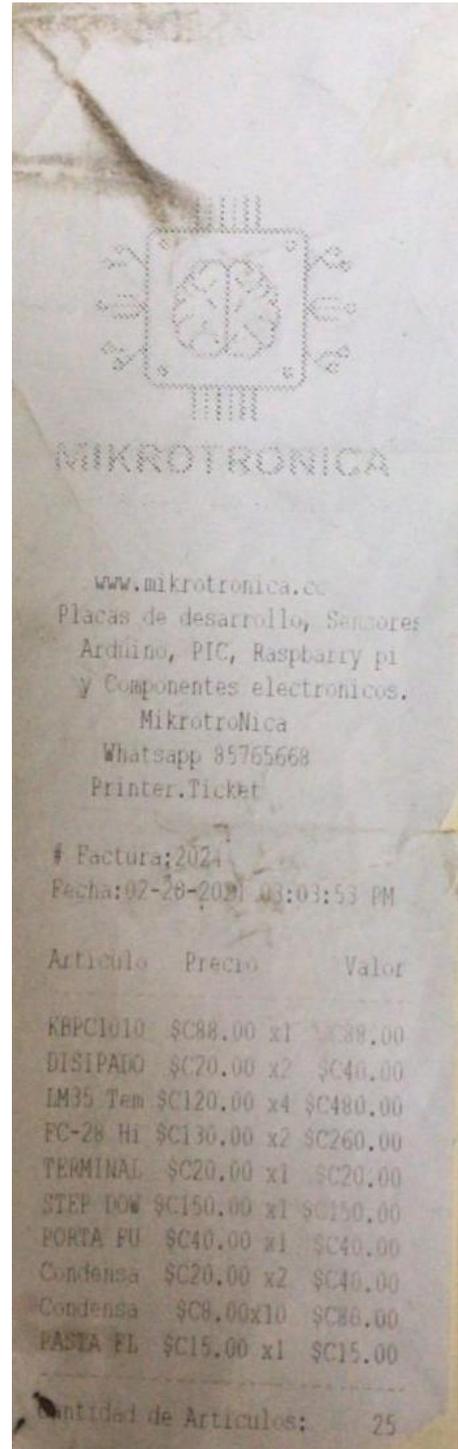
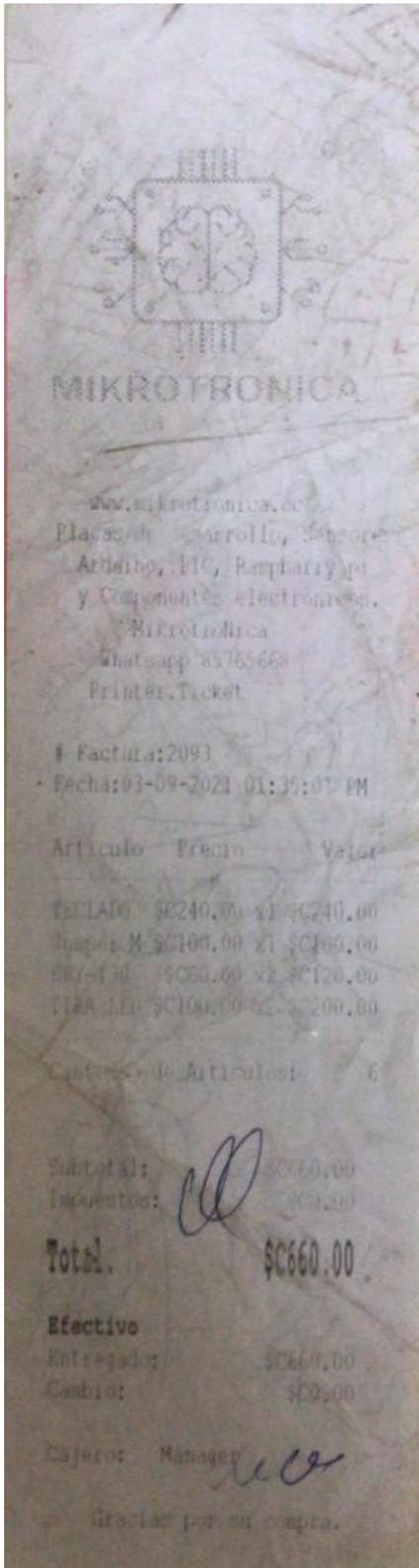
Items count: 2

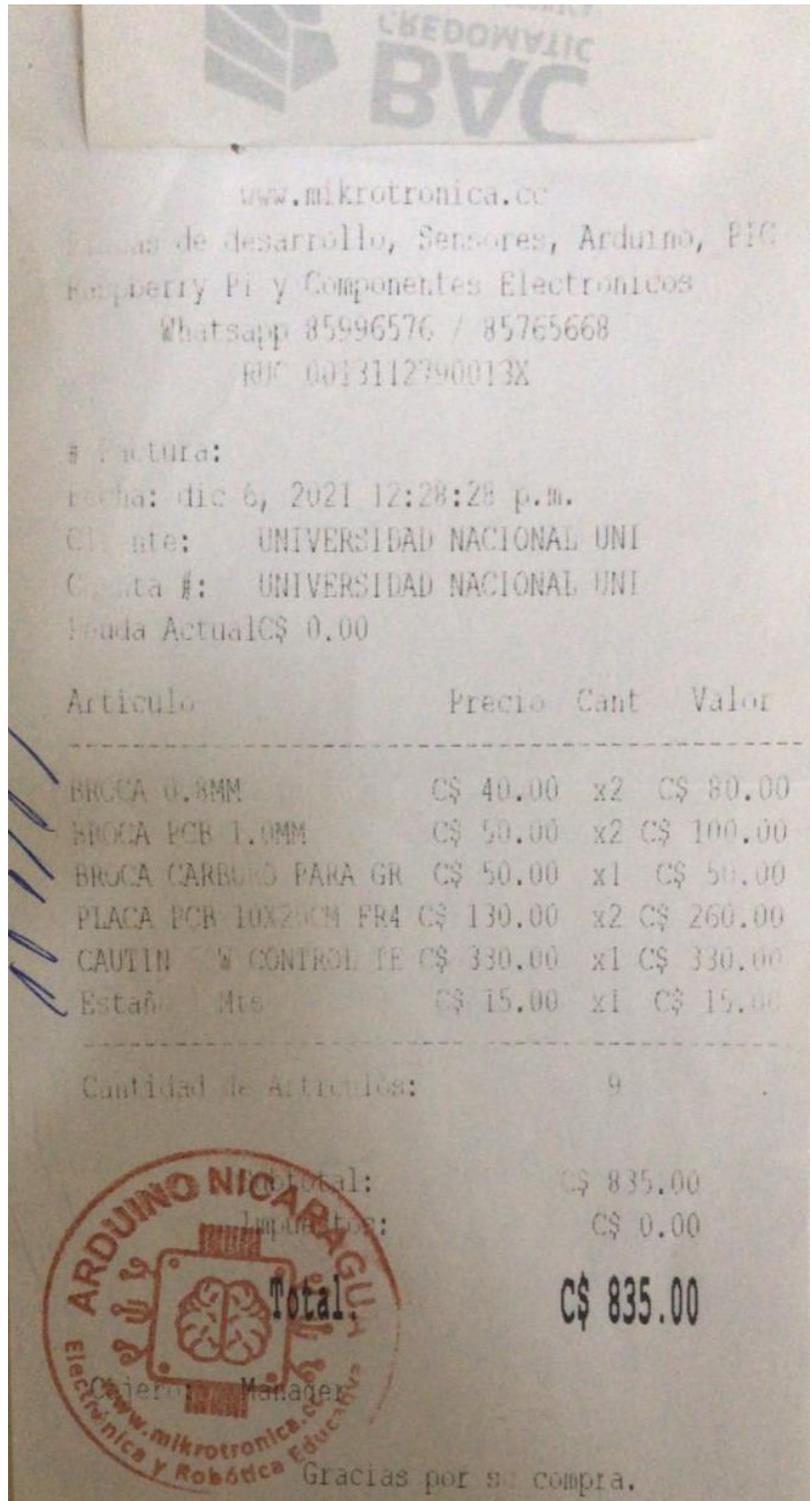
Subtotal C\$ 250.00
 Tax C\$ 0.00
Balance Due C\$ 250.00

Change footer text in Configuration

Thank you for your custom
 Pleased to serve you

ALBINO NICARAGUA
 www.mikrotronica.com
 Electronica y Robótica Educativa







Anexo 26. Cotización Sistema Automático, Grupo Antón



Multi Servicios ANTON

Dirección: Gasolinera UNO San Gabriel ½ C. Sur Chichigalpa

E-mail: antoncastillo@outlook.es / Tel: 2346-7071/ Cel: 85717615

RUC: 081-190296-0003U



Universidad Nacional de Ingeniería (RUPAP)

Fecha: 15-12-2021
Oferta: UNI-001

De acuerdo con su amable solicitud nos permitimos presentar a su consideración la siguiente propuesta:

ITEM	Descripción del trabajo	Unidad	Costo unitario	
1	<p>Diseño de sistema de control de horno deshidratador solar de madera.</p> <p>La oferta comprende los siguientes criterios.</p> <p>Suministro de elementos de control para la automatización de sistema de secado de madera lo cual se propone para solución de control los siguientes ítem.</p> <ul style="list-style-type: none"> • PLC ALLEN BRADLEY 1200 1766-L32BXB • HMI PANEL VIEW C600 2711P-RDB7CM • FUENTE DE ALIMENTACION 24V DC 5 Amp. 1606-XLP. • ARMARIO DE METALICO CON FONDO FALSO 600*400*300 MM • MicroLogix™ 1200 RTD/Resistance Input Module 762-IR4. • Sensor tipo RTD platino 285 espiga de acero inox 6 * 1/4" • Sensor de humedad relativa 06080202 • Sonda de humedad 4-20mA ECH20 MAS-1 • Riel Din 35x7.5MM x 1M Galvanizado • Ducto ranurado 4/6mm, de 80 X 60mm • Guardamotor MS116-4.0 (2.50 ... 4.00 A) Incluye auxiliares 1NA+1NC • Busbar trifasico, 3 MMS / Guardamotor MS116 	1 unidad	\$ 5,850.00	\$ 5,850.00



Multi Servicios ANTON

Dirección: Gasolinera UNO San Gabriel ½ C. Sur Chichigalpa

E-mail: antoncastillo@outlook.es / Tel: 2346-7071/ Cel: 85717615

RUC: 081-190296-0003U



<ul style="list-style-type: none"> • Contactor 9A, 5HP @ 480VAC, Bobina 100-250V AC/DC • Guardamotor MS116-6.3 (4.00 ... 6.30 A) • Guardamotor MS116-10 (6.30 ... 10.00 A) incluye auxiliar 1NA+1NC • Transformador de control monofasico 250VA, Prim 240x480, Sec 120/240 • Transformador de control monofasico 250VA, Prim 240x480, Sec 120/240 • Terminal de punta roja 18 AWG (1mm2), Paq. 500 • Cable de control superflexible 1x18 AWG - 1x1MM negro [Caja 100M] <p>Programación de sistema de control de humedad de ambiente e interfaz gráfica para control de secado horno de secado de madera solar.</p> <p>Puesta en marcha de sistema de control y verificación de mediciones de variables.</p>				
Total, de la obra				\$ 5,850.00

La Duración de entrega será un estimado de 20 días hábiles.

Incluye:

- Garantía de 6 meses en desperfecto de fabricación.

Sin más que agregar esperando una respuesta positiva a nuestra propuesta, aprovecho la ocasión para saludarles.

Larry Anton Castillo
Representante
Cel. 8571-7615/Tel. 2346-7071



Anexo 27. Tasa de Cambio de córdoba a dólares según el banco central de Nicaragua

Tipo de Cambio de Córdobas por USD de 12 - 2021

Mes	Córdobas por USD
01-Diciembre-2021	35.4632
02-Diciembre-2021	35.4651
03-Diciembre-2021	35.4670
04-Diciembre-2021	35.4690
05-Diciembre-2021	35.4709
15-Diciembre-2021	35.4901
16-Diciembre-2021	35.4921
17-Diciembre-2021	35.4940
18-Diciembre-2021	35.4959
19-Diciembre-2021	35.4978
20-Diciembre-2021	35.4998



XVI. Apéndice

16.1. Elaboración del sensor resistivo de madera

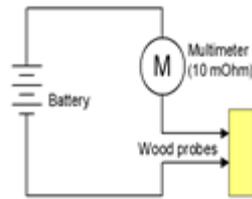
(Wandel, 2010) plantea el escenario de una resistencia medida en mega ohmios a 27 °C entre dos pares de electrodos de aguja separados por 1-1/4 pulgadas y colocados a una profundidad de 5/16 pulgadas.

Para esta investigación, el diseño del sensor, consiste en dos electrodos insertados en la madera con una distancia de 30 mm entre ellos, se recomienda orientar los dos electrodos perpendiculares a la fibra (90°grados) ya que la variación de los valores medidos será pequeña, en comparación con los electrodos colocados de otra manera.

Los sensores de humedad tipo resistivos miden la conductividad eléctrica de la madera en relación a los niveles de humedad contenidos en sus fibras (ver anexo 8).

(Wandel, 2010) menciona que no es posible utilizar un multímetro para medir en resistencia y calcular el contenido de humedad, un multímetro típico posee un rango de aproximadamente 20 mega ohmios en modo de medición de resistencia. Mientras que la resistencia entre las dos sondas para cualquier contenido de humedad "normal" en madera suele ser de cientos de mega ohmios.

Por otro lado, los multímetros, cuando están en modo de medición de voltaje, poseen una resistencia interna de aproximadamente 10 mega ohmios, es decir, el multímetro es como una resistencia de 10 mega ohmios que muestra el voltaje que circula a través de él (divisor de voltaje). Por tal razón, si se utiliza una fuente de voltaje externa (en este caso de 24 VDC), para poder medir la resistencia de la madera, se debe de colocar en serie la fuente de voltaje, el multímetro y la madera en serie para cerrar el circuito. No es más que un simple divisor de voltaje y a partir de ahí obtener la resistencia de la madera.



Extraída de
(Wandel, 2010)

Ilustración XVI.1. Diagrama de fuente de voltaje

16.1.1. Acondicionamiento con Arduino

Dado que el método para medir la resistencia de la madera fue un divisor de voltaje, en la construcción del sensor se utilizará el mismo método. Lo primero que se debe hacer es remplazar el multímetro con una resistencia de 10Mohm quedando de la siguiente manera

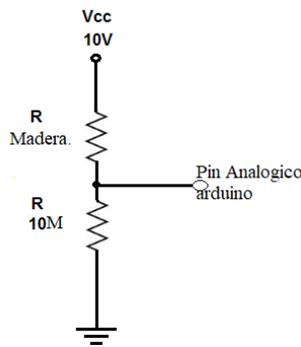


Ilustración XVI.2. Diagrama de conexión de resistencia extraída de (Wandel, 2010)

Nota: es importante que ambos GND (Arduino y fuente de alimentación de las resistencias) estén juntas, además también es necesario que las resistencias tengan ese orden.

Es importante mencionar que al trabajar con impedancias muy altas. Pueden ocurrir problemas de acoplamiento de impedancias, por lo que se utilizara un seguidor de voltaje para acoplamiento de impedancia. El Arduino posee una alta resistencia de entrada en sus puertos, pero como estamos trabajando con impedancias muy altas el efecto es muy considerable ya que su resistencia de entrada es aproximadamente 100 Kohmio. Por lo que se utilizara un amplificador operacional como seguidor de voltaje. (Wandel, 2010)

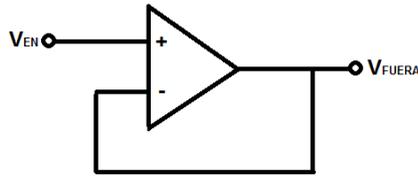


Ilustración XVI.3. Amplificador operacional extraída de (Wandel, 2010)

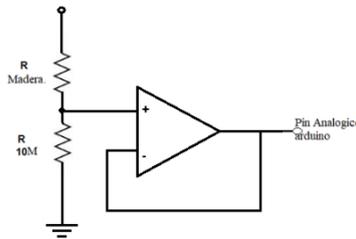


Ilustración XVI.4. Diagrama de conexión de amplificador operacional extraída de (Wandel, 2010)

Dado a que el amplificador operacional tiene una impedancia de entrada muy alta en otro tipo de circuito la resistencia del multímetro se despreciaba, pero ahora la resistencia de entrada a medir es del mismo valor por lo está resistencia quedara en paralelo similar a lo ocurrido con el multímetro.

Al usar una fuente de 24V en el circuito, el Arduino registra valores no concluyentes en relación al contenido de humedad, es decir, no es apreciable las variaciones de resistencia; con el fin de aumentar la sensibilidad en el circuito, se agrega un segundo amplificador operacional quedando el circuito de la siguiente manera:

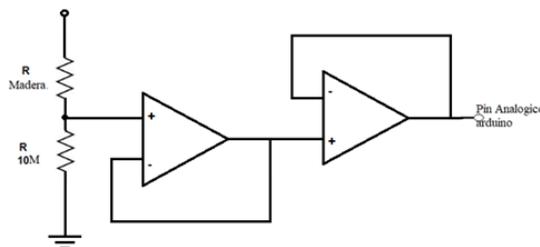


Ilustración XVI.5. Diagrama del circuito del sensor. Fuente propia

Op-amp utilizado en la construcción del sensor es el LM358 ([apartado 8.2.17.](#)). Como la impedancia de salida del op-amp es muy baja comparada a la del

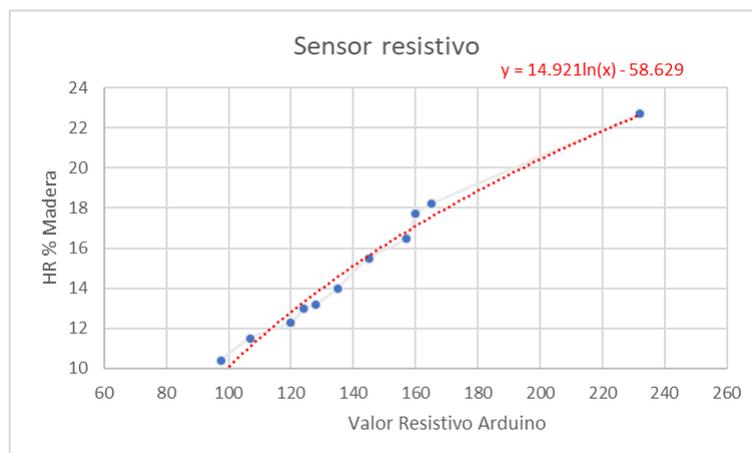


multímetro, en este caso ahora si se desprecia impedancia del multímetro por lo que el voltaje de salida es el que efectivamente leerá el Arduino en su entrada analógica.

Ahora es comparar los resultados con las tablas de los dos experimentos anteriores para saber a cuál tabla obedecer. En base a estos resultados se determinará si es necesario otro acondicionamiento o no y a realizar la programación.

16.1.2. Configuración de sensor

Este sensor muestra las variaciones de resistencia con respecto a la humedad contenida en la madera y los datos que lee el Arduino son valores analógicos de 0 a 1023, por tal motivo se debe encontrar una ecuación logarítmica que transforme esos a valores de humedad relativa, para poder lograr esto se harán muestras con un sensor de humedad capacitivo que será el comparado con los valores que lea el sensor resistivo que se está configurando con lo que logra la siguiente gráfica con su ecuación logarítmica a la que se rige el comportamiento del secado.



Gráfica XVI.1. Configuración de sensor

16.1.3. Contenido de humedad del equilibrio de la madera (CHE)

La madera es un material higroscópico, lo que significa que puede absorber humedad del aire y fijarla en sus fibras, de igual modo puede liberar humedad cuando el aire que la rodea es suficientemente seco, por lo tanto, el contenido de humedad de la madera varía en dependencia de la humedad y temperatura interna del horno. A continuación, se presenta una tabla del día **20/09/2021** en la cual se monitorea los datos internos para compararlo con una tabla de contenido de



humedad en equilibrio, esto con el objetivo de validar las mediciones del sensor resistivo.

Fecha	Temp interna	HR interna	H madera
09/20/2021	27.2 °C	98.7 %	18.0 %
09/20/2021	27.1 °C	98.8 %	19.0 %
09/20/2021	26.9 °C	98.8 %	18.8 %
09/20/2021	26.7 °C	99.0 %	18.4 %
09/20/2021	26.4 °C	99.0 %	18.7 %
09/20/2021	26.4 °C	99.2 %	18.4 %
09/20/2021	27.1 °C	98.7 %	18.5 %
09/20/2021	29.2 °C	88.9 %	18.4 %
09/20/2021	35.9 °C	86.4 %	18.3 %
09/20/2021	47.0 °C	53.3 %	17.5 %
09/20/2021	56.6 °C	35.7 %	16.3 %
Promedio	32.4 °C	87.0 %	18.2 %

Tabla XVI.1. Contenido de humedad en equilibrio.

En la tabla anterior nos muestra datos promedios con una temperatura interna de 32.4 °C, humedad interna de 87.0% y el sensor censo humedad de la madera de 18.2%.

Temperatura		Contenido de humedad de equilibrio (%) a diferentes valores de humedad relativa																		
°C	(°F)	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%
-1.1	30	1.4	2.6	3.7	4.6	5.5	6.3	7.1	7.9	8.7	9.5	10.4	11.3	12.4	13.5	14.9	16.5	18.5	21.0	24.3
4.4	40	1.4	2.6	3.7	4.6	5.5	6.3	7.1	7.9	8.7	9.5	10.4	11.3	12.3	13.5	14.9	16.5	18.5	21.0	24.3
10.0	50	1.4	2.6	3.6	4.6	5.5	6.3	7.1	7.9	8.7	9.5	10.3	11.2	12.3	13.4	14.8	16.4	18.4	20.9	24.3
15.6	60	1.3	2.5	3.6	4.6	5.4	6.2	7.0	7.8	8.6	9.4	10.2	11.1	12.1	13.3	14.6	16.2	18.2	20.7	24.1
21.1	70	1.3	2.5	3.5	4.5	5.4	6.2	6.9	7.7	8.5	9.2	10.1	11.0	12.0	13.1	14.4	16.0	17.9	20.5	23.9
26.7	80	1.3	2.4	3.5	4.4	5.3	6.1	6.8	7.6	8.3	9.1	9.9	10.8	11.7	12.9	14.2	15.7	17.7	20.2	23.6
32.2	90	1.2	2.3	3.4	4.3	5.1	5.9	6.7	7.4	8.1	8.9	9.7	10.5	11.5	12.6	13.9	15.4	17.3	19.8	23.3
37.8	100	1.2	2.4	3.3	4.2	5.0	5.8	6.5	7.2	7.9	8.7	9.5	10.3	11.2	12.3	13.6	15.1	17.0	19.5	22.9
43.3	110	1.1	2.2	3.2	4.0	4.9	5.6	6.3	7.0	7.7	8.4	9.2	10.0	11.0	12.0	13.2	14.7	16.6	19.1	22.4

Tabla XVI.2: Contenido de humedad en equilibrio (%) a diferentes valores de humedad relativa

Interpolando datos de la tabla de contenido de humedad dio que la humedad de equilibrio es 18% y el sensor resistivo con un promedio de 18.2% se puede asegurar que es preciso y los datos son confiables.



16.2. Carga térmica en proceso actual (Mayo 2019)

Se debe calcular la carga térmica total del horno que le proporciona el sol al atravesar de vidrio y para ello se usará los datos de las temperaturas más elevadas que se registraron durante el periodo de medición manual así como los valores de algunas constantes del estudio presentado por Villegas J & Guevara E (2017). Según Ghajar & Çengel (2011), la energía solar transmitida hacia el interior de un edificio representa una ganancia de calor para éste. Asimismo, la radiación solar absorbida por el vidrio es transferida hacia el interior y hacia el exterior por convección y radiación. La suma de la radiación solar transmitida y la porción de la radiación absorbida que fluye hacia el interior constituye la ganancia de calor solar del edificio. (pag.687)

16.2.1. Cálculo de carga térmica captada en el colector solar

Para la realización del cálculo de la carga térmica del horno se usaron los datos recolectados por mediciones directas, las cuales se realizaron durante 15 días del mes de mayo de 2019.

16.2.1.1. Carga promedio calculada en el horno

Para calcular la carga máxima en el colector se eligió el día que se registró la temperatura promedio en el colector y el ambiente.

Temperatura ambiente: $34.5\text{ °C} = 307.65\text{K}$ (ver anexo 1)

Temperatura del colector: $50.9\text{ °C} = 324.05\text{K}$ (ver anexo 3)



16.2.1.1.1. Área superficial e inclinación de colector

Además de la temperatura de debe conocer el área superficial del colector y ángulo de inclinación (ver anexo 4).

Largo: 3m

Ancho: 4m

Angulo de inclinación (Θ):

$$y = (248 + 8) - 230 = 26$$

$$x = 320$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{26}{320}\right) = 4.65^\circ$$

$$\theta = 5^\circ$$

Área Superficial (A_s)=

$$A_s = 3m \times 4m = 12m^2$$

16.2.1.1.2. Longitud característica (LC).

Según (Ghajar & Çengel, 2011), “la longitud característica L_c es la distancia entre las superficies caliente y fría” pág.522. Debido a que le vidrio y el colector tienen dos ángulos de inclinación distintos los cuales dan dos medidas de la distancia del colector y el vidrio (ver anexo 4).

L_1 : 66.5 cm

L_2 : 15 cm

De las cuales se decidido trabajar con un promedio, utilizando la ecuación

$$L_c = \frac{66.5 \text{ cm} + 15 \text{ cm}}{2} = 40.75 \text{ cm} = 0.4075 \text{ m}$$

16.2.1.1.3. Determinar las propiedades de fluido en estudio

Se calcula el valor promedio de temperatura entre el vidrio y el colector, para poder determinar las propiedades de fluido en cuestión (aire) según tabla A-15 de (Ghajar & Çengel, 2011).

$$T_{promedio} = \frac{T_{amb} + T_{colector}}{2} = \frac{34.5^\circ C + 50.9^\circ C}{2} = 42.7^\circ C$$



Conociendo la temperatura promedio, se ubican los valores en la tabla A-15 antes mencionada (ver anexo 18), obteniendo los siguientes datos por interpolación a la temperatura:

Temperatura (°C)	Conductividad Térmica (k)	Viscosidad cinemática (ν)	Número de Prandtl (Pr)
40	0.02662	1.702×10^{-5}	0.7255
42.7	0.0268198	1.72792×10^{-5}	0.724744
45	0.02699	1.750×10^{-5}	0.7241

Tabla XVI.3. Interpolación con respecto a la temperatura, propiedades del fluido

Se calcula β :

$$\beta = \frac{1}{T_{promedio}} = \frac{1}{(42.7 + 273)K} = 0.00316606 K^{-1}$$

16.2.1.1.4. Número de Rayleigh

Se determina el número de Rayleigh, según la ecuación (9.17) del libro (Ghajar & Çengel, 2011) de la página (517).

$$Ra = \left[\frac{g * \beta * (T_{colector} - T_{amb}) * (L_c)^3}{\nu^2} * Pr \right] =$$

$$Ra = \left[\frac{9.81 \frac{m}{s^2} * 0.00316606 K^{-1} * (324.05K - 307.65K) * (0.4075m)^3}{\left(1.72792 \times 10^{-5} \frac{m^2}{s}\right)^2} * 0.724744 \right]$$

$$Ra = 83.666615 \times 10^6$$

Donde:



g = gravedad atmosférica= 9.81 m/s^2

16.2.1.1.5. Número de Nusselt

Se determina el número de Nusselt, según la ecuación (9.16) del libro (Ghajar & Çengel, 2011) de la página (517).

$$Nu = 1 + 1.44 \left[1 - \frac{1708}{Ra * \cos\theta} \right] * \left[1 - \frac{1708(\text{Sen}(1.8 * \theta))^{1.6}}{Ra * \cos\theta} \right] + \left[\frac{(Ra * \cos\theta)^{\frac{1}{3}}}{18} - 1 \right]$$

$$Nu = 1 + 1.44 \left[1 - \frac{1708}{83.666615 \times 10^6 * \cos(5^\circ)} \right] * \left[1 - \frac{1708(\text{Sen}(1.8 * 5^\circ))^{1.6}}{83.666615 \times 10^6 * \cos(5^\circ)} \right] + \left[\frac{(83.666615 \times 10^6 * \cos(5^\circ))^{\frac{1}{3}}}{18} - 1 \right] =$$

$$Nu = 25.7075$$

16.2.1.1.6. Calor transferido del vidrio al colector por conducción

El calor transferido hacia el colector por conductividad sea determinado según la ecuación (9.41) del libro (Ghajar & Çengel, 2011) de la página (539).

$$Q_{colector} = K * Nu * A_s * \frac{(T_{colector} - T_{amb})}{L_c}$$

$$Q_{colector} = 0.0268198 \frac{\text{w}}{\text{m} * \text{K}} * 25.7075 * 12\text{m}^2 * \frac{(324.05\text{K} - 307.65\text{K})}{0.4075 \text{ m}}$$

$$Q_{colector} = 332.97 \text{ w}$$

16.2.1.1.7. Calor trasferido del vidrio al colector por radiación

El calor transferido hacia el colector por radiación sea determinado según la ecuación (9.64) del libro (Ghajar & Çengel, 2011) de la página (543).



$$Q_{rad} = \frac{A_s * \sigma * ((T_{colector})^4 - (T_{amb})^4)}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}$$

Donde:

$\sigma = 5.67 * 10^{-8} \text{ w/m}^2\text{k}^4$ (constante de Stefan-Boltzmann)

$\varepsilon_1 = 0.9$ (emisividad Vidrio Tabla A-18 (Ghajar & Çengel, 2011))

$\varepsilon_2 = 0.88$ (emisividad lamina pintada negro Tabla A-18 (Ghajar & Çengel, 2011))

$$Q_{rad} = \frac{12\text{m}^2 * 5.67 * 10^{-8} \frac{\text{w}}{\text{m}^2 * \text{k}^4} * ((324.05\text{K})^4 - (307.65\text{K})^4)}{\frac{1}{0.9} + \frac{1}{0.88} - 1}$$

$$Q_{rad} = 1128.16 \text{ w}$$

16.2.1.1.8. Carga promedio total de calor entre el vidrio y el colector

El calor total entre el vidrio y el colector, es la suma del calor transferido hacia el colector por conducción y calor transferido por radiación.

$$Q_{total} = Q_{rad} + Q_{colector} = 1128.16 \text{ w} + 332.97\text{w}$$

$$Q_{total} = 1461.13 \text{ w} = 4985.58 \text{ BTU/h}$$

16.2.2. Perdida de calor a la máxima temperatura

Este cálculo de pérdida de calor es el día que se registró la mayor temperatura en el colector.

16.2.2.1. Perdida de calor a través de paredes

La ecuación para realizar el cálculo de ganancia de calor se obtuvo de la ecuación (3.86) del libro (Ghajar & Çengel, 2011) de la página (184).

$$Q = A * U * \Delta T$$



16.2.2.1.1. Cálculo de área total

Para la realización de este cálculo, se toma como referencia los puntos cardinales las cuales a continuación las llamaremos por (pared norte, pared sur, pared esta, pared oeste).

- Pared Norte

La pared norte tiene cuatro ventanas abiertas las cuales serán restadas.

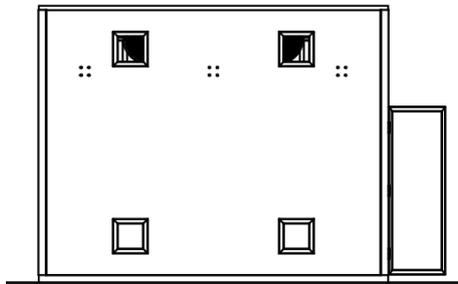


Ilustración 16.2.2.1.1: Pared norte del horno solar.

Pared:

Base = 4 m = 13.1234 ft

Altura = 3.23 m = 10.5971 ft

Ventana:

Base = 0.3 m = 0.9842 ft

Altura = 0.3 m = 0.9842 f

Cálculo del área:

$$A_{\text{norte}} = (b * h) - (4 * (b_v * h_v))$$

$$A_{\text{norte}} = (13.1234 \text{ ft} * 10.5971 \text{ ft}) - (4 * (0.9842 \text{ ft} * 0.9842 \text{ ft}))$$

$$A_{\text{norte}} = 135.1953 \text{ ft}^2$$



- Pared Sur

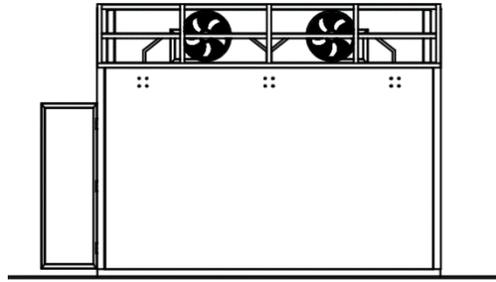


Ilustración 16.2.2.1.1: Pared sur del horno solar

Base = 3.8 m = 12.4672 ft

Altura = 2.45 m = 8.038 ft

$$A_{\text{sur}} = (b * h)$$

$$A_{\text{sur}} = 12.4672 \text{ ft} * 10.5971 \text{ ft}$$

$$A_{\text{sur}} = 100.2113 \text{ ft}^2$$

- Pared este y oeste

Estas dos paredes tienen las mismas dimensiones por lo que el cálculo solo lo haremos una vez, también la forma de las paredes es irregular la cual las dividimos en un área 1 (rectángulo) y área 2 (triángulo).

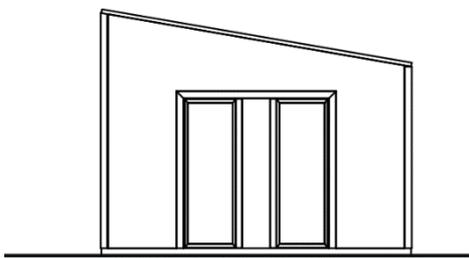


Ilustración XVI.6: Pared este del horno solar

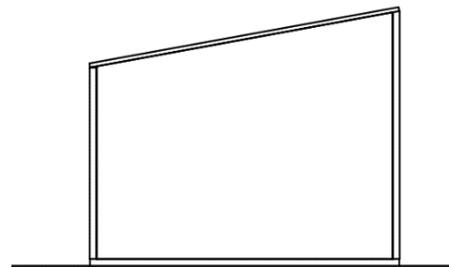


Ilustración XVI.7: Pared oeste del horno solar

Área 1

Base = 4 m = 13.1234 ft

Altura = 2.45 m = 8.038 ft



Área 2

Base = 4 m = 13.1234 ft

Altura = 0.78 m = 2.5591 ft

$$A_{\text{Este y Oeste}} = (b_{A1} * h_{A1}) + \frac{b_{A2} * h_{A2}}{2}$$

$$A_{\text{Este y Oeste}} = (13.1234 * 8.038) + \frac{13.1234 * 2.5591}{2}$$

$$A_{\text{Este y Oeste}} = 122.2779 \text{ ft}^2$$

- Área total

$$A_{\text{total}} = A_{\text{norte}} + A_{\text{sur}} + A_{\text{este}} + A_{\text{oeste}}$$

$$A_{\text{total}} = 135.1953 \text{ ft}^2 + 100.2113 \text{ ft}^2 + 122.2779 \text{ ft}^2 + 122.2779 \text{ ft}^2$$

$$A_{\text{total}} = 479.9624 \text{ ft}^2$$

16.2.2.1.2. Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor

La ecuación para realizar el cálculo del coeficiente global de transferencia de calor, se obtuvo de la ecuación (3.18) del libro (Ghajar & Çengel, 2011) de la página (140)

$$U = \frac{1}{R_0}$$

Para el cálculo de la resistencia global, utilizamos los siguientes datos:

Velocidad de aire exterior	24 km/h
Velocidad del aire interior	Inmóvil
Espesor de pizarra	8 mm = 0.3149 in



Espeesor de poliestireno	97 mm = 3.8189 in
--------------------------	-------------------

Tabla XVI.4. Datos, cálculo de resistencia global, perdida de calor por paredes

Los valores obtenidos de la resistencia térmica del aire interior, exterior y el poliuretano fue sustraída de la tabla 3.8 (ver anexo 19), pagina (185) y la resistencia térmica del acero de la tabla A-5I (ver anexo 20), pagina (900) del libro (Ghajar & Çengel, 2011).

Nota: El valor de la resistencia térmica del poliuretano es encontrado del valor sustraído de la tabla multiplicado por el espeesor del poliuretano.

Raire exterior	0.17 h ft ² °F /BTU
Raire interior	0.68 h ft ² °F /BTU
Racero	0.0029 h ft ² °F /BTU
Rpoliu	21.2330 h ft ² °F /BTU

Tabla XVI.5. Valores de resistencia térmica, cálculo de resistencia global, perdida de calor por paredes

La resistencia térmica global la calculamos sumando las resistencias individuales donde:

$$R_0 = R_{\text{aire ext}} + R_{\text{aire int}} + 2x R_{\text{piz}} + R_{\text{poli}}$$

$$R_0 = 0.17 \frac{\text{h ft}^2 \text{°F}}{\text{BTU}} + 0.68 \frac{\text{h ft}^2 \text{°F}}{\text{BTU}} + \left(2 * 0.0029 \frac{\text{h ft}^2 \text{°F}}{\text{BTU}} \right) + 21.2330 \frac{\text{h ft}^2 \text{°F}}{\text{BTU}}$$

$$R_0 = 22.0888 \frac{\text{h ft}^2 \text{°F}}{\text{BTU}}$$

El coeficiente global de transferencia de calor:

$$U = \frac{1}{R_0}$$

$$U = \frac{1}{22.0888 \text{ h ft}^2 \text{°F} / \text{BTU}}$$



$$U = 0.04527 \text{ BTU/h ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$$

16.2.2.1.3. Cálculo de la diferencia de temperatura por paredes

Según los datos obtenidos en 21/05/2019 donde las temperaturas son las siguientes:

- Pared Norte:

Temperatura interna = $41.3^\circ\text{C} = 106.34^\circ\text{F}$

Temperatura externa = $35.3^\circ\text{C} = 95.54^\circ\text{F}$

$$\Delta T = T_{int} - T_{ext}$$

$$\Delta T = 106.34 \text{ } ^\circ\text{F} - 95.54 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$\Delta T = 10.8^\circ\text{F}$$

- Pared Sur:

Temperatura interna = $41.9^\circ\text{C} = 107.42^\circ\text{F}$

Temperatura externa = $33.8 \text{ } ^\circ\text{C} = 92.84^\circ\text{F}$

$$\Delta T = T_{int} - T_{ext}$$

$$\Delta T = 107.42^\circ\text{F} - 92.84^\circ\text{F}$$

$$\Delta T = 14.58^\circ\text{F}$$

- Pared Este:

Temperatura interna = $42.1^\circ\text{C} = 107.78^\circ\text{F}$

Temperatura externa = $34.5 \text{ } ^\circ\text{C} = 94.1^\circ\text{F}$

$$\Delta T = T_{int} - T_{ext}$$



$$\Delta T = 107.78^{\circ}\text{F} - 94.1^{\circ}\text{F}$$

$$\Delta T = 13.68^{\circ}\text{F}$$

- Pared Oeste:

Temperatura interna = $39.6^{\circ}\text{C} = 103.28^{\circ}\text{F}$

Temperatura externa = $34.6^{\circ}\text{C} = 94.28^{\circ}\text{F}$

$$\Delta T = T_{int} - T_{ext}$$

$$\Delta T = 103.28^{\circ}\text{F} - 94.28^{\circ}\text{F}$$

$$\Delta T = 9^{\circ}\text{F}$$

16.2.2.1.4. *Calculo total de perdida de calor por paredes*

Ya obtenidos todos los valores necesarios procedemos a calcular.

- Pared Norte:

$$Q_{pared,N} = A * U * \Delta T$$

$$Q_{pared,N} = 135.1953 \text{ ft}^2 * 0.06134 \frac{\text{BTU}}{\text{h}} \text{ ft}^2^{\circ}\text{F} * 10.8^{\circ}\text{F}$$

$$Q_{pared,N} = 89.56 \text{ BTU/h}$$

- Pared Sur:

$$Q_{pared,S} = A * U * \Delta T$$

$$Q_{pared,S} = 100.2113 \text{ ft}^2 * 0.06134 \frac{\text{BTU}}{\text{h}} \text{ ft}^2^{\circ}\text{F} * 14.58^{\circ}\text{F}$$



$$Q_{pared,S} = 89.62 \text{ BTU/h}$$

- Pared Este:

$$Q_{pared,E} = A * U * \Delta T$$

$$Q_{pared,E} = 122.2779 \text{ ft}^2 * 0.06134 \frac{\text{BTU}}{\text{h}} \text{ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F} * 13.68 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$Q_{pared,E} = 102.61 \text{ BTU/h}$$

- Pared Oeste:

$$Q_{pared,O} = A * U * \Delta T$$

$$Q_{pared,O} = 122.2779 \text{ ft}^2 * 0.06134 \frac{\text{BTU}}{\text{h}} \text{ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F} * 9 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$Q_{pared,O} = 67.50 \text{ BTU/h}$$

- Pérdida total por paredes:

$$Q_{paredes} = Q_{pared,N} + Q_{pared,S} + Q_{pared,E} + Q_{pared,O}$$

$$Q_{paredes} = 89.56 \frac{\text{BTU}}{\text{h}} + 89.62 \frac{\text{BTU}}{\text{h}} + 102.61 \frac{\text{BTU}}{\text{h}} + 67.50 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

$$Q_{paredes} = 349.29 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

16.2.2.2. Perdida de calor por infiltraciones

La ecuación para realizar el cálculo de ganancia por calor por infiltraciones es la siguiente:

$$Q = A * U * \Delta T$$



16.2.2.2.1. Por ventanas o tomas de aire

Para realizar el cálculo de las infiltraciones, se calcula el área total de las cuatro ventanas presentes en el horno. Las cuatro ventanas poseen las mismas dimensiones.

Base = 0.3 m = 0.9842 ft

Altura = 0.3 m = 0.9842 ft

- Cálculo del área.

$$A_{\text{total}} = (b * h) * 4$$

$$A_{\text{total}} = (0.9842 * 0.9842) * 4$$

$$A_{\text{total}} = 3.8746 \text{ ft}^2$$

- Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor

$$U = \frac{1}{R_0}$$

Para el cálculo de la resistencia global, utilizamos los siguientes datos:

Velocidad de aire exterior	24 km/h
Velocidad del aire interior	Inmóvil

Tabla XVI.6. Velocidades, cálculo de resistencia global, pérdida de calor por infiltraciones

Los valores obtenidos de la resistencia térmica del aire interior y exterior fue sustraída de la tabla 3.8 (ver anexo 19), pagina (185) del libro (Ghajar & Çengel, 2011)

R _{aire exterior}	0.17 h ft ² °F /BTU
R _{aire interior}	0.68 h ft ² °F /BTU

Tabla XVI.7. Valores de resistencia térmica, cálculo de resistencia global, pérdida de calor por infiltracion



Calculamos el coeficiente global de transferencia de calor.

$$U = \frac{1}{R_0}$$

$$U = \frac{1}{0.17 \text{ ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F} / \text{BTU}}$$

$$U = 5.8824 \text{ BTU/h ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$$

- Cálculo de la diferencia de temperatura

Basándonos en los datos obtenidos e donde las temperaturas son las siguientes:

Temperatura interna = 41.2 °C = 122 °F

Temperatura externa = 34.5 °C = 94.1 °F

$$\Delta T = T_{int} - T_{ext}$$

$$\Delta T = 106.16^\circ\text{F} - 94.1^\circ\text{F}$$

$$\Delta T = 12.06^\circ\text{F}$$

- Calculo de perdida de calor por infiltración en ventanas

Ya obtenidos todos los valores necesarios procedemos a calcular.

$$Q_{ventana} = A * U * \Delta T$$

$$Q_{ventana} = 3.8746 \text{ ft}^2 * 5.8824 \text{ BTU/h ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F} * 12.06 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$Q_{ventana} = 274.87 \text{ BTU/h}$$



16.2.2.2.2. Por puertas

Los valores antes calculados del coeficiente global de transferencia de calor y la diferencia de temperatura, serán los mismos que utilizaremos para el cálculo de infiltraciones por puerta debida a que están sometidos a las mismas condiciones.

Ahora solo calculamos el área de la puerta, para luego proceder a calcular de ganancia de calor por infiltración.

Datos:

Área Externa	Área Interna
Base externa = 0.94 m = 3.08 ft = b_{ext} .	Base interna = 0.90 m = 2.95 ft = b_{int} .
Altura externa = 1.95 m = 6.41 ft = h_{ext} .	Altura interna = 1.90 m = 6.23 ft = h_{int} .

Tabla XVI.8. Áreas, cálculo de resistencia global, perdida de calor por puertas

- Calculo del área

$$A_{total} = A_{ext} - A_{int}$$

$$A_{ext} = (b_{ext} * h_{ext})$$

$$A_{int} = (b_{int} * h_{int})$$

$$A_{total} = (3.08ft * 6.41ft) - (2.95ft * 6.23ft)$$

$$A_{total} = 1.364 ft^2$$

- Calculo de perdida de calor por infiltración por puerta principal

$$Q_{puerta} = A * U * \Delta T$$

$$Q_{puerta} = 1.364ft^2 * 5.8824 BTU/h ft^2 ^\circ F * 12.06 ^\circ F$$



$$Q_{puerta} = 96.76 BTU/h$$

16.2.2.3. Pérdida total de calor para la temperatura

$$Q_{perdido} = Q_{pared} + Q_{ventana} + Q_{puerta}$$

$$Q_{perdido} = 349.29 BTU/h + 274.87 BTU/h + 96.76 BTU/h$$

$$Q_{perdido} = 720.92 BTU/h$$

16.3. Carga térmica en Convección Natural

16.3.1. Memoria de cálculo carga térmica captada en el colector solar

Para la realización del cálculo de la carga térmica del horno se usaron los datos recolectados por mediciones del sistema automático. Solo se tomarán en cuenta las mediciones de 6:00 am a 6:00 pm puesto que, para el estudio de carga térmica, solo son necesarias las horas con incidencia de radiación solar. El periodo de prueba considerado es de 08/06/2021-14/07/2021.

Siguiendo el procedimiento demostrado en el [apéndice 16.2](#) se elaboró una memoria de cálculo para calcular la eficiencia del horno una vez utilizada el sistema autónomo en convección natural.

Variable	valor	UM
Temp ambiente	28.15	°C
Temp ambiente	301.3	K
Temp colector	48.62	°C
Temp colector	321.77	K
Área Superf	12	m ²
Lc	0.4075	m
Temp promedio	38.385	°C
Conductividad Térmica (k)	0.02650049	W/m · K
Viscosidad cinemática (ν)	1.68682E-05	m ² /s
Número de Prandtl (Pr)	0.7259199	Pr
β	0.003209912	K ⁻¹
Gravedad	9.81	m/s ²
Inclinación	5	°
Emisividad (vidrio ε ₁)	0.9	
Emisividad (lam. negra ε ₂)	0.88	



Constante de Stefan-Boltzmann (σ)	5.67E-08	w/m ² k ⁴
---	----------	---------------------------------

Tabla XVI.9. Datos, cálculo de carga térmica en convección natural, sistema automático

- Memoria de cálculo:

Temp °C	W/m · K	m ² /s	Pr
35	0.02625	1.66E-05	0.7268
38.385	0.0265	1.6868E-05	0.72592
40	0.02662	1.70E-05	0.7255

Número de Rayleigh	111.28E+6
--------------------	-----------

$$Ra = \left[\frac{g * \beta * (T_{colector} - T_{amb}) * (L_c)^3}{\nu^2} * Pr \right]$$

Número de Nusselt	18.998
-------------------	--------

$$Nu = 1 + 1.44 \left[1 - \frac{1708}{Ra * Cos\theta} \right] * \left[1 - \frac{1708 (Sen(1.8 * \theta))^{1.6}}{Ra * Cos\theta} \right] + \left[\frac{(Ra * Cos\theta)^{\frac{1}{3}}}{18} - 1 \right]$$

Calor trasferido del vidrio al colector por conducción	
Q colector	303.47 Watt

$$Q_{colector} = K * Nu * A_s * \frac{(T_{colector} - T_{amb})}{L_c}$$

Calor trasferido del vidrio al colector por radiación	
Q rad	1351.76 Watt

$$Q_{rad} = \frac{A_s * \sigma * ((T_{colector})^4 - (T_{amb})^4)}{\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1}$$

Carga promedio total de calor entre el vidrio y el colector	
Qtotal	1655.23 Watt
Qtotal	5651.2 Btu/h



$$Q_{total} = Q_{rad} + Q_{colector}$$

16.3.2. Memoria de cálculo carga térmica perdida para la temperatura promedio

Perdidas de calor

$$Q = A * U * \Delta T$$

Q perdidas **789.90** BTU/h

Perdida de calor a través de paredes

Q Total pared	616.38	BTU/h
Q Pared Norte	174.64	BTU/h
Q Pared Sur	127.82	BTU/h
Q Pared Este	163.93	BTU/h
Q Pared Oeste	149.98	BTU/h

Calculo de áreas

Área Pared Norte	135.1953	Ft2
Área Pared Sur	100.2113	Ft2
Área Pared Este	122.2779	Ft2
Área Pared Oeste	122.2779	Ft2
Área total	479.9624	Ft2

Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor (U)

U **0.045277756** BTU/h ft² °F

$$U = \frac{1}{R_0}$$

Resistencia global (R ₀)		22.0859	h ft ² °F /BTU
Velocidad de aire exterior	24 km/h	0.17	h ft ² °F /BTU
Velocidad del aire interior	Inmóvil	0.68	h ft ² °F /BTU
Espesor de pizarra	8 mm = 0.3149	0.0029	h ft ² °F /BTU
	in		
Espesor de poli estireno	97 mm = 3.8189	21.233	h ft ² °F /BTU
	in		

$$R_0 = R_{aire\ ext} + R_{aire\ int} + 2x R_{piz} + R_{poli}$$

Cálculo de la diferencia de temperatura por paredes

Pared Norte: **28.53** °F



Temperatura interna	44 °C	
Temperatura interna	111.2 °F	
Temperatura externa	28.15 °C	$\Delta T = T_{int} - T_{ext}$
Temperatura externa	82.67 °F	
· Pared Sur:	28.17 °F	
Temperatura interna	43.8 °C	
Temperatura interna	110.84 °F	
Temperatura externa	28.15 °C	
Temperatura externa	82.67 °F	$\Delta T = T_{int} - T_{ext}$
· Pared Este:	29.61 °F	
Temperatura interna	44.6 °C	
Temperatura interna	112.28 °F	
Temperatura externa	28.15 °C	
Temperatura externa	82.67 °F	$\Delta T = T_{int} - T_{ext}$
· Pared Oeste:	27.09 °F	
Temperatura interna	43.2 °C	
Temperatura interna	109.76 °F	
Temperatura externa	28.15 °C	
Temperatura externa	82.67 °F	$\Delta T = T_{int} - T_{ext}$
<hr/>		
Perdida de calor por infiltraciones		
Q infiltraciones	173.52 BTU/h	$Q = A * U * \Delta T$
<hr/>		
Ventanas		
Q Ventanas	130.05 BTU/h	
Área total	3.8746 Ft ²	
<hr/>		
Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor (U)		
U	1.176470588 BTU/h ft ² °F	$U = \frac{1}{R_0}$
<hr/>		
Resistencia global (R ₀)	0.85	h ft ² °F /BTU
Velocidad de aire exterior	24 km/h	0.17 h ft ² °F /BTU
Velocidad del aire interior	Inmóvil	0.68 h ft ² °F /BTU
<hr/>		
· Ventanas:	28.53 °F	
Temperatura interna	44 °C	



Temperatura interna	111.2 °F
Temperatura externa	28.15
Temperatura externa	82.67

$$\Delta T = T_{int} - T_{ext}$$

Puerta	
Q Puerta	43.47 BTU/h
Área total	1.364 Ft ²

Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor (U)

U	1.176470588 BTU/h ft ² °F	$U = \frac{1}{R_0}$
---	--------------------------------------	---------------------

Resistencia global (R ₀)	0.85 h ft ² °F /BTU	
Velocidad de aire exterior	24 km/h	0.17 h ft ² °F /BTU
Velocidad del aire interior	Inmóvil	0.68 h ft ² °F /BTU

Ventanas:	27.09 °F
Temperatura interna	43.2 °C
Temperatura interna	109.76 °F
Temperatura externa	28.15
Temperatura externa	82.67

$$\Delta T = T_{int} - T_{ext}$$

Eficiencia

$$Eficiencia = 1 - \frac{Q_{perdido}}{Q_{total}} = \mathbf{86\%}$$



16.4. Carga térmica en Convección Forzada

16.4.1. Memoria de cálculo carga térmica captada en el colector solar

Para la realización del cálculo de la carga térmica del horno se usaron los datos recolectados por mediciones del sistema automático. Solo se tomarán en cuenta las mediciones de 6:00 am a 6:00 pm puesto que, para el estudio de carga térmica, solo son necesarias las horas con incidencia de radiación solar. El periodo de prueba considerado es de 17/09/2021-12/10/2021.

Siguiendo el procedimiento demostrado en el [apéndice 16.2](#) se elaboró una memoria de cálculo para calcular la eficiencia del horno una vez utilizada el sistema autónomo en convección forzada

Carga total en colector y radiación			
Variable	Valor	UM	Observación
Temp ambiente	27.86	°C	
Temp ambiente	301.01	K	
Temp colector	43.8	°C	
Temp colector	316.95	K	
Área Superf	12	m ²	
Lc	0.4075	m	
Temp promedio	35.83	°C	
Conductividad Térmica (k)	0.02631142	W/m · K	
Viscosidad cinemática (ν)	1.6628E-05	m ² /s	
Número de Prandtl (Pr)	0.7265842	Pr	
β	0.003236455	K-1	
Gravedad	9.81	m/s ²	
Inclinación	5	°	
Emisividad (vidrio ε ₁)	0.9		
Emisividad (lam. negra ε ₂)	0.88		
Constante de Stefan-Boltzmann (σ)	5.67E-08	w/m ² k ⁴	
longitud colector	3	m	

Caudal volumétrico			
Flujo volumétrico Entrada/ ventilador	2200	m ³ /h	
Flujo volumétrico Entrada/ ventilador	0.611	m ³ /s	
Diámetro/ ventilador entrada	12	in	
Diámetro/ ventilador entrada	0.3048	m	
Área entrada / ventilador	0.1459	m ²	$A = \pi r^2 * 2$
Velocidad ventilador entrada	4.19	m/s	



Flujo másico

Densidad	1.142012 kg/m ³
Flujo másico Entrada/ ventilador	2512.43 kg/h
Flujo másico Entrada/ ventilador	0.6979 kg/s

Temp °C	W/m · K	m ² /s	r, kg/m ³	cp., J/kg · K	Pr
35	0.02625	1.66E-05	1.1450	1007	0.7268
35.83	0.02631	1.6628E-05	1.1420	1007	0.72658
40	0.02662	1.70E-05	1.1270	1007	0.7255

Carga térmica y número de Reynolds

Reynolds ²	7.55529E+05
-----------------------	-------------

donde *A* es el *área frontal*, para los cuerpos no currentilíneos, y el *área superficial*, para el flujo paralelo sobre placas planas o perfiles aerodinámicos delgados. Para el flujo sobre una placa plana, el número de Reynolds es

$$Re_L = \frac{\rho Vx}{\mu} = \frac{Vx}{\nu}$$

Coefficiente de fricción promedio Cf ³	0.004938346
---	-------------

Turbulento: $C_f = \frac{0.074}{Re_L^{1/5}}$ $5 \times 10^5 \leq Re_L \leq 10^7$ or =

Número de Nusselt promedio ⁴	1677.121717
---	-------------

Coefficiente de convección Hf ⁵	14.7091513 W/m ² K
--	-------------------------------

Turbulento:

$$Nu = \frac{hL}{k} = 0.037 Re_L^{0.8} Pr^{1/3}, \quad 0.6 \leq Pr \leq 60, \quad 5 \times 10^5 \leq Re_L \leq 10^7$$

Carga térmica	2813.56646 Watt
---------------	-----------------

Carga térmica	9605.9 Btu/h
---------------	--------------

$$\dot{Q}_{conv} = hA_s(T_s - T_\infty)$$

² Número de Reynolds (Ghajar & Çengel, 2011, pág. 445)

³ Coeficiente de fricción (Ghajar & Çengel, 2011, pág. 445)

⁴ Número de Nusselt (Ghajar & Çengel, 2011, pág. 445)

⁵ Coeficiente de convección (Ghajar & Çengel, 2011, pág. 445)



16.4.2. Memoria de cálculo carga térmica perdida para la temperatura promedio

Perdidas de calor		$Q = A * U * \Delta T$
Q perdidas	784.77	BTU/h

Perdida de calor a través de paredes

Q Total pared	464.72	BTU/h
Q Pared Norte	119.97	BTU/h
Q Pared Sur	100.48	BTU/h
Q Pared Este	126.37	BTU/h
Q Pared Oeste	117.91	BTU/h

Calculo de áreas

Área Pared Norte	135.1953	Ft ²
Área Pared Sur	100.2113	Ft ²
Área Pared Este	122.2779	Ft ²
Área Pared Oeste	122.2779	Ft ²
Área total	479.9624	Ft ²

Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor (U)

$$U = \frac{1}{R_0} = 0.042718977 \text{ BTU/h ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Resistencia global (R ₀)		23.4088	h ft ² °F /BTU
Velocidad de aire exterior	24 km/h	2	h ft ² °F /BTU
Velocidad del aire interior	24 km/h	0.17	h ft ² °F /BTU
Espesor de pizarra	8 mm = 0.3149 in	0.0029	h ft ² °F /BTU
	97 mm = 3.8189 in		
Espesor de poli estireno	in	21.233	h ft ² °F /BTU

$$R_0 = R_{\text{aire ext}} + R_{\text{aire int}} + 2x R_{\text{piz}} + R_{\text{poli}}$$

Cálculo de la diferencia de temperatura por paredes

Pared Norte: 20.772 °F

Temperatura interna 39.4 °C

Temperatura interna 102.92 °F

Temperatura externa 27.86 °C

$$\Delta T = T_{\text{int}} - T_{\text{ext}}$$



Temperatura externa	82.148 °F	
· Pared Sur:	23.472 °F	
Temperatura interna	40.9 °C	$\Delta T = T_{int} - T_{ext}$
Temperatura interna	105.62 °F	
Temperatura externa	27.86 °C	
Temperatura externa	82.148 °F	
· Pared Este:	24.192 °F	
Temperatura interna	41.3 °C	
Temperatura interna	106.34 °F	$\Delta T = T_{int} - T_{ext}$
Temperatura externa	27.86 °C	
Temperatura externa	82.148 °F	
· Pared Oeste:	22.572 °F	
Temperatura interna	40.4 °C	
Temperatura interna	104.72 °F	$\Delta T = T_{int} - T_{ext}$
Temperatura externa	27.86 °C	
Temperatura externa	82.148 °F	

Perdida de calor por infiltraciones

Q infiltraciones	$Q = A * U * \Delta T$	320.05 BTU/h
------------------	------------------------	--------------

Ventanas

Q Ventanas		236.72 BTU/h
------------	--	--------------

Área total		3.8746 Ft ²
------------	--	------------------------

Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor (U)

U	2.941176471 BTU/h ft ² °F
---	--------------------------------------

$$U = \frac{1}{R_0}$$

Resistencia global (R ₀)		0.34 h ft ² °F /BTU
Velocidad de aire exterior	24 km/h	0.17 h ft ² °F /BTU
Velocidad del aire interior	25 km/h	0.17 h ft ² °F /BTU

· Ventanas:	20.772 °F	
Temperatura interna	39.4 °C	
Temperatura interna	102.92 °F	$\Delta T = T_{int} - T_{ext}$
Temperatura externa	27.86	
Temperatura externa	82.148	



Puerta		
Q Puerta		83.33 BTU/h
Área total		1.364 Ft ²
Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor (U)		2.941 BTU/h ft ² °F $U = \frac{1}{R_0}$
Resistencia global (R ₀)		0.34 h ft ² °F /BTU
Velocidad de aire exterior	24 km/h	0.17 h ft ² °F /BTU
Velocidad del aire interior	25 km/h	0.17 h ft ² °F /BTU

· Puerta:	20.772 °F	
Temperatura interna	40.4 °C	$\Delta T = T_{int} - T_{ext}$
Temperatura interna	104.72 °F	
Temperatura externa	27.86	
Temperatura externa	82.148	

Eficiencia

$$Eficiencia = 1 - \frac{Q_{perdido}}{Q_{total}} =$$

92%



16.5. Eficiencia de secado por medio de convección natural

16.5.1. Muestreo primer apilamiento

Para el muestreo de los parámetros se seleccionaron una muestra de 4 secciones de madera con las medidas y detalles en la tabla presentada a continuación. Este muestreo se realizó con la finalidad de poder medir a detalle una sección más pequeña, dada la falta de equipos (o sensores) necesarios para medir todo el apilamiento de madera. Una vez ya finalizado el censo en cuestión, los datos de estos reglones se extrapolaron al volumen total de 0.857 m³ (ver anexo 21) de madera obteniendo datos aproximados de la cantidad total y peso de madera en el horno.

Muestreo primer apilamiento							
	L (m)	A (m)	H (m)	HR	Peso húmedo Kg	Peso seco Kg	Volumen m3
1	0.191	0.083	0.018	21.80 %	0.250	0.205	0.000285
2	0.168	0.106	0.014	22.30 %	0.232	0.190	0.000249
3	0.159	0.109	0.022	22.50 %	0.282	0.230	0.000381
4	0.186	0.107	0.016	22.00 %	0.273	0.224	0.000318
Total muestreo				22.17 %	1.0364	0.8484	0.001234
Volumen total de apilamiento							0.857
Total de peso (Kg)					719.77	589.23	

$$\text{Masa seca (Ms)} = 589.23 \text{ Kg}$$

16.5.2. Radiación Solar.

La radiación solar es de suma importancia para los cálculos de eficiencia pues el sol es la principal fuente de energía del horno. A continuación, se presenta la cantidad promedio de radiación solar, según Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA), durante el periodo de secado de madera en convección Natural (ver Anexo 24)

Promedio de Radiación Solar.

IT

257.67 W/m²

$$IT = \frac{\text{Insolación}}{\text{dia Solar}}$$



Radiación horaria incidente sobre la superficie inclinada del colector

Establecemos primeramente que H_T es la Irradiación durante el periodo de secado inclinada del colector, donde IT es la radiación solar sobre el horno y el tiempo de secado es el tiempo que duro en bajar su humedad hasta el punto de referencia mínimo. Ecuación encontrada en (Roa Marín & Ortega Torres, 2011, pág. 111)

$$H_T = IT \left(\frac{KW}{m^2} \right) * \text{Tiempo de secado (seg)}$$

16.5.3. Disminución requerida de humedad

La reducción del porcentaje de agua es esencial para el almacenamiento seguro y el mejoramiento de las propiedades físicas de la madera, se disminuye la cantidad de humedad hasta niveles preestablecidos. La disminución requerida de humedad sirve de base para determinar la cantidad de agua que será evaporada.

La disminución requerida de humedad

ΔH 8.73 Disminución de humedad %

H_f 15.2 Humedad Inicial %

H_o 22.6 Humedad Final %

$$\Delta H = \frac{H_o - H_f}{100 - H_f} * 100$$

16.5.4. Masa total húmeda a evaporar

La reducción del porcentaje de agua es esencial para el almacenamiento seguro y el mejoramiento de las propiedades físicas de la madera, se disminuye la cantidad de humedad hasta niveles preestablecidos. La disminución requerida de humedad sirve de base para determinar la cantidad de agua que será evaporada.

Masa q se debe evaporar es

M_{H_2O} **448.7** Kg H_2O

$$M_{H_2O} = \frac{M_s * \Delta H}{100 - \Delta H}$$

Masa total humedad

M_H **1037.9** Kg

$$M_h = M_s + M_{H_2O}$$



16.5.5. Cálculo de eficiencia

Variable	Valor	UM	Observación
Wt	589.2	kg	
Wo	1037.9	kg	
Lv (Temp 43.9)	2396.6	KJ/Kg	Entalpia de saturación (ver anexo 22)
Ht	545435.9	KJ/m2	
IT	257.7	W/m2	
IT	0.2577	KW/m2	
Tiempo de secado	37.0	Días	
Hora de radiación	12.0	Hr	
Tiempo de secado	1598400.0	Seg	
Ac	12.0	m2	(ver Apéndice 16.2)
Energía	1.1	watt	Consumo energético (ver Apéndice 16.7)
Hora uso sistema	24.0	Hr	
Pv	976.8	Wh	Potencia usada por el sistema
Pv	3516.5	KJ	

Eficiencia de secado

Eficiencia

21.7%

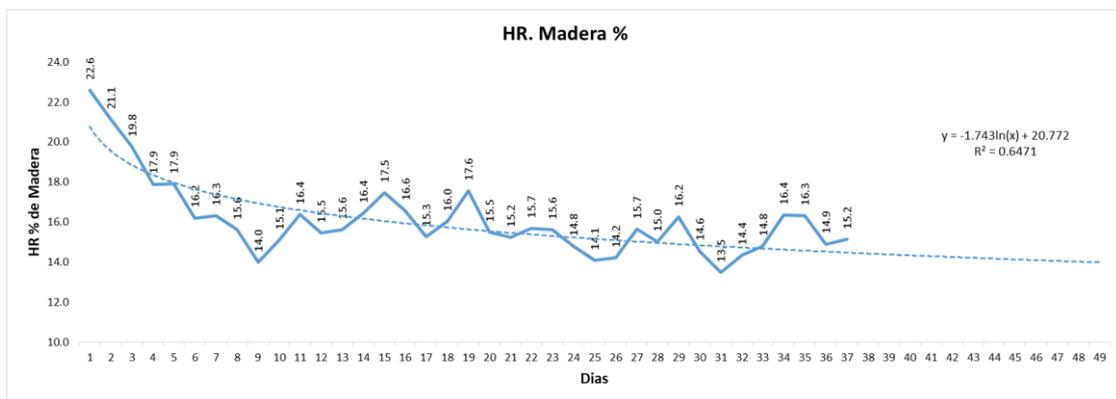
$$\eta_s = \frac{(W_0 - W_{(t)}) * L_v}{H_T * A_c}$$



16.5.6. Cálculo de eficiencia para una humedad de 14%

La eficiencia calculada durante los 37 días censados alcanzó un 21.7%, sin embargo, esa humedad no es la óptima para el secado así que se realizó un modelo en Excel para determinar la cantidad de días faltantes para alcanzar un 14%.

Tomando en cuenta los datos recolectados por el sistema, se trazó una línea de tendencia logarítmica en las medidas de humedad con respecto al tiempo, el comportamiento de la línea de tendencia es logarítmica, se eligió por ser la que mayor correlación presentó de las curvas. Según la ecuación obtenida mediante Excel el día que alcanzara un 14% de humedad es el día 49. Se realizarán los cálculos para determinar su eficiencia con ese valor.



$$Y = 1.743 \ln(x) + 20.772$$

$$\text{Correlación} = R^2 = 0.6471$$



Recalculo del peso a seco a 14% de humedad

La disminución requerida de humedad

ΔH	1.40	$\Delta H = \frac{H_o - H_f}{100 - H_f} * 100$
Hf	14	
Ho	15.2	

Masa que se debe evaporar es

M_{H_2O}	11.5 Kg H ₂ O	$M_{H_2O} = \frac{M_S * \Delta H}{100 - \Delta H}$
------------	---------------------------------	--

Masa total humedad

MH	577.8 Kg
----	-----------------

$$M_S = M_h - M_{H_2O}$$

Variable	Valor	UM	Observación
Wt	577.8	kg	
Wo	1037.9	kg	
Lv (Temp 43.9)	2396.6	KJ/Kg	Entalpia de saturación (ver anexo 22)
Ht	545435.9	KJ/m ²	
IT	257.7	W/m ²	
IT	0.2577	KW/m ²	
Tiempo de secado	49.0	Días	
Hora de radiación	12.0	Hr	
Tiempo de secado	2116800.0	Seg	
Ac	12.0	m ²	(ver Apéndice 16.2)
Energía	1.1	watt	Consumo energético (ver Apéndice 16.7)
Hora uso sistema	24.0	Hr	
Pv	1293.6	Wh	
Pv	4657.0	KJ	

Eficiencia de secado

Eficiencia	16.8%
------------	--------------

$$\eta_s = \frac{(W_0 - W_{(t)}) * L_v}{H_T * A_c}$$



16.6. Eficiencia de secado por medio de convección Forzada

16.6.1. Muestreo segundo apilamiento

Para el muestreo de los parámetros se seleccionaron una muestra de 3 secciones de madera con las medidas y detalles en la tabla presentada a continuación, este muestreo se realizó con la finalidad que los sensores pudieran medir a detalle una sección más pequeña, puesto que no era posible pesar todo el apilamiento en cuestión. Una vez ya finalizado el censo, los datos de estos reglones se extrapolaron al volumen total de 0.857 m³, cabe destacar, que se mantuvo el mismo volumen del primer apilamiento (ver anexo 21) con el fin de replicar las condiciones y obtener datos aproximados para la eficiencia en condiciones de apilamientos similares.

Muestreo Segundo apilamiento							
	L (m)	A (m)	H (m)	HR	Peso húmedo Kg	Peso seco Kg	Volumen m3
1	0.194	0.083	0.019	19.9	0.227	0.190	0.0003059
2	0.175	0.083	0.017	19.5	0.205	0.171	0.0002469
3	0.17	0.107	0.011	19	0.168	0.141	0.0002001
Total muestreo				19.53	0.60	0.50	0.0007530
Volumen total de apilamiento							0.8573
Total de peso					683.15	571.62	0.8573

$$\text{Masa seca (Ms)} = 571.6 \text{ Kg}$$

16.6.2. Radiación Solar.

La radiación solar es de suma importancia para los cálculos de eficiencia pues el sol es la principal fuente de energía del horno. A continuación, se presenta la cantidad promedio de radiación solar, según Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA), durante el periodo de secado de madera en convección Natural (ver Anexo 23)

Promedio de Radiación Solar.

IT 251.6778 W/m²

$$IT = \frac{\text{Insolación}}{\text{dia Solar}}$$



Radiación horaria incidente sobre la superficie inclinada del colector

Establecemos primeramente que H_T es la Irradiación durante el periodo de secado inclinada del colector, donde I_T es la radiación solar sobre el horno y el tiempo de secado es el tiempo que duro en bajar su humedad hasta el punto de referencia mínimo. Ecuación encontrada en (Roa Marín & Ortega Torres, 2011, pág. 111)

$$H_T = I_T \left(\frac{KW}{m^2} \right) * \text{Tiempo de secado (seg)}$$

16.6.3. Disminución requerida de humedad

La reducción del porcentaje de agua es esencial para el almacenamiento seguro y el mejoramiento de las propiedades físicas de la madera, se disminuye la cantidad de humedad hasta niveles preestablecidos. La disminución requerida de humedad sirve de base para determinar la cantidad de agua que será evaporada.

La disminución requerida de humedad

ΔH 6.74 Disminución de humedad %

H_f 14 Humedad Inicial %

H_o 19.8 Humedad Final %

$$\Delta H = \frac{H_o - H_f}{100 - H_f} * 100$$



16.6.4. Masa total húmeda a evaporar

La reducción del porcentaje de agua es esencial para el almacenamiento seguro y el mejoramiento de las propiedades físicas de la madera, se disminuye la cantidad de humedad hasta niveles preestablecidos. La disminución requerida de humedad sirve de base para determinar la cantidad de agua que será evaporada.

Masa que se debe evaporar es		Masa total humedad	
M_{H_2O}	260.0 Kg H_2O	M_H	831.6 Kg
$M_{H_2O} = \frac{M_S * \Delta H}{100 - \Delta H}$		$M_h = M_S + M_{H_2O}$	

16.6.5. Calculo de eficiencia

Variable	Valor	UM	Observación
Wt	571.6	kg	
Wo	831.6	kg	
Lv (Temp 40)	2406.0	KJ/Kg	Entalpia de saturación (ver anexo 22)
Ht	217442.9	KJ/m2	
IT	251.7	W/m2	
IT	0.2517	KW/m2	
Tiempo de secado	20.0	Días	
Hora de radiación	12.0	Hr	
Tiempo de secado	864000.0	Seg	
Ac	12.0	m2	(ver Apéndice 16.2)
Energía	1.1	watt	Consumo energético (ver Apéndice 16.7)
Hora uso sistema	24.0	Hr	
Pv	528.0	Wh	Potencia usada por el sistema1
Pv	1900.8	KJ	
Energía2	1007.6	watt	
Hora uso sistema2	4.0	hr	(ver Apéndice 16.7)
Pv2	80608.0	Wh	
Pv2	290188.8	Kj	(ver Apéndice 16.7)



Eficiencia de secado

$$\eta_s = \frac{(W_0 - W_{(t)}) * L_v}{H_T * A_c}$$

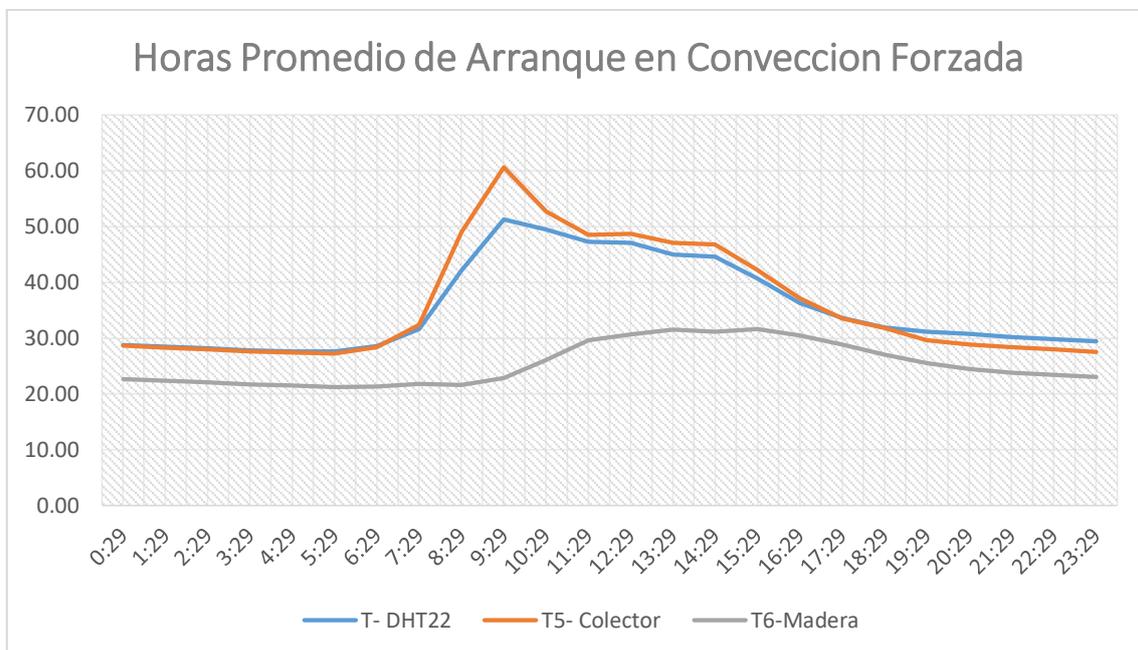
Eficiencia

21.6%



16.7. Costos energéticos por producción

Desde el punto de vista eléctrico, el método actual de secado no implementa ningún consumo eléctrico; caso contrario a los propuestos en el presente documento. Considerando la información brinda en el [apartado 8.2.](#) y conociendo los modos de operación utilizados en la realización del documento podemos decir que para el caso de la convección natural, si bien es cierto, su consumo es notoriamente menor a los demás, este siempre estará presente durante el proceso de secado de madera. En cuanto al segundo método de operación documentado, el consumo eléctrico en su mayoría será por el accionamiento de los extractores y ventiladores. Utilizando con referencia la siguiente gráfica, podemos determinar el promedio diario en el que el sistema automático coloco en marcha los elementos antes mencionados.



Gráfica XVI.2. Horas promedio de arranque en convección forzada

En el anterior grafico se puede observar que posterior a las 9 am, en el colector de radiación solar inicia un descenso brusco de su temperatura, mientras que, a lo largo del tiempo, la temperatura en la madera aumenta; esto se debe al accionamiento del ventilador, que impulsa el aire calentado en la parte superior del horno, hacia el apilamiento de la madera en la parte inferior del horno. Caso contrario pasa posterior a las 14 pm, donde tanto en las temperaturas del colector



como en las temperaturas ambiente, se observa un deceso suave, característico de un proceso natural.

Dicho lo anterior, podemos deducir que el promedio de accionamiento de los ventiladores y extractores, sucede entre las 11 am y las 15 pm, con un total de 4 horas a lo que podemos concluir en la siguiente tabla el total de consumo eléctrico del sistema a lo largo del estudio realizado.

Métodos		Watts		Horas diarias	Días de uso	kWh/secado	
		L1	L2			L1	L2
Método Actual	Convección Natural	0.00	0.00	24	15	0.00	0.00
		Total (kWh/secado)				0.00	0.00
Método Propuesto	Convección Natural	1.1	0.00	24	37	0.4752	0.00
		Total (kWh/secado)				0.4752	0.00
	Convección Forzada con reposición de aire	1.1	0.00	24	26	0.3432	0.00
		460.9	546.7	4	26	29.9585	35.5355
Total (kWh/secado)				30.30	35.54		

Tabla XVI.10: consumo eléctrico del sistema a lo largo del estudio realizado



Conociendo el consumo total de cada uno de los sistemas, se debe de recordar que los sistemas implementados en el desarrollo de este estudio, corresponde a los modos de operación en convección natural y convección forzada con reposición de aire. En cuanto al pliego tarifario aplicado; “La Universidad Nacional de Ingeniería (UNI-RUPAP)”, lugar donde se encuentra el PIMA, se abastece de energía eléctrica de la red comercial suministrada, sujeta a la tarifa T-2D general mayor; carga contratada mayor a 25 kW para uso general (Establecimientos comerciales, oficinas públicas y privadas, centros de salud, centros de recreación, etc.) (Instituto Nicaragüense de Energía- INE, 2021).

Para conocer el consto de kWh/mes, dado que el estudio en convección natural se realizó mayormente en el mes de septiembre y el estudio en convección forzada con reposición de aire se realizó el mes de octubre, existen dos tipos de costos por KW (C\$/kWh), para el mes de septiembre con un monto de 6.1652 C\$/kWh, mientras que, para el mes de octubre fue de 6.1756 C\$/kWh. (ver anexo 16). Siendo los costos por proceso de secado para cada uno de los sistemas, tanto en córdobas como en dólares (Banco Central de Nicaragua, 2021), el siguiente:

Métodos		Total (kWh/secado)	Costo Total (C\$/secado)	Costo Total (\$/secado)
Método Actual	Convección Natural	0.00	0.00	0.00
Método Propuesto	Convección Natural (J)	0.4752	2.9297	0.0829 ⁶
	Convección Forzada con reposición de aire (octubre)	35.54	219.4808	3.6573 ⁷

Tabla XVI.11: Consto económico relacionado al consumo energético.

⁶ A la tasa de cambio del día 31 de octubre 2021 (ver anexo 17).

⁷ A la tasa de cambio del día 30 de septiembre 2021 (ver anexo 17).



Desde el punto de vista económico relacionado al consumo energético, podemos asegurar que el mejor método, corresponde al modo actual, cuyo consumo eléctrico es nulo, dado que depende en su totalidad de la acción humana para su regulación y operación.



16.8. Código del Sistema Automata

El siguiente código se encuentra en GITHUB, link de acceso se encuentra en disco.

```
//*****CODIGO DEL SISTEMA AUTOMATA PARA EL SENSADO Y MONITOREO EN EL
SECADO DE LA EN CONVECCION NATURAL Y CONVECCION FORZADA*****

// Insertar Librerías
#include <SD.h>
#include "RTCLib.h"
#include "DHT.h"
#include <Servo.h>
#include "LiquidCrystal_I2C.h"
#include "Keypad.h"
#include "max6675.h"
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>

//*****Definir variables de control y nombrarLas*****
#define ONE_WIRE_BUS 12

OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
DallasTemperature sensors(&oneWire);

#define SERVO

//#define NANO //en caso de usarse una extensión con nano

#define YL_FACTOR 1
#define TICK_PERIOD 300
#define SAMPLE_PERIOD 3000
#define LOG_PERIOD 60000
#define SD_CS 53
#define UPPER_SERVO_PIN 7
#define LOWER_SERVO_PIN 6
#define UPPER_SERVO_MIN 0
```



```
#define UPPER_SERVO_MAX 9
#define LOWER_SERVO_MIN 0
#define LOWER_SERVO_MAX 9

#ifdef SIMULATE
#define LCD_I2C_DIR 0x20
#define DHTTYPE DHT11
#else
#define LCD_I2C_DIR 0x27
#define DHTTYPE DHT22
#endif

#define DHTPIN0 10
#define DHTPIN1 11
#define DHTPIN2 8
#define DHTPIN3 9
#define DHTPIN4 12

#define DHTMAX 5
#define LMMAX 4
#define YLMAX 4

#define PINREL1 5
#define PINREL2 4

#define ROWS 4
#define COLS 3

#define thermoDO 35
#define thermoCS 37
#define thermoCLK 39
float tempC;
MAX6675 thermocouple(thermoCLK, thermoCS, thermoDO);
```



```
//Declaramos los modos y variables de control con respecto a la lógica
//programable

enum STATES {PANEL, PASS, MENU, MODE, CTRL, TREND} state;

enum MODES {MANUAL, AUTO} mode;

enum MENU_AUTO_STATES {SP_MAX_T, SP_MAX_U, SP_MIN_T, SP_MIN_U, SP_DONE}
menu_auto_state;

enum MENU_MANUAL_STATES {U_SERVO_POS, L_SERVO_POS, SERVO_DONE}
menu_manual_state;

RTC_DS3231 rtc;

DHT DHTs[DHTMAX] = {DHT(DHTPIN0, DHTTYPE), DHT(DHTPIN1, DHTTYPE),
DHT(DHTPIN2, DHTTYPE),
DHT(DHTPIN3, DHTTYPE), DHT(DHTPIN4, DHTTYPE)
};

//ServoMotor Instances

Servo upper_servo;
Servo lower_servo;

LiquidCrystal_I2C lcd(LCD_I2C_DIR, 20, 4);

//Matriz Keypad configuraciones

char keys[ROWS][COLS] = {
  {'1', '2', '3'},
  {'4', '5', '6'},
  {'7', '8', '9'},
  {'*', '0', '#'}
};

byte row_pins[ROWS] = {22, 23, 24, 25}; //declarar pines para filas de
//keypad

byte col_pins[COLS] = {26, 27, 28}; //declarar pines para columnas de keypad

Keypad keypad = Keypad( makeKeymap(keys), row_pins, col_pins, ROWS, COLS
);
```



```
union
{
    float floatingRead;
    char bytes[4];
} sample;

    /******Declaración de Variables Globales de Censado******/
float t[DHTMAX] = {0};
float h[DHTMAX] = {0};
float t_sum[DHTMAX] = {0};
float h_sum[DHTMAX] = {0};
float t_avg[DHTMAX] = {0};
float h_avg[DHTMAX] = {0};
float t_avgGlobal, h_avgGlobal = 0.0;
float lm35[LMMAX] = {0};
float lm35_sum[LMMAX] = {0};
float lm35_avg[LMMAX] = {0};
float lm35_temp = 0.00;
float y169[YLMAX] = {0};
float y169_sum[YLMAX] = {0};
float y169_avg[YLMAX] = {0};
float temp;
float temp_sum;
float temp_avg;
float tempC_sum;
float tempC_avg;
float HMadera;
float HMadera_sum;
float HMadera_avg;
float Hum = 0;
float Sensor;
int n = 100;
```



```
const int lm35_pins[LMMAX] = {A1, A1, A2, A3};
const int yl69_pins[YLMAX] = {A8, A9, A10, A11};

//Declarar las posiciones de Los servomotores
int pos_upper_servo;
int pos_lower_servo;

int sample_counter = 0;
long last_sample = 0L;
long last_tick = 0L;

bool logdata = false;
bool fan_state = false;

//Declarar Limites Setpoints para modo Automático
float sp_min = 40.0;
float sp_max = 45.0;

byte sp_min_tens, sp_min_unit = 0;
byte sp_max_tens, sp_max_unit = 0;
byte pos_upper_servo_u, pos_lower_servo_u = 0;

/****Declaración de Funciones y La ejecución de Los actuadores****/
float f_mean(float *f_array, int SIZE) {
    float sum = 0.0;

    for (int n = 0; n < SIZE; n += 1) {
        sum += f_array[n];
    }

    return sum / float(SIZE);
}

void controlVents(float wood_temp) {
```



```
if (f_mean(t, DHTMAX) < sp_min) {
#ifdef SERVO
    pos_upper_servo = UPPER_SERVO_MIN;
    pos_lower_servo = LOWER_SERVO_MIN;
    upper_servo.write(pos_upper_servo * 20);
    lower_servo.write(pos_lower_servo * 20);
    digitalWrite(PINREL1, LOW);
    digitalWrite(PINREL2, LOW);
#else
    digitalWrite(PINREL1, LOW);
    digitalWrite(PINREL2, LOW);
#endif
}
else if (f_mean(t, DHTMAX) > sp_max) {
#ifdef SERVO
    pos_upper_servo = UPPER_SERVO_MAX;
    pos_lower_servo = LOWER_SERVO_MAX;
    upper_servo.write(pos_upper_servo * 20);
    lower_servo.write(pos_lower_servo * 20);
    digitalWrite(PINREL1, HIGH);
    digitalWrite(PINREL2, HIGH);
#else
    digitalWrite(PINREL1, HIGH);
    digitalWrite(PINREL2, HIGH);
#endif
}
}

bool is_number(char key) {
    if (key - 48 >= 0 && key - 48 <= 9) return true;
    else return false;
}

// Declaramos el menú de transición de variables
void menu_transition(void) {
```



```
sp_max_unit = (byte)sp_max % 10;
sp_max_tens = (byte)sp_max / 10;
sp_min_unit = (byte)sp_min % 10;
sp_min_tens = (byte)sp_min / 10;
pos_upper_servo_u = pos_upper_servo;
pos_lower_servo_u = pos_lower_servo;
}

// Menú inicial de presentación
void print_panel(bool refresh) {
  if (refresh) {
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("UNI- PANEL");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("SP: ");
    lcd.setCursor(17, 1);
    lcd.print("C");
    lcd.setCursor(10, 1);
    lcd.print("TM:");
    lcd.setCursor(0, 2);
    lcd.print("HM: ");
    lcd.setCursor(10, 2);
    lcd.print("VE:");
    lcd.setCursor(0, 3);
    lcd.print("HA: ");
    lcd.setCursor(8, 3);
    lcd.print("%");
    lcd.setCursor(10, 3);
    lcd.print("TA:");
    lcd.setCursor(18, 3);
    lcd.print("C");
  }

  // Menú principal de variables y visualización en lcd y monitor serial
```



```
lcd.setCursor(4, 1);
if (mode == AUTO) {
  lcd.print(sp_min, 0);
  lcd.print("-");
  lcd.print(sp_max, 0);
} else lcd.print("N/D");
lcd.setCursor(13, 1);
lcd.print(tempC);
lcd.setCursor(3, 2);
lcd.print(HMadera, 0);
lcd.setCursor(14, 2);
//lcd.print(fan_state?"ENC":"APG");
lcd.print(pos_upper_servo);
lcd.print('/');
lcd.print(pos_lower_servo);
lcd.setCursor(3, 3);
lcd.print(f_mean(h, DHTMAX), 0);
lcd.setCursor(13, 3);
lcd.print(f_mean(t, DHTMAX));
}

// Insertar contraseña de acceso a configuraciones
void print_pass(bool refresh) {
  if (refresh) {
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("PASS");
    lcd.setCursor(0, 2);
    lcd.print("Digite el PIN: ****");
  }
}

// Menú de configuraciones
void print_menu(bool refresh) {
```



```
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("MENU");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("1 -> MODO");
    lcd.setCursor(0, 2);
    lcd.print("2 -> CONTROL");
    // lcd.setCursor(0,3);
    // lcd.print("3 -> HIST.");
}
}

// Menu elección modo AUTO/MANUAL
void print_mode(bool refresh) {
    if (refresh) {
        lcd.clear();
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print("MODO");
        lcd.setCursor(1, 1);
        lcd.print("0:MANUAL 1:AUTO");
        lcd.setCursor(1, 3);
        lcd.print("Actual: ");
        lcd.print(mode ? "AUTO" : "MANUAL");
    }
}

// Menú de setpoints de operación
void print_ctrl(bool refresh) {
    if (refresh) {
        lcd.clear();
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print("CONTROL");
    }

    if (mode == AUTO) {
        lcd.setCursor(1, 1);
        lcd.print("A: SP MAX = [    ]");
    }
}
```



```
    lcd.setCursor(15, 1);
    lcd.print(sp_max_tens);
    lcd.print(sp_max_unit);
    lcd.setCursor(1, 2);
    lcd.print("B: SP MIN = [    ]");
    lcd.setCursor(15, 2);
    lcd.print(sp_min_tens);
    lcd.print(sp_min_unit);
} else {
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("A: Vent A = [    ]");
    lcd.setCursor(14, 1);
    lcd.print(pos_upper_servo_u);
    lcd.setCursor(0, 2);
    lcd.print("B: Vent B = [    ]");
    lcd.setCursor(14, 2);
    lcd.print(pos_lower_servo_u);
}
}

// Función de visualización de hora en LCD
void print_hour() {
    DateTime now = rtc.now();

    lcd.setCursor(14, 0);
    if (now.hour() < 10) lcd.print('0');
    lcd.print(now.hour());
    lcd.print(":");
    if (now.minute() < 10) lcd.print('0');
    lcd.print(now.minute());
}

// Declaración de función lógica de pantallas e interfaz del sistema
void print_screen(bool F5) {
    switch (state)
    {
```



```
case PANEL:
    print_panel(F5);
    break;

case PASS:
    print_pass(F5);
    break;

case MENU:
    print_menu(F5);
    break;

case MODE:
    print_mode(F5);
    break;

case CTRL:
    print_ctrl(F5);
    break;

default:
    break;
}
print_hour();
}

// Declaración de función Lógica de keypad e interfaz del sistema
void state_machine(char sm_key, bool refresh) {
    switch (state) {
        case PANEL:
            if (sm_key == '*') {
                state = PASS;
            }
            else if (sm_key == '#') {
            }
        }
    }
```



```
break;

case PASS:
    if (sm_key == '*') {
        state = MENU;
    }
    else if (sm_key == '#') {
        state = PANEL;
    }
    break;

case MENU:
    if (sm_key == '1') {
        state = MODE;
    }
    else if (sm_key == '2') {
        state = CTRL;
        menu_transition();
    }
    // else if(sm_key == '3'){
    //     state = TREND;
    // }
    else if (sm_key == '#') {
        state = PANEL;
    }
    break;

case MODE:
    if (sm_key == '0') {
        mode = MANUAL;
        state = MENU;
        menu_manual_state = U_SERVO_POS;
    }
    else if (sm_key == '1') {
        mode = AUTO;
```



```
state = MENU;
menu_auto_state = SP_MAX_T;
}
else if (sm_key == '*') state = PANEL;
else if (sm_key == '#') state = MENU;
break;

case CTRL:
if (mode == AUTO) {
switch (menu_auto_state)
{
case SP_MAX_T:
if (is_number(sm_key)) {
sp_max_tens = sm_key - 48;
menu_auto_state = SP_MAX_U;
}
break;
case SP_MAX_U:
if (is_number(sm_key)) {
sp_max_unit = sm_key - 48;
menu_auto_state = SP_MIN_T;
}
break;
case SP_MIN_T:
if (is_number(sm_key)) {
sp_min_tens = sm_key - 48;
menu_auto_state = SP_MIN_U;
}
break;
case SP_MIN_U:
if (is_number(sm_key)) {
sp_min_unit = sm_key - 48;
menu_auto_state = SP_DONE;
}
}
```



```
        break;
    default:
        break;
}
if (sm_key == '*') {
    if ((sp_max_tens * 10 + sp_max_unit) > sp_min_tens * 10 +
        sp_min_unit) {
        sp_max = sp_max_tens * 10 + sp_max_unit;
        sp_min = sp_min_tens * 10 + sp_min_unit;
    }
    state = PANEL;
    menu_auto_state = SP_MAX_T;
}
if (sm_key == '#') {
    state = MENU;
}
} else {
    switch (menu_manual_state) {
        case U_SERVO_POS:
            if (is_number(sm_key)) {
                pos_upper_servo_u = sm_key - 48;
                menu_manual_state = L_SERVO_POS;
            }
            break;
        case L_SERVO_POS:
            if (is_number(sm_key)) {
                pos_lower_servo_u = sm_key - 48;
                menu_manual_state = SERVO_DONE;
            }
            break;
        case SERVO_DONE:
            break;
    default:
        break;
}
```



```
    }
    if (sm_key == '*') {
        pos_upper_servo = pos_upper_servo_u;
        pos_lower_servo = pos_lower_servo_u;
        state = PANEL;
    }
    if (sm_key == '#') {
        state = MENU;
    }
    break;

default:
    break;
}
}
print_screen(refresh);
}
void keypadEvent(KeypadEvent key) {
    if (keypad.getState() == PRESSED) state_machine(key, true);
}

    // Declaración de las funciones bases del sistema e
    // inicializar el sistema y sus componentes
void setup() {
    Serial.begin( 57600 ); // inicializar monitor serial
    analogReference(INTERNAL2V56);
    if (! rtc.begin()) { // inicializar RTC (Real time clock)
        Serial.println(F("Couldn't find RTC"));
        Serial.flush();
        abort();
    }
    if (rtc.lostPower()) {
        Serial.println("RTC lost power, let's set the time!");
        rtc.adjust(DateTime(F(__DATE__), F(__TIME__)));
    }
}
```



```
}
DateTime now = rtc.now();

Serial.println(F("DHT22 test!")); // inicializar DHT 22
for (int i = 0; i < DHTMAX; i += 1) {
  DHTs[i].begin();
  Serial.print("begin DHT ");
  Serial.println(i);
}
Serial.print("Initializing SD card.."); // inicializar modulo de tarjeta
SD
if (!SD.begin(SD_CS)) {
  Serial.println("Card failed, or not present");
  // don't do anything more:
  while (1);
}
Serial.println("card initialized.");

upper_servo.attach(UPPER_SERVO_PIN); // inicializar Servo motores
lower_servo.attach(LOWER_SERVO_PIN); // inicializar Servo motores
pinMode(PINREL1, OUTPUT);
pinMode(PINREL2, OUTPUT);

sensors.begin(); // inicializar sensores
lcd.init(); // inicializar LCD
lcd.backlight();
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print(F("Universidad Nacional"));
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print(F(" de Ingenieria - UNI"));
lcd.setCursor(6, 2);
if (now.hour() < 10) lcd.print('0');
lcd.print(now.hour());
lcd.print(":");
```



```
if (now.minute() < 10) lcd.print('0');
lcd.print(now.minute());
Serial.println("Iniciando...");
delay(1000);
lcd.clear();
keypad.addEventListener(keypadEvent);
print_screen(true);
}

// Definir funciones cíclicas del sistema
void loop() {
    long timestamp;
    char hourBuffer[] = "hh:mm";
    char dateBuffer[] = "MM-DD-YYYY";
    String dataString = "";

    char key = keypad.getKey();

    if (key) {
        Serial.println(key);
    }

    if (millis() - last_tick > TICK_PERIOD) { // definir el tiempo de
                                                guardado de datos

        DateTime now = rtc.now();
        timestamp = now.unixtime();

        if (now.minute() % 2 == 0 && now.second() == 0 && logdata == false &&
sample_counter != 0) {
            logdata = true;

            for (int i = 0; i < DHTMAX; i += 1) {
                t_avg[i] = t_sum[i] / sample_counter;
                h_avg[i] = h_sum[i] / sample_counter;
```



```
}  
  
// for (int i = 0; i < LMMAX; i += 1) { //LM35 deshabilitado por no  
//                                     uso en el sistema final  
  
// Lm35_avg[i] = Lm35_sum[i] / sample_counter;  
// }  
  
for (int i = 0; i < YLMAX; i += 1) {  
    y169_avg[i] = y169_sum[i] / sample_counter;  
}  
  
temp_avg = temp_sum / sample_counter;  
tempC_avg = tempC_sum / sample_counter;  
HMadera_avg = HMadera_sum / sample_counter;  
sample_counter = 0;  
  
memset(t_sum, 0, sizeof(t_sum));  
memset(h_sum, 0, sizeof(h_sum));  
// memset(Lm35_sum, 0, sizeof(Lm35_sum));  
memset(y169_sum, 0, sizeof(y169_sum));  
Serial.println("-----");  
Serial.print(f_mean(t_avg, DHTMAX));  
Serial.println(" C");  
Serial.print(f_mean(h_avg, DHTMAX));  
Serial.println(" %");  
  
//Serial.print(f_mean(Lm35_avg, LMMAX)); //En caso de usar se  
//                                     el sensor Lm35  
  
//Serial.println(" C");  
//Serial.print(f_mean(y169_avg, YLMAX));  
//Serial.println(" % ");  
Serial.print(temp_avg);  
Serial.println(" C");  
Serial.print(tempC_avg);  
Serial.println(" C");  
Serial.print(HMadera_avg);  
Serial.println(" %");  
Serial.println("-----");
```



```
dataString += String(timestamp);
dataString += ",";
dataString += now.toString(dateBuffer);
dataString += ",";
dataString += now.toString(hourBuffer);
dataString += ",";
for (byte i = 0; i < DHTMAX; i++)
{
  dataString += String(t_avg[i]);
  dataString += ",";
  dataString += String(h_avg[i]);
  dataString += ",";
}
//      for (byte i = 0; i < LMMAX; i++) //En caso de usar se el
//                                     sensor Lm35
//      {
//        dataString += String(Lm35_avg[i]);
//        dataString += ",";
//      }
//      for (byte i = 0; i < YLMAX; i++)
//      {
//        dataString += String(yL69_avg[i]);
//        dataString += ",";
//      }
//      dataString += String(yL69_avg[i]);
//      dataString += ",";

File dataFile = SD.open("DATALOG.txt", FILE_WRITE); // si la SD está
disponible se apertura archivo de texto y guardara los datos censados
if (dataFile) {
  dataFile.print(dataString);
  dataFile.print(temp_avg);
  dataFile.print(",");
  dataFile.print(tempC_avg);
```



```
dataFile.print(",");
dataFile.println(HMadera_avg);
dataFile.close();
// print to the serial port too:
Serial.print(dataString);
Serial.print(temp);
Serial.print(",");
Serial.print(tempC);
Serial.print(",");
Serial.println(HMadera);
temp_sum = 0;
tempC_sum = 0;
HMadera_sum = 0;
}
else {
    Serial.println("error opening datalog.txt"); // si el archivo
    presenta un error aparecerá el siguiente mensaje:
}
}
else if (now.minute() % 2 == 1 && now.second() == 0 && logdata == true)
{
    logdata = false;
}
}
if (millis() - last_sample > SAMPLE_PERIOD) {
    last_sample = millis();
    sensors.requestTemperatures();

    for ( int i = 0; i < DHTMAX; i += 1 ) {
        t[i] = DHTs[i].readTemperature();
        h[i] = DHTs[i].readHumidity();
        if (isnan(t[i]) || isnan(h[i]))
        {
            return;
        }
    }
}
```



```
}
t_sum[i] += t[i];
h_sum[i] += h[i];
}
Serial.print(f_mean(t, DHTMAX)); //Se obtiene la temperatura en °C
Serial.print("°C | ");
Serial.print(f_mean(h, DHTMAX)); //Se obtiene la humedad ambiente en %
Serial.print("% | ");
temp = sensors.getTempCByIndex(0); //Se obtiene la temperatura en °C
Serial.print(sensors.getTempCByIndex(0));
temp_sum += temp;
Serial.print(temp);
Serial.print("°C | ");
tempC = thermocouple.readCelsius(); //Se obtiene la temperatura en °C
tempC_sum += tempC;
Serial.print(tempC);
Serial.print(" °C | ");
for (int i = 0; i < n; i++) {
    Sensor = analogRead(A3); // Lee el sensor analógico de medir
                             humedad madera
    Hum = (float)Hum + Sensor;
    delay(1);
}
Hum = Hum / n;
HMadera = Hum;
HMadera_sum += HMadera; // para medir humedad madera se realiza una
                          función donde recolecta el promedio de un
                          número definidos de datos

Serial.print(HMadera);
Serial.println(" %|");
sample_counter += 1;
if (mode == AUTO) controlVents(f_mean(t, DHTMAX)); //si el sistema
está en modo AUTO definir los grados de movilidad de los servomotores
y el control de los ventiladores
```



```
else {  
#ifdef SERVO  
    upper_servo.write(pos_upper_servo * 20);  
    lower_servo.write(pos_lower_servo * 20);  
    digitalWrite(PINREL1, pos_upper_servo ? HIGH : LOW);  
    digitalWrite(PINREL2, pos_lower_servo ? HIGH : LOW);  
#else  
    digitalWrite(PINREL1, pos_upper_servo ? HIGH : LOW);  
    digitalWrite(PINREL2, pos_lower_servo ? HIGH : LOW);  
#endif  
    }  
    print_screen(false);  
    }  
}
```



XII. Bibliografía

Ghajar, A., & Çengel, Y. (2011). *Transferencia De Calor Y Masa Fundamentos Y Aplicaciones* (Cuarta edición ed.). México, D.F: The McGraw-Hill Companies, Inc.

Gutiérrez, M., & Zúniga, J. (21 de septiembre de 2018). Docentes de la UNI crean un horno solar para secar madera. (nuevaya, Entrevistador)

MONTOYA, J. A., & JIMENEZ ARIAS, E. (2006). *DETERMINACION DE LA CURVA DE SECADO AL AIRE LIBRE, MEDIANTE MODELACION MATEMÁTICA Y EXPERIMENTAL DE LA Guadua angustifolia Kunth*. Pereira, Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira.

Naylamp Mechatronics SAC. (2021). *Naylamp Mechatronics SAC*. Obtenido de naylampmechatronics.com:
<https://naylampmechatronics.com/conversores-dc-dc/196-convertidor-voltaje-dc-dc-step-down-3a-lm2596.html>

Oporta Fonseca, N. S., & Mendoza Ruiz, B. A. (2017). *Prototipo de un sistema automatizado para el secado de madera en la corporación intermunicipal para el desarrollo local (CIDEL) en el municipio de Catarina-Masaya*. Managua.

Roa Marín, G. L., & Ortega Torres, D. B. (2011). *Diseño y Construcción de un Secador Solar por Convección de Aire Caliente Automatizado de Pequeña Escala, para el Secado de café para la Universidad Nacional de Loja*. Universidad Nacional de Loja, Área de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables. Ecuador: Universidad Nacional de Loja.

ABB. (2007). Manual Técnico de instalaciones eléctricas. En *Manual Técnico de instalaciones eléctricas* (pág. 378). Bergamo (Italia): ABB SACE.

ABB. (2022). Obtenido de new.abb.com:
<https://new.abb.com/products/es/1SBL177001R1310/af16-30-10-13>



AliExpress. (2022). Obtenido de AliExpress.com:
<https://es.aliexpress.com/i/32994176018.html>

amazon. (2022). Obtenido de amazon.com: <https://www.amazon.com/-/es/Matrix-12-teclas-43-Switch-Keyboard-Arduino/dp/B01MY4RTP3>

Amazon, Inc. (2022). Obtenido de Amazon.com, Inc.:
<https://www.amazon.es/SUNFOUNDER-Helicopter-Airplane-Controls-Controller/dp/B07P41ZZPS>

Arévalo Villalta, E. J. (2015). *Horno secador de madera con tecnología económica y amigable con el medio ambiente, que funcione de acuerdo a las necesidades y requerimientos del Programa Institucional de Madera (PIMA)*. Managua.

Automation24. (2022). Obtenido de automation24.biz:
<https://www.automation24.biz/siemens-logo-power-24v-1-3a-6ep1331-1sh03>

Banco Central de Nicaragua. (octubre de 2021). <https://www.bcn.gob.ni/>. Obtenido de https://www.bcn.gob.ni/IRR/tipo_cambio_mensual/index.php

CEIV S.A. (2022). *CEIV S.A. de C.V.* Obtenido de <https://ceiv.com.mx/termopar-tipo-k/>: <https://ceiv.com.mx/termopar-tipo-k/>

Çengel, Y. A. (2012). *Termodinámica*. México, D.F: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.

Centro De Produccion Mas Limpia Nicaragua. (2017). *CPML*. Obtenido de CPML: <https://pml.org.ni/index.php/servicios/mediciones-equipos>

CERVI S.L. (2022). Obtenido de cervi.es: <https://www.cervi.es/ES/3-productos/36--sistemas-de-cableado-y-racks/268-sistema-de-cableado-utp-cat5e.html#:~:text=El%20sistema%20de%20cableado%20estructurado,t rabajar%20a%20velocidades%20de%20hasta>



CITEmadera. (s.f.). Técnicas de secado de la madera. 31- 56.

ebay. (2022). Obtenido de ebay.com: <https://www.ebay.com/itm/303252537465>

Electronica plug and play. (2022). Obtenido de electronicaplugandplay.com:
<https://www.electronicaplugandplay.com/componentes-pasivos/product/277-rescarb-10-ohm-1w>

Electronilab. (2021). Obtenido de electronilab.com:
<https://electronilab.co/tienda/sensor-de-temperatura-ds18b20-tipo-sonda/>

ERCO. (2020). Obtenido de ercoshop.com.mx:
<https://www.ercoshop.com.mx/products/legrand-gabinete-036930>

escoem. (23 de 09 de 2019). <https://www.escoem.com/>. Obtenido de Los indicadores de gestión y la importancia del análisis de datos:
<https://www.escoem.com/es/blog/indicadores-datos-de-gestion/>

Final Test SA . (2022). finaltest.com.mx. Obtenido de <https://www.finaltest.com.mx/Extech-445580-NIST-Medidor-de-Temperatura-p/445580-nist.htm>

forum.arduino. (Octubre de 2019). *Arduino Forum*. Obtenido de lecturas de humedad, temperatura y CO2 repetidas tras varias horas:
<https://forum.arduino.cc/t/solucionado-lecturas-de-humedad-temperatura-y-co2-repetidas-tras-varias-horas/617764>

Fritzing. (2021). Obtenido de fritzing.org: <https://fritzing.org/>

Gerald Newton. (s.f.). electriciancalculators.com. Obtenido de electrician2.com:
<http://www.electriciancalculators.com/>

Grupo ANTÓN. (2021). *SERVICIOS QUE OFRECEMOS*. Obtenido de GESTIÓN INTEGRAL: <https://grupo-anton.com/servicios/#gestionIntegral>

Guereñu, R. L. (2012). *Simulación y optimización del captador de un secadero solar*. MADRID: UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID.



Ibujés, M. O. (09 de Diciembre de 2011). *Repositorio Digital Universidad Técnica del Norte*. Recuperado el 12 de Enero de 2022, de Repositorio Digital Universidad Técnica del Norte : <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/766>

Imbotec Group & MIZA-USA. (2022). *imbotech.com*. Obtenido de <https://www.imbotec.com/products/merlin-hm8-ws13-hd-moisture-meter>

Ingeniería MCI Ltda. (2022). Obtenido de [arduino.cl](https://arduino.cl/producto/arduino-mega-2560/): <https://arduino.cl/producto/arduino-mega-2560/>

Instituto Nicaragüense de Energía- INE. (septiembre de 2021). Obtenido de https://www.ine.gob.ni/wp-content/uploads/2021/12/media_tension_3_septiembre21.pdf

khanacademy.org. (2022). *khanacademy.org*. Obtenido de [khanacademy.org](https://es.khanacademy.org/math/probability/data-distributions-a1/summarizing-spread-distributions/a/introduction-to-standard-deviation): <https://es.khanacademy.org/math/probability/data-distributions-a1/summarizing-spread-distributions/a/introduction-to-standard-deviation>

llamas, I. (2022). Obtenido de [luisllamas.es](https://www.luisllamas.es/): <https://www.luisllamas.es/arduino-humedad-suelo-fc-28/>

Málaga, E. J. (2008). *Teorías de Autómatas y Lenguajes Formales*. España: Universidad de Extremadura.

MercadoLibre Perú S.R.L. (2022). Obtenido de <https://articulo.mercadolibre.com.pe/>: https://articulo.mercadolibre.com.pe/MPE-433107194-sensor-de-temperatura-lm35-dz-to-92-original-_JM

MercadoLibre S.R.L. (2022). Obtenido de [mercadolibre](https://articulo.mercadolibre.com.ar/): https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-844800802-guardamotor-siemens-14-20a-3rv2021-4ba10-innovation-tor-s0-_JM#position=2&search_layout=stack&type=item&tracking_id=96c0378f-8da1-490c-bbca-ee5ab1e85be8



Meza, G., Castillo, Z., Ramírez, L., & Fuentes, L. (2017). *Secador solar por convección forzada con adición de calor a través de caldera térmica para el tratamiento de secado de madera en FAREM-Esteli*. Esteli.

NASA - National Aeronautics and Space Administration. (s.f.). *POWER | Data Access Viewer*. Obtenido de Prediction Of Worldwide Energy Resource: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

Naylamp Mechatronics SAC. (2021). Obtenido de naylampmechatronics.com: <https://naylampmechatronics.com/sensores-temperatura-y-humedad/58-sensor-de-temperatura-y-humedad-relativa-dht22-am2302.html>

Naylamp Mechatronics SAC. (2021). Obtenido de naylampmechatronics.com: <https://naylampmechatronics.com/almacenamiento/104-modulo-lector-de-memoria-micro-sd-card.html>

Naylamp Mechatronics SAC. (2021). Obtenido de naylampmechatronics.com: <https://naylampmechatronics.com/inalambrico/43-modulo-bluetooth-hc05.html>

Naylamp Mechatronics SAC. (2021). *Naylamp Mechatronics SAC*. Obtenido de naylampmechatronics.com: <https://naylampmechatronics.com/drivers/152-modulo-relay-4-canales-5vdc.html>

Pita, E. G. (s.f.). *Principios y Sistemas de Refrigeración*.

Powerstream. (23 de Abril de 2021). www.powerstream.com. Obtenido de www.powerstream.com: https://www.powerstream.com/Wire_Size.htm

PowerStream Technology . (20 de marzo de 2021). <https://corpnewline.com/>. Obtenido de <https://corpnewline.com/nosotros.htm>: <https://corpnewline.com/calculadora-caida-de-tension.html>

Raffino, M. E. (12 de febrero de 2020). *Concepto.de*. Obtenido de [Concepto.de](https://concepto.de): <https://concepto.de/cinematica/>.



ServoVendi S.L. (2022). *servovendi.com*. Obtenido de <https://www.servovendi.com/uk/contact-thermometer-temperature-meter-type-k-750-c-tm-902c.html>

Soelco S.A.S. (2022). Obtenido de soelco: <https://soelco.co/producto/extractor-de-aire-8-28w-fulgore-fu1611/>

Soelco S.A.S. (2022). Obtenido de soelco: <https://soelco.co/producto/extractor-de-aire-12-43w-fulgore-fu1613/>

SUÁREZ, I. P. (2010). *DISEÑO TÉRMICO PARA UN HORNO SOLAR DE SECADO DE MADERA*.

TRUPER S.A. (2022). *truper.com*. Obtenido de <https://www.truper.com/multimetro-para-mantenimiento-industrial-con-gancho.html>

UNIT Electronics . (2022). Obtenido de [uelectronics.com](https://uelectronics.com/producto/lm358n-amplificador-operacional-pdip%E2%88%928/): <https://uelectronics.com/producto/lm358n-amplificador-operacional-pdip%E2%88%928/>

UNIT Electronics. (2022). *TIENDA DE COMPONENTES ELECTRÓNICOS*. Obtenido de [uelectronics.com](https://uelectronics.com/producto/modulo-rtc-ds3231-reloj-de-tiempo-real/): <https://uelectronics.com/producto/modulo-rtc-ds3231-reloj-de-tiempo-real/>

Villegas, J. A., & Guevara, E. B. (2017). *Diseño y construcción de un horno solar para el secado de madera dirigido a las pequeñas y medianas empresas del sector madera en Nicaragua*. Managua.

Viscarra, S. (1998). *GUIA PARA EL SECADO DE LA MADERA EN HORNOS*. Santa Cruz, Bolivia.

Wandel, M. (26 de Julio de 2010). *woodgears.ca*. Obtenido de https://woodgears.ca/lumber/moisture_meter.html