

Universidad Católica de Santa María
Facultad de Ciencia Ingenierías Físicas y Formales
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica,
Mecánica Eléctrica y Mecatrónica



“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE SECADO DE MAÍZ MORADO CON CONTROL PROPORCIONAL INTEGRAL DERIVATIVO”

Tesis presentada por los bachilleres:

Cáceres Pacheco, Carlos Eduardo

Salas Navia, Guillermo Arturo

para optar al Título Profesional de:

Ingeniero Mecatrónico

Asesor:

Dr. Valdez Loaiza Juan Carlos

Arequipa – Perú

2023

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
INGENIERIA MECANICA, MECANICA-ELECTRICA Y MECATRONICA
TITULACIÓN CON TESIS
DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 20 de Abril del 2023

Dictamen: 001988-C-EPIMMEM-2023

Visto el borrador del expediente 001988, presentado por:

2012247311 - SALAS NAVIA GULLERMO ARTURO
2012601751 - CACERES PACHECO CARLOS EDUARDO

Titulado:

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE SECADO DE MAÍZ MORADO
CON CONTROL PROPORCIONAL INTEGRAL DERIVATIVO**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

30857994 - GORDILLO ANDIA CARLOS ALBERTO
DICTAMINADOR



29592341 - MESTAS RAMOS SERGIO ORLANDO
DICTAMINADOR



29277716 - CUADROS MACHUCA JUAN CARLOS
DICTAMINADOR



“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE SECADO DE MAÍZ MORADO CON CONTROL PROPORCIONAL INTEGRAL DERIVATIVO

INFORME DE ORIGINALIDAD

20%

INDICE DE SIMILITUD

19%

FUENTES DE INTERNET

10%

PUBLICACIONES

9%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	1%
2	www.coursehero.com Fuente de Internet	1%
3	baixardoc.com Fuente de Internet	1%
4	1library.co Fuente de Internet	1%
5	www.ecorfan.org Fuente de Internet	1%
6	qdoc.tips Fuente de Internet	1%
7	Submitted to Escuela Politecnica Nacional Trabajo del estudiante	1%
8	bibdigital.epn.edu.ec Fuente de Internet	1%

9	renati.sunedu.gob.pe Fuente de Internet	1 %
10	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
11	itscv.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
12	hdl.handle.net Fuente de Internet	<1 %
13	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
14	docplayer.es Fuente de Internet	<1 %
15	dspace.utpl.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
16	www.electrogeekshop.com Fuente de Internet	<1 %
17	García Ruiz Marelyn Gabriela. "El sistema agroforestal milpa intercalada con árboles frutales (MIAF): rendimiento y calidad del grano de maíz asociado con frijol en respuesta al arreglo topológico en Texcoco, estado de México", TESIUNAM, 2015 Publicación	<1 %
18	pirhua.udep.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

19	repositorio.espe.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
20	Submitted to Universidad Politecnica Salesiana del Ecuador Trabajo del estudiante	<1 %
21	dspace.esPOCH.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
22	nanopdf.com Fuente de Internet	<1 %
23	Submitted to Universidad de Santiago de Chile Trabajo del estudiante	<1 %
24	alicia.concytec.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
25	dspace.utb.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
26	es.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
27	repositorio.unac.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
28	Cruz Vázquez Jennifer Daniela. "Secado solar de pera a cielo abierto y su comparación usando un deshidratador solar mixto tipo gabinete", TESIUNAM, 2023 Publicación	<1 %

29	www.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
30	Submitted to Universidad Pontificia Bolivariana Trabajo del estudiante	<1 %
31	es.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
32	Submitted to Universidad Autónoma de Nuevo León Trabajo del estudiante	<1 %
33	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
34	repository.upb.edu.co Fuente de Internet	<1 %
35	dspace.unach.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
36	electrogeekshop.com Fuente de Internet	<1 %
37	www.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
38	repository.unad.edu.co Fuente de Internet	<1 %
39	vdocuments.mx Fuente de Internet	<1 %

40	Espinoza Vázquez César. "Simulación numérica de la convección natural en una cavidad cuadrada con aire", TESIUNAM, 2011 Publicación	<1 %
41	docplayer.com.br Fuente de Internet	<1 %
42	dokumen.pub Fuente de Internet	<1 %
43	www.teslaelectronic.com.pe Fuente de Internet	<1 %
44	Submitted to Universidad Ricardo Palma Trabajo del estudiante	<1 %
45	repositorio.unjbg.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
46	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
47	repositorio.utn.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
48	Submitted to Submitted on 1685486620448 Trabajo del estudiante	<1 %
49	ninive.ismm.edu.cu Fuente de Internet	<1 %
50	openaccess.uoc.edu Fuente de Internet	<1 %

51	pt.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
52	Submitted to Unidades Tecnológicas de Santander Trabajo del estudiante	<1 %
53	archive.org Fuente de Internet	<1 %
54	repository.unipiloto.edu.co Fuente de Internet	<1 %
55	uleamingeneriadeprocessos.wordpress.com Fuente de Internet	<1 %
56	Submitted to Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD,UNAD Trabajo del estudiante	<1 %
57	repositorio.umsa.bo Fuente de Internet	<1 %
58	revistas.sena.edu.co Fuente de Internet	<1 %
59	rinacional.tecnm.mx Fuente de Internet	<1 %
60	worldwidescience.org Fuente de Internet	<1 %
61	www.clubensayos.com Fuente de Internet	<1 %

62	repository.unab.edu.co Fuente de Internet	<1 %
63	Sánchez Martínez Jesús Salvador. "Análisis y selección de un proceso de generación de vapor mediante el aprovechamiento de la energía térmica de un horno incinerador de residuos peligrosos", TESIUNAM, 2015 Publicación	<1 %
64	repositorio.ug.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
65	tesis.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
66	Martinez Peralta Concepcion. "Biología floral de Ariocarpus fissuratus (Engelmann) Schumann (Cactaceae) en cuatro cienegas, Coahuila, Mexico", TESIUNAM, 2007 Publicación	<1 %
67	anaiscbens.emnuvens.com.br Fuente de Internet	<1 %
68	core.ac.uk Fuente de Internet	<1 %
69	google.redalyc.org Fuente de Internet	<1 %
70	repositorio.unicach.mx Fuente de Internet	<1 %

71	Esparza Ramos Jorge Eduardo. "Instrumentación de un socket protésico a nivel transfemoral", TESIUNAM, 2016 Publicación	<1 %
72	dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
73	dspace.unl.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
74	idoc.pub Fuente de Internet	<1 %
75	www.researchgate.net Fuente de Internet	<1 %
76	www.unipamplona.edu.co Fuente de Internet	<1 %
77	Cuan Aguilar María Guadalupe. "Análisis de la vivienda en el trópico húmedo : elementos bioclimáticos y arquitectura vernácula : caso Tuxpan, Veracruz", TESIUNAM, 2010 Publicación	<1 %
78	Submitted to Universidad del Valle Trabajo del estudiante	<1 %
79	agraria.pe Fuente de Internet	<1 %
80	www.conacyt.gov.py Fuente de Internet	<1 %

81 Mata Ledesma José Luis. "Control de modos deslizantes en un motor de corriente directa", TESIUNAM, 2005 $<1\%$
Publicación

82 Submitted to Universidad Nacional de Colombia $<1\%$
Trabajo del estudiante

83 issuu.com $<1\%$
Fuente de Internet

84 Arellano Romero Osvaldo. "Modelado, análisis y control de un convertidor de energía de las olas", TESIUNAM, 2018 $<1\%$
Publicación

85 Castillo Hernández Leidy Jazmín, Sánchez Cruz Mario Edgar. "Propuesta para la implementación de plantas termosolares para la generación de energía eléctrica en México", TESIUNAM, 2019 $<1\%$
Publicación

86 Saldívar Rangel Miguel Ángel, Vázquez Ávila Oscar Alfonso. "Diseño y construcción de un control de temperatura para el experimento de Franck-Hertz", TESIUNAM, 2010 $<1\%$
Publicación

87 Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga $<1\%$
Trabajo del estudiante

88	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
89	www.m.growingscience.com Fuente de Internet	<1 %
90	Submitted to Universidad Católica del CIBAO Trabajo del estudiante	<1 %
91	Submitted to Universidad Politecnica Salesiana del Ecuador Trabajo del estudiante	<1 %
92	epdf.pub Fuente de Internet	<1 %
93	prezi.com Fuente de Internet	<1 %
94	Arteaga Arreola Anahi. "Estudios de disolucion mediante un dispositivo de flujo continuo con control cinetico de primer orden", TESIUNAM, 2007 Publicación	<1 %
95	Submitted to UISEK Trabajo del estudiante	<1 %
96	Submitted to Universidad Pontificia de Salamanca Trabajo del estudiante	<1 %
97	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

98	repositorio.upct.es Fuente de Internet	<1 %
99	Amundarain, M, M Alberdi, A J Garrido, and I Garrido. "Control strategies for OWC wave power plants", Proceedings of the 2010 American Control Conference, 2010. Publicación	<1 %
100	Breton García Rogelio Arturo. "Estudio experimental de fluido negro en colectores solares", TESIUNAM, 1994 Publicación	<1 %
101	prof.usb.ve Fuente de Internet	<1 %
102	www.laccei.org Fuente de Internet	<1 %
103	Terrones Porcayo Ángel Rodrigo. "Estimación geoestadística de la permeabilidad de las arcillas del ex Lago de Texcoco a partir de pruebas de consolidación", TESIUNAM, 2021 Publicación	<1 %
104	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante	<1 %
105	amanecerelcampo.netfirms.com Fuente de Internet	<1 %
106	didacticaselectronicas.com	

Fuente de Internet

<1 %

107 repositoriotec.tec.ac.cr
Fuente de Internet

<1 %

108 steemit.com
Fuente de Internet

<1 %

109 www.tecneu.com
Fuente de Internet

<1 %

110 www.youtube.com
Fuente de Internet

<1 %

111 Gama Perez José David. "Análisis teórico-experimental de un deshidratador solar combinado (térmico-fotovoltaico) para el tratamiento de arroz", TESIUNAM, 2007
Publicación

<1 %

112 López Vidaña Erick César. "Estudio experimental del proceso de secado solar directo e indirecto y su efecto sobre la capacidad antioxidante de la fresa (*fragaria x ananassa*), arándano azul (*vaccinium corymbosum*) y zarzamora (*rubus fruticosus*)", TESIUNAM, 2016
Publicación

<1 %

113 Mendoza Hernández Orlando. "Diseño de software de apoyo durante el control de un pozo", TESIUNAM, 2016
Publicación

<1 %

114	Sánchez Hernández Gabriela. "estudio comparativo del efecto de diferentes especies del genero Aspergillus y de la humedad de almacenamiento sobre el vigor y la longevidad de la semilla de maiz (Zea mays L.)", TESIUNAM, 2005 Publicación	<1 %
115	digibuo.uniovi.es Fuente de Internet	<1 %
116	documentop.com Fuente de Internet	<1 %
117	dokumen.site Fuente de Internet	<1 %
118	Submitted to indoamerica Trabajo del estudiante	<1 %
119	repositorio.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
120	repositorio.uisrael.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
121	repositorio.unj.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
122	riunet.upv.es Fuente de Internet	<1 %
123	usermanual.wiki Fuente de Internet	<1 %

124	www.elconfidencial.com Fuente de Internet	<1 %
125	www.repositoriodigital.ipn.mx Fuente de Internet	<1 %
126	www.scielo.org.mx Fuente de Internet	<1 %
127	www.sec.upm.es Fuente de Internet	<1 %
128	www.univalle.edu Fuente de Internet	<1 %
129	Ayllón Torres Teresa. "Elementos de meteorología : una aportación para el análisis de las variables meteorológicas", TESIUNAM, 1995 Publicación	<1 %
130	Balleza Mejía Humberto Enrique. "Técnicas de control en tiempo real aplicadas a procesos de separación de fases y compresión de gas", TESIUNAM, 2004 Publicación	<1 %
131	Flores Gil Hector. "Metodología de cálculo de balance térmico de edificios de uso no residencial.", TESIUNAM, 2011 Publicación	<1 %
132	JADER RODRIGUEZ CORTINA. "CONTRIBUCION AL ESTUDIO DE LA	<1 %

INTENSIFICACION DEL PROCESO DE SECADO DE TOMILLO (Thymus Vulgaris L.): APLICACIÓN DE ULTRASONIDOS DE POTENCIA Y SECADO INTERMITENTE", 'Universitat Politecnica de Valencia', 2015

Fuente de Internet

133 Rodríguez Zúñiga José Luis. "Estudio teórico experimental del comportamiento estático y dinámico de medios estratificados", TESIUNAM, 2010

Publicación

<1 %

134 Silva Norman Azucena. "Aplicación de deshidratadores solares para la reducción de mermas agrícolas : el caso de la zarzamora", TESIUNAM, 2019

Publicación

<1 %

135 Sol Zuñiga Verónica, Serrano Saldaña Enrique. "Diseño experimental para analizar la transferencia de calor y mapeo de la temperatura en un sistema matriz-fractura durante un proceso de inyección de vapor", TESIUNAM, 2014

Publicación

<1 %

136 Vega Torreblanca Sofía. "Evaluando confort térmico con adobe, bahareque, ladrillo y block : 3 zonas de estudio en Oaxaca", TESIUNAM, 2021

Publicación

<1 %

137	airelimpioglobal.com Fuente de Internet	<1 %
138	camacolnarino.org Fuente de Internet	<1 %
139	cdigital.uv.mx Fuente de Internet	<1 %
140	ddd.uab.cat Fuente de Internet	<1 %
141	fr.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
142	repositorio.uceva.edu.co Fuente de Internet	<1 %
143	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
144	repositorio.upse.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
145	repositorio.utc.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
146	ri.uaemex.mx Fuente de Internet	<1 %
147	tesis.unap.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
148	uk.thinkgizmos.com Fuente de Internet	<1 %

149

vsip.info

Fuente de Internet

<1 %

150

www.gardena.com

Fuente de Internet

<1 %

151

www.miralles.com

Fuente de Internet

<1 %

152

www.mysciencework.com

Fuente de Internet

<1 %

153

Fernandez Vega Eduardo. "Proyecto de aire acondicionado para comodidad en un hotel", TESIUNAM, 1994

Publicación

<1 %

154

Guzmán Peña Mauricio. "Ampliación y mejoramiento de funcionalidades a un sistema controlador de iluminación RGB destinado para el apoyo de estímulo multisensorial de niños con discapacidades cognitivas", TESIUNAM, 2022

Publicación

<1 %

155

Hernández Andrés Karla Judith. "Revisión actualizada sobre la influencia de diferentes tipos de maíces, etapas del proceso de elaboración tradicional, microorganismos que participan y la posible estandarización de la bebida tradicional tesgüino", TESIUNAM, 2022

Publicación

<1 %

156	Rios Ramirez Roberto. "Diseño y construcción de un automata seguidor de linea inteligente", TESIUNAM, 2006 Publicación	<1 %
157	Valencia Bonilla Nathalia Teresa. "Secado solar de lodos", TESIUNAM, 2008 Publicación	<1 %
158	gestionaniental.blogspot.com Fuente de Internet	<1 %
159	idus.us.es Fuente de Internet	<1 %
160	repositorio.ufsc.br Fuente de Internet	<1 %
161	revistas.usfq.edu.ec Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias

Apagado

Excluir bibliografía

Apagado

DEDICATORIA

A mis Padres Eduardo y María, hermanos, abuelos y tíos.

Carlos Cáceres P.

A mis Padres Guillermo y Evelyn, hermanos, abuelos, tíos y mi gordita.

Guillermo Salas N.



AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por ser mi guía, mis padres por siempre darme lo mejor y apoyarme en los tiempos difíciles, hermanos, familiares y amigos; por haber estado presente durante esta etapa Universitaria, donde me llevo una grata experiencia y buenos recuerdos vividos. No hubiese sido posible llegar aquí, sin cada persona involucrada durante este proceso.

Carlos Cáceres P.

Agradezco a Dios, el apoyo incondicional de mis padres, que siempre se sacrificaron por darme lo mejor. A mi tía Magaly por confiar en mí y soportar mis estudios. A mi tía Ketty que siempre me apoyo para seguir adelante y seguir mi pasión, a mi tía Isabel y Vicente que me guiaron para ser una persona y profesional con ética y principios. A mis hermanos Fiorela y Carlos que me impulsan a ser mejor cada día, a mi prima Paula que siempre estuvo ahí para apoyarme. A mi abuela Normita que fue la guía y soporte primordial para no rendirme en los momentos más difíciles. A mis amigos Juan, Max, Jordi y Cachi por estos increíbles años de amistad y por esas amanecidas en la Universidad. A Corita y Kongcito que son la luz de mis ojos y me dieron esperanza de una vida mejor. Gracias a todos por el apoyo brindado durante estos años, sin su ayuda no sería el hombre que soy hoy tanto en lo profesional como en lo personal.

Guillermo Salas N.

RESUMEN

La presente investigación tuvo como principal objetivo el diseño y construcción de un secador solar de maíz con control Proporcional, Integral y Derivativo, para funcionamiento en la ciudad de Arequipa. Con dicho fin se determinó como principios de secado la transferencia de calor por radiación y convección forzada por ducto. Para el diseño mecánico se determinó un diseño de secado solar con dos aberturas; de 0.31m² de abertura principal para aprovechar el secado por radiación y una abertura de 0.13m² para el mecanismo de transferencia por convección forzada, el diseño tiene una altura de 1.25m y de largo de 0.9m. Para el diseño de control se empleó principalmente Arduino mega, sensores de temperatura y humedad DTH 22 y 06 actuadores (ventiladores). Para el procedimiento se realizaron pruebas de ajuste y corrección de errores que paso por tres fases: Sin circulación con Arduino nano, sin circulación con Arduino mega y con circulación con Arduino mega. Finalmente se realizaron 05 pruebas obteniendo el secado del maíz a 14% en el segundo día del quinto ensayo, las 05 pruebas tienen un tiempo de secado de 08 horas en horas de sol, manteniendo una temperatura interna del prototipo de 46°C en promedio.

Palabras clave: Prototipo de secador, Control PID, Control de temperatura

ABSTRACT

The main objective of this research was the design and construction of a solar corn dryer for operation in the city of Arequipa. For this purpose, the principles of drying were determined as heat transfer by radiation and forced convection through a duct. For the mechanical design, a drying design with two openings was determined; a main opening of 0.31m^2 to take advantage of radiation drying and an opening of 0.13m^2 for the forced convection transfer mechanism. The design has a height of 1.25m and a length of 0.9m . For the control design we used mainly Arduino mega, temperature and humidity sensors DTH 22 and 06 actuators (fans). For the procedure, adjustment and error correction tests were performed in three phases; without circulation with Arduino nano, without circulation with Arduino mega and with circulation with Arduino mega. Finally, 05 tests were carried out obtaining the drying of the corn to 14% on the second day of the fifth trial, the 05 tests have a drying time of 08 hours in sunlight hours, maintaining an internal temperature of the prototype of 46°C on average.

Key words: Prototype purple corn dryer, PID control, Temperature control,

INTRODUCCIÓN

La presente investigación desarrolla y explica el diseño y construcción de un prototipo de secado de maíz, el cual funciona en base a la potencia solar disponible en la ciudad de Arequipa, aprovechando los mecanismos de transferencia de calor hacia el grano de maíz mediante radiación directa y convección forzada.

En el desarrollo del Capítulo I se responde a la pregunta ¿Por qué estamos investigando? Desarrollando la identificación del problema, planteamiento de los objetivos, hipótesis y justificación.

En el Capítulo II se realizó la investigación bibliográfica, respondiendo a la pregunta ¿Cuál es el estado de desarrollo de este tipo de tecnología y cuáles son las bases para el diseño y construcción?

En el capítulo III se desarrolla la ingeniería, dimensionamiento del prototipo mecánico y electrónico, selección de componentes y desarrollo del código, respondiendo a la pregunta ¿Cómo se construye y cuáles son las bases de ingeniería para el diseño del prototipo?

En el Capítulo IV se da evidencia del desarrollo de los ensayos para el secado de maíz, describiendo las pruebas, ajustes y ensayos. respondiendo a la pregunta ¿Cómo se logró diseñar y construir el prototipo de secado de maíz y que tan eficiente es?

Así mismo se realizaron pruebas y ajustes que pasaron por tres etapas; pruebas sin circulación y Arduino nano, sin circulación con Arduino mega y con circulación con Arduino mega, desarrollando 05 ensayos posteriormente y finalizando se presenta las conclusiones y recomendaciones.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
RESUMEN.....	v
ABSTRACT	vi
INTRODUCCIÓN	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	viii
CAPÍTULO I.....	15
1 MARCO METODOLÓGICO.....	15
1.1. Identificación de la Problemática.....	16
1.2. Justificación del prototipo.....	16
1.2.1. Relevancia Científica	17
1.2.2. Relevancia Social.....	19
1.3. Objetivos	22
1.3.1. Objetivo General.....	22
1.3.2. Objetivos Específicos.....	22
1.4. Hipótesis.....	22
1.5. Alcances y limitaciones	22
1.6. Tipo de investigación.....	22
1.7. Nivel de la investigación.....	23
1.8. Operacionalización de variables	23
1.9. Antecedentes de la investigación	23
CAPÍTULO II	29
2 MARCO TEÓRICO.....	29
2.1. Maíz morado	30
2.2. Métodos de secado de grano	31
2.2.1. Métodos directos.....	31
2.2.2. Métodos indirectos.....	31
2.3. Tipos de Secadores.....	32
2.3.1. Secador Solar Parabólico	32
2.3.2. Secador Solar Indirecto por Convección Forzada:	32
2.3.3. Secador Semi-Industrial de Convección Forzada	33
2.3.4. Secador Solar Tradicional.....	34
2.3.5. Secador de Bandeja con aire forzado.....	34
2.3.6. Secador Solar tipo Invernadero.....	35
2.3.7. Secadores por Carga	35
2.3.8. Secador Rotatorio.....	36
2.3.9. Secador de bandeja de flujo paralelo	37
2.4. Temperatura y humedad.....	37
2.4.1. Escalas de medición de temperatura	37
2.4.2. Medición de la temperatura	39
2.4.3. Sensores de temperatura de semiconductores.....	43
2.4.4. Humedad	43
2.5. Fluido	45
2.5.1. Flujo laminar	45

2.5.2. Flujo turbulento.....	46
2.6. Mecanismo de transferencia de Calor:.....	47
2.6.1. Conducción	47
2.6.2. Convección	48
2.6.3. Radiación	50
2.7. Dispositivos de control y sensado.....	51
2.7.1. Microcontroladores (Atmega2560 - Arduino mega)	51
2.7.2. Sensores de temperatura y humedad (DHT22).....	53
2.7.3. Actuadores (ventiladores).....	54
2.7.4. Driver (L298N).....	55
2.7.5. Teclado matricial	57
2.7.6. Pantallas	58
2.7.7. Reguladores y Rectificadores	62
CAPÍTULO III	64
3 DISEÑO EN INGENIERÍA.....	64
3.1. Flujograma del proceso de Fabricación	65
3.2. Mecanismos de secado solar	65
3.3. Diseño mecánico.....	66
3.3.1. Dimensionamiento mecánico:.....	66
3.3.2. Construcción	72
3.4. Diseño de control	74
3.4.1. Criterios para el control PID.....	74
3.4.2. Sustento matemático para el control.....	75
3.4.3. Selección de equipos.....	76
3.4.4. Instalación	79
3.4.5. Código.....	84
3.4.6. Diagrama de flujo del Control PID.....	91
3.4.7. Desarrollo del control PID	92
CAPÍTULO IV	106
4 PRUEBAS EXPERIMENTALES, AJUSTES Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	106
4.1. Pruebas del prototipo	107
4.1.1. Pruebas del sistema mecatrónico	107
4.1.2. Ensayos	110
CONCLUSIONES	118
RECOMENDACIONES	120
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	121

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Destinos del envío del maíz morado	20
Tabla 2	Exportación maíz morado-Perú.....	20
Tabla 3	Operacionalización de variables.....	23
Tabla 4	Valores de coeficientes de transferencia de calor	50
Tabla 5	Emisividad de algunos materiales a 300k	51
Tabla 6	Características del Arduino Mega 2560	52
Tabla 7	Características del Sensor DHT22	54
Tabla 8	Características técnicas de Teclado matricial 4 x 4.....	58
Tabla 9	Características técnicas de pantalla LCD 1602	59
Tabla 10	Características técnicas de pantalla LCD 2004A.....	60
Tabla 11	Características técnicas de pantalla GLCD128x64.....	61
Tabla 12	Características de adaptador I2C para pantallas LCD 20x4	62
Tabla 13	Rangos máximos.....	62
Tabla 14	Selección del mecanismo de transferencia de calor.....	66
Tabla 15	Partes del secador.....	71
Tabla 16	Parámetros de controlador	76
Tabla 17	Selección de materiales.....	77
Tabla 18	Regla de sintonía de Ziegler- Nichols (segundo método).....	103
Tabla 19	Determinación de valores según criterio Array Routh	104
Tabla 20	Primera prueba sin circulación con Arduino	108
Tabla 21	Segunda prueba sin circulación con Arduino	108
Tabla 22	Parámetros de los sensores sin circulación con Arduino	108
Tabla 23	Segunda prueba con circulación con Arduino	109
Tabla 24	Parámetros de los sensores con Arduino	109
Tabla 25	Pesos de las muestras	110
Tabla 26	Datos en el Ensayo 01	111
Tabla 27	Datos en el Ensayo 02.....	112
Tabla 28	Datos en el Ensayo 03.....	113
Tabla 29	Datos en el Ensayo 04.....	114
Tabla 30	Datos en el Ensayo 05-I.....	115
Tabla 31	Datos en el Ensayo 05-II.....	116

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Mazorca maíz morado.....	17
Figura 2	Tendal de Secado de maíz morado	18
Figura 3	Tusa del maíz morado	18
Figura 4	Producción peruana de maíz morado	19
Figura 5	Principales empresas exportadoras de maíz morado	21
Figura 6	Maíz morado	30
Figura 7	Secador solar con cubierta de plástico.....	32
Figura 8	Secador solar indirecto por circulación forzada.....	32
Figura 9	Colectores y cámaras de secado.....	33
Figura 10	Vista frontal del secador tradicional.....	34
Figura 11	Secador de Bandeja	35
Figura 12	Secador Tipo Invernadero	35
Figura 13	Secado por Carga	36
Figura 14	Secador Rotatorio.....	36
Figura 15	Secador de bandeja de flujo paralelo y esquema.....	37
Figura 16	Comparación de escala de temperaturas	38
Figura 17	Medición de la unidad calorífica.....	38
Figura 18	Resumen de medidor de temperatura	39
Figura 19	Termómetro de vidrio.....	39
Figura 20	Termómetro bimetalico	40
Figura 21	Termómetro de bulbo y espiral.	41
Figura 22	Partes de un termómetro de Resistencia.....	42
Figura 23	Circuito básico de una termocupla	42
Figura 24	Principio funcionamiento termómetro de radiación.....	43
Figura 25	Esquema Carta Psicométrica.....	44
Figura 26	Esfuerzo cortante de un sólido y un fluido.....	45
Figura 27	Experimento de Reynolds	45
Figura 28	Régimen de desplazamiento de fluidos.....	46
Figura 29	Perfil de velocidades en capa limite turbulenta.....	47
Figura 30	Transferencia de calor	47
Figura 31	Conducción de calor a través de una pared	48
Figura 32	Transferencia de calor por convección.....	49
Figura 33	Transferencia de calor por radiación.....	50
Figura 34	Arduino MEGA 2560.....	52
Figura 35	Imagen Arduino Mega 2560	53
Figura 36	Sensores DHT11 y DHT22	54
Figura 37	Ventilador de computadora	55
Figura 38	Esquema de conexión.....	55
Figura 39	Diagrama de conexión de Driver L298N	56
Figura 40	Diagrama del Teclado Matricial 4x4	57
Figura 41	Teclado matricial 4x4 interruptores de membrana	58
Figura 42	Pantalla LCD 1602.....	59
Figura 43	Pantalla LCD 2004A	60
Figura 44	Pantalla GLCD 128x64.....	61
Figura 45	Adaptador I2C para pantalla LCD 20x4	61

Figura 46	Reguladores.....	63
Figura 47	AC/DC Rectificador 1250.....	63
Figura 48	Flujograma de procesos.....	65
Figura 49	Prototipo del secador.....	71
Figura 50	Instalación de carcasa y soportes del secador.....	72
Figura 51	Instalación de espuma expansiva.....	72
Figura 52	Instalación de rejilla.....	73
Figura 53	Modelo mecánico terminado.....	73
Figura 54	Elaboración interfaz Proteus.....	79
Figura 55	Instalación de tableros de control.....	79
Figura 56	Bosquejo de instalación a placa madre.....	80
Figura 57	Instalación de Arduino nano.....	80
Figura 58	Cableado y conexión.....	81
Figura 59	Instalación de pantalla LED conexasión a Arduino.....	81
Figura 60	Instalación completada con Arduino mega.....	82
Figura 61	Instalación de sensores y actuadores.....	82
Figura 62	Diseño mecánico final.....	83
Figura 63	Librería de código.....	85
Figura 64	Declaración de variables.....	86
Figura 65	Leds.....	86
Figura 66	Ventiladores.....	87
Figura 67	Teclado matricial.....	87
Figura 68	Programación de mensajes.....	88
Figura 69	Configuración de librerías.....	88
Figura 70	Programación de LED y pines.....	89
Figura 71	Subprogramas.....	90
Figura 72	Datos registrados de tiempo vs temperatura promedio.....	93
Figura 73	Código para obtener gráfica de comportamiento de la planta.....	93
Figura 74	Curva característica del comportamiento de nuestra planta.....	94
Figura 75	Espacio de trabajo para insertar curva característica de la planta, comparando con la función de transferencia.....	94
Figura 76	Ingreso de Curva característica de los datos obtenidos en Ventana “ident”.....	95
Figura 77	Estimación de ceros y polos.....	95
Figura 78	Función de Transferencia óptima.....	96
Figura 79	Visualización de Función de Transferencia.....	97
Figura 80	Función de Transferencia.....	97
Figura 81	Ubicación de polos y ceros.....	98
Figura 82	Respuesta a un escalón unitario de una planta.....	98
Figura 83	Curva de respuesta de formas.....	99
Figura 84	Primer método de Zigher y Nicols.....	99
Figura 85	Respuesta de la planta ante una entrada de escalón unitario.....	100
Figura 86	Sistema en lazo cerrado con un controlador proporcional.....	100
Figura 87	Oscilaciones sostenidas con períodos de P_{CR}	101
Figura 88	Segundo método de Zighers y Nicols.....	101
Figura 89	Curva de respuesta a un escalón unitario.....	102
Figura 90	Oscilación sostenida con P_{cr}	102
Figura 91	Criterio de Array de Routh para el K_{cr}	103

Figura 92	Función de transferencia con control PID.....	104
Figura 93	Colocación de parámetros en bloque PID.....	105
Figura 94	Gráfica con parámetros de control PID implementados.....	105
Figura 95	Panel fotográfico de procedimientos de registros.....	110
Figura 96	Gráfica humedad lograda.....	117



ABREVIATURAS Y SIGLAS

PID	:	Proporcional Integral Derivativo.
EES	:	Solucionador de Ecuaciones de Ingeniería.
UV	:	Radiación ultravioleta. (m.W/m ²)
FOB	:	Libre a bordo, es el valor de la mercancía puesta a bordo de un transporte marítimo.
ϵ	:	Emisividad de la superficie ($0 \leq \epsilon \leq 1$)
σ	:	Constante de Stefan-Boltzmann ($5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$)
T_s	:	Temperatura superficial (°C)
H	:	Coefficiente de transferencia de calor por convección en (W/m ² . °C)
A_s	:	Área superficial a través de la cual tiene lugar la transferencia de calor por convección (m ²)
T_s	:	Temperatura superficial (°C)
T_∞	:	Temperatura del fluido suficientemente alejado de esta superficie (°C)
Q_{ca}	:	Calor necesario para calentar el agua del maíz. (KJ)
m	:	Masa del maíz (Kg)
T_m	:	Temperatura del maíz (K)
T_a	:	Temperatura del ambiente (K)
Cpm	:	Calor específico del maíz (J/kg)
m_v	:	Masa de vapor de agua contenido en un volumen dado de aire (%)
m_{vs}	:	Masa de vapor de agua que contendría ese mismo volumen si estuviera saturado (%)





CAPÍTULO I
MARCO METODOLÓGICO

1.1. Identificación de la Problemática

El secado de maíz morado debe seguir una tecnología que permita preservar y mantener la calidad de la pigmentación, este secado debe realizarse de forma rápida y se podría aplicar aire forzado como la energía solar (Manrique Chávez, 2000).

En las zonas rurales, una de las actividades que consumen una cantidad significativa de energía es el proceso de secado de productos agroalimentarios. Para garantizar la conservación adecuada de muchos productos agrícolas, es necesario llevar a cabo un proceso de secado después de la cosecha. El propósito de este proceso es eliminar la humedad del producto y se puede lograr mediante diversas técnicas, siendo las más comunes la exposición del producto al aire, ya sea natural o forzado, a temperatura ambiente o previamente calentado. El secado tiene la ventaja de prevenir la destrucción de microorganismos o la aparición de reacciones químicas, lo que permite conservar los productos a largo plazo (Molina Fuertes, 2013).

Es fundamental lograr un secado homogéneo para preservar la calidad de los granos y prevenir el desarrollo de manchas que pueden dar lugar a la propagación de hongos. Asimismo, un secado uniforme facilita el proceso de desgrane de manera efectiva. En condiciones naturales, los granos requieren alrededor de 30 a 45 días para alcanzar un nivel de humedad de aproximadamente el 14%. Sin embargo, para acelerar este proceso, se recomienda girar las mazorcas con precaución al menos tres veces, evitando en todo momento la separación de los granos. (Instituto Nacional de innovación agraria, 2020)

Como se menciona anteriormente el tiempo de secado es de hasta 40 días en procesos artesanales de secado, por ejemplo en el Colca es mediante silos aéreos rectangulares caseros (INIA, 2000). Para todo este proceso se requiere de personal que pueda velar por el correcto secado del maíz ocupando recursos los cuales pueden ser reemplazados y reducidos. Es por ello que surge la necesidad de poder diseñar y construir un prototipo de secado automatizado que pueda optimizar recursos del secado artesanal manteniendo las propiedades nutricionales de maíz morado.

1.2. Justificación del prototipo

Perú es uno de los países más ricos en naturaleza, diversidad de climas y suelos lo cual permite la cosecha de alimentos exóticos en grandes cantidades y con grandes propiedades que no pueden ser cosechados en otros países, lo que ha vuelto a nuestro país en un gran exportador de alimentos entre los que destaca el maíz morado. Lastimosamente la industria no es algo en lo que el país lidere, otros países nos llevan ventaja en eso y muchas soluciones para los

procesos de los alimentos aquí son arcaicas y limitadas, entre estas el secado es un proceso que demora mucho tiempo lo que es limitante y perjudicial.

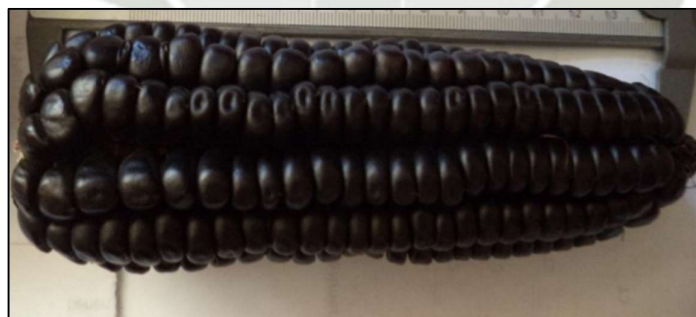
Bajo este contexto, surgió la motivación de encontrar una solución que no solo mejore la eficiencia del proceso de secado, sino que también contribuya al desarrollo de la industria en nuestro país. Como resultado, se ha desarrollado la presente tesis como una propuesta para abordar la problemática existente: la falta de un módulo automatizado que agilice el secado del maíz morado.

Dicho esto, para justificar la realización de la presente tesis se evaluará su relevancia tanto científica como social.

1.2.1. Relevancia Científica

Para lograr un secado eficiente, es importante considerar que este debe ser rápido y evitar dejar las mazorcas expuestas al sol por períodos prolongados. Esto se debe a que la exposición prolongada al sol puede ocasionar la pérdida de pigmentación en la tusa del maíz, que es la parte que contiene la mayor cantidad de antocianina, la cual es la materia prima principal del maíz morado. Por lo tanto, se recomienda tomar precauciones para evitar la pérdida de pigmentación durante el proceso de secado, asegurando así la conservación de la calidad y propiedades del maíz morado. (Requis Varillas, 2012). Véase el maíz morado en la *Figura 1*.

Figura 1
Mazorca maíz morado



Nota: Quispe Mendoza, (2017)

En el caso específico del maíz morado, no se lleva a cabo el desgrane durante la cosecha. Después de la cosecha, todas las operaciones en el campo concluyen, y se procede al secado del maíz para su posterior almacenamiento y comercialización. Es de vital importancia que el secado sea rápido con el objetivo de preservar y mantener la calidad de la pigmentación, especialmente en la tusa del maíz. Esto se debe a que un secado prolongado puede propiciar el

desarrollo de hongos, como el *Pinicillium* spp.

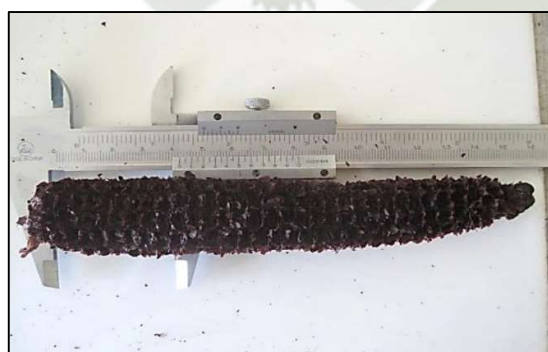
Para asegurar un secado efectivo, las mazorcas con su alta humedad deben ser extendidas en capas no superiores a los 25 cm, como se puede ver en la **Figura 2**. Además, es necesario realizar volteos periódicos para favorecer la ventilación y evitar la acumulación de humedad. Estas prácticas contribuirán a mantener la calidad y el aspecto visual del maíz morado durante el proceso de secado. (Pinedo Taco, 2015; Requis Varillas, 2012). Véase la tusa del maíz morado en la **Figura 3**.

Figura 2
Tendal de Secado de maíz morado



Nota: Requis Varillas, (2012)

Figura 3
Tusa del maíz morado



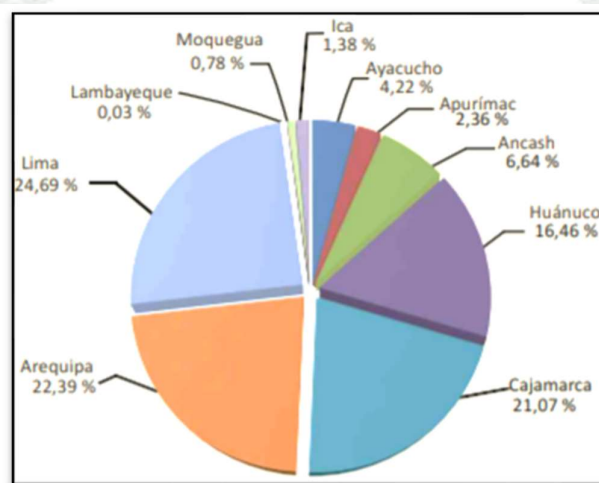
Nota: Diana Auria Mamani Velarde, (2017)

1.2.2. Relevancia Social

El Perú tiene la mayor variedad de maíces del mundo con 36 ecotipos. La Dirección General de Competitividad Agraria del Ministerio de Agricultura, señala que las regiones que tienen mayor producción de maíz morado son: Lima con 24,69 %, Arequipa con 22,39 %, Cajamarca con 21,07 % y Huánuco con 16,46 % (**Figura 4**) (Requis Varillas, 2012).

Figura 4

Producción peruana de maíz morado



Nota: Ministerio de Agricultura, (2011)

Durante el 2020, Perú exportó 6 755 647 kilos de maíz morado por un valor FOB de US\$ 12 550 179. Estas cifras revelan un incremento exponencial desde los 798 810 kilos exportados en 2019 por US\$ 1 249 588.

Según revela el portal Agrodata Perú, el principal destino de estos envíos el año reciente pasado fue Estados Unidos, donde se lograron colocaciones por US\$ 6 886 733 (55% del total de envíos). A continuación, se ubicaron otros envíos en los países (Agrodata Perú, 2021).

Véase **Tabla 1**.

Tabla 1
Destinos del envío del maíz morado

Destino de Envío	
España	\$ 1,693,687.00
Ecuador	\$ 1,281,573.00
Bélgica	\$ 637,702.00
Países bajos	\$ 637,702.00
Canadá	\$ 394,470.00
Chile	\$ 299,120.00
Portugal	\$ 215,553.00
otros	\$ 679,243.00

Nota: Agrodata, (2021) Modificada

Se observa la Exportación del Maíz Morado del Perú en los últimos 3 años en la **Tabla 2** y las empresas exportadoras de este durante el año 2021 en la **Figura 5**.

Tabla 2
Exportación maíz morado-Perú

Mes	2021			2020			2019		
	FOB	Kilos	Precio Promedio	FOB	Kilos	Precio Promedio	FOB	Kilos	Precio Promedio
enero	106,317	55,863	1.90	112,236	69,975	1.60	65	35,657	1.83
febrero	111,143	77,785	1.44	118,847	58,533	2.03	65,106	31,114	2.09
marzo	86,137	62,357	1.38	95,167	51,004	1.87	34,872	24,075	1.45
abril	118,820	56,880	2.09	92,585	74,164	1.25	83,296	40,729	2.05
mayo	126,981	72,242	1.76	100,344	95,606	1.05	38,194	23,648	1.62
junio	71,359	33,514	2.13	162,452	135,252	1.20	76,901	47,002	1.64
julio				157,653	152,815	1.03	169,114	117,618	1.44
agosto				204,485	134,065	1.53	108,229	82,239	1.32
setiembre				120,474	139,308	0.87	184,685	131,484	1.40
octubre				206,355	188,642	1.09	182,408	121,212	1.50
noviembre				180,714	79,795	1.37	129,323	81,201	1.59
diciembre				83,644	81,189	1.03	111,278	62,831	1.79
total	621,757	358,640	1.73	1,564,228	1,260,349	1.24	1,249,588	798,810	1.56
promedio mes.	103,626	59,773		130,352	105,029		104,132	66,568	
% crec. Anual	-21%	-43%	-40%	25%	58%	21%	5%	0%	17%

Nota: Agrodata, (2021)

Figura 5
Principales empresas exportadoras de maíz morado



Nota: Agrodata, (2021) Modificada

La exportación del maíz morado en Perú posee un enorme potencial para impulsar el desarrollo económico y social del país, ya que genera empleo y oportunidades para los peruanos. El maíz morado se caracteriza por sus granos, brácteas (panca) y coronta (tusa) de color morado a negro, gracias a la presencia de un pigmento natural llamado antocianina. Lo destacado del maíz morado es que contiene la concentración más alta de antocianina en comparación con otros colorantes naturales.

Las antocianinas presentes en el maíz morado son antioxidantes naturales que se encuentran tanto en los granos como en la mazorca. Estas sustancias benefician nuestro organismo, especialmente en el sistema circulatorio, al ayudar a prevenir enfermedades cardiovasculares.

Las antocianinas estimulan la circulación sanguínea y protegen nuestros vasos sanguíneos del daño oxidativo, lo que contribuye a prevenir el envejecimiento prematuro. Además, se ha comprobado que las antocianinas presentes en el maíz morado tienen propiedades antiinflamatorias. Consumir maíz morado puede favorecer la regeneración de tejidos y la formación de colágeno, lo cual es beneficioso para la salud de la piel. También se ha observado que ayuda a controlar y reducir los niveles de colesterol en la sangre, así como a mantener una presión arterial baja. (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, 2021).

Debido a esto, el impacto social esperado de la presente tesis es la promulgación de que más gente se interese por la producción del maíz morado, puesto que tiene gran potencial y puede ser aún más explotado, pero por falta de tecnología como en el proceso de secado el trabajo con este producto no llega a los valores potenciales que podría llegar.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Diseñar e implementar un prototipo de secado post-cosecha de maíz morado usando energía solar y aplicando control PID

1.3.2. Objetivos Específicos

- Determinar los mecanismos de secado con energía solar.
- Diseñar y construir el sistema mecatrónico de secado de maíz.
- Seleccionar e implementar la instrumentación para el prototipo mecatrónico
- Programar los controladores y actuadores usando algoritmos de control PID.
- Realizar pruebas y ajustes de parámetros de funcionamiento y control.

1.4. Hipótesis

Es muy probable que el diseño y la implementación de un prototipo de secado con control proporcional integral derivativo optimice el tiempo de secado de maíz morado respecto al secado artesanal, sin alterar sus propiedades que se requieren para su posterior uso.

1.5. Alcances y limitaciones

Dado que se trata de un prototipo experimental, se deben considerar limitaciones constructivas y de aplicabilidad, especialmente debido a su tamaño, lo cual podría dificultar su implementación en grandes cantidades requeridas por la industria. Con el fin de abordar estas limitaciones, se llevó a cabo el diseño mecánico del prototipo utilizando un enfoque analítico basado en conceptos de transferencia de calor. Además, se recurrió al método de ensayo y error para perfeccionar el diseño y optimizar su funcionamiento.

Para el caso del proceso de secado se tomó la consideración según (Ministerio de comercio exterior del Perú, 2022) de secar el maíz morado al 14% de humedad sin superar la temperatura de 40°C.

1.6. Tipo de investigación

Según Espinoza (2010), la investigación tecnológica tiene como objetivo resolver problemas de la sociedad mediante la aplicación del conocimiento científico. En este estudio, se llevó a

cabo una evaluación técnica y económica de una propuesta innovadora para mejorar el proceso de secado artesanal de maíz morado utilizando energías renovables. Esta solución propuesta proporciona una base tecnológica para futuras investigaciones a nivel experimental o aplicativo, lo cual generará importantes beneficios económicos.

1.7. Nivel de la investigación

Según Espinoza (2010), la investigación de nivel experimental es aquella que contempla variables dependientes e independientes, ya que se lleva a la práctica y a pruebas las propuestas planteadas.

1.8. Operacionalización de variables

Tabla 3
Operacionalización de variables

Operacionalización de variables				
Variables		Definición	Dimensiones	Indicadores
Variable independiente	Prototipo de Secador solar de maíz morado con control PID	Máquina destinada al ensayo de secado de maíz morado a nivel de prototipo	Dimensiones externas e internas Calor transferido Tiempo y precisión de respuesta del PID	(m) (Calorías) (segundos)
Variable dependiente	Secado de maíz morado	Proceso de deshidratación de maíz morado	Tiempo de secado	(horas)

Nota: Elaboración propia

1.9. Antecedentes de la investigación

Cardoza & Inoñán (2020), en su trabajo de investigación tuvo como objetivo el diseño de un sistema de control computacional de una secadora de cacao, sustentado en el microcontrolador PIC116F877A. que tiene la función de control de ventilador, motor reductor y termocupla K, de igual forma este actuó como un medidor y controlador de la temperatura en los rangos permisibles para el secado óptimo. Se consideraron las variables como la temperatura, humedad

y estructura del sólido, curvas de secado y tipos de flujos de gas, para el cálculo partieron de la Psicrometría, tiempo de secado, el cálculo requerido y consumido. De igual manera el cálculo de la estructura de los equipos, selección de grupos de potencia y circuitos de control empleados (circuito integrado AD 595, termocupla K y el circuito PID) y el circuito de temporalizado electrónico en base a los microcontroladores PIC16F84A. Al finalizar la tesis indican que el proyecto en base al uso de PID que da un control individualizado de la temperatura se modificara los controladores electrónicos por microcontroladores PIC de baja gama todo con la finalidad de cumplir con todos los sistemas y sea apto para cambiarse a otras tecnologías.

Hermoza (2017), en el marco de la investigación, el objetivo principal fue diseñar un sistema de ventilación basado en el principio de secado de granos a bajas temperaturas para deshumidificar cuatro toneladas de maíz en el centro poblado de Tocas. El proceso de secado del maíz al aire libre durante cinco días representaba un riesgo debido a los factores climáticos presentes en la zona, lo cual afectaba la calidad del producto final. Por tanto, se buscó encontrar una solución para mejorar la producción de maíz seco en estas condiciones. La propuesta se basó en el principio de secado de granos a bajas temperaturas y se enfocó en determinar el caudal mínimo necesario para el sistema de ventilación. A partir de estos cálculos, se diseñaron los parámetros hidráulicos del sistema. Durante el proceso, se inyectó aire del ambiente con una temperatura de $13,76^{\circ}\text{C}$ y una humedad relativa de 62,87% durante cinco días, con el proceso de ventilación redujeron el contenido de humedad en un 1.86%, una de las mejoras en la deshumidificación es la reducción de la temperatura y la humedad relativa las cuales fueron cruciales para evitar la germinación y fermentación del maíz.

López (2021), en la investigación tuvo como objetivo principal evaluar energéticamente el proceso de secado de ají amarillo utilizando un prototipo de secador solar, tanto de forma experimental como teórica. Se desarrolló una estructura de bajo costo en forma de domo, con una cubierta específica para facilitar el secado solar. Durante el proceso de secado, se tomaron en cuenta parámetros como el tiempo necesario, la humedad final del producto y la temperatura interna del domo. Se realizó un estudio paralelo para observar el comportamiento del ají en diferentes tipos de domos y con sombra. Para la evaluación de secado se creó modelos matemáticos para determinar teóricamente el tiempo de secado y la humedad del producto, en los resultados indican que hay una diferencia de 20°C en el domo y la parte externa, lo que fue lo más adecuado, evaluaron la variación de la temperatura en diferentes puntos registrando una variación de un 5% en diferentes puntos. Al finalizar la investigación indica que se validó la

curva teórica de secado con un modelo matemático a través de los experimentos realizados.

Sacaca (2021), en su investigación tuvo como finalidad el estudio y diseño de un deshidratador sustentable que utilice energía solar para ser utilizado en el secado de granos de café en las zonas cafeteras de la región cafetera de Puno. La problemática ocurre por el tiempo de secado del grano de café de 20-25 días, estos fueron colocados en el patio y tapados por un plástico donde estuvo expuesto a insectos y eventualidades climatológicas. Para dicho proyecto se tomaron los siguientes datos: Temperatura, velocidad del viento, irradiación del sol, el tipo de café y su procesamiento, con los datos recolectados se pudo diseñar el deshidratador solar, en la metodología se considera el trazo del dibujo, cálculo de ingeniería, masa de agua, energía, cámara del secador solar, ingreso de aire, plano de detalles y un prototipo de la conceptualización, donde solo se llega hasta los planos de detalle. Al finalizar la investigación se da un secador tipo túnel, transportable y versátil, para diferentes lugares, el diseño es de circuito cerrado en donde el ingreso del aire pasa por la parte inferior y sale expulsada por la parte superior.

Cisneros Carrasco et al. (2021), la investigación tuvo como objetivo principal el análisis y simulación del proceso de deshidratación en alimentos. El propósito fue obtener información detallada sobre los diferentes parámetros involucrados en dicho proceso, lo cual permitiría diseñar sistemas más eficientes y confiables. Se establece el balance de masa en el proceso de deshidratación, posteriormente al análisis, con el objetivo de proponer la pérdida de calor en el sistema. Se recogieron datos de la estación meteorológica de la Universidad de Piura, siendo estos los datos de partidas para los softwares Matlab, SolidWorks y ANSYS, los análisis correspondientes en los softwares varían y esto se debe a que el tipo de análisis para Matlab es un análisis bidimensional y en SolidWorks se introducen sólidos diseñados en 3D para después realizar el mallado por elementos finitos que interactúan, siendo estas una simulación. Al finalizar el autor indica en sus conclusiones que el deshidratador debe contar con tres orificios de entrada para lograr una mayor versatilidad y control del flujo másico durante el proceso. A través de las simulaciones realizadas y los resultados obtenidos, se observaron los efectos del secado en el banano y se identificó la temperatura óptima para el proceso de deshidratación.

Martínez & Rodríguez (2017), en su investigación tuvo como propósito el diseño de un sistema automatizado que permita obtener un grano de mejor calidad para su conservación por periodos muchos más extensos para su limpieza y secado eliminando las impurezas que tiene

este grano al momento de recolección. En la metodología se dividió en 3 fases, análisis, diseño y pruebas recolectando toda la información con fundamentación teórica. Se analizó la demanda de grano para poder determinar el tamaño y tipo de planta a diseñar, posterior a ello se calculó la capacidad de almacenamiento y la cantidad de tragaluces de ventilación necesarias para el almacenamiento convencional del secado de maíz, se realizó una curva de velocidad de secado, en función de la humedad libre y el tiempo. Se realizó un modelado de la planta para el secador con sintonizador mediante la regla de Ziegler-Nichols. y se simuló en el software 3D SolidWorks, para el proceso de implementación del sistema de automatizado se utilizó el diagrama de flujo necesario para programar el PLC de acuerdo a las constantes encontradas. Además de la visualización en HMI, al finalizar la investigación se propuso una cinta transportadora de tipo rectangular horizontal de las cuales se espera disminuir la humedad del maíz en un alto porcentaje y se concluye que el secado automatizado no arrojará una variación en el valor nutricional del grano.

Piedra (2022) , en su investigación tuvo como finalidad la implementación de un sistema de control y monitoreo mediante la automatización del proceso de secado para optimizar el tiempo de secado en el deshidratador de laboratorio. En las técnicas de recolección de datos se utilizó la observación de las posibles variables que afecten el funcionamiento al igual que los ensayos antes y después de la automatización del deshidratador del laboratorio, para los ensayos se tomaran los datos de la temperatura, velocidad del aire (cada 30 min) la pérdida de humedad y principalmente la curva de secado. El deshidratador cuenta con un ventilador accionado por un motor monofásico a velocidad constante y con un control de temperatura - tiempo. Para la optimización se considera el cambio del motor monofásico a trifásico para la variación de velocidades del ventilador, la colocación de un variador de frecuencias para la regulación del flujo de aire. Para el control de velocidades se utilizó un software LOGO Soft confort v8.3 y LWE V1, la investigación concluye afirmando que la automatización y control en la deshidratación influyen de manera positiva para mejorar el proceso de secado, debido a las configuraciones de velocidades del flujo de aire y además el control de peso para evitar la pérdida de calor.

Castillo & Pinto (2019), en su investigación se tuvo como objetivo el diseño controlado de PID para el prototipo de secado de café y/o cacao de la empresa, se consideraron los factores de temperatura, salida de grano, humedad, tiempo de residencia, curva de humedad y peso de acuerdo a los requerimientos de Penagos Hermanos. Se seleccionaron controladores (Arduino

Mega ADK y Siemens S7-300), instrumentación, módulo DHT22 (Sensor de Humedad y Temperatura), termocupla tipo K, Pantalla LCD 16X2, Relé de estado sólido SSR-25. Se realizó el circuito, donde se implementó el código Arduino para el control de disparos, posterior a ello se realizó el análisis de transferencia de calor, modelo matemático y la validación de modelos caja blanca y negra lazo abierto, se utilizó el Software Matlab en el cual ayudó a seleccionar la estructura del controlador PID. Al finalizar la investigación lograron reducir el tiempo de procesamiento de 5 a 6 días con el diseño, manteniendo la calidad del proceso.

B. Rodríguez et al. (2017), en su investigación tuvo como objetivo el diseño de un sistema de control de temperatura con técnicas clásicas de optimización, el proceso de deshidratación en un deshidratador solar. Se consideraron 5 fases para el diseño de control de temperatura (construcción del deshidratador solar, medición de variables de temperatura, modelado de la planta, diseño y control de temperatura y simulación del sistema de control). Se consideró una convección forzada en el sistema en las cuales la temperatura de referencia era de 50°C a 60°C, conjuntamente se desarrolló un modelo matemático del comportamiento dinámico del calentamiento. Se generó la función de transferencia de la planta y se planteó un control de temperatura, todo esto se llevaría mediante simulación, todos estos resultados se dieron en el Software Proteus®. Al finalizar el diseño el control responde con un sobrepaso máximo de 6% y un tiempo de retardo con 4 segundos, es posible reducir costos con un secador solar automatizado a comparación de un deshidratador convencional mecánico (horno eléctrico).

Coletto et al. (2022), en su trabajo de investigación tuvo como propósito el desarrollo de un prototipo de secador solar activo modelo indirecto, se utilizó como muestra para el secado una manzana. La temperatura, humedad e irradiación solar, fueron las variables de monitoreo en la investigación. En el proceso de secado se tomaron como muestras las manzanas, teniendo una humedad inicial del 87%, realizando todo el proceso se llegó a reducir la humedad hasta el 11% con un periodo de secado de 19 Hr. Para este procesamiento de secado se utilizó la plataforma de Matlab®. Según los datos ajustados el modelo que más se ajustó al proceso fue el de Page. Donde se registraron temperatura ambiental de 30.5 y 30.8 °C, en la salida de 61.3 y 66.5 °C e interior de la cámara de secado 46 y 53°C, con una radiación solar de 938 y 1027 W/m². Al finalizar la investigación se comparó los resultados bibliográficos con los prototipos de secado equivalentes y se indica que esta tecnología todavía se debe seguir evaluando.

Iglesias et al (2017). Diseño, construcción y evaluación de un secador solar para mango Ataulfo en el estado de Chiapas. En esta región, se perdía un 15% de los mangos debido a la sobreproducción y la falta de un método de conservación poscosecha adecuado. El diseño del secador se basó en las especificaciones del producto a secar, los registros de las condiciones climáticas locales y los ensayos experimentales de secado realizados en la UNICACH. La metodología utilizada se basó en la aplicación sistemática de los conceptos básicos de diseño y las reglas generales de transferencia de calor y masa. Los resultados de los cálculos se presentaron en un cuadro. Durante la evaluación en vacío del secador, se obtuvieron valores promedios de humedad y temperatura del aire en la cámara de secado del 5% y 45 °C, respectivamente. La temperatura promedio del aire ambiente fue de 25 °C y la radiación solar promedio fue de 500 W/m². El tiempo de secado fue de 8 horas de exposición al sol, logrando reducir la humedad del mango desde un nivel inicial del 80% hasta un 8.4%. Se presentaron curvas que mostraban la evaluación en vacío, así como la variación del peso, humedad y humedad libre del mango en función del tiempo. Se demostró que era posible aplicar un tratamiento de secado eficiente y adecuado para los mangos Ataulfo utilizando este secador solar en el pasado.





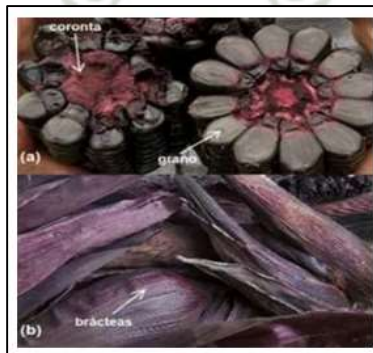
2.1. Maíz morado

El maíz morado es una planta anual de gran altura, que posee un sistema radicular fibroso bien desarrollado. Esta especie se reproduce mediante polinización cruzada, con la flor femenina conocida con diferentes nombres en todo el mundo, como elote, mazorca, choclo o espiga, mientras que la flor masculina se denomina espiguilla y se encuentra en varias partes de la planta. Las panojas son las estructuras donde se desarrollan los granos y generalmente hay una por tallo. Estas panojas pueden tener un número variable de hileras, que oscilan entre 12 y 16, y producen de 300 a 1000 granos en total. Cada 1000 granos tienen un peso aproximado de entre 190 y 300 gramos.

En el contexto peruano, el maíz morado se destaca por su creciente producción y demanda tanto a nivel nacional como internacional. Aunque los valores generados por este cultivo aún son relativamente bajos, se ha observado un incremento constante en su producción debido a la ampliación del área cultivada y al aumento de su rendimiento. Una característica distintiva del maíz morado es su color único. Este color se debe a la presencia de antocianinas, pigmentos naturales que le aportan su apariencia. La demanda tanto nacional como internacional de maíz morado ha contribuido a su crecimiento en el sector agrícola peruano. (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, 2021).

Para la post cosecha en el caso de la comercialización el maíz morado debe pasar por la reducción del nivel de agua, proceso denominado como secado, cuyas exigencias para exportación debe llegar al 14% de contenido de agua sin superar los 40°C durante este proceso (Ministerio de comercio exterior del Perú, 2022). Mediante un periodo de secado 10 días como mínimo mediante métodos artesanales. Se puede observar al maíz morado en la **Figura 6**.

Figura 6
Maíz morado



Nota: Medina Hoyos et al, (2019)

2.2. Métodos de secado de grano

El secado o deshidratación es eliminar la humedad de los alimentos, antiguamente se realizaba de forma natural, este se dejaba en un lugar donde diera el sol y aire, actualmente se hace circular corrientes constantes de aire caliente con termostato (Keogh, 2016).

Se tiene los siguientes métodos de secado:

2.2.1. Métodos directos

Según Pineda & Ramos (2015) considera que los métodos directos de secado tienen como características que el secado del producto se da por sí solo, influido por una fuente de calor, un claro ejemplo es dejar secar un producto expuesto al sol y aire. Las características generales de los secadores directos son:

- Es suministrado calor suficiente al sólido húmedo para la evaporación del agua, es un proceso de convección entre el sólido húmedo y un gas caliente.
- Está expuesto a un ambiente de aire caliente, calentado por vapor, gases de combustión, atmosfera inerte calentada.
- La temperatura variable, temperatura ambiente hasta una temperatura de 80°C.

2.2.2. Métodos indirectos

Según Pineda & Ramos (2015) indica que los métodos indirectos consisten en que una fuente externa calienta el ambiente para el medio secante, se tiene las características del medio indirecto las cuales son:

- Es un proceso por conducción y radiación al material húmedo. La conducción se transfiere por medio de paredes metálicas de contención, usualmente el vapor condensado es la fuente de calor, pero se tiene diferentes fuentes como gases de combustión, baños de sales fundidas, aceite caliente, etc.
- Se lleva por método de agitación la cual mejora el contacto de la superficie metálica caliente con el material húmedo. Los materiales pesados y granulados presentan un elevado coeficiente que los sólidos mullidos y voluminosos.
- Puede tratar materiales de polvo con mayor facilidad que los secadores directos.

2.3. Tipos de Secadores

2.3.1. Secador Solar Parabólico

El secador solar Parabólico como se ve en la **Figura 7** tiene la forma de un invernadero el cual es un sistema básico, donde se aprovecha el calor debido al principio básico que involucra. (Burbano, 2005).

Figura 7

Secador solar con cubierta de plástico.



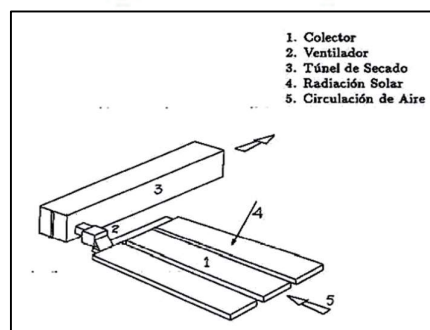
Nota: Burbano, (2005)

2.3.2. Secador Solar Indirecto por Convección Forzada:

El transporte de aire es realizado por medio de convección forzada, debido a la limitación del área de colección. Se tiene un secado de tipo indirecto, se utiliza una cámara de secado separado, lo cual es apropiado para productos de calidad que se ven afectados por la radiación, un claro ejemplo es la del arroz. El aire es calentando por los colectores después es impulsado por los ventiladores e ingresan al túnel de secado donde se encuentran el producto a deshidratar (Burbano, 2005). Véase en la **Figura 8** el secador solar indirecto por circulación forzada.

Figura 8

Secador solar indirecto por circulación forzada.



Nota: Burbano, (2005)

2.3.3. Secador Semi-Industrial de Convección Forzada

El sistema de secado descrito utiliza la circulación de aire forzado mediante ventiladores eléctricos centrífugos. Para calentar el aire, se utilizan bancos de colectores solares. Estos colectores solares están conectados a un conducto, el cual a su vez está conectado a un ventilador que impulsa el aire hacia la cámara de secado. En la cámara de secado se disponen las bandejas correspondientes con el producto a secar. Las dimensiones del sistema pueden adaptarse según las necesidades de cada usuario.

En la **Figura 9**, se muestra el secador semi industrial de convección forzada el cual se dimensiona para elaborar un secado diario. El colector solar utilizado en este sistema está compuesto por una caja exterior de chapa galvanizada, con aislamiento en el fondo y laterales hechos de lana de vidrio con una cara aluminizada. La cubierta superior del colector es de policarbonato alveolar y el absorbido está hecho de chapa ondulada pintada de negro.

La circulación del aire se realiza en la parte superior e inferior del colector solar. La cámara de secado tiene una forma de túnel y está construida con chapa, con un aislamiento térmico adecuado. El sistema funciona como un secador túnel indirecto de contracorriente, lo que significa que el aire circula en dirección opuesta al desplazamiento del producto a secar. El producto se coloca en bandejas o carritos metálicos que se desplazan a través de la cámara de secado. Este diseño y configuración del sistema de secado es especialmente adecuado para la producción a nivel industrial, ya que permite un procesamiento eficiente y continuo de grandes volúmenes de producto. (Asociación Peruana de Energía Solar y del Ambiente, 2013).

Figura 9
Colectores y cámaras de secado



Comentario: Tiene la aplicación en frutos y granos y hojas
Nota: INENCO, (2019)

2.3.4. Secador Solar Tradicional

El secado solar tradicional se basa en la convección natural y consta de un calefactor solar de aire y una cámara de secado. El aire se mueve desde la parte inferior de la cámara, atraviesa el producto a deshidratar (colocado en bandejas metálicas o de madera) y sale por la parte superior. En cuanto al diseño de este sistema, es posible construirlo utilizando madera o una combinación de madera y caños. Como se puede observar en la **Figura 10**, el colector solar, que es de tipo plano, cuenta con una superficie colectora de chapa de hierro pintada de negro mate (puede ser lisa o acanalada) y una cubierta transparente hecha de vidrio, policarbonato o polietileno. En cuanto a las bandejas, se pueden utilizar diferentes materiales como madera, metal inoxidable o caños con mallas de plástico. Estas bandejas pueden estar dispuestas en dos o más niveles dentro de la cámara de secado. La cámara de secado puede tener una o dos puertas, dependiendo del diseño específico. Estas puertas permiten el acceso al interior de la cámara para cargar y descargar el producto a secar, así como para realizar tareas de mantenimiento. (Asociación Peruana de Energía Solar y del Ambiente, 2013).

Figura 10
Vista frontal del secador tradicional



Comentario: Secador solar tradicional para frutas, hortalizas y semillas
Nota: CONICET-UNR, (s.f)

2.3.5. Secador de Bandeja con aire forzado

Es una máquina que disminuye la cantidad de humedad en el aire del medio, esta máquina está constituida por una pieza metálica donde se realiza el proceso de secado, un sistema de calefacción y un sistema de impulsión de aire. En la **Figura 11** se puede observar que la circulación debe ser de forma homogénea con la impulsión de los ventiladores del aire caliente. (Mena Reinoso, 2015).

Figura 11
Secador de Bandeja



Nota: Universidad Nacional de Chimborazo, (2015)

2.3.6. Secador Solar tipo Invernadero

El secador tipo invernadero tiene una forma parabólica con materiales de madera, este armazón está recubierto con un plástico agujerado en la parte superior en donde sirve para la salida de vapor de agua a la siguiente capa de plástico, en donde aquí se condensa, cae al piso y salen mediante tubo a la parte externa. (Mena Reinoso, 2015). Véase en la **Figura 12**.

Figura 12
Secador Tipo Invernadero

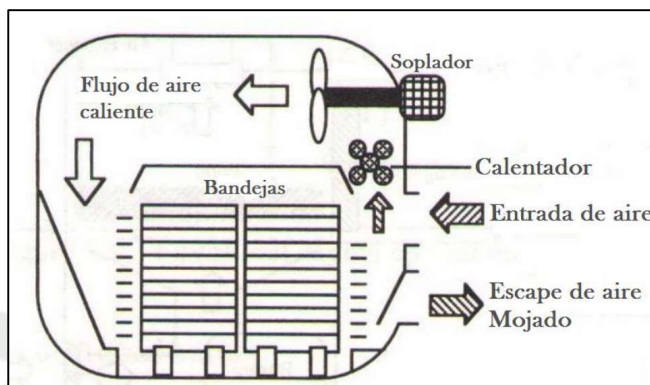


Nota: Mena Reinoso, (2015)

2.3.7. Secadores por Carga

Son cámaras o depósitos expuesto por acciones de aire caliente forzados, cuando se tiene una humedad deseada se retiran de la cámara y son reemplazadas por una nueva tanda. (Balcázar Rodas & Tesén Bravo, 2015). Véase **Figura 13**.

Figura 13
Secado por Carga

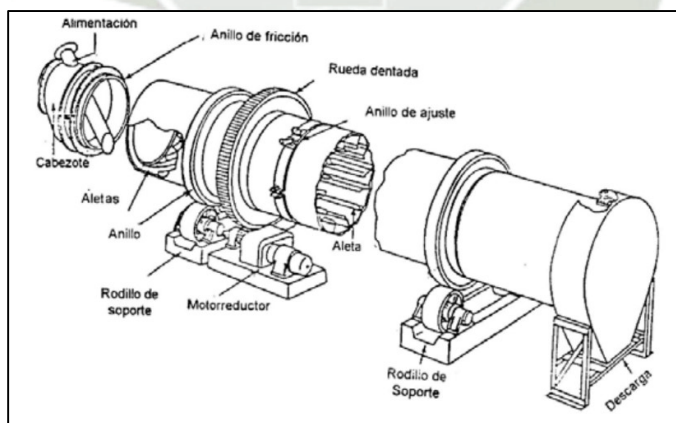


Nota: Balcázar & Tesén, (2015)

2.3.8. Secador Rotatorio

El secador rotatorio tiene un bajo costo unitario en relación a sus grandes cantidades de producción. Está constituido por un cilindro hueco que gira sobre su eje. Esta presenta una ligera inclinación para poder desplazar el producto deshidratado hacia la boca de salida. El material húmedo avanza por acción de la gravedad, teniendo un producto deshidratado. El flujo de aire caliente puede ser en paralelo o contracorriente (Loja Acuña, 2019). Véase en la **Figura 14** su diseño.

Figura 14
Secador Rotatorio



Nota: Loja Acuña, (2019)

2.3.9. Secador de bandeja de flujo paralelo

El secador de bandeja de flujo paralelo presenta una alta velocidad de deshidratación, son económicos en adquisición y funcionamiento, pero como inconvenientes se tiene productos no homogéneos en humedad, propiedades físicas y químicas (Agamez Parias, 2020).

Figura 15

Secador de bandeja de flujo paralelo y esquema



Nota: Agamez Parias, (2020)

Se puede observar un modelo en la **Figura 15**, estos tipos de secadores mencionados anteriormente son bases, guías, para poder emplearlos a nuestro Prototipo de Secado considerando las propiedades del Maíz.

2.4. Temperatura y humedad

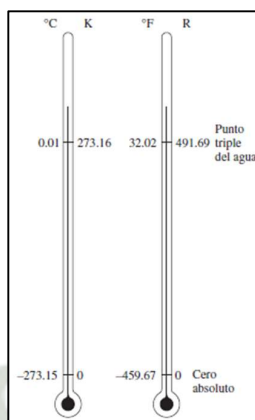
La temperatura está relacionada con la térmica de un objeto o sustancia, y se puede medir utilizando un termómetro. Indica el nivel de depresión de las moléculas en un sistema y está asociada con la noción de calor. Su influencia incluye tanto al receptor como la fuente.

2.4.1. Escalas de medición de temperatura

Las escalas permiten usar una base común para la medición de la temperatura. La escala de temperatura termodinámica más útil es la escala Kelvin (K). Esta escala de temperatura es independiente de las propiedades específicas de cualquier sustancia y se basa en el cero absoluto, que se define como la temperatura más baja posible. En la escala Kelvin, el punto del cero absoluto se ubica en 0 Kelvin, y las temperaturas se miden en incrementos de Kelvin. En el sistema Inglés es la escala Rankine cuya unidad de temperatura es el Rankine designada mediante R, esta escala es casi idéntica a la de kelvin, es para la escala de temperatura del gas ideal. (Cengel & Boles, 2014).

Véase en la **Figura 16** una comparación de escalas.

Figura 16
Comparación de escala de temperaturas



Nota: Çengel & Boles, (2014)

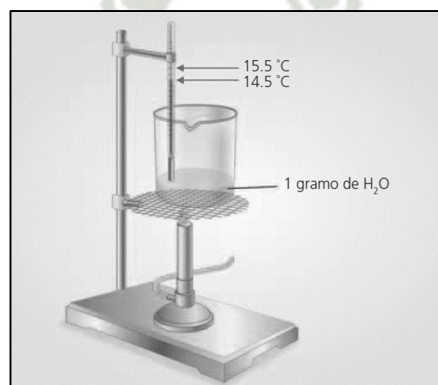
Según Pérez, 2016 el calor es una forma de llamar energía calorífica, donde sus unidades de medida son las mismas que el trabajo mecánico y de la energía, para el sistema internacional la unidad de medición es el: Joule=Newton metro=Nm=J

De igual manera se sigue usando las unidades de calorías, las kilocalorías y el BTU para medir el calor:

- Caloría. - Es la cantidad de calor aplicado a un gramo de agua para elevar su temperatura en 1°C de 14.4 a 15.5°C.
- Kilocalorías. - Es el multiplicador de la caloría (1 Kcal=1000 Cal).
- Las equivalentes de joule y calorías: (1 joule=0.24 cal) o (1cal=4.2 J).

Se puede ver la medición de una unidad calorífica en la **Figura 17**.

Figura 17
Medición de la unidad calorífica



Nota: Pérez, (2016)

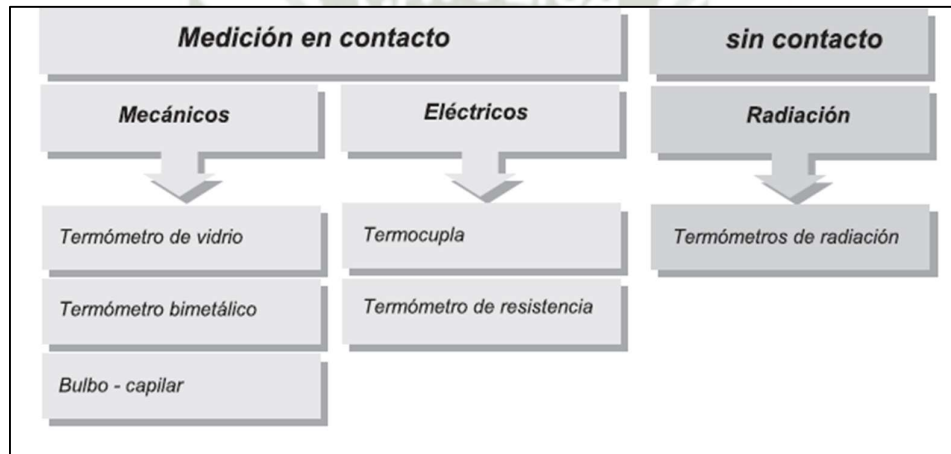
2.4.2. Medición de la temperatura

Según Creus (2010), la gran mayoría de los fenómenos en procesamiento de alimentos son afectados por la temperatura, por tales motivos es la variable más común y más importante que afecta los procesos industriales y además de otros fenómenos medibles como:

- Variación en volumen.
- Variación de la resistencia de un conductor y semiconductor.
- Otros fenómenos utilizados en el laboratorio.

Véase en la **Figura 18** una distribución de los medidores de temperatura.

Figura 18
Resumen de medidor de temperatura

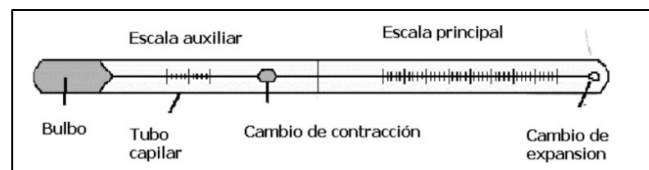


Nota: J. Rodríguez, (2021)

- Termómetro de vidrio

El termómetro tiene un principio de la expansión de los líquidos sometidos a un incremento de la temperatura, para el termómetro de vidrio presenta mercurio en la parte interna al momento de calentarse este se expande y sube en el tubo por efecto de la capilaridad. A continuación, en la **Figura 19** las partes del termómetro de vidrio.

Figura 19
Termómetro de vidrio

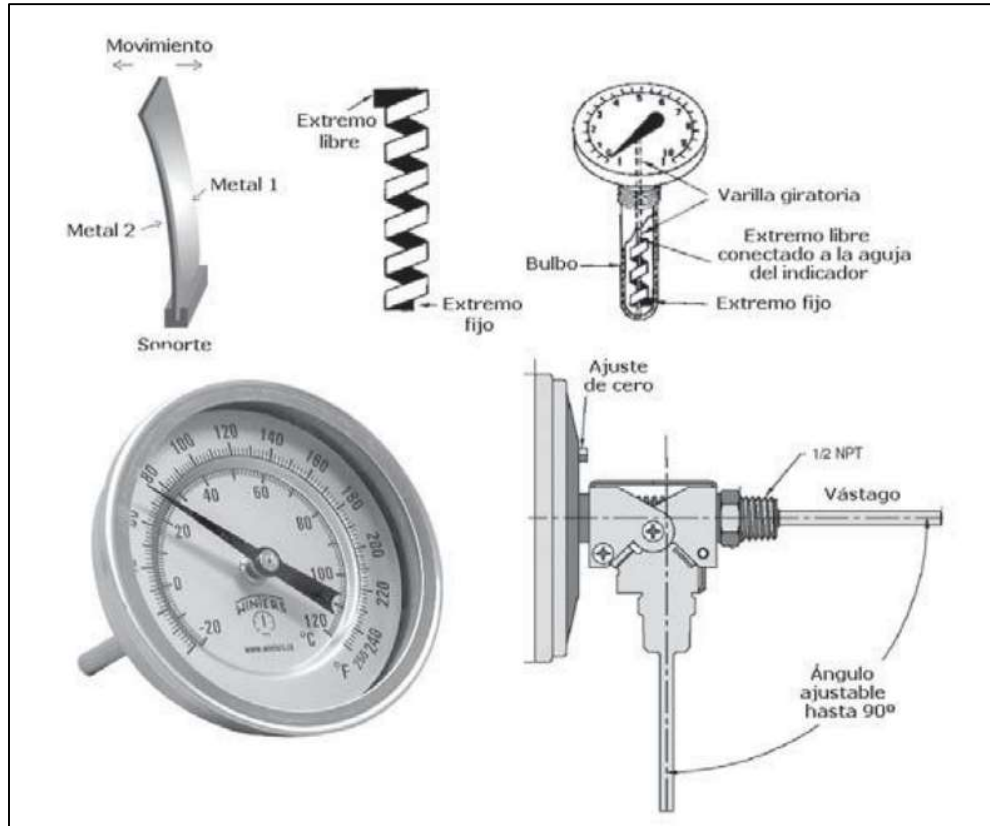


Nota: Creus, (2010)

– Termómetro bimetalico

La expansión térmica es uno de los principios del termómetro bimetalico, debido a que los coeficientes de cada metal son diferentes. Usualmente para los termómetros bimetalicos se usa metales como; latón, monel, acero, etc. Véase en la **Figura 20** un termómetro bimetalico.

Figura 20
Termómetro bimetalico

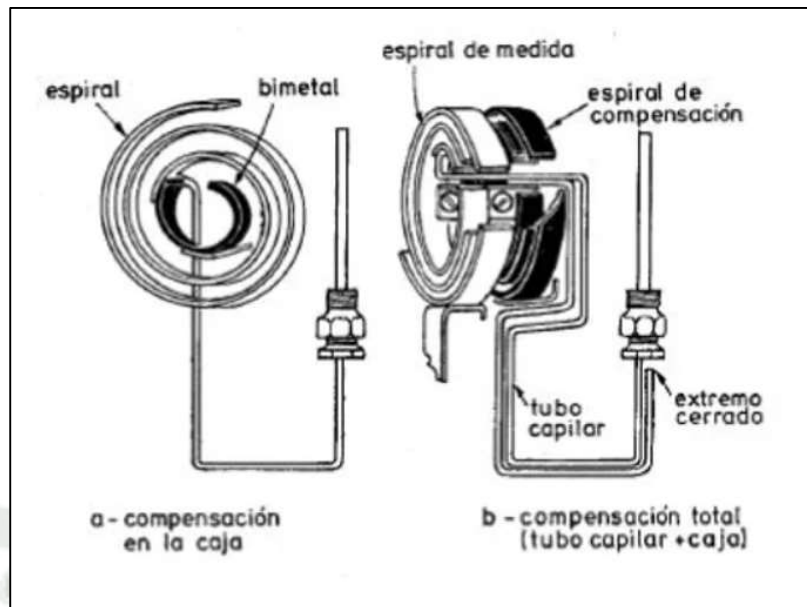


Nota: Creus, (2010)

– Termómetro de relleno térmico (Bulbo - Capilar)

Un tipo específico de instrumento de medición de temperatura conocido como termómetro de bulbo y espiral. En este tipo de termómetro se consta de una conexión entre el bulbo y el espiral. Cuando se produce un cambio de temperatura, el bulbo se expande o contrae debido a la variación térmica. Véase en la **Figura 21** un termómetro de bulbo y espiral.

Figura 21
Termómetro de bulbo y espiral.



Nota: Creus, (2010)

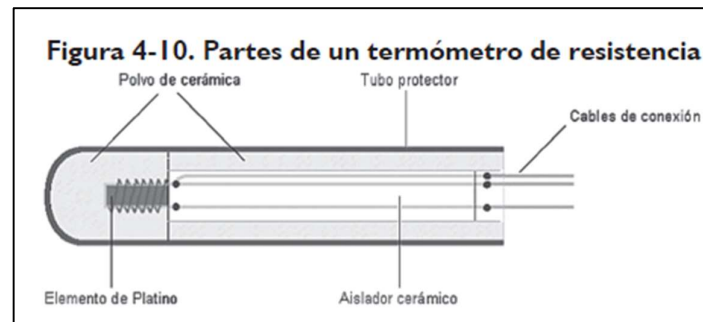
– Termómetro de resistencia o RTD

Está basado en la resistencia de un alambre de un material puro, que incrementa por efecto de la temperatura, en la actualidad se tiene sensores fabricados con metales que tienen grandes coeficientes de resistencias debido a la variación de temperatura. (J. Rodríguez, 2021).

En la industria de procesos se utilizan dos tipos de resistencias: las termoresistencias bobinadas y las termoresistencias de películas. Estos componentes presentan diferentes comportamientos y están provistos de normativas que estandarizan sus especificaciones. La norma europea IEC 60751 (DIN EN 60751) y la norma americana (ASTM E1137/E1137M) (WIKA, 2017). En la **Figura 22** se puede observar las partes de un termómetro de resistencia.

Figura 22

Partes de un termómetro de Resistencia



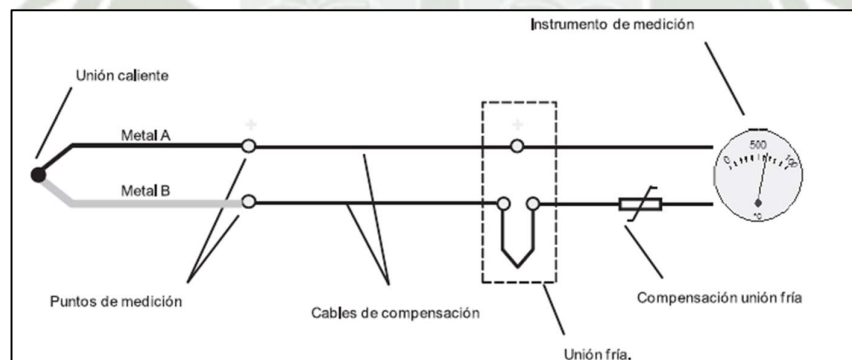
Nota: J. Rodríguez, (2021)

- Termocuplas o termopares

La termocupla tiene la función de convertir la energía térmica en energía eléctrica, como un transductor. Una forma de verlo es dos alambres de diferentes materiales, unirlos en los extremos en donde se da una medición de referencia. (J. Rodríguez, 2021). Véase las partes de una termocupla en la **Figura 23**.

Figura 23

Circuito básico de una termocupla



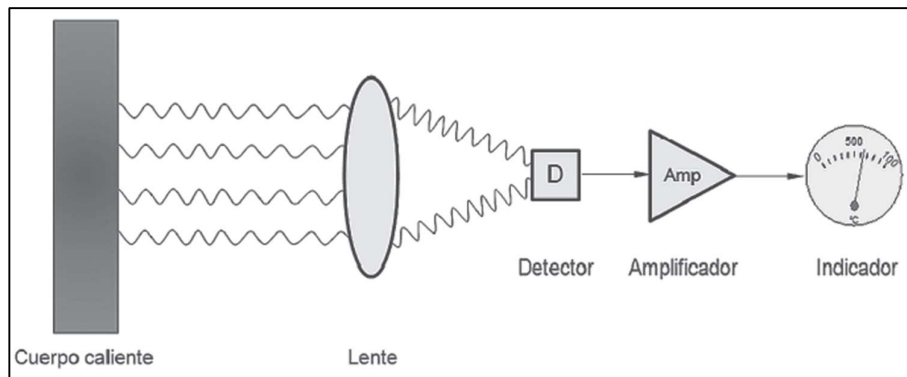
Nota: J. Rodríguez, (2021)

- Por radiación

La medición por radiación está basada en la ley de Stefan Boltzmann, la que consiste en que la energía radiante emitida aumenta proporcionalmente a la cuarta potencia de la temperatura absoluta del cuerpo, esto es debido a la vibración molecular producido por el movimiento de los electrones, generando un acoplamiento magnético para producir la emisión. Los termómetros de radiación miden en una proporción visible a luz de 0.35 a 0.75 μm y una parte

infrarroja de 0.75 a 20 mm del espectro electromagnético. (J. Rodríguez, 2021, p.94). Véase el principio de funcionamiento en la **Figura 24**.

Figura 24
Principio funcionamiento termómetro de radiación



Nota: J. Rodríguez, (2021)

2.4.3. Sensores de temperatura de semiconductores

Los sensores de temperatura se basan en semiconductores que tienen funciones de transferencia que relacionan la temperatura con una señal eléctrica. Estos sensores pueden proporcionar la medida de temperatura en unidades como Kelvin (K), grados Celsius (°C) o grados Fahrenheit (°F). En muchas aplicaciones, la señal de salida del sensor se utiliza para alimentar un comparador o un convertidor analógico a digital (A/D) para convertir los datos de temperatura a formato digital. Los sensores de temperatura más avanzados son tanto analógicos como digitales, y su salida de tensión es proporcional a la temperatura absoluta con una precisión de aproximadamente $\pm 1^\circ\text{C}$. Se pueden diseñar específicamente para proteger componentes electrónicos que se dañen debido a las altas o bajas temperaturas. Una de las ventajas de estos sensores es que son pequeños, precisos y económicos, lo que hace que su uso se extienda cada vez más en aplicaciones industriales. Se espera que en el futuro su uso y aplicaciones sigan incrementando debido a sus características favorables. (Creus 2010).

2.4.4. Humedad

La humedad es la cantidad de vapor de agua que contiene el aire, este mismo autor explica los índices de humedad que a continuación se citan: (Zuñiga & Crespo, 2015)(p.80)

- Humedad absoluta: Es la cantidad de vapor de agua presente en el aire por unidad de volumen. Se expresa en gramos de agua por metro cúbico de aire (g/m^3).

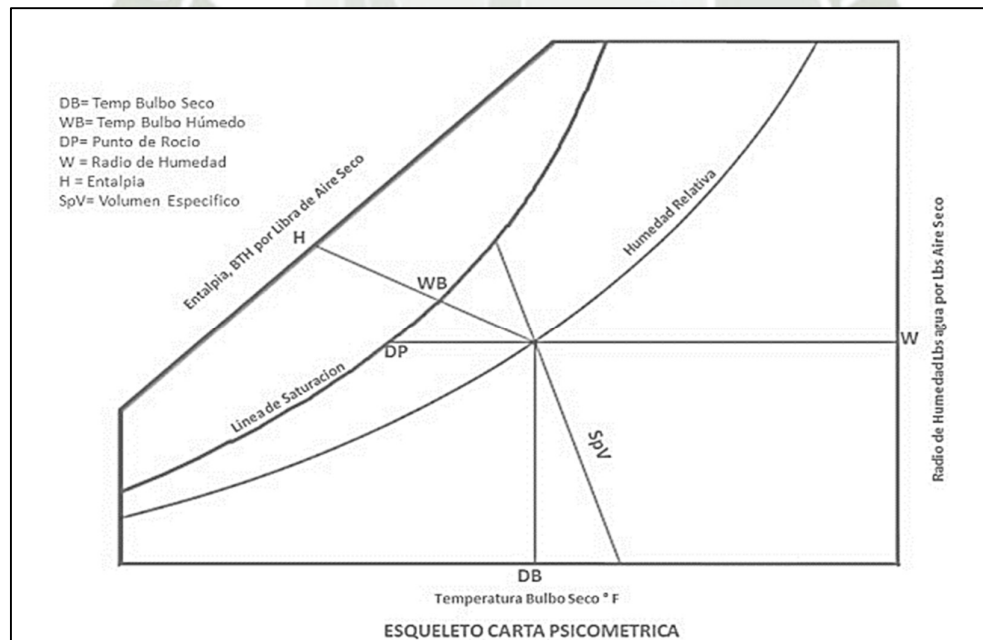
- Humedad relativa: Es la relación entre la cantidad de vapor de agua presente en el aire y la cantidad máxima de vapor de agua que el aire podría contener a una temperatura y presión dadas. Se expresa en forma de porcentaje (%).
- Carta psicrométrica

En el boletín técnico Colmac Coil Manufacturing Inc (2016, p.1) define:

Una carta psicrométrica es una gráfica de las propiedades del aire. Estas cartas muestran propiedades como: Temperatura, volumen, presión, et. Si se conoce dos de las propiedades antes mencionadas se puede tener el resto de las propiedades. Para entender las cartas psicrométricas se tiene que tener conocimiento de cada una de las propiedades. Las definiciones y como ellas son trazadas en la carta psicrométrica están mencionadas en los títulos siguientes. Consulte el “esqueleto” de la carta para aclarar las descripciones.

En el *Anexo E* se muestra la Carta psicrométrica de Arequipa. En la *Figura 25* se puede observar el esquema de la carta psicrométrica.

Figura 25
Esquema Carta Psicrométrica



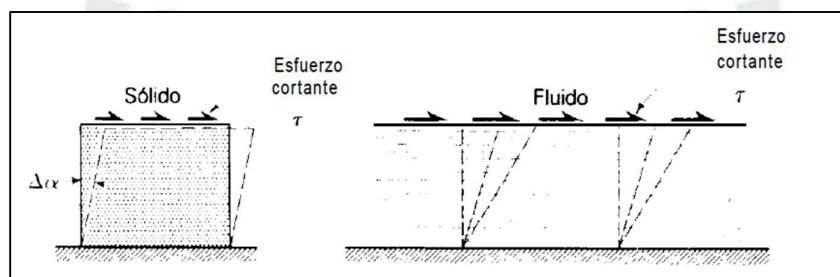
Note: Colmac Coil Manufacturing, Inc, (2016)

2.5. Fluido

El fluido es definido como una sustancia cambiante en su forma debido a un esfuerzo cortante sin importar que tan pequeño sea. A comparación de un sólido es definitivo o se rompe completamente cuando este es sometido a un esfuerzo cortante (Shames, 1995, p3). Se puede ver el esfuerzo cortante de un sólido y un fluido en la **Figura 26**.

Figura 26

Esfuerzo cortante de un sólido y un fluido



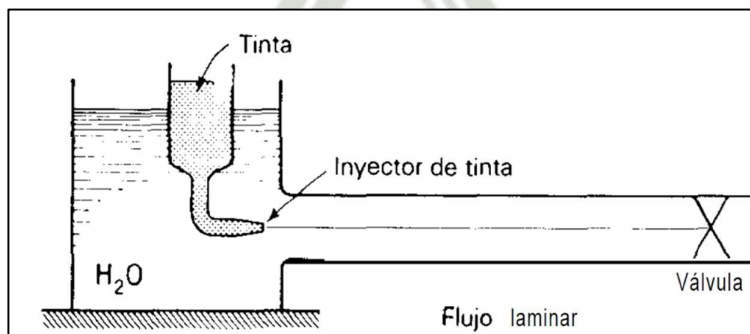
Nota: Shames, (1995)

2.5.1. Flujo laminar

Es un fluido ordenado donde las partículas del fluido se mueven en línea recta y paralelas, estas se deslizan una sobre otra, se puede identificar en el experimento de Reynolds sobre fluidos viscosos. En la cual el fluido pasa por tubo de vidrio, con una velocidad controlada, en la entrada se encuentra un colorante con un peso específico igual que el agua, al abrir ligeramente la válvula de salida, el colorante se desplazará a través del tubo, pero de forma intacta formando un filamento como se muestra en la **Figura 27**.

Figura 27

Experimento de Reynolds



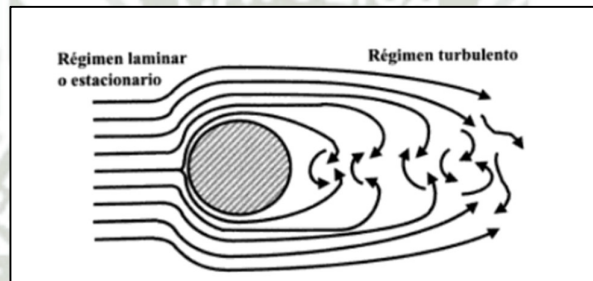
Nota: Shames, (1995)

2.5.2. Flujo turbulento

En el flujo turbulento las partículas tienen una trayectoria muy irregular. lo que genera un intercambio de movimiento de una porción a otra dentro del fluido, estos movimientos pueden ser de tamaño pequeño hasta muy grande como se muestra en la **Figura 28**. En la practicas son las más usuales.

En caso de que los flujos tengan característica laminares y turbulentas, la parte turbulenta genera mayor tensión de cortadura dentro del flujo y es la causa de la conversión de la energía mecánica en energía térmica (Valera, 2005).

Figura 28
Régimen de desplazamiento de fluidos



Nota: Valera, (2005)

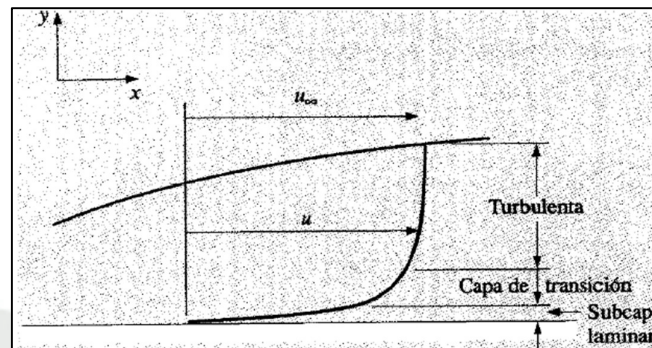
El mecanismo físico de la transferencia de calor en flujo turbulento se asemeja en gran medida al flujo laminar, pero con la diferencia principal de que se deben considerar las propiedades turbulentas en lugar de la conductividad térmica y la viscosidad convencionales (Valera, 2005).

La dificultad principal en el análisis analítico radica en que estas propiedades turbulentas varían a lo largo de la capa límite y su variación específica solo puede determinarse mediante datos experimentales. Cuando se observa la velocidad instantánea a nivel macroscópico en un flujo turbulento, medida mediante un anemómetro láser u otro dispositivo sensible, se aprecian fluctuaciones significativas alrededor de la velocidad media, como se muestra en la **Figura 29**.

En esta figura, se denota con U a la velocidad media y u' representa la fluctuación con respecto a la media.

Figura 29

Perfil de velocidades en capa limite turbulenta



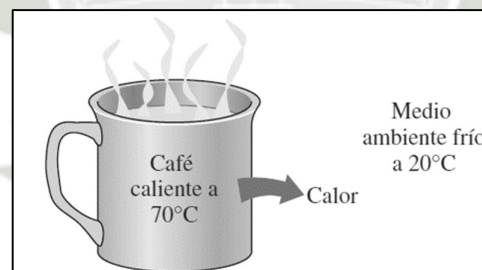
Nota: Holman, (1999)

2.6. Mecanismo de transferencia de Calor:

La transferencia de calor es el intercambio de energía que se puede dar entre dos cuerpos, no solo se trata de explicar cómo se da la transferencia de energía, sino también predecir la rapidez con la que se llevará a cabo. La transferencia de calor contempla los principios de la termodinámica (Holman, 1999). Un ejemplo, se puede determinar el calor transmitido de una jarra o termo conforme el café caliente que está en su interior se enfría de 90°C hasta 80°C con sólo un análisis termodinámico. Véase en la **Figura 30** otro ejemplo de transferencia de calor.

Figura 30

Transferencia de calor



Comentario: El calor fluye en dirección de la temperatura decreciente

Nota: Çengel, (2007)

El calor se puede transferir de tres modos diferentes: Conducción, convección y radiación. Para todas las transferencias se requiere una variación de temperatura, esto ocurre de un medio de mayor temperatura a una de bajas temperaturas. (Çengel, 2007).

2.6.1. Conducción

Es el traspaso de energía de las partículas más energéticas a uno de menor energía, donde el

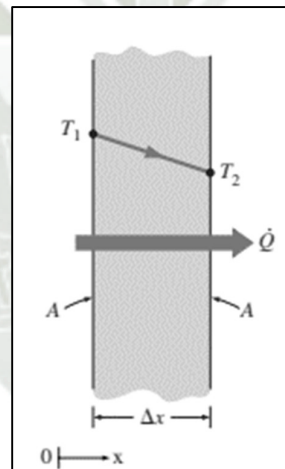
efecto es la interacción entre las partículas en la conducción, esto tiene lugar en los sólidos, líquidos y gases. En el caso de los líquidos y gases las moléculas están en continuo movimiento aleatorio y en los sólidos se da en vibraciones y el transporte por los electrones libres. La configuración geométrica, el espesor, el tipo de material son variables para determinar la rapidez o razón de la conducción.

$$\text{Razón de conducción del calor} = \frac{(\text{área})(\text{diferencial de temperatura})}{\text{Espesor}}$$

$$Q_{\text{cond}} = -KA \frac{T_1 - T_2}{\Delta X}$$

La proporcionalidad K es una constante representativa a la conductividad térmica del material, es decir es la capacidad del material para conducir calor. En la **Figura 31**, se esquematiza la conducción de calor a través de una pared.

Figura 31
Conducción de calor a través de una pared



Comentario: Conducción de calor a través de una pared plana de espesor x y un área de A .
Nota: Cengel, (2007)

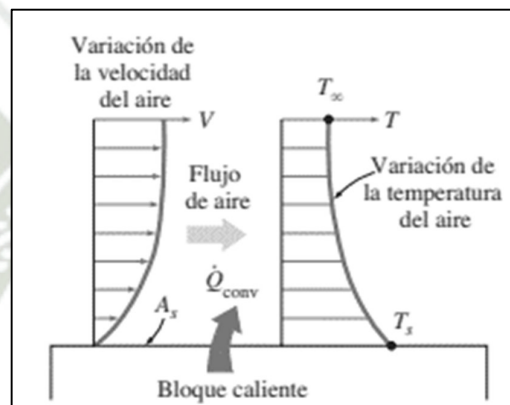
2.6.2. Convección

La convección es el intercambio de calor que se debe al movimiento del fluido. Se tiene tipos de convección por ejemplo la convección natural o libre, ocurre cuando el movimiento del fluido no se complementa con la agitación mecánica, pero cuando se da la agitación esto se considera una convección forzada.(Kern, 1999).

La transferencia de calor por convección implica el análisis del balance de energía y la

dinámica de fluidos en los problemas que involucran este fenómeno. Esto permite determinar la influencia de la convección en los gradientes de temperatura dentro del fluido. Al conocer la distribución de temperatura, es posible determinar el flujo de calor que se produce desde una superficie caliente hacia el fluido en movimiento. La convección forzada se logra al hacer que el fluido se mueva deliberadamente sobre la superficie caliente. Esto puede lograrse mediante el uso de ventiladores, bombas u otros dispositivos de flujo. (Holman, 1999). Véase la **Figura 32**.

Figura 32
Transferencia de calor por convección



Comentario: Transferencia de calor de una superficie caliente hacia el aire por convección.
Nota: Çengel, (2007)

La diferencia de temperatura es proporcional a la rapidez de transferencia de calor. Se expresa en la forma conveniente por las leyes de Newton del enfriamiento.

$$Q_{\text{Conv}} = hA_s(T_s - T_{\infty})$$

Donde:

h =Coeficiente de transferencia de calor en $\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

A_s =Área superficial en la transferencia de calor por convección

T_s = Temperatura superficial

T_{∞} =temperatura del fluido suficientemente alejado de esta superficie

Los coeficientes de transferencia de calor no dependen de las propiedades del fluido, se realizan de forma experimental, en la **Tabla 4** se indica los valores típicos.

Tabla 4
Valores de coeficientes de transferencia de calor

Tipos de Convección	$h, \text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$
Convección libre de gases	2 - 25
Convección libre de líquidos	10 - 1000
Convección forzada de gases	25 - 250
Convección forzada de líquidos	50 - 20000
Ebullición y condensación	2500-100000

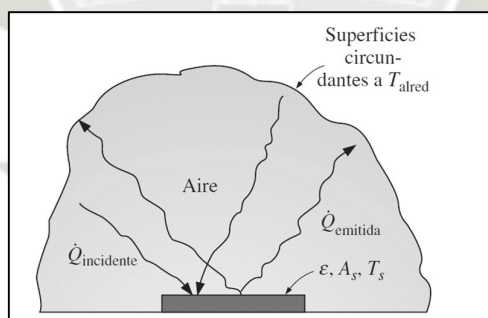
Nota: Cengel, (2007)

2.6.3. Radiación

La radiación es la transferencia de energía a través de cuerpos cuyas moléculas permanecen en posición fija a excepción por las vibraciones. En la transferencia se requiere de un medio para transportar el calor de la fuente al receptor. (Kern, 1999)

La radiación se da por los cambios en la configuración electrónica, como resultado se da la formación de ondas electromagnéticas, siendo la más rápida y no sufriendo atenuación en el vacío. La radiación térmica es muy diferente a las demás radiaciones, todos los cuerpos por encima del cero absoluto emiten radiación térmica. La radiación suele considerarse como un fenómeno superficial para los sólidos que son opacos a la radiación térmica.

Figura 33
Transferencia de calor por radiación



Nota: Çengel, (2007)

La razón de radiación se puede emitir desde una superficie a una temperatura termodinámica, es expresada por la ley de Stefan-Boltzmann. Véase **Figura 33**.

$$Q_{Rad} = \epsilon \sigma A_s (T_s^4 - T_{alred}^4)$$

Donde:

ϵ = emisividad de la superficie ($0 \leq \epsilon \leq 1$)

σ = constante de Stefan-Boltzmann ($5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$)

T_s = temperatura superficial (K)

La emisividad es una medida que indica qué tan cerca está una superficie a comportarse como un cuerpo negro ideal, donde una emisividad de 1 ($\epsilon=1$) indica una superficie que se comporta completamente como un cuerpo negro. La emisividad se encuentra en el rango de 0 a 1, donde los valores más cercanos a 0 indican una menor capacidad de emisión de radiación térmica y los valores más cercanos a 1 indican una mayor capacidad de emisión. Se puede observar en la **Tabla 5** la emisividad de algunos materiales.

Tabla 5
Emisividad de algunos materiales a 300k

Material	Emisividad
Hoja de aluminio	0.07
Aluminio anodizado	0.82
Cobre pulido	0.03
Oro pulido	0.03
Plata pulida	0.02
Acero inoxidable pulido	0.17
Pintura negra	0.98
Pintura blanca	0.90
Papel blanco	0.92-0.97
Pavimento de asfalto	0.85-0.93
Suelo	0.93-0.96
Agua	0.96
Vegetación	0.92-0.96

Nota: Cengel, (2007)

2.7. Dispositivos de control y sensado

2.7.1. Microcontroladores (Atmega2560 - Arduino mega)

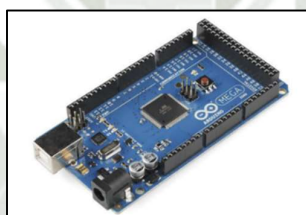
El Arduino Mega es una tarjeta de desarrollo construida con el modelo de microcontrolador Atmega2560 y que cuenta con una variedad de pines de entrada/salida (E/S) para dispositivos analógicos y digitales.

El Arduino Mega puede funcionar de manera autónoma, lo que lo hace ideal para el desarrollo de objetos interactivos independientes. También tiene la capacidad de comunicarse con una computadora a través del puerto serie, que se convierte en USB, lo que permite la conexión con diversos lenguajes de programación como Flash, Processing, Max, MSP, entre otros.(MCI Electronics, s. f.).

– Características del Arduino Mega

El Arduino Mega ofrece una amplia gama de características y funcionalidades. Cuenta con un total de 54 pines de entrada/salida digital, de los cuales 14 se pueden utilizar como salidas de modulación por ancho de pulso (PWM). Además, dispone de 16 entradas automáticas y 4 UART (puertos seriales por hardware). Incorpora un cristal oscilador de 16MHz para el control preciso del tiempo. La conectividad del Arduino Mega incluye un puerto USB para la comunicación con la computadora, un jack de alimentación para la conexión de una fuente de energía externa (entre 9 y 12VDC), un conector ICSP para la programación del microcontrolador y un botón de reinicio para reiniciar el programa en ejecución. (Roman, 2018). Véase diferentes presentaciones del arduino mega 2560 en las **Figura 34** y **Figura 35**.

Figura 34
Arduino MEGA 2560



Nota: Roman, (2018)

La tarjeta de desarrollo Arduino Mega 2560 tiene diferentes ventajas, en dicha placa de microcontrolador tiene la suficiente cantidad de pines requeridos para la implementación de proyectos, así como un costo accesible al mercado. Las características pertinentes del hardware de la tarjeta de desarrollo Arduino Mega 2560 son como se muestra a continuación en la **Tabla 6**.

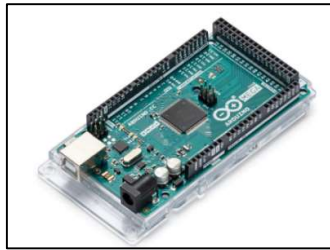
Tabla 6
Características del Arduino Mega 2560

Especificaciones técnicas	Valor típico para un voltaje de alimentación de 5V
Microcontrolador	AT Mega 2560
Tensión de funcionamiento	5V
Voltaje de entrada (recomendado)	7 – 12V
Tensión de entrada (Limite)	6 – 20V
Pines de E/S Digitales	54 (De los cuales 15 proporcionan salida PWM)
Pines de entrada analógica	16
Corriente DC por pin de E/S	20 mA
Corriente DC para pin 3.3V	50 mA

Nota: Mega 2560 R3, (2021)

Figura 35

Imagen Arduino Mega 2560



Nota: Página oficial del Arduino, (2022)

2.7.2. Sensores de temperatura y humedad (DHT22)

Los sensores de temperatura y humedad son muy valiosos en la industria, la variable de humedad al igual que el punto de rocío, se utilizan para el acondicionamiento del aire, en atmósferas protectoras, en secadores, tratamiento térmicos, etc. (Creus, 2010).

El DHT22 (AM2302) tiene integrado un sensor digital capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circulante, sus resultados son presentados mediante una señal digital en el pin de datos (no presenta salida de datos), son utilizados en control automático de temperatura, aire acondicionado, monitoreo ambiental en agricultura y más.

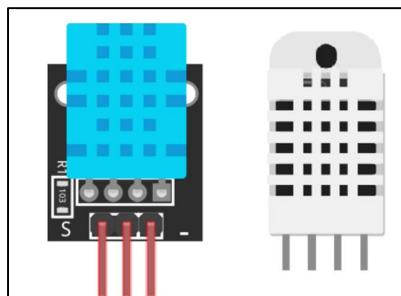
Ventajas técnicas

- Se puede utilizar el sensor en la plataforma de Arduino/Raspberry Pi/Podencia.
- Fácil en la instalación, tanto al nivel de software como de hardware.
- Referente al hardware, solo es necesario conectar el pin VCC de alimentación a 3-5V, el pin GND a Tierra (0V) y el pin de datos a un pin digital en nuestro Arduino.

Si desea conectar varios sensores DHT22 a un Arduino, cada sensor debe estar conectado a su propio pin de datos en el Arduino. Cada sensor DHT22 tiene una interfaz de comunicación de un solo cable, lo que significa que cada uno necesita su propio pin de datos para enviar y recibir señales. El sensor DHT22 ofrece mejores prestaciones en comparación con el sensor DHT11. Tiene una mejor resolución, lo que significa que puede proporcionar lecturas más precisas y detalladas. También ofrece una mayor precisión en la medición de la temperatura y la humedad relativa. Además, el DHT22 tiene un embalaje más robusto, lo que lo hace más resistente a las condiciones ambientales y más adecuado para aplicaciones en entornos exigentes. (Naylamp Mechatronics, 2021).

Véase en la **Figura 36** una comparación entre el sensor DHT22 y el sensor DHT11, así como las características del sensor DHT22 en la **Tabla 7**.

Figura 36
Sensores DHT11 y DHT22



Comentario: Derecha sensor DHT11 e izquierda DHT22.

Nota: Naylamp Mechatronics, (2021)

Tabla 7
Características del Sensor DHT22

Características técnicas del sensor DHT22	
Fuente de alimentación	3.3 – 6V DC
Señal de salida	Señal digital a través de un solo bus
Rango de operación	Humedad 0-100% HR; Temperatura -40 80 Celsius
Precisión	1 humedad +-2% RH (Máx. +-5% RH); temperatura <+-0.5Celsius
Resolución o sensibilidad	humedad 0.1%HR; temperatura 0.1Celsius

Nota: Datasheet del Sensor DHT22, (2022)

2.7.3. Actuadores (ventiladores)

La ventilación se refiere al proceso de reemplazo de una porción de aire considerada indeseable por otra que mejore la pureza, temperatura y humedad del ambiente. Se distingue dos tipos de ventiladores:

- Los ventiladores generales: Son también denominados de dilución o renovación ambiental, son los renovadores del aire interno con otro de procedencia externa.
- Los ventiladores localizados: Tienen la función de evitar la propagación del aire

contaminado en todo el local. Las variables más importantes son la polución, la velocidad de captación, la boca o campana de absorción y el tubo de descarga del aire contaminado.(SOLER & PALAU, 2022).

Véase en la **Figura 37** un ventilador de computadora de ejemplo.

Figura 37
Ventilador de computadora

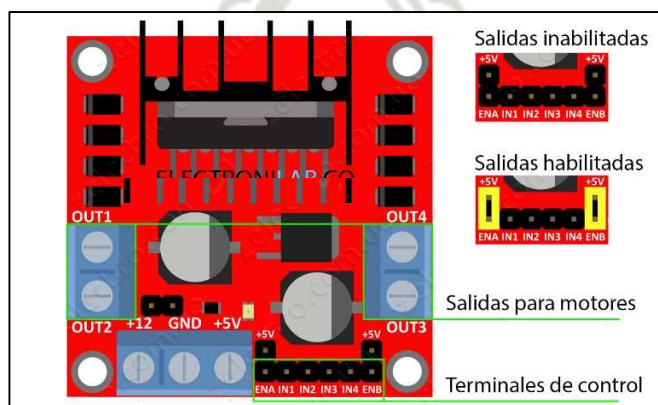


Nota: ALG Aire Limpio Global, (2021)

2.7.4. Driver (L298N)

El driver puente H L298N es un módulo ampliamente utilizado para el control de motores de corriente continua (DC) con una capacidad de hasta 2 amperios. Está compuesto por un chip que contiene dos puentes H completos, lo que permite controlar dos motores CC independientes o un motor paso a paso bipolar/unipolar. El driver, en este caso denominado L298N, proporciona la capacidad de controlar la velocidad y la dirección de giro de los motores mediante señales de nivel lógico TTL. (NayLamp, 2021). Se puede observar su esquema en la **Figura 38** y su diagrama de conexión en la **Figura 39**.

Figura 38
Esquema de conexión

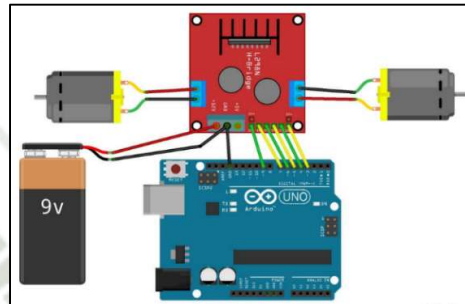


Nota: Cruz, (2014)

El driver L298N es una opción popular para controlar motores desde diversos dispositivos, como microcontroladores, interruptores, relés, entre otros. Este módulo es especialmente adecuado para el control de motores de corriente continua (CC) y motores paso a paso. Es utilizado en una variedad de aplicaciones, como en la construcción de micro ratones (micromouse), robots seguidores de línea y brazos robóticos, entre otros proyectos.

Figura 39

Diagrama de conexión de Driver L298N



Nota: Tesla Electronic, (2022)

Un puente H permite invertir la polaridad de la corriente que circula a través del dispositivo, lo que permite controlar la dirección de giro del motor. Además, mediante la técnica de modulación de ancho de pulso (PWM), se puede controlar la velocidad del motor al variar el ciclo de trabajo de la señal de control. (NayLamp, 2021).

Funcionalidad del puente H:

Es un circuito que puede conducir una corriente en cualquier polaridad y ser controlado por Pulse Width Modulation (PWM).

Detalles de pines del Driver L298N:

- Consta de 4 pines de salida (salidas de los motores A y B).
- 12v: En realidad puede ser 5V, pero en PCB está marcado como 12V.
- GND: Tierra
- 5v: Salida de 5V
- En A se habilita la señal PWM para el motor A.
- Ln (1,2) que habilite el motor A.
- Ln (3,4) que habilite el motor B.
- En B se habilita la señal PWM para el motor B (considerando el croquis de Arduino).

Características:

- Corriente máxima: 2A por motor.
- Sentido de corriente para cada motor.
- Disipador térmico para un mejor rendimiento.
- Indicador LED de encendido.
- Chip de unidad de puente doble H: L298N.

2.7.5. Teclado matricial

Un teclado matricial es un arreglo de botones organizados en filas y columnas que están interconectados de manera que se pueden leer varios botones usando un número mínimo de pines. En el caso de un teclado matricial 4x4, consta de 4 filas y 4 columnas, lo que proporciona un total de 16 teclas. Sin embargo, en lugar de utilizar 16 pines individuales para leer cada tecla, se pueden utilizar únicamente 8 pines.

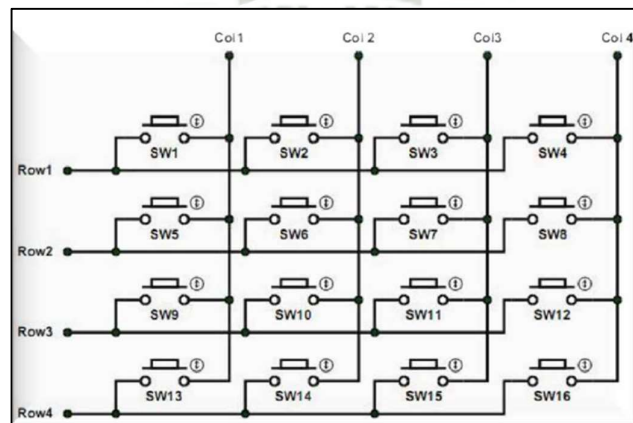
- Funcionamiento

Está basado en enviar mediante 4 pines de puerto (los cuatro primeros o los cuatro últimos) una combinación y leer los siguientes 4 pines para ver si se realizó algún cambio en la lectura, si no fuera así nos indica que no se presionó tecla alguna, pero si hubo un cambio hay que rastrear la tecla que se presionó mediante un código. (Jaramillo, 2012.)

Véase su diagrama en la **Figura 40**.

Figura 40

Diagrama del Teclado Matricial 4x4



Nota: Jaramillo, (2012)

El Teclado Matricial 4×4 Tipo membrana es un teclado de 4 filas y 4 columnas para un total de 16 teclas. Una de sus ventajas es el requerimiento de poco espacio por ser de tipo membrana. En la **Tabla 8** se presentan sus características y en la **Figura 41** su imagen.

Tabla 8
Características técnicas de Teclado matricial 4 x 4

Características Técnicas	
Conectar standard	2.54mm (0.1")
Dígitos	0-9 Letras: A-D Símbolos: “#” y “*”
Tamaño	70 * 77 * 0.8 mm
Longitud del cable	85 mm (incluyendo el conectar)
Conectar	hembra de 8 pines, espaciamento 0.1"
Capacidad máxima	35 VCD, 100 mA
Aislamiento	100M Ohm, 100V
Rigidez dieléctrica	250 Vrms (60 Hz, 1 min)
Contacto de rebote	<= 5 ms
Temperatura de funcionamiento	-20 a +40 ° C

Nota: Tesla Electronic, (2022a)

Figura 41
Teclado matricial 4×4 interruptores de membrana



Nota: Tesla Electronic, (2022b)

2.7.6. Pantallas

- Pantalla LCD 1602

Un LCD (Liquid Crystal Display) es un dispositivo que muestra la información de manera

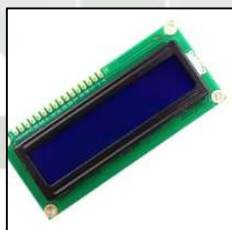
gráfica mediante caracteres, símbolos o pequeños dibujos, según el modelo y la configuración. El LCD 1602 es un tipo específico de LCD que consta de 2 filas y 16 columnas de dígitos alfanuméricos. Esto significa que puede mostrar hasta 32 caracteres en total: 16 caracteres en la primera fila y 16 caracteres en la segunda fila. Cada carácter puede ser una letra, un número, un símbolo o un espacio en blanco. (Unipamplona, 2015). Véase un LCD 1602 en la **Figura 42** y sus características en la **Tabla 9**.

Tabla 9
Características técnicas de pantalla LCD 1602

Características Técnicas	
Modulo LCD 16 X 02	Muestra letras números, símbolo y matrices
Voltaje operación	5V
Interface de comunicación	Paralelo 4 a 8 bits
Backlight	Azul
Filas	2
Columnas	16
Dimensiones de la pantalla	64.5 x 14.5
dimensiones externas	80.0x36.0

Nota: Tesla Electronic, (2022a)

Figura 42
Pantalla LCD 1602



Nota: Tesla Electronic, (2022)

– Pantalla LCD 2004A

La pantalla de cristal líquido (LCD, por sus siglas en inglés, Liquid Crystal Display) es un dispositivo utilizado para mostrar información o contenido visual de manera gráfica, mediante la representación de caracteres, símbolos o pequeños dibujos, según el modelo. En el caso específico de la pantalla LCD2004A, utiliza el controlador SPLC780. (Unipamplona, 2015).

Véase un LCD 2004A en la **Figura 43** y sus características en la **Tabla 10**.

Tabla 10
Características técnicas de pantalla LCD 2004A

Características Técnicas	
Modulo LCD de 2004A	Muestras letras números, símbolo y matrices
modo de transferencia	4 - 8 bits
contenido de pantalla	4 líneas x 20 características
Voltaje operación	+ 5V
temperatura de funcionamiento	-10°C- + 60°C
Color de texto	Blanco
Backlight	Azul
controlador	SPLC780
Tamaño del Modulo	98.0 x 60.0 x 14.0 mm
área de visión	76.0 x 26.0 mm

Nota: (Tesla Electronic, 2022)

Figura 43
Pantalla LCD 2004A



Nota: Tesla Electronic, (2022)

– Pantalla GLCD 128×64

Un Graphic Liquid Crstal Display (GLCD), también conocido como pantalla gráfica de cristal líquido, es un tipo de pantalla plana compuesta por una matriz de pixeles monocromos dispuestos frente a una fuente de luz o reflectante. Es utilizado en dispositivos electrónicos portátiles, ya que requiere una cantidad mínima de energía eléctrica.

Pueden tener una memoria RAM interna del mismo tamaño que su capacidad de visualización. Por ejemplo, si una pantalla tiene una resolución de 128 pixeles de ancho por 64 pixeles de alto (128x64), es posible que cuente con una memoria RAM interna de la misma capacidad (128x64). (TestaElectronic, 2023). Véase un ejemplar en la **Figura 44** y sus características en la **Tabla 11**.

Tabla 11
Características técnicas de pantalla GLCD128x64

Características Técnicas	
Modulo LCD 16 X 64	Retroalimentación con color azul de 128x64 puntos gráficos
módulo de pantalla LCD	luz de fondo color azul
contenido de pantalla	4 líneas x 20 características
punto de pasos	0.52 mm (L) x 0.52 mm (W)
tipos de LCD	STN (Azul)
temperatura de funcionamiento	-20 a 70 grados
temperatura de almacenamiento	-30 a 80 grados
área de visión	7.0 cm (L) x 4.4 cm (W)
Tamaño de puntos	0.48 mm (L) x 0.48 mm (W)

Nota: Tesla Electronic, (2022a)

Figura 44
Pantalla GLCD 128×64

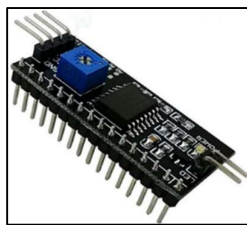


Nota: Tesla Electronic, (2022a)

- Adaptador I2C para pantalla LCD 20x4

El adaptador se fundamenta en el controlador I2C, que actúa como un expensor de entradas y salidas digitales controladas a través del protocolo I2C. En el diseño habitual se utiliza una placa de circuito impreso (PCB). Este módulo se emplea para controlar una pantalla LCD alfanumérica. Véase al I2C en la **Figura 45** y sus características en la **Tabla 12**.

Figura 45
Adaptador I2C para pantalla LCD 20x4



Nota: Naylampmechatronics, (2016)

Tabla 12
Características de adaptador I2C para pantallas LCD 20x4

Características	
Chip	PCF8574
Conexiones	4 líneas
Contrastes	ajustable
Compatible	LCD 16x2 y 20x4 protocolos I2C - se puede compartir el bus con otros dispositivos.
Dimensiones	41x 19mm

Nota: Didactic, (2022)

2.7.7. Reguladores y Rectificadores

Para regular y rectificar que cada componente tuviera el voltaje y corriente necesaria para su funcionamiento se utilizaron los siguientes:

- Regulador de Voltaje L7805CV

Es un regulador de voltaje lineal positivo con voltaje de salida de 5V DC y corriente de salida máxima a 1.5A, tiene un encapsulado de 0 -220 de tres pines. Véase en la **Figura 46** el regulador y en la **Tabla 13** sus rangos.

Tabla 13
Rangos máximos

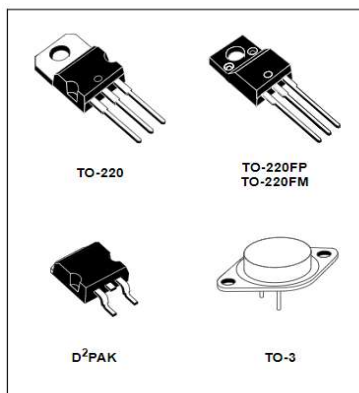
Parámetros	Valor	Unidad
Tensión de entrada DC	Para $V_o = 5 - 18$ V	V
	Para $V_o = 20,24$ V	
Corriente de salida	Internamente limitada	
Disipación de potencia	Internamente limitada	
Rango de temperatura de almacenamiento	-65 a 150	° C

Nota: Datasheet L7805, (2022)

Las clasificaciones máximas absolutas son aquellos valores más allá de los cuales pueden ocurrir daños al dispositivo. La operación funcional bajo estas condiciones no está implícita.

Figura 46

Reguladores



Nota: Datasheet L7805, (2022)

– AC/DC Rectificador 1250

Es un producto de alta portabilidad y excelente servicio, protege contra sobretensiones, cortocircuitos y sobre temperatura. El estándar es FCC, CE; ROHS, es un producto compatible y confiable. Véase en la **Figura 47** el rectificador 1250.

Entrada: AC100-240V 50/60Hz

Salida: 12 V 5A

Figura 47

AC/DC Rectificador 1250

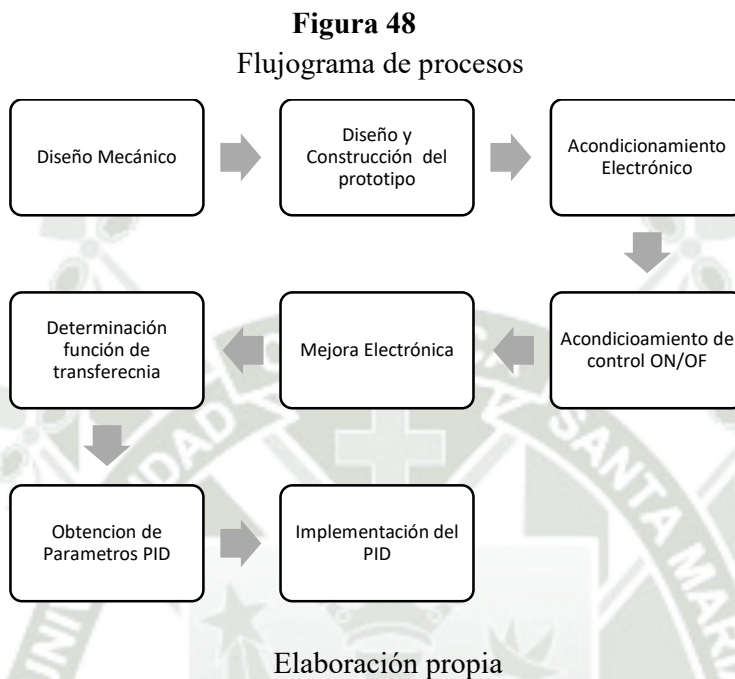


Nota: Elaboración Propia



3.1. Flujograma del proceso de Fabricación

En la **Figura 48** se representa el flujograma del proceso para la elaboración de la máquina de secado de maíz.



3.2. Mecanismos de secado solar

Teniendo en consideración los datos meteorológicos para Arequipa, cuya radiación solar asciende hasta 6.5 KW.h /m2dia, y habiendo revisado antecedentes y modelos de secado de alimentos en el capítulo anterior en base a los mecanismos de transferencia de calor provistos con energía solar se toma como referencia o base la transferencia de calor para el secado por radiación y convección forzada indirecta mediante una plancha plana. Véase un cuadro con los mecanismos de transferencia en la **Tabla 14**.

Tabla 14
Selección del mecanismo de transferencia de calor

Mecanismos de transferencia	Técnica	Objetivo
Radiación	Apertura de área del prototipo y exposición del alimento directamente a la radiación solar	Secado por radiación solar
Convección	Movimiento forzado de aire para el contacto directo de aire -alimento, transferencia de calor indirecta por convección forzada de plancha hacia alimento	Secado por convección

Elaboración Propia

3.3. Diseño mecánico.

Para el diseño mecánico se ha considerado dos mecanismos de transferencia de calor; radiación y convección forzada. Para el caso de la radiación se estableció la apertura del prototipo en la parte superior tapada con vidrio para la captación de energía. Por otro lado, para la convección forzada se estableció un ducto de aire para el intercambio entre aire caliente y el maíz.

3.3.1. Dimensionamiento mecánico:

A) Consideraciones de diseño

- Determinación del potencial solar de la zona donde trabajará la máquina.
- Determinación de horas de sol para Paucarpata, Arequipa.

$$N = \frac{2}{15} \omega_s$$

N: número de horas de sol

ω_s : Ángulo horario

En las ecuaciones siguientes se calcula: δ (ángulo de declinación solar, reemplazando n

(número del día del año) el cual es el 16 de junio escogido como el día de inicio de ensayo o día modelo de ensayo.

$$\omega_s = \arccos(-\tan(\delta) \cdot \tan(\theta)), \theta=16$$

$$\delta = 23.45 \cdot \sin\left(\frac{360 \cdot (284+n)}{365}\right); n=167$$

$$\delta = 23.45 \cdot \sin\left(\frac{360 \cdot (284+167)}{365}\right)$$

$$\delta=23.25$$

$$\omega_s = \arccos(-\tan(23.25) \cdot \tan(16))$$

$$\omega_s = 96.99$$

$$N = \frac{2}{15} (96.99) = 12.932 \text{ (horas de sol teóricas)}$$

El área de bandeja es proporcional el ancho del secador, el cual puede ser obtenido de (Iglesias et al., 2017) según :

$$A = \left(\frac{W_w}{\rho \cdot h_l \xi (1 - \varepsilon_v)} \right)$$

Donde: W_w es el peso del maíz (1kg) dato propuesto ya que las bandejas alojaran como máximo 1kg de maíz ρ = densidad del producto en condiciones húmedas (700 kg/m³) dato bibliográfico; h_l = espesor de la capa de producto en la bandeja (0.02 m) dato propuesto; ξ = porosidad del producto (0.41) según (Delgado et al., 2008) dato bibliográfico; ε_v = fracción de la bandeja que queda vacía determinada propuesta ($\varepsilon_v= 0.5$). Reemplazando los valores nos arroja un área aproximada de 0.35 m², la cual nos permite determinar un ancho y largo de construcción del secador de 0.5m * 0.5m, considerando además el número de bandejas de 10 se considera un alto de 1.5m aproximadamente.

Energía solar disponible en Arequipa.

$$\frac{H_{ab}}{H_0} = a + b \frac{n_r}{N}$$

Donde:

H_{ab} : Irradiación diaria solar sobre una superficie horizontal (W. h/m².h)

H_0 : Irradiación

N: Número de horas de sol teóricas

n_r : Número real de horas de sol (heliofanía)

a y b: Constantes Angström-Prescott

Según el anexo2 encontramos la selección para las constantes de la anterior fórmula mencionada.

H_{ab} (irradiancia solar) es 6.12 KW h/m².día

Interpretando este dato de 6.12 KW.h/m².día es que en el día 16 del mes de junio, el cual fue tomado como referencia para el dimensionamiento, el cual es el día de la semana donde se llevó el inicio del ensayo, el sol proveyó con 6.12KW por cada m² durante ese día. Ahora se calcula las horas de sol pico empleando la siguiente formula.

$$HSP = \frac{H_{ab}}{1000KW/m^2}$$

Dando un resultado de 6.12 horas de sol pico con el cual se dispondrá de 1000KW/m²

- Determinación del área de captación por radiación y mecanismos internos de transferencia.

Requerimiento energético de secado

Para encontrar el calor necesario de secado del maíz, primero es importante definir el calor necesario para calentar el maíz como objetivo.

$$Q_{ca} = m \cdot Cp_m \cdot (T_m - T_a)$$

En donde:

Q_{ca} : Calor necesario para calentar el maíz. (Kcal).

m : Masa de maíz (Kg)

T_m : Temperatura del maíz (K)

T_a : Temperatura del ambiente (K)

Cpm : Calor específico del maíz (KJ/kg. K)

La masa total de maíz es de 15 Kg, considerada como máxima capacidad del secador, el calor específico del maíz es de 0.1020 KJ/Kg. K, la temperatura máxima que alcanzará el maíz será de 40°C o 313K, la temperatura ambiente es de 20°C o 293K, en consecuencia.

$$Q_{ca} = 15 \times 0.1020 \times (313 - 293)$$

$$Q_{ca} = 30.6 \text{ (kJ)}$$

Se requiere 30.6 para calentar el maíz de 20 °C a 40°C como máxima elevación de temperatura del grano con el objeto de generar un secado más rápido, siguiendo con el cálculo se procede a calcular el calor necesario para evaporar el 16% de agua en el maíz lo que

representa 2.4Kg de la masa total, y dejar el maíz con un 14% lo que representa 2.1 Kg de la masa total.

$$Q_{ev} = x' \cdot mc \cdot \lambda$$

Q_{ev} : Calor necesario para evaporar el agua del maíz (KJ)

x' : Humedad del maíz (%)

λ : Calor latente de agua a evaporar del grano (kJ/kg)

$$Q_{ev} = 0.15 \times 15 \times 2407$$

$$Q_{ev} = 5415.75 \text{ (KJ)}$$

Sumando ambos calores obtenemos $Q_{ev} + Q_{ca} = 5446.35$ KJ, la cual es la energía total necesaria para lograr el objetivo de secar una masa máxima de 15Kg al 14% de humedad.

B) Definición de dimensiones externas e internas complementarias

- Colector solar de vidrio superior

Para definir el área de captación por radiación más acorde evaluaremos la siguiente fórmula

$$G_{rg} = G_s (1 - \alpha_g)$$

α_g : 0.1 factor que incluye la reflexión y absorción solar del vidrio

G_s : irradiancia solar, la cual fue calculada en el apartado anterior de 6125Kw.h/m²

$$G_{rg} = 6125 (1 - 0.1)$$

$$G_{rg} = 6125 \cdot 0.9$$

$$G_{rg} = 5512.5 \text{ KWh/m}^2$$

Con el fin de optimizar el área del colector solar de vidrio, cuya radiación incidirá directamente en la primera bandeja de grano de maíz, entendiendo también que se contará con transferencia de calor por convección forzada por flujo ascendente, se debe limitar la extensión del área del colector ya que el conducto ascendente tiene la misma área para considerar la cantidad de flujo.

$$Q_T = Q_t \cdot A_{\text{colector}}$$

Q_T : Calor provisto por el colector

Q_t : Calor por m² o irradiancia solar

A_{colector} : Área del colector

$$Q_T = 5512 \times A$$

$$Q_T = 1708 \text{ KW-h}$$

Con un área de 0.31m² el colector alcanza una potencia solar de 1708 KW-h durante las horas de sol, cuya área nos da dimensiones aceptables del conducto para el aire ascendente.

- Plancha de cobre

Anteriormente calculamos $G_{rg}=5512.5 \text{ KWh/m}^2$. contando con este dato de irradiación es necesario considerar que el área de captación del segundo colector no deberá ser tan amplia teniendo en cuenta que el primer colector provee mayor radiación directa a la primera bandeja, lo que probablemente incremente la temperatura interior del prototipo en desmedida lo cual será verificado en ensayos.

$$Q_T = Q_t \cdot A_{\text{colector}}$$

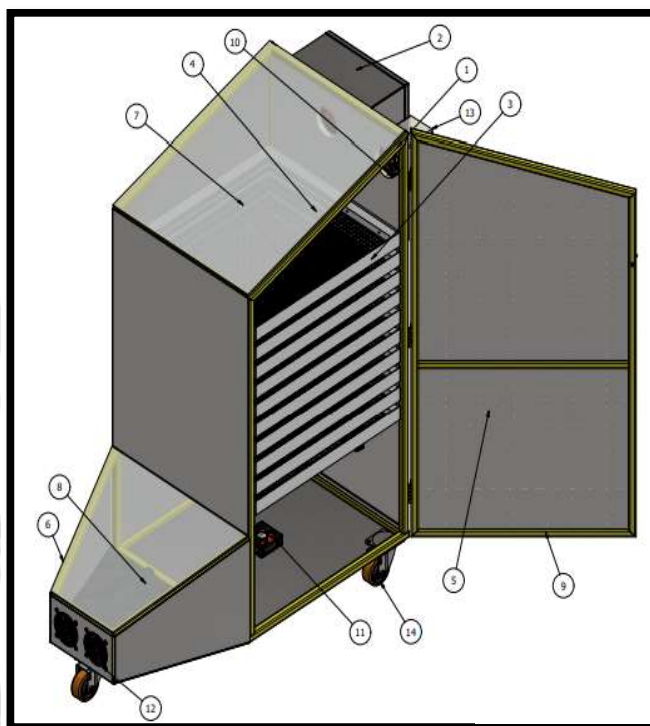
Considerando un área de 0.15m² con una transmisión del segundo colector a la plancha de cobre con cero pérdidas, El calor que provee de la plancha de cobre será de 826 KW alcanzado durante el día.

Con ello dimensionamos un secador de 2534 KW-h o 9122 MJ de energía máxima captada para los días de ensayo el secado, siendo este calor más de lo necesario de 5799 KJ. Se entiende que no se ha calculado pérdidas por transferencia de calor por paredes, esto se ajustó experimentalmente, teniendo en consideración el número de variables a añadir al sistema mecatrónico. Sin embargo, la variable a controlar fue el tiempo, temperatura interna y humedad para el secado.

C) Desarrollo de planos

Según los cálculos anteriores se pudo realizar los planos que nos ayudaran a fabricar y explicar el prototipo (ver anexo I). Véase el prototipo del secador en la **Figura 49** y su lista de partes en la **Tabla 15**.

Figura 49
Prototipo del secador



Elaboración Propia

Lista de partes

Tabla 15
Partes del secador

Lista de componentes		
N.º	Cantidad	Componentes
1	1	Estructura principal
2	1	Tablero de control
3	10	Bandejas
4	10	Mallas inox·4
5	14	Cortes de planchas inox 0.4mm
6	1	Vidrio inferior 6mm
7	1	Vidrio superior 6mm
8	1	Plancha de cobre 1mm
9	1	Puerta de plancha inox
10	5	Ventiladores 12v
11	1	Ventiladores
12	2	Guardas de ventiladores v
13	1	Estructuras de acrílico 1.5 mm
14	1	Garrucha 3"

Elaboración propia

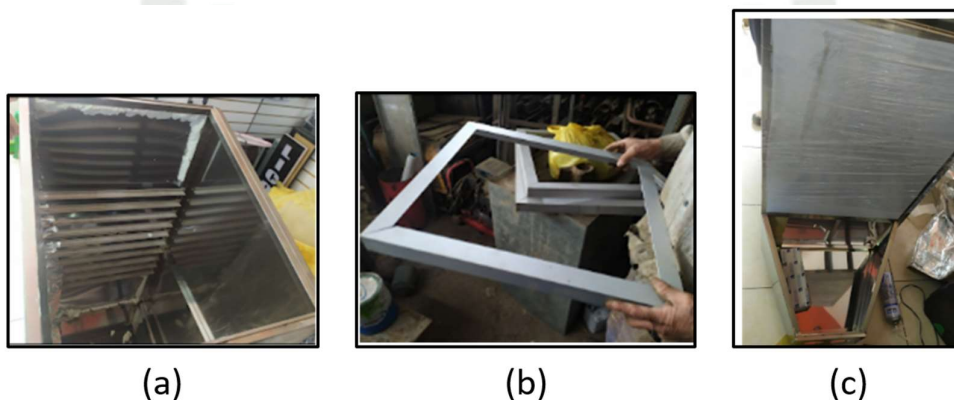
3.3.2. Construcción

El proceso de fabricación fue contratado a una empresa metalmeccánica y se siguió el proceso de construcción:

La fabricación inició con la carcasa y los soportes de las bandejas, considerando según los planos de fabricación, orificios donde se instalarán los ventiladores. (*Figura 50 y Figura 51*).

Figura 50

Instalación de carcasa y soportes del secador

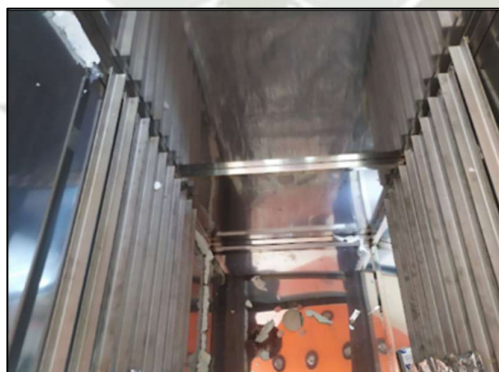


Nota: (a) Carcasa, (b) Marco de bandejas, (c) Área inferior
Elaboración Propia

Se procede a instalar el aislante de espuma expansiva.

Figura 51

Instalación de espuma expansiva



Elaboración propia

Se instala la malla al marco de bandeja. (Véase *Figura 52*).

Figura 52
Instalación de rejilla



(a)

(b)

Nota: (a) Mallas metálicas, (b) Marco con la malla metálica
Elaboración Propia

Finalmente se presenta el modelo mecánico terminado listo para realizar las conexiones e instalación de los equipos de control. Véase **Figura 53**.

Figura 53
Modelo mecánico terminado



Elaboración Propia

Durante los ensayos fue necesario rediseñar la parte de circulación de aire primero, es por ello que se cuenta con data de una primera fase y una segunda fase posterior a la apertura de orificios.

3.4. Diseño de control

3.4.1. Criterios para el control PID

A) Diseño de control /obtención del control de transferencia

Para el presente proyecto, la primera consideración que se tuvo fue conseguir la temperatura óptima del maíz morado sin modificar sus propiedades, donde su temperatura interna no debe exceder los 40 grados Celsius (Ministerio de comercio exterior del Perú, 2022).

Al cubrir esta necesidad nos enfocamos en cubrir el tiempo de secado, donde el secado natural que se da en tendales teniendo una duración de 30 a 45 días para llegar a una humedad de 14% para su exportación (Instituto Nacional de innovación agraria, 2020), por lo tanto, nuestro enfoque fue reducir este periodo de secado en el menor tiempo posible, idealmente se propuso una semana como tentativa.

Los parámetros que se consideraron inicialmente para nuestro diseño fueron los siguientes:

- Se propuso tener una temperatura en nuestro prototipo de 46 grados ya que al estar a esta temperatura nuestro maíz se encontrará bordando los 40 grados Celsius.
- El tipo de control a emplear será un PID (proporcional, integral, derivativo), ya que este nos facilitará una respuesta rápida para regular nuestra temperatura al valor deseado.
- El tiempo de trabajo a considerar es de 8am a 4pm, tiempo en el que el sol nos proporciona una radiación adecuada.
- Se consideró un cielo totalmente despejado durante el periodo de pruebas para que nos permitiera llegar a los valores de temperatura deseados.
- La lectura de datos será en una interfaz de Arduino con Microsoft Excel, brindando el comportamiento de nuestro sistema.

¿Por qué se escogió el control PID?

Una gran cantidad de controladores industriales utilizados en la actualidad se basan en esquemas de control PID (Proporcional, Integral y Derivativo). Estos controladores son especialmente útiles cuando se desconoce el modelo matemático de la planta y no es posible emplear métodos de diseño analítico. En el campo de los sistemas de control de procesos, los

controladores PID se han vuelto muy conocidos y han demostrado ser extremadamente útiles para lograr un control satisfactorio y eficiente. (Ogata 5ta edición).

Identificación de función de Transferencia

Para poder hacer cualquier tipo de control, es necesario tener la Función de Transferencia de la planta.

Emplearemos la plataforma de programación y calculo “Matlab”, la cual nos ayudará, facilitará la Función de Transferencia ya que esta presenta un comportamiento complejo, debido al flujo de aire y energía solar. Por lo cual el método de trabajo que se utilizó es el uso de un modelamiento computacional; es decir realizar una identificación experimental de acuerdo a la respuesta del sistema en pruebas realizadas en el módulo.

A continuación, se detallará los pasos a seguir para obtener nuestra función de transferencia:

En este proyecto una vez desarrollada la ingeniería del diseño mecánico el cual se podría dividir en dos partes: calentamiento a base del módulo que utiliza la energía solar y enfriamiento: a base de los ventiladores instalados en todo el módulo.

Es ahora cuando pasamos a la parte de control empezando con un modelo simple donde solamente se encienden y apagan los ventiladores en base a la temperatura (un control on/off) es decir el comportamiento simple del módulo mecánico. De este modelo necesitamos saber su comportamiento, por ello primero se hizo la identificación experimental de la función de transferencia del sistema que queremos controlar, esto con volvox ident de la plataforma MATLAB.

3.4.2. Sustento matemático para el control

- A) Método de ziegler – Nichols
- Método de la respuesta en escalón

El método se basa en obtener información del proceso mediante la aplicación de un escalón en lazo abierto. Se utiliza un modelo simple de proceso para el modelado y control. Al aplicar el escalón, se obtiene una respuesta con dos parámetros clave: "a" y "L".

El procedimiento consiste en determinar el punto donde la respuesta al escalón alcanza el máximo pendiente y se traza una tangente en dicho punto. Luego, se buscan las

intersecciones entre la tangente trazada y los ejes de coordenadas, obteniendo así los valores de los parámetros "a" y "L". Esta metodología permite caracterizar y ajustar el control del proceso de manera efectiva.

La siguiente tabla nos muestra los parámetros del controlador para el método de la respuesta a un escalon de Ziegler-Nichols:

Tabla 16
Parámetros de controlador

Controlador	ak	T_i/L	T_d/L	T_p/L
P	1			4
PI	0,9	3		5,7
PID	1,2	2	L/2	3,4

Nota: Ogata, (2010)

– Método de la respuesta en frecuencia

El método nos da una caracterización simple de la dinámica del proceso. Su fundamento está en el conocimiento del punto del diagrama de Nyquist de la función de transferencia del proceso $P(s)$, el cual nos muestra que el diagrama interseca al eje real negativo. El punto último se define por las siguientes ecuaciones:

$$K_u = 1/K_{180}$$

$$T_u = 2\pi/K_{180}$$

Estos parámetros se determinan conectando un controlador al proceso, y se establecen de la forma que la acción de control es proporcional, donde $T_i = \infty$ y $T_d = 0$.

Este método puede ocurrir como un enfoque de sintonización empírica, en el cual los parámetros del controlador se obtienen a través de experimentos directos en el proceso, combinados con reglas sencillas. Una de estas reglas consiste en aumentar la ganancia en un 50% de manera incremental.

3.4.3. Selección de equipos







Los criterios de selección irán acorde al objetivo de control para 02 parámetros, el cual consistirá en mantener la temperatura constante y controlar la humedad. (Véase **Tabla 17**).

El sistema electrónico del prototipo abarca la circuitería necesaria para poder controlar e interactuar con el módulo, utilizando una interfaz de usuario que se encuentra en el tablero de control.

A) Selección de equipos

Tabla 17
Selección de materiales

Equipo	Criterio de selección	Cantidad (und)
Arduino Mega 	Al disponer de mayor cantidad de pines (54 pines E/S Digitales de las cuales 15 proporcionan salida PWM y 16 pines de entrada analógica) será de mejor utilidad, así mismo su capacidad superior al Arduino uno y compatibilidad con los sensores y componentes más comerciales. Además destacar el aspecto económico. Va a fin con objeto de estudio.	1
Sensor de temperatura y humedad dht22 	El sensor se ocupa de las dos variables de estudio dentro del secador: Temperatura y humedad, trabajando en rangos cercanos a los requeridos (0 – 100 % HR y -40 a 80 Celsius), además es compatible con Arduino mega, comercial y económico.	2
Ventilador de PC 	Este tipo de ventiladores cumplen con los requerimientos de trabajo necesarios (220 v 0.08 dando 2600 RPM, Potencia 17.6 W y flujo volumétrico 85 cfm; 12 V 0.20 A con Potencia de 2.4 Watts y 32.28 cfm de flujo volumétrico, también se escogieron por su facilidad de adquisición y bajo coste.	6
Módulo de control Driver L298N 	Este módulo de control de actuadores se escogió por su bajo coste, compatibilidad con Arduino mega, capacidad de controlar 02 motores en simultáneo (Para el manejo de los actuadores se necesitaba tener un control de su potencia y que sea independiente de los otros. Optando así por conveniente el uso del Driver L298N para poder independizarlos en sus funcionamientos).	2
Potenciómetro 	Control de luminosidad de pantalla	1

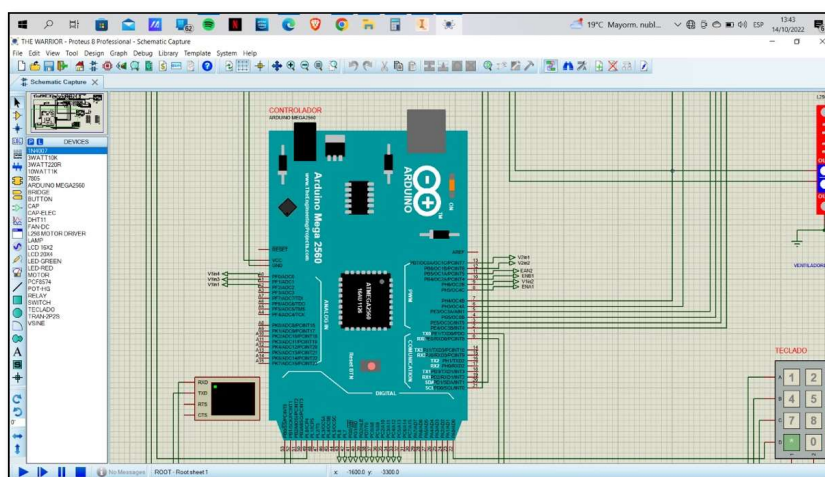
Cables eléctricos		Para el conexionado de componentes se empleará por selección el cable de calibre 16.	01 rollo
Luces led simples		Para el control visual de los actuadores se conectan 06 leds rojos y 06 leds verdes, que nos indican el encendido y apagado de los ventiladores.	12
Pantalla LCD		Para visualización de datos El LCD 1602 posee 2 filas y 16 columnas de dígitos alfanuméricos necesarios para mostrar los valores de temperatura y humedad. La pantalla LCD2004A posee 4 líneas x 20 caracteres cada uno necesarios para la interacción con el usuario.	2
Botoneras		Para el control de encendido y apagado del prototipo.	2
Luces led industriales		Para el tablero de control general del módulo.	2
Teclado matricial		Para la instrucción de parámetros se ha escogido por su compatibilidad con Arduino, comercialidad y bajo coste.	1

Elaboración Propia

B) Desarrollo de planos

Para poder realizar el Inter conexionado y lógica cableada se desarrolló 01 plano en proteus (*Figura 54*), que ayudará a entender y esquematizar la parte electrónica y eléctrica para su posterior armado.

Figura 54
Elaboración interfaz Proteus



Elaboración Propia

3.4.4. Instalación

Primero se procederá a instalar el tablero de control el cual irá en la parte trasera del módulo.

Figura 55
Instalación de tableros de control

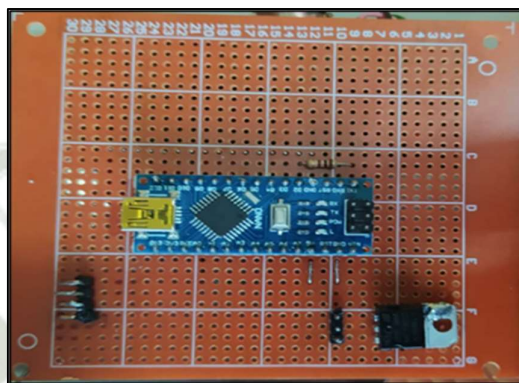


Nota: Tablero de control
Elaboración propia

Se realiza un bosquejo a la plancha de metal para designar la ubicación de los componentes, botoneras, luces leds simples e industriales, pantallas led y se realiza las medidas de ubicación exactas. (*Figura 55*).

Figura 56

Bosquejo de instalación a placa madre

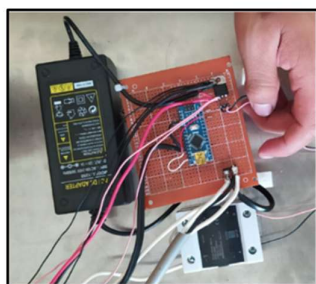


Elaboración propia

Se inicia con la instalación del módulo de control en la placa de integración, Arduino nano, el cual fue escogido en un inicio debido a su capacidad de control, sin embargo, al hondar en la investigación se cambió por Arduino mega al ofrecer mejores ventajas como se explicó en el criterio de selección. Véase dicha instalación en las *Figuras 56 y 57*.

Figura 57

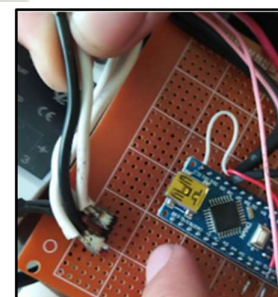
Instalación de Arduino nano



(a)



(b)



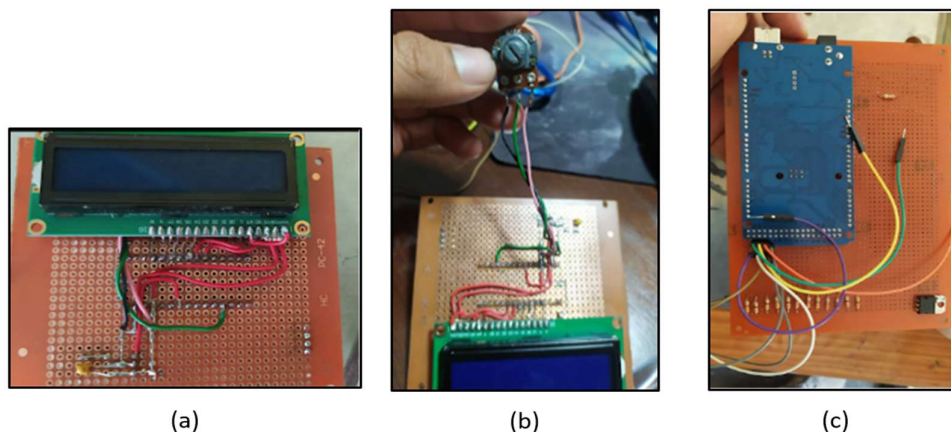
(c)

Nota: (a) Colocación de los componentes en la placa, (b)Cableado, (c) Conexión
Elaboración Propia

Se procede a realizar la instalación de cableado y conexionado.

Figura 58

Cableado y conexionado

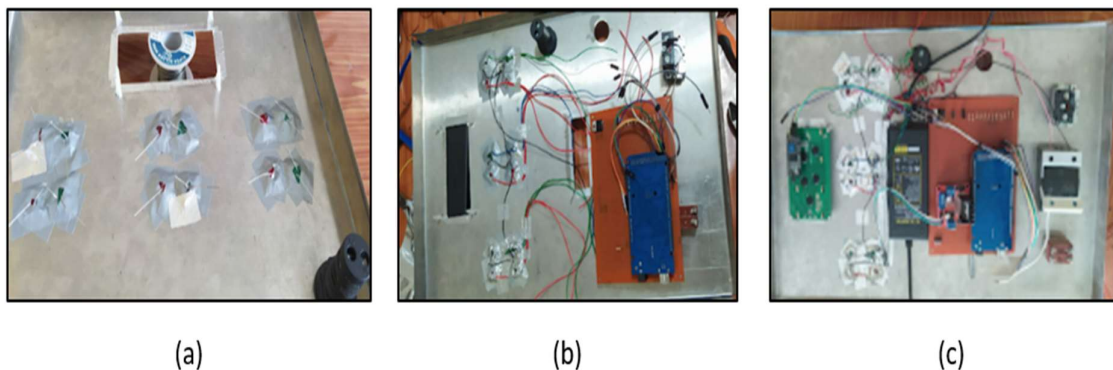


Nota: (a) Integrado de pantalla, (b) Conexión potenciómetro, (c) Conexión Arduino Mega
Elaboración propia

Se instala la pantalla led y se integra el cableado conexionado con Arduino Mega, complementariamente se instala el potenciómetro para el control de luminosidad de la pantalla led. **(Figura 58).**

Figura 59

Instalación de pantalla LED conexionado a Arduino

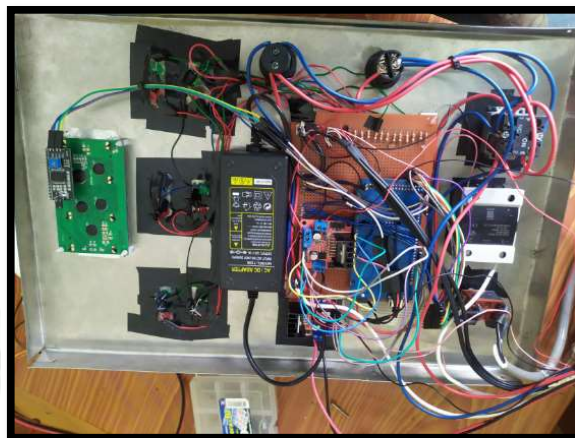


Nota: (a) Caja de control luces led, (b) Conexión del Arduino, (c) Conexión pantalla más Arduino y transformador
Elaboración propia

Se integra a la plancha cortada la pantalla led, botoneras, leds simples e industriales. **(Figura 59).**

Figura 60

Instalación completada con Arduino mega

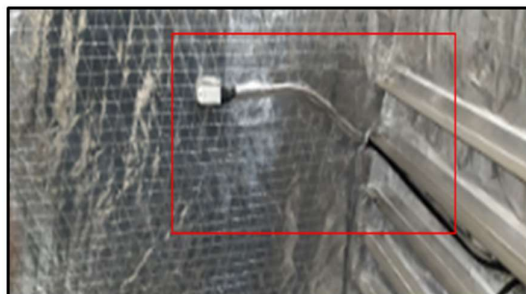


Elaboración propia

Se instalan en el interior los sensores de temperatura y humedad y se realiza el conexionado con el panel de control, de la misma manera se realiza para los ventiladores según el diseño mecánico final. Véase **Figura 60 y 61**.

Figura 61

Instalación de sensores y actuadores



(a)



(b)

Nota: (a) Sensor, (b) Ventilador
Elaboración propia

Finalmente se presenta el prototipo acabado. Véase **Figura 62**.

Figura 62
Diseño mecánico final



(a)



(b)





Nota: (a) Diseño final, (b) Tablero de control, (c) Tablero con stickers y logo
Elaboración propia

3.4.5. Código

Inicialmente se incluía la temperatura (38-45 °C) deseada a través del potenciómetro, aun no existía control en ventiladores para llegar a la temperatura deseada. Luego se agregaron; 01 sensor más de temperatura y humedad, 01 pantalla más, leds rojos y verdes, 01 botón de parada de emergencia, 01 teclado matricial, 01 suites on-off, 02 leds industrial rojo y verde, se procedió a designar los pines y declaración de variables en Arduino mega, a configurar que pines serian de entrada y salida. Posteriormente procedimos a indicar opciones de menú con el teclado matricial, a su vez se indica temperatura deseada (40-50C), también cada ventilador indicó su funcionamiento con los leds (rojos, verdes), se programó los leds industriales verde (para el funcionamiento general de la máquina), rojo (indicativo de no funcionamiento de la máquina), el botón de parada de emergencia (para desenergizar el módulo), on-off (para la alimentación del módulo). Seguidamente después solo se aplicó un control “todo o nada”, para que si el valor

deseado llegaba a la temperatura deseada se apaguen todos los ventiladores y luego se vuelvan a encender para llegar a la temperatura requerida. Luego se programó por separado los ventiladores de entrada, realimentación y el ventilador de escape; para que la potencia de dichos ventiladores varíe o se apague si fuera necesario para llegar a una temperatura óptima, según norma que es de 40 °C en el maíz, usando un control PID.

Iniciando el código se realiza el llamado a librerías para cada componente empleado en el tablero. Véase **Figura 63**.

Figura 63
Librería de código

```
/////LIBRARIES/////
#include <Key.h>
#include <Keypad.h>
#include <LiquidCrystal.h>
#include <DHT.h>
#include <DHT_U.h>
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
```

Elaboración Propia

Programación de pines tanto para el sensor de temperatura y humedad. Se hace la declaración de variables en la como se ve en la **Figura 64**.

Figura 64
Declaración de variables

```
//////VARIABLE DECLARATION TEMPERATURE//////  
float SENSOR = A8;//62-49sen1(bandejas1,2),53sen2(bandejas 9,10)  
float TEMPERATURA;  
float HUMEDAD;  
float SENSOR2 = A9;//63-49sen1(bandejas1,2),53sen2(bandejas 9,10)  
float TEMPERATURA2;  
float HUMEDAD2;  
float TPROM;  
float HPROM;  
//excel  
int analogSensor1;  
int digitalSensor1;  
int analogSensor2;  
int digitalSensor2;
```

Elaboración propia

Se hace la declaración de entradas de los leds para indicar funcionamiento de ventiladores.
Véase **Figura 65**.

Figura 65
Leds

```
//////LED'S//////  
int r1=35, r2=33, r3=39, r4=37, r5=43, r6=41;  
int v1=34, v2=32, v3=38, v4=36, v5=42, v6=40;
```

Elaboración propia

Declaración de pines para el funcionamiento de los ventiladores. (**Figura 66**).

Figura 66
Ventiladores

```

////////FAN////////
int in1=56,in2=9; //ventilador 6 de extracción
int in3=55,in4=54; //Ventiladores 3,4(realimentación)
int ENA=8,ENB=10;//PWM para driver 1
int in1d=13,in2d=12;// Ventiladores de 1,2 entrada
int ENAd=11;//PWM para driver 2

////////RESISTANCE AND FAN////////
int rf=52; //Rele (Conrtol de calefactor)
    
```

Elaboración propia

Declaración para el reconocimiento del teclado matricial. **(Figura 67).**

Figura 67
Teclado matricial

```

////////KEYBOARD////////
const byte filas = 4;
const byte columnas = 4;
byte pinsFilas[filas] = {28, 26, 24, 22};
byte pinsColumnas[columnas] = {29, 27, 25, 23};

char teclas[filas][columnas] =
{
    {'1','2','3','A'},
    {'4','5','6','B'},
    {'7','8','9','C'},
    {'*','0','#','D'}
};

char ingreso;
char tecla;
int valor = 0;
    
```

Elaboración Propia

Programamos los mensajes a mostrar en Pantalla principal de módulo pantalla 20x4. Véase **Figura 68**.

Figura 68
Programación de mensajes

```
//////MAIN DISPLAY//////  
char * mensaje1 = " UCSM-Arequipa ";// UCSM - Arequipa "  
char * mensaje2 = "Op.A:V1y2 OP.C:Cale.";  
char * mensaje3 = "Op.B:V3y4 OP.D:Rest.";  
char * mensaje4 = " Ingrese TD:";
```

Elaboración propia

Se configura cada una de las librerías de sensores y actuadores. (**Figura 69**).

Figura 69
Configuración de librerías

```
//SETUP LIBRARIES//  
DHT dht(SENSOR, DHT22);//para proteus dht11, modulo dht22  
DHT dht2(SENSOR2, DHT22);//para proteus dht11, modulo dht22  
LiquidCrystal lcd(7, 6, 5, 4, 3, 2);  
Keypad teclado = Keypad(makeKeymap(teclas), pinsFilas, pinsColumnas, filas, columnas);  
LiquidCrystal_I2C lcd1(0x27,20,4);
```

Elaboración propia

Declaración de configuración de pines de entrada y salida que tendrá nuestro módulo.

Programa principal indicando sub programas de: lectura de los sensores, funcionamiento de ventiladores, menú de opciones para pantalla y funcionamiento de teclado en la **Figura 70** y en la **Figura 71** los subprogramas.

Figura 70
Programación de LED y pines

```
//////MAIN PROGRAM//////  
void loop() {  
  pantalla();//pantalla principal  
  temp();//lectura de sensores en pantalla 16x4  
  intemp();//ingreso de temperatura  
  //control();//control de resistencia  
  controlvent();  
  proyecto(1);//ativacion de actuadores manualmente  
}
```

Elaboración Propia



Figura 71
Subprogramas

```

/////VARIABLE CONFIGURATION/////
void setup() {
  ////displays/////
  lcd.begin(16, 2);
  dht.begin();
  dht2.begin();
  lcd1.init(); //Inicializa la pantalla
  lcd1.backlight(); //enciende la pantalla
  Serial.begin(9600);
  //excel
  pinMode(62,INPUT);
  pinMode(63,INPUT);
  ////led's/////
  pinMode(r1, OUTPUT);
  pinMode(r2, OUTPUT);
  pinMode(r3, OUTPUT);
  pinMode(r4, OUTPUT);
  pinMode(r5, OUTPUT);
  pinMode(r6, OUTPUT);
  pinMode(v1, OUTPUT);
  pinMode(v2, OUTPUT);
  pinMode(v3, OUTPUT);
  pinMode(v4, OUTPUT);
  pinMode(v5, OUTPUT);
  pinMode(v6, OUTPUT);
  digitalWrite(v1, LOW);

  digitalWrite(v2, LOW);
  digitalWrite(v3, LOW);
  digitalWrite(v4, LOW);
  digitalWrite(v5, HIGH);
  digitalWrite(v6, LOW);
  digitalWrite(r1, HIGH);
  digitalWrite(r2, HIGH);
  digitalWrite(r3, HIGH);
  digitalWrite(r4, HIGH);
  digitalWrite(r5, LOW);
  digitalWrite(r6, HIGH);
  ////fan1234///// ventiladores 1,2,3,4
  pinMode(in1, OUTPUT);
  pinMode(in2, OUTPUT);
  pinMode(in3, OUTPUT);
  pinMode(in4, OUTPUT);
  pinMode(ENA, OUTPUT);
  pinMode(ENB, OUTPUT);
  pinMode(in1d, OUTPUT);
  pinMode(in2d, OUTPUT);
  pinMode(ENAd, OUTPUT);
  ////Resistance/////Calefactor
  pinMode(rf, OUTPUT);

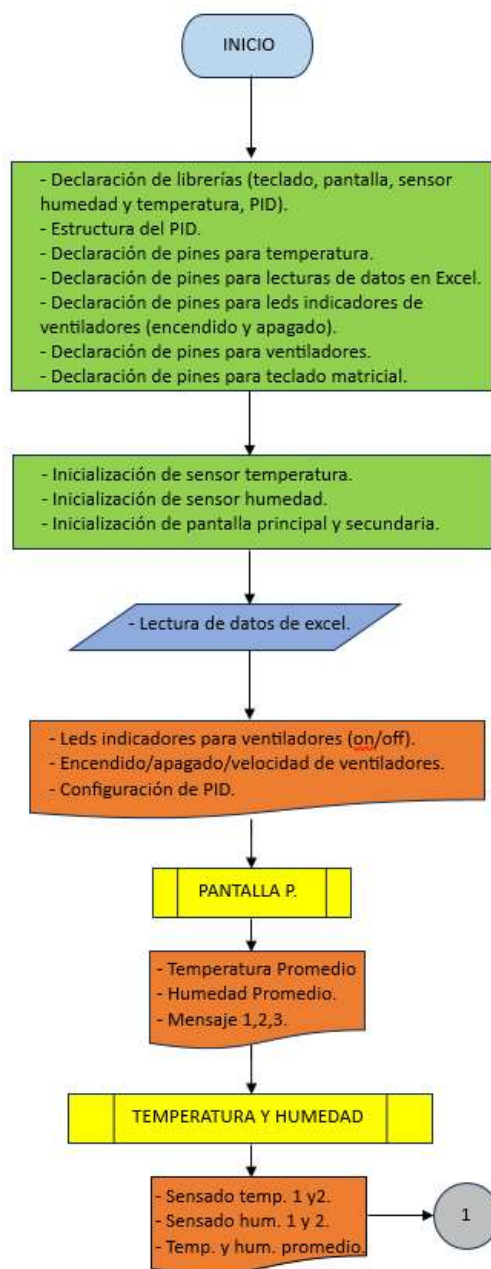
  digitalWrite(52, HIGH); //power off rele,(con
  high se apaga,con low se prende) debido al
  conexasido
}

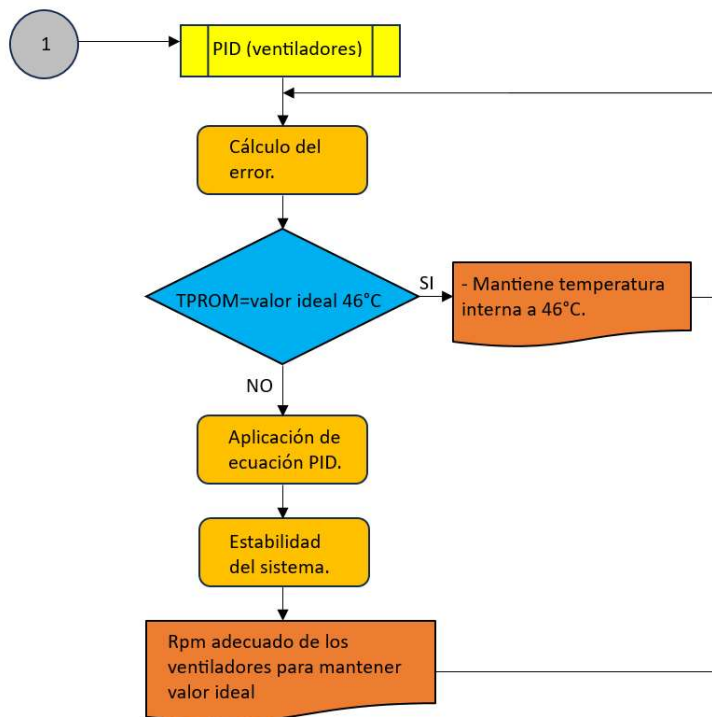
/////MAIN PROGRAM/////
void loop() {
  pantalla();//pantalla principal
  temp();//lectura de sensores en pantalla 16x4
  intemp();//ingreso de temperatura
}

```

Elaboración propia

3.4.6. Diagrama de flujo del Control PID





3.4.7. Desarrollo del control PID

Paso 1

Trabajamos con los datos leídos por los sensores DHT22, ubicados uno en la parte superior y otro en la parte inferior. De estos valores sacamos promedios para hacernos una idea de la temperatura que se presenta en el sistema en general. Véase en la **Figura 72** parte de los datos recogidos por los sensores.

Figura 72

Datos registrados de tiempo vs temperatura promedio

	A	B	C	D	E	F
1	1	32.7	24.3	32.5	31.9	31.6
2	2	32.7	24.3	32.5	31.9	31.6
3	3	32.7	24.3	32.5	31.9	31.6
4	4	32.7	24.3	32.5	31.9	31.6
5	5	32.7	24.3	32.5	31.9	31.6
6	6	32.7	24.3	32.5	31.9	31.6
7	7	32.7	24.3	32.5	31.8	31.6
8	8	32.7	24.3	32.5	31.8	31.6
9	9	32.7	24.3	32.5	31.8	31.6
10	10	32.7	24.3	32.5	31.8	31.6
11	11	32.7	24.3	32.5	31.8	31.6
12	12	32.7	24.3	32.5	31.8	31.6
13	13	32.7	24.3	32.5	31.8	31.6
14	14	32.7	24.3	32.5	31.8	31.6
15	15	32.7	24.3	32.5	31.8	31.6
16	16	32.8	24.3	32.5	31.6	31.65
17	17	32.8	24.3	32.5	31.6	31.65
18	18	32.8	24.3	32.5	31.6	31.65
19	19	32.8	24.3	32.5	31.6	31.65
20	20	32.8	24.3	32.5	31.6	31.65
21	21	32.8	24.3	32.5	31.6	31.65
22	22	32.8	24.3	32.5	31.6	31.65
23	23	32.8	24.3	32.5	31.6	31.65
24	24	32.8	24.3	32.5	31.6	31.65
25	25	32.8	24.2	32.5	31.5	31.65
26	26	32.8	24.2	32.5	31.5	31.65
27	27	32.8	24.2	32.5	31.5	31.65
28	28	32.8	24.2	32.5	31.5	31.65

Elaboración propia

Paso 2

Programamos en el editor de Matlab para mostrar la gráfica obtenida de nuestros valores sensados mediante Microsoft Excel. Véase en la **Figura 73** el código para obtener los datos de Excel y graficarlos. En la **Figura 74** se muestra la gráfica del comportamiento de nuestra planta.

Figura 73

Código para obtener gráfica de comportamiento de la planta

```

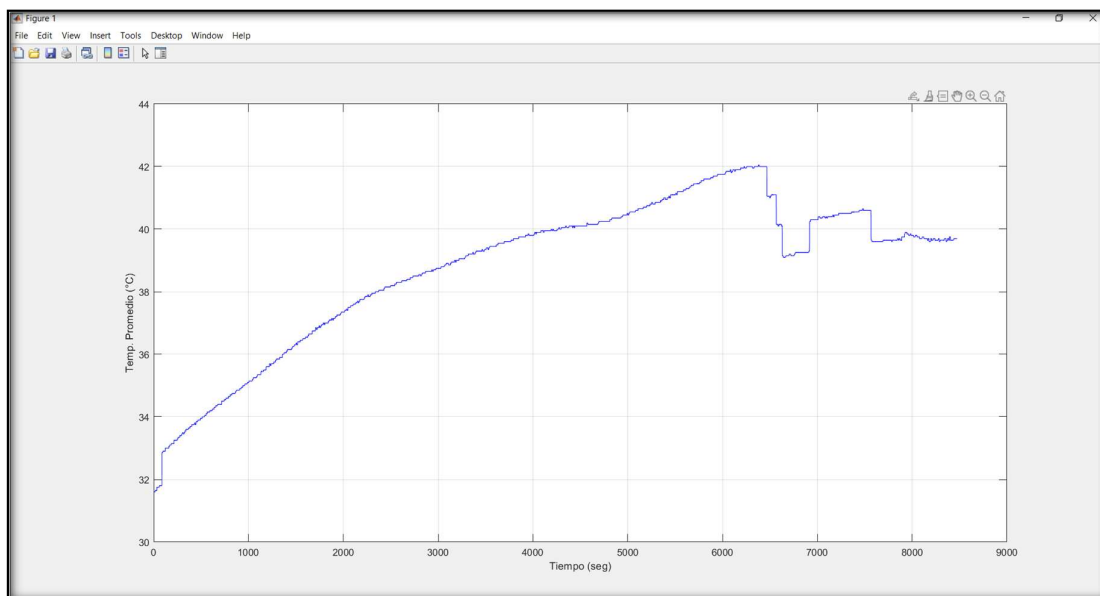
1 = c1c
2 = close all
3 = clear all
4 = [num,txt,raw] = xlsread('the warrior','Data In');
5 = tiempo = num(:,1);
6 = Salida = num(:,6);
7 = figure(1)
8 = plot(tiempo,Salida,'r') %grafica la salida
9 = grid on
10 = xlabel('Tiempo') %legenda en el eje X
11 = ylabel('Temperatura Promedio') %legenda en el eje Y
12

```

Elaboración propia

Figura 74

Curva característica del comportamiento de nuestra planta



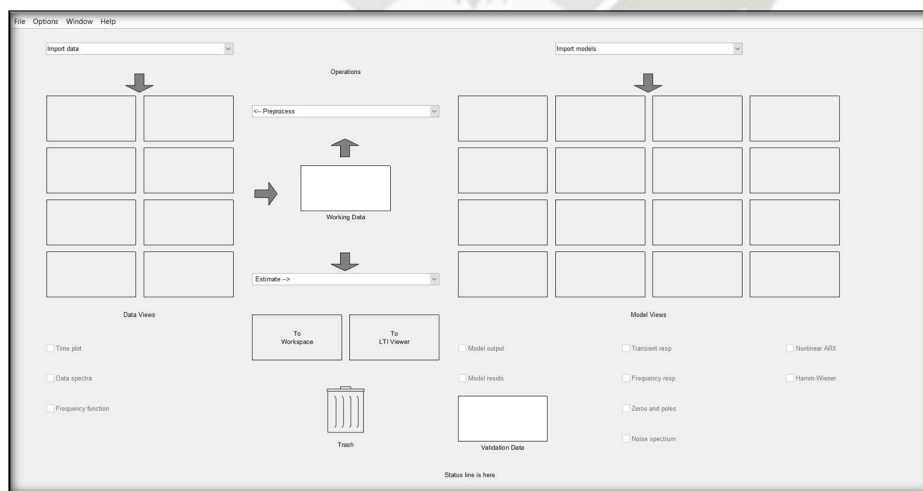
Elaboración propia

Paso 3

En la Ventana de “Comand Window” de Matlab, escribimos la palabra “ident” a continuación aparece la **Figura 75**, para ingresar la curva característica de nuestra planta y se comparará con una función de transferencia.

Figura 75

Espacio de trabajo para insertar curva característica de la planta, comparando con la función de transferencia

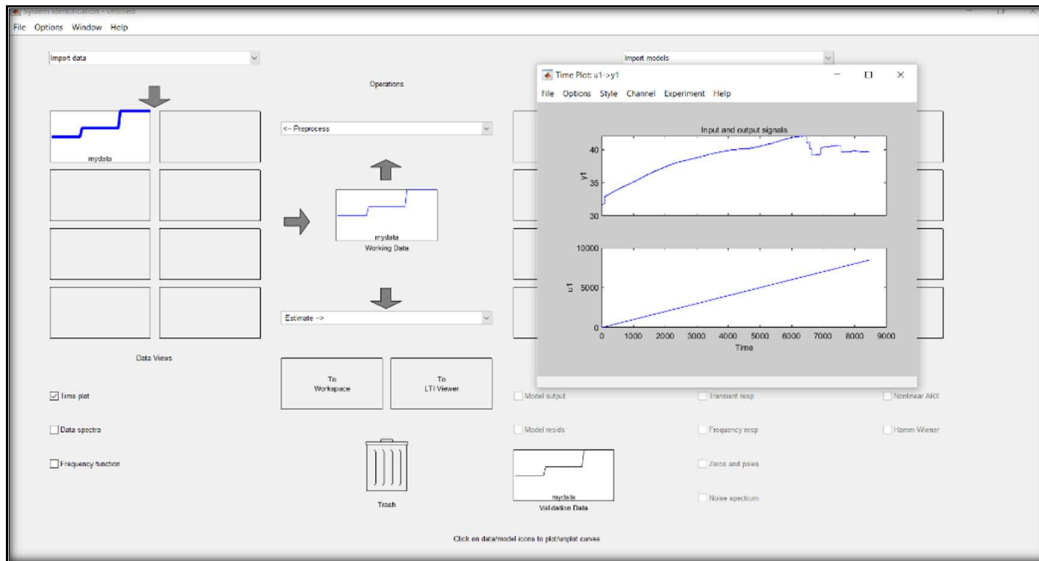


Elaboración propia

Agregamos nuestra planta y a su vez se estima la cantidad de ceros y polos para hallar la función de transferencia que se acerque al comportamiento de los datos obtenidos. **(Figura 76).**

Figura 76

Ingreso de Curva característica de los datos obtenidos en Ventana “ident”

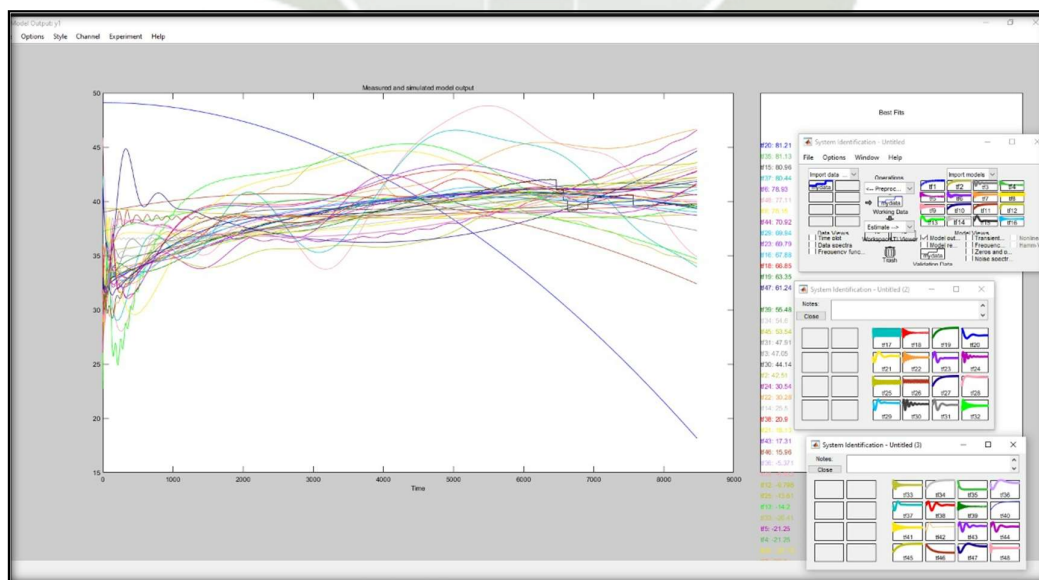


Elaboración propia

Se realizan varias simulaciones variando el número de polos y ceros, buscando la curva de función de transferencia más similar a la nuestra. **(Figura 77).**

Figura 77

Estimación de ceros y polos



Elaboración propia

Se busca encontrar la Función de Transferencia con un comportamiento similar por estímulo de ceros y polos.

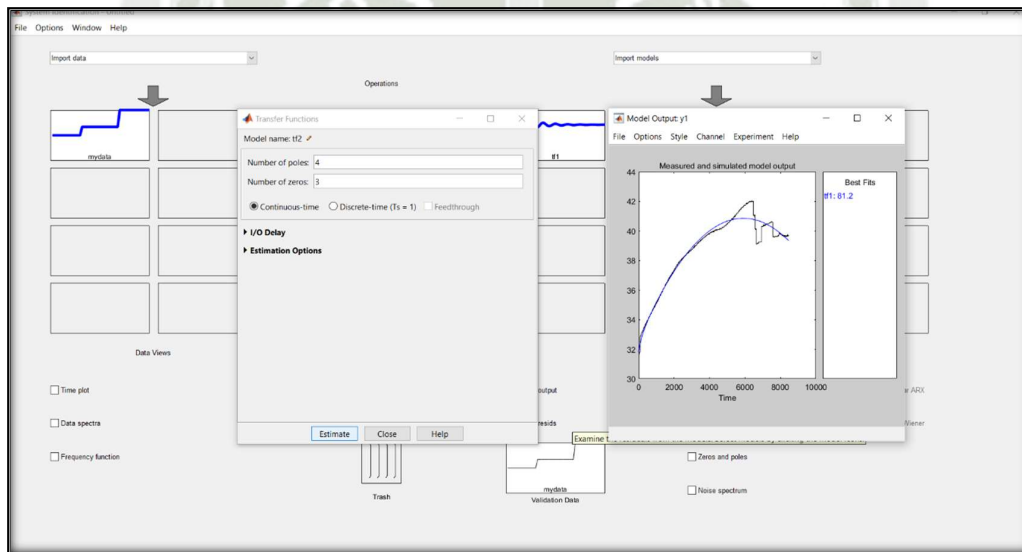
Finalmente se escoge la función de transferencia más cercana, en este caso es la de 81.2% de similitud. (**Figura 78**).

Paso 4

Nuevamente escribimos en nuestra ventana “Comand Window”, el nombre de nuestra función para poder visualizarla, donde está cuenta con 4 polos y 3 ceros. (**Figura 79**).

En la **Figura 80** se puede visualizar nuestra función de transferencia.

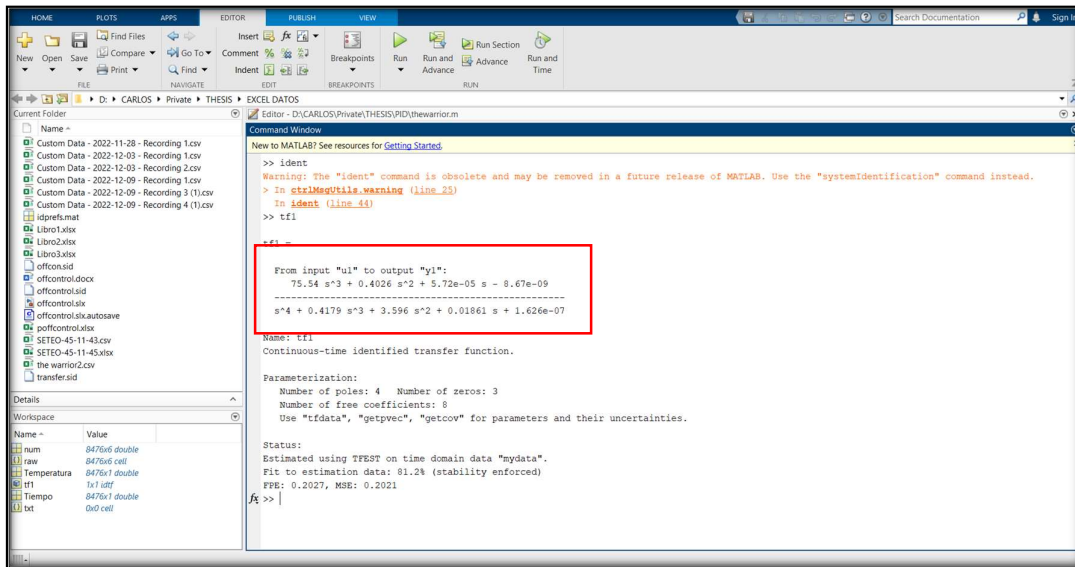
Figura 78
Función de Transferencia óptima



Elaboración propia

Se obtiene Función de Transferencia óptima con un acercamiento de 81.2%.

Figura 79
Visualización de Función de Transferencia



Elaboración propia

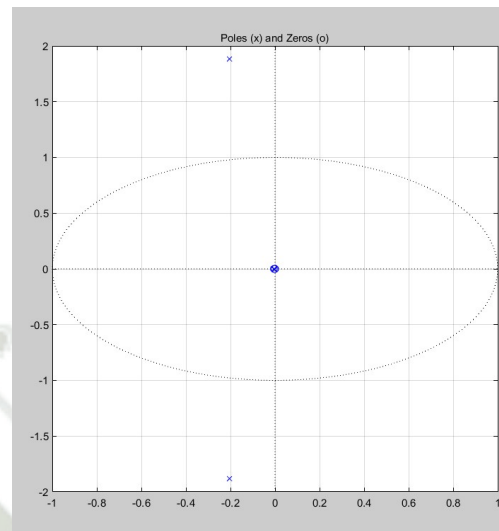
Figura 80
Función de Transferencia

$$\begin{aligned} &\text{From input "u1" to output "y1":} \\ &75.54 s^3 + 0.4026 s^2 + 5.72e-05 s - 8.67e-09 \\ &\text{-----} \\ &s^4 + 0.4179 s^3 + 3.596 s^2 + 0.01861 s + 1.626e-07 \end{aligned}$$

Elaboración propia

Se muestra el lugar de ceros y polos de nuestra función de transferencia. (**Figura 81**).

Figura 81
Ubicación de polos y ceros



Elaboración propia

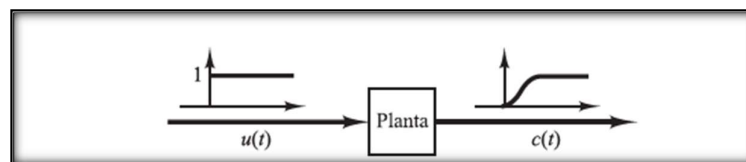
Para los controles de PID de plantas nos regimos por las reglas de Ziegler Nichols, enfocados a dar valores de k_p , T_i y T_d . basados en escalones experimentales. Estas reglas son convenientes cuando no se conoce el modelo matemático de las plantas, a continuación, se dispone de los métodos denominados sintonía de Ziegler – Nichols. (Ogata, 2010).

Primer método de la respuesta en escalón

La respuesta de la planta a una entrada escalón unitaria se obtiene de manera experimental, Se tiene una curva de respuesta en S cuando no se contiene integradores ni polo dominantes en la planta, estas curvas se pueden generar de forma experimental o a través de una simulación. (Ogata, 2010, p. 569).

En la **Figura 82** se representa la respuesta a una entrada escalonada.

Figura 82
Respuesta a un escalón unitario de una planta

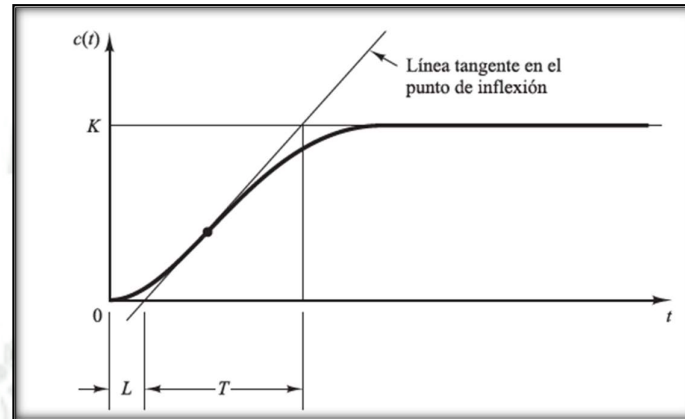


Nota: Ogata (2010)

La curva con forma de S consta de dos parámetros el tiempo de retardo L y la constante de

tiempo. Estas se pueden determinar trazando la tangente en el punto de flexión de la curva en forma de S y determinando las intersecciones de esta tangente con el eje del tiempo y con la línea $c(t)\%K$, tal como se muestra en la **Figura 83**.

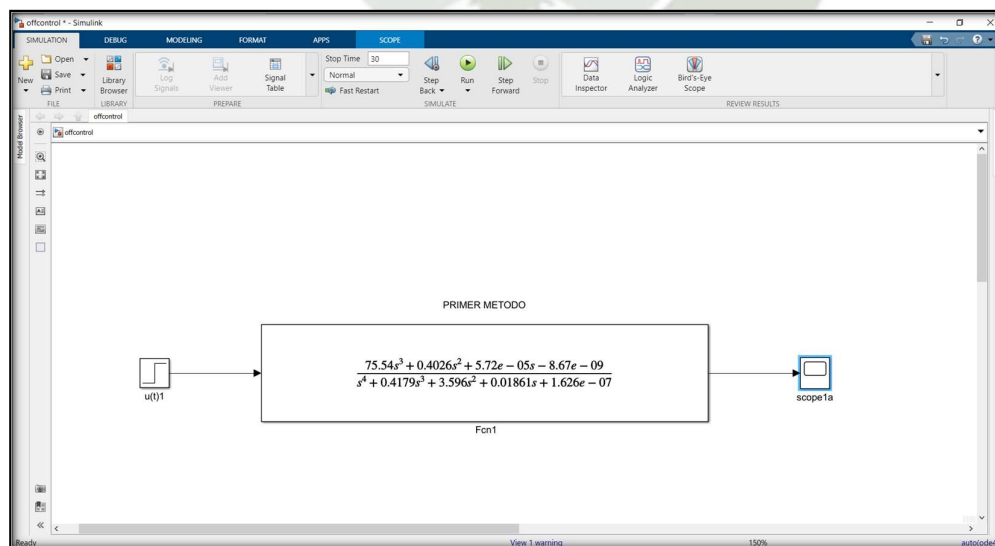
Figura 83
Curva de respuesta de formas



Nota: Ogata, (2010)

A continuación, se utiliza la herramienta de “Simulink” del Matlab para hacer un diagrama de bloques en lazo abierto, para poder visualizar su comportamiento ante una entrada de escalón y ver si nos da como respuesta la curva S. (**Figura 84**).

Figura 84
Primer método de Zigher y Nicols

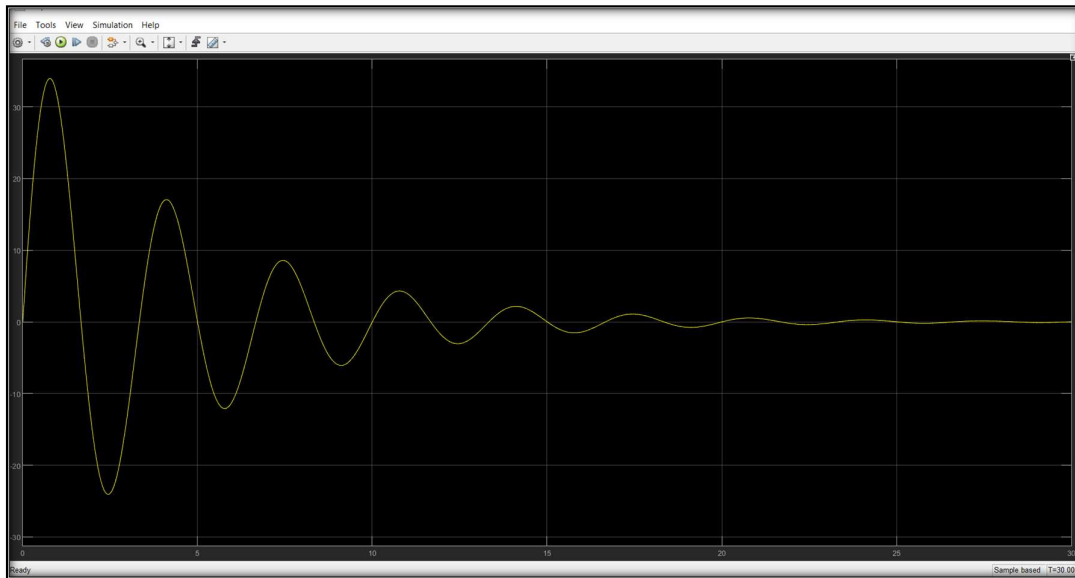


Elaboración propia

Como se muestra en la **Figura 85** la respuesta ante el estímulo de un escalón unitario no muestra la curva S, por lo tanto, no se puede emplear el primer método.

Figura 85

Respuesta de la planta ante una entrada de escalón unitario



Elaboración propia

Segundo método de la respuesta en frecuencia

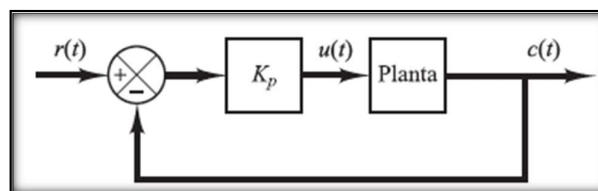
Para este método lo primero se fija $T_i = \infty$ y $T_d = 0$. Este método utiliza exclusivamente la acción de control proporcional y consiste en incrementar el valor de la ganancia proporcional (K_p) desde 0 hasta alcanzar un valor crítico (K_{cr}) en el cual la salida del sistema comienza a oscilar de manera sostenida. (**Figura 87**).

A través de experimentos prácticos, se determina de manera empírica la ganancia crítica (K_{cr}) y el periodo correspondiente (P_{cr}) de estas oscilaciones. (Ogata, 2010, p. 570).

En la **Figura 86** se representa la acción de control proporcional.

Figura 86

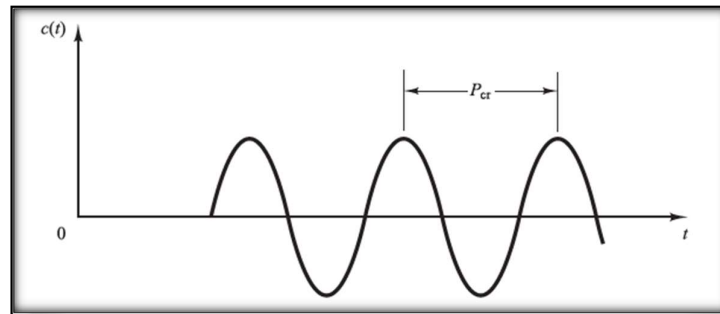
Sistema en lazo cerrado con un controlador proporcional



Nota: Ogata, (2010)

Figura 87

Oscilaciones sostenidas con períodos de P_{CR}

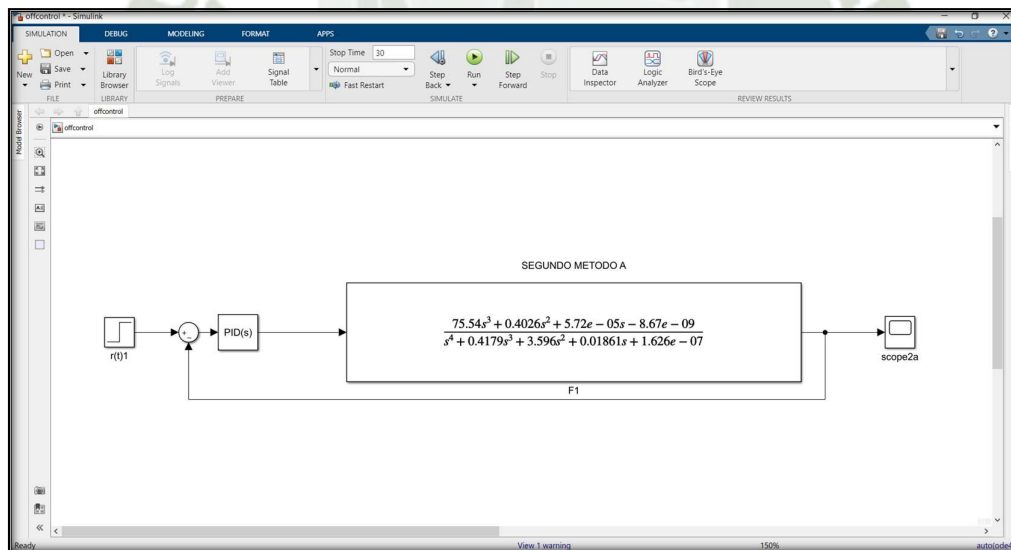


Nota: Ogata, (2010)

A continuación, para hacer el diagrama de bloques cerrado se utiliza la herramienta de “Simulink” del Matlab, para poder visualizar su comportamiento ante una entrada de escalón y variando el controlador proporcional hasta llegar a un punto crítico donde la planta presente oscilaciones. Véase en la **Figura 88** el diagrama de bloques y en la **Figura 89** la curva de respuesta a un escalón unitario.

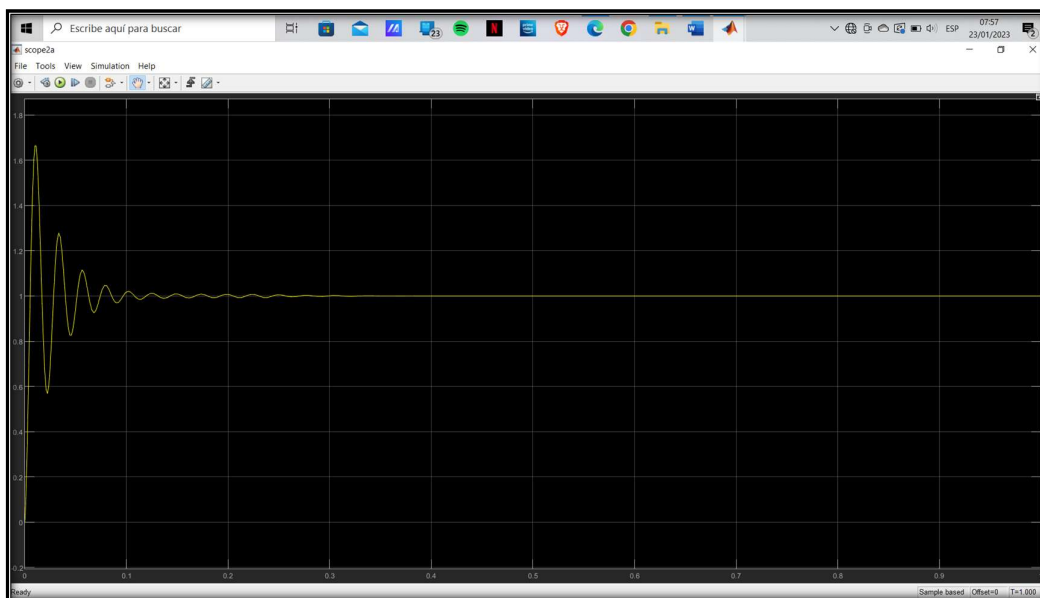
Figura 88

Segundo método de Zighers y Nicols



Elaboración propia

Figura 89
Curva de respuesta a un escalón unitario

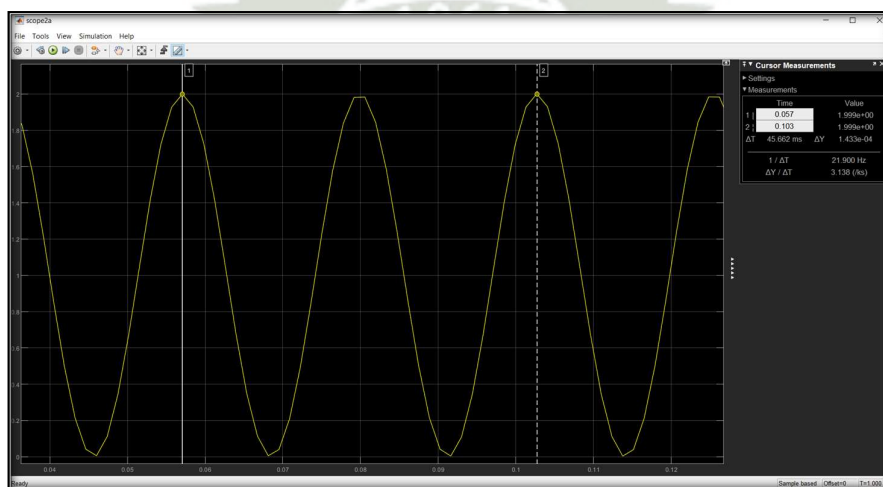


Elaboración propia

Curva de respuesta a un escalón unitario del sistema controlado PID diseñado por la regla de sintonía de Ziegler-Nichols (segundo método).

Se procede a dar Valores a P para poder presentar oscilaciones en nuestra curva de entrada de escalón unitario controlado por PID, donde se encuentra oscilaciones cuando P tiene un valor de 0.002, por lo tanto, se puede emplear el segundo método. *Véase Figura 90.*

Figura 90
Oscilación sostenida con Per



Elaboración propia

El valor de nuestro punto crítico (Pcr), se obtendrá de la gráfica restando el Punto 1: 0.057 meno el Punto 2: 0.103, por lo tanto, el valor de nuestro Pcr es de 0.046.

Según Ziegler - Nichols nos muestra una sintonía basada en la ganancia critica Kcr y periodo crítico Pcr. Véase en la **Tabla 18** la regla de sistema de Ziegler – Nichols segundo método.

Tabla 18
Regla de sintonía de Ziegler- Nichols (segundo método)

tipos de controlador	Kp	Ti	Td
P	0.5 K _{CR}	∞	0
PI	0.45 K _{CR}	1/12 P _{CR}	0
PID	0.6 K _{CR}	0.5 P _{CR}	0.125 P _{CR}

Nota: (Ogata, 2010)

El controlador de PID sintonizado mediante el segundo método se produce:

$$G_C(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$$

Por lo tanto, se determina los valores de kp, Ti y Td del modo siguiente:

$$\begin{aligned} K_p &= 0.6K_{cr} \\ T_i &= 0.5P_{cr} = 0.023 \\ T_d &= 0.125P_{cr} = 0.00575 \end{aligned}$$

Fórmula

Al no tener Kcr se halla mediante el criterio de Array de Routh. Véase en la **Figura 91** la función de transferencia a considerar. Para el criterio de Array de Routh se determinará en la **Tabla 19**.

Figura 91
Criterio de Array de Routh para el Kcr

```
From input "u1" to output "y1":
75.54 s^3 + 0.4026 s^2 + 5.72e-05 s - 8.67e-09
-----
s^4 + 0.4179 s^3 + 3.596 s^2 + 0.01861 s + 1.626e-07
```

Elaboración propia

Tabla 19

Determinación de valores según criterio Array Routh

Variables	Valores		
S4	1	3.596	1.626e-07
S3	0.4179	0.01861	0
S2	3.5515	1.626e-07	0
S1	0.0186	0	0
S0	1.626e-07	0	0

Elaboración propia

Finalmente se obtiene, los valores deseados

$$K_p = 0.6K_{cr} = 0.00000069756$$

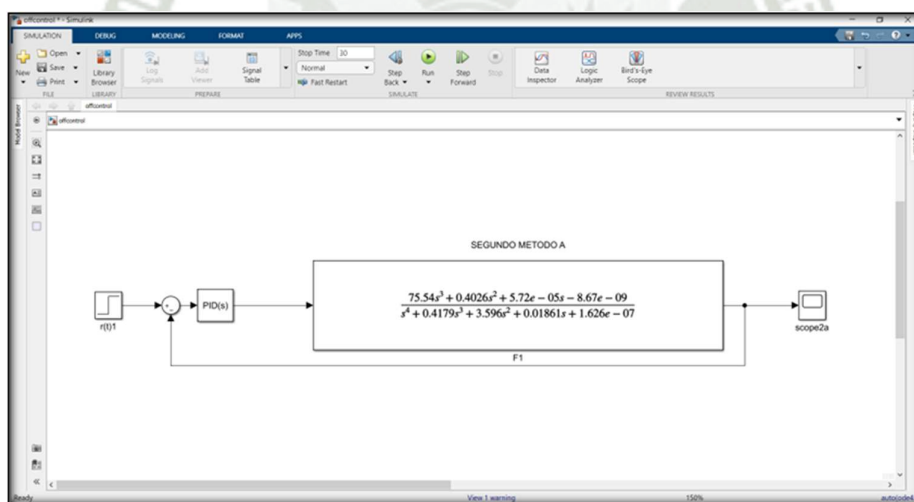
$$T_i = 0.5P_{cr} = 0.023$$

$$T_d = 0.125 P_{cr} = 0.00575$$

Después de conseguir los parámetros nuestra estrategia de control PID es la que se observa en la **Figura 92**.

Figura 92

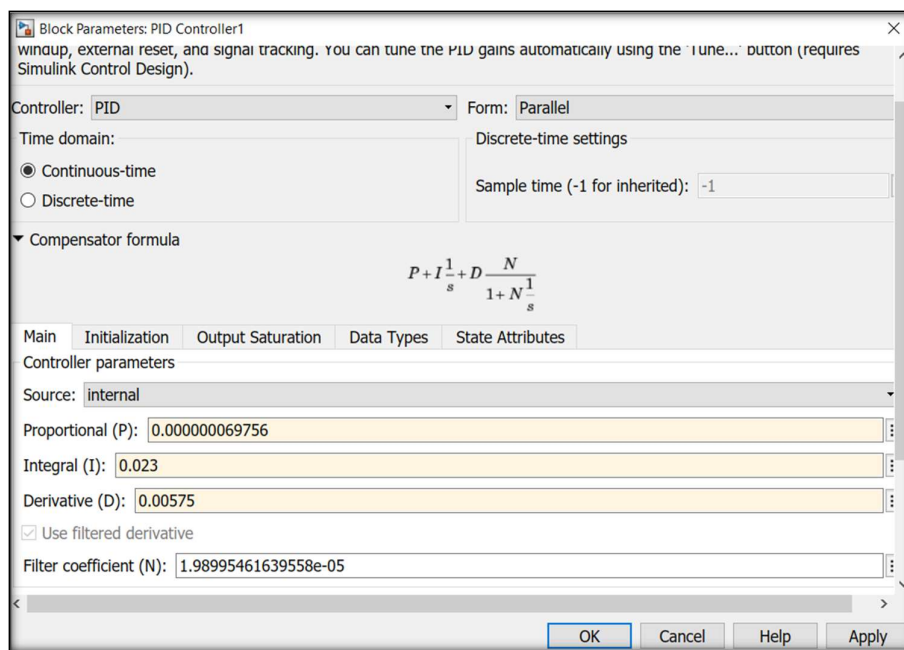
Función de transferencia con control PID



Elaboración propia

Se hace doble click en el bloque PID y se introducen los parámetros. Véase **Figura 93**.

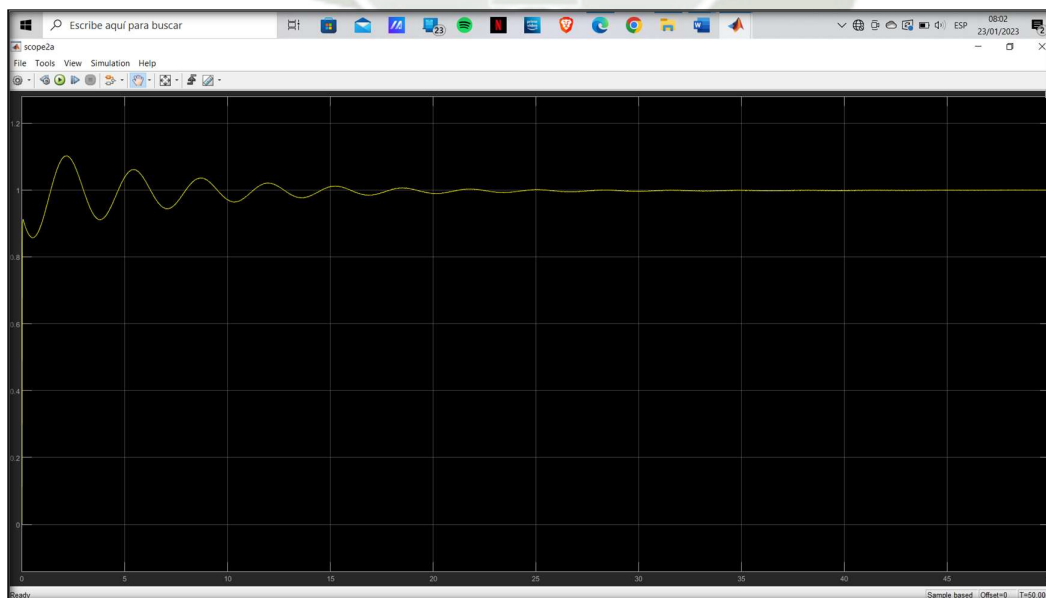
Figura 93
Colocación de parámetros en bloque PID



Elaboración propia

Ingresamos los valores al bloque de PID y se obtiene la curva característica que se muestra en la **Figura 94**.

Figura 94
Gráfica con parámetros de control PID implementados



Elaboración propia



CAPÍTULO IV
PRUEBAS EXPERIMENTALES, AJUSTES Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Pruebas del prototipo

Con el fin de iniciar el registro de data por ensayo se procedió a realizar las pruebas, iniciando con los ensayos del sistema electrónico, durante esta investigación se tuvo que corregir el sistema mecánico para mejorar el flujo de secado y temperatura interna.

Es por ello que se pasó por tres etapas que se describirán a continuación.

4.1.1. Pruebas del sistema mecatrónico

A) Pruebas con diseño sin circulación y Arduino nano

– Actuadores

Se realizó las pruebas a 05 ventiladores con el Arduino nano y no se controlaban asumiendo que trabaja con intensidad y voltaje de placa 0-20 ampere, 12 V y 500 RPM. Por otro lado, en la placa madre, la fuente de alimentación no estuvo bien soldada, dando inicialmente pruebas de encendido satisfactorias, pero posteriormente no encendía, se concluye que hubo errores constructivos de soldeo corregidos durante las pruebas.

– Sensores.

El sensor de temperatura, registró entre rango de 16- 50°C, estos sensores funcionaban correctamente.

Ante la falta de control de variables en actuadores para mantener una temperatura deseada, se optó por reemplazar el Arduino nano por el Arduino mega, ya que ofrecía mejores ventajas con mayor cantidad de entradas y salidas para un mejor control.

B) Pruebas sin circulación con Arduino mega

– Actuadores

Durante las pruebas en esta fase el botón de encendido hizo corto con tablero, por ende, no se registraba temperaturas y humedad, para ello se procedió con el aislamiento del tablero por lámina de pescado. Por otra parte, para el driver su voltaje se dividía ante el aumento de conexionado de actuadores.

Lecturas de prueba sin circulación con Arduino mega. (*Tabla 20 y 21*).

Tabla 20
Primera prueba sin circulación con Arduino

Primera prueba		
Ventiladores	Actuadores	
	I(A)	V(volt)
Ventilador 1	0.20	5.3
Ventilador 2	0.20	5.3
Ventilador 3	0.20	5.3
Ventilador 4	0.20	5.3
Ventilador 5	0.08	220

Elaboración propia

Tabla 21
Segunda prueba sin circulación con Arduino

Segunda prueba		
Ventiladores	Actuadores	
	I(A)	V(volt)
Ventilador 1	0.20	5.3
Ventilador 2	0.20	5.3
Ventilador 3	0.20	5.3
Ventilador 4	0.20	5.3
Ventilador 5	0.08	220

Elaboración propia

– Sensores (02 sensores)

Se realizaron 02 pruebas para los sensores dht22, temperaturas 22 °C, humedad 10% debido al conexionado. (*Tabla 22*).

Tabla 22
Parámetros de los sensores sin circulación con Arduino

	Sensores	
	T(°C)	H (%)
Sensor 01	22	10
Sensor 02	20	14

Elaboración propia

C) Pruebas con circulación y Arduino mega

Ante la resistencia de flujo, se abrió una abertura de orificio en la parte superior por el lado

del tablero para optimizar el proceso de secado corrigiendo y estabilizando la temperatura interna.

– Actuadores

Se adicionó un 06 (sexto) actuador, adicionando un driver para el control del 05(quinto) y 06 (sexto) actuador. (*Tabla 23*).

Tabla 23
Segunda prueba con circulación con Arduino

Ventiladores	Primera prueba	
	Actuadores	
	I(A)	V(volt)
Ventilador 1	0.20	4.3
Ventilador 2	0.20	4.3
Ventilador 3	0.08	4.3
Ventilador 4	0.20	4.3
Ventilador 5	0.08	220
Ventilador 6	0.28	4.4

Elaboración propia

– Sensores

Véase sus parámetros en la *Tabla 24*.

Tabla 24
Parámetros de los sensores con Arduino

Sensores	Parámetros	
	T(°C)	H (%)
Sensor 01	36-50	14-16
Sensor 02	25-38	11-13

Elaboración propia

En esta última fase y después de todos los ajustes al diseño y a la parte de control, se procedió a realizar los ensayos.

4.1.2. Ensayos

Se escogieron 05 muestras ya que se plantearon 05 ensayos, cada muestra tiene aproximadamente 3Kg de maíz morado con aproximadamente 30% de humedad. (*Tabla 25*).

Tabla 25

Pesos de las muestras

Muestra	Peso (g)
Muestra 01	3139.3
Muestra 02	3157.6
Muestra 03	3139.6
Muestra 04	3155.0
Muestra 05	3082.1

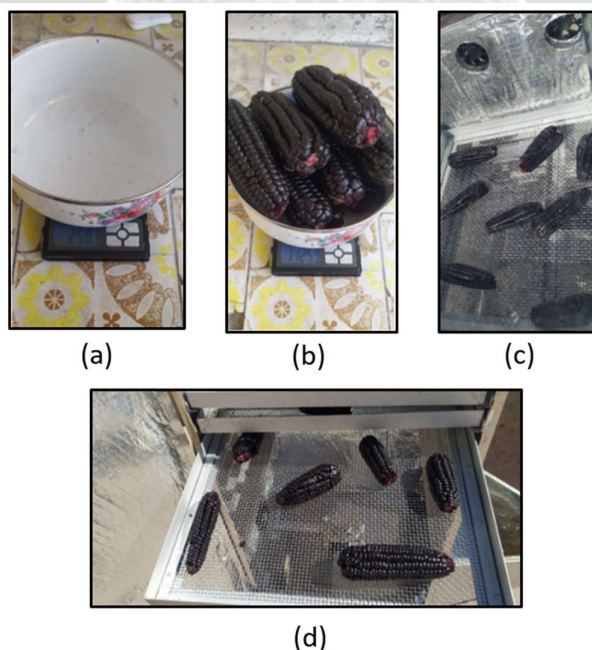
Elaboración propia

A) Procedimiento de ensayo

El procedimiento de ensayo consistió en que cada 01 hora se procediera a la toma de datos sacando las bandejas y pesando el maíz en una balanza de precisión, a continuación, se muestra el panel fotográfico de los ensayos. Véase la *Figura 95*.

Figura 95

Panel fotográfico de procedimientos de registros



Nota: (a) Peso de pocillo, (b) Peso con el maíz morado, (c) Maíces colocados en bandeja, (d) Secado de los maíces.

Elaboración propia

B) Ensayo 01

Se ensayó con una muestra de 3139.3 gramos de maíz morado. El procedimiento de ensayo consistió en pesar el maíz cada hora de ensayo bajo las siguientes condiciones:

- Se expuso al sol modulo vacío 9:00 am.
- Inicio de Secado 9:16 am, estabilizando el sistema a 46 °C.
- Mientras se pesaba, el módulo se quedaba con la puerta abierta.
- Bandeja1: 7maices, bandeja2: 7maices, bandeja3: 6 maíces.
- Número de bandejas empleadas 03.
- Se deja de realizar pruebas a partir de las 2:30pm ya que la temperatura interna registrada era inferior a 40 °C.
- Temperatura máxima del maíz 40 °C.

Véase los datos del ensayo 01 en la **Tabla 26**.

Tabla 26
Datos en el Ensayo 01

Datos/Horas	Ensayo 01				
	1h 09:46 - 10:45	2h 10:54 - 11:54	3h 12:02 - 13.02	4h 13:09 - 14:11	5h 14:16 - 15:16
H. Ambiente P (%)	19.5 - 10.7	11.3 - 10	10.9 - 10.25	12.75 - 10.9	x - 11.75
T. Ambiente P (C)	31.8 - 44.4	37.7 - 28.3	43.2 - 45.95	39.95 - 46	x - 39.85
ingreso ban1(g)	1125.9	1092.2	1048.3	1009.1	972.1
salida ban1(g)	1092.2	1048.3	1009.1	972.1	946.3
Diferencia de peso (g)	33.7	43.9	39.2	37	25.8
ingreso ban2(g)	1087.4	1066.3	1038.3	1012.3	987.7
salida ban2(g)	1066.3	1038.3	1012.3	987.7	971.4
Diferencia de peso (g)	21.1	28	26	24.6	16.3
ingreso ban3 (g)	926	909.1	888.2	869.4	852.1
salida ban3 (g)	909.1	888.2	869.4	852.1	839.9
Diferencia de peso (g)	16.9	20.9	18.8	17.3	12.2

Elaboración propia

El peso inicial es de 3139.3 gramos de maíz morado más mazorca, siendo el resultado al final del día de 2757.6 gramos dando un resto de 381.7 gramos lo que representa un total de 12%, evidentemente se deduce que la masa de 381.7 fue del agua, secando el maíz al 12% durante el primer día dejando con un contenido de humedad del 18%.

Una muestra de una mazorca fue registrada con un termómetro su temperatura de cada maíz durante cada hora oscilando en un rango de 35 y 38 °C por muestra.

C) Ensayo 02

Se ensayó con una muestra de 3157.6 gramos de maíz morado. El procedimiento de ensayo consistió en pesar el maíz cada hora de ensayo bajo las siguientes condiciones:

- Se expuso al sol modulo vacío 9:00 am.
- Inicio de Secado 9:02am, estabilizando el sistema a 46°C.
- Mientras se pesaba, el módulo se quedaba con la puerta abierta.
- Bandeja1: 7maices, bandeja2: 7maices, bandeja3: 6 maíces.
- Numero de bandejas empleadas 03.
- Se deja de realizar pruebas a partir de las 2:30pm ya que la temperatura interna registrada era inferior a 40°C.
- Temperatura máxima del maíz 40 °C.

Véase los datos del ensayo 02 en la **Tabla 27**.

Tabla 27
Datos en el Ensayo 02

Datos/Horas	Ensayo 02				
	1h	2h	3h	4h	5h
	09:15 -10:16	10:22 – 11:20	11:35 -12:30	12:40 – 13:45	13:57 – 14:30
H. Ambiente P (%)	18.5 - 11.7	12.4 -11	11.9 -12:25	12.75 - 10.9	10:12 - 11.75
T. Ambiente P (C)	30.01 - 44.4	37.2 - 37.5	41.2 -45	41.15 - 46.09	40.03- 39.85
ingreso ban1(g)	1046.3	1006.2	976.7	936.1	900.1
salida ban1(g)	1006.2	976.7	936.1	900.1	873.1
Diferencia de peso (g)	40	29.3	40.	36	27.
ingreso ban2(g)	1071.4	1049.1	1018.5	983.5	960.5
salida ban2(g)	1049.1	1018.5	983	960.5	944.7
Diferencia de peso (g)	22.3	31	35.5	23	15.8
ingreso ban3 (g)	1039.9	1029.5	1011	991.4	973.8
salida ban3 (g)	1028.5	1011.	991.4	973.8	961.7
Diferencia de peso (g)	11	18.5	19.6	17.6	12.1

Elaboración propia

Según el cuadro entra una masa inicial de 3157.6g, con una masa de salida de 2779.5 g con una diferencia de 377.5g, lo que representa 11.96% de disminución dejando una humedad del 18.04%.

D) Ensayo 03

Se ensayó con una muestra de 3139.6 gramos de maíz morado. El procedimiento de ensayo

consistió en pesar el maíz cada hora de ensayo bajo las siguientes condiciones:

- Se expuso al sol modulo vacío 9:00 am.
- Inicio de Secado 9:25 am, estabilizando el sistema a 46 °C.
- Mientras se pesaba, el módulo se quedaba con la puerta abierta.
- Bandeja1: 7maices, bandeja2: 7maices, bandeja3: 6 maíces.
- Numero de bandejas empleadas 03.
- Se deja de realizar pruebas a partir de las 2:30pm ya que la temperatura interna registrada era inferior a 40 °C.
- Temperatura máxima del maíz 40 °C.

Véase los datos del ensayo 03 en la **Tabla 28**.

Tabla 28
Datos en el Ensayo 03

Ensayo 03					
Datos/Horas	1h	2h	3h	4h	5h
	09:20 -10:25	10:35 - 11.30	11:45 -12:40	12:50 – 13:45	13:55 – 14:45
H. Ambiente P (%)	17.5 - 12.7	13.4 -11	11.9 -12:25	12.55 - 11.9	12:12 - 10.75
T. Ambiente P (C)	31.01 - 43.4	36.2 - 39.5	40.2 -44.0	41.15 - 46.7	39.03- 39.85
ingreso ban1(g)	1030.30	992.30	946.70	908.30	875.70
salida ban1(g)	992.30	946.70	908.30	875.70	843.90
Diferencia de peso (g)	38.00	45.60	38.40	32.60	31.80
ingreso ban2(g)	1071.4	1049.1	1020.5	996.3	976.4
salida ban2(g)	1049.1	1020.5	996.3	976.4	960.8
Diferencia de peso (g)	22.3	28.6	24.2	19.9	15.6
ingreso ban3 (g)	1037.9	1025.5	1013	993.4	974.8
salida ban3 (g)	1025.5	1013	993.4	974.8	961.7
Diferencia de peso (g)	12.4	12.5	19.6	18.6	13.1

Elaboración propia

Para este tercer ensayo se ingresó con una masa total de 3139.6g con una salida 2766.4g con una diferencia de masa de 373.2g, lo que representa un total de 11.89 %y 18.11% (quedando).

E) Ensayo 04

Se ensayó con una muestra de 3155.0 gramos de maíz morado. El procedimiento de ensayo consistió en pesar el maíz cada hora de ensayo bajo las siguientes condiciones:

- Se expuso al sol modulo vacío 9:00 am.
- Inicio de Secado 9:21 am, estabilizando el sistema a 46 °C.
- Mientras se pesaba, el módulo se quedaba con la puerta abierta.
- Bandeja1: 7maices, bandeja2: 7maices, bandeja3: 6 maíces.
- Número de bandejas empleadas 03.
- Se deja de realizar pruebas a partir de las 2:30 pm ya que la temperatura interna registrada era inferior a 40 °C.
- Temperatura máxima del maíz 40 °C.

Véase los datos del ensayo 04 en la **Tabla 29**.

Tabla 29
Datos en el Ensayo 04

Ensayo 04					
Datos/Horas	1h	2h	3h	4h	5h
	09:21 -10:25	10:35 - 11.40	11:45 -12:40	12:48 – 13:50	13.55 – 14:40
H. Ambiente P (%)	18.3 - 14.7	15.4 -12	11.9 -13.5	12.46 - 11.9	12:12 - 10.75
T. Ambiente P (C)	31.01 - 43.4	36.2 - 39.5	40.2 -44.0	38.05 - 46.1	34.03- 39.85
ingreso ban1(g)	1036.30	998.40	956.30	912.30	876.70
salida ban1(g)	998.40	956.30	912.30	876.70	846.30
Diferencia de peso (g)	37.90	42.10	44.00	35.60	30.40
ingreso ban2(g)	1061.4	1039.9	1012.5	991.3	972.3
salida ban2(g)	1039.9	1012.5	991.3	972.3	956.8
Diferencia de peso (g)	21.5	27.4	21.2	19	15.5
ingreso ban3 (g)	1057.9	1042.5	1023	1009.4	991.8
salida ban3 (g)	1042.5	1023	1009.4	991.8	979.7
Diferencia de peso (g)	15.4	19.5	13.6	17.6	12.1

Elaboración propia

Para este cuarto ensayo se ingresó con una masa total de 3155.0g con una salida 2782.g con una diferencia de masa de 372.8g, lo que representa un total de 11.8 % dejando una humedad del 18.2%

F) Ensayo 05

Este ensayo se llevó en 02 fases en dos días y se ensayó nuevamente con una muestra de 03 Kg (3082.1 gramos) de maíz morado. El procedimiento de ensayo consistió en pesar el maíz cada hora de ensayo bajo las siguientes condiciones:

- Se expuso al sol modulo vacío 8:15 am.
- Inicio de Secado 8:20am, estabilizando el sistema a 46 °C.
- Mientras se pesaba, el módulo se quedaba con la puerta abierta.
- Bandeja1: 7maíces, bandeja2: 7maíces, bandeja3: 6 maíces.
- Numero de bandejas empleadas 03.
- Se deja de realizar pruebas a partir de las 2:30pm ya que la temperatura interna registrada era inferior a 40°C.
- Temperatura máxima del maíz 40 °C.

Véase los datos del ensayo 05 primer día en la **Tabla 30** y el segundo día en la **Tabla 31**.

Tabla 30
Datos en el Ensayo 05-I

Ensayo 05-I						
Datos/Horas	1h	2h	3h	4h	5h	6h
	08:30 - 09:30	09:45 - 10:52	11.05 - 12:05	12.30 - 13:35	13.45 - 14:55	15.10 - 16:00
H. Ambiente P (%)	20.2 - 17.8	16.4 -11	13.9 -13.7	12.26 - 13	12:12 - 11.75	11:12 - 10.76
T. Ambiente P (C)	25.5 - 32.4	30.2 - 40.5	41.2 -45.0	40.05 - 46.0	36.03- 39.07	33.03- 28.86
ingreso ban1(g)	1025.30	1010.40	967.30	922.30	886.20	855.30
salida ban1(g)	1010.40	967.30	922.30	886.20	855.30	832.30
Diferencia de peso (g)	14.90	43.10	45.00	36.10	30.90	23.00
ingreso ban2(g)	1029.4	1022.9	997.5	965.3	932.3	915.8
salida ban2(g)	1022.9	997.5	965.3	932.3	915.8	906.8
Diferencia de peso (g)	6.5	25.4	32.2	33	16.5	9
ingreso ban3 (g)	1027.9	1022.5	1007	989.6	975.1	962.7

salida ban3 (g)	1022.5	1007	989.6	975.1	962.7	949.7
Diferencia de peso (g)	5.4	15.5	17.4	14.5	12.4	13

Elaboración propia

Para este quinto ensayo se ingresó con una masa total de 3082.1g con una salida 2688.g con una diferencia de masa de 393.8g, lo que representa un total de 12.72 % dejando una humedad del 17.24%.

Para la segunda fase se conservó el maíz de salida de la primera fase de 2688g embolsado con el objetivo de llegar a la humedad deseada de 14%.

Tabla 31
Datos en el Ensayo 05-II

Datos/Horas	Ensayo 05-II					
	1h	2h	3h	4h	5h	6h
	08:30 -09:30	09:45 -10:52	11.05 -12:05	12.30 -13:35	13.45 -14:55	15.10 -16:00
H. Ambiente P (%)	21.2 - 18.8	15.4 -11	14.9 -13.7	13.7 - 13	13:12 - 11.75	12:12 - 11.76
T. Ambiente P (C)	24.5 - 32.4	30.2 - 40.5	40.2 -45.0	42.05 - 46.0	35.03-36.07	33.03-27.86
ingreso ban1(g)	800.00	775.40	735.30	692.30	656.20	626.30
salida ban1(g)	775.40	735.30	692.30	656.20	626.30	599.30
Diferencia de peso (g)	24.60	40.10	43.00	36.10	29.90	27.00
ingreso ban2(g)	890	882	855.7	822.3	796.3	780.58
salida ban2(g)	882	855.7	822.3	796.3	780.58	769.8
Diferencia de peso (g)	8	26.3	33.4	26	15.72	10.78
ingreso ban3 (g)	998	991.2	978.3	962.6	948.6	936.6
salida ban3 (g)	991.2	978.3	962.6	948.6	936.6	930.9
Diferencia de peso (g)	6.8	12.9	15.7	14	12	5.7

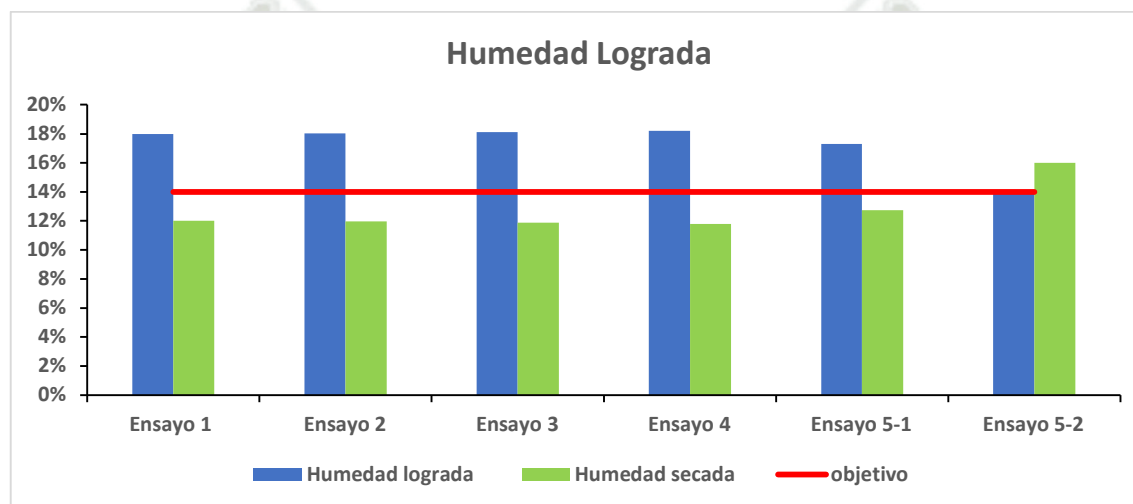
Elaboración propia

Se registró al final del día una masa de salida de 2300g siendo la masa inicial la misma de la salida del anterior en el ensayo 05-I logrando una reducción de 388 g, representando esto más reducción del día anterior 388g +393g un total de 25% de reducción del porcentaje de agua en la muestra.

Se registró el objetivo reduciendo en total 433g durante la primera hora de la segunda fase del ensayo 05 logrando reducción de humedad del 14% dejando al maíz con un total del 16%.

Al finalizar la segunda hora del segundo día se alcanza una reducción de 511.7 g respecto a la masa total, reduciendo el 16.6% de humedad dejando a la masa de maíz al 13.4% durante esta hora.

Figura 96
Gráfica humedad lograda



Nota: Humedad lograda es la humedad que se logró dejar en el maíz (barra azul), humedad secada es la humedad que se secó (barra verde).

Según la gráfica anterior podemos interpretar las barras verdes como humedad que se logró extraer durante el día de ensayo y barra azul como la humedad que se queda en el maíz, logrando el quinto día a la segunda hora secar el 16%, dejando al maíz con el 14% de humedad el cual fue el objetivo haciendo un total de 8h horas en dos días.

CONCLUSIONES

1. Para el estudio se inició determinando una irradiación solar de 6.12KW.h/m² día para el lugar de ensayo. Con lo cual se determinó 02 mecanismos de transferencia de calor; convección forzada y por radiación los cuales obtienen 9122MJ aproximadamente como máxima energía diaria para los ensayos del mes de junio. En cuanto al diseño tiene una apertura de cubierta superior de 0.31 m², y cubierta inferior de 0.13 m². Se mantuvo una temperatura óptima durante los ensayos de 46°C mediante 06 actuadores, sensados mediante 02 sensores de temperatura y humedad (DHT 22). Las pruebas se desarrollaron en 03 fases y se realizaron 05 pruebas.
2. Se determinó que la radiación y la convección forzada son los mecanismos con mayor beneficio para el proceso de secado ya que según la literatura son los mecanismos de mayor transferencia de calor, además según el diagnóstico solar Arequipa cuenta con una alta irradiancia solar de 6.12 KW.h/m². día.
3. Se determinó un diseño de secado con dos aberturas; de 0.31m² de abertura principal para aprovechar el secado por radiación y una abertura de 0.13m² para el mecanismo de transferencia por convección forzada. El diseño tiene una altura de 1.25m y de largo de 0.9m.
4. Para la selección de los componentes a implementar fue por ensayo y error. La investigación demostró que era necesario para este prototipo y según variables para su control, para el procesamiento de información, como mejor opción el Arduino Mega, 06 ventiladores de pc para la transferencia por convección forzada, variando su potencia de estos, sensores de temperatura y humedad siendo estas principales variables a controlar.
5. Se concluye que es posible controlar y mantener una temperatura de secado ideal dentro del prototipo mediante control PID siendo esta de 46°C, el código construido fue por ensayo y error para mejorar el control de los actuadores, registro de sensado y equilibrar el balance de calor.
6. Se realizaron pruebas de ajuste de parámetros para optimizar el balance de energía en

- el interior del prototipo y su debido control, las cuales pasaron por tres etapas, estas fueron: Sin circulación con Arduino nano, sin circulación con Arduino mega y con circulación con Arduino mega.
7. Se concluye que la circulación es una de las condiciones necesarias para secadores de este tipo, ya que nos permite un mejor control de la temperatura interna, sin tener una alta resistencia al flujo. Por otro lado, se concluye que es necesario tener un dispositivo de control con mayor capacidad para controlar las fluctuaciones de la temperatura y humedad debido a los fenómenos de transferencia de calor dentro del prototipo, así como ventiladores con mayor potencia para la circulación y recirculación del flujo del aire.
 8. Se logró el objetivo de secar el maíz morado en menos tiempo, donde de manera artesanal el tiempo de secado demora 45 días, con la presente tesis se consiguió hacerlo en dos días (8horas) con energía solar y conservando sus propiedades. Así mismo el diseño final presenta mejoras para el producto, las cuales son que al encontrarse dentro del prototipo ya no está expuesto a las condiciones ambientales de riesgo que presenta en el secado al aire libre, esto nos da las condiciones para obtener un producto de calidad. También se ahorra espacio, puesto que los maíces ya no están esparcidos ocupando grandes áreas, sino que están ubicados en bandejas verticales dentro del prototipo.

RECOMENDACIONES

1. Para el diseño del prototipo de secado se recomendará siempre identificar la disponibilidad solar de la zona para poder determinar la potencia con la que contaremos y dimensionar correctamente el módulo de secado, para el diseño mecatrónico se recomienda contar con una tarjeta de desarrollo de mayor capacidad al Arduino nano.
2. Para la ciudad de Arequipa se recomienda las aplicaciones solares, en este caso el secador aprovecha medianamente la potencia solar, sin embargo, se puede recomendar mecanismos de mayor área para optimizar la transferencia de calor.
3. Se recomienda que para los dispositivos de secado solar se debería optar por la radiación solar y la convección, para ello los dispositivos deberán contar con áreas considerables para poder captar el mayor potencial solar disponible.
4. Arduino mega es un dispositivo de control adecuado para este tipo de prototipos en el control de mecanismos de transferencia de calor, y control de variables como temperatura y humedad.
5. Las condiciones exigidas para el control mediante PID en ocasiones suelen ser muy exigentes en cuanto a la concepción matemática para mecanismos simples, es por ello que se recomienda el empleo de alternativas que nos faciliten el control.
6. Se recomienda la concepción inicial de mecanismos de transferencia de calor y condiciones de secado desde el inicio del dimensionamiento de este tipo de prototipos para obtener mejores resultados inclinándonos por el secado rápido. Así mismo se recomienda para optimizar el proceso de secado, ya que se obtuvieron 5 ensayos ensayando hasta aproximadamente 4pm, añadir una resistencia o fuente de calor adicional sin interferir en las horas de funcionamiento por secado solar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agamez Parias, J. (2020). *Diseño de un Secador Convectivo para el Secado del Grano de Cacao*.
- Agrodata Perú. (2021). *Exportaciones de maíz morado crecen exponencialmente en 2020: Alcanzan los US\$ 12.5 millones*.
- ALG Aire Limpio Global. (2021). Ventilador de Pared—Elegante, silencioso y GRAN Capacidad 1Aire Limpio Global. <https://airelimpioglobal.com/ventilador-de-pared/>
- Asociación Peruana de Energía Solar y del Ambiente. (2013). *Fichas Técnicas de Secadores Solares*.
- Balcázar Rodas, J. H., & Tesén Bravo, C. C. (2015). *Sistema de control automatizado para el secado de arroz en el molino El Pirata S.A.C.*
- Burbano, J. C. (2005). Disponibilidad Térmica Solar y su Aplicación en el Secado de Granos. *Scientia et Technica Año XI*, 127–132.
- Cardoza Alvarado, W. C., & Inoñán Sandoval, A. G. (2020). *Diseño de un sistema de control computacional de una secadora de cacao*.
<https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/2839896>
- Castillo, A., & Pinto, O. (2019). *Diseño de controlador PID para prototipo de máquina de secado de café y/o cacao para la Empresa PENAGOS Hermanos*. [Universidad Autónoma de Bucaramanga].
https://repository.unab.edu.co/bitstream/handle/20.500.12749/7073/2019_Tesis_Andrea_Carolina_Castrillo_Fuentes.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Çengel, Y. (2007). *Transferencia de Calor y Masa* (University of Nevada, Reno). McGraw-Hill.
- Çengel, Y., & Boles, M. (2014). *Termodinámica* (North Carolina State University).
- Cisneros Carrasco, C. A., Ordinola Armas, J. F., García Olazábal, M. S., & Alcarazo Tenorio, J. S. (2021). Diseño de deshidratador de alimentos casero con instrumentos reciclables. *Universidad de Piura*.

<https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/2810698>

COLMAC COIL MANUFACTURING INC. (2016). *Volviendo a lo básico: psicometría y la carta psicométrica*.

<http://www.colmaccoil.com/media/28978/backtobasicpsychometricsandthepsychrometricchartspanish.pdf>

Creus, A. (2010). *Instrumentación Industrial* (Marcombo). Alfaomega.

Cruz, A. (2014, mayo 17). Tutorial Uso Driver L298N para motores DC y paso a paso con Arduino. *Electronilab*. <https://electronilab.co/tutoriales/tutorial-de-uso-driver-dual-l298n-para-motores-dc-y-paso-a-paso-con-arduino/>

Delgado, R., Castro, L., Cabrera de Bisbal, E., Mújica, M. de J., Caniche, S., Navarro, L., & Noguera, I. (2008). Relación entre propiedades físicas del suelo y algunas características del sistema radical del maíz, cultivado en un suelo fluventic haplustoll de textura franco-arenosa de Maracay, Venezuela. *Agronomía Tropical*, 58(3), 245–255. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0002-192X2008000300005&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Desarrollo y evaluación de un secador solar activo indirecto aplicado a deshidratación de manzanas. (2022). *Congreso Brasileiro de Energia Solar*.

<https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/1132/1135>

Didactic. (2022). *Conversor I2C para LCDs 16x2-20x4*.

<https://didacticaselectronicas.com/~didactic/index.php/optoelectronica/displays-lcd/caracteres/conversor-i2c-para-lcds-16x2-20x4-convertidores-tarjetas-adaptadoras-adaptadores-i2c-para-pantallas-displays-lcds-de-16x2-20x4-caracteres-16x2-20x4-iic-lcd-i2c-detail>

Hermoza Gamboa, J. N. (2017). Diseño de un sistema de ventilación para deshumidificar 4TN. de maíz en el centro poblado de Tocas-Huancavelica. *Universidad Nacional del Centro del Perú*. <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/2404072>

Holman, J. (1999). *Transferencia de Calor* (Southern Methodist University). McGraw-Hill.

Iglesias Díaz, R., José Gómez, R. A., Lastres Danguillecourt, O., López de Paz, P., Farrera

- Vázquez, N., Ibáñez Duharte, G. R., Iglesias Díaz, R., José Gómez, R. A., Lastres Danguillecourt, O., López de Paz, P., Farrera Vázquez, N., & Ibáñez Duharte, G. R. (2017). Diseño, construcción y evaluación de un secador solar para mango Ataulfo. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(8), 1719–1732.
<https://doi.org/10.29312/remexca.v8i8.697>
- INIA. (2000). *Maíz morado Peruano*.
- Jaramillo, L. (2012). *Construcción de un control de una cartera digital para un bus interprovincial*. Escuela Politécnica Nacional.
- Keogh, M. (2016). *El arte de Deshidratar*. Gaia Ediciones; N.º 1 edición.
- Kern, D. (1999). *Procesos de Transferencia de Calor*. McGraw-Hill.
- Loja Acuña, G. (2019). *Sistema Automático de Secado de Granos de Café accionado con Energía Solar*.
- López Romero, P. A. (2021). *Desarrollo y evaluación energética del proceso de secado en un prototipo de secador solar para 18 kg de Capsicum baccatum (ají amarillo) en el distrito de San Miguel en la Provincia de Lima*.
<https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3113386>
- Martinez, J., & Rodríguez, L. (2017). *Diseño de un sistema Automatizado para secado y Almacenamiento de maíz* [Universidad de los Llanos].
http://www.laccei.org/LACCEI2017-BocaRaton/full_papers/FP430.pdf
- MCI Electronics, 2022. (s. f.). *Arduino Mega 2560 | Arduino.cl—Compra tu Arduino en Línea*. Recuperado 27 de septiembre de 2022, de <https://arduino.cl/producto/arduino-mega-2560/>
- Mega 2560 R3. (2021). *ARDUINO MEGA 2560 REV3—Original*. Naylamp Mechatronics - Perú. <https://naylampmechatronics.com/arduino-original/999-arduino-mega-2560-rev3-original.html>
- Mena Reinoso, A. (2015). *Análisis Estadístico exploratorio de dos tipos de Secado de Quinoa*.
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. (2021). *EL MAÍZ MORADO PERUANO*.

- Minnisterio de comercio exterior del Perú. (2022). *Ficha de requisitos técnicos de acceso al mercado de E.E.U.U.*
- NayLamp. (2021). *Driver Puente H L298N 2A*. Naylamp Mechatronics - Perú.
<https://naylampmechatronics.com/drivers/11-driver-puente-h-l298n.html>
- Naylamp Mechatronics. (2021). *Sensor de temperatura y humedad relativa DHT22 (AM2302)*. Naylamp Mechatronics - Perú.
<https://naylampmechatronics.com/sensores-temperatura-y-humedad/58-sensor-de-temperatura-y-humedad-relativa-dht22-am2302.html>
- naylampmechatronics. (2016). *LCD con I2C, controla un LCD con solo dos pines*. Naylamp Mechatronics - Perú. https://naylampmechatronics.com/blog/35_tutorial-lcd-con-i2c-controla-un-lcd-con-solo-dos-pines.html
- Ogata, K. (2010). *Ingeniería de control moderno* (Quinta).
- Perez, H. (2016). *FISICA* (segunda edición). Grupo Editorial Patria.
- Piedra Jara, A. E. (2022). *Sistema de control automatizado para optimizar tiempos en el proceso de secado mediante el deshidratador del laboratorio de operaciones unitarias de ingeniería industrial*. <http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/9106>
- Pineda Esteves, J. E., & Ramos Esquivel, C. R. (2015). *Diseño de un Sistema Continuo de Secado de maíz para la empresa Agropecuaria Campo Verde*.
- Pinedo Taco, R. E. (2015). *Niveles de Fertilización en dos variedades de Maíz Morado (Zea mayz L.) en la localidad de Canaán Ayacucho*.
- Quispe Mendoza, S. (2017). *Quinto ciclo de selección masal estratificada en maíz morado (Zea mays L.), Canaán 2735 msnm, Ayacucho*.
- Requis Varillas, F. V. (2012). *Manejo Agronómico Del Maíz Morado En Los Valles Interandinos Del Perú*. INIA.
- Rodriguez, B., Villanueva, E., Partida, A., & Avitia, P. (2017). *Diseño de un control de temperatura con técnicas de control clásico, para optimizar el proceso de Deshidratado en un deshidratador solar*. *Revista de Aplicación Científica y Técnica*.
https://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Aplicacion_Cientifica_y_Tecnica/vol3

num10/Revista_de_Aplicacion_Cientifica_y_Tecnica_V3_N10_5.pdf

Rodríguez, J. (2021). *Instrumentación de Procesos* (Corporación Universidad de la Costa).

Roman, A. (2018, agosto 23). *Arduino Mega 2560*. Proyecto Arduino.

<https://proyectoarduino.com/arduino-mega-2560/>

Sacaca Canaza, W. (2021). Análisis y diseño de un deshidratador sustentable que utiliza energía solar en Puno. *Universidad Nacional del Altiplano*.

<https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/3220091>

Shames, I. (1995). *Mecánica de Fluidos* (segunda).

SOLER & PALAU. (2022). *Catalogo General "SOLER & PALAU" Ventilation Group*.

TeslaElectronic. (2022a). *Pantalla LCD 1602 | Tesla Electronic EIRL*.

<https://www.teslaelectronic.com.pe/producto/pantalla-lcd-1602/>

TeslaElectronic. (2022b). *Teclado matricial 4x4 interruptores de membrana | Tesla Electronic*

EIRL. <https://www.teslaelectronic.com.pe/producto/teclado-matricial-4x4-interruptores-de-membrana/>

TestaElectronic. (2023). *Pantalla GLCD 128x64 | Tesla Electronic EIRL*.

<https://www.teslaelectronic.com.pe/producto/pantalla-glcd-128x64/>

UNIPAMPLONA. (2015). *Cursos de Sistemas—Programa de Ingeniería de Sistemas Unipamplona—LCD pantalla de cristal líquido*.

https://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallG/home_74/recursos/visual-basic-para-excel/03102016/u5_lcd16x2.jsp

Valera, J. (2005). *Apuntes de Física general. Unidad de Servicios Editoriales*.

WIKA. (2017). *Las termorresistencias y su representación según las normas IEC y ASTM*.

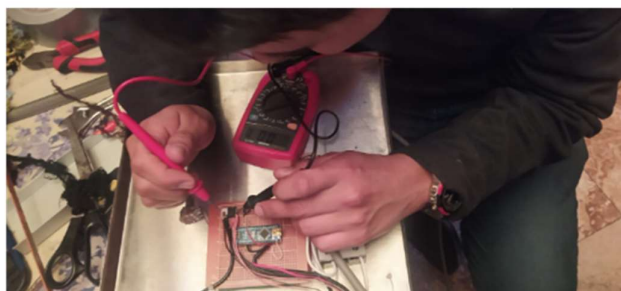
Blog de WIKA. <https://www.bloginstrumentacion.com/productos/termorresistencias-su-representacin-segn-las-normas-iec-astm/>

Zuñiga, & Crespo. (2015). *Meteorología y Climatología*.

WWW@UNED.ES/PUBLICACIONES

ANEXOS

Anexo A Panel fotográfico



Anexo B Cálculo horas de sol teóricas

Ángulo horario (ω_s)		
$\omega_s = \arccos[-\tan(\delta) \times \tan(\theta)]$		$\delta =$ Ángulo de declinación solar (grados)
ω_s	96.99	$n =$ Número del día del año
$\delta = 23,45 \times \text{sen} \left[\frac{360 \times (284+n)}{365} \right]$		n 167
		S 23.25
Ángulo de inclinación de latitud	16°	Arequipa- coordenadas -16,415,763 -71,512,878
Numero de horas de sol mes junio arequipa jby r		
$N = \frac{2}{15} \times \omega_s$		
N	=	12.932



Anexo C Constantes Angström-Prescott y Heliofanía para Arequipa.

$$\frac{H_{ab}}{H_o} = a + b x \frac{n.T}{N}$$

Estación meteorológica	a	b	Número de datos	Error (%)
COSTA				
Miraflores	0,355	0,392	3 681	-2,4
A. Von Humboldt	0,211	0,467	12 186	12,9
San Camilo	0,321	0,468	2 241	-0,4
La Joya	0,593	0,181	7 534	2,78
SIERRA				
Bambamarca	0,322	0,336	2 697	6,6
Weberbauer	0,231	0,521	18 59	-2,7
Cosmos	0,320	0,384	929	7,4
Huayao	0,397	0,379	6 285	2,2
Granja Kcayra	0,376	0,364	2 199	3,4
Chuquibambilla	0,395	0,384	1 892	-2,1
Puno	0,378	0,438	2 805	9,2
Characato-La Pampila	0,367	0,396	1 220	10,7
SELVA				
San Ramon SM	0,301	0,377	2 742	6,6
El Porvenir	0,278	0,320	1 613	7,0
Bellavista	0,355	0,341	714	5,9

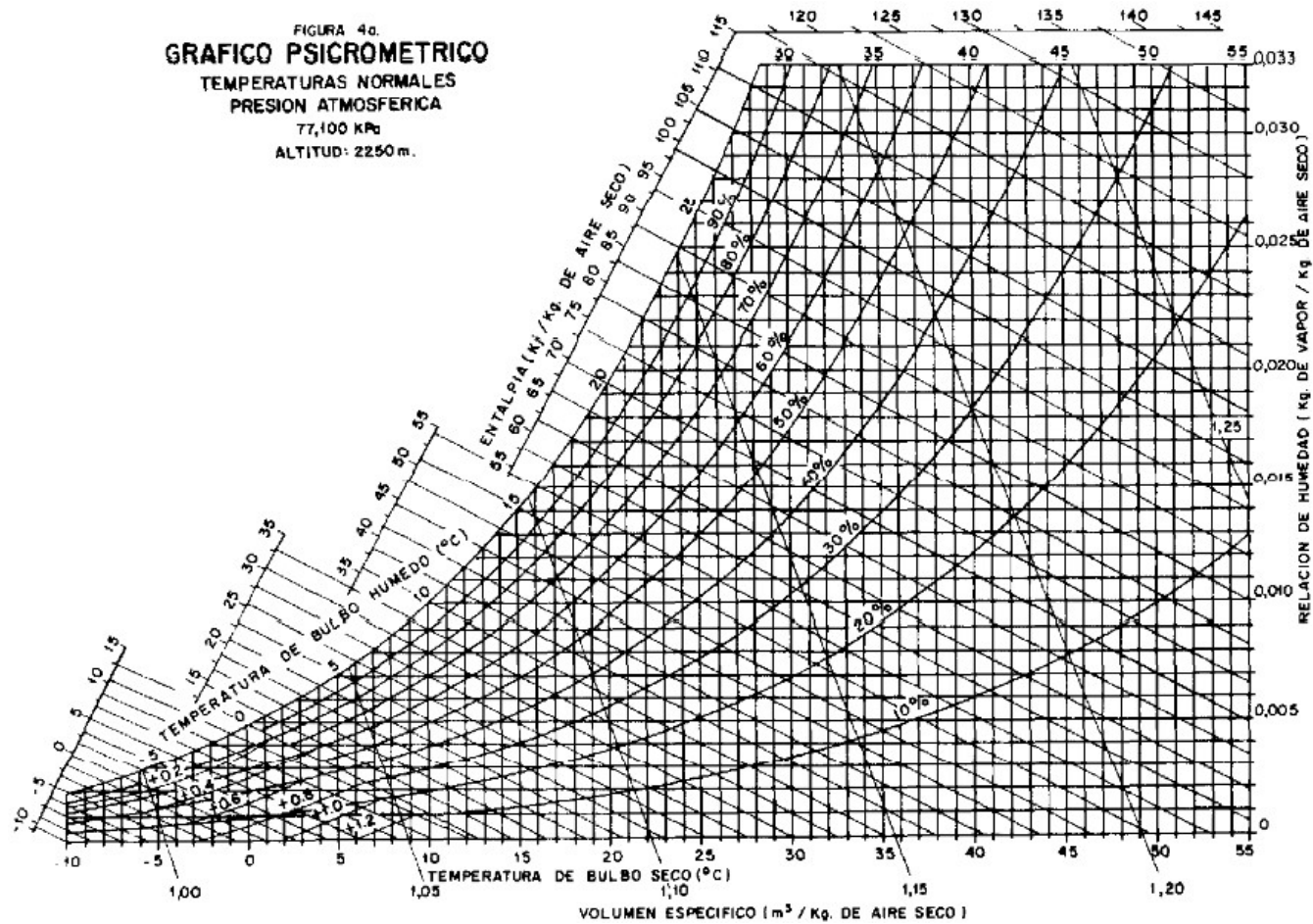
N°	CODIGO	ESTACION	HELIOFANIA	
			Promedio	Desv.Estánd.
39	120208	Mallares	6,8	2,7
40	120237	Ayabaca	5,8	3,4
41	120239	Huancabamba	3,7	2,8
42	120278	San Ramón	5,2	3,3
43	120281	Genaro Herrera	4,9	2,9
44	120301	Lambayeque	6,9	2,9
45	120325	Talla	6,1	3,0
46	120343	Huambos	6,1	2,9
47	120362	Bambamarca	5,3	3,0
48	120404	Huánuco	5,9	2,9
49	120407	San Jorge	4,5	3,3
50	120451	Palmawasi	4,9	2,8
51	120502	Surasaca	4,8	2,7
52	120535	Andahuasi	7,0	2,5
53	120536	Santa Rosa	6,4	2,8
54	120547	Carita	6,0	3,0
55	120606	Quilabamba	4,9	2,8
56	120607	Granja Kcayra	6,2	3,0
57	120615	Hípólito Unánue	4,1	3,5
58	120616	Cafete	4,2	3,4
59	120635	Huayao	6,5	2,9
60	120638	Pacarán	6,5	2,8
61	120708	Puno	8,3	2,8
62	120764	Chuquibambilla	7,3	2,9
63	120806	Moquegua	8,6	2,5
64	120837	Pampa Blanca	5,6	3,3
65	120839	La Pampila	8,7	1,5
66	120899	La Yarada	6,0	3,3
67	130207	Miraflores	6,7	2,7



Anexo D Producción y área cosechada de maíz morado en el Perú.



Anexo E Carta psicrométrica para Arequipa.



Anexo F Arduino Mega



ARDUINO MEGA 2560 REV3

Code: A000067



The MEGA 2560 is designed for more complex projects. With 54 digital I/O pins, 16 analog inputs and a larger space for your sketch it is the recommended board for 3D printers and robotics projects. This gives your projects plenty of room and opportunities.

- The **Arduino Mega 2560** is a microcontroller board based on the ATmega2560. It has 54 digital input/output pins (of which 15 can be used as PWM outputs), 16 analog inputs, 4 UARTs (hardware serial ports), a 16 MHz crystal oscillator, a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller; simply connect it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started. The Mega 2560 board is compatible with most shields designed for the Uno and the former boards Duemilanove or Diecimila.

Anexo G Arduino Mega – Especificaciones técnicas

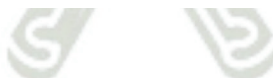
The Mega 2560 is an update to the Arduino Mega, which it replaces

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 15 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz
LED_BUILTIN	13
Length	101.52 mm
Width	53.3 mm
Weight	37 g

- **Programming**

The Mega 2560 board can be programmed with the Arduino Software (IDE). For details, see [reference](#) and [tutorials](#).

The ATmega2560 on the Mega 2560 comes preprogrammed with a bootloader that allows you to upload new code to it without the use of an external hardware programmer. It communicates using the original STK500 protocol ([reference](#), [C header files](#)).



Anexo H Sensor DHT22

Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors

1. Feature & Application:

- * Full range temperature compensated * Relative humidity and temperature measurement
- * Calibrated digital signal *Outstanding long-term stability *Extra components not needed
- * Long transmission distance * Low power consumption *4 pins packaged and fully interchangeable

2. Description:

DHT22 output calibrated digital signal. It utilizes exclusive digital-signal-collecting-technique and humidity sensing technology, assuring its reliability and stability. Its sensing elements is connected with 8-bit single-chip computer.

Every sensor of this model is temperature compensated and calibrated in accurate calibration chamber and the calibration-coefficient is saved in type of programme in OTP memory, when the sensor is detecting, it will cite coefficient from memory.

Small size & low consumption & long transmission distance(20m) enable DHT22 to be suited in all kinds of harsh application occasions.

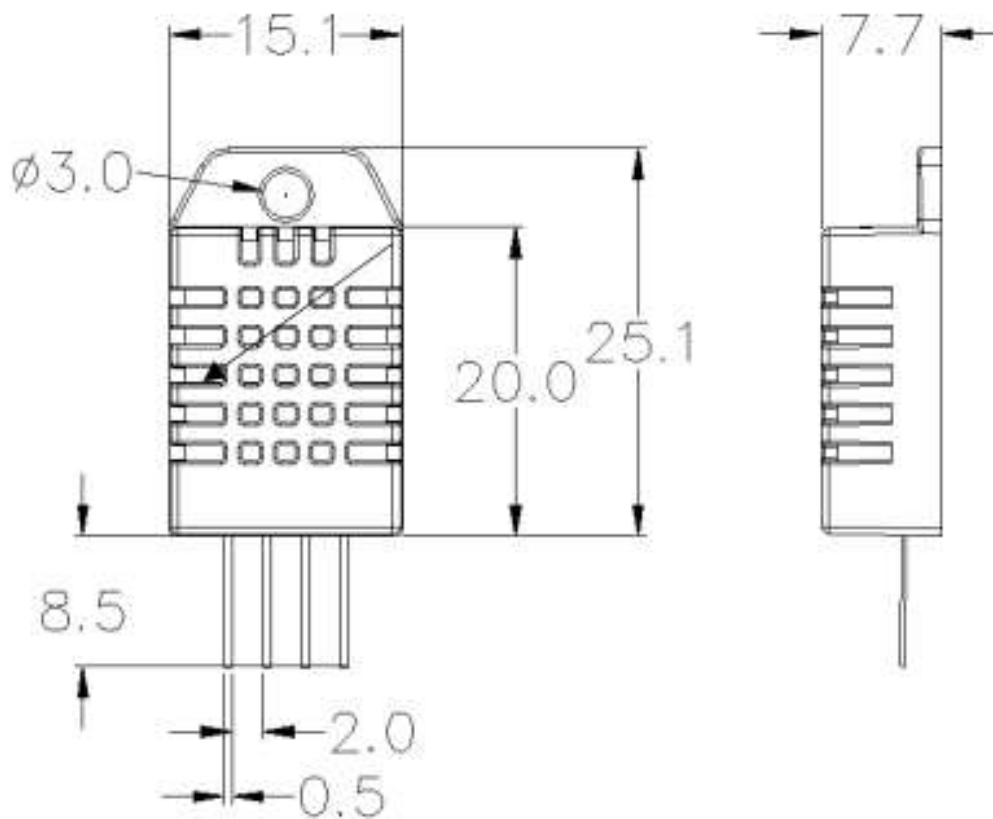
Single-row packaged with four pins, making the connection very convenient.

3. Technical Specification:

Model	DHT22	
Power supply	3.3-6V DC	
Output signal	digital signal via single-bus	
Sensing element	Polymer capacitor	
Operating range	humidity 0-100%RH;	temperature -40-80Celsius
Accuracy	humidity +-2%RH(Max +-5%RH); temperature <+-0.5Celsius	
Resolution or sensitivity	humidity 0.1%RH;	temperature 0.1Celsius
Repeatability	humidity +-1%RH;	temperature +-0.2Celsius
Humidity hysteresis	+-0.3%RH	
Long-term Stability	+-0.5%RH/year	
Sensing period	Average: 2s	
Interchangeability	fully interchangeable	
Dimensions	small size 14*18*5.5mm;	big size 22*28*5mm



Anexo I Sensor DHT22 - Medidas



Pin sequence number: 1 2 3 4 (from left to right direction).

Pin	Function
1	VDD—power supply
2	DATA—signal
3	NULL
4	GND

Anexo J Librería de códigos con PID

```
//////LIBRARIES//////  
#include <Key.h>  
#include <Keypad.h>  
#include <LiquidCrystal.h>  
#include <DHT.h>  
#include <DHT_U.h>  
#include <Wire.h>  
#include <LiquidCrystal_I2C.h>  
#include <PID_v1.h>
```

```
////// PID ////  
#define tiempoCiclo 1000  
##define pinData 62 //pines de temperatura  
##define pinData 63 //pines de temperatura  
double Setpoint, Input, Outputdouble Kp = 0.000000069756 Ki = 0.023 Kd = 0.00575  
// Especifica parametros iniciales  
float temperatura=0;  
unsigned long respuestaUltimaTemperatura = 0;  
unsigned long lastPIDCalculation = 0;  
float prevTemperature = -9999.0;
```

```
//////VARIABLE DECLARATION TEMPERATURE//////  
float SENSOR = A8;//62-49sen1(bandejas1,2),53sen2(bandejas 9,10)  
float TEMPERATURA;  
float HUMEDAD;  
float SENSOR2 = A9;//63-49sen1(bandejas1,2),53sen2(bandejas 9,10)  
float TEMPERATURA2;  
float HUMEDAD2;  
float TPROM;  
float HPROM;  
//excel  
int analogSensor1;  
int digitalSensor1;  
int analogSensor2;  
int digitalSensor2;
```

```
//////LED'S//////  
int r1=35, r2=33, r3=39, r4=37, r5=43, r6=41;  
int v1=34, v2=32, v3=38, v4=36, v5=42, v6=40;
```

```
//////FAN//////  
int in1=56, in2=9; //ventilador 6 de extracción  
int in3=55,in4=54; //Ventiladores 3,4(realimentación)  
int ENA=8,ENB=10;//PWM para driver 1  
int in1d=13,in2d=12;// Ventiladores de 1,2 entrada  
int ENAd=11;//PWM para driver 2
```

```
//////KEYBOARD//////  
const byte filas = 4;  
const byte columnas = 4;  
byte pinsFilas[filas] = {28, 26, 24, 22};  
byte pinsColumnas[columnas] = {29, 27, 25, 23};  
  
char teclas[filas][columnas] =  
{  
  {'1','2','3','A'},  
  {'4','5','6','B'},  
  {'7','8','9','C'},  
  {'*','0','#','D'}  
};  
char ingreso;  
char tecla;  
int valor = 0;
```

```
//////MAIN DISPLAY//////  
char * mensaje1 = " UCSM-Arequipa ";//" UCSM - Arequipa "  
char * mensaje2 = "Op.A:V1y2 OP.C:Cale.";  
char * mensaje3 = "Op.B:V3y4 OP.D:Rest.";  
char * mensaje4 = " Ingrese TD:";
```

```
//SETUP LIBRARIES//  
DHT dht(SENSOR, DHT22);//para proteus dht11, modulo dht22  
DHT dht2(SENSOR2, DHT22);//para proteus dht11, modulo dht22  
LiquidCrystal lcd(7, 6, 5, 4, 3, 2);  
Keypad teclado = Keypad(makeKeymap(teclas), pinsFilas, pinsColumnas, filas, columnas);  
LiquidCrystal_I2C lcd1(0x27,20,4);  
PID myPID(&Input, &Output, &Setpoint, Kp, Ki, Kd, DIRECT);
```

```

////////VARIABLE CONFIGURATION////////
void setup() {
  /////displays/////
  lcd.begin(16, 2);
  dht.begin();//inicializa sensor1
  dht2.begin();//inicializa sensor2
  lcd1.init(); //inicializa la pantalla
  lcd1.backlight(); //enciende la pantalla
  Serial.begin(9600);
  //excel
  pinMode(62,INPUT);
  pinMode(63,INPUT);
  /////led s/////
  pinMode(r1, OUTPUT);
  pinMode(r2, OUTPUT);
  pinMode(r3, OUTPUT);
  pinMode(r4, OUTPUT);
  pinMode(r5, OUTPUT);
  pinMode(r6, OUTPUT);
  pinMode(v1, OUTPUT);
  pinMode(v2, OUTPUT);
  pinMode(v3, OUTPUT);
  pinMode(v4, OUTPUT);
  pinMode(v5, OUTPUT);
  pinMode(v6, OUTPUT);
  digitalWrite(v1, LOW);
  digitalWrite(v2, LOW);

  digitalWrite(r5, LOW);
  digitalWrite(r6, HIGH);
  /////fan1234///// ventiladores 1,2,3,4,6
  pinMode(in1, OUTPUT);
  pinMode(in2, OUTPUT);
  pinMode(in3, OUTPUT);
  pinMode(in4, OUTPUT);
  pinMode(ENA, OUTPUT);
  pinMode(ENB, OUTPUT);
  pinMode(in1d, OUTPUT);
  pinMode(in2d, OUTPUT);
  pinMode(ENAd, OUTPUT);
  /////Resistance/////Calefactor
  pinMode(rf, OUTPUT);
  digitalWrite(52, HIGH);//power off rele,(con high se apaga,con low se prende)
  debido al conexiada
  /////PID/////
  //Setpoint = 40.0; // initialize the variables we're
  linked to
  myPID.SetOutputLimits(0, tiempoCiclo);
  myPID.SetSampleTime(tiempoCiclo);
  myPID.SetMode(AUTOMATIC);
  //sensors.begin(); // arranca librerias
}

```

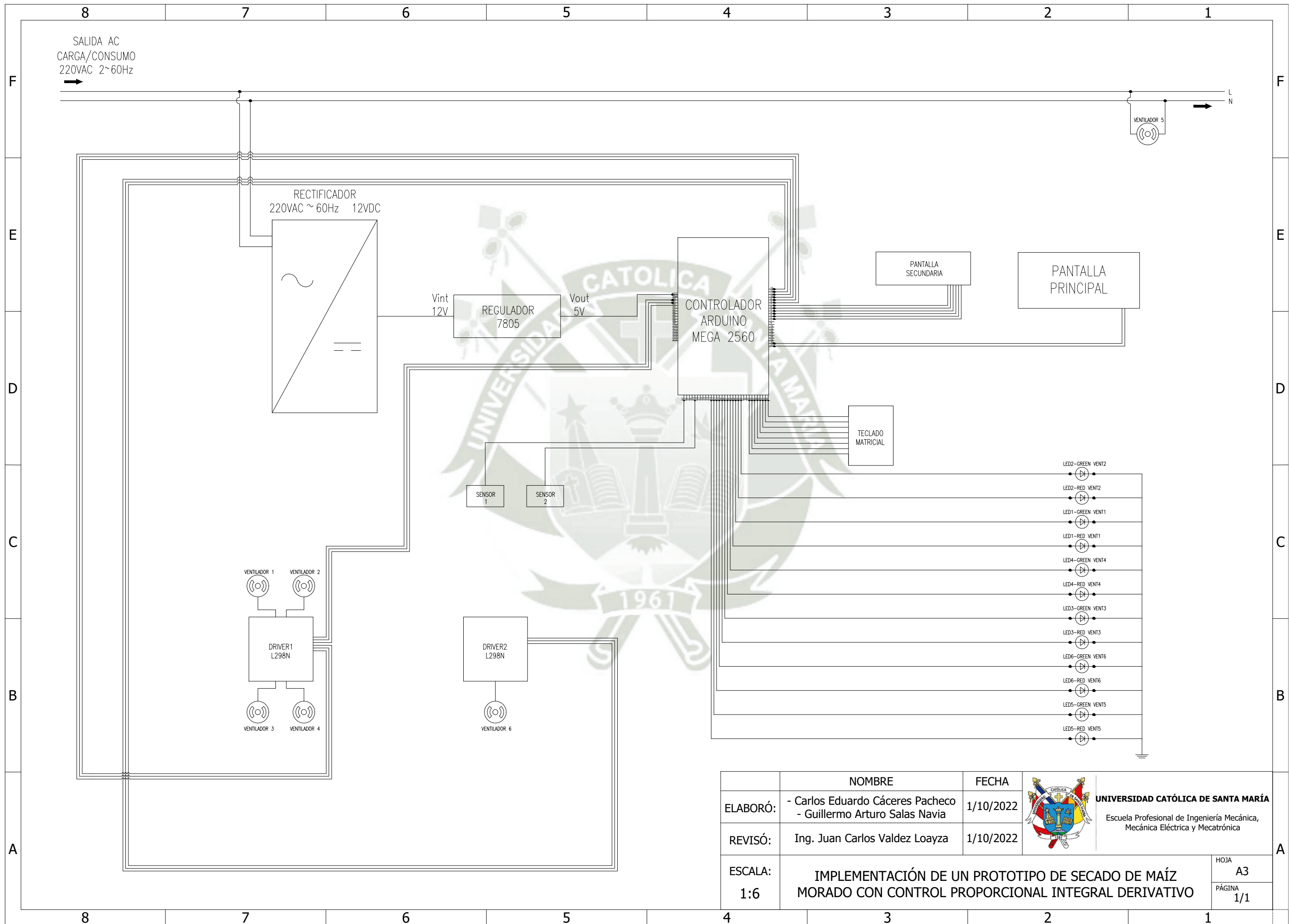
```

////////MAIN PROGRAM////////
void loop() {
  pantalla();//pantalla principal
  temp();//lectura de sensores en pantalla 16x4
  proyecto(1);//ativacion de actuadores manualmente
  intemp();//ingreso de temperatura
  //control();//control de resistencia
  controlvent();//control ventiladores
  pid();//pid
}

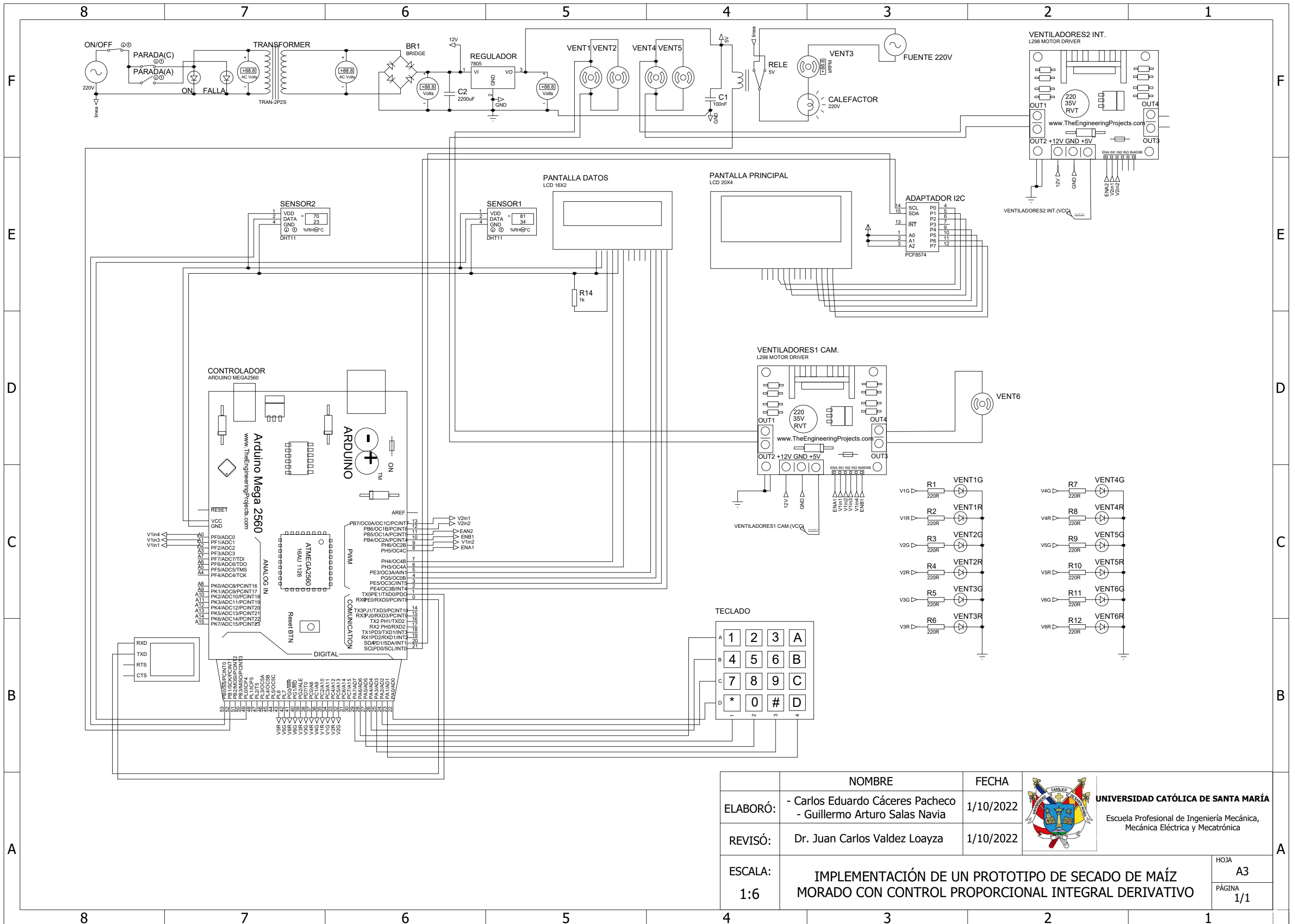
```

Anexo K Planos de Ingeniería y de Control

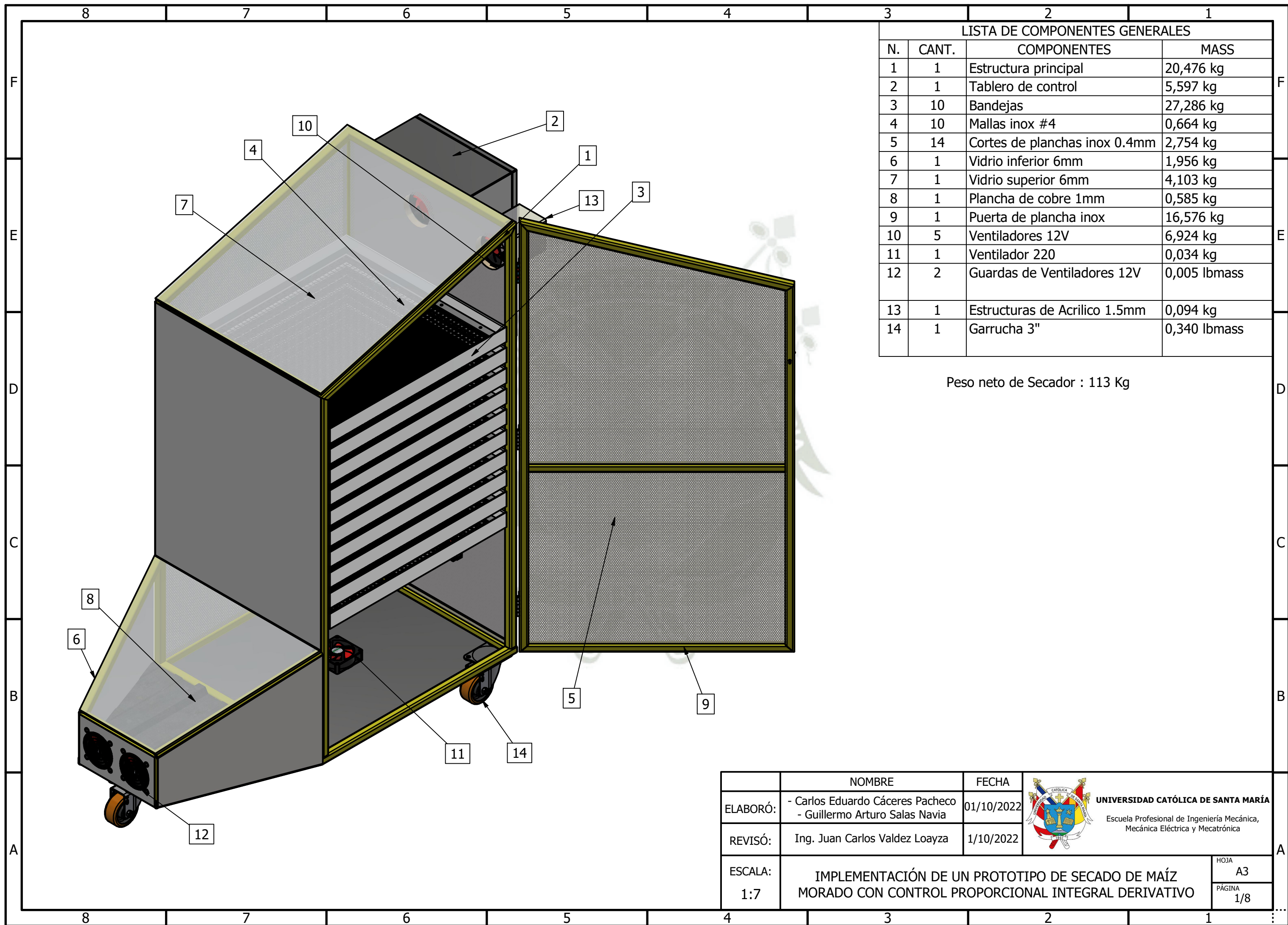




	NOMBRE	FECHA	 UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica
ELABORÓ:	- Carlos Eduardo Cáceres Pacheco - Guillermo Arturo Salas Navia	1/10/2022	
REVISÓ:	Ing. Juan Carlos Valdez Loayza	1/10/2022	
ESCALA:	IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE SECADO DE MAÍZ MORADO CON CONTROL PROPORCIONAL INTEGRAL DERIVATIVO		
			HOJA A3 PÁGINA 1/1



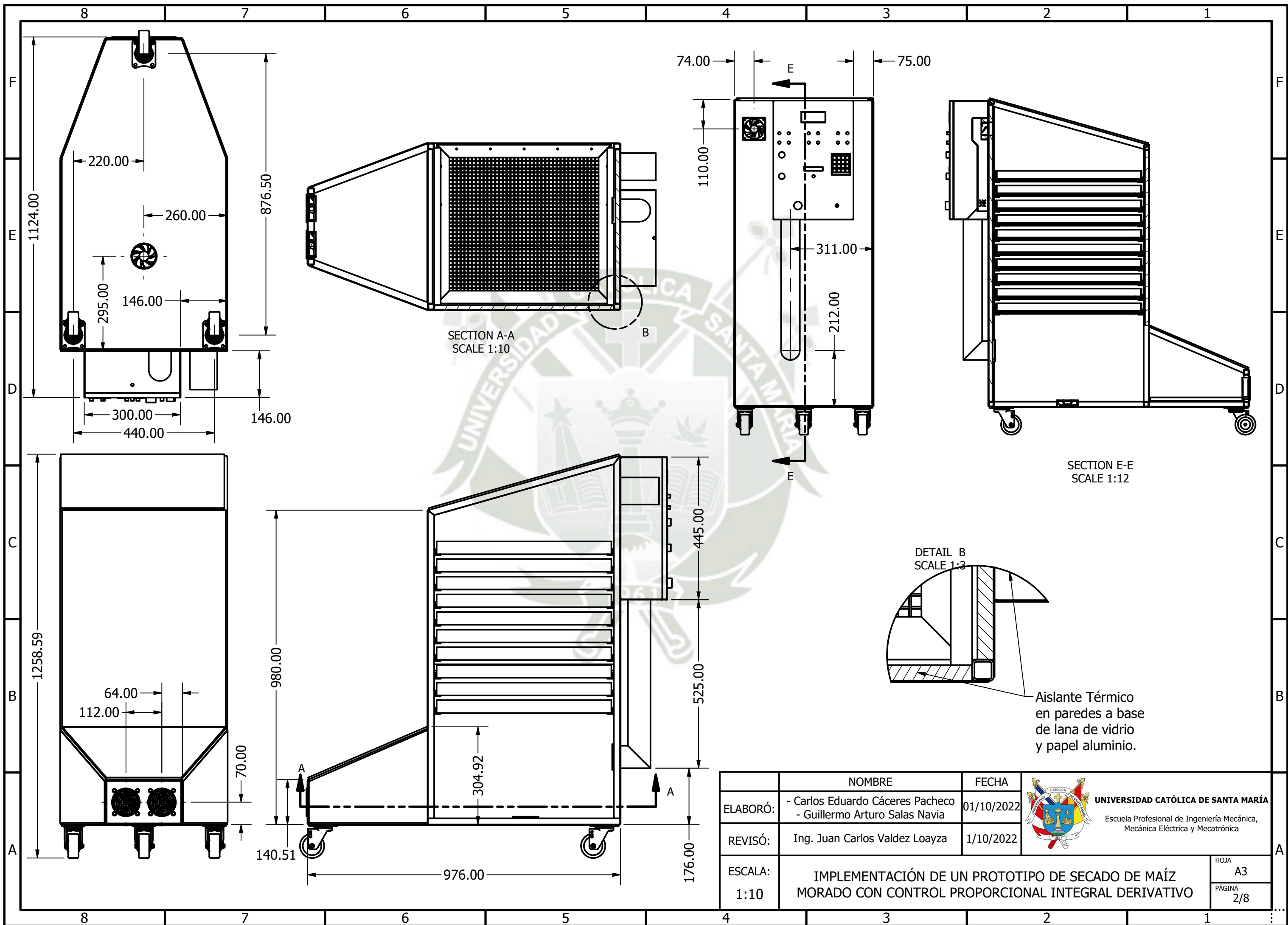
	NOMBRE	FECHA	 UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica
ELABORÓ:	- Carlos Eduardo Cáceres Pacheco - Guillermo Arturo Salas Navia	1/10/2022	
REVISÓ:	Dr. Juan Carlos Valdez Loayza	1/10/2022	
ESCALA:	IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE SECADO DE MAÍZ MORADO CON CONTROL PROPORCIONAL INTEGRAL DERIVATIVO		HOJA A3 PÁGINA 1/1



LISTA DE COMPONENTES GENERALES			
N.	CANT.	COMPONENTES	MASS
1	1	Estructura principal	20,476 kg
2	1	Tablero de control	5,597 kg
3	10	Bandejas	27,286 kg
4	10	Mallas inox #4	0,664 kg
5	14	Cortes de planchas inox 0.4mm	2,754 kg
6	1	Vidrio inferior 6mm	1,956 kg
7	1	Vidrio superior 6mm	4,103 kg
8	1	Plancha de cobre 1mm	0,585 kg
9	1	Puerta de plancha inox	16,576 kg
10	5	Ventiladores 12V	6,924 kg
11	1	Ventilador 220	0,034 kg
12	2	Guardas de Ventiladores 12V	0,005 lbmass
13	1	Estructuras de Acrilico 1.5mm	0,094 kg
14	1	Garrucha 3"	0,340 lbmass

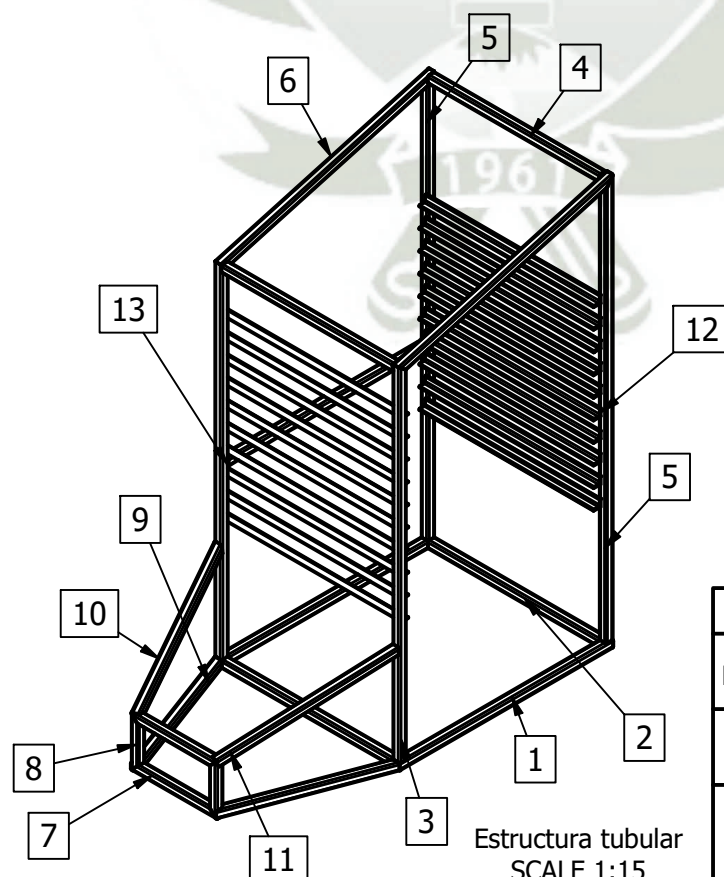
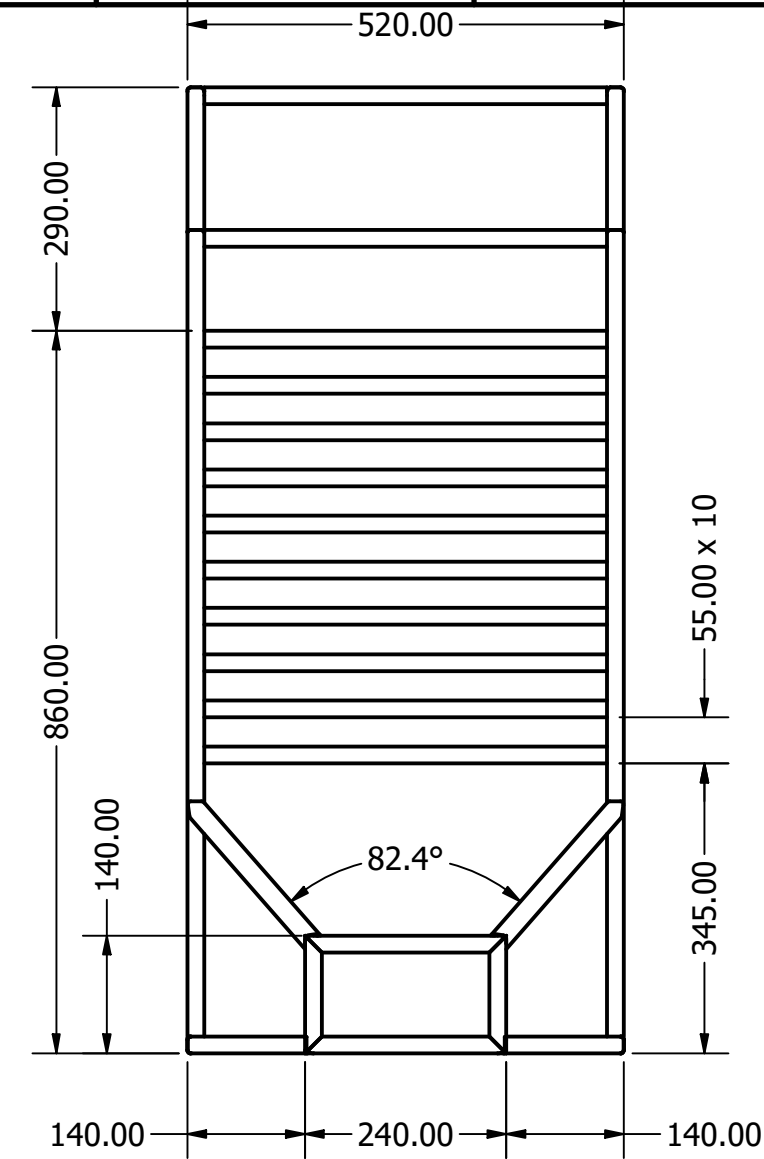
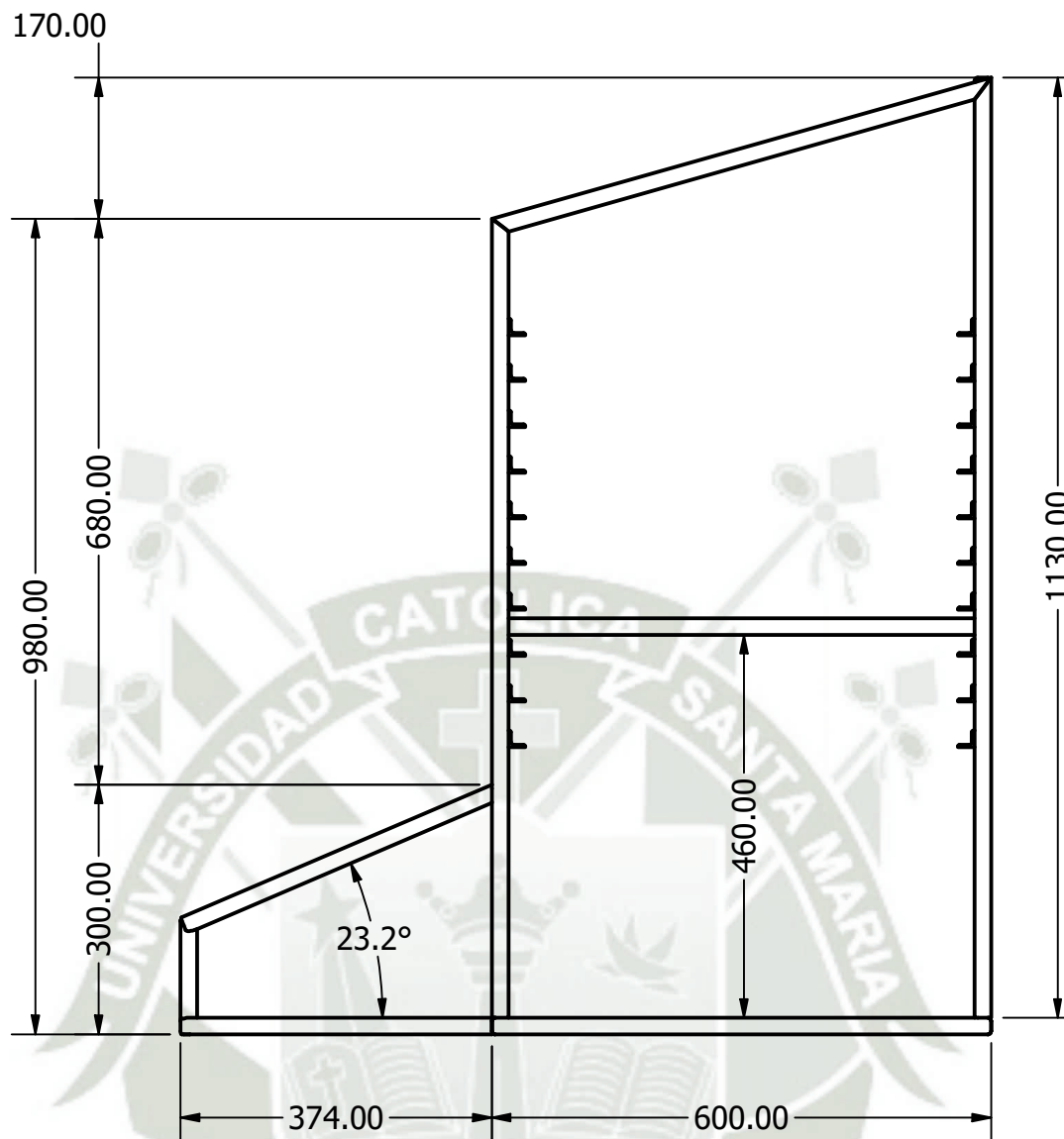
Peso neto de Secador : 113 Kg

	NOMBRE	FECHA	 UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica
ELABORÓ:	- Carlos Eduardo Cáceres Pacheco - Guillermo Arturo Salas Navia	01/10/2022	
REVISÓ:	Ing. Juan Carlos Valdez Loayza	1/10/2022	
ESCALA:	IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE SECADO DE MAÍZ MORADO CON CONTROL PROPORCIONAL INTEGRAL DERIVATIVO		HOJA A3 PÁGINA 1/8

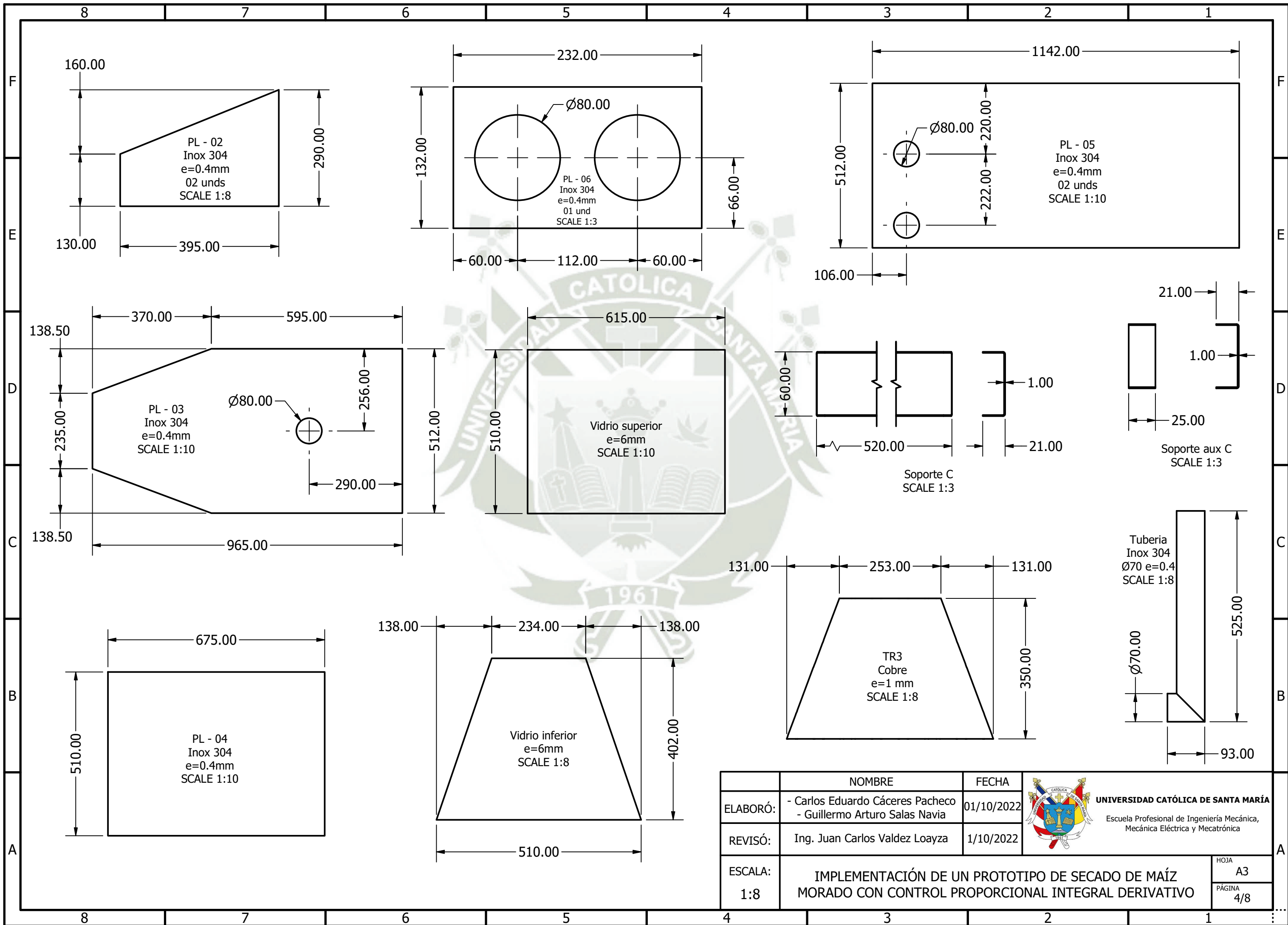


	NOMBRE	FECHA	 UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica
ELABORÓ:	- Carlos Eduardo Cáceres Pacheco - Guillermo Arturo Salas Navia	01/10/2022	
REVISÓ:	Ing. Juan Carlos Valdez Loayza	1/10/2022	
ESCALA:	IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE SECADO DE MAÍZ MORADO CON CONTROL PROPORCIONAL INTEGRAL DERIVATIVO		
			HOJA A3 PÁGINA 2/8

LISTA DE COMPONENTES				
N.	DIST.	NORMA	MATERIAL	MASS
1	1200 mm	ISO 10799-2 - 20x20x2 - 600	TUBO CUAD - A500GRB	0,609 kg
2	1040 mm	ISO 10799-2 - 20x20x2 - 520	TUBO CUAD - A500GRB	0,525 kg
3	1920 mm	ISO 10799-2 - 20x20x2 - 960	TUBO CUAD - A500GRB	1,000 kg
4	960 mm	ISO 10799-2 - 20x20x2 - 480	TUBO CUAD - A500GRB	0,504 kg
5	2260 mm	ISO 10799-2 - 20x20x2 - 1130	TUBO CUAD - A500GRB	1,172 kg
6	1247 mm	ISO 10799-2 - 20x20x2 - 623.618	TUBO CUAD - A500GRB	0,633 kg
7	480 mm	ISO 10799-2 - 20x20x2 - 240	TUBO CUAD - A500GRB	0,231 kg
8	280 mm	ISO 10799-2 - 20x20x2 - 140	TUBO CUAD - A500GRB	0,126 kg
9	799 mm	ISO 10799-2 - 20x20x2 - 399.344	TUBO CUAD - A500GRB	0,404 kg
10	429 mm	ISO 10799-2 - 20x20x2 - 429.271	TUBO CUAD - A500GRB	0,437 kg
11	430 mm	ISO 10799-2 - 20x20x2 - 430.205	TUBO CUAD - A500GRB	0,437 kg
12	9800 mm	ISO 657-1 - L20x20x3-490	ÁNGULO -ASTM A 36	0,430 kg
13	560 mm	ISO 10799-2 - 20x20x2 - 560	ÁNGULO -ASTM A 36	0,588 kg



	NOMBRE	FECHA	 UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica
ELABORÓ:	- Carlos Eduardo Cáceres Pacheco - Guillermo Arturo Salas Navia	01/10/2022	
REVISÓ:	Ing. Juan Carlos Valdez Loayza	1/10/2022	
ESCALA:	IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE SECADO DE MAÍZ MORADO CON CONTROL PROPORCIONAL INTEGRAL DERIVATIVO		HOJA A3 PÁGINA 3/8



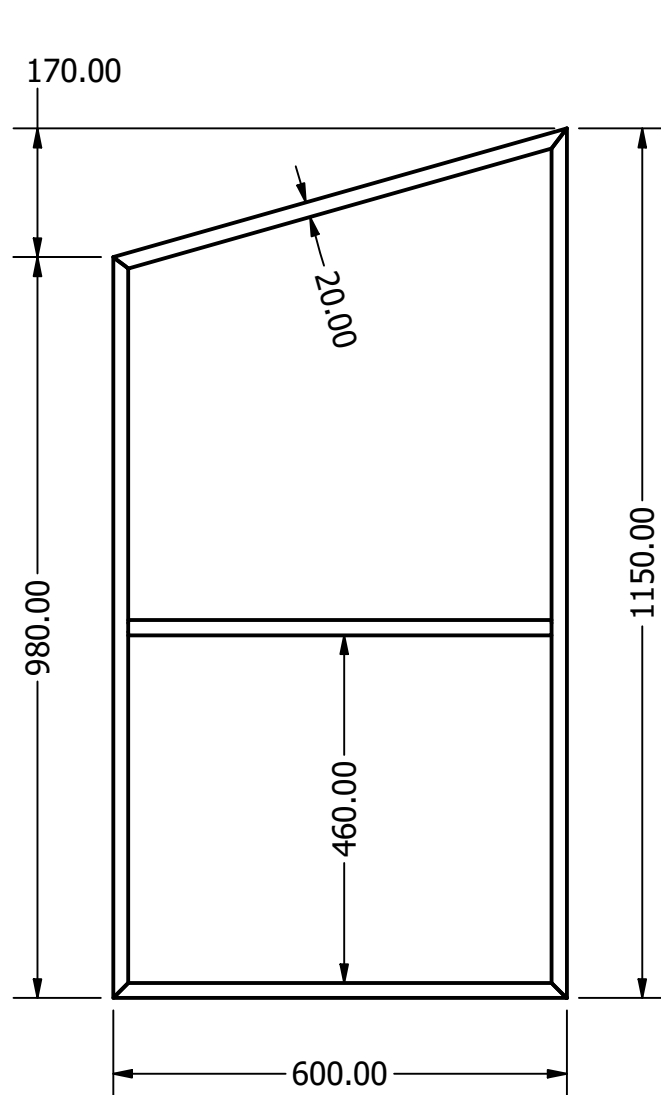
	NOMBRE	FECHA
ELABORÓ:	- Carlos Eduardo Cáceres Pacheco - Guillermo Arturo Salas Navia	01/10/2022
REVISÓ:	Ing. Juan Carlos Valdez Loayza	1/10/2022
ESCALA:	1:8	


UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
 Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica,
 Mecánica Eléctrica y Mecatrónica

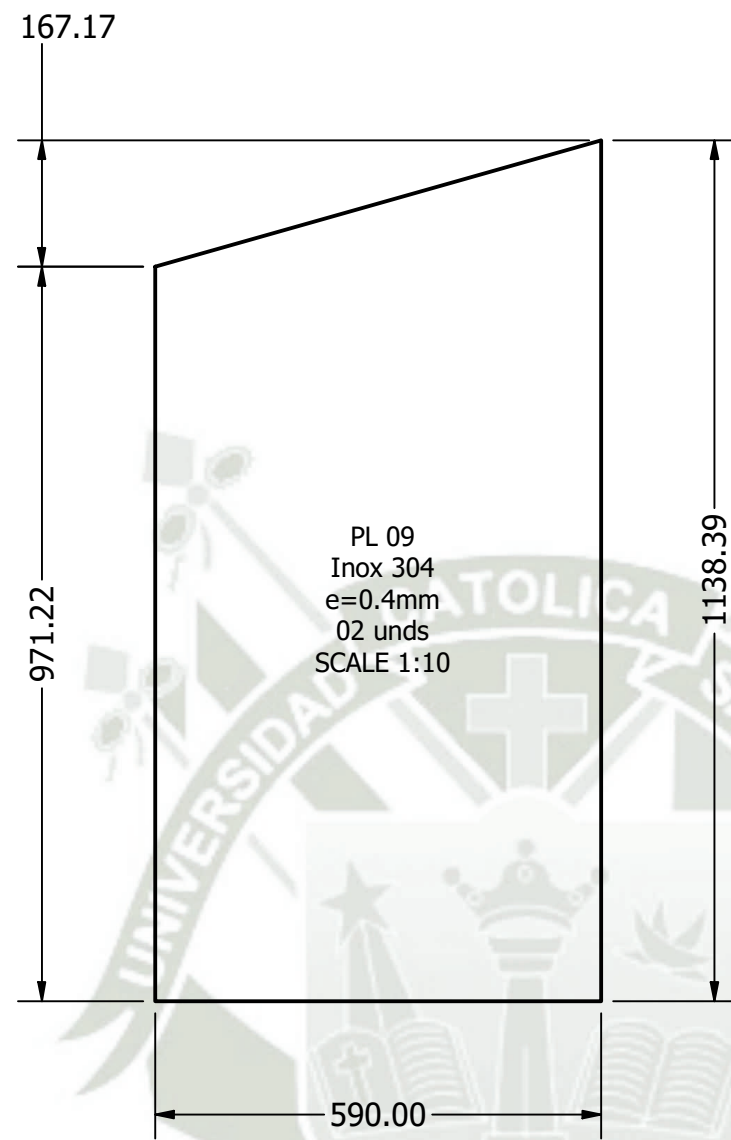
HOJA	A3
PÁGINA	4/8

IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE SECADO DE MAÍZ MORADO CON CONTROL PROPORCIONAL INTEGRAL DERIVATIVO

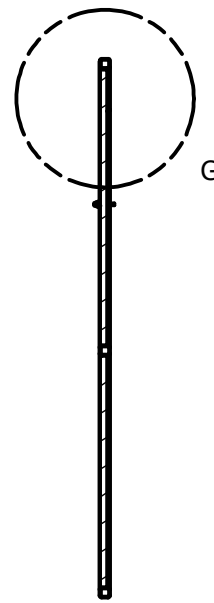
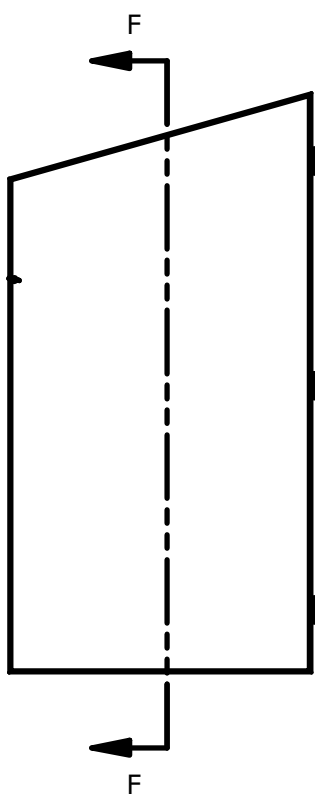
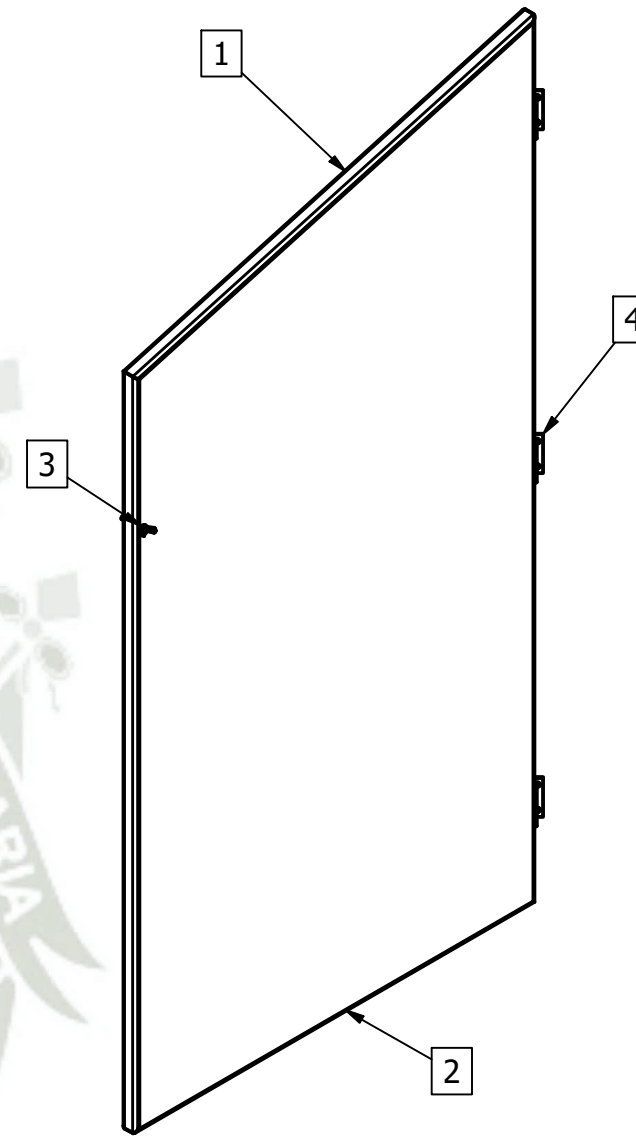
LISTA DE COMPONENTES		
N.	CANT.	COMPONENTES
1	1	Estructura puerta
2	1	Plancha inox
3	1	Perno mariposa
4	3	Bisagra



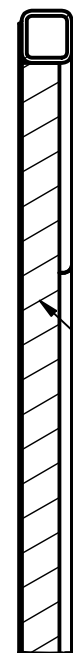
Puerta_estructura
SCALE 1:10



PL 09
Inox 304
e=0.4mm
02 unds
SCALE 1:10

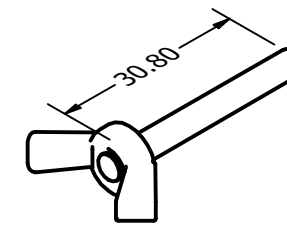


SECTION F-F
SCALE 1:15

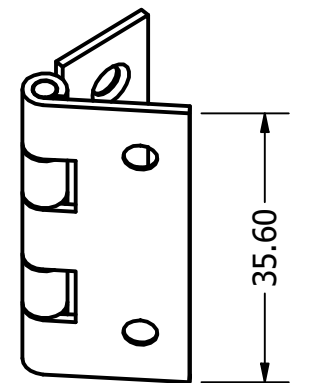


Aislante térmico a base de lana de vidrio y papel aluminio

DETAIL G
SCALE 1:3



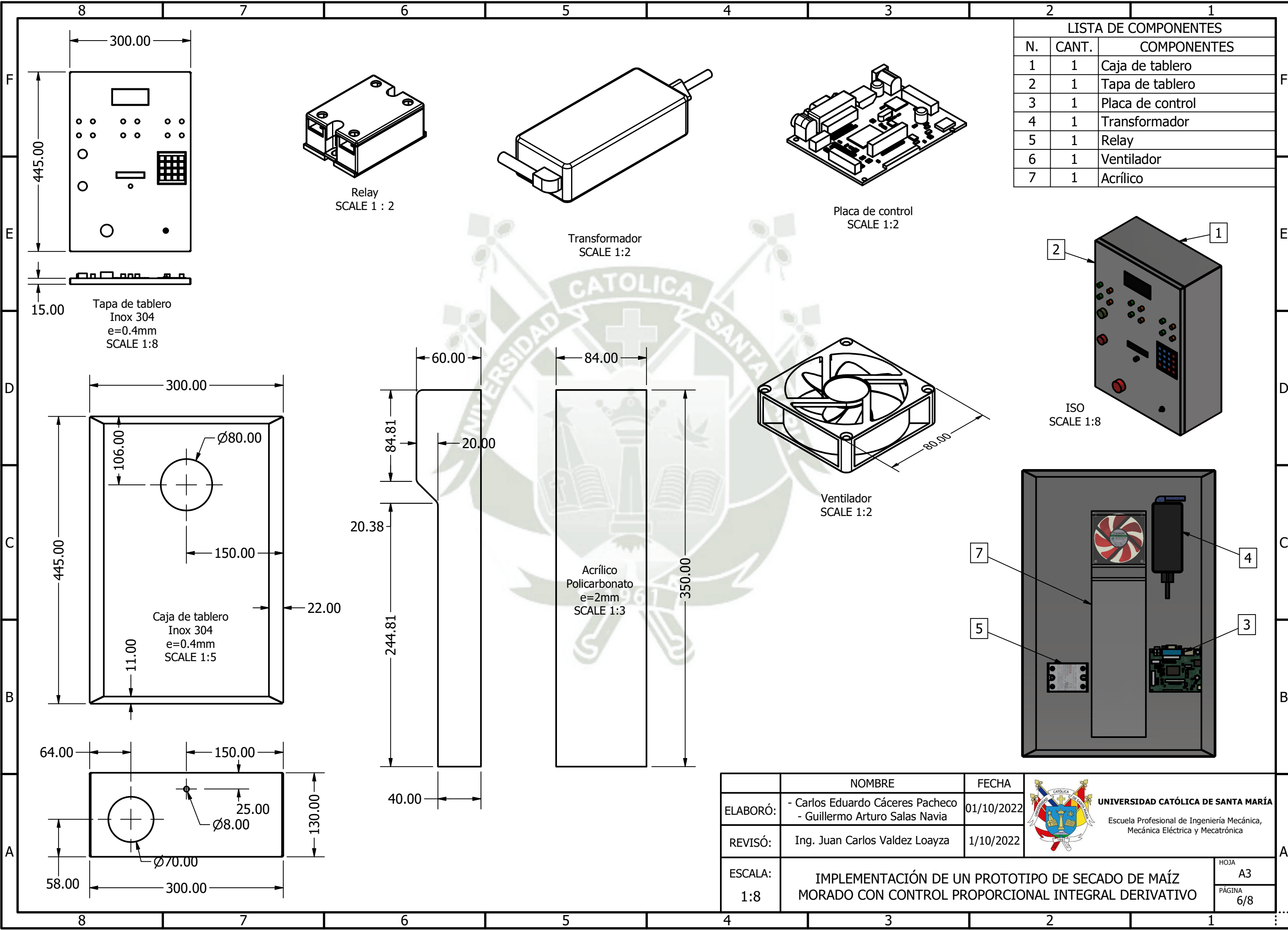
Perno mariposa
SCALE 1:1



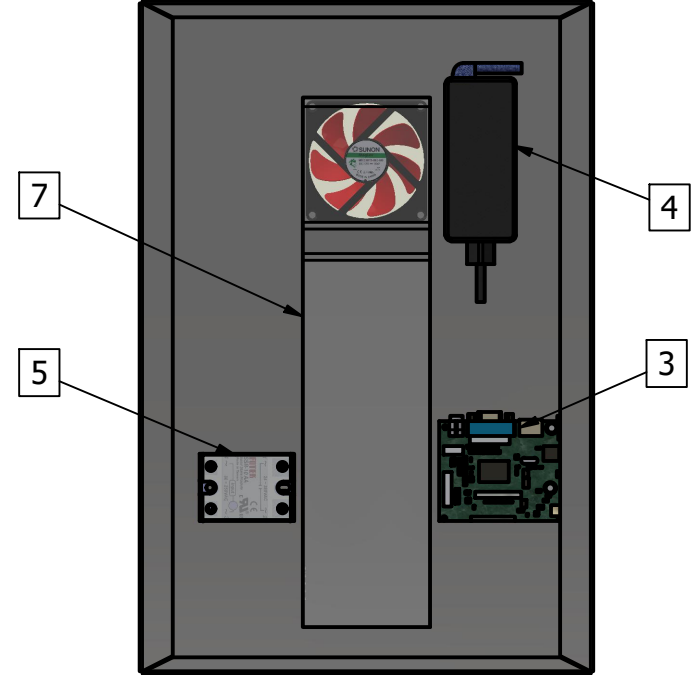
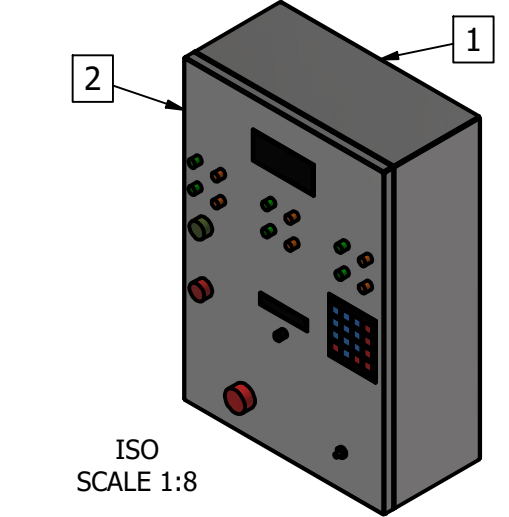
Bisagra
Inox 304
03 unds
SCALE 1:1

	NOMBRE	FECHA	 UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica
ELABORÓ:	- Carlos Eduardo Cáceres Pacheco - Guillermo Arturo Salas Navia	01/10/2022	
REVISÓ:	Ing. Juan Carlos Valdez Loayza	1/10/2022	
ESCALA:	1:8		HOJA A3 PÁGINA 5/8

IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE SECADO DE MAÍZ MORADO CON CONTROL PROPORCIONAL INTEGRAL DERIVATIVO

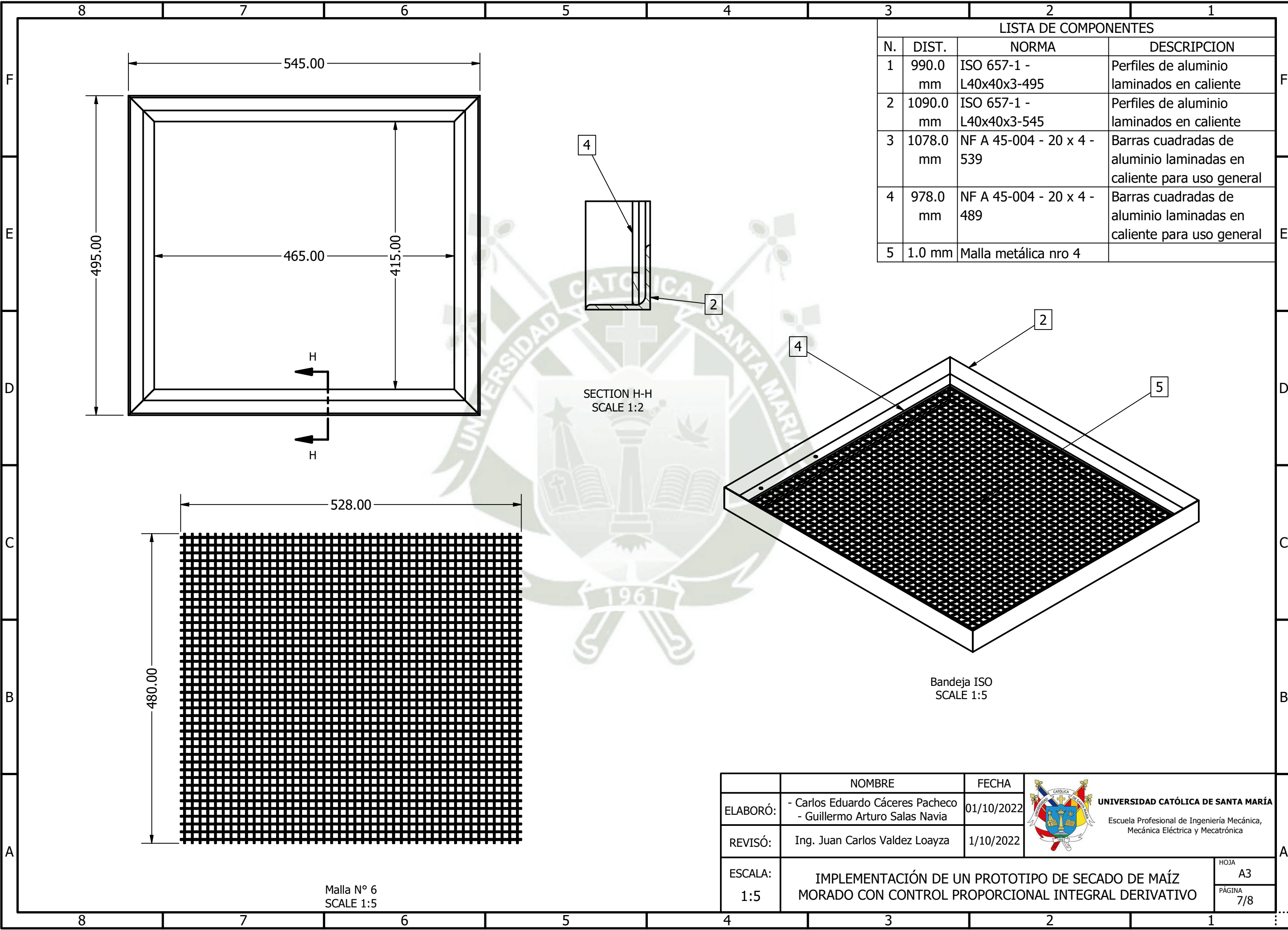


LISTA DE COMPONENTES		
N.	CANT.	COMPONENTES
1	1	Caja de tablero
2	1	Tapa de tablero
3	1	Placa de control
4	1	Transformador
5	1	Relay
6	1	Ventilador
7	1	Acrílico



	NOMBRE	FECHA
ELABORÓ:	- Carlos Eduardo Cáceres Pacheco - Guillermo Arturo Salas Navia	01/10/2022
REVISÓ:	Ing. Juan Carlos Valdez Loayza	1/10/2022
ESCALA:	1:8	

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica,
Mecánica Eléctrica y Mecatrónica



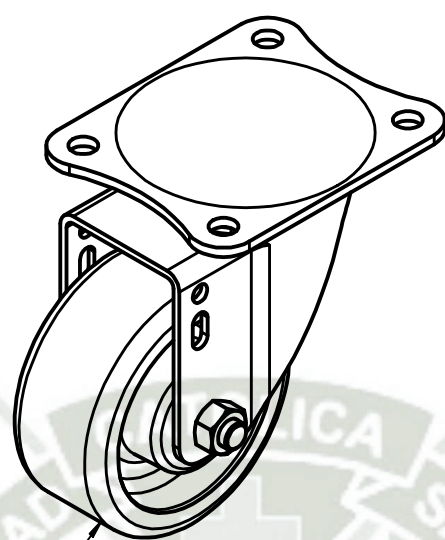
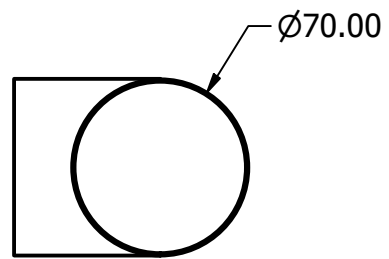
LISTA DE COMPONENTES			
N.	DIST.	NORMA	DESCRIPCION
1	990.0 mm	ISO 657-1 - L40x40x3-495	Perfiles de aluminio laminados en caliente
2	1090.0 mm	ISO 657-1 - L40x40x3-545	Perfiles de aluminio laminados en caliente
3	1078.0 mm	NF A 45-004 - 20 x 4 - 539	Barras cuadradas de aluminio laminadas en caliente para uso general
4	978.0 mm	NF A 45-004 - 20 x 4 - 489	Barras cuadradas de aluminio laminadas en caliente para uso general
5	1.0 mm	Malla metálica nro 4	

SECTION H-H
SCALE 1:2

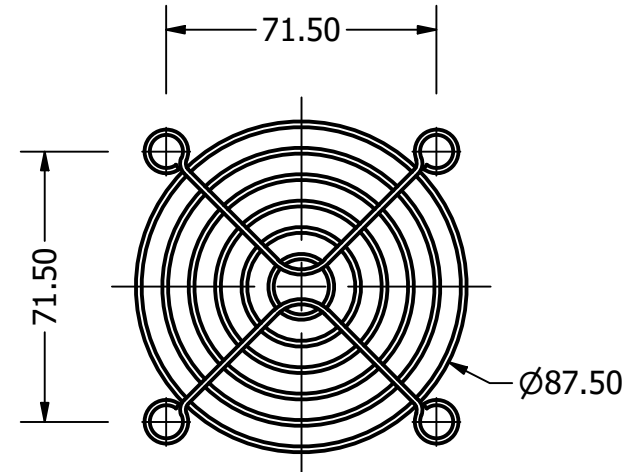
Bandeja ISO
SCALE 1:5

Malla N° 6
SCALE 1:5

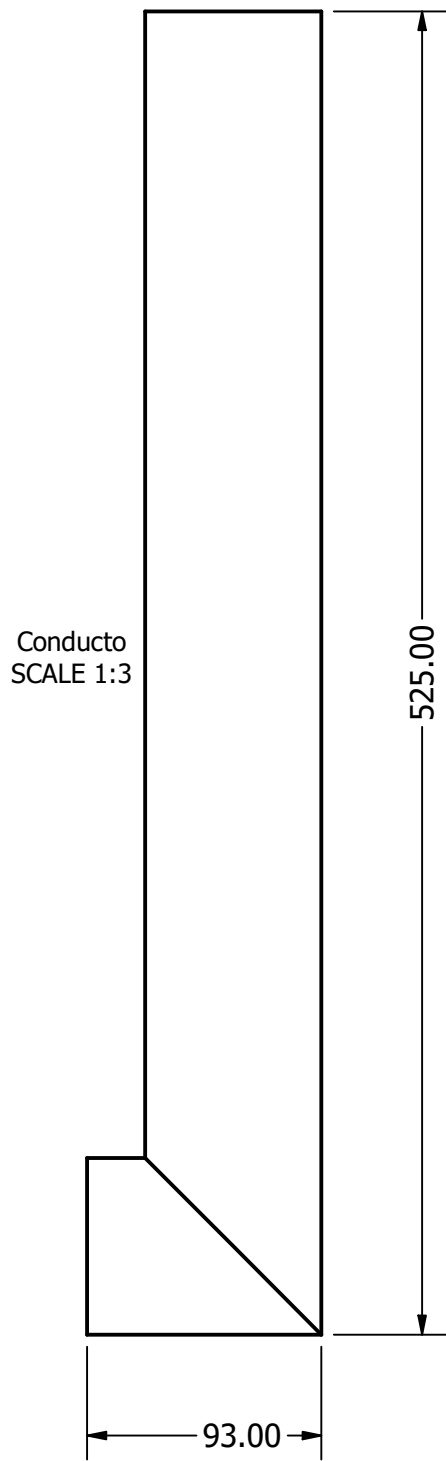
	NOMBRE	FECHA	 UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica
ELABORÓ:	- Carlos Eduardo Cáceres Pacheco - Guillermo Arturo Salas Navia	01/10/2022	
REVISÓ:	Ing. Juan Carlos Valdez Loayza	1/10/2022	
ESCALA:	IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE SECADO DE MAÍZ MORADO CON CONTROL PROPORCIONAL INTEGRAL DERIVATIVO		HOJA A3 PÁGINA 7/8



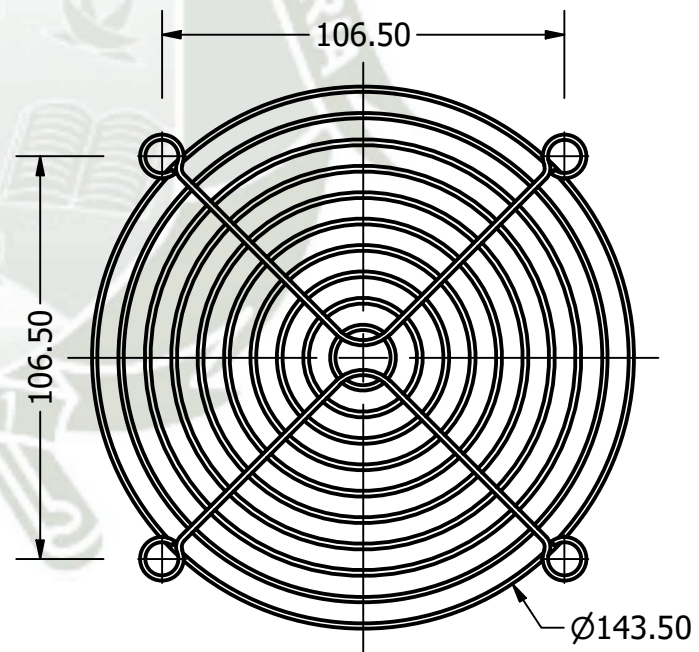
Garrucha 3"
SCALE 1:2



Guarda de ventilador 1
SCALE 1:2



Conducto
SCALE 1:3



Guarda de ventilador 2
SCALE 1:2

	NOMBRE	FECHA	 UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica, Mecánica Eléctrica y Mecatrónica
ELABORÓ:	- Carlos Eduardo Cáceres Pacheco - Guillermo Arturo Salas Navia	01/10/2022	
REVISÓ:	Ing. Juan Carlos Valdez Loayza	1/10/2022	
ESCALA:	IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE SECADO DE MAÍZ MORADO CON CONTROL PROPORCIONAL INTEGRAL DERIVATIVO		
			HOJA A3 PÁGINA 8/8