

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA ESTUFA DE SECADO POR
CONVECCIÓN FORZADA PARA EL LABORATORIO DE COMBUSTIÓN DE LA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA – UIS.

HAROLD CUELLO GENEZ
NESTOR YESID RUGELES RODRÍGUEZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA

2019

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA ESTUFA DE SECADO POR
CONVECCIÓN FORZADA PARA EL LABORATORIO DE COMBUSTIÓN DE LA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA – UIS.

HAROLD CUELLO GENEZ
NESTOR YESID RUGELES RODRÍGUEZ

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Ingeniero Mecánico

DIRECTOR
YESID JAVIER RUEDA ORDOÑEZ
Doctor en Ingeniería Química

CODIRECTOR
OMAR ARMANDO GELVEZ AROCHA
Magister en Ingeniería Mecánica

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA

2019

DEDICATORIA

Primeramente, a Dios por regalarme sabiduría, inteligencia y entendimiento para
lograr culminar esta etapa de la mejor manera.

A mi padre Francisco Cuello, por sus consejos, palabras día a día siendo un
sinónimo de luchar por los sueños y su apoyo incondicional en las decisiones
tomadas a lo largo del tiempo.

A mi madre Candelaria Genez, por darme ánimo para levantarme cada día con la
mejor actitud, y hacerme sentir cerca a pesar de la distancia.

A mi hermano Arnol Cuello, porque en cada uno de sus actos aportó una
enseñanza.

Este logro es de ustedes mis padres amados.

A mi familia por su apoyo constantemente.

A Nestor Rugeles, mi compañero de tesis, por hacer posible este logro en el que
un día nos embarcamos y hoy es una realidad.

A cada uno de mis amigos que pasaron en distintas etapas de la carrera
aportando enseñanzas y apoyándonos mutuamente en nuestro crecimiento.

A cada persona que aportó un granito de arena en la realización de este proyecto.

Harold Cuello Genez

Cuando inicié con la ilusión de verme graduado no imaginé la cantidad de circunstancias que sucederían en el camino, unas buenas y otras no tanto, pero todas útiles para traerme hasta este preciso momento. Miro hacia atrás y con alegría me siento satisfecho de haberlo logrado. Pero no habría podido hacerlo sólo, siempre hubo alguien acompañándome en uno u otro proceso; y en agradecimiento a su fe en mí, quiero reconocerlos y dedicarles mi logro. A Dios, por bendecirme con la vida, por ser el refugio en los momentos difíciles y de debilidad, y allí, mostrarme el camino correcto para culminar con este sueño. A mis padres, por su amor, paciencia, trabajo y sacrificio en todos estos años; por sus oraciones, por ser los principales promotores de mis sueños, por confiar y creer en cada una de mis metas, por los consejos, valores y principios que me han inculcado.

Ha sido un orgullo y privilegio ser su hijo, son los mejores padres.

A mis hermanas, por estar siempre presentes, por su cariño, por la compañía, porque con sus consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y proyectos. A Harold Cuello, mi compañero de tesis y gran amigo, por su paciencia, disciplina y entrega para que hoy pueda verse realizado este sueño de ser ingenieros mecánicos UIS.

A todos mis amigos y personas que han estado a mi lado, por apoyarme cuando más los he necesitado, por extender su mano en momentos difíciles y por el amor brindado cada día, porque gracias a todos pude culminar con éxito este gran proyecto de vida. Mil gracias a todos, siempre los llevaré en mi corazón.

Finalmente quiero dedicar este triunfo a Morgan, el mejor amigo que cualquier persona pueda tener, mi compañía fiel, mi paño de lágrimas y confidente, por la alegría que le da a mi vida cada día con su presencia.

Nestor Yesid Rugeles Rodríguez

AGRADECIMIENTOS

Con gran emoción expresamos los más sinceros agradecimientos al profesor Yesid Javier Rueda Ordóñez ingeniero mecánico director del proyecto de grado, por su colaboración, asesoría y entrega durante el desarrollo del presente trabajo de grado.

Al personal de la división de mantenimiento tecnológico de la Universidad Industrial de Santander, Adalberto Polo, David Oviedo, Sair Castellanos, Fredy Vargas por facilitarnos herramientas, opiniones y sugerencias en la construcción del equipo.

A todos los docentes que tuvieron influencia en la etapa de formación académica e integral, brindando sus enseñanzas y sugiriendo un modelo de aprendizaje óptimo en la realización como profesionales, además a cada una de las personas que de una u otra forma tuvieron trascendencia durante todos estos años.

Harold Cuello Genez

Nestor Yesid Rugeles Rodríguez

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	21
1. GENERALIDADES	23
1.1 MATERIAL DEL PROCESO	23
1.1.1 Combustible.	23
1.1.2 Clasificación de los combustibles.	23
1.1.2.1 Combustibles sólidos.	24
1.1.2.2 Otros tipos de biomasa para el proceso de secado.	26
1.2 TEMPERATURA.....	26
1.2.1 Rango.	26
1.2.2 Fuente de calor.	26
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	28
3. JUSTIFICACION DEL PROBLEMA.....	30
4. OBJETIVOS.....	31
4.1 OBJETIVO GENERAL	31
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	31
5. DISEÑO CONCEPTUAL DE LA MÁQUINA.....	32
5.1 DESPLIEGUE DE LA FUNCION DE CALIDAD (QFD)	32
5.1.1 Requerimientos de la máquina.	32
5.1.2 Requerimientos Ingenieriles.....	32
5.2 MATRIZ DE CALIDAD DEL TIPO DE SECADOR	33
5.2.1 Matriz calidad tipo de secador.	34
5.3 PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS	35

5.3.1 Alternativa 1: Secador de lecho fluidizado.	35
5.3.2 Alternativa 2: Secador en cascada.	35
5.3.3 Alternativa 3: Secador en bandejas.	35
5.3.4 Alternativa 4: Secador de túnel.	36
5.3.5 Alternativa 5: Secador rotatorio.	36
5.4 EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS	37
5.5 CRITERIOS DE DISEÑO	39
5.5.1 Sistema de calentamiento.	39
5.5.1.1 Matriz de calidad: Sistema de calentamiento.	40
5.5.2 Planteamiento de alternativas.	41
5.5.2.1 Alternativa 1: Vapor.	41
5.5.2.2 Alternativa 2: Gas natural.	41
5.5.2.3 Alternativa 3: Fuel Oil.	42
5.5.2.4 Alternativa 4: Resistencia Eléctrica.	42
5.5.3 Evaluación de alternativas.	42
5.5.3.1 Resistencia eléctrica.	44
5.5.3.2 Tipos de resistencias.	44
5.5.3.3 Aplicaciones comunes.	44
5.5.3.4 Resistencias eléctricas industriales.	45
5.5.3.5 Resistencias de cartucho.	46
5.5.4 Sistema de Aislamiento.	46
5.5.4.1 Tipos de Aislamiento Térmicos.	47
5.5.4.2 Propiedades de un aislante térmico.	48
5.5.4.3 Matriz de calidad aislante.	50
5.5.5 Planteamiento de alternativas.	51
5.5.5.1 Alternativa 1: Manta Kaowool.	51
5.5.5.2 Alternativa 2: Lana de roca (SW).	51
5.5.5.3 Alternativa 3: Lana o fibra de vidrio (GW).	51
5.5.6 Evaluación de alternativas.	52
5.5.6.1 Manta kaowool.	53

5.5.7 Sistema de Carga.	54
5.5.7.1 Celda de Carga.....	55
5.5.8 Sistema de Control.	56
5.5.9 Sistema de Ventilación.....	58
5.5.10 Sistema de Medición.....	59
5.5.10.1 Termocupla.	59
 6. CÁLCULOS Y SELECCIÓN DE COMPONENTES.....	64
6.1 CÁLCULO DE LA ENERGÍA.....	66
6.2 CÁLCULO ENERGÍA PÉRDIDA.....	69
6.2.1 Cara superior.	72
6.2.2 Cara izquierda.....	74
6.2.3 Cara derecha.	76
6.2.4 Cara inferior.	77
 7. FASE DE CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DEL PROTOTIPO DE LA MÁQUINA	79
7.1 CONSTRUCCIÓN DEL TUNEL DE SECADO	79
7.2 CONSTRUCCIÓN DE LA BASE DEL TÚNEL DE SECADO	85
7.3 PRUEBA DE TEMPERATURA LUEGO DE COLOCAR EL AISLANTE	86
 8. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE SECADO	87
8.1 PRUEBAS REALIZADAS SEGÚN LA NORMA	87
8.2 PRUEBAS REALIZADAS EN EL EQUIPO PROTOTIPO DE SECADO POR CONVECCION FORZADA	89
8.3 PRUEBAS ADICIONALES.....	92
8.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	95
 9. PROGRAMA DE MANTENIMIENTO	97
9.1 TIPOS DE MANTENIMIENTO	97

9.1.1 Mantenimiento correctivo.....	97
9.1.2 Mantenimiento preventivo.....	97
9.1.3 Mantenimiento predictivo.....	97
10. ANÁLISIS ECONÓMICO	99
10.1 COSTO DE FABRICACIÓN.....	99
11. CONCLUSIONES	100
12. RECOMENDACIONES.....	102
BIBLIOGRAFIA.....	103
ANEXOS.....	104

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Propiedades de las turbas.	25
Figura 2. Nuevo laboratorio de combustión EIM – UIS.	29
Figura 3. Resistencias de Cartucho.	46
Figura 4. Manta kaowool.	53
Figura 5. Propiedades de la manta kaowool.	54
Figura 6. Celda de carga.	55
Figura 7. Arduino.	56
Figura 8. Tarjeta de adquisición de datos.	57
Figura 9. Relé en estado sólido (SSR).	58
Figura 10. Ventilador.	59
Figura 11. Propiedades de las termocuplas.	61
Figura 12. Termocupla.	62
Figura 13. Prototipo secador.	63
Figura 14. Base del prototipo de equipo.	63
Figura 15. Equipo de secado.	64
Figura 16. Explosionado del ensamble del equipo con todos sus componentes. ..	65
Figura 17. Ecuación general.	66
Figura 18. Flujo másico.	66
Figura 19. Ajuste de la ecuación.	67
Figura 20. Anemómetro.	68
Figura 21. Variador de voltaje (Dimmer)	68
Figura 22. Delta de temperaturas.	69
Figura 23. Ecuación Balance de Energía.	69
Figura 24. Ecuación Resultante	70
Figura 25. Ecuación Calor de conducción.	70
Figura 26. Secciones de muestra para temperatura.	71
Figura 25. Manual de uso.	72

Figura 26. Comparación comportamientos cara superior.	74
Figura 27. Comparación comportamientos cara izquierda.	75
Figura 28. Comparación comportamientos cara derecha.	77
Figura 29. Comparación comportamientos cara inferior.	78
Figura 30. Laminas del cajón interno del túnel.	79
Figura 31. Instalación ventilador.	80
Figura 32. Marco unión de cajón interior y exterior.	80
Figura 33. Taladrado para hacer los orificios.	81
Figura 34. Construcción de adaptadores para las resistencias.	81
Figura 35. Soldadura para los adaptadores de las resistencias.	82
Figura 36. Instalación del aislante sobre el cajón interior.	82
Figura 37. Soldadura marco unión entre cajón interior y exterior.	83
Figura 38. Soldadura cajón exterior.	83
Figura 39. Túnel con macilla para su posterior pintura.	84
Figura 40. Vista desde el interior del túnel encendido.	84
Figura 41. Manufactura de la base.	85
Figura 42. Estructura túnel de secado.	85
Figura 43. Enmasillado de la base.	86
Figura 44. Prueba de temperatura.	86
Figura 45. Ecuación utilizada para el porcentaje.	87
Figura 46. Comparación disminución de masa en el tiempo cascarilla de arroz.	90
Figura 47. Comparación disminución de masa en el tiempo paja de arroz.	91
Figura 48. Comparación disminución de masa en el tiempo mezcla cascarilla-paja de arroz.	92
Figura 49. Comparación disminución de masa en el tiempo carbón.	93
Figura 50. Comparación disminución de masa en el tiempo hierbas.	94
Figura 51. Parte A cálculos.	104
Figura 52. Parte B cálculos.	104
Figura 53. Parte C cálculos.	105
Figura 54. Resultados de los cálculos en el EES.	105

Figura 55. Circuito electrónico.	106
Figura 56. Distribución de caminos del circuito.....	106
Figura 57. Posición componentes del circuito.....	107
Figura 58. Circuito en 3D.	107
Figura 59. Catalogo lámina de acero inoxidable.	109
Figura 60. Catálogo de ángulos.	111
Figura 61. Características del aislamiento.	113
Figura 62. Norma ASTM de secado.....	115
Figura 63. Ensamble general.....	118
Figura 64. Túnel de secado.	118
Figura 65. Carcasa interior.	119
Figura 66. Tapa en el extremo.	119
Figura 67. Aislante térmico.	120
Figura 68. Carcasa exterior.	120
Figura 69. Resistencia.	121
Figura 70. Ventilador.....	121
Figura 71. Celda de carga.	122
Figura 72. Base porta muestra.....	122
Figura 73. Porta muestra.	123
Figura 74. Termocupla.....	123
Figura 75. Base de la estufa.	124
Figura 76. Bastidor.....	124
Figura 77. Tapa triangular.....	125
Figura 78. Tapa izquierda.	125
Figura 79. Tapa trasera.	126
Figura 80. Tapa derecha.....	126
Figura 81. Tablero.....	127
Figura 82. Diagrama de bloques.....	128
Figura 83. Panel frontal.....	128
Figura 84. Porta muestras.	129

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Matriz de calidad del tipo de secador.....	34
Tabla 2. Porcentaje de los criterios.....	37
Tabla 3. Evaluación de alternativas.....	37
Tabla 4. Selección de Alternativa.....	38
Tabla 5. Matriz calidad sistema de calentamiento.....	40
Tabla 6. Porcentaje de los criterios.....	43
Tabla 7. Evaluación de criterios.....	43
Tabla 8. Selección de alternativas.....	43
Tabla 9. Matriz de calidad aislamiento.....	50
Tabla 10. Porcentaje de los criterios.....	52
Tabla 11. Evaluación de alternativas.....	52
Tabla 12. Selección de alternativas.....	53
Tabla 13. Referencia de datos.....	67
Tabla 14. Velocidades medidas.....	69
Tabla 15. Mediciones cara superior.....	73
Tabla 16. Valores máximos y medios.....	73
Tabla 17. Mediciones cara izquierda.....	74
Tabla 18. Valores máximos y medios.....	75
Tabla 19. Mediciones cara derecha.....	76
Tabla 20. Valores máximos y medios.....	76
Tabla 21. Mediciones cara inferior.....	77
Tabla 22. Valores máximos y medios.....	78
Tabla 23. Cascarilla de arroz mufla.....	87
Tabla 24. Paja de arroz mufla.....	88
Tabla 25. Mezcla cascarilla – paja mufla.....	88
Tabla 26. Cascarilla de arroz secador.....	89
Tabla 27. Paja de arroz secador.....	90

Tabla 28. Mezcla cascarilla-paja de arroz.....	91
Tabla 29. Carbón mineral.	93
Tabla 30. Hierbas.....	94
Tabla 31. Mantenimiento prototipo equipo de secado.	98
Tabla 32. Costos.....	99

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Cálculos.....	104
Anexo B. Diagramas Eléctricos.....	106
Anexo C. Catálogos ángulos, laminas.	109
Anexo D. Catálogo aislamiento.....	113
Anexo E. Norma ASTM de secado.	115
Anexo F. Planos equipo de secado.	118
Anexo G. Interfaz gráfica control.....	128
Anexo H. Peso de recipiente para muestras en trozos.	129
Anexo I. Manual de operación del equipo.....	130

RESUMEN

TITULO: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA ESTUFA DE SECADO POR CONVECCIÓN FORZADA PARA EL LABORATORIO DE COMBUSTIÓN DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA – UIS.*

AUTORES: Harold Cuello Genez.**
Néstor Yesid Rúgeles Rodríguez.

PALABRAS CLAVES: Secado, Combustión, Prototipo.

DESCRIPCIÓN:

Aportar a la dotación del laboratorio con los equipos necesarios mediante la realización de una máquina, el cual es el caso de este trabajo de grado, siendo proactivos al diseño y construcción, para brindarle solución a una situación problema, la cual, brindará una alternativa de secado a muestras de combustibles para un análisis posterior y un mejor manejo de dichas muestras. Con esto, agregando una respuesta óptima a la extracción de humedad siendo relevantes en su estado fundamental, realizando una comparación de dicha humedad con el peso de la muestra, analizando de la mejor manera el proceso de secado.

La finalidad de este trabajo de grado es brindar una solución a las necesidades de los nuevos laboratorios de EIM-UIS, específicamente al laboratorio de combustión de dicha escuela, buscando dotar de nuevos equipos en pro de la formación integral de los estudiantes, buscando enriquecer los conocimientos con la práctica experimental.

La máquina busca ser la solución para los inconvenientes de secado, ya que actualmente no se cuenta este equipo en específico se utilizan otros que no están contruidos para tal fin, y con este prototipo que se diseñó y construyó teniendo en cuenta las necesidades previstas, y con el ánimo de ser una alternativa eficaz y con un funcionamiento que solvente el secado de materiales sólidos para la EIM-UIS.

* Trabajo de Grado.

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Yesid Rueda Ordoñez, Ingeniero Mecánico.

ABSTRACT

TITLE: DESIGN AND CONSTRUCTION OF A FORCED CONVECTION DRYING STOVE FOR THE COMBUSTION LABORATORY OF THE MECHANICAL ENGINEERING SCHOOL - UIS.*

AUTHORS: Harold Cuello Genez.**
Néstor Yesid Rúgeles Rodríguez.

KEYWORDS: Drying, Combustion, prototype.

DESCRIPTION:

Contribute to the provision of the laboratory with the necessary equipment by performing a machine, which is the case of this grade work, being proactive to design and construction, to provide a solution to a problem situation, which will provide an alternative drying of fuel samples for further analysis and better handling of said samples. With this, adding an optimal response to moisture extraction being relevant in its fundamental state, making a comparison of said humidity with the weight of the sample, analyzing in the best way the drying process.

The purpose of this degree work is to provide a solution to the needs of the new EIM-UIS laboratories, specifically to the combustion laboratory of said school, seeking to provide new equipment for the integral training of students, seeking to enrich the Knowledge with experimental practice.

The machine seeks to be the solution for the inconveniences of drying, since currently this specific equipment is not used, others that are not built for this purpose are used, and with this prototype that was designed and built taking into account the expected needs, and with the aim of being an effective alternative and with a functioning that solves the drying of solid materials for the EIM-UIS.

* Trabajo de Grado.

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Yesid Rueda Ordoñez, Ingeniero Mecánico.

INTRODUCCION

La construcción del nuevo edificio de ingeniería mecánica, abrió la puerta para la modernización, adquisición y consecución de nuevos equipos para la dotación de los laboratorios. Es un papel fundamental tener los equipos necesarios para las prácticas y pruebas de los conocimientos que pasan de la teoría a la práctica, experiencia que se obtiene mediante la vivencia de los ensayos en el laboratorio.

La demanda de los nuevos elementos de dotación de los laboratorios ha creado una fuerte oferta de proyectos de grado donde se construyan dichas máquinas que mejoren la experiencia en los laboratorios. Se abre la posibilidad para los estudiantes y personal interesado realicen sus propuestas de trabajo sobre como dotar o adquirir estos equipos de suprema importancia para el desarrollo ingenieril en la Escuela de Ingeniería Mecánica.

Aportar a la dotación del laboratorio con los equipos necesarios mediante la realización de una máquina, el cual es el caso de este trabajo de grado, siendo proactivos al diseño y construcción, para brindarle solución a una situación problema, la cual brindara una alternativa de secado a muestras de combustibles para un análisis posterior y un mejor manejo de dichas muestras, agregando una respuesta óptima a la extracción de humedad siendo relevantes en su estado fundamental.

Promover el interés de los estudiantes por diseñar y construir un equipo, por medio de los conocimientos adquiridos a lo largo de los semestres y de las asignaturas cursadas y aprobadas se construye una estufa de secado por convección forzada, con el propósito de facilitar los procesos térmicos a los que se exponen las muestras, tener un equipo con la precisión y la capacidad de reducción de humedad

requerida para obtener los resultados deseados en el momento del análisis de dichos compuestos.

Es importante contextualizar el proceso de secado, las propiedades que se requieren para que se realice de la mejor manera, la importancia que tiene para reducir la humedad de las muestras combustibles, el impacto que tiene este fenómeno en la construcción de la estufa de secado y los límites a los cuales se quiere llegar para demostrar la consecución de los objetivos trazados, además de ello generando un beneficio para el laboratorio de combustión de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander, ya que anteriormente el proceso de secado se realizaba en máquinas que no están diseñadas para el secado de muestras pero que cumplían con la función, esto expande el catálogo de funcionalidad de los bancos del laboratorio para un uso más adecuado de estos, separando cada equipo con su optimo servicio, brindando una formación integral y de alta calidad.

1. GENERALIDADES

Como en todos los sistemas físicos de la naturaleza, existen perturbaciones que afectan los procesos y en este caso no hay excepción. Una alteración que puede aparecer es la pérdida de calor mediante conducción desde el interior de la estufa hacia sus alrededores, por lo que es indispensable usar un aislamiento completo y de calidad para dicho artefacto, de modo que nos permita no incurrir en gastos energéticos que provoquen pérdidas y a su vez podamos mantener controladas la temperatura exterior tanto como la interior.

1.1 MATERIAL DEL PROCESO

Los materiales que se van a secar van desde cualquier combustible sólido hasta muestras solidas de alimentos, cascarillas, pajas u objeto susceptible a la humedad que para su estudio deba ser sometido a un proceso de secado.

1.1.1 Combustible. Es cualquier material capaz de liberar energía cuando se oxida de forma violenta con desprendimiento de calor. Supone la liberación de una energía de su forma potencial (energía de enlace) a una forma utilizable sea directamente (energía térmica) o energía mecánica (motores térmicos) dejando como residuo calor (energía térmica), dióxido de carbono y algún otro compuesto químico.

1.1.2 Clasificación de los combustibles. Los combustibles se clasifican de la siguiente manera:

- **Comburenciales:** Se encuentran el gasóleo, el queroseno o la gasolina (o nafta).
- **Gaseosos:** Como el gas natural o los gases licuados de petróleo (GLP), representados por el propano y el butano.
- **Sólidos:** Se incluyen el carbón, la madera y la turba natural.

1.1.2.1 Combustibles sólidos.

➤ **Carbón:** El carbón o carbón mineral es una roca sedimentaria organógena de color negro, muy rica en carbono y con cantidades variables de otros elementos, principalmente hidrógeno, azufre, oxígeno y nitrógeno, utilizada como combustible fósil. La mayoría del carbón explotado se formó a partir de los vegetales que crecieron durante los períodos Carbonífero (hace 359 a 299 millones de años) y Cretácico. Es un recurso no renovable.

Quemarlo en calderas es un uso común que se le da al carbón para calentar agua que puede vaporizarse para mover máquinas a vapor o directamente para producir calor utilizable en usos térmicos (calefacción).

Densidad carbón mineral: 2090 – 2330 kg/m³

Densidad carbón vegetal: Entre 400 y 500 kg/m³

➤ **Madera:** Es un material ortótropo, con distinta elasticidad según la dirección de deformación, encontrado como principal contenido del tronco de un árbol. Los árboles se caracterizan por tener troncos que crecen año tras año, formando anillos concéntricos correspondientes al diferente crecimiento de la biomasa según las estaciones, y que están compuestos por fibras de celulosa unidas con lignina. Las plantas que no producen madera se les conoce como herbáceas.

La madera comúnmente fue utilizaba como combustible de las locomotoras o los barcos en el pasado.

Densidad de la madera: Entre 400 kg/m³ y 550 kg/m³.

➤ **Turba:** Las turbas son materiales de origen vegetal, de propiedades físicas y químicas variables en función de su origen. Se pueden clasificar en dos grupos: turbas rubias y negras. Las turbas rubias tienen un mayor contenido en materia

orgánica y están menos descompuestas, las turbas negras están más mineralizadas teniendo un menor contenido en materia orgánica.

Es más frecuente el uso de turbas rubias en cultivo sin suelo, debido a que las negras tienen una aireación deficiente y unos contenidos elevados en sales solubles. Las turbias rubias tienen un buen nivel de retención de agua y de aireación, pero muy variable en cuanto a su composición ya que depende de su origen. La inestabilidad de su estructura y su alta capacidad de intercambio catiónico interfiere en la nutrición vegetal, presentan un pH que oscila entre 3,5 y 8,5. Se emplea en la producción ornamental y de plántulas hortícolas en semilleros.

La turba se utiliza principalmente para la calefacción doméstica e industrial, al igual que para la generación de energía.

En la figura 1, se puede observar las diferentes propiedades de la turba, también los 2 tipos distintos, mostrando el valor de las principales propiedades características de la misma.

Figura 1. Propiedades de las turbas.

Propiedades de las turbas (Fernández <i>et al.</i> 1998)		
Propiedades	Turbas rubias	Turbas negras
Densidad aparente (gr/cm ³)	0,06 - 0,1	0,3 - 0,5
Densidad real (gr/cm ³)	1,35	1,65 - 1,85
Espacio poroso (%)	94 o más	80 - 84
Capacidad de absorción de agua (gr/100 gr m.s.)	1.049	287
Aire (% volumen)	29	7,6
Agua fácilmente disponible (% volumen)	33,5	24
Agua de reserva (% volumen)	6,5	4,7
Agua difícilmente disponible (% volumen)	25,3	47,7
C.I.C. (meq/100 gr)	110 - 130	250 o más

Fuente: INFOAGRO SYSTEMS. Tipos de sustratos de cultivo (2ª parte). [En línea]. Disponible en: http://www.infoagro.com/industria_auxiliar/tipo_sustratos2.htm

Para efectos del proyecto los combustibles a usar como objeto de trabajo estarán presentes de las siguientes formas:

- Granulados.
- Fragmentados.

Todos estos cumpliendo con una condición respecto al tamaño de no ser más grandes de 4 cm³ en volumen, o 100 g en masa por restricciones de capacidad.

1.1.2.2 Otros tipos de biomasa para el proceso de secado.

- Cascarrilla de arroz.
- Paja de arroz.
- Residuos de café.
- Residuos de palma.

1.2 TEMPERATURA

La temperatura es una magnitud referida a las nociones comunes de calor medible mediante un termómetro.

1.2.1 Rango. El rango de temperaturas a trabajar será desde la temperatura ambiente local (26°C, Bucaramanga) hasta los 150 °C como valor máximo.

1.2.2 Fuente de calor. Para el sistema de calentamiento o la forma en la cual se generaría el calor debemos tener en cuenta que necesitamos reducir la humedad de los combustibles presente mediante el aumento de la temperatura del aire dentro del secador. Para ello existen varios tipos de calentamiento y de aplicación de éste y se puede dividir en dos ramas:

- Directo: Gas natural.
- Indirecto: Serpientes, que pueden ser los siguientes:
- ✓ Vapor.

- ✓ Gas Natural.
- ✓ Fuel – Oíl.
- ✓ Resistencia Eléctrica.

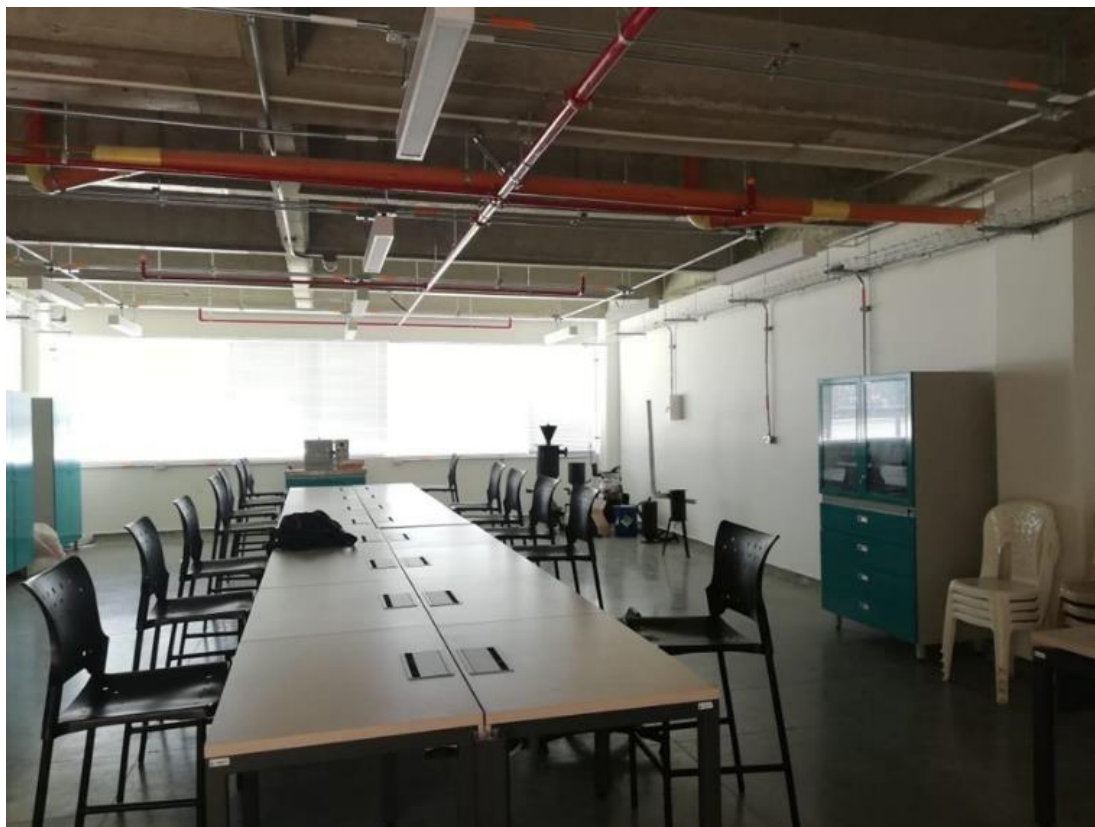
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Universidad Industrial de Santander inició en el año 2017 la reconstrucción de uno de los edificios de la escuela de ingeniería mecánica, que ahora cuenta con 7 nuevos salones de clase, 18 oficinas administrativas y de profesorado, 1 cafetería y 3 talleres, como también la implementación de 20 laboratorios para las diferentes áreas del conocimiento impartidas en las aulas de ésta institución.

Ahora mismo la mayoría de estos espacios se encuentran sin la cantidad necesaria de equipos suficientes para desarrollar las actividades que los estudiantes requieren hacer en muchas de las asignaturas que son impartidas en estos salones, y que son de vital importancia para la verificación mediante la práctica, por ello se hace necesario que estos recintos sean provistos con los equipos que hacen falta y en este caso en particular; el estudio , diseño y construcción de una estufa de secado por convección forzada para el laboratorio de combustión de dicha escuela que permita a los estudiantes avanzar en el proceso de educación, adquiriendo y aclarando conocimientos en materias como transferencia de calor, termodinámica y sistemas térmicos entre otras, las cuales son fundamentales en la formación íntegra de ingenieros mecánicos.

En la figura 2, se observa el laboratorio de combustión de la escuela de ingeniería mecánica de la Universidad Industrial de Santander, el cual carece de equipos para realizar las pruebas para los proyectos de grado de investigación de pregrado y posgrados, siendo el objetivo dotar dicho espacio para el aprendizaje integral.

Figura 2. Nuevo laboratorio de combustión EIM – UIS.



3. JUSTIFICACION DEL PROBLEMA

Dado que un paso fundamental en cualquier proceso de aprendizaje es la comprobación de la teoría mediante la experimentación, por ello es importante que los estudiantes puedan realizar este paso en los laboratorios que han sido creados y ya que el de combustión es uno de los cuales no tiene cómo obtener los materiales en su presentación y características óptimas para la realización de las prácticas se hace necesario estudiar la viabilidad del diseño y construcción de un equipo tipo horno que permita que dichos elementos estén en condiciones y propiedades requeridas para su posterior aprovechamiento.

El secado es una de las operaciones unitarias más relevantes que conlleva una alta utilización de recursos energéticos. Por este motivo estas operaciones de continuo interés en este diseño y construcción del equipo de secado, tanto en el empleo de métodos de secado con una mayor eficacia. La eliminación de agua en los componentes sólidos es un objetivo prioritario para el mejor análisis de las muestras en el proceso de secado, en definitiva, incrementar la calidad del producto final, junto con el aumento de su tiempo de conservación.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir una estufa de secado por convección forzada para el laboratorio de combustión de la EIM-UIS.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar el sistema de calentamiento del aire, conformado por los siguientes componentes:
 - ✓ Resistencias eléctricas.
 - ✓ Ventilador.
 - ✓ Termopares.

- Diseñar la estructura de la estufa para conseguir el secado por lotes de hasta 100 g de combustible sólido con máximo 80% en masa de humedad.

- Diseñar el sistema de control electrónico del sistema de calentamiento del aire para que la oscilación de temperatura sea menor o igual que 1%.

- Construir los sistemas, acoplarlos, y realizar pruebas de funcionamiento con diferentes combustibles sólidos.

5. DISEÑO CONCEPTUAL DE LA MÁQUINA

5.1 DESPLIEGUE DE LA FUNCION DE CALIDAD (QFD)

5.1.1 Requerimientos de la máquina.

- Capacidad de trabajo.
- Bajo consumo de energía.
- Seguridad.
- Tamaño.
- Longevidad.
- Facilidad de operación.
- Fácil mantenimiento.
- Fácil alimentación.
- Hermeticidad.
- Repuestos económicos.
- Movilidad.
- Costo.
- Garantía.
- Efectividad.

5.1.2 Requerimientos Ingenieriles.

- Capacidad.
- Tamaño.
- Mantenibilidad.
- Costo.
- Sistema de carga.
- Alimentación.
- Sistema de transporte.
- Sistema de control.

- Repuestos.
- Humedad.
- Costo.
- Temperatura.
- Manual de operación.

5.2 MATRIZ DE CALIDAD DEL TIPO DE SECADOR

En la tabla 1, se muestra la matriz de calidad QFD*, de la selección óptima del tipo de secador, el cual tiene en cuenta los requisitos del secador y los requisitos ingenieriles tomados en consideración y vitales para su construcción.

* Quality Function Deployment (Despliegue Matriz de Calidad).

5.2.1 Matriz calidad tipo de secador.

Tabla 1. Matriz de calidad del tipo de secador.

REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE		REQUERIMIENTOS INGENIERILES																										
				IMPORTANCIA	CAPACIDAD [100 g]		MANTENIBILIDAD [5000 Horas]		SISTEMA DE CARGA [Manual]		SISTEMA DE TRANSPORTE [Ruedas]		ALIMENTACIÓN [Energía]		TEMPERATURA [23,4° - 300° C]		TAMAÑO [0,08 m3]		COSTO [Pesos]		SISTEMA DE CONTROL [PID]		REPUESTOS		HUMEDAD [%]		MANUAL DE OPERACIÓN	
EFFECTIVIDAD				14	9	126	9	126	0	0	0	0	0	9	126	1	14	3	42	9	126	0	0	9	126	3	42	
HERMETICIDAD				13	0	0	9	117	1	13	0	0	0	9	117	1	13	3	39	9	117	0	0	9	117	3	39	
CAPACIDAD DE TRABAJO				12	9	108	0	0	1	12	0	0	0	3	36	9	108	1	12	0	0	0	0	3	36	1	12	
FACIL OPERACIÓN				11	1	11	0	0	0	1	11	0	0	9	99	3	33	1	11	0	0	0	0	0	0	3	33	
FACIL ALIMENTACION				10	0	0	0	0	9	90	0	0	0	0	0	1	10	1	10	0	0	0	0	0	0	1	10	
SEGURIDAD				9	0	0	0	0	3	27	1	9	3	27	3	27	0	0	1	9	3	27	0	0	0	0	3	27
BAJO CONSUMO ENERGÉTICO				8	9	72	0	0	0	0	0	0	9	72	9	72	9	72	1	8	9	72	0	0	9	72	1	8
LONGEVIDAD				7	0	0	9	63	1	7	1	7	1	7	3	21	1	7	1	7	0	1	7	3	21	1	7	
GARANTIA				6	0	0	9	54	1	6	1	6	1	6	3	18	0	0	3	18	9	54	3	18	9	54	3	18
COSTO				5	9	45	1	5	0	0	0	0	3	15	0	0	9	45	9	45	9	45	3	15	9	45	0	0
FACIL MANTENIMIENTO				4	1	4	9	36	0	0	3	12	1	4	1	4	3	12	0	0	3	12	9	36	0	0	1	4
REPUESTOS				3	0	0	9	27	0	0	0	0	0	1	3	3	9	0	0	1	3	9	27	1	3	1	3	
TAMAÑO				2	9	18	0	0	0	0	9	18	0	0	3	6	9	18	9	18	1	2	1	2	0	0	0	0
MOVILIDAD				1	0	0	3	3	0	0	9	9	0	0	0	0	9	9	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL						384		431		155		72		131		529		350		220		458		105		474		203

5.3 PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS

5.3.1 Alternativa 1: Secador de lecho fluidizado. Crear un prototipo de secador de lecho fluidizado en el cual flotan sobre un flujo de aire o de gas dicho combustible. El aire de proceso se suministra al lecho a través de una placa distribuidora perforada y fluye a través del lecho de sólidos a suficiente velocidad como para soportar el peso de las partículas en estado fluidizado. Hay formación de burbujas, que se colapsan en el lecho fluidizado de materiales promoviendo un intenso movimiento de partículas. En este estado, los sólidos se comportan como un líquido hirviendo.

Como resultado del contacto entre las partículas individuales y el gas fluidizante, se obtienen índices de transferencia de masa y de calor muy altos.

5.3.2 Alternativa 2: Secador en cascada. Realizar el trabajo mediante el uso de un secador en cascada, el cual se compone de una serie de canaletas invertidas, en forma de V, dispuestas en filas alternadas o cruzadas dentro del cuerpo del secador, con intervalos de 0,30 m., aproximadamente. Los granos bajarán por acción de la gravedad y caen sobre las canaletas invertidas. El aire de secado entra por una fila de canaletas y sale por las otras inmediatamente adyacentes (superior e inferior). De este modo, al bajar por el secador, los granos se mueven tanto en el mismo sentido que el aire, como en sentido contrario.

El principal inconveniente de los secadores en cascada es el elevado costo inicial, problemas de contaminación y problemas de manejo.

5.3.3 Alternativa 3: Secador en bandejas. Implementar un secador de bandejas, o secador de anaqueles, que consiste en un gabinete, de tamaño suficientemente grande para alojar los materiales a secar, en el cual se hará correr suficiente cantidad de aire caliente y seco. En general, el aire es calentado por resistencias,

el cual no es saturado, de modo que pueda arrastrar suficiente agua para un secado eficiente.

En este caso, cuando se calienta el aire, debe tomarse en cuenta varios aspectos, si nos situamos en la carta psicométrica, el aire a utilizar, debe poseer una temperatura de bulbo húmedo alta, una entalpía alta, pero una humedad relativa baja. Puesto que la operación de secado, como cualquier operación de transferencia, depende del tiempo de contacto interfacial (el cual no varía notablemente en este tipo de secador debido a la variación de la velocidad del aire), el área de contacto interfacial (que para nuestro caso requerimos que sean sólidos en terrones, o granos, para aumentar esta relación), el gradiente de temperatura y de humedad y la resistencia, he allí la importancia que el aire no entre frío ni húmedo, puesto que esto minimiza el gradiente y elimina la eficiencia del secador.

5.3.4 Alternativa 4: Secador de túnel. Concebir un secador de tipo túnel por el cual pasen las bandejas o carretillas con el material a secar, dentro del túnel, se hará fluir, generalmente a contracorriente, aire caliente, el cual sirve para secar los sólidos. Este tipo de secador es típico de la industria alimenticia.

A diferencia de los secadores de bandejas, en este caso, el área superficial, no es tan importante, debido a que la velocidad del aire y el tiempo de estadía dentro del secador pueden variar en un rango muy amplio, por ende, estos secadores son muy utilizados para materiales grandes.

5.3.5 Alternativa 5: Secador rotatorio. Ingeniar un secador rotatorio, que consta de un cilindro hueco que gira sobre su eje, con una ligera inclinación, para permitir el desliz de los sólidos a secar hacia la boca de salida. Se alimentará por la boca de entrada, y por la boca de salida se alimentará con el gas caliente, que será el que seque a contracorriente el sólido que se desliza despacio hacia la salida, a medida que va avanzando.

El método de calentamiento es por contacto indirecto a través de la pared del cilindro que se calienta por el paso de los gases.

5.4 EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS

En la tabla 2, se presentan los cinco (5) criterios ganadores de mayor a menor, el valor que obtuvo cada uno y el respectivo porcentaje correspondiente al dividirlo por el resultado total.

Tabla 2. Porcentaje de los criterios.

CRITERIO	VALOR	PORCENTAJE [%]
TEMPERATURA	529	0,232425308
HUMEDAD	474	0,208260105
SISTEMA DE CONTROL	458	0,201230228
MANTENIBILIDAD	431	0,189367311
CAPACIDAD	384	0,168717047
TOTAL	2276	

En la tabla 3, se presenta las alternativas versus los criterios antes mencionados, multiplicando los porcentajes por una evaluación de 1 a 5, siendo 5 la mayor calificación y 1 la menor, se asignan dichos valores teniendo en cuenta la importancia del criterio en la selección de la alternativa.

Tabla 3. Evaluación de alternativas.

	%	ALTERNATIVA 1		ALTERNATIVA 2		ALTERNATIVA 3		ALTERNATIVA 4		ALTERNATIVA 5	
TEMPERATURA	0,23	4	0,9297012	1	0,2324253	5	1,1621265	5	1,1621265	3	0,6972759
HUMEDAD	0,21	5	1,0413005	3	0,6247803	4	0,8330404	4	0,8330404	1	0,2082601
SISTEMA DE CONTROL	0,2	2	0,4024605	2	0,4024605	1	0,2012302	1	0,2012302	2	0,4024605
MANTENIBILIDAD	0,19	1	0,1893673	5	0,9468366	2	0,3787346	3	0,5681019	5	0,9468366
CAPACIDAD	0,17	3	0,5061511	4	0,6748682	3	0,5061511	2	0,3374341	4	0,6748682
			3,0689807		2,8813708		3,081283		3,1019332		2,9297012

En la tabla 4, se generan la puntuación obtenida por cada una de las alternativas, la que presente el puntaje mayor es la ganadora, por ende, es la que se desarrolla en el proceso de construcción.

Tabla 4. Selección de Alternativa.

	PUNTUACIÓN
ALTERNATIVA 1	3,068980668
ALTERNATIVA 2	2,881370826
ALTERNATIVA 3	3,081282953
ALTERNATIVA 4	3,101933216
ALTERNATIVA 5	2,92970123

Se toma como ganador la alternativa 4 que es el secador de túnel, el cual no será movable su muestra sin desplazamiento, permanecerá estable en su posición para su proceso de secado del equipo a construir.

Dentro de la categoría de secadores continuos se encuentran los secadores de túnel, estos consisten de bandejas que operan en serie desplazándose continuamente por un túnel y aire caliente se desplaza sobre la superficie de cada bandeja, el tiempo de residencia debe ser suficiente para disminuir la humedad hasta el valor deseado, el caudal de aire puede ser en contracorriente, paralelo, o en una combinación de ambos. Estos equipos tienen la ventaja de ser pequeños, con ellos se obtiene una humedad más uniforme y un costo menor por unidad de producto. Los equipos de secado por lotes son usados en corridas pequeñas de material o en operaciones que requiere mucha flexibilidad, la mayoría de los diseños incorporan la recirculación de grandes volúmenes de aire, ventiladores de baja presión y recintos completamente aislados que proporcionan una eficiencia térmica del 50 al 60 %, tiene costos de inversión e instalación relativamente bajos.

5.5 CRITERIOS DE DISEÑO

Se aplica una división por sistemas para facilitar el proceso de selección y proceso evaluativo.

- Sistema de Calentamiento.
- Sistema de Aislamiento.
- Sistema de Carga.
- Sistema de Control.
- Sistema de Ventilación.
- Sistema de Medición.

5.5.1 Sistema de calentamiento. El sistema de calentamiento es la parte fundamental de la máquina, ya que es la encargada de suministrar la potencia que es necesaria para calentar el aire y que sea impulsado por el ventilador para la convección forzada, el óptimo funcionamiento de dicho sistema garantizara la relación más adecuada entre secado vs tiempo, minimizando perdidas y aprovechando la mayor generación de potencia para que sea recibido por la muestra.

5.5.1.1 Matriz de calidad: Sistema de calentamiento.

Tabla 5. Matriz calidad sistema de calentamiento.

	Importancia	TEMPERATURA [15 - 300 °C]		TOLERANCIAS		CONEXIÓN DIRECTA		MANTENIBILIDAD [5000 Horas]		GEOMETRIA		SISTEMA DE CONTROL		COSTO [Pesos]		RECUBRIMIENTO		CONSUMO ENERGETICO		POTENCIA [W]	
EFFECTIVIDAD	11	9	99	9	99	0	0	3	33	3	33	3	33	3	33	3	33	3	33	9	99
BAJO CONSUMO ENERGETICO	10	3	30	3	30	9	90	1	10	1	10	3	30	3	30	3	30	9	90	9	90
COSTO	9	3	27	9	27	3	27	3	27	1	9	3	27	3	27	9	81	3	27	3	27
FACIL CONTROL	8	3	24	0	0	1	8	0	0	0	0	9	72	3	24	0	0	0	0	3	8
LONGEVIDAD	7	1	7	1	7	0	0	3	21	1	7	0	0	1	7	3	21	1	7	1	7
MANTENIBILIDAD	6	1	6	1	6	1	6	9	54	1	6	1	6	1	6	1	6	3	18	1	6
FACIL REMOCION	5	0	0	0	0	0	0	3	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SERVICIO TECNICO	4	0	0	0	0	0	0	1	4	0	0	0	0	1	4	0	0	0	0	0	0
TAMAÑO	3	1	3	1	3	0	0	0	0	1	3	0	0	9	27	0	0	0	0	1	3
CONTAMINACION	2	0	0	0	0	0	0	3	6	0	0	0	0	0	0	3	6	3	6	1	2
SEGURIDAD	1	1	1	0	0	3	3	1	1	0	0	3	3	0	0	3	3	3	3	0	0
TOTAL			197		172		134		171		68		171		158		180		184		242

5.5.2 Planteamiento de alternativas.

5.5.2.1 Alternativa 1: Vapor. El calentamiento por vapor sobrecalentado como medio para el secado de materiales sólidos, como la pasta de papel, aserrín, residuos de madera, alimentos para animales, la turba, los lodos, té, EFB (racimos vacíos), biomasa agrícola, bagazo, pulpa de remolacha, residuos sólidos húmedos, etc. Las aplicaciones son muchas.

La humedad vaporizada del material húmedo puede ser utilizada como vapor secundario. Mediante la utilización de este vapor más del 95 % de la energía de secado puede ser recuperada y utilizada en otros procesos, como por ejemplo la calefacción de proceso, la evaporación / destilación, la producción de electricidad o calefacción central.

- Calentamiento a través de vapor, permite incluso el calentamiento de los equipos, o una línea de reutilización.
- El vapor es entregado precisamente a la temperatura de ajuste utilizando un sistema de sobrecalentamiento.
- El calor latente en el vapor es usado para calentamiento, por lo tanto, se incrementa enormemente la cantidad de calor por unidad.

5.5.2.2 Alternativa 2: Gas natural. Las altas temperaturas de proceso deben considerarse en corrientes de procesos como la de gas natural, cuando es alimentado a un lecho molecular u otro sistema de secado tipo desecante. Cuando el desecante se satura, los calentadores de gas de regeneración secan el desecante regenerándolo para el próximo ciclo. Los calentadores de gas de regeneración también se encuentran frecuentemente aplicaciones de tamices moleculares en plantas de fraccionamiento de aire, donde el CO₂ y el agua se extraen del aire ambiente antes de licuar y destilar el aire.

5.5.2.3 Alternativa 3: Fuel Oil. Es un calentamiento llevado a través de su poder en la combustión para generar calor, fue reemplazado por el gas natural, debido a su alta contaminación, y el tiempo prolongado de secado al que se exponían los materiales, sin embargo, es una forma de calentamiento para secadores y demás equipos que involucren una fuente de calentamiento, independientemente de su aplicación.

5.5.2.4 Alternativa 4: Resistencia Eléctrica. Uno de los elementos más utilizados para generar calor es la resistencia eléctrica, la calefacción directa en dichos procesos ayuda a la circulación forzada de grandes volúmenes de aire caliente. Depende su temperatura y energía aumenta o disminuye la cantidad de circulación de aire para arrastrar la humedad evaporada en el secador.

Pero el efecto Joule también es algo muy deseado y esencial para muchos productos actuales. Productos como las estufas, los calefactores, los termos, los secadores o incluso las vitrocerámicas. Y es que este efecto permite convertir la energía eléctrica en calor, algo que ha sido muy explotado por ingenieros durante el último siglo para la creación de un sinnúmero de productos.

En el caso de los secadores, por ejemplo, encontramos una serie de resistencias que se calientan con el paso de la corriente eléctrica, calentando así el aire que expulsa al exterior. El juego está en tratar de obtener la mayor eficiencia energética (con la menor cantidad de electricidad posible, calentar el aire a una misma temperatura).

5.5.3 Evaluación de alternativas. En la tabla 6, se presentan los cinco (5) criterios ganadores de mayor a menor, el valor que obtuvo cada uno y el respectivo porcentaje correspondiente al dividirlo por el resultado total.

Tabla 6. Porcentaje de los criterios.

CRITERIO	VALOR	PORCENTAJE
POTENCIA	242	0,2482
TEMPERATURA	197	0,2021
CONSUMO ENERGETICO	184	0,1887
RECUBRIMIENTO	180	0,1846
TOLERANCIAS	172	0,1764
TOTAL	975	

En la tabla 7, se presenta las alternativas versus los criterios antes mencionados, multiplicando los porcentajes por una evaluación de 1 a 5, siendo cinco (5) la mayor calificación y uno (1) la menor, se asignan dichos valores teniendo en cuenta la importancia del criterio en la selección de la alternativa.

Tabla 7. Evaluación de criterios.

	%	ALTERNATIVA 1		ALTERNATIVA 2		ALTERNATIVA 3		ALTERNATIVA 4	
POTENCIA	0,248	3	0,7446	3	0,7446	3	0,1848097	4	0,9928
TEMPERATURA	0,202	3	0,6063	4	0,8084	2	0,4042	4	0,8084
CONSUMO ENERGETICO	0,189	4	0,7548	4	0,7548	2	0,3774	3	0,5661
RECUBRIMIENTO	0,185	2	0,3692	2	0,3692	2	0,3692	4	0,7384
TOLERANCIAS	0,176	2	0,3528	2	0,3528	3	0,5292	3	0,5292
			2,8277		3,0298		1,8648097		3,6349

En la tabla 8, se generan la puntuación obtenida por cada una de las alternativas, la que presente el puntaje mayor es la ganadora, por ende, es la que se desarrolla en el proceso de construcción.

Tabla 8. Selección de alternativas.

	PUNTUACIÓN
ALTERNATIVA 1	2,8277
ALTERNATIVA 2	3,0298
ALTERNATIVA 3	1,8648
ALTERNATIVA 4	3,6349

Con base en los resultados obtenidos y para lograr los valores del rango de temperatura de forma óptima y que cumpla con los requerimientos de diseño y construcción de la estufa de secado se decide implementar un sistema de calentamiento del aire por medio de resistencias eléctricas, con ésta obtenemos una transferencia de calor uniforme en las paredes que cubren la bandeja lo que permite que el aire se mantenga a una temperatura constante y homogénea logrando bajar los porcentajes de humedad en las muestras. Además de ello también se cree conveniente por el costo, la mantenibilidad, la facilidad y el uso al cual estará expuesto, ya que con otras técnicas se requieren líneas de gas, de vapor o de combustible. Este esquema admite que alcancemos un funcionamiento muy simple, pero que cumple claramente con los requerimientos.

5.5.3.1 Resistencia eléctrica. Resistencia eléctrica es toda oposición que encuentra la corriente a su paso por un circuito eléctrico cerrado, atenuando o frenando el libre flujo de circulación de las cargas eléctricas o electrones. Cualquier dispositivo o consumidor conectado a un circuito eléctrico representa en sí una carga, resistencia u obstáculo para la circulación de la corriente eléctrica.

5.5.3.2 Tipos de resistencias. Existen diversos tipos de resistencias eléctricas industriales que cuentan con una amplia aplicación, entre las que se encuentran:

- Resistencias de cartucho de alta densidad.
- Resistencias de cartucho de baja densidad.
- Resistencia de banda aislada con mica.
- Resistencias tubulares.

5.5.3.3 Aplicaciones comunes. Algunas aplicaciones habituales de las resistencias de calentamiento de aire son:

- Secado.
- Curado.
- Termo formado.

- Retractilado.
- Estufas de aire recirculado.
- Estufas de aire estático.
- Aire acondicionado.
- Mesas o armarios calientes.
- Hornos eléctricos.
- Aerotermos.
- Convectores.
- Radiación infrarroja.

5.5.3.4 Resistencias eléctricas industriales. Las resistencias eléctricas más comunes usadas en la industria son:

- Las resistencias aleteadas.
- Las resistencias de inmersión.
- Las resistencias blindadas.
- Las resistencias tipo abrazaderas.
- Las resistencias para calentamiento de aire y cable.
- Las resistencias de cuarzo.
- Las resistencias infrarrojas.
- Las resistencias de carburo de silicio.
- Las resistencias tubulares.
- Las resistencias tipo mufla.
- Las resistencias de cartucho.

Por la implicación del diseño, teniendo en cuenta que es un prototipo, el tamaño restringe el tipo de resistencia a utilizar y el presupuesto que se tiene a disposición, se toma la decisión de utilizar resistencias de cartucho, que son económicas, se ajustan al espacio, son versátiles con la fuente de energía y se obtiene nominalmente la potencia requerida.

5.5.3.5 Resistencias de cartucho. Las resistencias de cartucho son dispositivos que son generalmente tubular y se insertan en los agujeros perforados en los bloques de metal para ser calentado.

Figura 3. Resistencias de Cartucho.



Fuente. PRODUCTOS JJM. Resistencias de cartucho en baja concentración. [En línea]. Disponible en: <http://productosjjm.com/producto/resistencias-de-cartucho-en-baja-concentracion/>

5.5.4 Sistema de Aislamiento. El aislamiento es el conjunto de materiales y técnicas de instalación que se aplican en los elementos constructivos que limitan un espacio caliente para minimizar la transmisión de calor hacia otros elementos o espacios no convenientes.

Existen muchas situaciones en las que es conveniente reducir el flujo de calor en una dirección determinada. El caso más común es el aislamiento de edificios para minimizar las pérdidas de calor en invierno y las ganancias en verano, aunque existen otros muchos como el aislamiento de cámaras frigoríficas, de tuberías de distribución de líquidos calientes o fríos, de hornos y calderas y en general de todos

aquellos aparatos, elementos o espacios, en los que se utiliza energía y en los que se necesita mejorar la eficiencia en su consumo.

El aislamiento térmico es la primera, más barata y más efectiva medida para el ahorro energético.

5.5.4.1 Tipos de Aislamiento Térmicos. Los materiales a utilizar son los aislantes térmicos que se caracterizan por su baja conductividad térmica.

➤ **Fibrosos:** Se componen de filamentos con partículas pequeñas o de baja densidad. Se colocan como relleno en aberturas o como cobertores en forma de tablas o mantas. Tienen una porosidad muy alta de alrededor del 90%. Se usan, en función de la temperatura; la fibra de vidrio para temperaturas hasta 200°C, la lana mineral hasta 700°C y las fibras de alúmina o sílice entre 700 y 1700°C.

➤ **Celulares:** Son materiales que se conforman en celdas cerradas o abiertas, por lo general formando tableros rígidos o flexibles, aunque también se pueden conformar in situ por proyección o riego. Sus ventajas son; su baja densidad, baja capacidad de calentamiento y resistencia a la compresión aceptable. Los más usados son el poliuretano y el poliestireno expandido.

➤ **Granulares:** Son pequeñas partículas de materiales inorgánicos aglomeradas en formas prefabricadas o utilizadas sueltas, como la perlita y la vermiculita.

A la hora de seleccionar el material, la propiedad principal a tener en cuenta, es la conductividad, pero no hay que olvidar: la densidad, la estabilidad química, la rigidez estructural, la degradación y lógicamente el costo, que son fundamentales para que el material pueda culminar la función para la que se instaló. Muchos materiales pierden entre el 20% y el 5% de su calidad aislante durante el primer año

de uso. En los materiales que absorben humedad, aumenta considerablemente su conductividad y pierden, o cuando menos disminuye, su funcionalidad.

5.5.4.2 Propiedades de un aislante térmico. Los aislantes sueltos pueden apelmazarse. Todo ello hace, que al seleccionar un aislante haya que fijarse atentamente en sus propiedades, las cuales deben de estar reflejadas en la documentación que el fabricante debe, preceptivamente, acompañar al material y que son:

- **Conductividad:** Expresada en $W/(m.K)$. Tendrá que estar indicada la temperatura para la que es válido el valor de conductividad indicado, ya que ésta es variable con la temperatura. También es variable con la humedad, por lo que se supone que el valor dado se refiere al material seco.
- **Permeabilidad:** Expresada en $g/(m.s.Pa)$. Algunos materiales pueden incorporar barreras de vapor.
- **Densidad aparente:** Expresada en kg/m^3 . Si el material tiene un espesor fijo, puede indicarse en kg/m^2 .
- **Capacidad calorífica:** No es necesario en caso de transmisión de calor en régimen estacionario, pero es importante para casos de análisis de comportamiento del aislante durante un tiempo.
- **Propiedades mecánicas:** Resistencia a la compresión, resistencia a la flexión y coeficiente de dilatación térmica.
- **Absorción de agua:** Puede expresarse en % de volumen de agua por volumen de material. Es importante, porque la humedad hace variar valores como; la conductividad, la densidad y la capacidad calorífica.

- **Intervalo de temperaturas:** Ver si hay degradación de algún tipo a partir de determinadas temperaturas.
- **Comportamiento químico:** Con el paso del tiempo pueden liberarse algunos compuestos químicos que pueden ser nocivos en algún aspecto.
- **Estabilidad:** Frente al fuego, a los agentes químicos y a los microorganismos.
- **Datos económicos:** Tiempo de vida del material, facilidad de instalación, coste unitario. Etc.

A la vista de estas propiedades, se selecciona el más idóneo y se procede al cálculo del espesor óptimo para conseguir la mejor relación costo/ahorro energético.

5.5.4.3 Matriz de calidad aislante.

Tabla 9. Matriz de calidad aislamiento.

REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE REQUERIMIENTOS INGENIERILES																					
	Importancia	Conductividad			Densidad Aparente		Propiedades Mecánicas		Temperatura		Estabilidad		Permeabilidad		Inflamabilidad		Absorción de Agua		Comportamiento Químico		Costos
Efectividad	10	9	90	3	30	3	30	9	90	3	30	9	90	9	90	9	90	3	30	9	90
Inflamabilidad	9	9	81	3	27	3	27	9	81	3	27	9	81	9	81	9	81	3	27	3	27
Longevidad	8	9	72	1	8	9	72	9	72	1	8	3	24	9	72	3	24	3	24	9	72
Seguridad	7	3	21	1	7	1	7	9	63	1	7	3	21	3	21	3	21	9	63	1	7
Calidad	6	3	18	3	18	9	54	3	18	1	6	3	18	3	18	3	18	1	6	3	18
Ecología	5	1	5	1	5	0	0	0	0	0	0	1	5	1	5	0	0	3	15	1	5
Precio	4	3	12	3	12	1	4	3	12	3	12	3	12	1	4	3	12	1	4	9	36
Tamaño	3	3	9	3	9	1	3	1	3	1	3	1	3	3	9	1	3	1	3	3	9
Instalación	2	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	18
Reciclable	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	9	9	0	0	0	0	3	3	9	9
TOTAL			309		116		199		339		93		263		300		249		175		291

5.5.5 Planteamiento de alternativas.

5.5.5.1 Alternativa 1: Manta Kaowool. Son productos aislantes fabricados a base de fibras cerámicas refractarias por conformado al vacío. Este proceso permite producir una gran variedad de configuraciones, específicas para cada aplicación y que van desde secciones simples (como manguitos o conos) a formas complejas. Estas composiciones están disponibles para temperaturas de servicio desde los 1260°C hasta los 1600°C.

Las formas pueden fabricarse con una composición más fuerte, lo que les da mayor resistencia y densidad. Las propiedades térmicas son similares a las normales, pero la resistencia a la erosión es superior.

Todas las formas tienen baja contracción a las temperaturas en su rango de servicio y mantienen sus propiedades de aislamiento, ligereza y resistencia al choque térmico. El material sin cocer puede ser cortado o mecanizado fácilmente.

5.5.5.2 Alternativa 2: Lana de roca (SW). Es un material fabricado a partir de la roca volcánica. Se utiliza principalmente como aislamiento térmico y como protección pasiva contra el fuego en la edificación, debido a su estructura fibrosa multidireccional, que le permite albergar aire relativamente inmóvil en su interior por lo que actúa como obstáculo a las transferencias de calor caracterizándose por su baja conductividad térmica, la cual está entre los 0.050 y 0.031 W/m·K, aislando tanto de temperaturas bajas como altas.

5.5.5.3 Alternativa 3: Lana o fibra de vidrio (GW). Es una fibra mineral fabricada con millones de filamentos de vidrio unidos con un aglutinante. Es un material aislante térmico y acústico sumamente eficiente y de fácil manejo. El espacio libre con aire atrapado entre las fibras aumenta la resistencia a la transmisión de calor. El material posee una muy buena relación resistencia térmica / precio, siendo un material muy apropiado para situaciones acústicas.

5.5.6 Evaluación de alternativas. En la tabla 10, se presentan los cinco (5) criterios ganadores de mayor a menor, el valor que obtuvo cada uno y el respectivo porcentaje correspondiente al dividirlo por el resultado total.

Tabla 10. Porcentaje de los criterios.

CRITERIO	VALOR	PORCENTAJE
TEMPERATURA	339	0,225699068
CONDUCTIVIDAD	309	0,205725699
INFLAMABILIDAD	300	0,199733688
COSTOS	291	0,193741678
PERMEABILIDAD	263	0,175099867
TOTAL	1502	

En la tabla 11, se presenta las alternativas versus los criterios antes mencionados, multiplicando los porcentajes por una evaluación de 1 a 5, siendo cinco (5) la mayor calificación y uno (1) la menor, se asignan dichos valores teniendo en cuenta la importancia del criterio en la selección de la alternativa.

Tabla 11. Evaluación de alternativas.

	%	ALTERNATIVA 1		ALTERNATIVA 2		ALTERNATIVA 3	
TEMPERATURA	0,225699	5	1,12849534	4	0,90279627	3	0,6770972
INFLAMABILIDAD	0,205726	4	0,8229028	5	1,0286285	1	0,2057257
CONDUCTIVIDAD	0,199734	3	0,59920107	3	0,59920107	2	0,39946738
COSTOS	0,193742	2	0,38748336	2	0,38748336	4	0,77496671
PERMEABILIDAD	0,1751	1	0,17509987	1	0,17509987	5	0,87549933
			3,11318242		3,09320905		2,93275632

En la tabla 12, se generan la puntuación obtenida por cada una de las alternativas, la que presente el puntaje mayor es la ganadora, por ende, es la que se desarrolla en el proceso de construcción.

Tabla 12. Selección de alternativas.

	PUNTUACIÓN
ALTERNATIVA 1	3,113182423
ALTERNATIVA 2	3,093209055
ALTERNATIVA 3	2,932756325

Luego de comparar las propiedades entre los distintos tipos de aislantes y de acuerdo a los valores obtenidos en el paso anterior, encontramos que el material que mejor se comporta ante este fenómeno debido a su buena relación de eficiencia-economía es la *manta kaowool*.

5.5.6.1 Manta kaowool. Son productos aislantes fabricados a base de fibras cerámicas refractarias por conformado al vacío. Este proceso permite producir una gran variedad de configuraciones, específicas para cada aplicación y que van desde secciones simples (como manguitos o conos) a formas complejas. Estas composiciones están disponibles para temperaturas de servicio desde los 1260°C hasta los 1600°C.

En la figura 4, se muestra el aspecto físico a simple vista del aislante seleccionado, la manta kaowool.

Figura 4. Manta kaowool.



Fuente: REFIL. Fibras Cerámicas Refractarias (RCF) kaowool hp y kaowoll s. [En línea]. Disponible en: <https://www.refil.com.ar/productos-materiales-refractarios.php>

En la figura 5, se encuentran consignadas las principales propiedades características de la manta kaowool, tales como la temperatura, densidad, entre otras, que permiten conocer las singularidades del aislante.

Figura 5. Propiedades de la manta kaowool.

Propiedades principales			1260	Strong	1260 LB	1400	1600	1600S
Temperatura de clasificación		°C	1260	1260	1260	1400	1500	1600
Propiedades medidas en condiciones ambiente (23°C/50% HR)								
Color								
Densidad	(nominal)	Kg/m ³	260	330	200	260	240	200
Módulo de ruptura	(Sin coocer)	MPa	1.05	2.37	Flexible	0.99	0.99	0.88
	(Cocido – 15 min 650°C)	MPa	0.58	1.1	N/A	0.35	0.30	0.24
Esfuerzo de compresión	(5% deformación)	MPa	MPa		0.56			
Prestaciones a alta temperatura*								
Pérdida de peso aprox. tras la primera cocción		%	5-7	5-10	5-10	5-10	5-10	5-10
Conductividad térmica (ASTM-C-201) a la temperatura media de:								
200°C		W/m.K	0.07	0.06	0.07	0.06	-	-
400°C		W/m.K	0.09	0.09	0.09	0.08	0.07	0.06
600°C		W/m.K	0.11	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08
800°C		W/m.K	0.15	0.16	0.15	0.13	0.12	0.10
1000°C		W/m.K	-	-	-	0.18	0.16	0.14
1200°C		W/m.K	-	-	-	0.23	0.22	0.20
1400°C		W/m.K	-	-	-	-	0.28	0.26

Fuente: MORGAN. Thermal ceramics: Formas Kaowool™ VF. [En línea]. Disponible en: <http://www.morganthermalceramics.com/media/3129/kaowoolvfsharepesspanish-new.pdf>

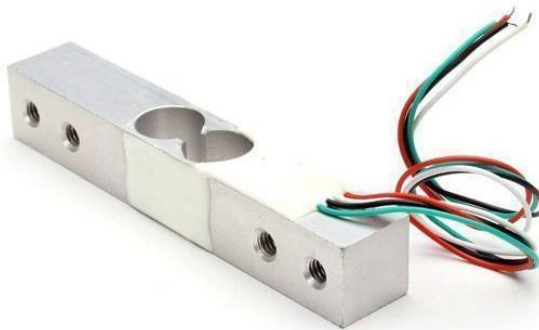
5.5.7 Sistema de Carga. Para el sistema de carga se utilizará una celda de carga, dicha celda es la encargada de pesar la muestra, y ver como al transcurrir el tiempo se va perdiendo peso en la muestra.

5.5.7.1 Celda de Carga. La celda de carga o célula de carga es una estructura diseñada para soportar cargas de compresión, tensión y flexión, la cual en su interior posee uno o varios sensores de deformación llamados Strain Gauges que detectan los valores de deformación. En una celda de carga digital se produce esta deformación mediante circuitos wheatstone, que actúan en las bases de la máquina o sistemas de pesaje para encontrar reacciones, una vez obtenida la resistencia, se produce la transducción y se puede obtener el valor que la máquina resiste.

Las celdas de carga digitales, también son llamadas Digital Load Cell (es su traducción en inglés), esta se fija en la parte donde quiere registrarse una carga que aplique un sistema mecánico. La señal de la carga se lleva a un dispositivo electrónico, microchip o computadora central (dependiendo de su utilidad) para recopilar los datos totales de una o varias celdas de carga, inclusive desarrollar análisis estadísticos de las cargas durante un tiempo determinado o evento en particular.

La celda de carga es conectada a un arduino, para su posterior lectura de las cargas a las cuales sea sometida.

Figura 6. Celda de carga.



Fuente: ELECTRONPERDIDO. Celda de carga 1Kg (ref: 0131). [En línea]. Disponible en: <https://electronperdido.com/shop/sensores/fuerza/celda-de-carga-1kg/>

Dada las condiciones en las que se presentara la muestra, es baja por ello se utilizará una celda de carga de máximo 1 kg, que se muestra en la figura 6 anteriormente expuesta, esto para obtener mayor sensibilidad y precisión en el pesaje.

En la figura 7, se muestra una placa de micro controlador de código abierta, más conocida como Arduino Uno, la cual es utilizada para ejecutar el programa de la celda de carga, cuya función es la medición de la masa de la muestra.

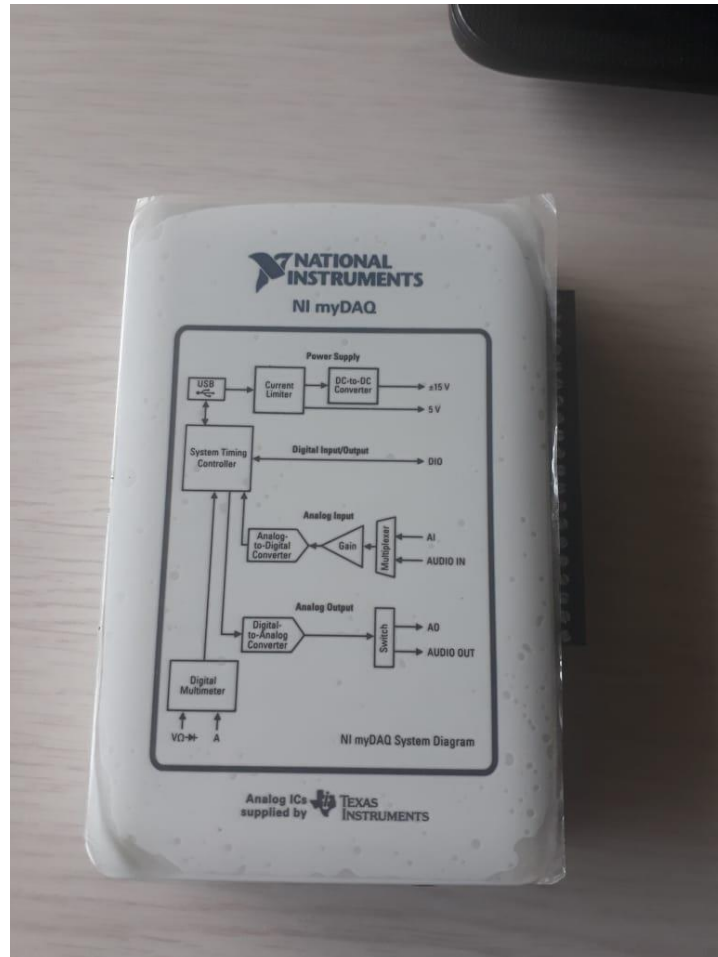
Figura 7. Arduino.



5.5.8 Sistema de Control. El sistema de control se realizará mediante la herramienta llamada Labview, quien a su vez esta complementada por la tarjeta de

adquisición de datos NI Mydaq quien alimenta el sistema para su posterior control, también está integrado por un relé en estado sólido (SSR) y un dimmer.

Figura 8. Tarjeta de adquisición de datos.



Es la tarjeta de adquisición de datos, encargada de conectar los componentes y controlarlos mediante el programa Labview, generando su interfaz gráfica para la interacción con el sistema de control, para tener una idea mejor de la dicha tarjeta puede verse en la figura 8 expuesta con anterioridad.

Figura 9. Relé en estado sólido (SSR).



El relé en estado sólido (SSR), en la figura 9, es el encargado de controlar las resistencias, ya que recibe la corriente alterna, y solo deja pasar un margen de voltaje a la tarjeta de adquisición, es importante resaltar que la NI Mydaq maneja voltaje de -10 v a +10 v, un voltaje fuera de ese rango quemaría la tarjeta.

5.5.9 Sistema de Ventilación. El sistema de ventilación está conformado por un ventilador, el cual será de las dimensiones del túnel, y es el encargado de realizar la convección forzada, por medio de un variador de frecuencia, tendrá tres (3) velocidades, denominadas, velocidad baja, velocidad media y velocidad alta. A continuación, se muestran las prestaciones del ventilador.

El ventilador encargado de impulsar el aire a través de las resistencias, mostrado en la figura 10, el cual trabaja a 110 V, puede trabajar a 50 o 60 Hz de frecuencia, consume 0.28 A y 3000 RPM.

Figura 10. Ventilador.



5.5.10 Sistema de Medición. La medición se realizará con una termocupla, la cual debe cumplir con los requerimientos del secador, tales como temperatura máxima, sensibilidad del sistema, precisión de la lectura.

5.5.10.1 Termocupla. Las termocuplas son el sensor de temperatura más común utilizado industrialmente. Una termocupla es un transductor formado por la unión de dos metales distintos (soldados generalmente), que produce una diferencia de potencial muy pequeña (del orden de los milivoltios) que es función de la diferencia de temperatura entre uno de los extremos denominado «punto caliente» o «unión caliente» o de «medida» y el otro llamado «punto frío» o «unión fría» o de «referencia» (efecto Seebeck).

Existe una gran cantidad de tipos de termocuplas de las cuales las más importantes son las siguientes.

➤ **Tipo K (cromel/alumel):** Con una amplia variedad aplicaciones, está disponible a un bajo costo y en una variedad de sondas. El cromel es una aleación de Ni-Cr, y el alumel es una aleación de Ni-Al. Tienen un rango de temperatura de $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+1372\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una sensibilidad $41\text{ }\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ aproximadamente. Posee buena resistencia a la oxidación.

➤ **Tipo E [cromel/constantán (aleación de Cu-Ni)]:** No son magnéticos y gracias a su sensibilidad, son ideales para el uso en bajas temperaturas, en el ámbito criogénico. Tienen una sensibilidad de $68\text{ }\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$.

➤ **Tipo J (hierro/constantán):** Su rango de utilización es de $-270/+1200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Debido a sus características se recomienda su uso en atmósferas inertes, reductoras o en vacío, su uso continuado a $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ no presenta problemas, su principal inconveniente es la rápida oxidación que sufre el hierro por encima de $550\text{ }^{\circ}\text{C}$; y por debajo de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ es necesario tomar precauciones a causa de la condensación de vapor de agua sobre el hierro.

➤ **Tipo T (cobre/constantán):** Ideales para mediciones entre -200 y $260\text{ }^{\circ}\text{C}$. Resisten atmósferas húmedas, reductoras y oxidantes y son aplicables en criogenia. El tipo termopar de T tiene una sensibilidad de cerca de $43\text{ }\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$.

➤ **Tipo N (nicrosil [Ni-Cr-Si]/nasil [Ni-Si]):** Es adecuado para mediciones de alta temperatura gracias a su elevada estabilidad y resistencia a la oxidación de altas temperaturas, y no necesita del platino utilizado en los tipos B, R y S, que son más caros.

Por otro lado, los termopares tipo B, R y S son los más estables, pero debido a su baja sensibilidad ($10 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ aprox.) generalmente son usados para medir altas temperaturas (superiores a 300°C).

➤ **Tipo B (Pt-Rh):** Son adecuados para la medición de altas temperaturas superiores a 1800°C . Los tipos B presentan el mismo resultado a 0°C y 42°C debido a su curva de temperatura/voltaje, limitando así su uso a temperaturas por encima de 50°C .

➤ **Tipo R (Pt-Rh):** Adecuados para la medición de temperaturas de hasta 1300°C . Su baja sensibilidad ($10 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$) y su elevado precio quitan su atractivo.

➤ **Tipo S (Pt/Rh):** Ideales para mediciones de altas temperaturas hasta los 1300°C , pero su baja sensibilidad ($10 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$) y su elevado precio lo convierten en un instrumento no adecuado para el uso general. Debido a su elevada estabilidad, el tipo S es utilizado para la calibración universal del punto de fusión del oro ($1064,43^\circ\text{C}$).

Figura 11. Propiedades de las termocuplas.

Tc	Cable + Aleación	Cable - Aleación	$^\circ\text{C}$	Rango (Min, Max) mV	Volts Max
J	Hierro	cobre/nickel	(-180, 750)	42.2	
K	Nickel/cromo	Nickel/aluminio	(-180, 1372)	54.8	
T	Cobre	cobre/nickel	(-250, 400)	20.8	
R	87% Platino 13% Rhodio	100% Platino	(0, 1767)	21.09	
S	90% Platino 10% Rhodio	100% Platino	(0, 1767)	18.68	
B	70% Platino 30% Rhodio	94% Platino 6% Rhodio	(0, 1820)	13.814	

Fuente: OMEGA. Termopar: Tipos y Aplicaciones. [En línea]. Disponible en: <https://mx.omega.com/prodinfo/termopar.html>

En la figura 11, se encuentra la clasificación según el tipo de termocuplas existentes, los materiales por los cuales están compuestas, la aleación de cable con la que reacciona y su porcentaje, el rango de temperatura en °C y en mili voltios (mV).

En teoría la escogencia por límites de temperatura debería ser una termocupla J, pero debido a las ofertas presentes en el mercado, se escoge una termocupla K, que cumple con los requerimientos necesarios. A continuación se observa la termocupla seleccionada para el equipo, su apariencia física, en la figura 12.

Figura 12. Termocupla.



En la figura 13 y 14, se muestra la propuesta de diseño del prototipo de equipo, el túnel de secado y la base correspondiente, claro está teniendo en cuenta los cambios e inconvenientes que se presenten a lo largo del proceso.

Figura 13. Prototipo secador.

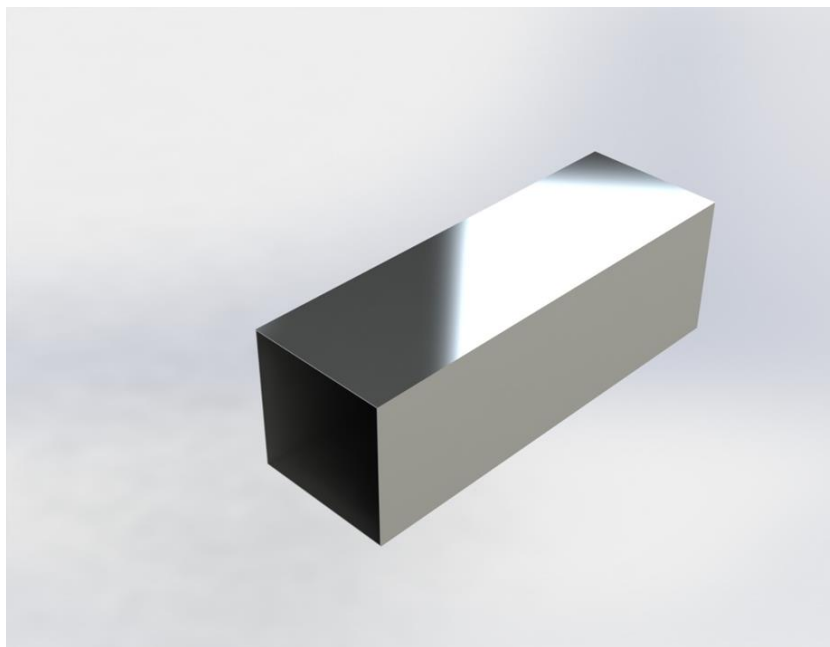


Figura 14. Base del prototipo de equipo.



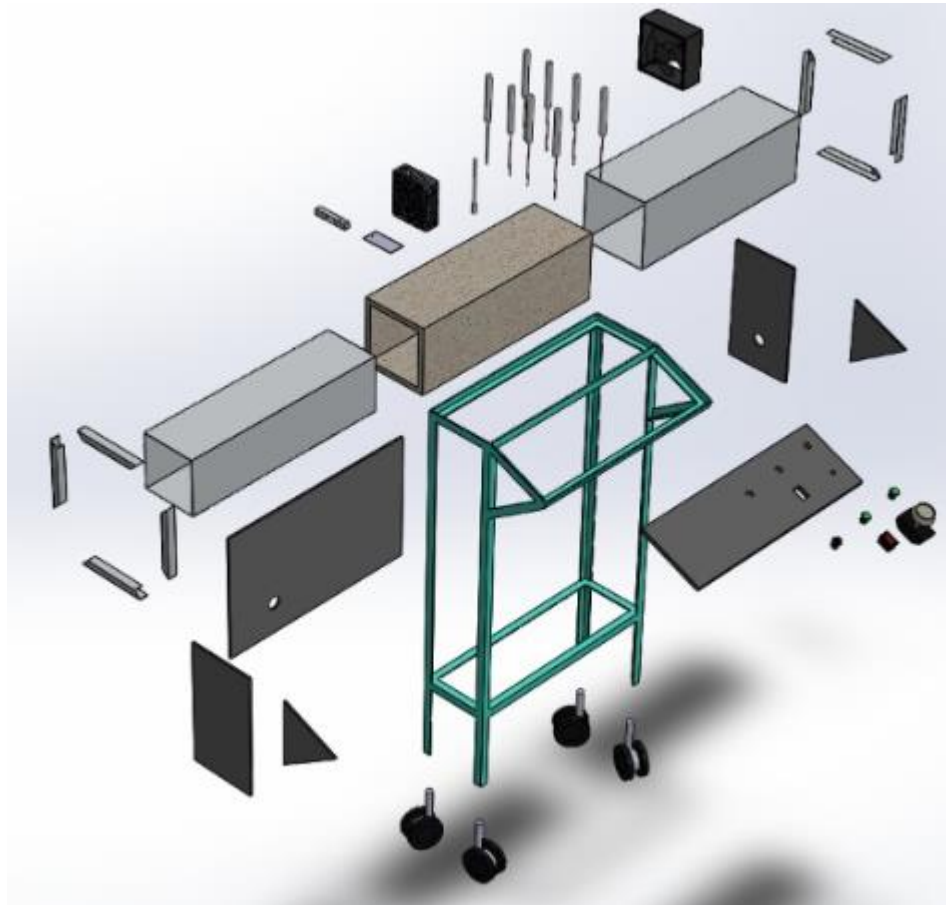
6. CÁLCULOS Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

El prototipo de equipo posterior a su diseño y construcción se muestra en la figura 15, y el explosionado donde se pueden observar sus componentes se muestra en la figura 16.

Figura 15. Equipo de secado.



Figura 16. Explosionado del ensamble del equipo con todos sus componentes.



Luego del planteamiento del diseño, las modificaciones surgidas en el proceso de construcción se muestran en la imagen la maquina culminada, ya que inicialmente se mostró el boceto sin los cambios que se fueron presentando en el desarrollo de dicho proyecto.

En este capítulo están consignados los cálculos pertinentes requeridos por el prototipo de máquina, así como los elementos que componen y que fueron necesarios para la consecución del resultado planteado, se realizaron cálculos como el calor necesario, calor perdido, entre otros.

6.1 CÁLCULO DE LA ENERGÍA

Inicialmente tomamos el volumen de control dentro del túnel, el cual es el escenario donde se presentan los calores y los diferentes cambios que se dan en la interacción de estos, para esto se basó en la primera ley de la termodinámica y en la transferencia de calor.

Se toma la ecuación general para el calor sensible.

Figura 17. Ecuación general.

$$Q = \dot{m} (\Delta h) = \dot{m} C_{p_{prom}} \Delta T$$

Fuente: Libro transferencia de calor y masa. Cengel 4 Edición.

$\dot{m}$ = Flujo másico.

Δh = Delta Entalpía.

$C_{p_{prom}}$ = Calor Específico.

ΔT = Delta Temperaturas.

Descomponiendo la ecuación general se tiene:

Flujo másico.

Figura 18. Flujo másico.

$$\dot{m} = \rho V A_c$$

Fuente: Libro transferencia de calor y masa. Cengel 4 Edición.

ρ = Densidad.

V = Velocidad.

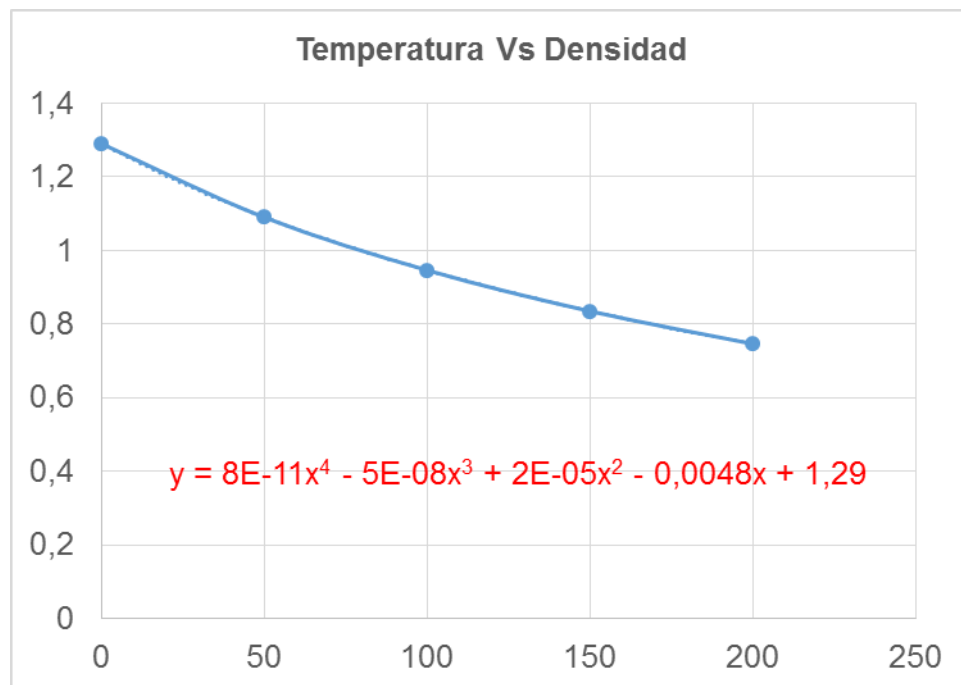
A_c = Área Transversal.

Para el cálculo de la densidad se hizo una regresión lineal para hallar el valor más aproximado para el cálculo, en la tabla 13 se tomaron cada 50°C el valor de la densidad, y en la figura 19 la gráfica de dicha regresión, que se realizó de la siguiente manera:

Tabla 13. Referencia de datos.

Temperatura	Densidad
0	1,29
50	1,09
100	0,946
150	0,835
200	0,746

Figura 19. Ajuste de la ecuación.



El valor obtenido de densidad es $\rho = 1,2016 \text{ [kg/m}^3\text{]}$, donde la variable x es el valor de temperatura ambiente aproximado, que fue tomado en 26°C.

Para el valor de velocidad del aire, con un anemómetro se midió su valor mostrado en la figura 20, con ayuda de un variador de voltaje (Dimmer) se varió la velocidad en tres (3) posiciones distintas, mostrado en la figura 21.

Figura 20. Anemómetro.



Figura 21. Variador de voltaje (*Dimmer*)



En la tabla 14, se expone la calibración del variador de voltaje (*Dimmer*), en 4 velocidades, asignándoles un número entero por su valor en [m/s].

Tabla 14. Velocidades medidas.

Número	Velocidad [m/s]
0	0
1	0,4
2	1,4
3	2,8

Para los valores del área, por tratarse de un túnel rectangular, el cual interiormente es un cuadrado con medidas de 12x12 cm, el área transversal se reduce a la multiplicación de sus lados, que es la utilizada para efectuar los cálculos.

Delta de Temperaturas.

Figura 22. Delta de temperaturas.

$$\Delta T = (T_2 - T_1)$$

Fuente: Libro transferencia de calor y masa. Cengel 4 Edición.

Donde:

T_2 = Temperatura máxima de calentamiento.

T_1 = Temperatura ambiente.

6.2 CÁLCULO ENERGÍA PÉRDIDA

Figura 23. Ecuación Balance de Energía

$$\dot{m}_a h_1 + \dot{m}_s c_s T_1 + \dot{m}_{w_1} h_{w_1} + \dot{Q}_c = \dot{m}_a h_2 + \dot{m}_s c_s T_2 + \dot{m}_{w_2} h_{w_2} + \dot{Q}_p$$

En donde resulta:

Figura 24. Ecuación Resultante

$$Q_c = \dot{m}_a(h_2 - h_1) + \dot{m}_s c_s(T_2 - T_1) + \dot{m}_{w_2} h_{w_2} - \dot{m}_{w_1} h_{w_1} + \dot{Q}_p$$

$\dot{Q}_c$ = Calor suministrado.

$\dot{Q}_p$ = Calor perdido.

T_2 = Temperatura máxima secado.

T_1 = Temperatura ambiente.

$\dot{m}_a$ = Flujo de aire entrante.

$\dot{m}_s$ = Flujo de aire que llega a la muestra.

c_s = Calor específico.

$\dot{m}_{w_2}$ = Flujo másico del vapor de agua a la salida.

$\dot{m}_{w_1}$ = Flujo másico del vapor de agua a la entrada.

h_{w_2} = Entalpia de vapor de agua a la salida.

h_{w_1} = Entalpia de vapor de agua a la entrada.

h_1 = Entalpia de entrada.

h_2 = Entalpia de salida.

Figura 25. Ecuación Calor de conducción.

$$Q = -k A \frac{dT}{dx}$$

Fuente: Libro transferencia de calor y masa. Cengel 4 Edición.

k = Conductividad Térmica.

A = Área Transversal.

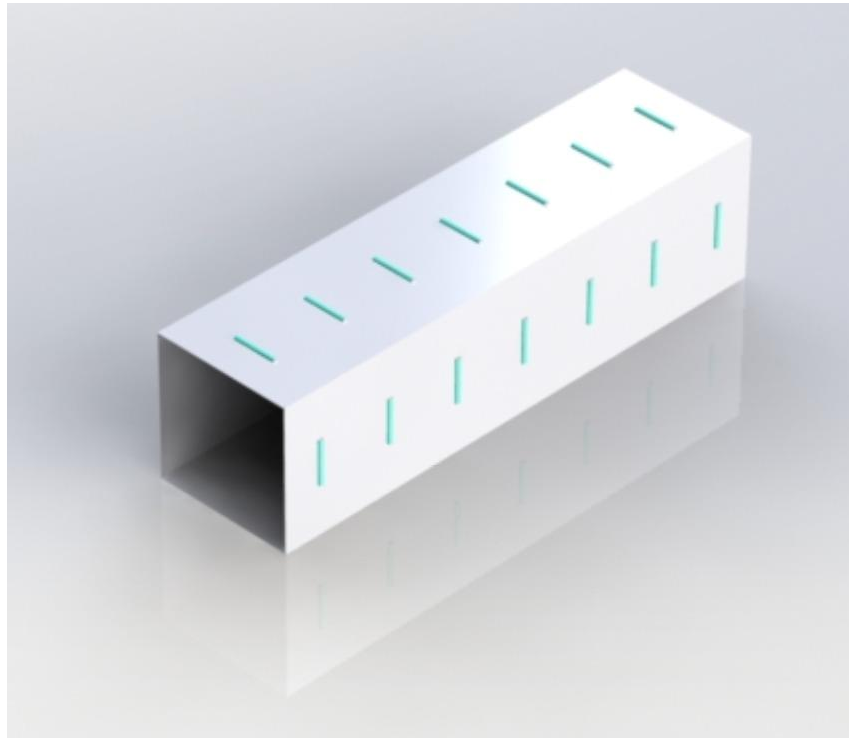
dT = Diferencia de temperaturas.

dx = Espesor.

Para este caso la incógnita es el espesor del aislamiento con el cual se recubrirá el cajón interno del túnel de secado.

Para el cálculo del calor perdido se toman medidas de temperatura, de las diferentes caras y en siete (7) puntos a lo largo de la extensión del túnel, cada 7 centímetros, que se muestra en la figura 24 lo que da un total de 49 centímetros que es el largo total del túnel, se muestra en la figura siguiente:

Figura 26. Secciones de muestra para temperatura.



Para las mediciones de temperatura superficiales se utilizó una pistola termómetro fluke 62 max, la cual se referencia a continuación para una mayor aclaración en la figura 25, donde se muestra la precisión y el grado de error:

Figura 27. Manual de uso.

62 MAX/62 MAX + <i>Manual de uso</i>		
Resolución óptica	10:1 (calculado al 90% de la energía)	12:1 (calculado al 90% de la energía)
Resolución de la pantalla	0.2° C (0.1° F)	
Repetibilidad (% de la lectura)	±0.8% de la lectura o ±1.0 °C (2 °F), lo que sea mayor	±0.5% de la lectura o ±0.5 °C (1 °F), lo que sea mayor
Alimentación	1 Batería AA IEC LR06	
Vida útil de las pilas	10 horas con el láser y la retroiluminación activados	8 horas con el láser y la retroiluminación activados
Peso	255 g (8.99 oz)	
Tamaño	(175 x 85 x 75) mm (6.88 x 3.34 x 2.95) pulgadas	
Temperatura de funcionamiento	De 0 °C a 50 °C (de 32 °F a 122 °F)	
Temperatura de almacenamiento	De -20 °C a 60 °C (de -4 °F a 140 °F), (sin batería)	
Humedad de operación	De 10% a 90% RH sin condensación @ 30 °C (86 °F)	
Altitud operativa	2000 metros sobre el nivel medio del mar	
Altitud de almacenamiento	12.000 metros sobre el nivel medio del mar	

Fuente: FLUKE CORPORATION. 62 MAX/62 MAX + Infrared Thermometer. [En línea]. 2012. Disponible en: <http://www.finaltest.com.mx/v/vspfiles/assets/datasheet/Manual%20Fluke-62%20MAX.pdf>

Se realizaron las tablas generadas por la medición, cabe resaltar que se realizaron tres (3) mediciones por cada punto para cumplir con el establecido de prevención al error, y se anotó la promedio de las tres (3), la información se encuentra a continuación:

6.2.1 Cara superior. En la tabla 15, se realiza la comparación entre la distancia del punto evaluado, la velocidad a la que se encuentra y el valor correspondiente a dicho punto, cabe resaltar que el valor de temperatura se encuentra en °C, se expone a continuación:

Tabla 15. Mediciones cara superior.

Longitud [cm]	V = 0[m/s]	V = 0,4 [m/s]	V = 1,4 [m/s]	V = 2,8 [m/s]
1	89,7	55,6	28,2	26,6
9	130	75	32,7	28,7
17	174,5	102,1	35,8	30,7
25	140,9	116,8	45	38,4
33	112,1	106,7	48	41,3
41	97,8	93,6	46,9	40,7
49	90,7	85,1	44,7	39

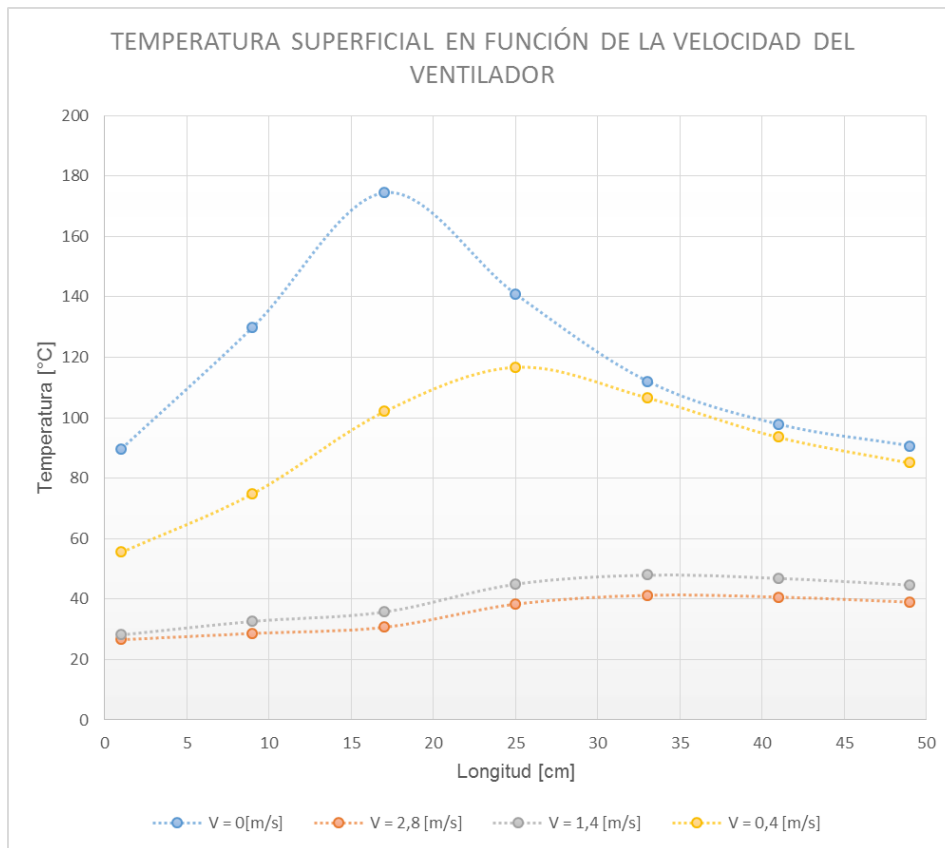
Se tomaron valores máximos y medios, que se muestran en la tabla 16, se toma el valor de Tmed para los cálculos, ya que es el más adecuado puesto que el valor Tmax puede sobredimensionar los cálculos.

Tabla 16. Valores máximos y medios.

Tmax (°C)	174,5
Tmed (°C)	148,4667

Se realizó una comparación del comportamiento de las temperaturas, a continuación, se muestra en la figura 26:

Figura 28. Comparación comportamientos cara superior.



6.2.2 Cara izquierda. En la tabla 17, se realiza la comparación entre la distancia del punto evaluado, la velocidad a la que se encuentra y el valor correspondiente a dicho punto, cabe resaltar que el valor de temperatura se encuentra en °C, se expone a continuación:

Tabla 17. Mediciones cara izquierda.

Longitud [cm]	V = 0[m/s]	V = 0,4 [m/s]	V = 1,4 [m/s]	V = 2,8 [m/s]
1	54,2	51,7	29,8	29,2
9	122,2	93,8	35,7	32,6
17	126,3	113,6	43	37,6
25	96,7	94	46,4	41
33	71,8	68,7	44,8	40,7
41	63,8	59,8	43,7	39,8
49	55,9	52,1	42,9	39,5

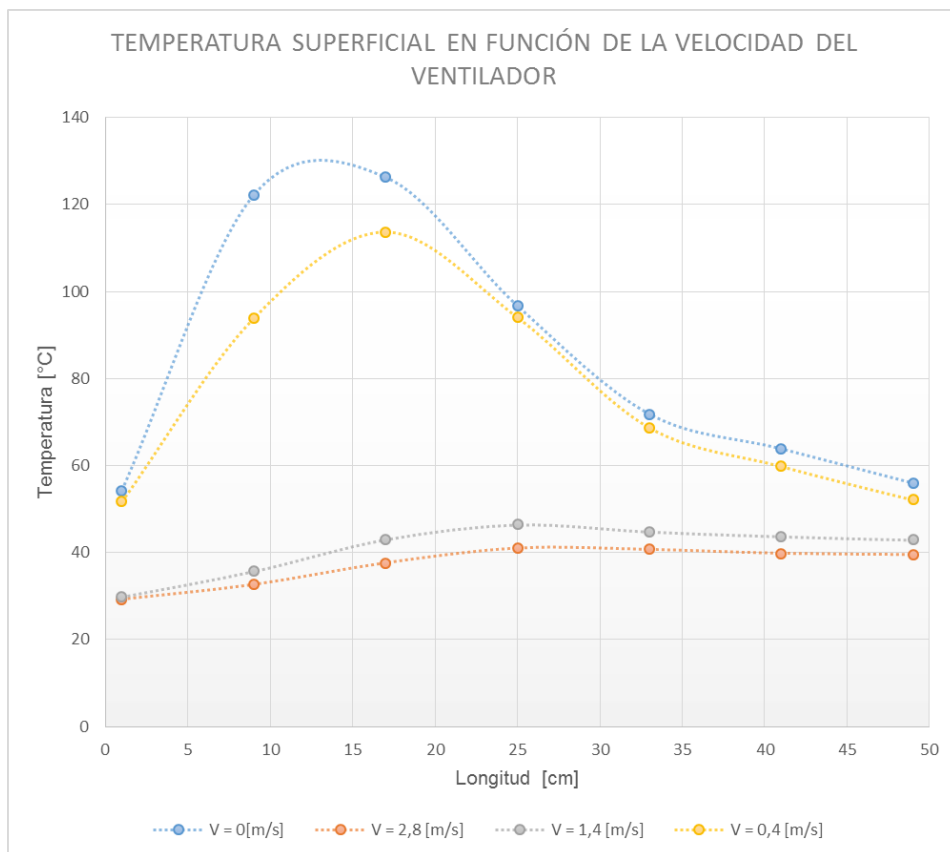
Se tomaron valores máximos y medios, que se muestran en la tabla 18, se toma el valor de Tmed para los cálculos, ya que es el más adecuado puesto que el valor Tmax puede sobredimensionar los cálculos.

Tabla 18. Valores máximos y medios.

Tmax (°C)	126,3
Tmed (°C)	115,0667

Se realizó una comparación del comportamiento de las temperaturas, a continuación, se muestra en la figura 27:

Figura 29. Comparación comportamientos cara izquierda.



6.2.3 Cara derecha. En la tabla 19, se realiza la comparación entre la distancia del punto evaluado, la velocidad a la que se encuentra y el valor correspondiente a dicho punto, cabe resaltar que el valor de temperatura se encuentra en °C, se expone a continuación:

Tabla 19. Mediciones cara derecha.

Longitud [cm]	V = 0[m/s]	V = 0,4 [m/s]	V = 1,4 [m/s]	V = 2,8 [m/s]
1	56,4	42,3	29,3	29
9	125,8	89,6	35,8	32,1
17	127	116,8	48,6	41
25	96,3	89,4	53,1	46,1
33	72,6	67,2	51,2	44,9
41	61,6	55,6	48,8	43,6
49	52,3	47,8	45,8	42,1

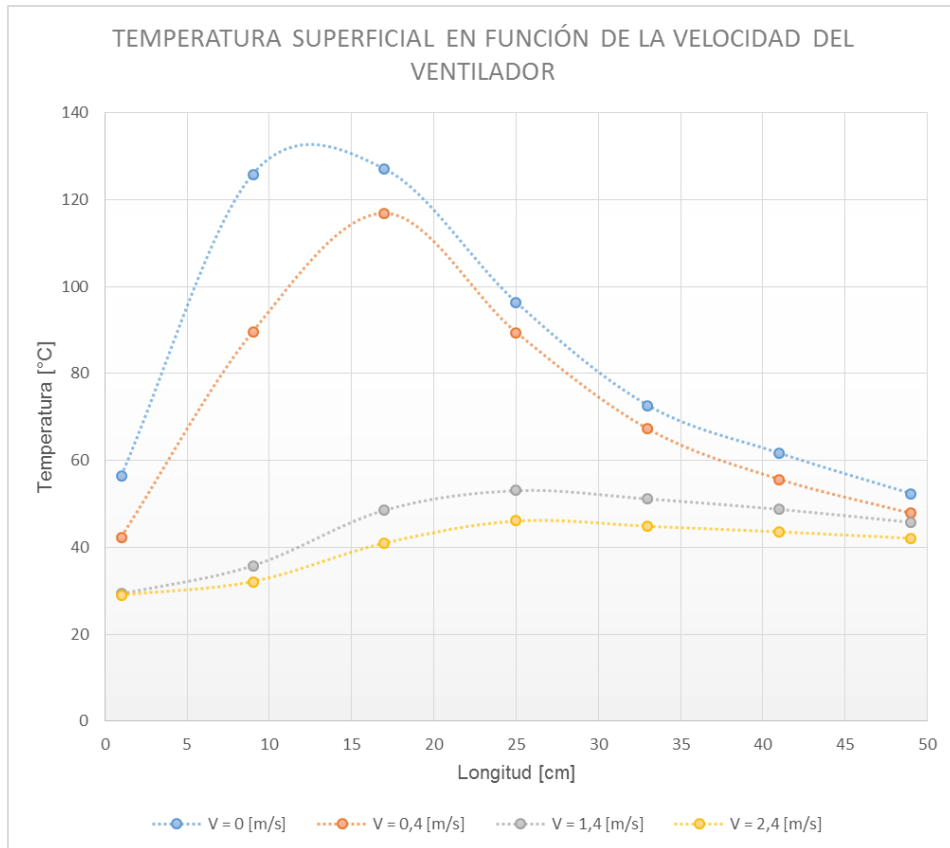
Se tomaron valores máximos y medios, que se muestran en la tabla 20, se toma el valor de Tmed para los cálculos, ya que es el más adecuado puesto que el valor Tmax puede sobredimensionar los cálculos.

Tabla 20. Valores máximos y medios.

Tmax (°C)	127
Tmed (°C)	116,3667

Se realizó una comparación del comportamiento de las temperaturas, a continuación, se muestra en la figura 28:

Figura 30. Comparación comportamientos cara derecha.



6.2.4 Cara inferior. En la tabla 15, se realiza la comparación entre la distancia del punto evaluado, la velocidad a la que se encuentra y el valor correspondiente a dicho punto, cabe resaltar que el valor de temperatura se encuentra en °C, se expone a continuación:

Tabla 21. Mediciones cara inferior.

Longitud [cm]	V = 0[m/s]	V = 0,4 [m/s]	V = 1,4 [m/s]	V = 2,8 [m/s]
1	61,2	48,6	31,1	29,6
9	98,5	90,2	37,9	31,6
17	156,9	130,6	60,3	54,9
25	98	91,3	54,3	46,5
33	81	69,1	49,3	43
41	67,5	62,5	43,7	40,5
49	62,3	58,5	41,9	39

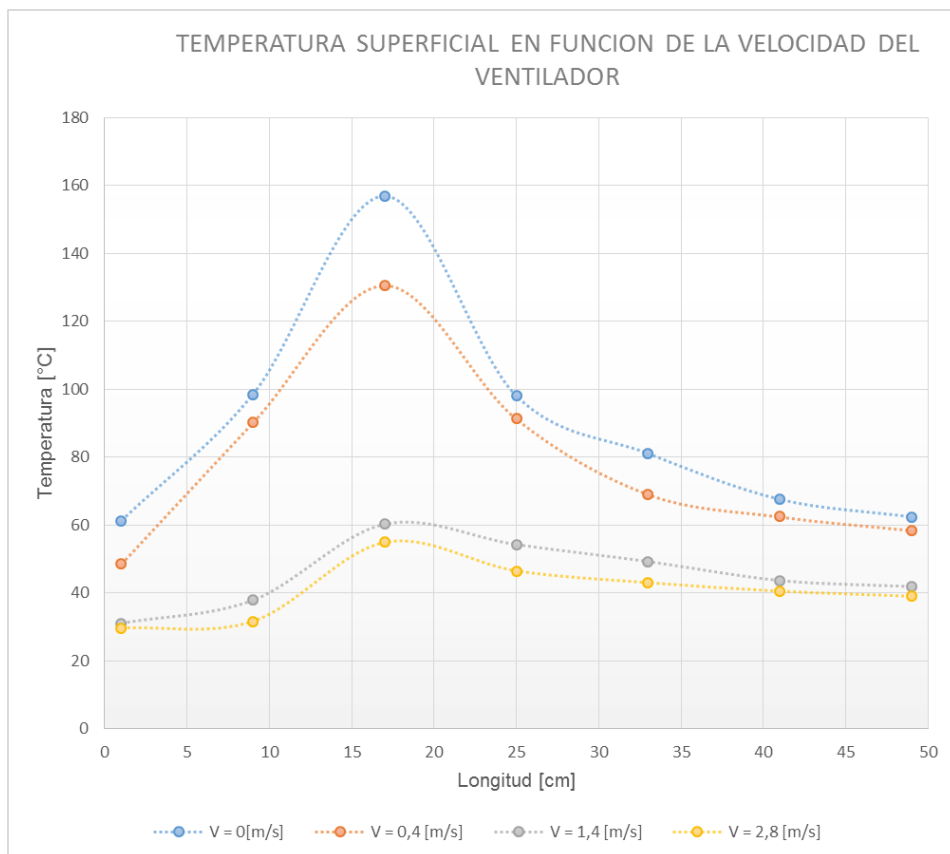
Se tomaron valores máximos y medios, que se muestran en la tabla 22, se toma el valor de Tmed para los cálculos, ya que es el más adecuado puesto que el valor Tmax puede sobredimensionar los cálculos.

Tabla 22. Valores máximos y medios.

Tmax (°C)	156,9
Tmed (°C)	117,8

Se realizó una comparación del comportamiento de las temperaturas, a continuación, se muestra en la figura 29:

Figura 31. Comparación comportamientos cara inferior.



7. FASE DE CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DEL PROTOTIPO DE LA MÁQUINA

En este capítulo se muestran las imágenes tomadas durante el proceso de trabajo, construcción y ensamble del prototipo de la máquina, se llevó a cabo en talleres externos a la Universidad Industrial de Santander y de igual manera en talleres internos dentro de la Universidad Industrial de Santander.

7.1 CONSTRUCCIÓN DEL TUNEL DE SECADO

Figura 32. Laminas del cajón interno del túnel.



Figura 33. Instalación ventilador.



Figura 34. Marco unión de cajón interior y exterior.



Figura 35. Taladrado para hacer los orificios.



Figura 36. Construcción de adaptadores para las resistencias.



Figura 37. Soldadura para los adaptadores de las resistencias.



Figura 38. Instalación del aislante sobre el cajón interior.



Figura 39. Soldadura marco unión entre cajón interior y exterior.



Figura 40. Soldadura cajón exterior.



Figura 41. Túnel con macilla para su posterior pintura.



Figura 42. Vista desde el interior del túnel encendido.



7.2 CONSTRUCCIÓN DE LA BASE DEL TÚNEL DE SECADO

Figura 43. Manufactura de la base.

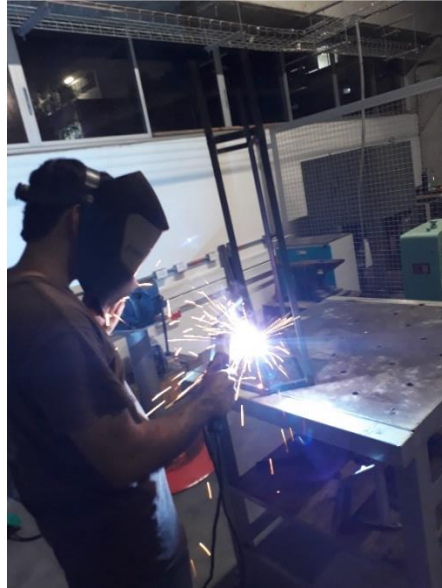


Figura 44. Estructura túnel de secado.



Figura 45. Enmasillado de la base.



7.3 PRUEBA DE TEMPERATURA LUEGO DE COLOCAR EL AISLANTE

La prueba que se realizó, fue en su estado crítico, es decir, el ventilador completamente apagado, y está diseñado para que no supere los 40°C de temperatura estipulados.

Figura 46. Prueba de temperatura.



8. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE SECADO

8.1 PRUEBAS REALIZADAS SEGÚN LA NORMA

Se tomaron pruebas de secado hechas con la normativa ASTM*, E1756 – 08, para la posterior comparación con el equipo de secado construido, a continuación se muestran resultados de dichas pruebas, con diferentes tipos de materiales.

En la tabla 23 se muestra los resultados de disminución de humedad de la cascarilla de arroz, la cual es presentada con un peso inicial, peso final, se realiza el porcentaje con la ecuación de la figura 45, y son tres (3) pruebas tomadas de cada biomasa, como se evidencia a continuación:

Figura 47. Ecuación utilizada para el porcentaje.

$$\frac{Mi - Mf}{Mi} * 100\%$$

Tabla 23. Cascarilla de arroz mufla.

Muestra	Peso inicial	Peso final	Porcentaje (%)	Promedios
Cascarilla de arroz	0,5089	0,4639	8,843	8,880
	0,5067	0,461	9,019	
	0,5012	0,4572	8,779	

Se presenta en la muestra una disminución del 8,880 %, en el porcentaje de humedad relacionado con su peso inicial, y el presentado al final de su proceso de secado por la norma ASTM E1756 – 08.

* American Society of Testing Materials. Asociación Americana de Ensayo de Materiales.

En la tabla 24 se muestra los resultados de disminución de humedad de la paja de arroz, la cual es presentada con un peso inicial, peso final, se realiza el porcentaje con la ecuación de la figura 45, y son tres (3) pruebas tomadas de cada biomasa, como se evidencia a continuación:

Tabla 24. Paja de arroz mufla.

Muestra	Peso inicial	Peso final	Porcentaje (%)	Promedios
Paja de arroz	0,5066	0,4568	9,830	9,781
	0,5019	0,4513	10,082	
	0,5069	0,4591	9,430	

Se presenta en la muestra una disminución del 9,781 %, en el porcentaje de humedad relacionado con su peso inicial, y el presentado al final de su proceso de secado por la norma ASTM E1756 – 08.

En la tabla 25 se muestra los resultados de disminución de humedad de la mezcla cascarilla-paja de arroz, la cual es presentada con un peso inicial, peso final, se realiza el porcentaje con la ecuación de la figura 45, y son tres (3) pruebas tomadas de cada biomasa, como se evidencia a continuación:

Tabla 25. Mezcla cascarilla – paja mufla.

Muestra	Peso inicial	Peso final	Porcentaje (%)	Promedios
Mezcla cascarilla-paja	0,5277	0,4802	9,011	8,733
	0,5422	0,4946	8,788	
	0,5173	0,4739	8,399	

Se presenta en la muestra una disminución del 8,733 %, en el porcentaje de humedad relacionado con su peso inicial, y el presentado al final de su proceso de secado por la norma ASTM E1756 – 08.

8.2 PRUEBAS REALIZADAS EN EL EQUIPO PROTOTIPO DE SECADO POR CONVECCION FORZADA

En primera instancia se tomaron las mismas biomاسas para ser sometidas al proceso de secado en el equipo, para comparar los porcentajes de pérdida de masa en el transcurrir del tiempo.

En la tabla 26 se muestra los resultados de disminución de humedad de la cascarilla de arroz, la cual es presentada con un peso inicial, peso final, se realiza el porcentaje con la ecuación de la figura 45, y son tres (3) pruebas tomadas de cada biomasa, como se evidencia a continuación:

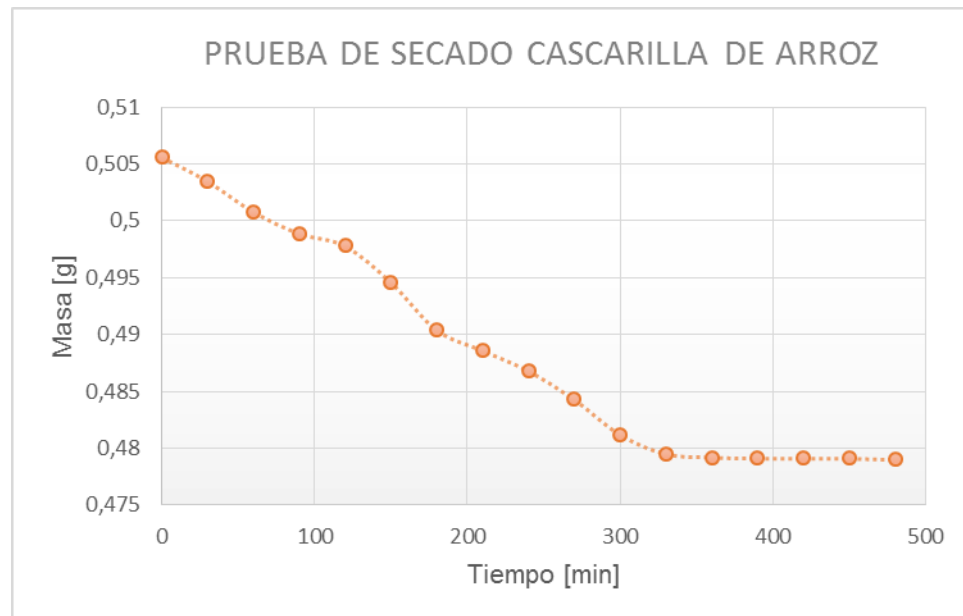
Tabla 26. Cascarilla de arroz secador.

Muestra	Peso Inicial	Peso final	Porcentaje (%)	Promedio
Cascarilla de arroz	0,4998	0,4712	5,722	5,110
	0,5056	0,4791	5,241	
	0,5017	0,4798	4,365	

En una prueba de 8 horas en los cuales se tomaron datos cada 30 minutos, se registró pérdida del peso inicial, con un porcentaje de 5,11 % en la disminución de humedad de la muestra, a partir de la hora 6 no se presenta porcentaje significativo en la pérdida de peso, hay una diferencia de 3,77 % respecto a la mufla, pero una reducción en el número de horas en el proceso de secado, aproximadamente 10 horas menos en el equipo construido.

En la figura 46 se muestra progresivamente la pérdida de peso en el transcurrir del tiempo.

Figura 48. Comparación disminución de masa en el tiempo cascarilla de arroz.



En la tabla 27 se muestra los resultados de disminución de humedad de la paja de arroz, la cual es presentada con un peso inicial, peso final, se realiza el porcentaje con la ecuación de la figura 45, y son tres (3) pruebas tomadas de cada biomasa, como se evidencia a continuación:

Tabla 27. Paja de arroz secador.

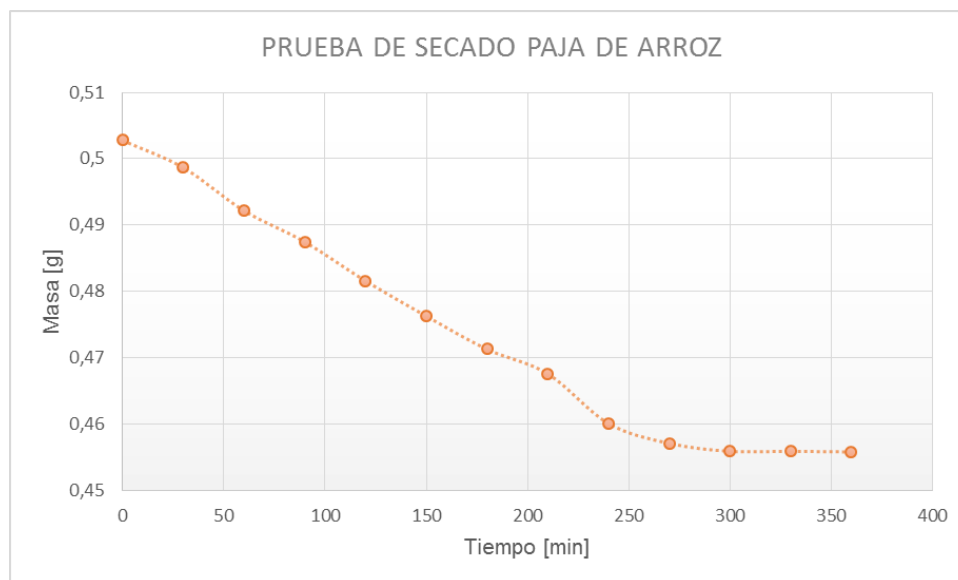
Muestra	Peso Inicial	Peso final	Porcentaje (%)	Promedio
Paja de arroz	0,5028	0,4589	8,731	9,901
	0,5011	0,4559	9,020	
	0,5095	0,4486	11,953	

En una prueba de 6 horas de duración en la cual el comportamiento de proceso de secado fue notorio a partir de la hora 5 hasta la 6 en la que se puede evidenciar que no se presenta ningún cambio significativo en el porcentaje de humedad, hay un 9,9% de reducción en la muestra sujeta al proceso de secado, hay una diferencia de 0,2 % a favor del equipo de secado en la cual se logró una mejora de reducción

en el tiempo del proceso la cual fue de 12 horas y en el porcentaje de reducción de humedad.

En la figura 47 se muestra progresivamente la pérdida de peso en el transcurrir del tiempo.

Figura 49. Comparación disminución de masa en el tiempo paja de arroz.



En la tabla 28 se muestra los resultados de disminución de humedad de la mezcla cascarilla-paja de arroz, la cual es presentada con un peso inicial, peso final, se realiza el porcentaje con la ecuación de la figura 45, y son tres (3) pruebas tomadas de cada biomasa, como se evidencia a continuación:

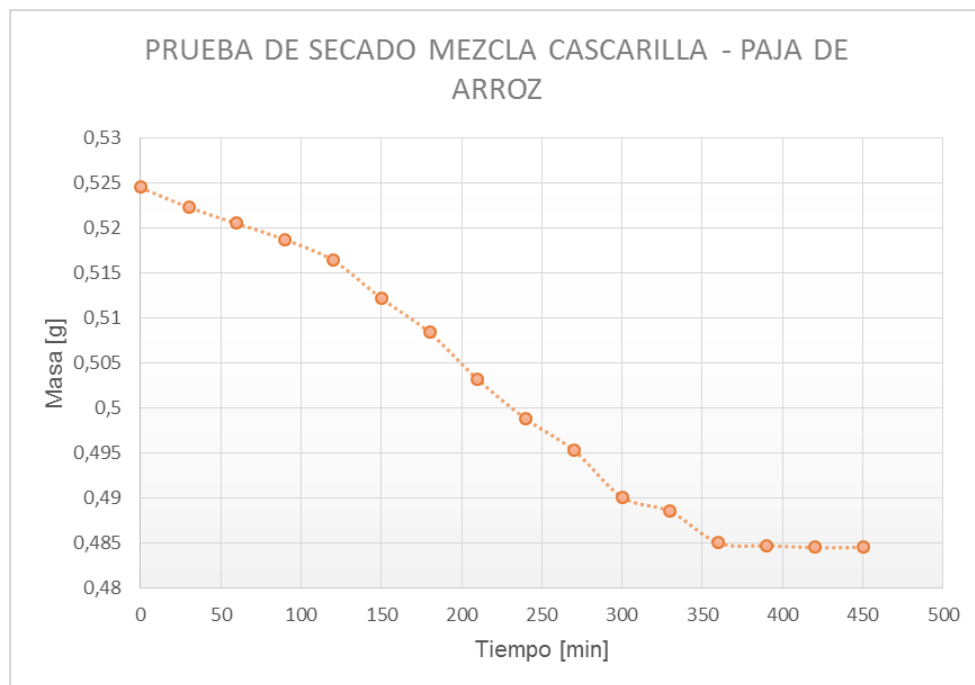
Tabla 28. Mezcla cascarilla-paja de arroz.

Muestra	Peso inicial	Peso final	Porcentaje (%)	Promedio
Mezcla cascarilla-paja de arroz	0,5134	0,4775	6,993	7,320
	0,5245	0,4845	7,626	
	0,5367	0,4973	7,341	

La prueba de la biomasa resultante de la mezcla entre la cascarilla y la paja de arroz, tuvo una duración de 7 h 30 minutos, en la cual a partir de la hora 7 no se presentaron cambios significativos en la reducción de humedad de la muestra, dicha muestra tuvo 7,32 % de resultado después del proceso de secado, una diferencia de 1,41% respecto a la mufla, pero una reducción en el número de horas en el proceso de secado, aproximadamente 10 horas menos en el equipo construido.

En la figura 48 se muestra progresivamente la pérdida de peso en el transcurrir del tiempo.

Figura 50. Comparación disminución de masa en el tiempo mezcla cascarilla-paja de arroz.



8.3 PRUEBAS ADICIONALES

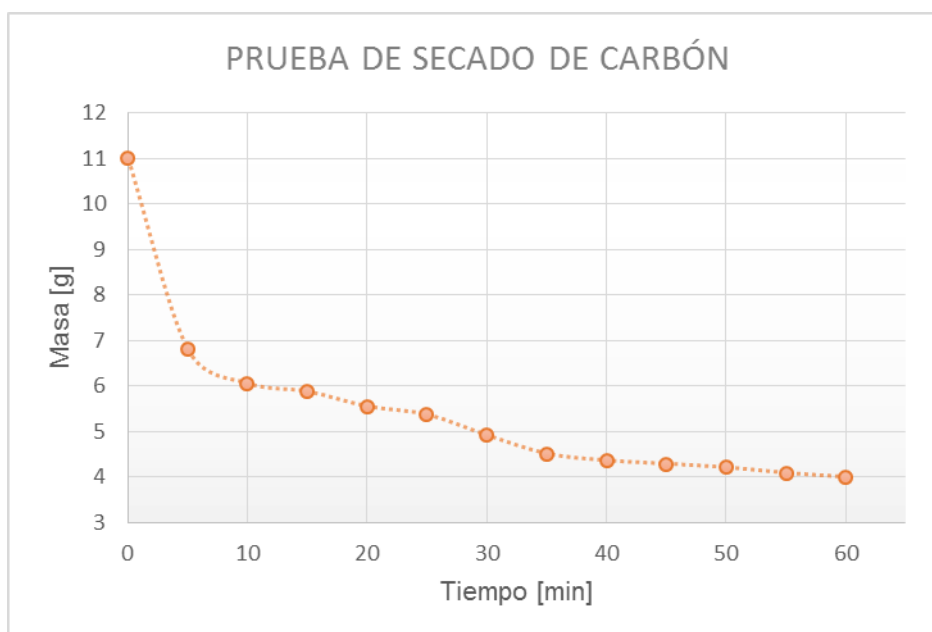
Se realizaron algunas pruebas adicionales para recopilar más datos, entre ellas al carbón mineral.

En la tabla 29 se muestra los resultados de disminución de humedad del carbón mineral la cual es presentada con un peso inicial, peso final, se realiza el porcentaje con la ecuación de la figura 45, y son tres (3) pruebas tomadas de cada biomasa, como se evidencia a continuación:

Tabla 29. Carbón mineral.

Muestra	Peso Inicial	Peso final	Porcentaje (%)	Promedio
Carbón	31,8702	19,0837	40,121	37,349
	36,8952	22,7872	38,238	
	33,9052	22,4832	33,688	

Figura 51. Comparación disminución de masa en el tiempo carbón.



La prueba para el carbón se realizó en 1 hora, para este carbón las referencias son de disminución de humedad, del 2% hasta el 45 %, en un secado de 18 horas, se evidencia la baja significativa de humedad del 37,349% en un tiempo considerablemente bajo.

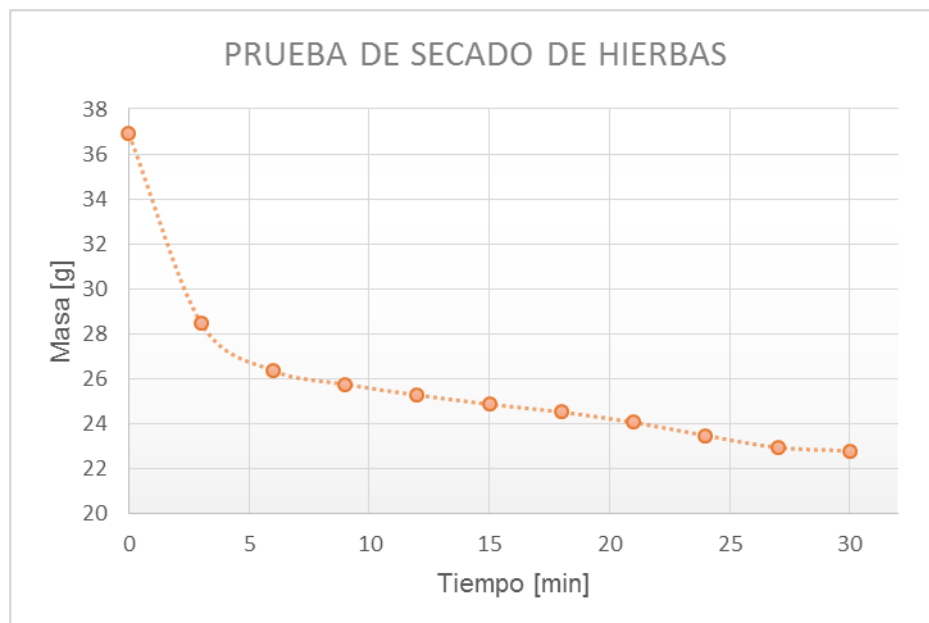
En la tabla 30 se muestra los resultados de disminución de humedad de las hierbas, la cual es presentada con un peso inicial, peso final, se realiza el porcentaje con la ecuación de la figura 45, y son tres (3) pruebas tomadas de cada biomasa, como se evidencia a continuación:

Tabla 30. Hierbas.

Muestra	Peso Inicial	Peso final	Porcentaje (%)	Promedio
Hierbas	9,3542	1,809	80,661	69,580
	11,0052	3,9952	63,697	
	9,6842	3,4492	64,383	

La prueba para la muestra de hierbas se realizó en 30 minutos, para estas hierbas las referencias son de disminución de humedad, del 2% hasta el 80 %, en un secado de 2 horas, se evidencia la baja significativa de humedad del 69,580% en un tiempo considerablemente bajo.

Figura 52. Comparación disminución de masa en el tiempo hierbas.



8.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Según los resultados obtenidos en las distintas pruebas, el equipo construido muestra una favorable respuesta en el proceso de secado, una de las finalidades es disminuir el tiempo que tarda en la mufla estabilizando la masa en un punto donde no se presente más pérdida, en este punto dicho equipo cumplió con pruebas comparativas en las cuales mostró dependiendo la biomasa una variación en sus resultados, siendo estos mayores, parecidos y menores.

La forma en que se encuentre el tipo de biomasa es la clave para optimizar su funcionamiento, ya que en forma de trozos o en casos como la paja de arroz, o que pueda ser colocada en el porta muestras que se evidencia en la figura 66, que por su arquitectura logra abarcar un mejor espacio y el flujo de aire lo ataca de múltiples flancos, dichas muestras reflejan un mayor porcentaje en su reducción de humedad, incluso mayores que las pruebas realizadas en la mufla o en su caso bastante parecidas en un periodo inferior al de 18 horas por la norma ASTM E 1756-08, por ello se resalta la utilización de dicho contenedor para obtener mejores resultados, de igual manera en otra presentación de la muestra, pueden obtenerse resultados aceptables en menos tiempo del proceso de secado, estabilizando los valores máxicos.

El comportamiento del proceso de secado es susceptible a cambios en el medio que se presenten en el momento, es decir, su tiempo y la variación de humedad es relativa en cada una las situaciones puestas a prueba.

Se diseñó y construyó un prototipo de equipo para secado por convección forzada para el laboratorio de combustión de la escuela de ingeniería mecánica de la Universidad Industrial de Santander, contribuyendo al aprendizaje y aplicación de conocimientos de las asignaturas tales como Termodinámica, Transferencia de Calor y Diseños vistos en las aulas de clases, además de ello a los procesos

existentes en el laboratorio de combustión para el análisis y procesamiento de Biomásas.

Se emplearon las herramientas de CAD y CAE, para el diseño y simulación de la base del equipo, previendo concentradores de esfuerzos, fallas y anomalías estructurales, también los diferentes elementos que componen el equipo de secado por convección forzada, analizando cada una de sus partes integradas en el proceso.

Existió una selección previa de los elementos integrantes del equipo, definiendo sus características, tales como: resistencias, aislamiento, ventilador, entre otros.

Se utilizó un sistema de calentamiento previamente seleccionado, que cumplía con los requerimientos trazados.

Se diseñó el sistema de control utilizado para el equipo, el cual consta de una interfaz gráfica, donde se evidencia paso a paso el proceso que se lleva a cabo, también un diagrama de bloques que es donde se asignan las funciones y se modifica el programa, se muestra una interfaz de manera didáctica y sencilla de tal manera que la interacción con el usuario sea amena.

Se facilita una sugerencia para realizar el mantenimiento del equipo, teniendo en cuenta sus puntos frágiles y la mejor manera de hacerlos, así preservar el equipo en óptimas condiciones y alargando su vida útil de funcionamiento.

9. PROGRAMA DE MANTENIMIENTO

9.1 TIPOS DE MANTENIMIENTO

Un mantenimiento programado es esencial para el funcionamiento correcto de la máquina, ya que esto evitara fallas en el sistema, además de que protegerá y alargara la vida útil de los elementos que la componen.

En la industria se manejan por lo general tres diferentes tipos, los cuales son:

- Mantenimiento correctivo.
- Mantenimiento preventivo.
- Mantenimiento predictivo.

9.1.1 Mantenimiento correctivo. Es el método que más comúnmente se ha utilizado en las fábricas, este mantenimiento se basa en arreglar las averías o fallas conforme van surgiendo, por lo cual no requiere de ninguna planificación.

Para minimizar su impacto en el proceso de producción se requiere que el departamento de mantenimiento este bien dimensionado.

9.1.2 Mantenimiento preventivo. Trata de un conjunto de tareas de mantenimiento que tienen como objetivo mantener las instalaciones anticipándose a las fallas, es decir, con este tipo de mantenimiento la falla no debería ocurrir ya que se sabe con anterioridad cuando va a fallar por consiguiente no genera paradas de producción. Uno de los más utilizados es el RCM (reliability centred maintenance) o análisis basado en confiabilidad.

9.1.3 Mantenimiento predictivo. Es el más tecnológico y avanzado de los tres, se trata de un conjunto de tareas de mantenimiento que relacionan una variable física

o química con el estado en que se encuentra la máquina, el objetivo es predecir cuándo fallara la máquina.

Algunas técnicas son: Termografías, Ultrasonidos, análisis de vibraciones, análisis de aceites, entre otros.

Tabla 31. Mantenimiento prototipo equipo de secado.

Nombres	Mantenimiento	Frecuencia
Sistema de calentamiento	Extraer con cuidado las resistencias con el uso de guantes, limpiarlas, y aceitarlas con biovarsol, para evitar la corrosión (según orden del fabricante).	Cada 3 meses
Sistema de Ventilación	Retirar el ventilador, limpiar aspas y comprobar velocidades (según orden del fabricante y prestaciones de fábrica).	Cada 6 meses
Sistema de carga	Desmontar la celda de carga y revisar su integridad. Volver a instalarla y hacer la calibración correspondiente (según criterio de los fabricantes por la sensibilidad de sus galgas.).	Cada mes
Cableado eléctrico y componentes electrónicos	Revisar conexiones eléctricas y el funcionamiento de los componentes electrónicos, comprobar continuidades (según criterio de los diseñadores).	Cada 4 meses

10. ANÁLISIS ECONÓMICO

10.1 COSTO DE FABRICACIÓN

Tabla 32. Costos.

PRESUPUESTO			
Cant.	Descripción	V/r Unit.	Costo
8	Resistencias	8.500	68.000
2	Ventilador	36.000	72.000
1	Lámina, perfiles y dobleces	140.000	140.000
1	Elementos eléctricos (bombillos, interruptores, cables etc)	50.000	50.000
2	Estructura y herramientas (discos, soldadura, ángulo, rodachines,tapas)	80.000	160.000
1	Tornillos, remaches y otros	30.000	30.000
5	Masilla y pintura	20.000	100.000
1	Dimmer	42.000	42.000
1	Termocupla tipo k	20.000	20.000
1	Aislamiento térmico	110.000	110.000
2	Celda de carga	22.500	45.000
1	Mano de obra (soldar, cortar, pulir, pintar)	300.000	300.000
1	Electrónica (circuitos, programas y controladores)	450.000	450.000
1	Producción intelectual	700.000	700.000
1	Gastos varios (Transportes, asesorías)	250.000	250.000
TOTAL			2.537.000

11. CONCLUSIONES

Se diseñó el sistema de calentamiento de aire, acoplando los componentes previamente seleccionados tales como; resistencias eléctricas, ventilador y termopar, los cuales cumplen a cabalidad con su función.

El equipo cuenta con la capacidad planteada, obteniendo un porcentaje de retiro de humedad considerablemente alto, el cual está sujeto a factores como el tipo de biomasa y su tamaño de muestra.

Se formuló un sistema de control ON-OFF, el cual cuenta con un setpoint base, para decidir la temperatura de secado que se desee manejar.

Se diseñó y construyó una estufa de secado por convección forzada para la EIM - UIS, completamente funcional, la cual cumple con los requerimientos estipulados.

El costo total del equipo de secado por convección forzada es de \$ 2.537.000 pesos, una ventaja ya que este valor es considerablemente inferior a los que existen en el mercado nacional e internacional, sin tomar los excedentes que se presentan por importaciones y aranceles del medio, con lo cual se concluye que la construcción de dicho equipo cumple con los requisitos para el secado de biomásas a un precio asequible y una adecuada forma de obtención de los equipos para los laboratorios pendientes por una mejora en sus instalaciones.

Durante el proceso de diseño y construcción existieron varias etapas las cuales se modificaron a medida que se fue avanzando progresivamente en el tiempo, inicialmente estaba pensado un equipo con más capacidad, pero inconvenientes presupuestales distanciaron esta posibilidad, otro ejemplo de las distintas modificaciones que se realizaron en el proceso fue el tipo de resistencias a utilizar

ya que inicialmente las propuestas no encajaban por su forma y difícil manejo, las escogidas que fueron las tipo cartucho generaban la potencia requerida e iban acorde con las condiciones de diseño en las cuales se estaba enfocado.

La principal función del equipo es generar un proceso de secado acorde con la norma ASTM E 1756 – 08, por lo tanto, la temperatura debe mantenerse en 105° aproximadamente. El equipo en pruebas mostró resultados óptimos, ya que haciendo la comparación con la mufla que actualmente se utiliza para secar, el equipo construido muestra resultados aproximados a los de la mufla, pero haciendo una reducción notable del tiempo empleado para el proceso de secado.

El equipo construido muestra favorables resultados en ahorro de tiempos de secado con las biomasas puestas a pruebas, en comparación de las reducciones de humedad que se realizan en la mufla con las mismas biomasas, con una duración de 18 horas.

12. RECOMENDACIONES

Implementar un mejor sistema de carga, ya que por altas temperaturas su comportamiento varía por el tiempo de duración sometido a dichas temperaturas, adicionándole una fuente de refrigeración para no alterar su funcionamiento.

Realizar la inversión en mejores transductores de señal, para disminuir el ruido en la recepción de los datos, y conseguir el decrecimiento en las fluctuaciones de medición, logrando mayor estabilidad en el sistema y menos porcentaje de error.

BIBLIOGRAFIA

ASTM E1756 – 08. Método de prueba estándar para la determinación de sólidos totales en biomasa. [en línea]. (aprobada 2015). [consultada: 15 de octubre de 2018] disponible en internet: [https://compass.astm.org/EDIT/html_annot.cgi?E1756+08\(2015\)](https://compass.astm.org/EDIT/html_annot.cgi?E1756+08(2015))

GEANKOPLIS, C.J. Procesos de transporte y operaciones Unitarias. Tercera Edición. Compañía Editorial Continental, S.A de CV. 1998, 1008p

KREITH, Frank y BOHN, Mark S. Principios de Transferencia de calor. México. Thomson, 2002. p. 41 - 60.

MENÉNDEZ DÍAZ, J. Ángel. El carbón en la vida cotidiana. España. 2006. ISBN: 978-1479386086.

PIZZETTI, Carlo. Acondicionamiento del aire y refrigeración. Italia. Bellisco, 1991.

SHIGLEY, Joseph E. y MISCHKE, Charles R. Diseño en ingeniería mecánica. México. McGrawHill, 2005. ISBN: 970-10-3646-8.

STACH, E, et al. Coal Petrology. Berlín. 1982.

TREYBAL, ROBERT. Transferencia de Masa. Segunda Edición. Mc Graw-Hill. 1988, 858p

ANEXOS

Anexo A. Cálculos.

Figura 53. Parte A cálculos.

Cálculo Calor teórico

$$\delta T = T_2 - T_1$$

$$T_2 = 150$$

$$T_1 = 25$$

$$C_p = 1012 \text{ Valor sacado de tablas libro de termodinámica cengel 4 edición}$$

$$m = \rho \cdot v_a \cdot A_c$$

$$\rho = 1,2016 \text{ Sacado de comparación de curvas ajustandolo a una ecuación}$$

$$v_a = 1,4 \text{ [m/s] Velocidad Media}$$

$$A_c = L \cdot L$$

$$L = 0,12 \text{ [m]}$$

$$Q_{\text{teo}} = m \cdot C_p \cdot \delta T$$

Figura 54. Parte B cálculos.

Cálculo de calor de pérdidas

$$Q_{\text{resis}} = N_{\text{resis}} \cdot Pot_{\text{resis}}$$

$$N_{\text{resis}} = 8$$

$$Pot_{\text{resis}} = 386,4 \text{ [W]}$$

$$Q_{\text{resis}} = Q_{\text{total}}$$

$$Q_{\text{resis}} = Q_{\text{teo}} + Q_{\text{per}}$$

$$Q_{\text{per}} = -\frac{k \cdot A_c}{e} \cdot (T_{\text{maxsup}} - 40 + T_{\text{maxinf}} - 40 + T_{\text{maxizq}} - 40 + T_{\text{maxder}} - 40)$$

Figura 55. Parte C cálculos.

$$k = 0,07 \text{ [W/mK] Catálogo de aislamiento}$$

$$A = 0,0144 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$T_{\text{maxsup}} = 148,5$$

$$T_{\text{maxinf}} = 117,8$$

$$T_{\text{maxizq}} = 115,1$$

$$T_{\text{maxder}} = 116,4$$

Figura 56. Resultados de los cálculos en el EES.

$A = 0,0144 \text{ [m}^2\text{]}$	$A_c = 0,0144$	$C_p = 1012$	$\delta T = 125$
$e = 0,01269$	$k = 0,07 \text{ [W/mK]}$	$L = 0,12 \text{ [m]}$	$m = 0,02422$
$N_{\text{resis}} = 8$	$\text{Pot}_{\text{resis}} = 386,4 \text{ [W]}$	$Q_{\text{per}} = 26,83$	$Q_{\text{resis}} = 3091$
$Q_{\text{teo}} = 3064$	$Q_{\text{total}} = 3091$	$\rho = 1,202$	$T_1 = 25$
$T_2 = 150$	$T_{\text{maxder}} = 116,4$	$T_{\text{maxinf}} = 117,8$	$T_{\text{maxizq}} = 115,1$
$T_{\text{maxsup}} = 148,5$	$v_a = 1,4 \text{ [m/s]}$		

En los resultados obtenidos por el software EES, tenemos:

Espesor: $e=0,01269 \text{ [m]}$, sería 1.269 cm, un aproximado de aislante de 1.3 [cm].

Calor teórico: $Q=3064 \text{ [W]}$.

Calor emitido por las resistencias: 3091 [W].

Calor perdido: 26.83 [W].

Calor total: 3091 [W].

Anexo B. Diagramas Eléctricos.

Figura 57. Circuito electrónico.

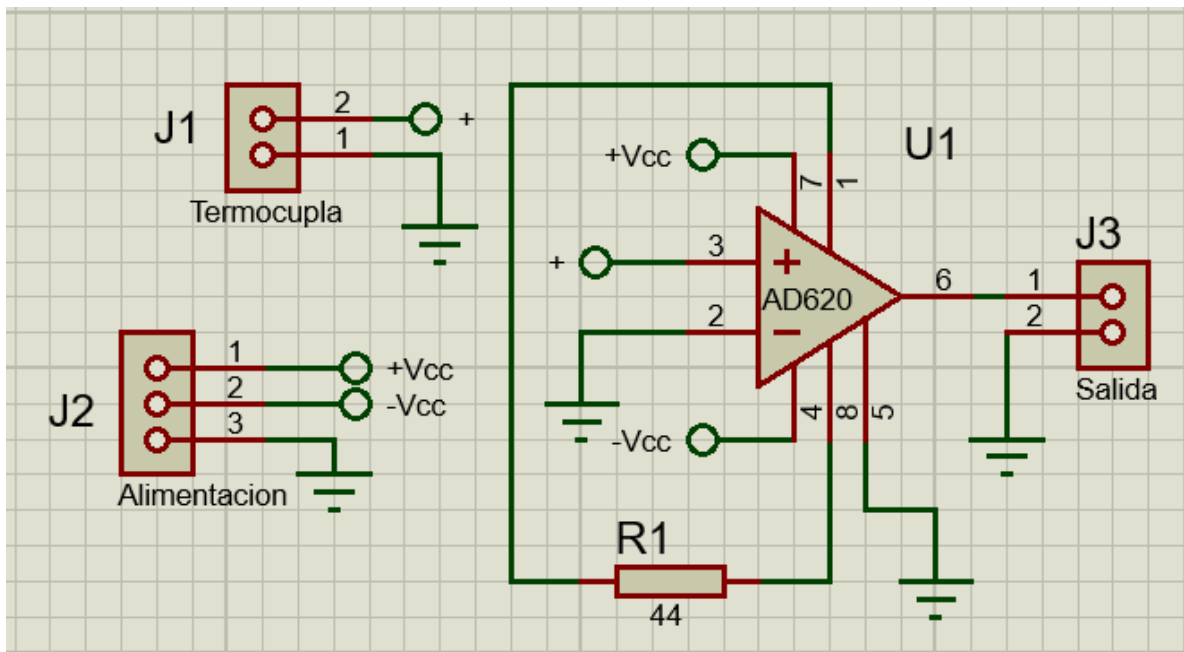


Figura 58. Distribución de caminos del circuito.

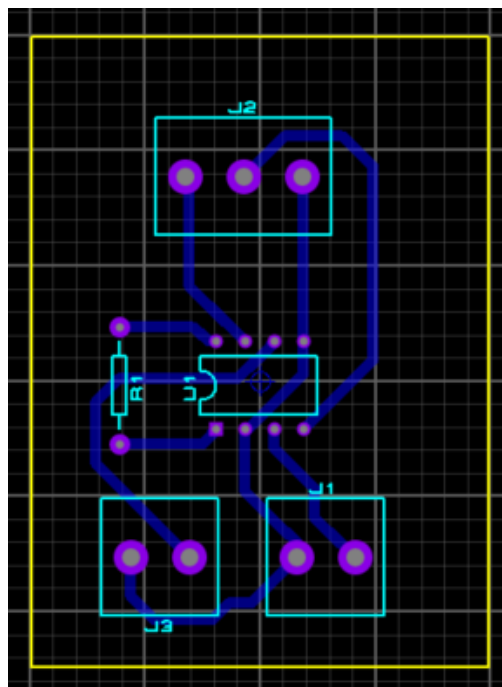


Figura 59. Posición componentes del circuito.

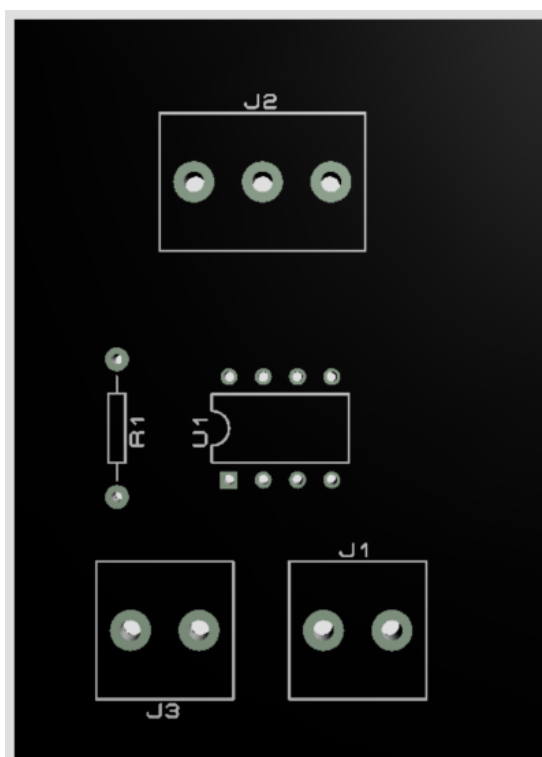
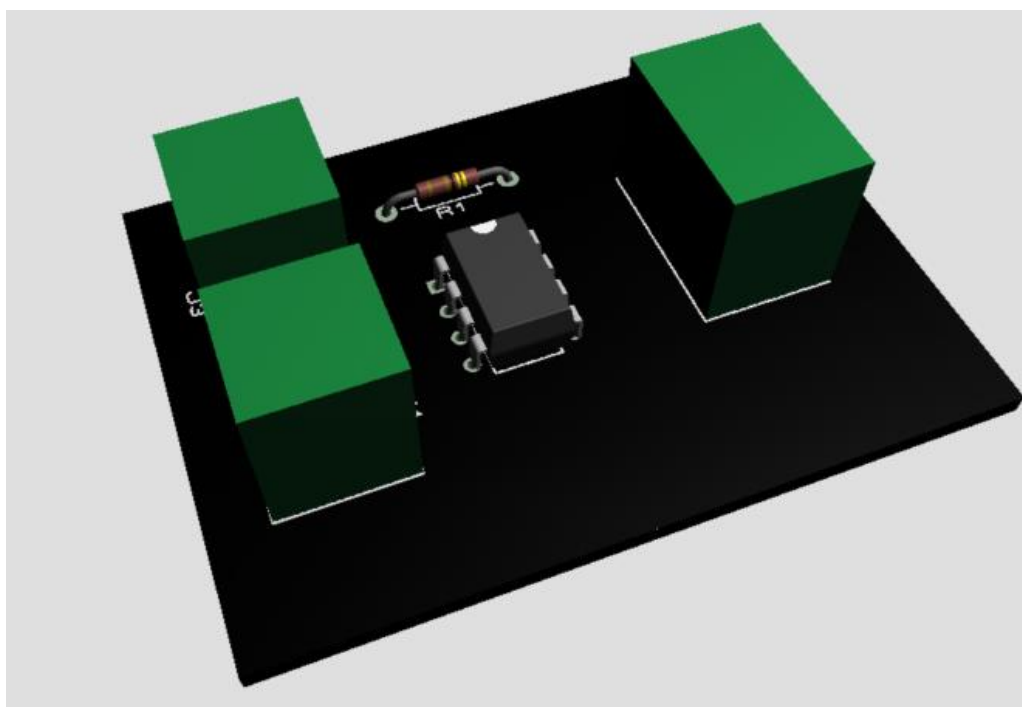


Figura 60. Circuito en 3D.



Este circuito se realizó para la adecuación y amplificación de la señal emitida por la termocupla, ya que la tarjeta MyDAQ en la cual se establece el control, no alcanza a percibir la baja señal de la termocupla y para su óptima lectura fue necesario dicho circuito en aras de un buen funcionamiento.

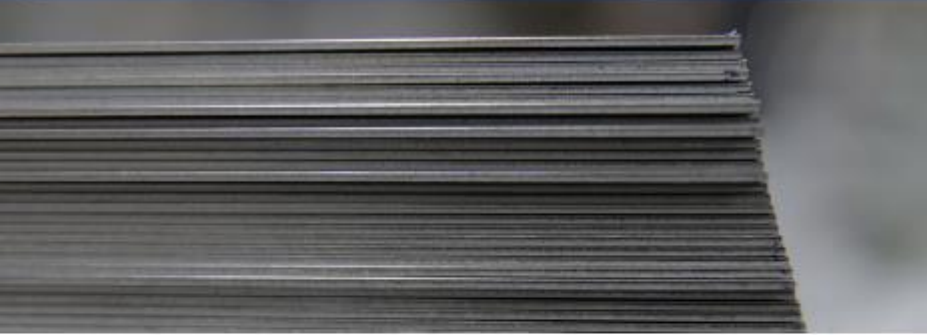
Anexo C. Catálogos ángulos, laminas.

Figura 61. Catalogo lámina de acero inoxidable.





ACERO INOXIDABLE PLANO



LÁMINA

Láminas de acero inoxidable en diferentes tipos de acero AISI, con diferentes acabados, recubrimientos y calibres.

Calibres

26, 24, 22, 20, 18, 16, 14, 13, 12, 11, 10

Medidas

3' x 10' | 4' x 8' | 4' x 10' | 5' x 10' | 5' x 12' | 5' x 20'

Acabados

Mate (2B), Pulido (P3), Pulido (P4), Espejo (BA), otros sobre pedido.

Tipos de Acero AISI

201, 204, 301, 304, 304L, 310, 316, 316L, 430, 441

Recubrimientos

Vinil Azul, Vinil Láser, Vinil Black & White, otros sobre pedido.

Ver más

integrinox.com/lamina

Fuente: Web. Disponible en: <https://integrinox.com/CatalogoIntegrinox.pdf>

Para la fabricación del túnel de secado, se tomó una lámina de acero inoxidable de calibre 22, por su maleabilidad, resistencia y criterio de diseño, también por el funcionamiento del equipo.

Figura 62. Catálogo de ángulos.



ÁNGULOS DE LADOS IGUALES Y DESIGUALES

Resistencia y durabilidad.
Es un hecho.

Productos de acero laminados en caliente fabricados en grado de acero estructural ASTM-A-36, se suministran en tramos de 6.10 mts. y 12.20 mts.

ÁNGULOS DE LADOS IGUALES

MEDIDA ESTÁNDAR		PESO		ÁREA	
in	mm	lb/ft	kg/m	cm ²	cm ²
1/8"	3.18	19.05	0.88	5.368	1.31
1"	25.4	139	7.259	1.52	
1 1/4"	31.75	1.5	9.35	1.95	
1 1/2"	38.1	1.85	11.363	2.84	
1 3/4"	44.45	2.34	13.054	2.74	
2"	50.8	2.46	15.006	3.1	
3/16"	4.76	25.4	1.75	10.553	2.21
1 1/4"	31.75	2.2	13.42	2.79	
1 1/2"	38.1	2.68	16.348	3.43	
1 3/4"	44.45	3.35	19.265	4.03	
2"	50.8	3.63	22.141	4.61	
2 1/2"	63.5	4.61	28.121	5.81	
3"	76.2	5.52	33.672	7.03	
3 1/2"	88.9	6.55	39.995	8.36	
1/4"	6.35	25.4	2.22	13.542	2.8
1 1/4"	31.75	2.86	17.446	3.72	
1 1/2"	38.1	3.48	21.228	4.4	
1 3/4"	44.45	4.12	25.112	5.2	
2"	50.8	4.75	28.975	6.06	
2 1/2"	63.5	6.1	37.21	7.68	
3"	76.2	7.29	44.469	9.29	
3 1/2"	88.9	8.63	52.643	10.9	
4"	101.6	9.82	59.902	12.52	

MEDIDA ESTÁNDAR		PESO		ÁREA	
in	mm	lb/ft	kg/m	cm ²	cm ²
5/16"	7.94	50.8	3.85	25.565	7.42
2 1/2"	63.5	7.44	45.384	9.48	
3"	76.2	9.08	55.388	11.48	
3 1/2"	88.9	10.71	65.521	13.48	
4"	101.6	12.2	74.42	15.48	
5"	127	15.47	94.567	19.723	
3/8"	9.52	50.8	6.99	42.639	8.77
2 1/2"	63.5	8.78	51.558	11.36	
3"	76.2	10.72	65.392	13.61	
3 1/2"	88.9	12.65	77.665	16	
4"	101.6	14.58	88.938	18.45	
5"	127	18.3	114.61	23.29	
6"	152.4	22.17	135.217	28.13	
1/2"	12.7	76.2	15.99	85.539	17.74
3 1/2"	88.9	16.52	100.772	20.57	
4"	101.6	19.08	116.305	24.39	
5"	127	24.8	147.071	30.65	
6"	152.4	29.37	177.937	37.1	
5/8"	15.88	101.6	23.36	142.496	35.1
6"	152.4	36.01	209.661	45.87	
3/4"	19.05	152.4	42.71	260.531	54.45

ÁNGULOS DE LADOS DESIGUALES

DIMENSIONES D X B		PESO	
in	mm	lb/ft	kg/m
6 X 4 X 5/16	152.4 X 101.6 X 7.9	15.11	10.30
6 X 4 X 3/8	152.4 X 101.6 X 9.5	18.30	12.30
6 X 4 X 1/2	152.4 X 101.6 X 12.7	24.31	16.30
6 X 4 X 5/8	152.4 X 101.6 X 15.9	29.76	20.00
6 X 4 X 3/4	152.4 X 101.6 X 19	35.12	23.60

DESIGNACIÓN:
S 80 peso en lb de acuerdo a la
sección en lb.
ASTM-A-36
S 80 peso en lb de acuerdo a la
sección en lb.
ASTM-A-36 / A-572-50 con
las siguientes propiedades
mecánicas.

ACERO	PUNTO DE CEDENCIA	RESISTENCIA A LA TENSION	% DE ELONGACIÓN
A-36	26 KSI Mínimo	58 A 80 KSI	58 8"
A-572-50	50 KSI Mínimo	65 KSI Mínimo	20 Mts. 23 Mts.
			18 Mts. 21 Mts.

DESIGNACIÓN:
(Consultar tabla sobre soldadura) El peso está calculado con estadísticas estadísticas y
normalización que en estos cálculos de acero estructural en peso de 1500 lb.



REPRESENTANTES DE VENTAS
EN TODA LA REPÚBLICA MEXICANA
T (81) 8989 8989
ventas@villacero.com
WWW.VILLACERO.COM

MONTERREY, NL
TORRE VILLACERO
AV. OCAÑO 260 PTE
ZONA CENTRO C.P. 64000
T (81) 8989 8989
F (81) 8989 8989

MÉXICO, D.F.
POMERANIE 288 No. 672
FRACC. INDUSTRIAL VALLEJO
C.P. 02300
T (55) 3000 0000
F (55) 3000 0000

GUADALAJARA, JAL.
PROLONGACIÓN COLÓN No. 4700
COL. PARQUES DE COLÓN
C.P. 45501
T (33) 3881 1070
F (33) 3826 7164

CÓRDOBA, VER.
RUA 10 CALLE 1000 FEDERAL
COL. VENTA PARADA AMATELÁN
DE LOS REYES
C.P. 84046
T (271) 776 6266

Fuente: Web. Disponible en:
https://www.villacero.com/images/pdf/esp/angulos_lados_iguales.pdf

Para la base se escogió un ángulo de acero estructural laminado al caliente ASTM – A – 36, de medida 3/4*1/8.

Anexo D. Catálogo aislamiento.

Figura 63. Características del aislamiento.

Producto : MANTA KAOWOOL ZR 1400

INFORMACION TECNICA

DESCRIPCION

- Disponibles, para entrega inmediata, en diferentes combinaciones de medidas y densidades.
- Baja conductividad térmica y energía térmica almacenada.
- Elevada resistencia a choques térmicos y ataques químicos.
- Buenas características acústicas y de protección contra-fuego.
- Alta flexibilidad, facilitando cortes e instalación.
- Alta refractoriedad.

La manta Kaowool 1400 es producida a partir de sílice y alúmina de alta pureza. Resultando fibras refractarias totalmente inorgánicas, densificadas y entrelazadas de forma de garantizar buena resistencia mecánica durante el manipuleo e instalación.

PROPIEDADES FISICAS

Color	Blanco
Densidad(kg/m³).....	96-160
Espesor	6-51
Temperatura Máxima de Uso (°C).....	1300
Uso Límite	1400
Punto de Fusión (°C)	1816
Diámetro de las Fibras (μ,medio)	2,8
Largo de Fibras (cm,medio).....	10-25

COMPOSICION QUIMICA TIPICA

(% peso, después de quemado)	
Alúmina (Al ₂ O ₃)	35
Sílice (SiO ₂)	50
Zircon (ZrO ₂)	15
Otros.....	trazos

PROPIEDADES QUIMICAS

Los productos de fibra cerámica Kaowool poseen excelente resistencia a los ataques químicos, excepto al ácido fluorhídrico, fosfórico y álcalis fuertes (ej. Na₂O,K₂O). La manta no es afectada por el aceite o el agua. Sus propiedades térmicas y físicas son restauradas al secarse.

RESISTIVIDAD TERMICA (R)

El valor de la resistividad térmica de la fibra cerámica es definido como la inversa de la conductividad térmica multiplicada por el espesor (mm). El valor de R a 21°C según la norma ASTM C518-76 para 25mm y 96kg/m³ es 0,163/mm.

PROPIEDADES TERMICAS

(CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (Btu.in/ft².h.°F)
X TEMPERATURA MÉDIA(°F)) ASTM C 201.

Temperatura media, 8 pcf	BTU.in/ft ² . h.°F	W/mK	Temperatura media, 4 pcf	BTU.in/ft ² . h.°F	W/mK
500°F (260°C)	0.44	0.06	500°F (260°C)	0.54	0.08
1000°F (538°C)	0.93	0.13	1000°F (538°C)	1.34	0.19
1500°F (816°C)	1.60	0.23	1500°F (816°C)	2.48	0.36
1800°F (982°C)	2.05	0.30	1800°F (982°C)	3.23	0.47
2000°F (1093°C)	2.34	0.34	2000°F (1093°C)	3.74	0.54
Temperatura media, 6 pcf					
500°F (260°C)	0.47	0.07			
1000°F (538°C)	1.06	0.15			
1500°F (816°C)	1.90	0.27			
1800°F (982°C)	2.45	0.35			
2000°F (1093°C)	2.83	0.41			

APLICACIONES TÍPICAS

- Revestimientos de hornos
- Intercambiadores de calor
- Turbinas a gas
- Estufas y hornos de laboratorio
- Craqueadores catalíticos
- Reparación de hornos
- Sellado y revestimientos de puertas de hornos
- Filtros para altas temperaturas
- "Skid rails y cross pipes"
- Tratamientos Acústicos

DIMENSIONES PATRONES

La manta Kaowool es fabricada en los siguientes espesores y dimensiones:

Rollo patrón.....7620 x 610mm

Espesores.....13, 25, 38 y 51 mm

Densidades (kg/m³).....96, 128 y 160

Observaciones: existen otras combinaciones de densidades y espesores. Consulte al Depto. de Ventas de Carbo San Luis S.A.

PROTECCION CONTRA-FUEGO

(UL723/ASTM E-84)

Desarrollo de humo.....0

Contribución como combustible.....0

Propagación de lama.....0

ORIENTACION PARA APLICACIÓN EN CAPAS

Aplicación en techo (anclajes/m²).....19

Aplicación en paredes (anclajes/m²).....12

Rev.03, 28/10/05

Observaciones

1. Producto fabricado bajo licencia de Thermal Ceramics Inc., EE.UU.
2. Los valores indicados son típicos y no deben considerarse como especificados o garantizados.
3. Ver hoja de aplicación del producto.

Fuente: Web. Disponible en: <https://www.marbex.com.uy/site/mt-content/uploads/2017/09/manta-de-fibra-de-ceramica.pdf>

Anexo E. Norma ASTM de secado.

Figura 64. Norma ASTM de secado.

This international standard was developed in accordance with internationally recognized principles on standardization established in the Decision on Principles for the Development of International Standards, Guides and Recommendations issued by the World Trade Organization Technical Barriers to Trade (TBT) Committee.

 Designation: E1756 – 08 (Reapproved 2015)

**Standard Test Method for
Determination of Total Solids in Biomass¹**

This standard is issued under the fixed designation E1756; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

INTRODUCTION

The total solids content is used to adjust the mass of the biomass so that all analytical results may be reported on a moisture-free basis. Total solids content may be determined by overnight drying at 105°C in a convection oven or with a loss-on-drying moisture analyzer.

1. Scope

1.1 This test method covers the determination of the amount of total solids remaining after drying a sample. Materials suitable for this procedure include samples prepared in accordance with Practice E1757 and extractive-free material prepared in accordance with Test Method E1690. For particulate wood fuels, Test Method E871 should be used.

1.2 The values stated in SI units are to be regarded as standard. No other units of measurement are included in this standard.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*²

E871 Test Method for Moisture Analysis of Particulate Wood Fuels

E1690 Test Method for Determination of Ethanol Extractives in Biomass

E1757 Practice for Preparation of Biomass for Compositional Analysis

3. Terminology

3.1 *Definitions of Terms Specific to This Standard:*

3.1.1 *oven-dried solids*—the solids remaining after heating the prepared biomass at 105°C to constant mass. For the purposes of this procedure, the moisture content of a biomass sample is considered to be the amount of mass lost during the drying of the sample at 105°C to constant mass. An inherent error of this and any oven-drying procedure is that volatile substances other than water are removed from the sample during drying.

3.1.2 *prepared biomass*—the biomass that has been processed according to Practice E1757.

4. Significance and Use

4.1 Moisture is a ubiquitous and variable component of any biomass sample. Moisture is not considered a structural component of biomass and can change with storage and handling of biomass samples. The determination of the total solids content allows for the correction of biomass samples to an oven-dried solids mass that is constant for a particular sample.

4.2 This procedure is not suitable for biomass samples that visibly change on heating to 105°C, for example, unwashed acid-pretreated biomass still containing free acid.

4.3 Some materials that contain large amount of free sugars or proteins will caramelize or brown under direct infrared heating elements used in Test Method B. Total solids in these materials should be done by Test Method A.

5. Apparatus and Materials

5.1 *Analytical Balance*, sensitive to 0.1 mg.

5.2 *Drying Oven*, 105 ± 3°C (Test Method A only).

5.3 *Desiccator*, containing anhydrous calcium sulfate (Test Method A only).

¹This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee E48 on Bioenergy and Industrial Chemicals from Biomass and is the direct responsibility of Subcommittee E48.05 on Biomass Conversion.

Current edition approved June 1, 2015. Published July 2015. Originally approved in 1995. Last previous edition approved in 2008 as E1756-08. DOI: 10.1520/E1756-08R15.

²For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For Annual Book of ASTM Standards volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

TABLE 1 Critical Difference, Percent of Grand Average, For the Conditions Noted^{a,b}

Test Conditions	Number of Observations in Each Average	Single Operator Precision
Test Method A, hybrid poplar	1	0.66
	2	0.39
Test Method A, fermentation residue	1	1.36
	2	0.95
Test Method B, hybrid poplar	1	0.66
	2	0.40
Test Method B, switchgrass	1	0.89
	2	0.63

^a The critical differences were calculated with $\alpha = 1.960$.^b To convert the values of the critical differences to units of measure, multiply the critical differences by the average of the two specific sets of data being compared and divide by 100.TABLE 2 Width of 95 % Confidence Limits, Percent of Grand Average, For the Conditions Noted^{a,b}

Test Conditions	Number of Observations in Each Average	Single Operator Precision
Test Method A, hybrid poplar	1	0.39
	2	0.28
Test Method A, fermentation residue	1	0.95
	2	0.67
Test Method B, hybrid poplar	1	0.40
	2	0.28
Test Method B, switchgrass	1	0.63
	2	0.45

^a The critical differences were calculated with $\alpha = 1.960$.^b To convert the values of the critical differences to units of measure, multiply the critical differences by the average of the two specific sets of data being compared and divide by 100.

5.4 *Moisture Analyzer*,³ infrared heated, 20 g capacity, 1 mg resolution (Test Method B only).

5.5 *Drying Pan*, disposable, aluminum, 10 cm diameter, suitable for moisture analyzer (Test Method B only).

6. Sampling

6.1 The sample is material prepared according to Practice E1757 or extractives-free material prepared according to Test Method E1690.

7. Procedure: Test Method A

7.1 This test method is suitable for either prepared biomass samples or extractives-free material and employs drying the sample at $105 \pm 3^\circ\text{C}$ in a drying oven.

7.2 Uniquely mark a suitable container, such as disposable aluminum weighing pan or 50 mL beaker, for each sample and place in the drying oven at 105°C for at least one hour. Cool the containers to room temperature in the desiccator.

7.3 Weigh each container on the analytical balance to the nearest 0.1 mg. Record this as the tare mass, m_t .

7.4 Weigh a nominal 0.5 g of sample into the marked, tared container to the nearest 0.1 mg. Record the mass of the biomass plus container as the initial mass, m_{i1} .

7.5 Place the sample in the drying oven at $105 \pm 3^\circ\text{C}$ for at least 3 h but not longer than 72 h. Allow the samples to cool to room temperature in a desiccator. Weigh each sample to the nearest 0.1 mg and record this mass. After weighing, return the samples to the drying oven at 105°C for 1 h, cool again in the desiccator, and weigh again. Repeat this step until the mass of the samples varies by less than 0.3 mg from the previous weighing. Record this mass as the final mass, m_{f1} .

³ The sole source of supply of the Denver Instruments, Model IR-120 known to the committee at this time is Denver Instrument Company, 1401 17th St. Suite 750, Denver, CO 80202. If you are aware of alternative suppliers, please provide this information to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee,¹ which you may attend.

8. Calculation: Test Method A

8.1 Calculate the mass percent of the total solids obtained by drying at 105°C as

$$\%T_{105} = (m_{f1} - m_t) / (m_{i1} - m_t) \times 100\% \quad (1)$$

where:

$\%T_{105}$ = mass percent of total solids based on 105°C dry mass,
 m_t = tare mass of dried container,
 m_{i1} = initial mass of container and biomass, and
 m_{f1} = final mass of container and biomass after drying at 105°C .

9. Procedure: Test Method B

9.1 This test method is suitable for either prepared biomass samples or extractives-free material and employs an automated moisture analyzer. This test method is not suitable for materials with bulk densities of less than 0.1 g/cm^3 .

9.2 Set the standby temperature to 60°C and allow the instrument to warm-up for 30 min. Set the drying temperature to 105°C . The drying program should be set to end when the sample mass changes less than 0.05 % in mass per minute.

9.3 Tare a disposable aluminum drying pan on the analyzer's balance according to the manufacturer instructions.

9.4 Measure $2.0 \pm 0.2 \text{ g}$ of sample onto the drying pan. The sample must be spread in a thin, even layer that completely covers the bottom of the pan. Record the initial mass of the prepared biomass, m_{i2} , when the balance stabilizes.

9.5 Start the drying program according to the manufacturer's instructions. Upon termination of the drying cycle, record the final moisture-free solids mass, m_{f2} .

10. Calculation: Test Method B

10.1 Calculate the mass percent of the total solids obtained by drying at 105°C as:

$$\%T_{105} = (m_{f2} / m_{i2}) \times 100\% \quad (2)$$

where:

$\%T_{105}$ = mass percent total solids based on 105°C dry mass,
 m_{i2} = initial mass of sample, and

m_{f2} = final mass of sample.

11. Precision and Bias

11.1 *Summary*—In comparing two single observations from the analysis of hybrid poplar using Test Method A, the difference should not exceed 0.55 % of the average of the two observations in 95 out of 100 cases when both observations are taken by the same well-trained operator using this procedure and specimens randomly drawn from the same sample of material.⁴ When analyzing washed, lyophilized fermentation residues by Test Method A, the difference should not exceed 1.35 %. In comparing two single observations from the analysis of hybrid poplar and switchgrass using Test Method B, the difference should not exceed 0.56 and 0.89 %, respectively.

⁴ Vincent, T. B., Prefrick, L., Nagle, N. J., Eberman, C. L., Reynolds, J. R., and Himmel, M. E., "SSF Comparison of Selected Woods From Southern Sawmills," *Applied Biochemistry and Biotechnology*, Vol. 45/46, 1994, pp. 611-626.

The true total solids value can only be defined in terms of this procedure. Within this limitation, this test method has no known bias.

11.2 *Critical Differences*—The observed total solids values should be considered significantly different at the 95 % probability level if the difference equals or exceeds the critical differences given in Table 1.

11.3 *Confidence Limits*—Single averages of observed values have the 95 % confidence limits given in Table 2.

NOTE 1—The values of the critical differences and confidence limits should be considered to be a general statement.

11.4 *Bias*—The procedure in this test method has no bias because the value of the total solids is defined in terms of the test method. Changes in the drying parameters may vary the observed total solids content.

12. Keywords

12.1 agricultural residue; biomass; fermentation residue; herbaceous; moisture; total solids; wastepaper; wood

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19380-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-833-6585 (phone), 610-833-6555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org). Permission rights to photocopy the standard may also be secured from the Copyright Clearance Center, 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923, Tel: (978) 848-2600; <http://www.copyright.com/>

Fuente: <https://www.astm.org/Standards/E1756.htm>

Esta norma de la ASTM nos da las putas para realizar un secado por norma, a fin de comparar con el prototipo de máquina de secado.

Anexo F. Planos equipo de secado.

Figura 65. Ensamble general.

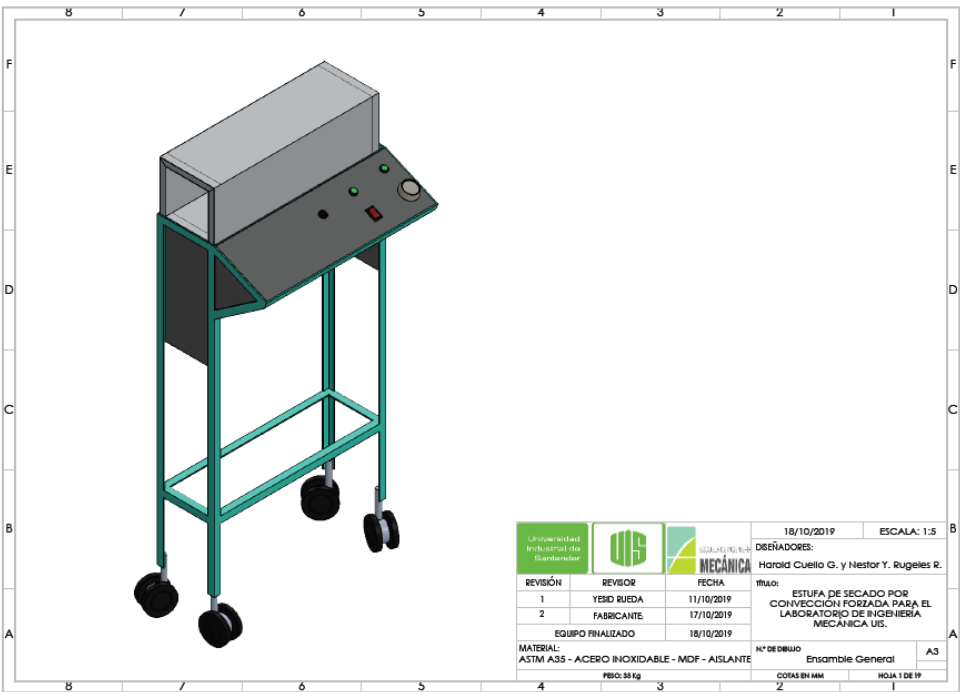


Figura 66. Túnel de secado.

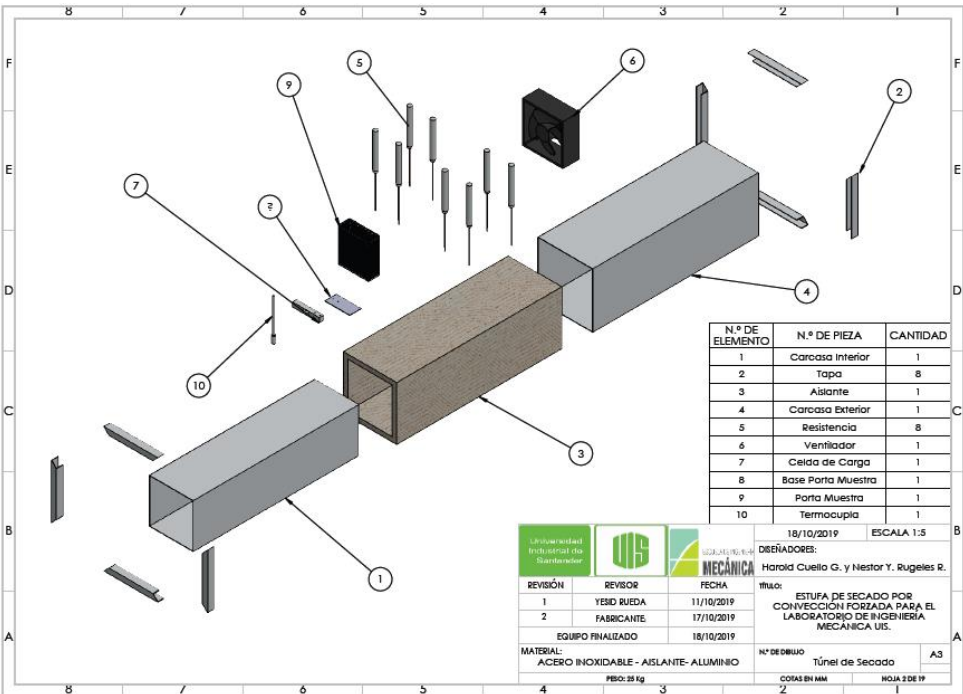


Figura 67. Carcasa interior.

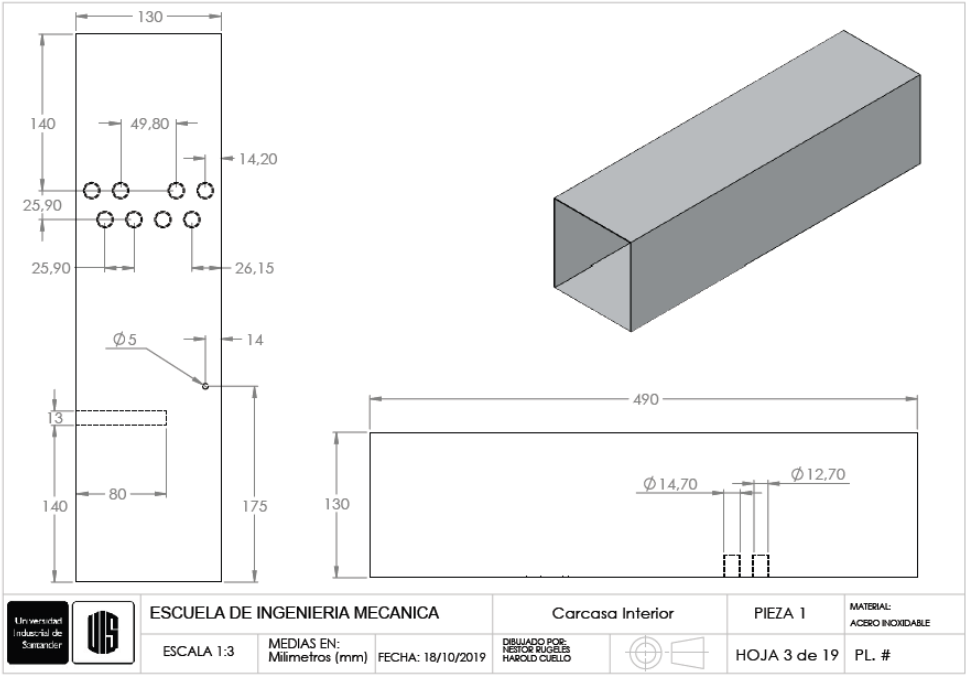


Figura 68. Tapa en el extremo.

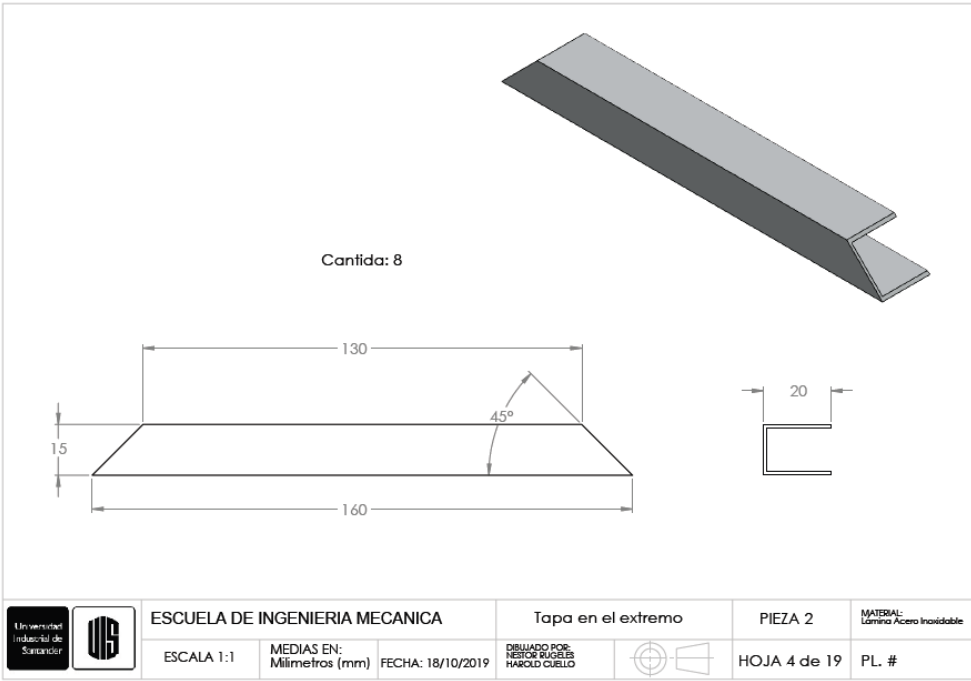


Figura 69. Aislante térmico.

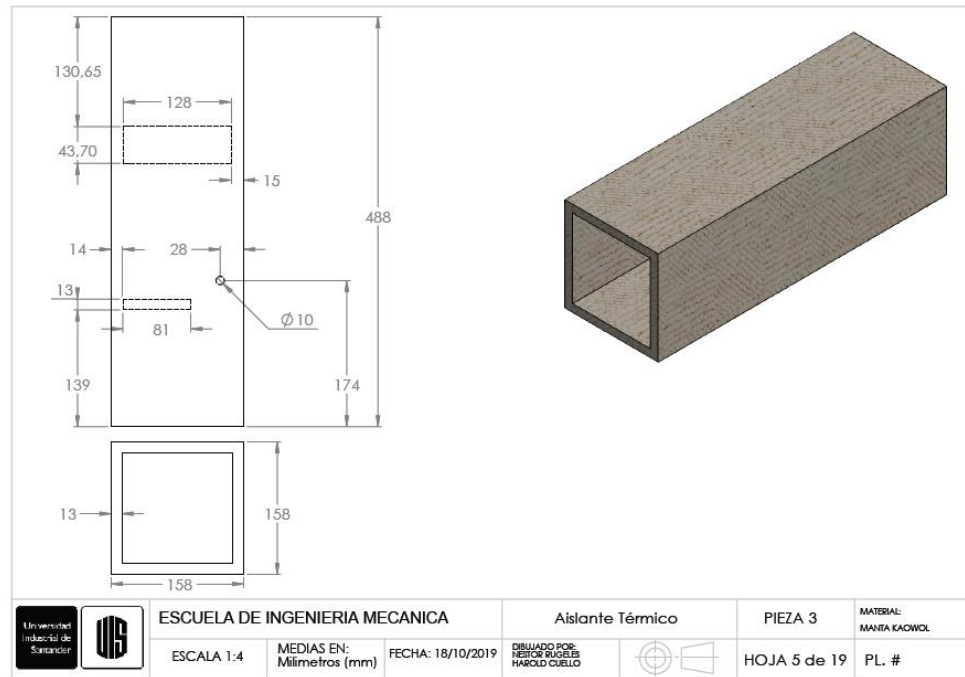


Figura 70. Carcasa exterior.

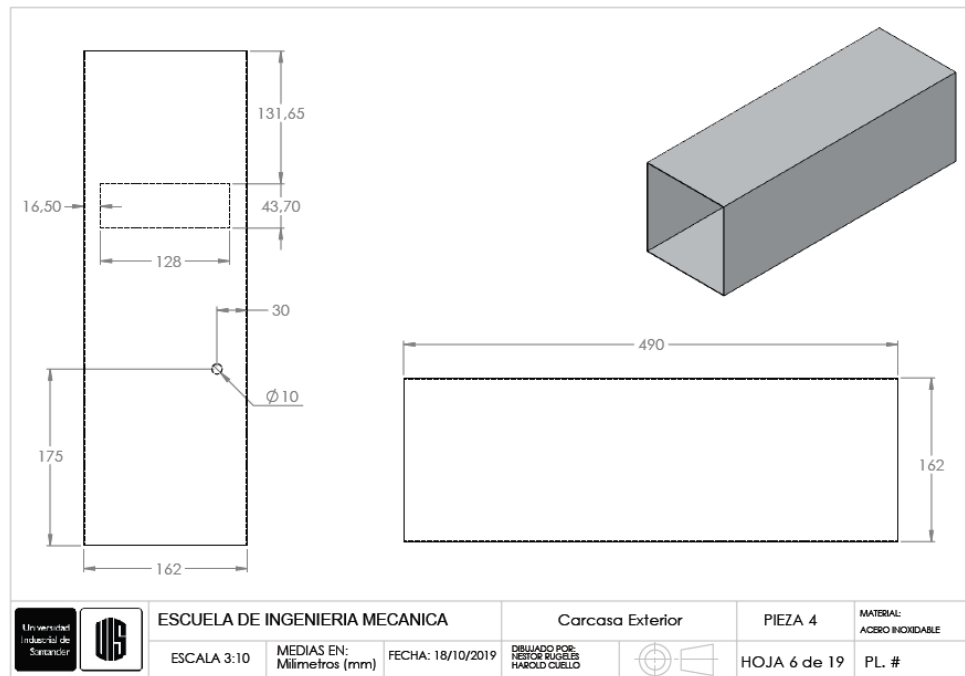


Figura 71. Resistencia.

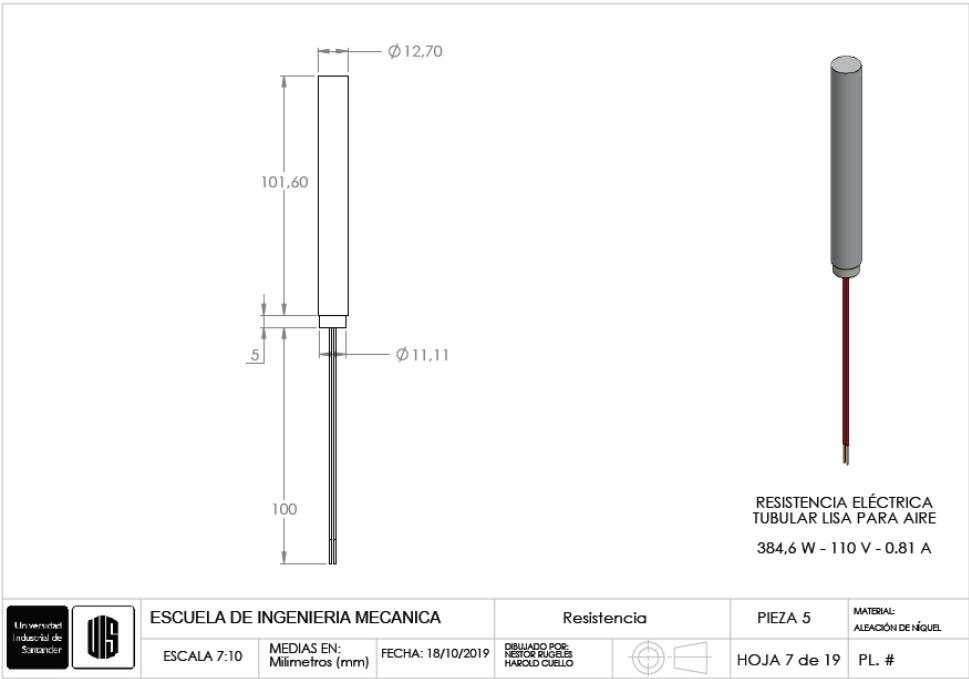


Figura 72. Ventilador.

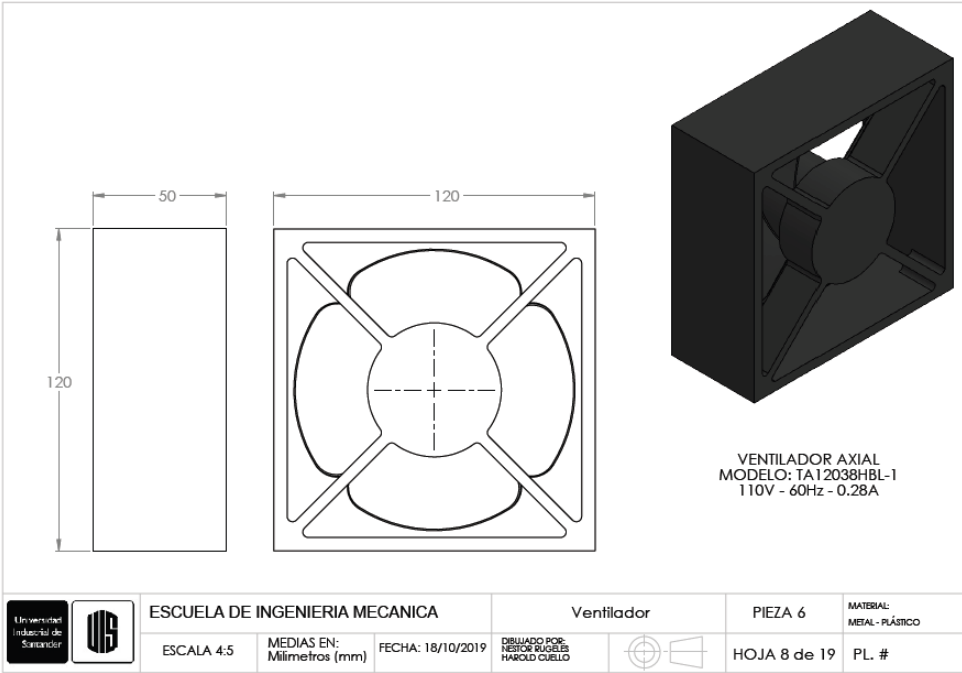


Figura 73. Celda de carga.

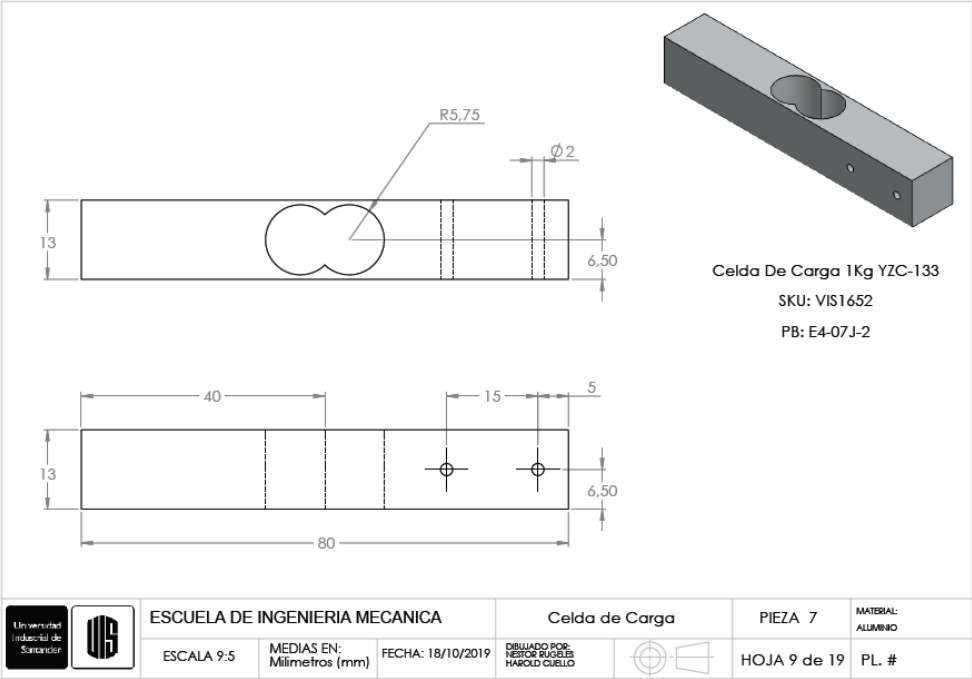


Figura 74. Base porta muestra.

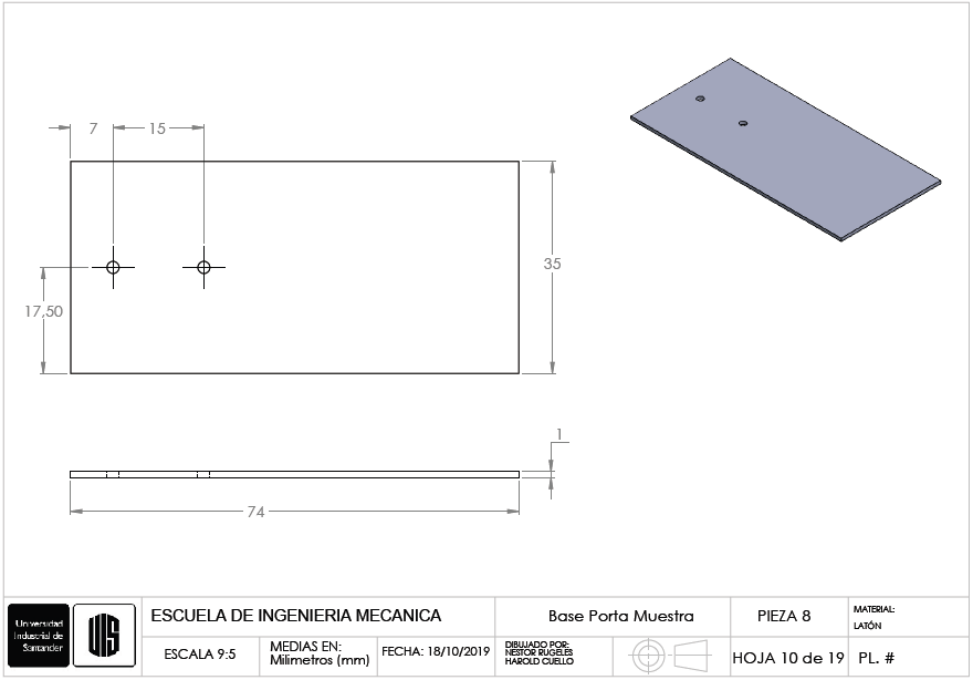


Figura 75. Porta muestra.

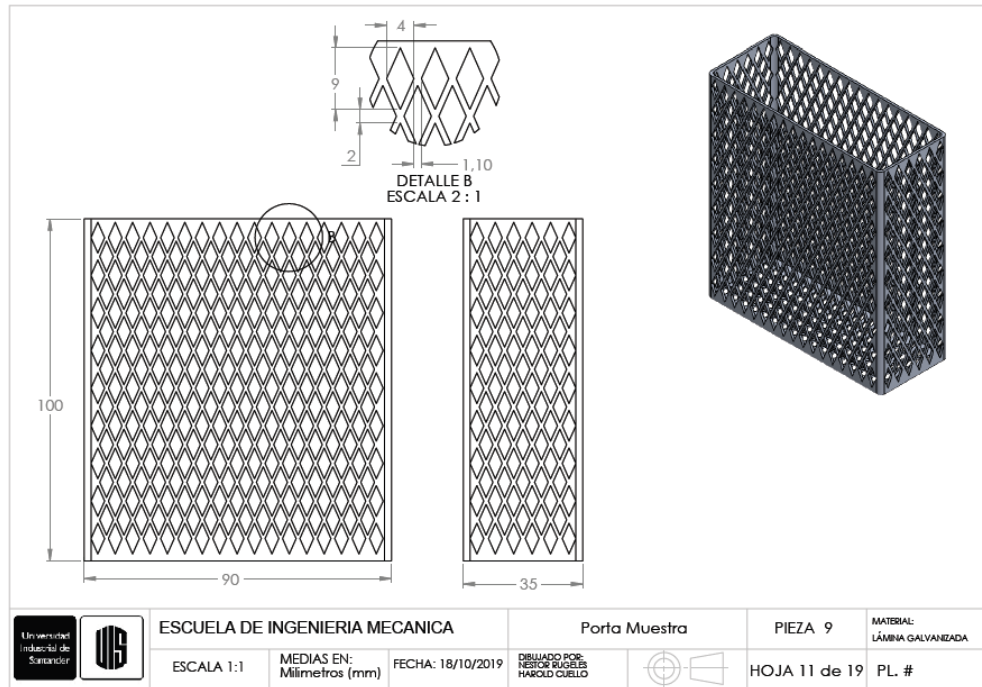


Figura 76. Termocupla.

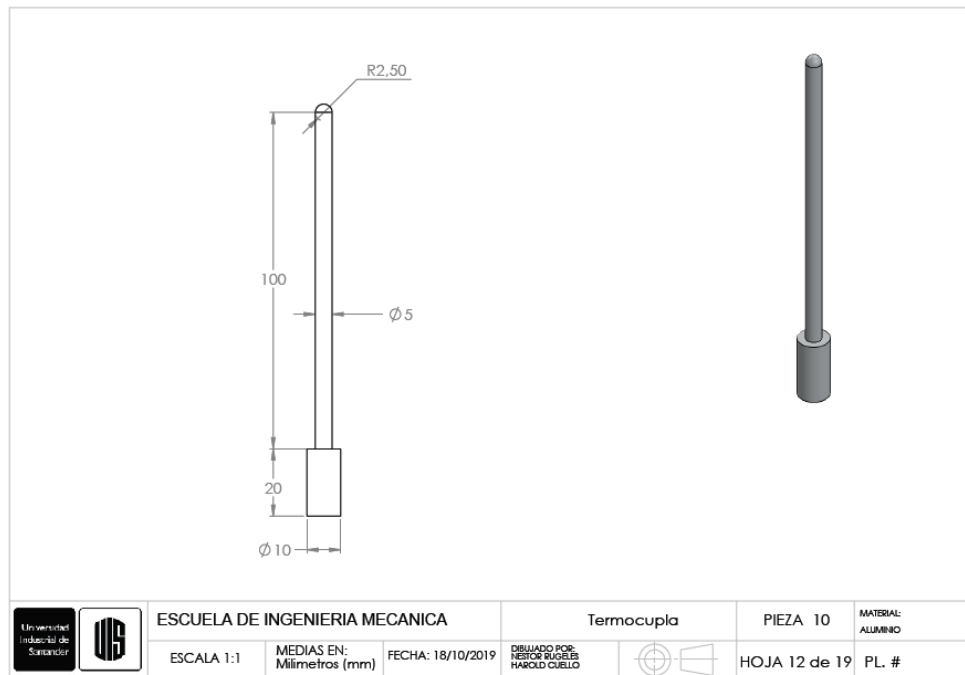


Figura 77. Base de la estufa.

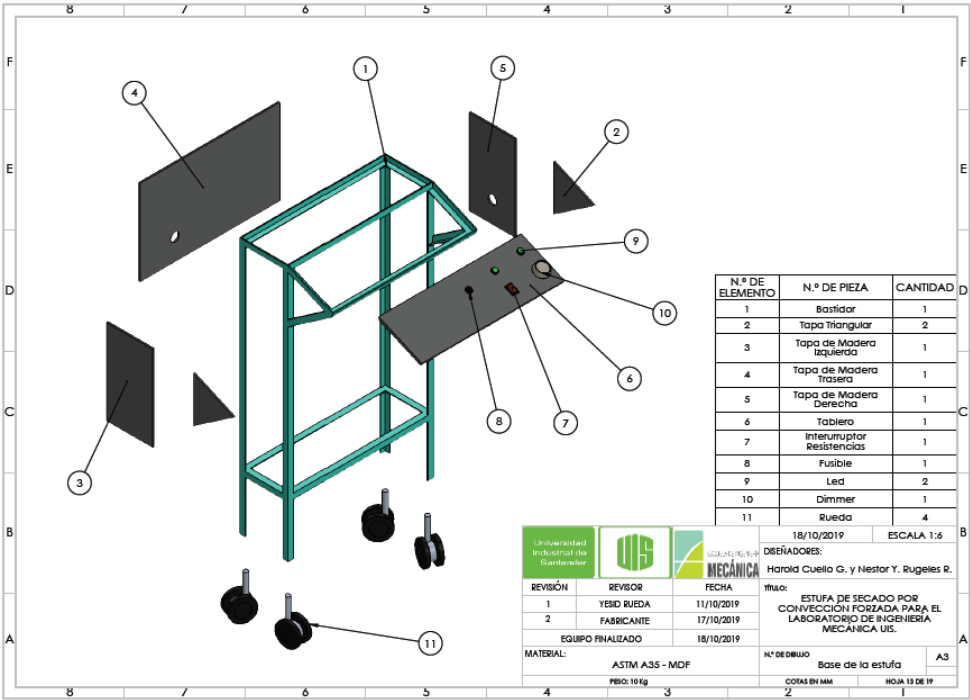


Figura 78. Bastidor.

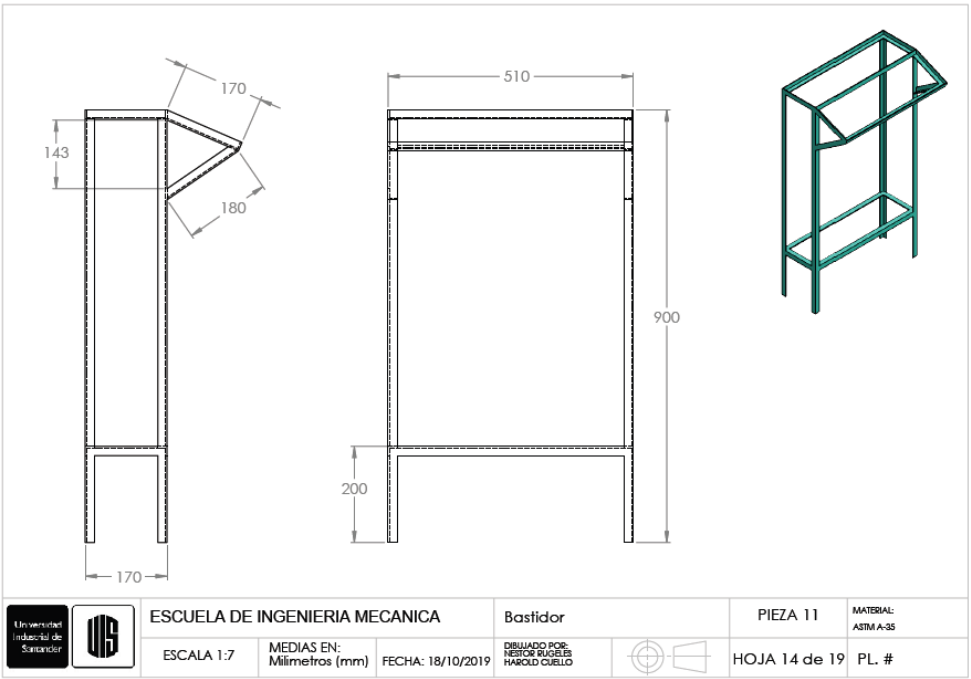


Figura 79. Tapa triangular.

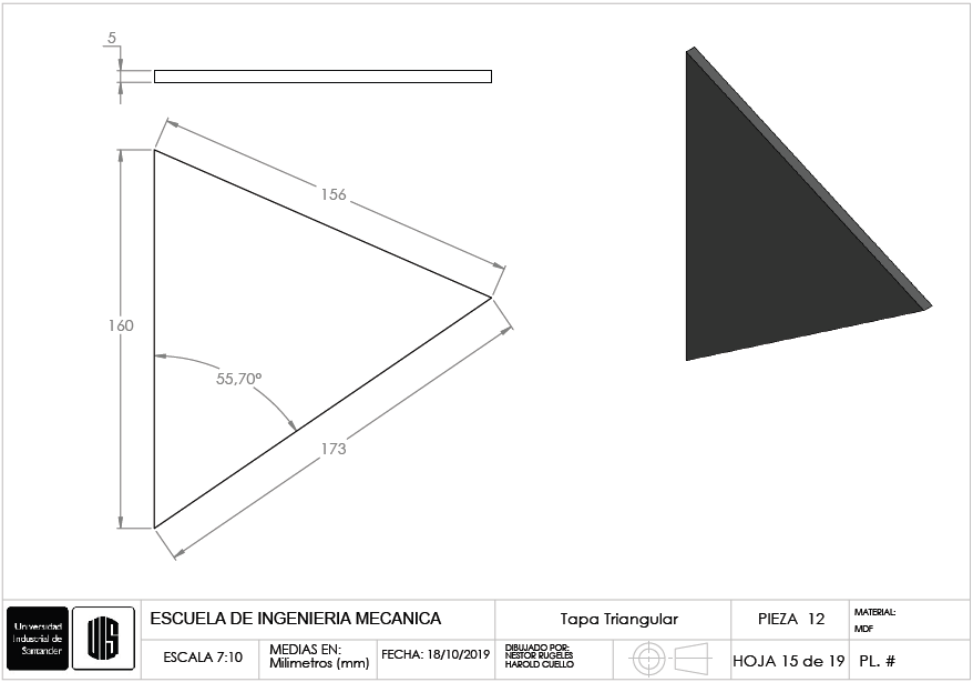


Figura 80. Tapa izquierda.

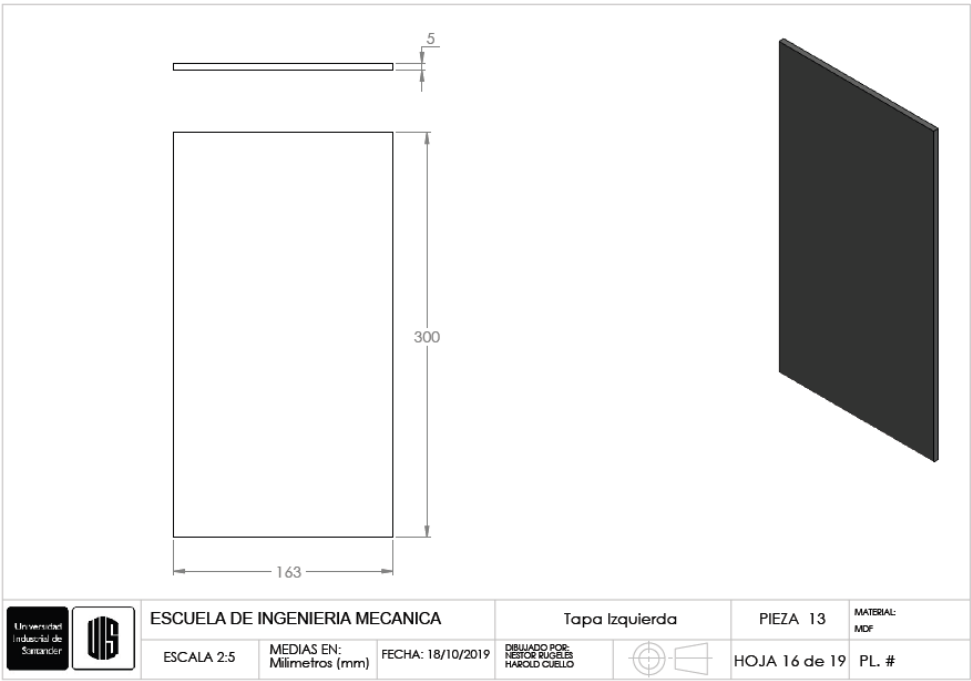


Figura 81. Tapa trasera.

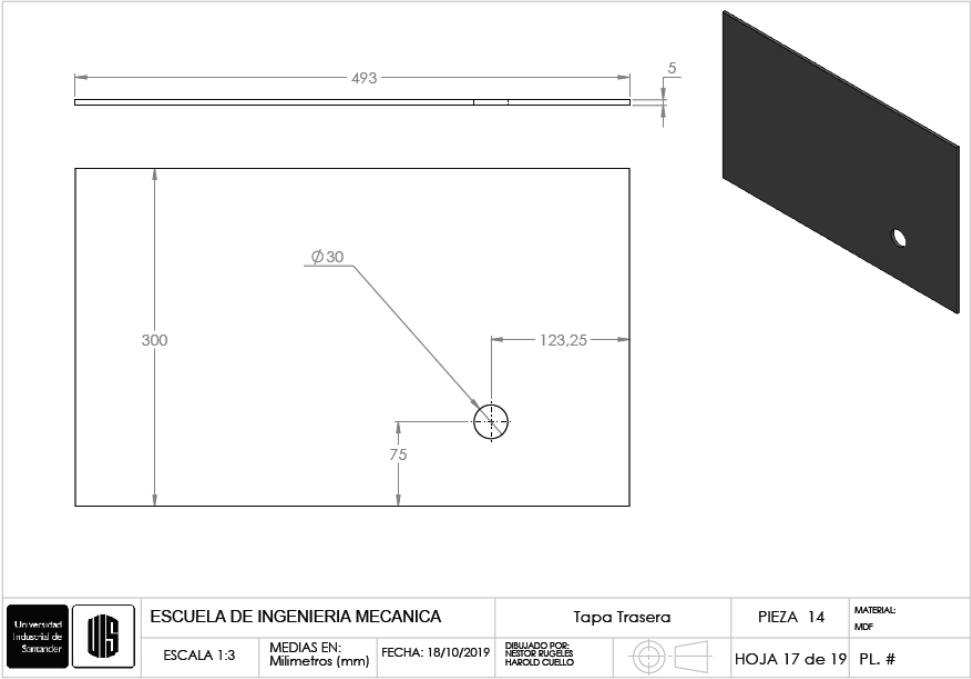


Figura 82. Tapa derecha.

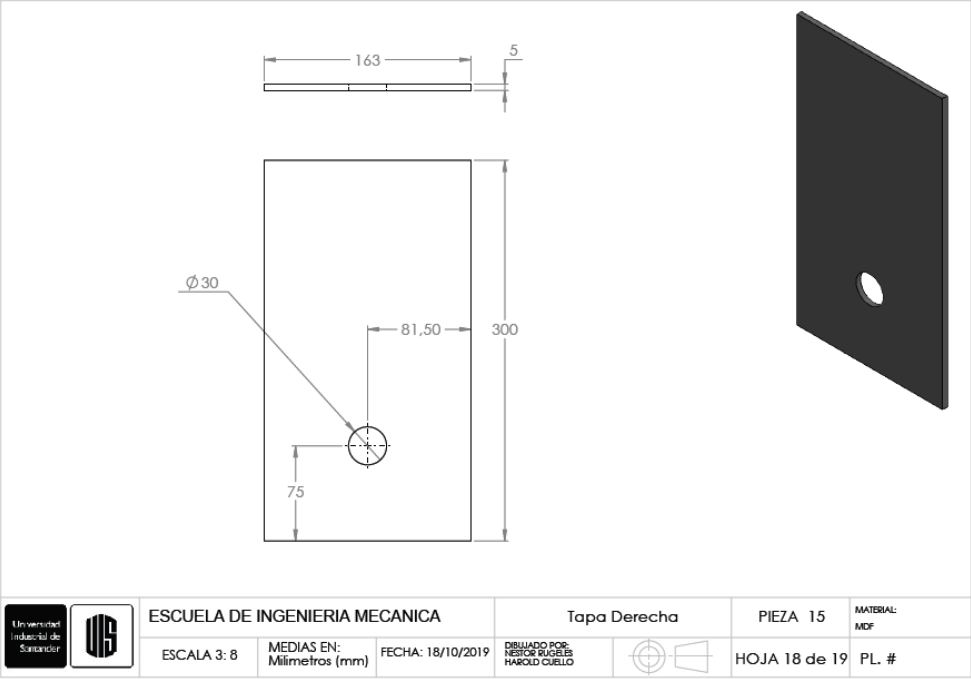
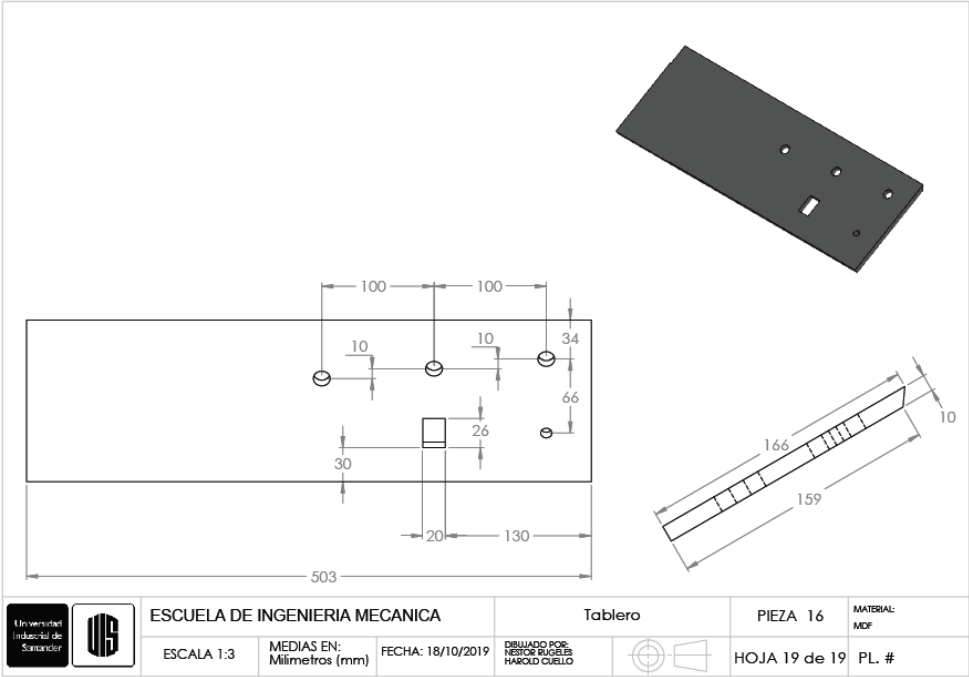


Figura 83. Tablero.



Anexo G. Interfaz gráfica control.

Figura 84. Diagrama de bloques.

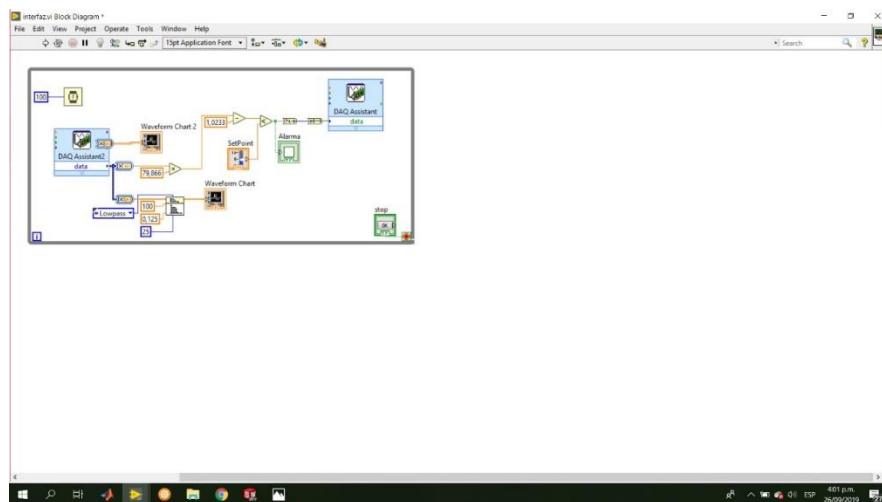
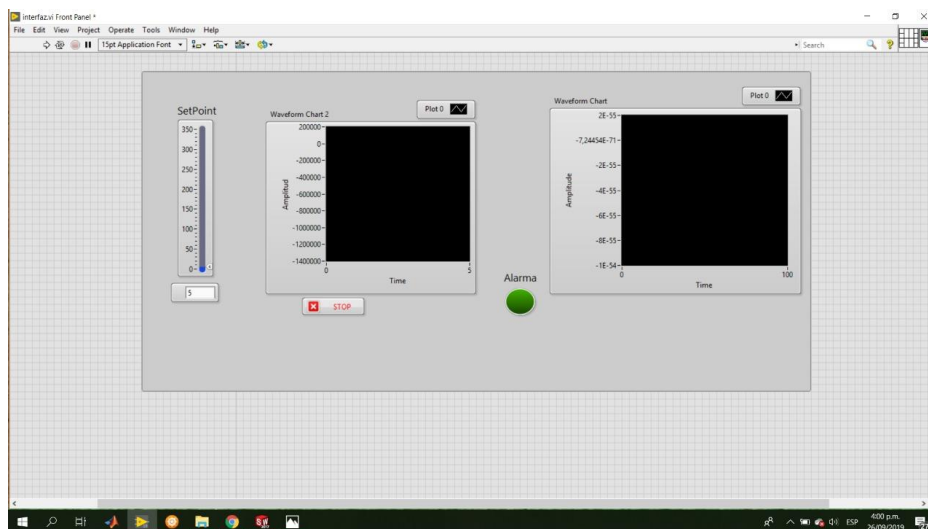
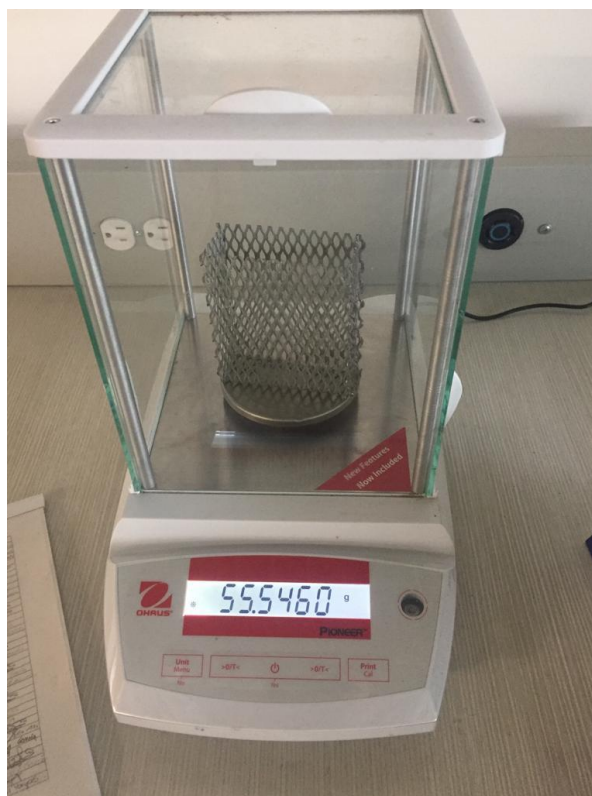


Figura 85. Panel frontal.



Anexo H. Peso de recipiente para muestras en trozos.

Figura 86. Porta muestras.



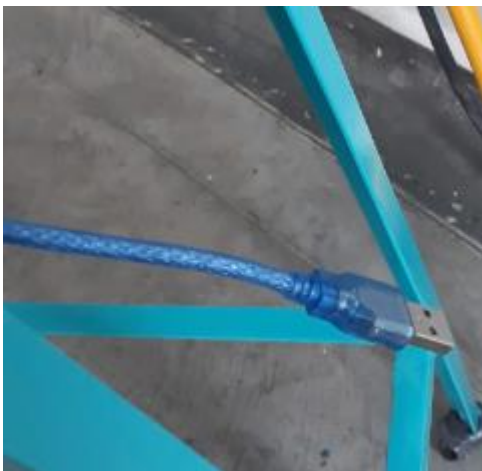
Anexo I. Manual de operación del equipo.

MANUAL DE OPERACIÓN

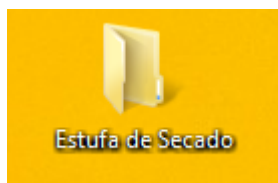
Conectar el equipo a la corriente eléctrica, por medio de toma corriente.



Conectar los cables de la mydaq y el arduino al computador.



Ejecutar el programa de control “Interfaz Control Secador” y el de arduino “Control de Peso”, ubicados en la carpeta “Estufa de secado”.



Colocar la muestra sobre la celda de carga.



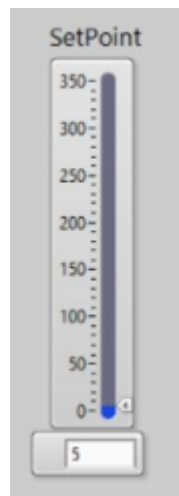
Oprimir el interruptor que enciende las resistencias On – Off.



Graduar la velocidad del ventilador en la posición requerida.



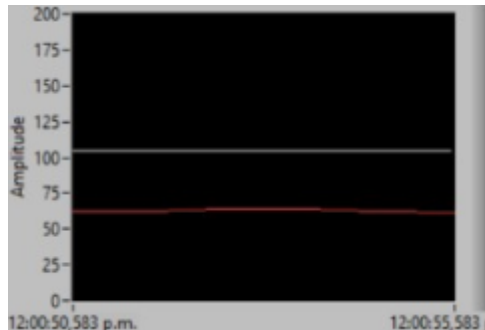
Colocar el SetPoint que se desee.



Ejecutar el programa, en el panel frontal.



Observar el ascenso de temperatura hasta el SetPoint.



RECOMENDACIONES DE OPERACIÓN

El equipo en funcionamiento registra un máximo de temperatura de 350°C sin flujo de aire, se recomienda que, si se va a elevar a temperaturas superiores de 150°C, el flujo de aire debe estar al máximo, ya que la radiación emitida por las resistencias trae afectaciones a la integridad del mismo.

Al momento de realizar pruebas, disponer de un espacio adecuado para el proceso, se observó que en un recinto donde no entren corrientes de aire distintas, el proceso de secado se hace más efectivo, logrando una mayor estabilidad en la temperatura y reduciendo la duración de este mismo.

Si una vez iniciado el proceso no se debe cambiar el SetPoint en la interfaz gráfica. Se recomienda iniciar nuevamente el proceso para realizar cambios, ya que se evidenció en las pruebas, que modificaciones al sistema de control en pleno funcionamiento, tiende a perderse o estancarse por la inercia térmica a la cual fue sometida en las variaciones repentinas. Lo anterior tiene validez una vez pasados 30 minutos de dicha prueba.

Dado a que el equipo cuenta con componentes eléctricos, electrónicos, la cara inferior queda destapada para que el calor no se concentre en dicha zona, por

ningún motivo debe taparse, ya que desencadenaría daños a las partes que conforman el equipo y su funcionamiento.

Tener cuidado al momento de retirar las muestras, el laboratorio de combustión de la escuela de ingeniería mecánica de la Universidad Industrial de Santander cuenta con dos (2) pinzas para extraer de manera segura los recipientes contenedores, adecuándose a los tamaños y formas que estos tengan.

El equipo en su parte eléctrica cuenta con un respaldo para posibles fallas, este se demuestra con la colocación de un fusible para que, si se llegara a presentar alguna anomalía, dicho fusible se dispare previendo el daño de los diferentes componentes y así preservar el buen estado y funcionamiento del equipo.

Para un mejor tratamiento de las muestras de biomásas, se aconseja utilizar el desecador a disposición del laboratorio antes y después de someterlas al proceso de secado para un mejor resultado, sobre todo antes así se tendrá una mejor medida de la humedad que fue sustraída de dichas muestras.