



UNIVERSIDAD TÉCNICA AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**PROYECTO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO**

TEMA:

**“ANÁLISIS DEL PROCESO DE SECADO DE ASERRÍN DE MADERA DE
EUCALIPTO CON LÁMPARAS INFRARROJAS PARA REDUCIR EL GRADO
DE HUMEDAD.”**

Autor: Welington Paúl Sailema Sisalema

Tutor: Ing. Mg. Santiago Paúl Cabrera Anda

AMBATO - ECUADOR

Abril - 2021

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Proyecto Técnico, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, con el tema: **“ANÁLISIS DEL PROCESO DE SECADO DE ASERRÍN DE MADERA DE EUCALIPTO CON LÁMPARAS INFRARROJAS PARA REDUCIR EL GRADO DE HUMEDAD”** elaborado por el Sr. Welington Paúl Sailema Sisalema, portador de la cédula de ciudadanía: C.I. 1804468468, estudiante de la Carrera de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente proyecto técnico es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

Ambato, Abril 2021

Ing. Mg. Santiago Paúl Cabrera Anda
TUTOR

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, **Wellington Paúl Sailema Sisalema**, con C.I. 1804468468 declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente proyecto técnico con el tema **“ANÁLISIS DEL PROCESO DE SECADO DE ASERRÍN DE MADERA DE EUCALIPTO CON LÁMPARAS INFRARROJAS PARA REDUCIR EL GRADO DE HUMEDAD”**, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, Abril 2021



Wellington Paúl Sailema Sisalema

C.I: 1804468468

AUTOR

DERECHO DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, Abril 2021



Wellington Paúl Sailema Sisalema

C.I: 1804468468

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por el estudiante Welington Paúl Sailema Sisalema, de la Carrera de Ingeniería Mecánica bajo el tema: **“ANÁLISIS DEL PROCESO DE SECADO DE ASERRÍN DE MADERA DE EUCALIPTO CON LÁMPARAS INFRARROJAS PARA REDUCIR EL GRADO DE HUMEDAD”**.

Ambato, Abril 2021

Para constancia firman:



Ing. Mg. Diego Fernando Núñez Núñez
Miembro Calificador



Ing. Mg. Carlos Mauricio Carrillo Rosero
Miembro Calificador

DEDICATORIA

Este proyecto lo dedico primordialmente a Dios quien ha sido la luz que ha sabido guiarme por el sendero del bien, gracias a su fortaleza divina y a su bendición por brindarme la salud y permitirme culminar una etapa importante en mi vida.

A mi mamita María que sin el apoyo de ella no lo hubiera logrado, quien ha sido el pilar fundamental para sobrellevar mi vida estudiantil y mi vida personal, con sus consejos, su sabiduría, su dedicación y sobre todo su fortaleza de nunca rendirse y trabajar con fuerza para alcanzar las metas deseadas, enseñándome siempre que con trabajo arduo se tiene su buena recompensa.

A mi novia Pilar que siempre ha estado en las buenas y malas apoyándome para seguir adelante, aconsejándome y dándome palabras de motivación de nunca rendirme y luchar por conseguir mis metas, quien ha sido motivo de admiración por ser una mujer que ha luchado por conseguir todo lo que se ha propuesto.

A mis hermanos Mayra, Fabricio y Edison por darme siempre las palabras de aliento para seguir en mi vida estudiantil y culminar mi profesión.

AGRADECIMIENTO

Doy gracias a Dios por darme cada mañana un día más de vida, por darme a mi madre quien ha estado ahí apoyándome para seguir con mis estudios, su amor incondicional que ha sido parte fundamental para culminar mi carrera universitaria.

A mis tíos Luis y Yolanda quien me encaminaron por la senda del bien demostrándome que siempre hay una oportunidad para corregir los errores y seguir adelante y conseguir mis sueños.

A mi novia Pilar que ha sido mi compañera de vida apoyándome en toda circunstancia, para poder llevar mi carrera universitaria, a mis hermanos que también aportaron para poder lograr mis metas.

A la prestigiosa Universidad Técnica de Ambato especialmente a la carrera de Ingeniería Mecánica quien con buenos profesionales han sabido inculcarme su conocimiento para aprovecharlos en mi vida profesional, A mi tutor Ing. Mg. Santiago Cabrera por brindarme sus conocimientos y guiarme para poder culminar mi proyecto de titulación.

A mis amigos con los que compartí gran parte de mi vida gracias por su apoyo especialmente a mi amigo Christian quien ha estado ahí para ayudarme en mis dificultades.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

PÁGINAS PRELIMINARES

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	iii
DERECHO DE AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
1 CAPÍTULO I	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Objetivos	3
1.2.1. Objetivo General:.....	3
1.2.2. Objetivos Específicos:.....	3
1.3. Fundamentación teórica	4
1.3.1. Biomasa.....	4
1.3.2. Tipos de biomasa	5
1.3.3. Residuos forestales.....	6
1.3.4. Aserrín	6
1.3.5. Eucalipto	6
1.3.6. Características físicas de los residuos forestales.....	7
1.3.6.1. Densidad aparente	7

1.3.6.2. Humedad	7
1.3.6.3. Contenido de humedad.....	8
1.3.6.4. Contenido de humedad en base seca.....	8
1.3.6.5. Contenido de humedad en base húmeda	8
1.3.7. Tamizado.....	9
1.3.8. Molienda y triturado.....	9
1.3.9. Aglutinante.....	9
1.3.10. Compactación de la biomasa.....	10
1.3.10.1. Compactación de aserrín previamente secado	11
1.3.10.2. Compactación de aserrín húmedo	11
1.3.11. Secado	12
1.3.11.1. Secado natural	12
1.3.11.2. Secado forzado o artificial	13
1.3.12. Radiación infrarroja	14
1.3.13. Transferencia de calor	15
1.3.13.1. Conducción	15
1.3.13.2. Convección.....	16
1.3.13.3. Radiación	16
1.4. Hipótesis	18
1.5. Señalamiento de las variables de la hipótesis	18
1.5.1. Variable independiente.....	18
1.5.2. Variable dependiente.....	18
1.5.3. Término de relación	18
2 CAPÍTULO II.....	19
METODOLOGÍA	19

2.1. Materiales	19
2.2. Nivel o tipos de investigación.....	23
2.2.1. Exploratoria.....	23
2.2.2. Experimental	23
2.2.3. Descriptiva	23
2.2.4. Correlacional	23
2.3. Población y muestra.....	23
2.3.1. Población.....	23
2.3.2. Muestra.....	23
2.4. Operacionalización de variables	25
2.4.1. Variable independiente.....	25
2.4.2. Variable dependiente.....	26
2.5. Plan de recolección de información.....	27
2.6. Plan de procesamiento y análisis	27
2.6.1. Diagrama de procesos	27
2.6.2. Procedimiento	30
2.6.2.1. Elaboración de las matrices.....	30
2.6.2.2. Elaboración del prototipo para el secado de las probetas de aserrín.....	32
2.6.2.3. Proceso para realización de las probetas	33
2.6.2.4. Proceso de secado de las probetas.....	37
3 CAPÍTULO III	38
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
3.1. Análisis y discusión de resultados	38
3.1.1. Tabulación de datos.....	38
3.2. Interpretación de resultados	41

3.2.1. Análisis de las probetas placa plana y cilíndrica.....	41
3.2.2. Análisis térmico	43
3.2.2.1. Calor requerido para secar las probetas	43
3.2.2.2. Cálculo de los coeficientes de convección forzada y radiación al exterior del secador.....	47
3.2.3. Análisis de la distribución de temperatura en la cámara de secado	53
3.2.3.1. Elaboración del modelo a simular.....	53
3.2.3.2. Creación de lids en agujeros	54
3.2.3.3. Configuración del estudio	54
3.2.3.4. Materiales de los elementos de la cámara de secado	56
3.2.3.5. Condiciones de frontera	57
3.2.3.6. Introducción de las fuentes de calor por convección y conducción.....	57
3.2.3.7. Introducción de las fuentes radiantes	58
3.2.3.8. Instrucción de la fuente de calor por radiación	58
3.2.3.9. Resultados obtenidos de la simulación	59
3.2.4. Verificación de la hipótesis.....	62
3.2.4.1. Verificación de la hipótesis para probeta placa plana.....	62
3.2.4.2. Verificación de la hipótesis para probeta cilíndrica.....	66
4 CAPÍTULO IV	68
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	68
4.1. Conclusiones.....	68
4.2. Recomendaciones	70
BIBLIOGRAFÍA	71
ANEXOS	74
PLANOS	85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1	Clasificación de la Biomasa	5
Tabla 1. 2	Características energéticas del eucalipto.....	7
Tabla 1. 3	Clasificación de los aglutinantes	10
Tabla 1. 4	Tipos de mezclas de aserrín de madera y cola blanca	10
Tabla 1. 5	Tipo de secadores de acuerdo a la trasmisión de calor	13
Tabla 1. 6	Rango Espectral	14
Tabla 2. 1	Materiales y Equipos.....	19
Tabla 2. 2	Características de las probetas.....	24
Tabla 2. 3	Variable Independiente.....	25
Tabla 2. 4	Variable Dependiente.....	26
Tabla 2. 5	Elaboración de las matrices.....	30
Tabla 2. 6	Elaboración del prototipo para el secado de las probetas de aserrín.....	32
Tabla 2. 7	Proceso para realización de las probetas.....	33
Tabla 2. 8	Proceso de secado de las probetas.....	37
Tabla 3. 1	Tiempo de secado de las probetas placa plana con una potencia de 250W. ...	39
Tabla 3. 2	Tiempo de secado de las probetas cilíndricas con una potencia de 250W.....	40
Tabla 3. 3	Datos de la probeta placa plana y cilíndrica.....	44
Tabla 3. 4	Calor que absorbe la probeta placa plana y cilíndrica.....	44
Tabla 3. 5	Calor necesario para calentar el aire circundante.....	45
Tabla 3. 6	Calor de evaporación	45
Tabla 3. 7	Calor de evaporación placa plana	46
Tabla 3. 8	Calor de evaporación cilíndrica	46
Tabla 3. 9	Calor requerido para probeta placa plana y cilíndrica	46
Tabla 3. 10	Potencia requerida.....	47
Tabla 3. 11	Datos para el cálculo del coeficiente de convección forzada exterior	47
Tabla 3. 12	Coeficiente de convección forzada exterior.....	48
Tabla 3. 13	Datos para el cálculo del coeficiente de radiación	48
Tabla 3. 14	Coeficiente de radiación.....	49

Tabla 3. 15 Salida de energía para algunas lámparas incandescentes	49
Tabla 3. 16 Datos para el cálculo de pérdidas por orificio del ventilador.....	50
Tabla 3. 17 Datos para el cálculo de pérdidas por aberturas.....	51
Tabla 3. 18 Reducción de peso de probetas placa plana	62
Tabla 3. 19 Tabla t-Student	64
Tabla 3. 20 Reducción de peso de probetas placa plana	66
Tabla 3. 21 Cálculo de las probabilidades.....	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1 Generación de la Biomasa	4
Figura 1. 2 Fuerza generada en el proceso de compactación	11
Figura 1. 3 Secador solar tipo invernadero	12
Figura 1. 4 Espectro de onda electromagnética	14
Figura 3. 1 Peso final de las probetas placa plana y cilíndrica vs tiempo.....	41
Figura 3. 2 Reducción de peso de las probetas placa plana y cilíndrica vs tiempo.....	42
Figura 3. 3 % de reducción de peso de las probetas placa plana y cilíndrica vs tiempo.	43
Figura 3. 4 Diagrama Sankey.....	52
Figura 3. 5 Modelo de la cámara de secado.....	53
Figura 3. 6 Lid para agujeros	54
Figura 3. 7 Unidades para el análisis.....	54
Figura 3. 8 Tipo de análisis.....	55
Figura 3. 9 Selección del fluido.....	55
Figura 3. 10 Selección del solido.....	56
Figura 3. 11 Selección de los materiales de la cámara de secado	56
Figura 3. 12 Condiciones de frontera	57
Figura 3. 13 Introducción de la fuente de calor	57
Figura 3. 14 Introducción de la fuente radiante	58
Figura 3. 15 Introducción de la fuente de calor por radiación	58
Figura 3. 16 Distribución de temperatura en la cámara de secado con un tiempo de 3 minutos.....	59
Figura 3. 17 Distribución de temperatura en la cámara de secado con un tiempo de 6 minutos	60
Figura 3. 18 Distribución de temperatura en la cámara de secado con un tiempo de 9 minutos.....	61

RESUMEN

En el presente proyecto previo a realizar el proceso de secado se investigó los fundamentos necesarios para la compactación del aserrín y el secado del mismo. Identificando las variables como: la humedad inicial, la humedad final, el calor necesario para secar el aserrín el tiempo y la potencia eficiente de las lámparas incandescentes. Para el estudio se fabricaron dos tipos de probetas de distinta configuración, una placa plana y otra cilíndrica. Para la compactación de la biomasa se realizó la homogenización con aglutinante, en este caso cola blanca para obtener una compactación adecuada, al obtener las probetas se verificó que todas tengan el mismo peso 1,88 gr para la probeta placa plana y 1,30 gr para la probeta cilíndrica, la humedad inicial fue de 51,60 por ciento y 30 por ciento respectivamente, después de realizar el secado se logró retirar la humedad existente en las probetas obteniendo pesos de 0,91 gr para las dos configuraciones, con tiempos de 18 minutos para la probeta placa plana y 24 minutos para la probeta cilíndrica. Los flujos de calor necesarios para secar las probetas fueron 3529,195 Joule para la probeta placa plana y 2023,399 Joule para la probeta cilíndrica y la potencia requerida 3,268Watt y 1,405Watt respectivamente. Por último, se realizó el análisis de distribución de temperatura mediante un análisis CFD el cual demuestra que a los 9 minutos de estar en funcionamiento el prototipo de secador se obtiene la temperatura deseada de 65 grados centígrados.

Palabras claves: humedad inicial, humedad final, probetas placa plana, probeta cilíndrica, proceso de secado.

ABSTRACT

In this project, prior to carrying out the drying process, the necessary fundamentals for compacting the sawdust and drying it were investigated. Identifying the variables such as: the initial humidity, the final humidity, the heat necessary to dry the sawdust, the time and the efficient power of the incandescent lamps. For the study, two types of specimens of different configuration were manufactured, a flat plate and a cylindrical one. For the compaction of the biomass, the homogenization with binder was carried out, in this case white glue to obtain an adequate compaction, when obtaining the specimens it was verified that they all have the same weight 1.88 gr for the flat plate specimen and 1.30 gr For the cylindrical specimen, the initial humidity was 51.60 percent and 30 percent respectively, after drying, it was possible to remove the existing moisture in the specimens, obtaining weights of 0.91 gr for the two configurations, with times of 18 minutes for the flat plate specimen and 24 minutes for the cylindrical specimen. The heat fluxes necessary to dry the specimens were 3529.195 Joule for the flat plate specimen and 2023.399 Joule for the cylindrical specimen and the required power was 3,268Watt and 1,405Watt respectively. Finally, the temperature distribution analysis was carried out by means of a CFD analysis, which shows that after 9 of the prototype of the dryer is in operation, the desired temperature of 65 degrees Celsius is obtained.

Keywords: initial moisture, final moisture, flat plate specimens, cylindrical specimen, drying process.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

Mediante el estudio realizado por Juan Espinoza se identificó tiempos de secado, temperatura, peso de las cubetas de cartón para huevos. Estas cubetas después de su elaboración tienen un 70 % de humedad por lo que fueron sometidas a calentamiento por radiación infrarroja con diferentes potencias caloríficas (150W, 250W y 950W) llegando a tener una temperatura de 65 a 70°C y tiempos de secado de 25 a 40 minutos con su máxima capacidad [1].

De acuerdo al estudio realizado por Alex Portero se determinó como el calor afecta el proceso de peletizado de la biomasa, por tal motivo realizando los análisis pertinentes se identificó que al elevar la temperatura del cilindro de compactación se obtiene un aumento en la friabilidad de los pellets, con índices de FR de 1,00 para el eucalipto y FR de 0,95 para el copal con una temperatura de 105°C, también se pudo identificar que al aumentar la temperatura la densidad de los pellets aumenta dando valores de 1.32 g/cm³ para el eucalipto y 1.28 g/cm³ para el copal [2].

En el estudio realizado por José Espinoza se determinó los tiempos de secado, curvas de secado, modelos matemáticos de secado. Para el análisis se utilizó un secador infrarrojo-convectivo de laboratorio a una velocidad de aire de 1 m/s, con temperaturas de 40, 50 y 60°C y potencias de infrarrojo de 0, 400 y 800 W llegando a tener nueve tratamientos de secado distintos. De acuerdo a la pérdida de peso del fruto de murtilla en el tiempo que se obtuvieron en un registro, se generaron curvas de secado para cada tratamiento [3].

En el artículo publicado por la revista Holos se identificó la granulometría, el contenido de humedad como también el contenido de resina del aserrín ya que son parámetros importantes para el diseño del flujo productivo más idóneo para este tipo de producción. Realizado los estudios se realizó la des-humificación hasta valores de 3% y 6% para así

tener la mayor eficiencia para la utilización de los diferentes surtidos, los límites adecuados de resina son de hasta un 2% [4].

Mediante el diseño experimental de cuatro grupos de Salomón de los cuales G1 y G3: grupo de control y G2 y G4: grupo experimental, estos grupos fueron sometidos a 0-1-2-3-4-5 horas de compactación. Mediante los estudios realizados se determinó que el grupo experimental, en el tratamiento tres sometido a tres horas de compactaciones es el que resultó ser más óptimo ya que se obtuvo mejores resultados en horas de compactación de aserrín, mejor eficiencia en la combustión y duración de uso al momento de la combustión como también mejor poder calorífico [5].

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General:

- Analizar el proceso de secado de aserrín de madera de eucalipto con lámparas infrarrojas para reducir el grado de humedad.

1.2.2. Objetivos Específicos:

- Determinar porcentajes de humedad inicial y final en el aserrín.
- Analizar diferentes probetas, con un mismo volumen y configuraciones geométricas distintas para el secado del aserrín.
- Determinar flujos de calor y tiempos requeridos para el secado del aserrín.
- Analizar la distribución experimental de temperaturas al interior de la cámara.

1.3. Fundamentación teórica

1.3.1. Biomasa

La biomasa es toda la materia orgánica que está formada principalmente por un proceso biológico. Mediante la energía solar, la creación de biomasa vegetal, se ejecuta por medio del proceso de fotosíntesis debido a que se producen elementos con un gran contenido energético bajo la forma de energía química [6].

De acuerdo a la Directiva 2009/28/CE define la biomasa como la fracción química que se descompone en organismos biológicos de productos, desechos y residuos originarios de trabajos agrarios como las sustancias de origen vegetal y animal, como también de la silvicultura, las industrias conexas, la pesca, la acuicultura, los residuos industriales y municipales [7]. En la Figura 1.1 se aprecia la generación de la biomasa y cuáles son sus fuentes principales.

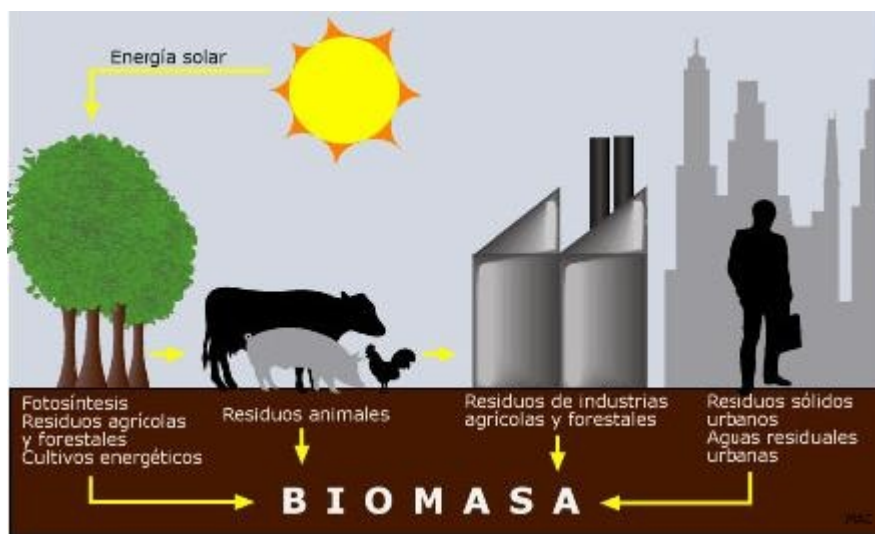


Figura 1. 1 Generación de la Biomasa [6].

Enfocándose primordialmente en los beneficios energéticos, la biomasa está constituida por un bajo contenido de carbono, gran abundancia de oxígeno y compuestos volátiles. Dichos compuestos volátiles son los que poseen un alto porcentaje del poder calorífico de la biomasa, este poder calorífico depende principalmente del tipo de biomasa que se tome en cuenta y la humedad presente en la biomasa [8].

1.3.2. Tipos de biomasa

La biomasa se clasifica según su composición, su origen y su estado en la tabla 1.1 se tiene detalladamente cada grupo.

Tabla 1. 1 Clasificación de la Biomasa [9].

Tipos de biomasa		
Según su composición	Oleaginosa	Semilla de girasol, soja, maíz, lino, almendro
	Alcoholígena	Pulpa de fruta, caña de azúcar, sorgo dulce, remolacha
	Amilácea/Inulínica	Tubérculo de patata, rizomas de dalia, achicoria, granos de cereal
	Lignocelulósica	Maderas en general, residuos lignocelulósicos
Según su origen	Natural	Se produce de forma espontánea dentro de un entorno natural que no hayan tenido la presencia del ser humano
	Residual	<ul style="list-style-type: none"> • Residuos de industrias agrícolas y forestales • Residuos sólidos urbanos y aguas residuales urbanas • Residuos ganaderos • Residuos agroindustriales • Aceites alimentarios usados
	Cultivo energético	Se trata de los cultivos que no tienen nada que ver con la alimentación ya que están destinados a la producción de energía
Según su estado	Sólida	Madera obtenida de tratamientos selvícolas forestales, residuos de la industria que utilizan algún tipo de biomas, residuos que se obtiene por la poda de parques y jardines, residuos agroindustriales
	Líquida	Residuos ganaderos, residuos industriales biodegradables y aguas residuales urbanas
	Gaseosa	Metano o biogás de origen de residuos animales, residuos agroalimenticios

1.3.3. Residuos forestales

Los residuos forestales son el resultado de los residuos que proceden de trabajos selvícolas y residuos de las industrias forestales de primera (aserraderos e industrias de tableros) y segunda transformación (industria del mueble, papelería, carpintería, etc.) [10].

El presente proyecto se enfocó en los residuos forestales principalmente en los residuos que se obtienen en los aserraderos como es el aserrín de eucalipto.

1.3.4. Aserrín

El aserrín es el sobrante del proceso de serrado de la madera. Este producto que es el residuo que se tiene cuando se realiza algún corte a la madera, se le han buscado aplicaciones con el pasar del tiempo, por tal motivo este proyecto tiene como objetivo darle una aplicación, tratándola para obtener la mejor eficiencia [11].

Con la finalidad de aprovechar los altos desperdicios que producen los aserríos, se optado por emplear estos como fuente de energía, la mejor utilización de los residuos de madera (aserrín) es prensarlos para aprovechar al máximo su energía.

1.3.5. Eucalipto

En el 2010 el eucalipto ocupó el segundo lugar dentro de las especies forestales autorizadas para aprovechamiento su volumen fue de 619 243,35 m³ por medio de la aprobación de 1 301 programas, en 13 provincias del Ecuador (Costa y Sierra). Programas de corta de plantaciones forestales fueron aprobadas en 12 provincias con 76,55% del volumen total, principalmente las provincias de Pichincha, Carchi, Cotopaxi, Chimborazo Imbabura, Loja y Esmeraldas. Mientras que el 23,45 % de la masa total se autorizó a través de programas de corta de árboles plantados, en 10 provincias, de las cuales principalmente fueron Bolívar, Carchi, Chimborazo, Esmeraldas, Imbabura, Pichincha y Tungurahua [12]. Es importante tener en cuenta cuales son las características energéticas principales de eucalipto, por lo que en la tabla 1.2 se detalla las mismas.

Tabla 1. 2 Características energéticas del eucalipto [13].

Parámetros	Aserrín de eucalipto
Tamaño	El tamaño de las partículas por lo general son menores a tres milímetros
Densidad aparente	250 kg/m ³
Análisis ultimo (elemental)bh	Carbono: 29,59% Hidrogeno:4,14 Oxigeno:42.50% Nitrogeno:0,12%
Análisis inmediato (aproximado)bh	Humedad:23% Ceniza:0,65% Materiales volátiles:56% Carbono fijo:20,35%
Poder calorífico (en base al análisis último)	PCS _{BS} :16,837 MJ/kg PCI _{BS} :11,248 MJ/kg PCI _{BH} :10,031 MJ/kg

1.3.6. Características físicas de los residuos forestales

1.3.6.1. Densidad aparente

La densidad aparente se define como la masa por unidad de volumen. El volumen aparente resulta ser mayor que el volumen real debido a que se tiene espacios en medio de las partículas, mientras que la densidad aparente es menor que la densidad real por el motivo de que se mide sin tomar en cuenta los espacios entre las partículas [2].

Los combustibles que tienen una densidad aparente mayor ayudan la relación de energía por unidad de volumen, debido a que se requieren tamaños reducidos en los equipos y se eleva el tiempo que transcurre entre cargas del equipo. Por otra parte, si poseen baja densidad aparente esto conlleva a un mayor volumen de almacenamiento y transporte [9].

1.3.6.2. Humedad

Enfocándose en el aprovechamiento energético de los residuos forestales (leñas) la humedad es una variable muy importante, ya que es la que más influye en el poder calorífico de los residuos forestales [14]. Cuando se tiene un porcentaje elevado de humedad la biomasa resulta ser menos útil para obtener energía, por esta razón el poder

calorífico es menor, debido a que un porcentaje del calor que la biomasa genera se emplea para evaporar el agua presente en la biomasa y no para producir energía [9].

Alakangas citado por Portero Alex [2], demuestra que el rango óptimo de contenido de humedad está entre 8-12% (BH) para el procesado de la materia prima. Los desperdicios que se obtienen en el proceso de remanufactura presentan bajo contenido de humedad debido a que estos fueron sometidos a proceso industriales ya que la biomasa es secada antes de su proceso. Por lo general los desechos que provienen directamente de los bosques o de los desperdicios que general el aserrío de la madera presentan un contenido de humedad por sobre un 50% [2].

1.3.6.3. Contenido de humedad

Por lo general gran parte de los materiales solidos están formados de materia seca y agua, se puede establecer que la masa seca (m_s) más la masa de agua (m_{H_2O}) es igual a la masa total (m_h) del material [15].

$$m_h = m_s + m_{H_2O} \quad \text{Ec. 1.1}$$

El contenido de humedad se puede manifestar de dos formas, contenido de humedad en base seca y contenido de humedad en base humedad.

1.3.6.4. Contenido de humedad en base seca

Es el cociente entre la masa de agua en el material y su masa seca [15].

$$\%H_{bs} = \frac{m_{H_2O}}{m_s} * 100 \quad \text{Ec. 1.2}$$

El contenido de humedad en base seca H_{bs} relaciona la masa de H₂O que mantiene un material sólido con una masa seca. Por ejemplo si tenemos un valor de $H_{bs} = 300\%$ quiere decir que la masa de agua que se encuentra en el material es tres veces su masa seca. Esta ecuación no es válido para materiales con alto contenido de humedad [15].

1.3.6.5. Contenido de humedad en base húmeda

Es el cociente entre la masa de agua dentro del material y su masa total [15].

$$\%H_{bh} = \frac{m_{H2O}}{m_h} * 100 \quad \text{Ec. 1.3}$$

El contenido de humedad representa la cantidad de masa de H₂O que abarca la muestra con relación a la masa total (m_h). Dentro de esta ecuación la masa de agua es un fragmento del total de la masa, esto quiere decir que la masa de agua es baja o equivalente a la masa total del material [15].

1.3.7. Tamizado

El tamizado se realiza con el fin de eliminar los materiales indeseables como piedras, arenas, elementos metálicos, piezas de gran tamaño, etc., ya que estos pueden dañar el equipo de molienda. De estos materiales indeseables los elementos metálicos son los que presentan mayores inconvenientes puesto a que perjudican a los martillos y mallas del equipo de molienda provocando roturas [9].

Para la densificación las partículas del aserrín deben ser menor a 3 mm, lo que conlleva a tener excelentes características mecánicas, un alto aglutinamiento y mejor acabado superficial [13].

1.3.8. Molienda y triturado

Si la materia prima se va utilizar en aplicaciones energéticas es importante realizar la operación de molienda y triturado, como puede ser para aplicaciones directas o para elaboración de elementos densificados [16]. Principalmente para las aplicaciones de densificación se utilizan molinos de martillo ya que estos no necesitan de mucho manteniendo en relación con equipos que emplean cuchillas [9].

Cuando se tiene una granulometría de 0,5 mm la unión de las partículas resultan ser buenas, mientras que si se excede este valor empieza a dificultarse el proceso, por tanto es necesario evitar partículas de gran tamaño para así evitar fracturas del producto [16].

1.3.9. Aglutinante

Los aglutinantes son sustancias de tipo pegajosas que tienen la capacidad de generar fuerzas para enlazar partículas, permitiendo dar unión al conjunto por medio de métodos físicos, químicos o térmicos [13]. Su clasificación se lo detalla en la tabla 1.3

Tabla 1. 3 Clasificación de los aglutinantes [13].

Orgánicos	Inorgánicos
Albuminatos, alcoholes, almidones, breas, alquitranes, azúcares, caseínas, cola, dextrina, gelatinas, humatos, melazas, papel, ligninas-lignosulfonatos, aserrín, resinas y turba.	Alumbre, arcillas, bentonita, borato de sodio, cal y cal hidratada, cemento, cloruro de magnesio, escayola, silicato de sodio, sílice y yeso.

De acuerdo a la tesis que fue realizado en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por parte de Fonseca Edison y Tierra Luis determinan que para la conformación de briquetas en húmedo el aglutinante como cola blanca resultan ser eficaz cumpliendo características como mantener la forma de las briquetas son orgánicos no son tóxicos ni producen gases tóxicos o irritantes durante la combustión [13]. En este estudio se realizó la tabla 1.4 que servirá para la realización de las probetas para este proyecto.

Tabla 1. 4 Tipos de mezclas de aserrín de madera y cola blanca [13].

Composición			Observación		
Aserrín de madera (g)	Cola blanca (g)	Agua (ml)	Tipo de mezcla	Mantiene la forma	Aprobada/rechazada
95	5	300	pastosa	NO	R
90	10	300	pastosa	SI	A
80	20	300	pastosa	SI	A
100	100	300	pastosa	SI	R

1.3.10. Compactación de la biomasa

La compactación de la biomasa se la realiza utilizando una alta presión en una matriz agujerada que se la llena con la materia prima a compactar [9]. La densificación o compactación de la biomasa residual (astillas, aserrín, virutas) representa a un grupo de tecnologías para la transformación de la biomasa en combustible. Gracias a esta tecnología se puede globalizar el uso de biomasa en la producción de energía, ya que al realizar el

proceso de densificación se tiene mejores resultados en el valor calorífico volumétrico de un combustible, también mejora las características de los combustibles en zonas rurales, debido a su densificación se reduce el costo de transporte [17].

Leaver citado por Portero [2], demuestra que las presiones de compactación están entre valores de 1100 Kg/cm^2 a 2500 Kg/cm^2 , estos valores dependen de las características del tipo de madera que se vaya a utilizar. En la figura 1.2 se muestra como es el proceso de compactación para la fabricación de pellets de aserrín.

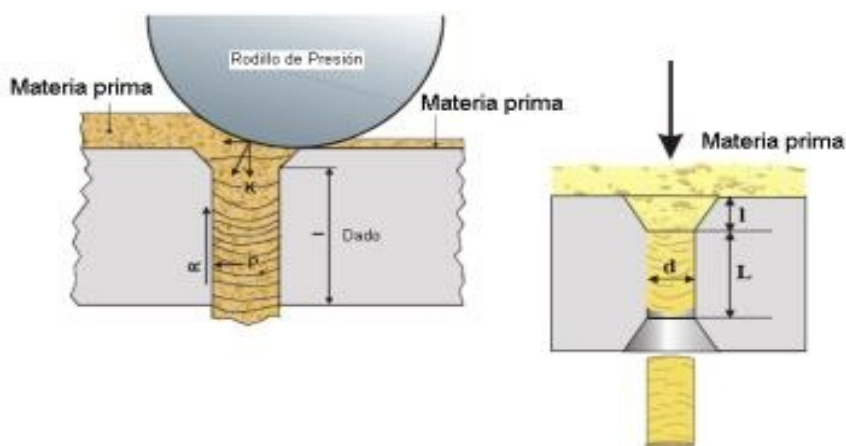


Figura 1. 2 Fuerza generada en el proceso de compactación [16].

1.3.10.1. Compactación de aserrín previamente secado

Se realiza un secado previo antes de la compactación del aserrín, el porcentaje de humedad que debe alcanzar es de entre un rango de 8 y 12 % [2], permitiendo así obtener un densificado eficiente ya que estos no sueltan partículas ni desmoronamiento del aserrín compactado, como lo suele hacer al compactar el aserrín húmedo.

1.3.10.2. Compactación de aserrín húmedo

En vista de que al compactar el aserrín húmedo al momento de sacarla de su molde se tiene deficiencias, como el desmoronamiento o el no mantener su forma, por tal motivo para realizar la compactación del aserrín húmedo hay que realizar una mezcla previa añadiéndole aglutinantes. En este proyecto se hará uso de aglutinante cola blanca ya que

en investigaciones previamente consultadas este aglutinante actúa como adhesivo permitiendo mantener unidas las partículas de aserrín [13].

1.3.11. Secado

Mujumdar citado por Espinoza [3], define al secado como el desarrollo de remoción térmica de elementos volátiles hasta conseguir la materia prima seca. La transferencia de energía calorífica desde el ambiente para retirar la humedad de la superficie de un sólido y la transferencia de la humedad que se encuentra dentro de un sólido hacia la superficie del mismo y su posterior evaporación. El secado de la biomasa se puede realizar de forma natural o forzada.

1.3.11.1. Secado natural

Por lo general la biomasa residual forestal tiene un alto contenido de humedad (sobre el 100% en base seca) lo que presenta muchos problemas en el acondicionamiento para su posterior utilización como es el aprovechamiento energético [18].

Se enfoca en aprovechar la energía que produce el medio ambiente por lo general días soleados para facilitar la des-humidificación de la biomasa [18]. La velocidad del secado depende de la temperatura del aire que se encuentra alrededor de la biomasa, a más temperatura se obtiene mayor retiro de agua por lo tanto más rápido es el secado [14].

Con el pasar del tiempo el método de secado al ambiente ha ido mejorando, por lo que se han implementado secadores solares tipo invernadero como se muestra en la figura 1.3, en el cual se aprovecha la energía solar con la finalidad de reducir el tiempo de secado de la biomasa [13].

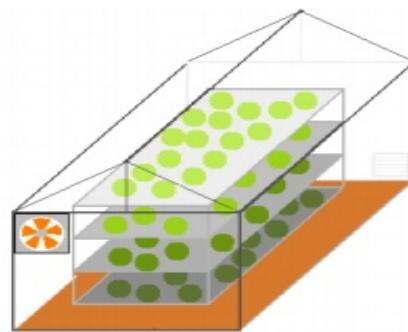


Figura 1. 3 Secador solar tipo invernadero [13].

1.3.11.2. Secado forzado o artificial

El secado forzado es la mejor opción cuando la humedad obtenida con el secado natural no es óptima para el procesado del material [18]. Mediante equipos especiales se puede crear condiciones climáticas favorables para el secado, en el cual se tiene un control total para crear las condiciones requeridas [19].

Según el método de transmisión de calor a los productos húmedos, los equipos de secado se dividen en tres grupos [19]:

- Secadores directos.
- Secadores indirectos.
- Secadores infrarrojos.

En la Tabla 1.5 se puede detallar claramente cada tipo de secador

Tabla 1. 5 Tipo de secadores de acuerdo a la transmisión de calor [19].

Equipos de secado		
Secadores Directos	Secadores Indirectos	Secadores Infrarrojos
También son conocidos como secadores por convección	También conocidos como secadores por conducción o de contacto	Estos equipos dependen de la transmisión de energía radiante para retirar la humedad de un sólido.
Características		
La transferencia de calor para el secado del producto se obtiene mediante el contacto directo entre producto a secar y los gases calientes. La humedad retirada es evacuada junto con el medio de desecación.	La transferencia de calor se lo realiza a través de una superficie de retención. Son óptimos para secar productos a presiones bajas y en atmosferas inertes.	Las longitudes de onda están en un rango de 0.76 μm a 400 μm . La fuente de la energía radiante son lámparas infrarrojas, resistencias eléctricas o refractarios incandescentes calentados por gas.

1.3.12. Radiación infrarroja

La energía infrarroja no necesita el aire que la rodea para su transferencia, se transforma en calor por acción de absorción del sólido expuesta a la radiación. La radiación infrarroja, también se la conoce como radiación térmica o radiación IR es un tipo de radiación electromagnética con una longitud de onda mayor a la luz visible y menor que la de las microondas [1].

La radiación IR se la puede distribuir en tres grupos distintos como son: radiación IR cercano (NIR), radiación IR media (MIR) y radiación IR lejano (FIR) y su rango espectral se detalla en la tabla 1.6 [20].

Tabla 1. 6 Rango Espectral [20].

Clase	Rango Espectral
Radiación IR cercano (NIR)	0.75-1.4 μm
Radiación IR media (MIR)	1.4-3 μm
Radiación IR lejano (FIR)	3-1000 μm

Se sabe que la radiación IR es una onda electromagnética, que posee una dependencia tanto espectral como direccional. Debe tomarse en cuenta la dependencia espectral del calentamiento por infrarrojo debido a que la energía que surge de un emisor está formada por distintas longitudes de onda, y en cada grupo la división de la radiación depende de muchos factores como la temperatura que tiene el emisor, la emisividad de la lámpara, etc. En la figura 1.4 se identifica el espectro de onda electromagnética para distintos emisores de radiación [20].

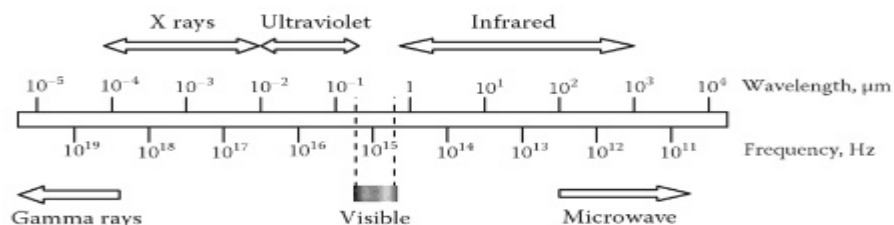


Figura 1. 4 Espectro de onda electromagnética [20].

La emisividad es la capacidad de un plano superficial para emitir y absorber radiación. Cuando un cuerpo absorbe el 100% de toda la energía radiante se tiene un elemento perfecto o también conocido como cuerpo negro, con un valor de emisividad de 1. En la práctica todos los cuerpos son considerados grises, con una emisividad menor a 1 [1].

1.3.13. Transferencia de calor

La transferencia de calor es la ciencia que tiene como objetivo predecir la transferencia de energía que se puede dar entre cuerpos materiales. Esta ciencia se enfoca en predecir la rapidez con la que se realiza la transferencia de energía según las condiciones especificadas [21].

La transferencia de calor se puede dar por conducción, convección y radiación.

1.3.13.1. Conducción

La conducción se la considera como la transferencia de energía de las partículas con gran capacidad energética a las de reducida capacidad energética de un elemento debido a las interacciones de las mismas [22].

La rapidez de la conducción de calor que se trasmite a lo largo en cuerpo depende de varios factores como la configuración geométrica del cuerpo, el espesor, y el material con el que está fabricado, como también la diferencia de temperatura a lo largo de él [23].

$$\dot{Q}_{cond} = K * A * \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} \quad \text{Ec. 1.4}$$

Donde:

\dot{Q}_{cond} = Flujo de calor [W]

K = Constante de conductividad térmica del material [W/m*°C]

A = Área de la superficie [m²]

$T_1 - T_2$ = Diferencia de temperaturas en [°C]

Δx = Distancia entre las dos temperaturas [m]

1.3.13.2. Convección

Se tiene convección cuando la transferencia de energía se da en la superficie de un sólido a un líquido o gas que se encuentra en movimiento. Mientras mayor es el movimiento de la sustancia, se tiene una alta transferencia de calor por convección. Cuando no se tiene abundante movimiento de la sustancia, la transferencia de calor entre la superficie de un sólido y el fluido o gas es por conducción pura [23].

Se habla de **convección forzada** cuando la sustancia es obligada a fluir por agentes externos como el caso de un ventilador, una bomba o el viento atmosférico [23]. Mientras que en **convección natural** el movimiento de la sustancia es provocado por fuerzas de empuje que se surgen a partir de variaciones de densidad causadas por la diferencia de temperaturas de una sustancia [22].

Mediante la ecuación 1.5 se expresa la transferencia de calor por convección [23].

$$\dot{Q}_{conv} = h * A_s * (T_s - T_{\infty}) \quad \text{Ec. 1.5}$$

Donde:

\dot{Q}_{conv} = Flujo de calor [W]

h = Coeficiente de transferencia de calor por convección [W/m²*°C]

A_s = Área de la superficie

T_s = Temperatura de la superficie [°C]

T_{∞} = Temperatura de la sustancia lejos de la superficie [°C]

1.3.13.3. Radiación

La radiación es la energía que emite un cuerpo expresada mediante ondas electromagnéticas como consecuencia de la variación en las configuraciones electrónicas de las moléculas[23]. La transferencia de calor por radiación no requiere de un medio

material a diferencia de la transferencia por convección o conducción. Más bien cuando se tiene un vacío la transferencia por radiación es más eficiente [22].

Para calcular la transferencia de calor por radiación se hará uso de la ecuación 1.6 [23].

$$\dot{Q}_{rad} = \varepsilon * \sigma * A_s * (T_s^4 - T_{alred}^4) \quad \text{Ec. 1.6}$$

Donde:

\dot{Q}_{rad} = Flujo de calor [W]

ε = Emisividad de la superficie

σ = Constante de Stefan-Boltzmann [$5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$]

A_s = Área de la superficie [m^2]

T_s = Temperatura de la superficie [°K]

T_{alred} = Temperatura ambiente [°K]

1.4. Hipótesis

Ho: El proceso de secado de probetas placas planas de aserrín de madera de eucalipto con lámparas infrarrojas no permitirá reducir el grado de humedad.

Ha: El proceso de secado de probetas placas planas de aserrín de madera de eucalipto con lámparas infrarrojas permitirá reducir el grado de humedad.

Ho: El proceso de secado de probetas cilíndricas de aserrín de madera de eucalipto con lámparas infrarrojas no permitirá reducir el grado de humedad.

Ha: El proceso de secado de probetas cilíndricas de aserrín de madera de eucalipto con lámparas infrarrojas permitirá reducir el grado de humedad.

1.5. Señalamiento de las variables de la hipótesis

1.5.1. Variable independiente

Secado de aserrín

1.5.2. Variable dependiente

Reducir el grado de humedad

1.5.3. Término de relación

Permitirá




CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1. Materiales

En la Tabla 2.1 se identifica los materiales y equipos que se van a utilizar para obtener el producto de biomasa y también para el secado del mismo.

Tabla 2. 1 Materiales y Equipos

Materiales/Equipos	Ilustración
Aserrín >3mm	
Tamizador 3mm	
Balanza digital (0.01-200) gramos	

Matrices




Prensa



Lámpara infrarroja de 250W



<p>Ventilador</p>	
<p>Boquilla</p>	
<p>Termocupla tipo J</p>	
<p>Controlador de temperatura maxwell</p>	

<p>Relé de estado sólido cnc</p>	
<p>Switch on/of</p>	
<p>Cable de alta temperatura</p>	
<p>Chasis de microondas</p>	

Fuente: Autor

2.2. Nivel o tipos de investigación

2.2.1. Exploratoria

El presente proyecto de investigación utiliza el método exploratorio, el cual permitió determinar el porcentaje de humedad, el tiempo y los flujos de calor necesarios para el secado del aserrín por radiación infrarroja.

2.2.2. Experimental

Mediante este método se realizará el análisis de distintas probetas con diferentes configuraciones geométricas, se obtuvo datos que permitió identificar flujos de calor necesario para el secado del aserrín. Además, se determinará la distribución de temperatura al interior de la cámara.

2.2.3. Descriptiva

De acuerdo a este método se determinó los parámetros necesarios para el proceso de compactación de la biomasa, así como también los parámetros de proceso de secado por lámparas infrarroja.

2.2.4. Correlacional

Con este método se determinó la relación que existen entre las diferentes probetas que tienen un mismo volumen, pero diferentes configuraciones.

2.3. Población y muestra

2.3.1. Población

Como población se tomó los residuos forestales que se genera en los aserraderos de Ambato estudio que fue realizado por la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por parte de Miguel Guallpa y otros, determinan que el nivel de frecuencia de generación de residuos forestales en el cantón Ambato es de 68 % mensual equivalente a una tonelada de residuos. Entre la especie más utilizada está el Eucalipto con el 34.48% [24].

2.3.2. Muestra

Para realizar el análisis de secado se elaboró 26 probetas, 13 cilíndricas (agujas) y 13 placas planas (escamas) con el mismo volumen, las cuales fueron sometidas a secado por

los métodos de transferencia de calor por convección y transferencia de calor por radiación. En la Tabla 2.2 se muestra las características de las probetas que se analizó.

Tabla 2. 2 Características de las probetas

Cilíndrica	
Diámetro	10 mm
Longitud	25 mm
Volumen	1963 mm ³
Peso	1,30 gr
Cantidad	13 probetas
Placa Plana	
Base	44x44 mm
Espesor	1.014 mm
Volumen	1963 mm ³
Peso	1,88 gr
Cantidad	13 probetas

Fuente: Autor

2.4. Operacionalización de variables

2.4.1. Variable independiente

Secado de aserrín

Tabla 2.3 Variable Independiente

CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS	TÉCNICAS E INSTRUMENTACIÓN
La transferencia de energía calorífica desde el ambiente para retirar la humedad de la superficie del aserrín y la transferencia de la humedad que se encuentra dentro del aserrín hacia la superficie del mismo y su posterior evaporación.	Transferencia de energía calorífica	Calor	¿Qué calor se requiere para secar la probetas?	Observación Fichas de recolección de información Bibliografía
	Retirar la humedad del aserrín	Tiempo de secado Temperatura	¿Qué tiempo es necesario para el secado? 65 °C	

Fuente: Autor

2.4.2. Variable dependiente

Reducir el grado de humedad

Tabla 2. 4 Variable Dependiente

CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS	TÉCNICAS E INSTRUMENTACIÓN
Cuando se tiene un porcentaje elevado de humedad la biomasa resulta ser menos útil para obtener energía por tanto para reducir el grado de humedad es necesario adicionar calor y para determinar el porcentaje de humedad que se redujo se pesa la masa	Adición de calor	Lámparas infrarrojas	¿Qué potencia de las lámparas infrarrojas es necesario para el secado de las probetas?	Bibliografía Termocupla
	Peso de la masa	Peso de la masa al inicio Peso de la masa al final	¿Cuál fue el valor del peso de la masa al inicio antes del secado? ¿Cuál fue el valor del peso de la masa al final del secado?	Ficha de recolección de datos Balanza

Fuente: Autor

2.5. Plan de recolección de información

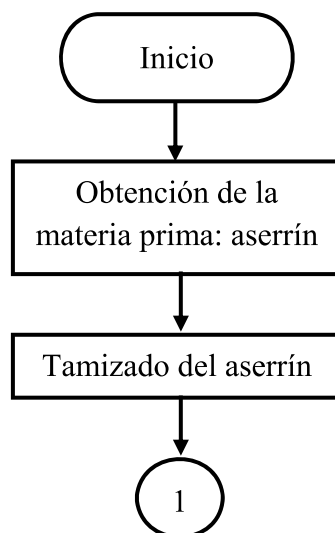
Para realizar el presente trabajo de investigación la recolección de información se realizó mediante fuentes bibliográficas, libros, artículos científicos, revistas, tesis, páginas web académicas, con el fin de recabar información que permita obtener el conocimiento necesario para realizar el análisis del proceso de secado de aserrín. Se utilizó fichas de recolección de datos, la cual nos permite archivar información para su posterior análisis. También se empleó la observación para identificar que las probetas estén correctamente formadas.

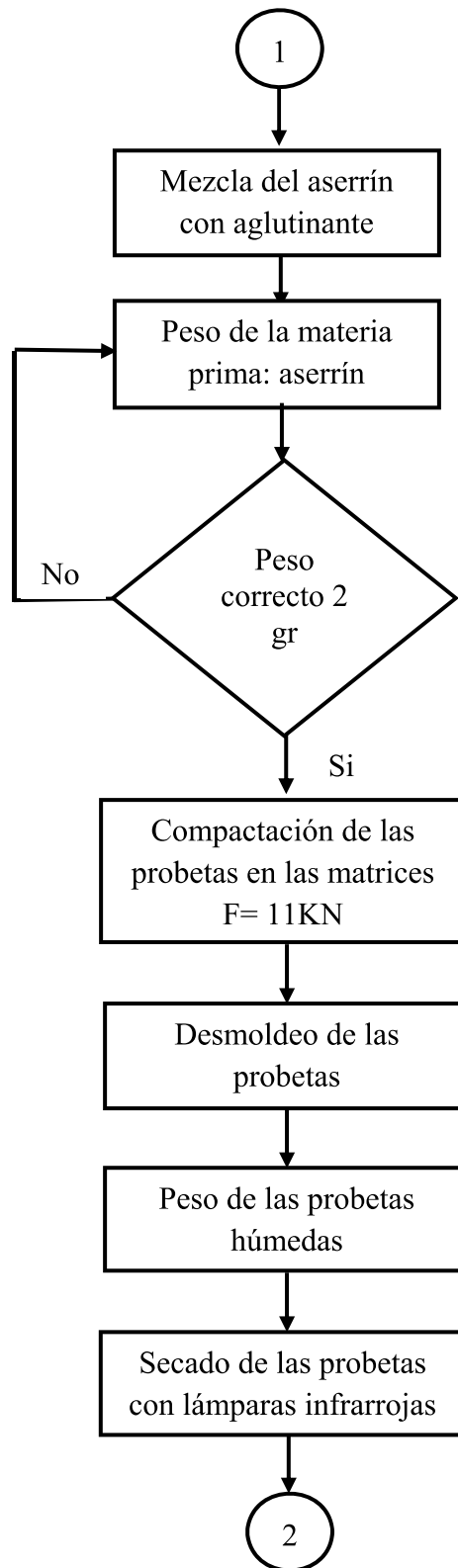
2.6. Plan de procesamiento y análisis

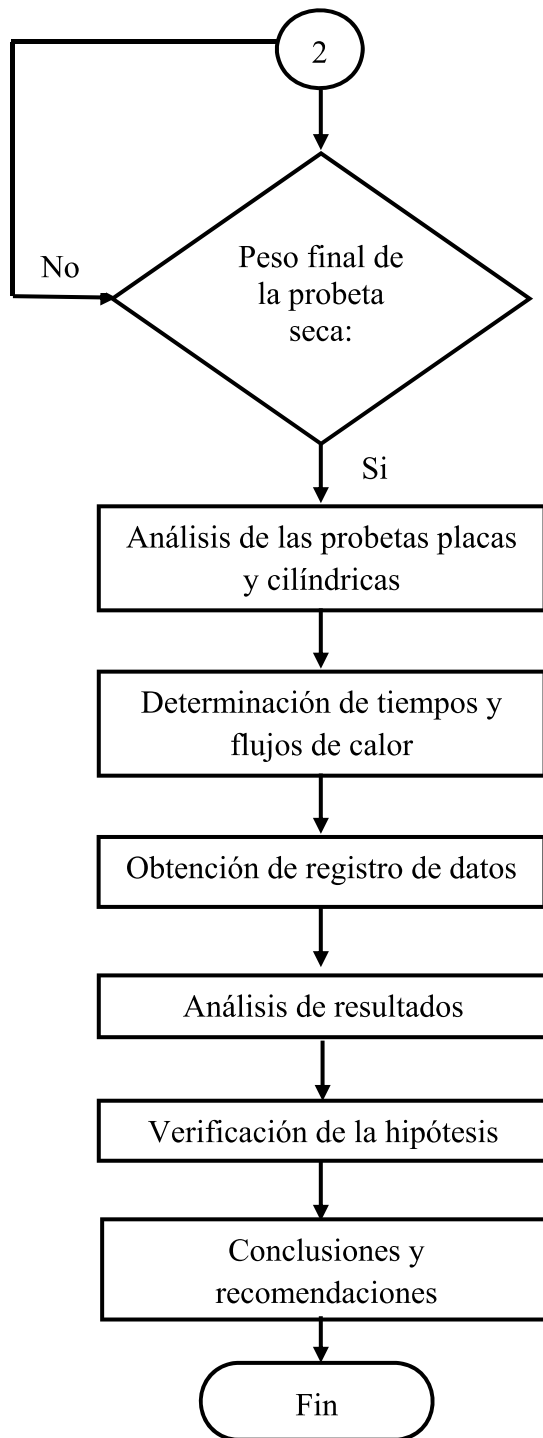
Después de haber obtenido la recolección de información de datos, se procede a organizar tabular y obtener gráficas que permitan tener un mejor entendimiento de los mismos. Con los datos obtenidos se realizará los cálculos necesarios para el análisis del proceso de secado del aserrín.

2.6.1. Diagrama de procesos

Mediante el diagrama de procesos se puede identificar los pasos a seguir para la obtención de la probeta de aserrín y secado del mismo.







2.6.2. Procedimiento

2.6.2.1. Elaboración de las matrices

Tabla 2. 5 Elaboración de las matrices

Actividad	Ilustración
<p>1) Elaboración de planos para la fabricación de las probetas</p> <p>Primeramente, se realizó los planos mediante el cual se tendrá detalladamente las dimensiones para la fabricación de las matrices para probeta placa plana y cilíndrica.</p>	 <p>The illustration shows two 3D CAD models. On the left is a cylindrical specimen with a central hole and a smaller diameter section at the top. On the right is a flat plate matrix with a rectangular hole in the center, matching the dimensions of the specimen.</p>
<p>2) Elaboración de la matriz para probetas placa plana</p> <p>Se utilizó acero A36 para la fabricación de las matrices, se hizo una guía en la placa de acuerdo a las medidas especificadas en el plano, para realizar el corte macho y hembra de la matriz, con la ayuda de una lima se rebajó las rebabas que se tenía cuando se realizó el corte y llegar a las dimensiones requeridas para la obtención de las probetas planas.</p>	 <p>The photograph shows a person in a workshop setting, wearing a grey hoodie, using a file to finish a metal matrix. The matrix is held in a blue vise. The background shows various workshop tools and equipment.</p>

3) Elaboración de la matriz para probetas cilíndricas

Con la ayuda de un torno se fabricó la matriz cilíndrica, se utilizó acero AISI 1018, de acuerdo a las medidas especificadas se realizó el desbastado y taladrado para la fabricación de las piezas como son el cilindro de compactación, el tope extraíble y el punzón de compresión



Fuente: Autor

2.6.2.2. Elaboración del prototipo para el secado de las probetas de aserrín

Tabla 2. 6 Elaboración del prototipo para el secado de las probetas de aserrín

1) Prototipo para el secado de las probetas de aserrín



Para el secado de las probetas de aserrín se utilizó el chasis de un microondas que sirva como aislante ya que se tiene un buen cierre para que no exista fugas de calor para contener la temperatura deseada (65°C). Se realizó el montaje de una boquilla para colocar la lámpara infrarroja de 250W, una termocupla que permitió identificar la temperatura que se encuentra dentro de la cámara de secado, un controlador de temperatura para ajustar y mantener la temperatura dentro de los límites especificados, también se hace uso de un relé de estado sólido para permitir el paso de corriente para encender la lámpara cuando llegue a la temperatura deseada o viceversa para cortar la corriente para apagar la lámpara, un ventilador para fluir el aire dentro de la cámara de secado, dos interruptores on/off para el encendido y apagado de la cámara y del ventilador, también se utilizó cable para la conexiones internas de la cámara de secado.



Fuente: Autor

2.6.2.3. Proceso para realización de las probetas

Tabla 2. 7 Proceso para realización de las probetas

<p>1) Obtención del aserrín</p> <p>El aserrín se obtuvo del aserradero ubicados en el barrio San Pedro Av. Galo Vela. Los cuales están dedicados a la elaboración de tablonés de madera de eucalipto. El cual fue óptimo para obtener el aserrín de eucalipto</p>	 <p>A photograph showing a large, fluffy pile of light brown wood shavings (aserrín) spread out on a white plastic sheet. The shavings are fine and fibrous. In the bottom left corner, there is a small watermark that reads 'REDMI NOTE 8 PRO AI QUAD CAMERA'.</p>
<p>2) Tamizado del aserrín</p> <p>Se realizó el tamizado (3 mm) del aserrín para retirar las impurezas que contiene la materia prima, como también obtener dimensiones menores a 3 mm del aserrín ya que en la bibliografía consultada, con estas dimensiones se obtiene mejores resultados al momento de su compactación.</p>	 <p>A photograph showing a pile of wood shavings (aserrín) on a dark fabric mesh. The shavings are smaller and more uniform in size compared to the previous image, representing the material after sieving. In the bottom left corner, there is a small watermark that reads 'REDMI NOTE 8 PRO AI QUAD CAMERA'.</p>

3) Mezclado del aserrín con aglutinante

Consiste en disolver el aglutinante en agua para después añadirle al aserrín, la mezcla ya humedecida no debe pegarse al recipiente que se realiza la mezcla ni correrse ya que da señal de estar húmeda o por el contrario no debe disgregarse luego de ejercerle una pequeña presión con la mano si esto ocurre es porque la mezcla está muy seca [13].

El tiempo de mezclado es de 10 minutos para homogenizar la mezcla a 40 rpm [13].



4) Peso del aserrín húmedo

Se realizó pruebas de compactación para llegar a las dimensiones de probetas requeridas. Se empezó con un peso de 3 gramos, se rechazó porque no cumplía con las medidas deseadas, realizadas las pruebas se llegó a tener las medidas deseadas de las probetas con un peso de 2 gramos.



5) Llenado del aserrín en las matrices

Luego del pesado del aserrín se procedió a introducirlas en las matrices con cuidado para que no exista fugas de aserrín y se coloque todo lo pesado para que no altere en las dimensiones y el peso después del compactado.



6) Compactación del aserrín en las matrices

Con la ayuda de una prensa hidráulica se realizó la compactación de las probetas con una fuerza de 11 KN.



7) Obtención de las probetas

Al obtener las probetas se comprobó que todas las probetas tengan el mismo peso y las dimensiones requeridas, al no tener el mismo peso se rechazó y volvió a realizar las probetas.

Peso probeta placa: 1.88 gr.




Peso probeta cilíndrica: 1.30 gr.



Fuente: Autor

2.6.2.4. Proceso de secado de las probetas

Tabla 2. 8 Proceso de secado de las probetas

<p>1) Peso del aserrín húmedo</p> <p>Antes de introducir las probetas al secador se verificó que cumplan con el peso indicado anteriormente.</p>	
<p>2) Secado del aserrín</p> <p>En este punto se realiza el secado de las probetas una cilíndrica y una placa plana a la misma vez, se empieza con un tiempo de dos minutos luego cuatro minutos y así sucesivamente variando de dos en dos minutos, con una temperatura de 65°C.</p>	
<p>3) Peso del aserrín después del secado</p> <p>Se efectuó pruebas de dos en dos minutos hasta alcanzar el peso final de las probetas ya secas. Se realizó las pruebas en 13 probetas placas planas y en 13 probetas cilíndricas obteniendo un peso final de: 0,91 gramos para las cilíndricas como para las placas.</p>	

Fuente: Autor

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis y discusión de resultados

3.1.1. Tabulación de datos

Para realizar el análisis de resultados, previamente se hizo el secado mediante una lámpara infrarroja con una potencia de 250W, la cual consistía en introducir dos probetas de aserrín de distinta configuración, una cilíndrica y una placa plana, por dos minutos en la cámara de secado, luego dos probetas de diferente configuración por 4 minutos, y así ir variando el tiempo de dos en dos minutos hasta llegar al secado final.

Se tomó un total de 13 pruebas para las probetas de las dos configuraciones que fueron tabuladas mediante la ayuda de tablas, para su posterior análisis mediante gráficas de dispersión. A continuación, se muestra los datos obtenidos con el secado de lámpara infrarroja en la Tabla 3.1 para las probetas placa plana y Tabla 3.2 para las probetas cilíndricas.

Tabla 3. 1 Tiempo de secado de las probetas placa plana con una potencia de 250W.

N°	Tiempo (min)	Peso inicial (gr)	Peso final (gr)	Reducción de peso (gr)	% de reducción de peso	Humedad inicial (%H _i)	Humedad final (%H _f)
1	2	1,88	1,56	0,32	17%	51,60%	34,57%
2	4	1,88	1,38	0,50	27%	51,60%	25,00%
3	6	1,88	1,32	0,56	30%	51,60%	21,81%
4	8	1,88	1,07	0,81	43%	51,60%	8,51%
5	10	1,88	0,99	0,89	47%	51,60%	4,26%
6	12	1,88	0,97	0,91	48%	51,60%	3,19%
7	14	1,88	0,95	0,93	49%	51,60%	2,13%
8	16	1,88	0,93	0,95	51%	51,60%	1,06%
9	18	1,88	0,91	0,97	52%	51,60%	0,00%
10	20	1,88	0,91	0,97	52%	51,60%	0,00%
11	22	1,88	0,92	0,96	51%	51,60%	0,53%
12	24	1,88	0,91	0,97	52%	51,60%	0,00%
13	26	1,88	0,91	0,97	52%	51,60%	0,00%

Fuente: Autor

La humedad inicial H_i fue calculada considerando que a partir de los 18 minutos toda la humedad fue extraída pues ya no se detectó reducción de peso en las probetas.

Tabla 3. 2 Tiempo de secado de las probetas cilíndricas con una potencia de 250W.

N°	Tiempo (min)	Peso inicial (gr)	Peso final(gr)	Reducción de peso	% de Reducción de peso	Humedad inicial (%H _i)	Humedad final (%H _f)
1	2	1,30	1,18	0,12	9%	30,00%	20,77%
2	4	1,30	1,17	0,13	10%	30,00%	20,00%
3	6	1,30	1,16	0,14	11%	30,00%	19,23%
4	8	1,30	1,1	0,20	15%	30,00%	14,62%
5	10	1,30	1,07	0,23	18%	30,00%	12,31%
6	12	1,30	1,07	0,23	18%	30,00%	12,31%
7	14	1,30	1,05	0,25	19%	30,00%	10,77%
8	16	1,30	1,01	0,29	22%	30,00%	7,69%
9	18	1,30	0,99	0,31	24%	30,00%	6,15%
10	20	1,30	0,96	0,34	26%	30,00%	3,85%
11	22	1,30	0,94	0,36	28%	30,00%	2,31%
12	24	1,30	0,91	0,39	30%	30,00%	0,00%
13	26	1,30	0,91	0,39	30%	30,00%	0,00%

Fuente: Autor

3.2. Interpretación de resultados

3.2.1. Análisis de las probetas placa plana y cilíndrica

Mediante los datos tabulados en las tablas 3.1 y 3.2 se realizó gráficas de dispersión peso final vs tiempo, reducción de peso vs tiempo y % de reducción de peso vs tiempo, para su respectivo análisis.



Figura 3. 1 Peso final de las probetas placa plana y cilíndrica vs tiempo. [Autor]

En la figura 3.1 se puede observar que el peso inicial de la probeta placa plana es de 1,88 gr, se realizó el secado mediante una lámpara infrarroja de potencia de 250W obteniendo una temperatura de 65°C, en intervalos ascendentes de dos en dos minutos, por lo que se puede observar al dejar secar en el prototipo de secador por 18 minutos se tiene el peso final que es de 0,91 gramos. Mientras que para la probeta cilíndrica su peso inicial es de 1,30 gramos, para llegar al peso final de 0,91 gramos tuvo que mantenerse dentro del prototipo de secadora por 24 minutos.

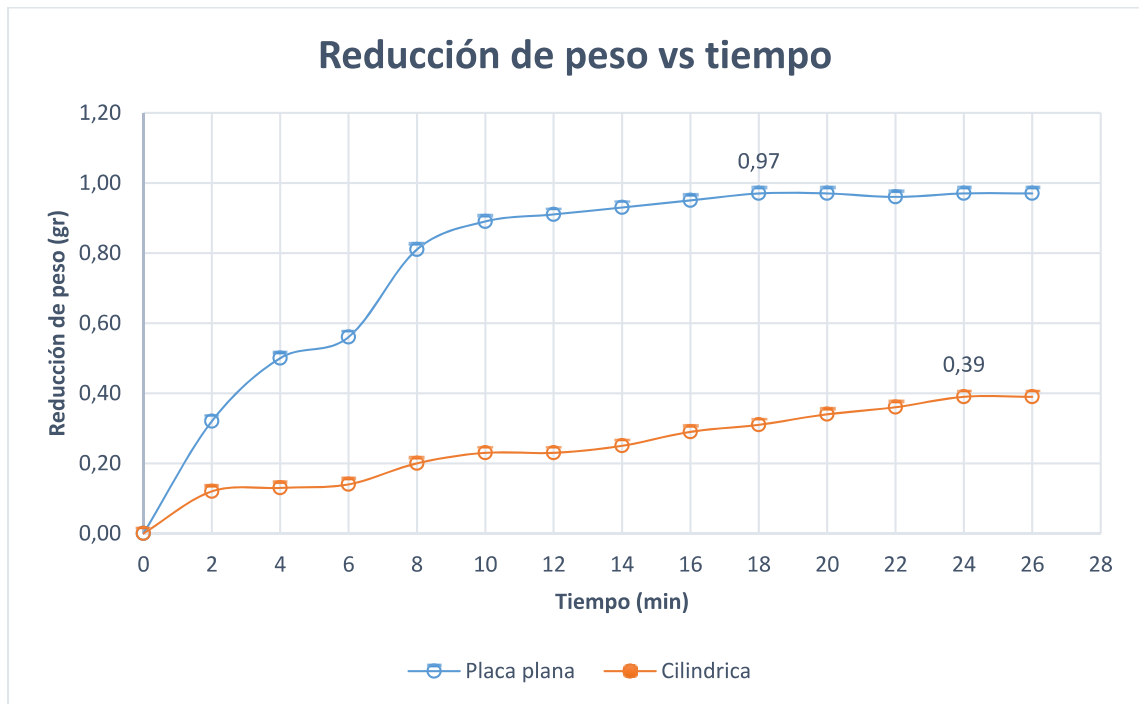


Figura 3. 2 Reducción de peso de las probetas placa plana y cilíndrica vs tiempo. [Autor]

En la figura 3.2 se puede apreciar que a medida que pasa el tiempo las probetas dentro del prototipo de secador va reduciendo su peso, teniendo una disminución significativa en la probeta placa plana de 0,97 gramos en un tiempo de 18 minutos, mientras que en la probeta cilíndrica el peso que se redujo es de 0,39 gramos en 24 minutos. Lo que demuestra que en una configuración placa plana se reduce en menos tiempo el peso hasta llegar a su peso final.

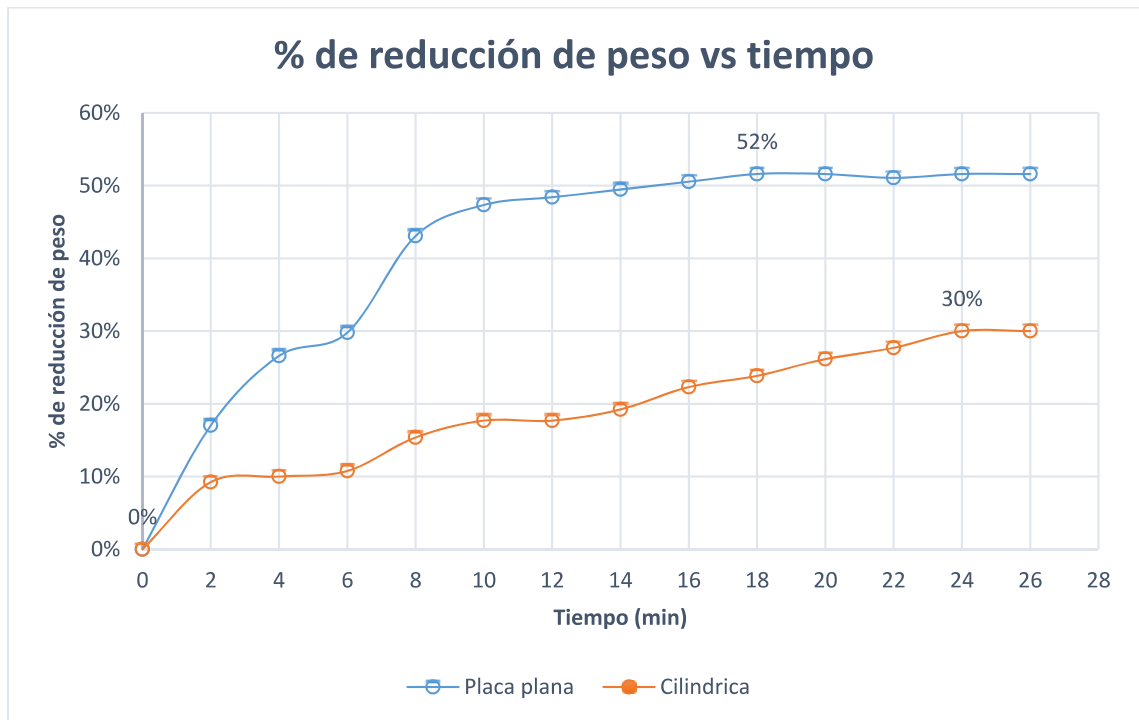


Figura 3.3 % de reducción de peso de las probetas placa plana y cilíndrica vs tiempo [Autor]

En la figura 3.3 se puede identificar que en la probeta placa plana el porcentaje de reducción de peso es de 52% lo que demuestra que la humedad que se encontraba en este tipo de probeta era mayor a la materia prima con el 48% (aserrín de eucalipto). En tanto la probeta cilíndrica el porcentaje de reducción de peso es de 30%, lo que demuestra que la humedad que se encontraba en este tipo de probetas era menor a la materia prima que es del 70%.

3.2.2. Análisis térmico

3.2.2.1. Calor requerido para secar las probetas

Mediante el balance energético se puede calcular el calor requerido para secar las probetas de aserrín de eucalipto.

$$q_{requerido} = q_{probeta} + q_{aire} + q_{evap} \quad \text{Ec. 3.1}$$

Donde:

$q_{requerido}$: Calor requerido para secar las probetas

$q_{probeta}$: Calor que absorbe la probeta

q_{aire} : Calor necesario para calentar el aire circundante

q_{evap} : Calor de evaporación

Calor que absorbe la probeta placa plana ($q_{probeta}$)

Tabla 3. 3 Datos de la probeta placa plana y cilíndrica

Datos	Valor	Unidades
$T_{inicial}$	20	°C
T_{final}	65	°C
$m_{probeta\ húmeda}$ (placa plana)	1,88E-03	Kg
$m_{probeta\ seca}$ (placa plana)	9,10E-04	Kg
$m_{probeta\ húmeda}$ (cilíndrica)	1,30E-03	Kg
$m_{probeta\ seca}$ (cilíndrica)	9,10E-04	Kg
cp de la madera	1,38	KJ/Kg°C
cp H ₂ O	4,18	KJ/Kg°C

Fuente: Autor

Tabla 3. 4 Calor que absorbe la probeta placa plana y cilíndrica

$q_{probeta} = m_{probeta\ húmeda} * Cp_{madera} * \Delta T$		Ec. 3.2
$q_{probeta}$ (placa plana)		Unidades
0,116748		KJ
116,748		J
$q_{probeta}$ (cilíndrica)		
0,08073		KJ
80,73		J

Fuente: Autor

Calor necesario para calentar el aire circundante (q_{aire})

Despreciando las humedades en el aire atmosférico se determinó las entalpias.

Tabla 3. 5 Calor necesario para calentar el aire circundante

	Valor	Unidades
T_{prom}	43	°C
$\rho_{aire@43^{\circ}C}$	1,1162	Kg/m3
Dimensiones del secador	0,3 x 0,21 x 0,3	m
V_{sec}	1,89E-02	m3
$q_{aire} = \rho_{aire} * v_{sec} * (h_2 - h_1)$		Ec 3.3
$h1@65^{\circ}C$	338,555	KJ/Kg
$h1@20^{\circ}C$	293,316	KJ/Kg
q_{aire}	954,37	J

Fuente: Autor

Calor de evaporación (q_{evap})

Tabla 3. 6 Calor de evaporación

Datos	Valor	Unidades
m_{evap} (placa plana)	9,70E-04	kg
m_{evap} (cilíndrica)	3,90E-04	kg
cp_{sens}	4,18	KJ/Kg°C
ΔT	45	°C
$hfg@65^{\circ}C$	2346	KJ/Kg
$q_{evp} = q_{sen} + q_{lat}$		Ec. 3.4
$q_{sen} = m_{evp} * Cp_{sens} * \Delta T$		Ec. 3.5
$q_{lat} = m_{evp} * hfg$		Ec. 3.6

Fuente: Autor

Placa plana

Tabla 3. 7 Calor de evaporación placa plana

	Valor	Unidades
q_{sens}	182,457	J
q_{lat}	2275,62	J
q_{evap}	2458,077	J

Fuente: Autor

Cilíndrica

Tabla 3. 8 Calor de evaporación cilíndrica

	Valor	Unidades
q_{sens}	73,359	J
q_{lat}	914,94	J
q_{evap}	988,299	J

Fuente: Autor

Realizado los cálculos necesarios se procede a determinar el calor requerido para secar las probetas, tanto para la probeta placa plana como la probeta cilíndrica.

Tabla 3. 9 Calor requerido para probeta placa plana y cilíndrica

Probeta placa plana:	$q_{requerido} = 116,748 + 954,37 + 2458,077$ $q_{requerido} = 3529,195 \text{ J}$
Probeta cilíndrica:	$q_{requerido} = 80,73 + 954,37 + 988,299$ $q_{requerido} = 2023,399 \text{ J}$

Fuente: Autor

Para determinar la potencia requerida se debe tener en cuenta el tiempo necesario que se empleó para el secado de las probetas. Por consiguiente, el tiempo necesario para secar la

probeta placa plana fue de 18 min que es igual a 1080 segundos, y para secar la probeta cilíndrica se empleó un tiempo de 24 min dando un valor de 1440 segundos.

Tabla 3. 10 Potencia requerida

Probeta placa plana:	$Q_{requerido} = 3,268 \text{ W}$
Probeta cilíndrica:	$Q_{requerido} = 1,405 \text{ W}$

Fuente: Autor

Para dos placas aproximadamente: 6 W.

3.2.2.2. Cálculo de los coeficientes de convección forzada y radiación al exterior del secador

Pérdidas por convección exterior desde las paredes de la cámara.

Coefficiente de convección forzada exterior.

Tabla 3. 11 Datos para el cálculo del coeficiente de convección forzada exterior

Datos	Valor	Unidades
$T_{\text{pared exterior}}$	40	°C
$T_{\text{ambiente exterior}}$	20	°C
V	0,2	m/s
T_{prom}	30	
viscosidad cinemática (ν)	1,73E-05	m ² /s
numero de prant (Pr)	0,7246	
conductividad térmica (k)	0,02684	w/m°K
difusividad térmica (α)	2,39E-05	m ² /s ²
Lc	0,3	m
Área de transferencia de calor	0,432	m ²

Fuente: Autor

Tabla 3. 12 Coeficiente de convección forzada exterior

$Re = \frac{v * Lc}{\nu}$		Ec. 3.7
$Nu = \frac{hc * Lc}{k}$		Ec. 3.8
$Nu = 0,322 * Re^{0,5} * Pr^{\frac{1}{3}}$ para flujo laminar		Ec. 3.9
<i>Re</i>	6933,21	flujo laminar
<i>ho</i>	1,57	W/m ² °C

Fuente: Autor

Calor de pérdidas por convección:

$$q = ho * A * (T_{pared\ exterior} - T_{ambiente\ exterior}) \quad \text{Ec. 3.10}$$

$$q = 1,57 * 0,432 * (40 - 20)$$

$$q = 13,56\ W$$

Coeficiente de radiación

Tabla 3. 13 Datos para el cálculo del coeficiente de radiación

Datos	Valor	Unidades
<i>T_{super}</i>	313,15	°K
<i>T_{ambiente}</i>	293,15	°K
Constante de Stefan Boltzmann (σ)	5,67E-08	W/m ² K ⁴
Emisividad del metal (ϵ)	0,32	

Fuente: Autor

Tabla 3. 14 Coeficiente de radiación

$h_{rad} = \varepsilon * \sigma * (T_s + T_{air}) * (T_s^2 + T_{air}^2)$ Ec. 3.11		
h_{rad}	2,02	w/m°C

Fuente: Autor

Calor de pérdidas por radiación:

$$q = hr * A * (T_{super} - T_{ambiente}) \quad \text{Ec. 3.12}$$

$$q = 2,02 * 0,432 * (40 - 20)$$

$$q = 17,45 \text{ W}$$

Eficiencia del calentamiento

Tabla 3. 15 Salida de energía para algunas lámparas incandescentes [25].

Type of Energy	100-Watt* (750-hour life)	300-Watt (1000-hour life)	500-Watt (1000-hour life)	400-Watt ‡ (2000-hour life)
Light	10.0%	11.1%	12.0%	13.7%
Infrared†	72.0	68.7	70.3	67.2
Conduction-convection	18.0	20.2	17.7	19.1

* Coiled-coil filament.

† Principally near infrared (wavelengths from 700 to 5000 nm).

‡ Tungsten-halogen lamp.

Basándose en la Tabla 3.15 para una lámpara infrarroja de 250W se considera una eficiencia del 89%.

Cálculo de otras pérdidas por aberturas y defectos de aislamiento

Se consideran pérdidas por aberturas, por el orificio del ventilador y por apertura de puertas el momento de sacar probetas.

Pérdidas por orificio del ventilador

Tabla 3. 16 Datos para el cálculo de pérdidas por orificio del ventilador

	Valor	Unidades
P_{atm}	74,695	Kpa
$T_{interna}$	338	°K
$T_{ambiente}$	293	°K
Área	6,4E-03	m ²
Velocidad	0,2	m/s
R_{aire}	0,287	KJ/Kg°K
cp	1,007	KJ/Kg°K

Fuente: Autor

$$P * \dot{v} = \dot{m} * R * T \quad \text{Ec. 3.13}$$

$$P * A * V = \dot{m} * R * T \quad \text{Ec. 3.14}$$

$$\dot{m} = \frac{P * A * V}{R * T} \quad \text{Ec. 3.15}$$

$$\dot{m} = \frac{74,685 * 6,4E - 03 * 0,2}{0,287 * 338}$$

$$\dot{m} = 9,85E - 04 \text{ Kg/s}$$

$$q = \dot{m} * cp * (T_{interna} - T_{externa}) \quad \text{Ec. 3.16}$$

$$q = 9,85E - 04 * 1,007 * (338 - 293)$$

$$q = 44,64 \text{ W}$$

Pérdida por aberturas

En este caso existe aberturas por malla teniendo pequeños agujeros de diámetro de 3 mm, de los cuales hay 210 agujeros.

Tabla 3. 17 Datos para el cálculo de pérdidas por aberturas

	Valor	Unidades
P_{atm}	74,695	Kpa
T_{inter}	338	°K
$T_{ambiente}$	293	°K
Área	7,07E-06	m ²
Velocidad	0,2	m/s
R_{aire}	0,287	KJ/Kg°K
cp	1,007	KJ/Kg°K

Fuente: Autor

$$\dot{m} = \frac{74,685 * 7,07E - 06 * 0,2}{0,287 * 338}$$

$$\dot{m} = 1,09E - 06 \text{ Kg/s}$$

$$q = \dot{m} * cp * (T_{interna} - T_{externa})$$

$$q = 1,09E - 06 * 1,007 * (338 - 293)$$

$$q = 0,049 \text{ W}$$

$$q = 0,049 * 210$$

$$q = 10,29 \text{ W}$$

Pérdida por apertura de puerta

$$m = \frac{P * V}{R * T}$$

Ec. 3.17

$$m = \frac{74,69 * 0,0189}{0,287 * 338}$$

$$m = 0,014 \text{ Kg}$$

$$q = m * cp * (T_2 - T_1) \quad \text{Ec. 3.18}$$

$$q = 0,014 * 1,007 * (65 - 20)$$

$$q = 634,41 J$$

Para calcular las pérdidas de calor por apertura de puerta al momento de sacar la probeta, se va dividir el q calculado anteriormente por 14 segundos que se demora en sacar e introducir las nuevas probetas a secar.

$$q = \frac{634,41}{14}$$

$$q = 45,31 W$$

Balance de energía

Considerando que la carga máxima es de 30 probetas la energía útil es 90W.

$$Q_{entra} - Q_{sale} = \text{variación de energía almacenada} \quad \text{Ec. 3.19}$$

$$222,5W - (13,56 + 17,45 + 44,64 + 10,29 + 45,31)W = 90W$$

Representación diagrama Sankey

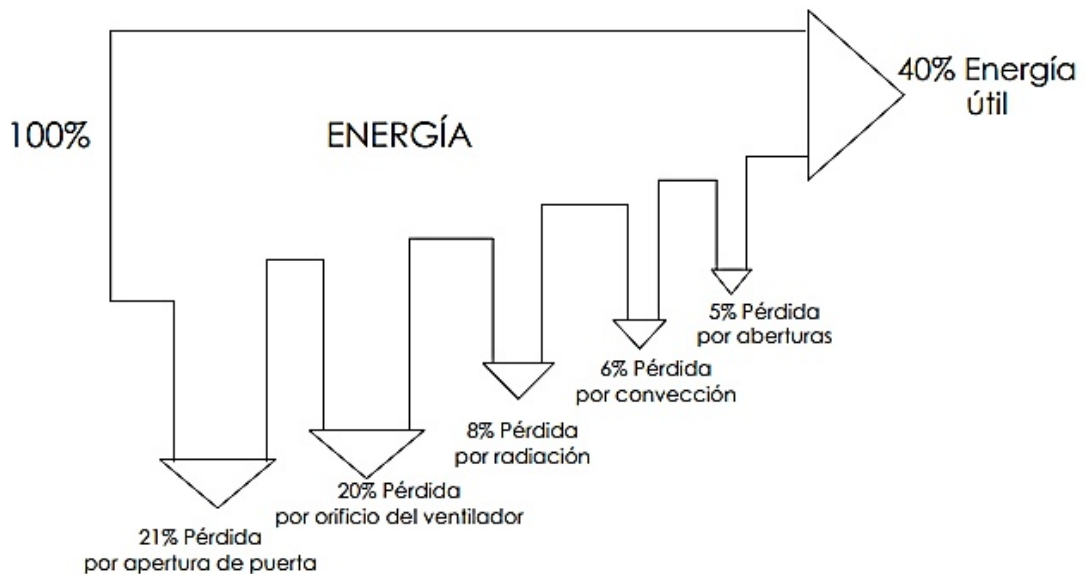


Figura 3. 4 Diagrama Sankey [Autor]

Cálculo de la eficiencia

Considerando que la carga máxima es de 30 probetas 90W.

$$\eta = \frac{\text{energía útil}}{\text{energía requerida}} \quad \text{Ec. 3.20}$$

$$\eta = \frac{90W}{222.5W}$$

$$\eta = 40 \%$$

3.2.3. Análisis de la distribución de temperatura en la cámara de secado

Para determinar la distribución de temperatura se realizó un análisis computacional mediante el software solidWorks, con la ayuda de la herramienta Flow Simulation, el cual permite tener una visión como se distribuiría a tiempo real la temperatura al interior de la cámara de secado. El estudio se realizó en estado transitorio.

3.2.3.1. Elaboración del modelo a simular

Se realizó la elaboración del modelo a simular con las siguientes dimensiones, base 30 cm, altura 21 cm y profundidad de 30 cm, también se añadió un ventilador de 8 por 8 cm y el modelado del foco infrarrojo como se puede apreciar en la figura 3.5

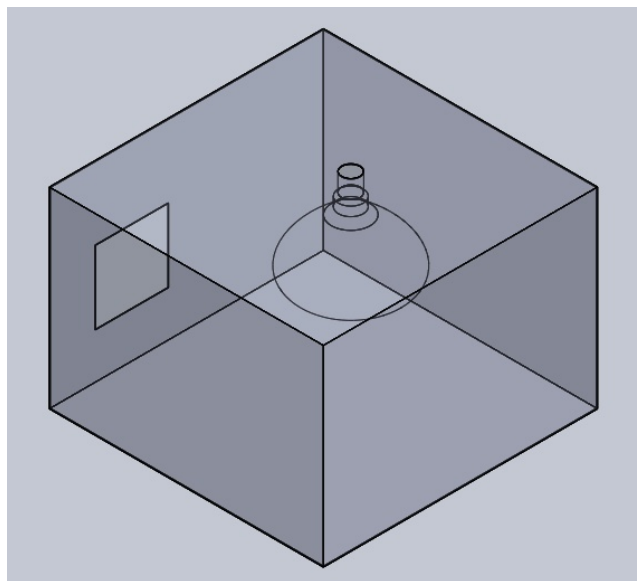


Figura 3. 5 Modelo de la cámara de secado [Autor]

3.2.3.2. Creación de lids en agujeros

Como se realizó un análisis interno es necesario que el volumen este completamente cerrado, por tal motivo se creó un lids donde va ubicado el ventilador.

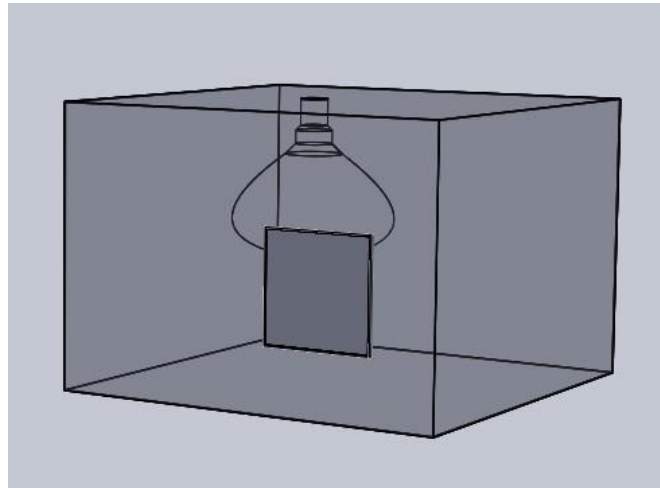


Figura 3. 6 Lid para agujeros [Autor]

3.2.3.3. Configuración del estudio

Selección de las unidades para el análisis

Para realizar en análisis se empieza con el wizard ya que este abarca la mayor configuración para realizar el estudio. En este punto se selecciona las unidades con las que se va a trabajar para realizar en analisis para este proyecto se utilizara el sistema internacional

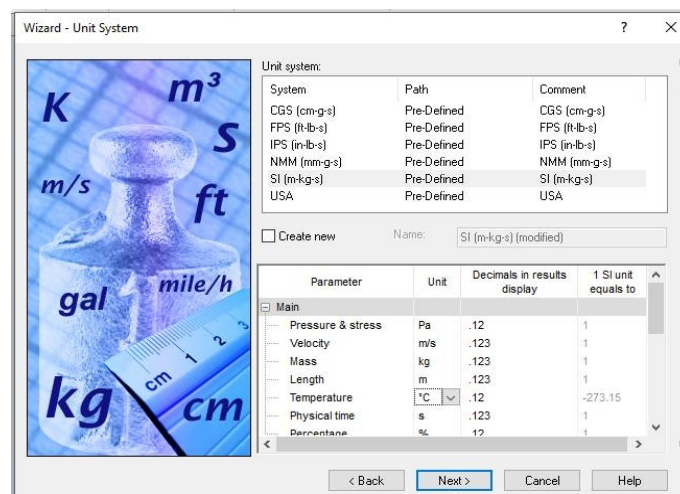


Figura 3. 7 Unidades para el análisis [Autor]

Tipo de análisis

Para el análisis de distribución de temperatura se realizó un análisis interno, para el estudio se tiene que activar la conducción la radiación y la gravedad que nos permite activar el efecto de la convección.

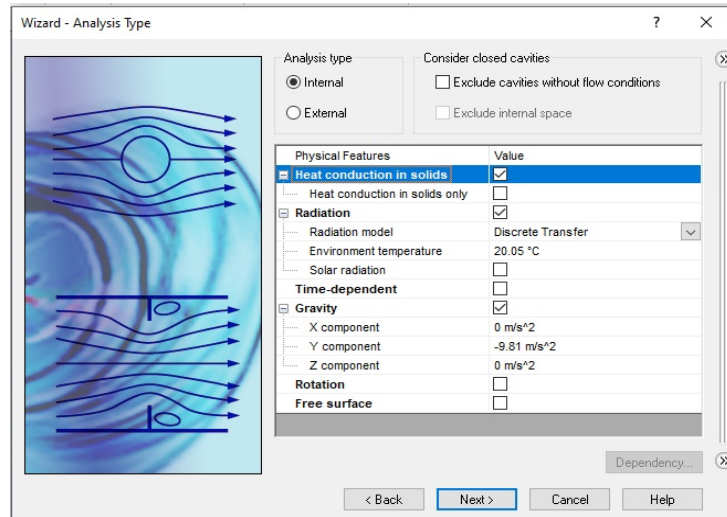


Figura 3. 8 Tipo de análisis [Autor]

Selección del fluido

En vista que existe convección debe a ver fluido por lo tanto el fluido que se va a utilizar es el aire.

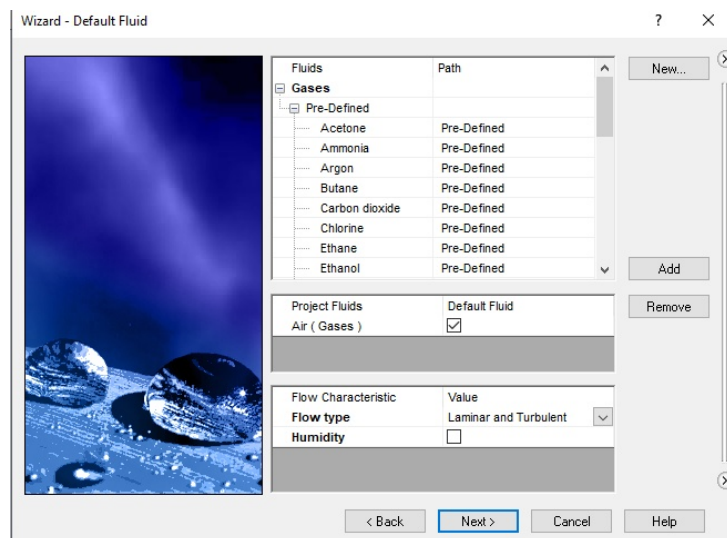


Figura 3. 9 Selección del fluido [Autor]

Selección del sólido

Al a ver conducción debe existir un sólido en este caso el sólido es la cámara de secado

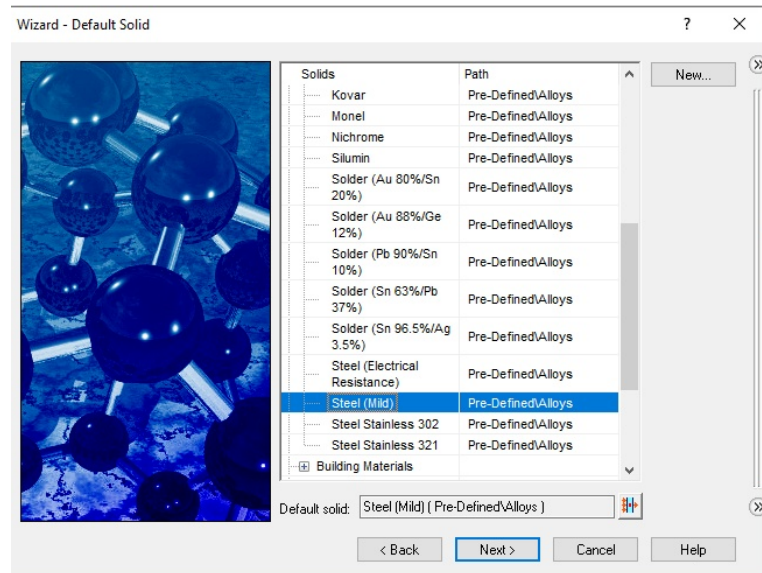


Figura 3. 10 Selección del sólido [Autor]

3.2.3.4. Materiales de los elementos de la cámara de secado

En este punto se selecciona los materiales que están compuesto los elementos de la cámara de secado como la base del foco, el foco y la cámara de secado.

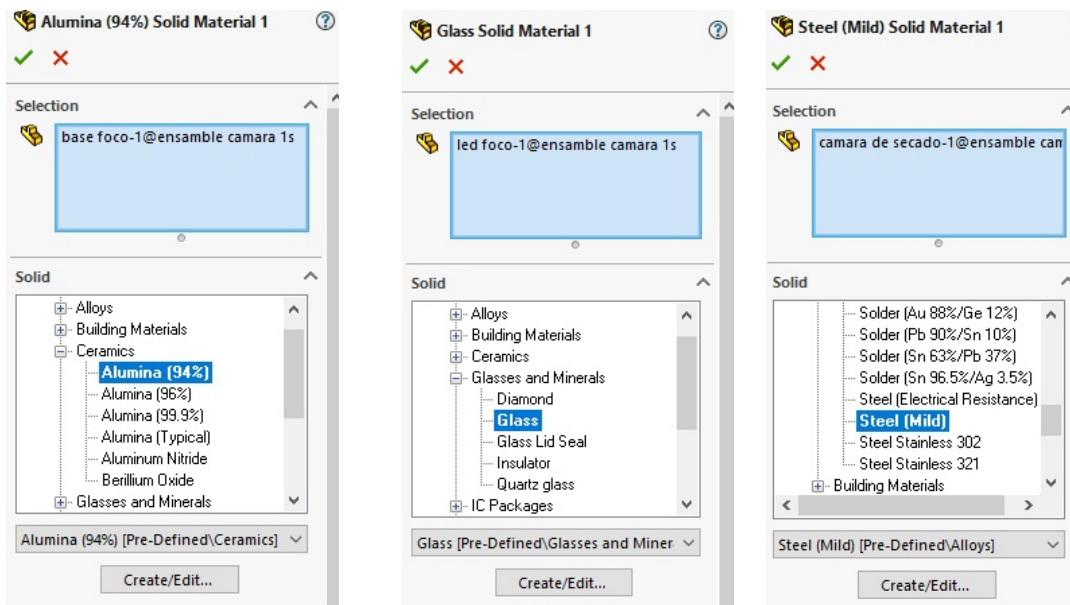


Figura 3. 11 Selección de los materiales de la cámara de secado [Autor]

3.2.3.5. Condiciones de frontera

Se introdujo las condiciones de frontera en la parte del ventilador en la cual se ubicó la presión ambiental y la velocidad del aire que es igual a 0.2 m/s

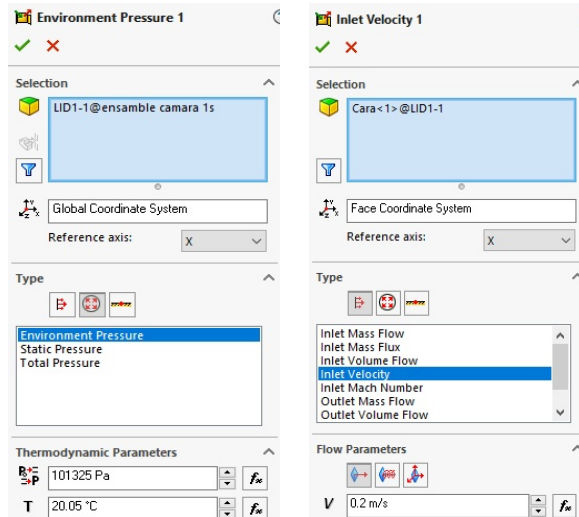


Figura 3. 12 Condiciones de frontera [Autor]

3.2.3.6. Introducción de las fuentes de calor por convección y conducción

Sabiendo que el foco tiene una potencia de 250W se debe tener en claro que solo un porcentaje de esto se convierte en calor por convección y conducción por tal motivo se utilizara la tabla 3.15, en vista que no se tiene el valor de 250W se realizó una interpolación entre las potencias de 100W y 300W, obteniendo un valor de 19.6 % que es lo que produce calor por convección y radiación, entonces la potencia es 49W

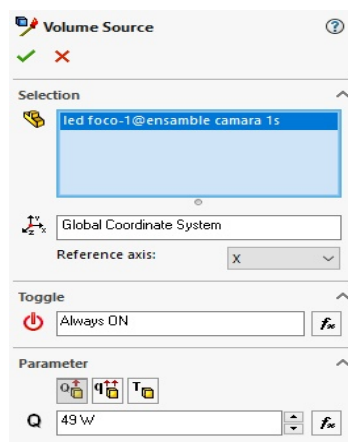


Figura 3. 13 Introducción de la fuente de calor [Autor]

3.2.3.7. Introducción de las fuentes radiantes

Se introdujo las fuentes radiantes en este caso es el foco y la cámara de secado

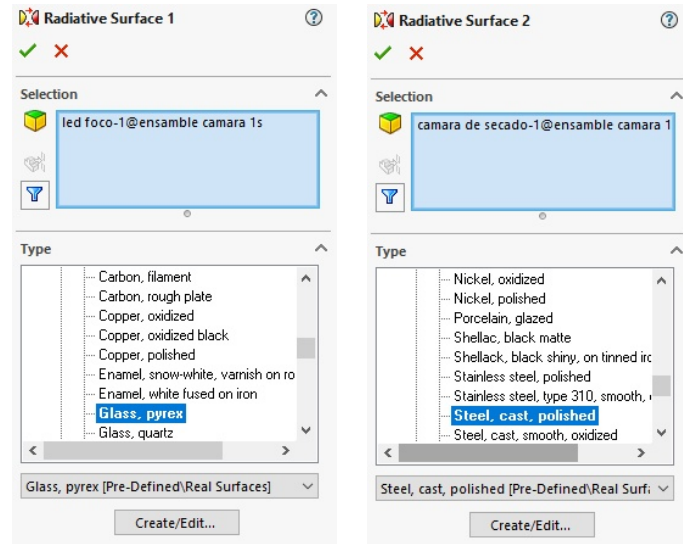


Figura 3. 14 Introducción de la fuente radiante [Autor]

3.2.3.8. Instrucción de la fuente de calor por radiación

En este punto también se hizo uso de la tabla 3.15 para saber el porcentaje que se transforma en energía por radiación para el foco de 250 W realizada la interpolación el resultado obtenido fue de 69.5%, por tal motivo la potencia es de 173.75W

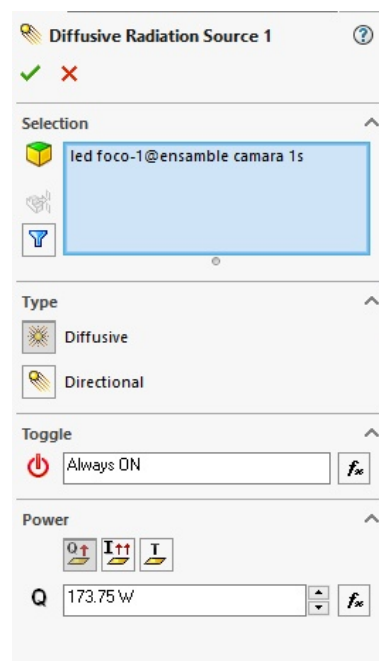
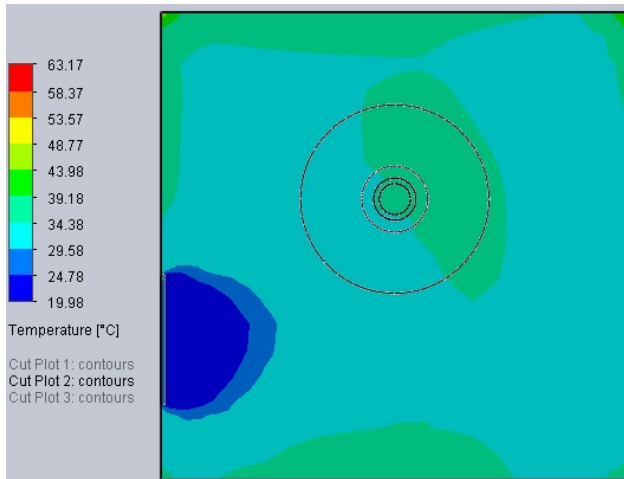
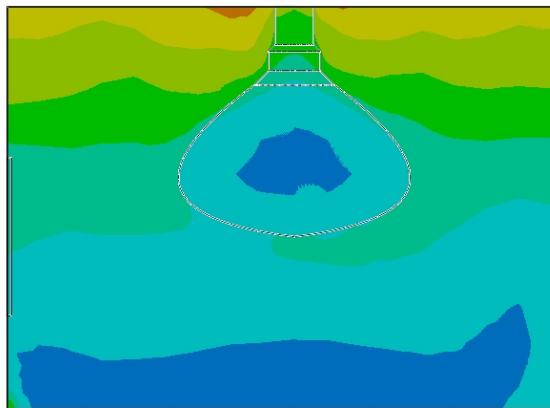


Figura 3. 15 Introducción de la fuente de calor por radiación [Autor]

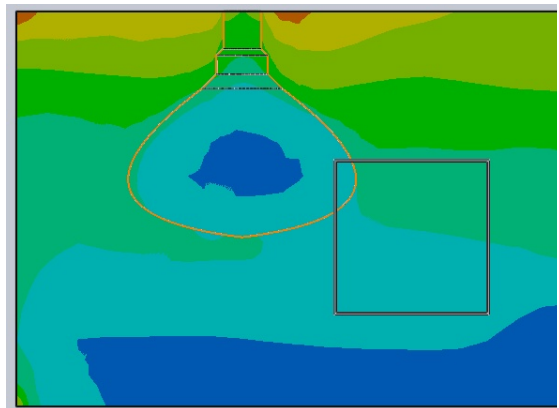
3.2.3.9. Resultados obtenidos de la simulación Análisis con tiempo transcurrido de 3 minutos



a) Vista superior



b) Vista frontal



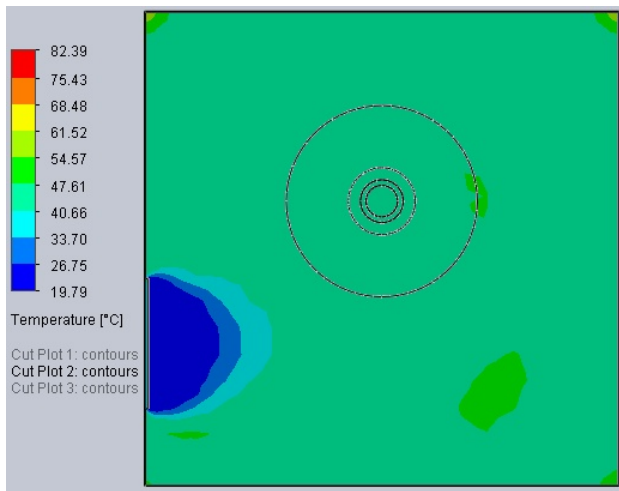
c) Vista lateral

Figura 3. 16 Distribución de temperatura en la cámara de secado con un tiempo de 3 minutos.

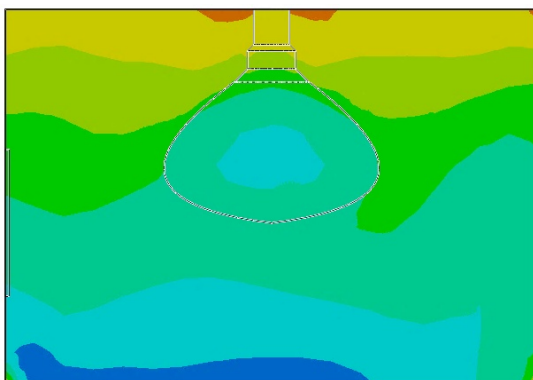
[Autor]

Como se puede identificar en la figura 3.16 al haber transcurrido 3 minutos encendida la cámara de secado se puede ver cómo se va distribuyendo la temperatura, el aire caliente tiende a subir, mientras que el aire frío tiende a bajar, esto se debe a que la densidad del aire caliente es menor a la densidad del aire frío.

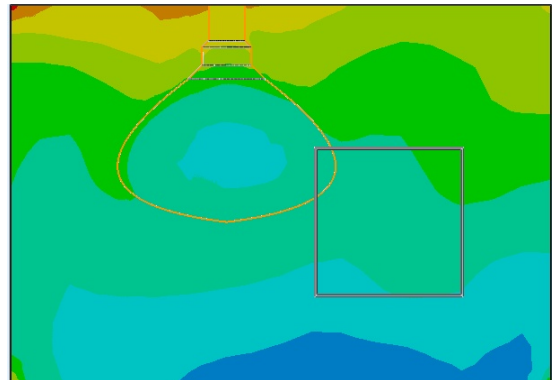
Análisis con tiempo transcurrido de 6 minutos



a) Vista superior



b) Vista frontal

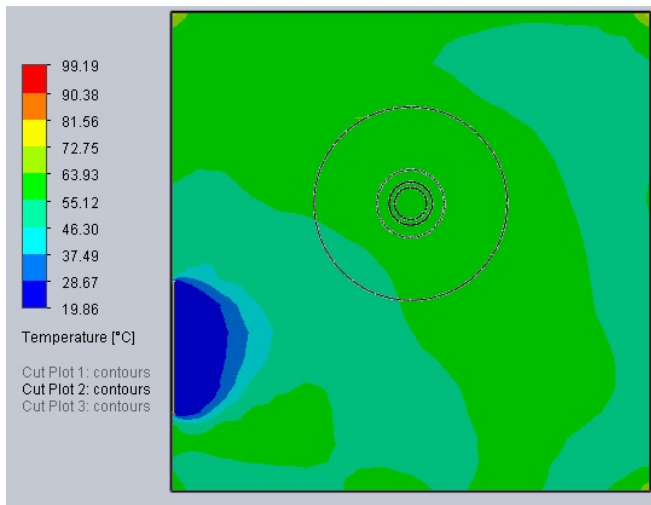


c) Vista lateral

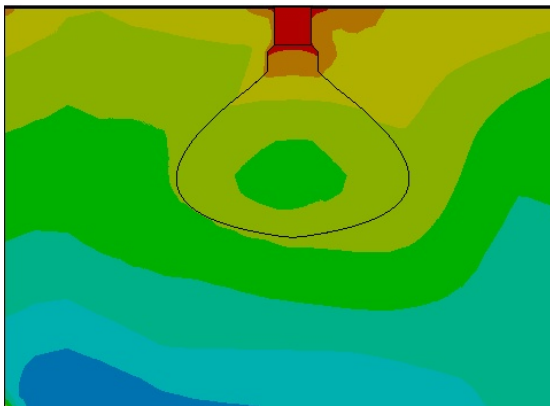
Figura 3. 17 Distribución de temperatura en la cámara de secado con un tiempo de 6 minutos.
[Autor]

Como se puede ver en la figura 3.17 al ver transcurrido 6 minutos se tiene más presencia aire caliente, llegando a tener una máxima temperatura en la parte superior con una temperatura de 68 °C aproximadamente, y la menor temperatura se tiene en la entrada de aire que es accionada por un ventilador teniendo un valor de 19 °C aproximadamente.

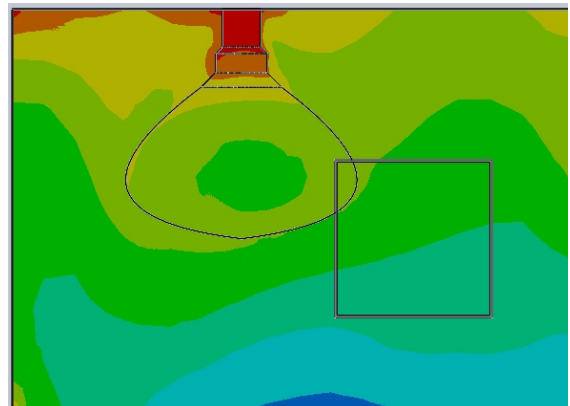
Análisis con tiempo transcurrido de 12 minutos



a) Vista superior



b) Vista frontal



c) Vista lateral

Figura 3. 18 Distribución de temperatura en la cámara de secado con un tiempo de 9 minutos.
[Autor]

Mediante la figura 3.18 se puede identificar que a los 12 minutos de a ver accionada la cámara de secado se tiene la temperatura deseada que es de 65°C, teniendo una temperatura máxima en la parte superior con 81 °C aproximadamente y la temperatura menor en la parte inferior con 46 °C aproximadamente. Por lo que la cámara de secado cuenta con un dispositivo para apagar la cámara de secado cuando supere la temperatura deseada y a su vez encender cuando baje de los 65°C.

3.2.4. Verificación de la hipótesis

3.2.4.1. Verificación de la hipótesis para probeta placa plana

Para la verificación de la hipótesis se hizo uso del método T student el cual nos permite identificar si hay alguna diferencia entre dos variables. Lo que permitirá rechazar o aceptar la hipótesis planteada para esta investigación

Hipótesis nula (H₀):

El proceso de secado de probetas placa plana de aserrín de madera de eucalipto con lámparas infrarrojas **no permitirá** reducir el grado de humedad.

Hipótesis alternativa (H_a):

El proceso de secado de probetas placa plana de aserrín de madera de eucalipto con lámparas infrarrojas **permitirá** reducir el grado de humedad.

Para los cálculos estadísticos se va utilizar la Tabla 3.18, en la cual están detallados los datos que se obtuvieron en el secado de las probetas placa plana y cilíndrica.

Tabla 3. 18 Reducción de peso de probetas placa plana

N° de probeta	Peso Inicial		Peso Final	
	Peso Inicial	(Peso Inicial) ²	Peso Final	(Peso Final) ²
1	1,88	3,53	1,56	2,43
2	1,88	3,53	1,38	1,90
3	1,88	3,53	1,32	1,74
4	1,88	3,53	1,07	1,14
5	1,88	3,53	0,99	0,98
6	1,88	3,53	0,97	0,94
7	1,88	3,53	0,95	0,90
8	1,88	3,53	0,93	0,86
9	1,88	3,53	0,91	0,83
10	1,88	3,53	0,91	0,83
11	1,88	3,53	0,92	0,85
12	1,88	3,53	0,91	0,83
13	1,88	3,53	0,91	0,83

Total	24,44	45,95	13,73	15,07
Promedio	1,88	3,53	1,06	1,16

Fuente: Autor

Cálculo de las probabilidades

Para realizar el cálculo de la probabilidad se lo hace con la siguiente ecuación:

$$P = \frac{\alpha}{100} \quad \text{Ec 3.21}$$

Donde:

P: Probabilidad

α : Nivel de significancia

El nivel de confianza que se utiliza en esta investigación es del 95 % por tanto el nivel de significancia es de 5%

$$P = \frac{5}{100}$$

$$P = 0,05$$

Como son dos grupos la probabilidad se divide para dos

$$P = 0,025$$

Grados de libertad

Para el cálculo de los grados de libertad se lo hará con la siguiente ecuación

$$gl = (N_A - 1) + (N_B - 1) \quad \text{Ec. 3.22}$$

$$gl = (13 - 1) + (13 - 1)$$

$$gl = 24$$

Conociendo el valor de la probabilidad y los grados de libertad se procede calcular el “t” de Student, dato que se la obtendrá de la Tabla 3.19

Tabla 3. 19 Tabla t-Student [26].

<i>df</i>	$t_{.100}$	$t_{.050}$	$t_{.025}$	$t_{.010}$	$t_{.005}$
1	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657
2	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925
3	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841
4	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604
5	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032
6	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707
7	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499
8	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355
9	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250
10	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169
11	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106
12	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055
13	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012
14	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977
15	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947
16	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921
17	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898
18	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878
19	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861
20	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845
21	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831
22	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819
23	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807
24	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797
25	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787

Por consiguiente, el “t” tabulado es el siguiente:

$$"t"_{tab} = \pm 2,064$$

Cálculo de la varianza de la muestra

$$scx = \sum R^2 - \frac{\sum(R)^2}{n} \tag{Ec. 3.23}$$

$$scxa = 45,95 - \frac{(24,44)^2}{13}$$

$$scxa = 0,00$$

$$scxb = 15,07 - \frac{(13,73)^2}{13}$$

$$scxb = 0,57$$

Varianza combinada

$$Sc^2 = \frac{scxa + scxb}{(na - 1) + (nb - 1)} \quad \text{Ec. 3.24}$$

$$Sc^2 = \frac{0,00 + 0,57}{(13 - 1) + (13 - 1)}$$

$$Sc^2 = 0,024$$

Desviación estándar de la diferencia

$$\overline{sd} = \sqrt{Sc^2 * \left(\frac{na + nb}{na * nb}\right)} \quad \text{Ec. 3.25}$$

$$\overline{sd} = \sqrt{0,028 * \left(\frac{13 + 13}{13 * 13}\right)}$$

$$\overline{sd} = 0,061$$

Valor de t

$$t = \frac{\overline{Xa} - \overline{Xb}}{\overline{sd}} \quad \text{Ec. 3.26}$$

$$t = \frac{1,88 - 1,06}{0,066}$$

$$t = 13,61$$

$$t_{calculado} = 13,61 > t_{tabulado} = 2,064$$

Se rechaza la hipótesis nula, por tanto:

El proceso de secado de probetas placas planas de aserrín de madera de eucalipto con lámparas infrarrojas **permitirá** reducir el grado de humedad.

3.2.4.2. Verificación de la hipótesis para probeta cilíndrica

Para la verificación de la hipótesis se hizo usos del método T student el cual permite identificar si hay alguna diferencia entre dos variables. Lo que permitirá rechazar o aceptar la hipótesis planteada para esta investigación.

Hipótesis nula (H₀):

El proceso de secado de probetas cilíndrica de aserrín de madera de eucalipto con lámparas infrarrojas **no permitirá** reducir el grado de humedad.

Hipótesis alternativa (H_a):

El proceso de secado de probetas cilíndrica de aserrín de madera de eucalipto con lámparas infrarrojas **permitirá** reducir el grado de humedad.

Tabla 3. 20 Reducción de peso de probetas placa plana

N° de probeta	Peso Inicial		Reducción Final	
	Peso Inicial	(Peso Inicial) ²	Peso Final	(Peso Final) ²
1	1,30	1,69	1,18	1,39
2	1,30	1,69	1,17	1,37
3	1,30	1,69	1,16	1,35
4	1,30	1,69	1,1	1,21
5	1,30	1,69	1,07	1,14
6	1,30	1,69	1,07	1,14
7	1,30	1,69	1,05	1,10
8	1,30	1,69	1,01	1,02
9	1,30	1,69	0,99	0,98
10	1,30	1,69	0,96	0,92
11	1,30	1,69	0,94	0,88
12	1,30	1,69	0,91	0,83
13	1,30	1,69	0,91	0,83

Total	16,90	21,97	13,52	14,17
Promedio	1,30	1,69	1,04	1,09

Fuente: Autor

Tabla 3. 21 Cálculo de las probabilidades

Probabilidad (P)	0,05
Para dos colas	0,025
gl	24
" t " _{tab}	2,064
$scxa$	0,00
$scxb$	0,11
Sc^2	0,005
\overline{Sd}	0,027
t	9,79

Fuente: Autor

$$t_{calculado} = 9,79 > t_{tabulado} = 2,064$$

Se rechaza la hipótesis nula, por tanto:

El proceso de secado de probetas cilíndrica de aserrín de madera de eucalipto con lámparas infrarrojas **permitirá** reducir el grado de humedad.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Se realizó el secado en dos tipos de probetas de diferente configuración una placa plana y otra cilíndrica, mediante una lámpara infrarroja con una potencia nominal de 250W, obteniendo para la probeta placa plana la humedad inicial de 51,60% con un peso de 1,88 gramos, se realizó el secado de la probeta hasta retirar toda humedad alcanzando un peso final de 0,91 gramos, mientras que para la probeta cilíndrica se obtuvo la humedad inicial de 30% con un peso de 1,30 gramos después de haber realizado el secado respectivo se obtuvo un peso final de 0,91 gramos.
- Mediante el análisis peso final vs tiempo, se identificó que la probeta placa plana a los 18 minutos se obtuvo el retiro de toda la humedad existente en este tipo de probeta, mientras que para la probeta cilíndrica se logró reducir toda su humedad a los 24 minutos.
- Basándose en el análisis reducción de peso vs tiempo se determina que existe mayor cantidad de humedad en la probeta placa plana con un peso de 0,97 gramos, mientras que en la probeta cilíndrica se tiene una cantidad de humedad de 0,39 gramos. Mediante este análisis se demuestra que para una configuración placa plana la extracción de humedad resulta ser más rápida que en una configuración cilíndrica.
- En base al análisis porcentaje de reducción de peso vs tiempo se demuestra que se tiene mayor porcentaje de humedad en la probeta placa plana con 52% lo que demuestra que hay más humedad que materia prima (aserrín de eucalipto), en cambio en la probeta cilíndrica se tiene un porcentaje de humedad del 30% dando a entender que hay más cantidad de materia prima (aserrín de eucalipto) y menor humedad.
- Mediante el balance de energía se determinó el calor necesario para secar las probetas de aserrín obteniendo un valor de 3529,19 J para la probeta placa plana y 2023,39 J para la probeta cilíndrica. Para determinar la potencia requerida se debe considerar el tiempo necesario para secar las probetas, por consiguiente, para secar la probeta placa plana se realizó en un tiempo de 18 minutos que equivale a 1080 segundos y el tiempo utilizado para secar la probeta cilíndrica es de 24 minutos que equivale a 1440

segundos. Por tanto, al dividir el calor por el tiempo se obtiene la potencia para la probeta placa plana de 3,268 W y para la probeta cilíndrica un valor de 1,405 W.

- Mediante un análisis computacional, se determinó la distribución de temperatura al interior de la cámara de secado, se realizó un análisis a los 3 minutos en el cual se ve como se distribuye la temperatura el aire caliente tiende a subir, mientras que el aire frío tiende a bajar, debido que la densidad del aire caliente es menor a la densidad del aire frío. A los 12 minutos de permanecer en accionamiento la cámara de secado se llega a la temperatura deseada de 65°C, teniendo una temperatura máxima en la parte superior con 81°C y a la parte inferior con una temperatura de 46 °C.

4.2. Recomendaciones

- Para realizar las matrices para las probetas se debe tener los planos correspondientes para que no exista ningún error al momento de mecanizar las piezas lo que conlleva a pérdidas económicas.
- Se debe utilizar todos los equipos de protección personal al momento de mecanizar las matrices.
- Hay que tamizar el aserrín ya que estos vienen con materiales indeseables por lo que se desea tener solo aserrín para su respectivo análisis, también las partículas de aserrín de acuerdo a la investigación realizada deben ser menor a 3 mm para tener excelentes características de compactación y superficial.
- Antes de compactar el aserrín húmedo se debe realizar una mezcla con aglutinante, mediante la investigación realizada para hacer la mezcla se utiliza, 90 gramos de aserrín más 10 gramos de cola blanca y 300 mililitros de agua, el tiempo que debe mezclar estos productos son 10 minutos, con esto se logra obtener una buena compactación permitiendo obtener la forma de la probeta y no exista desmoronamiento del mismo.
- Para realizar la compactación del aserrín se debe hacerlo en una prensa hidráulica para llegar a tener una buena compactación.
- Hay que verificar que después de compactar las probetas todas tengan el mismo peso, para que no exista inconvenientes al momento de su análisis.
- Se debe tener un buen cierre hermético en el prototipo de secador para que no exista fugas de calor.

BIBLIOGRAFÍA

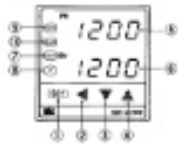
- [1] J. Espinoza, “ESTUDIO DEL PROCESO DE SECADO CON LÁMPARAS INFRARROJAS Y SU INFLUENCIA SOBRE LA DETERMINACIÓN DEL GRADO DE HUMEDAD EN CUBETAS DE CARTÓN DE HUEVOS PRODUCIDAS EN LA FÁBRICA AVÍCOLA UBICADA EN SAMANGA,” Universidad Técnica de Ambato, 2013.
- [2] A. Portero, “ANÁLISIS TÉRMICO DEL PROCESO DE PELETIZADO DEL ASERRÍN DE MADERA DE EUCALIPTO (EUCALIPTUS GLOBULUS LABILL) Y COPAL (DACRYODES OLIVIFERA CUATRECASAS) Y SU INFLUENCIA SOBRE LA FRIABILIDAD DE LOS PELLETS,” Universidad Técnica de Ambato, 2014.
- [3] J. Espinoza, “APLICACIÓN DE UN PROCESO DE SECADO ASISTIDO INFRARROJO PARA LA DESHIDRATACIÓN DEL FRUTO DE MURTILLA,” Universidad de Chile, 2011.
- [4] R. Fernández, R. Aviles, A. Fernández, and S. Calero. (2016, Julio). “DETERMINACIÓN DE LAS POTENCIALIDADES DE ASERRÍN EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL COMO MATERIA PRIMA PARA LA PRODUCCIÓN DE DIVERSOS SURTIDOS EN LA INDUSTRIA FORESTAL,” *HOLOS*. [Online]. vol. 4, pp. 105–114. Available: <https://tinyurl.com/yaw2zq2q> [Junio. 26, 2020]
- [5] J. Pérez, F. Bollet, and E. Zorrilla. (2019, Abril). “USO DEL ASERRÍN COMPACTADO EN COCINAS MEJORADAS Y SU EFICIENCIA EN EL TIEMPO DE USO, COMBUSTIÓN Y PODER CALORÍFICO, PUCALLPA,” *Univ. Priv. Pucallpa*, [Online]. vol. 4, pp. 54–62. Available: <https://doi.org/10.37292/riccva.v4i01.140> [Junio. 26, 2020]
- [6] Ambientum, “La biomasa, nueva fuente de energía.” internet: <https://tinyurl.com/ycxquw6a> [Junio. 27, 2020].
- [7] PARLAMENTO EUROPEO Y EL CONSEJO DE LA UNIÓN EUROPEA, (2009,

- Junio.). “DIRECTIVA 2009/28/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO,” *Diario Oficial de la Unión Europea.*, [Online], pp. 16–61. Available: <https://tinyurl.com/yct4m3xe> [Julio. 02, 2020].
- [8] Coordinación de Energías Renovables, Dirección Nacional de Promoción, and Subsecretaría de Energía Eléctrica. (2008) “Energía Biomasa,” *Energías Renovables.* [Online]. pp. 4-11. Available: <https://tinyurl.com/ygy9mngy> [Julio. 04, 2020].
- [9] I. de Lucas, C. del Peso, E. Rodríguez, and P. Prieto. (2012) “BIOMASA, BIOCMBUSTIBLES Y SOSTENIBILIDAD. ”(1ra edición). [Online]. Available: <https://tinyurl.com/yyp9j923> [Julio. 10, 2020].
- [10] M. Michelena and Martín Francisco, *Los biocombustibles.* Madrid, 2008.
- [11] G. Soto and M. Núñez, “FABRICACION DE PELLETS DE CARBONILLA, USANDO ASERRIN DE *Pinus radiata* (D. Don), COMO MATERIAL AGLOMERANTE,” *Maderas. Ciencia y tecnología*, pp. 129–137, 2008.
- [12] E. Arias and M. Robles, “APROVECHAMIENTO DE RECURSOS FORESTALES EN EL ECUADOR (PERIODO 2010) Y PROCESOS DE INFRAACCIONES Y DECOMISOS,” *Minist. del Ambient.*, pp. 10, 2011.
- [13] E. Fonseca and L. Tierra, “DESARROLLO DE UN PROCESO TECNOLÓGICO PARA LA OBTENCIÓN DE BRIQUETAS DE ASERRÍN DE MADERA Y CASCARILLA DE ARROZ, Y PRUEBAS DE PRODUCCIÓN DE GAS POBRE”, ESPOCH, Riobamba, 2011.
- [14] G. González, “Diseño de una planta de peletización en Castilla y León,” UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID, 2012.
- [15] E. Martines and L. Lira. (2010, Octubre). “ANÁLISIS Y APLICACIÓN DE LAS EXPRESIONES DEL CONTENIDO DE HUMEDAD EN SÓLIDOS,” *Simposio de Metrología.* [Online]. pp. 2-3. Available: <https://tinyurl.com/y967mxx8> [Julio. 18, 2020]

- [16] J. Arpi and C. Calderon, “DISEÑO DE UNA MAQUINA PELLETIZADORA EN BASE A LA DISPONIBILIDAD DE RESIDUOS MADEREROS DE LA CIUDAD DE CUENCA PARA SU APROVECHAMIENTO ENERGETICO,” Universidad Politecnica Salesiana, 2010.
- [17] P. Grover and S. Mishra, *BIOMASS BRIQUETTING: TECHNOLOGY AND PRACTICES*. Bangkok, 1996.
- [18] L. Ortíz, A. Tejada, and A. Vázquez, “Aprovechamiento de la Biomasa Forestal producida por la Cadena Monte-Industria.,” *CIS-Madera*, pp. 17–32.
- [19] D. Cofre, “DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE HORNO DESHIDRATADOR DE SPIRULINA UTILIZANDO ENERGÍA RENOVABLE,” UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, 2012.
- [20] Z. Pan and G. Atungulu, *Infrared Heating for Food and Agricultural Processing*, CRC Press. New York, 2011.
- [21] J. Holman, *Transferencia de calor*, McGRAW HIL. Mexico D.F., 1999.
- [22] F. Incropera and D. DeWITT, *Fundamentos de transferencia de calor*, PRENTICE H. Mexico D.F., 1999.
- [23] Y. Çengel and A. Ghajar, *TRANSFERENCIA DE CALOR Y MASA*, McGraw-Hil. Mexico D.F., 2011.
- [24] M. Gualpa, S. Rosero, G. Montenegro, and D. Quinchuel, “Estimación De Los Residuos Forestales En Los Aserraderos De Tres Cantones, Zona 3 Interandina, Ecuador,” *European Scientific Journal*. vol. 14, pp. 228–239, 2018.
- [25] Handbook, *The IESNA LIGHTING HANDBOOK*, Night. United States of America, 2000.
- [26] B. B. Mendenhall William, Beaver Robert, *Introducción a la probabilidad y estadística*, 13a ed. México, D.F., 2010.

Anexo A-2: Manual REX – C100

4. NAME OF PARTS

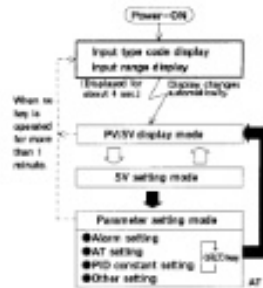


- 1 Set (SET) key
- 2 Setting digit shift key
- 3 Set-value increment key
- 4 Set-value decrement key
- 5 Measured-value (PV) display unit (Green)
- 6 Control output (SOL) lamp (Green)
- 7 Alarm-luring (AL) lamp (Green)
- 8 First alarm (ALM1) lamp (Red)
- 9 Second alarm (ALM2) lamp (Red)

5. OPERATION

■ Calling-up procedure of each mode

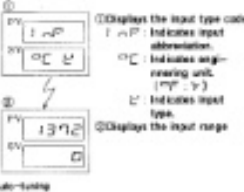
- 1 Press the [SET] key.
- 2 Press the [SET] key for more than 5 sec.



Input type code/input range display

This controller, with the power turned ON, displays automatically the input type code and the input range, on the set-value (SV) display unit, respectively.

Example:
For a controller with the K thermocouple input type and input range from 0 to 1023°C



■ Parameter type

The following parameter symbols are displayed one by one every time the [SET] key is pressed. However, some parameter symbols may not be displayed depending on the specification.

Symbol	Name	Set range	Description	Initial value (prior to shipment)
CT	Current transformer ratio	Setting is not available. Do not touch when value is set.	Display input value from the current transformer.	
AL1	First alarm	Default on alarm: Process alarm: -1000 to +10000°C (°F) or 100.0 to -1000.0°C (°F)	Set alarm set value of first alarm.	0.0 or 0.0
AL2	Second alarm	Differential gap: 2 to 0.0°C (°F)	Set alarm set value of second alarm.	
HLA	Alarm latch alarm	0.0 to 100.0%	Alarm value is set by referring to input value from the current transformer.	0.0
LBA	Control loop latch alarm	0.0 to 100.0%	Set control loop latch alarm set value. Control is set to "0.0".	0.0
LbA	LBA default	0 to 1000°C (°F) Differential gap: 0.0°C (°F)	Set the value of set range for LBA. The LBA default value is set to "0".	0
RTU	Auto-tuning	0000: Auto-tuning OFF of PID control. Auto-tuning ON	Turn on the auto-tuning function.	0000
P	Proportional gain	1 to 1000 or 0.1 to 1000	Set heating side proportional gain. On/Off action with "0" or "10".	20 or 20.0
I	Integral time	1 to 1000 sec.	Eliminate offset during control is performed. I action time (OFF with "0" or "10").	240
D	Derivative time	1 to 1000 sec.	Prevent output by predicting output change (leads improving control stability). D action time (OFF with "0" or "10").	60
Rr	Anti-reset windup	1 to 100% of proportional band heating side.	Prevent control windup and/or underdamping caused by integral action. I action time OFF with the action set to "0".	100
r	Heating side proportional gain	1 to 1000%	Set value of output cycle.	Initial control value: 0.0 Voltage pulse: range: initial
LCY	Set data lock	0100: No set data lock (set parameters are changeable) 0101: Set data locked (set parameters are not changeable) 0110: Only the set value (SV) is changeable and (the ALM1, ALM2)	Perform set data change method safely.	0100

*The response time for first alarm, alarm latch alarm, control loop latch alarm parameter symbols are not structurally defined. Please refer to the manual for set value range.

■ Parameter setting procedure

● Setting set-value (SV)

Following is an example of setting the set-value (SV) to 300°C.

- 1 Press the [SET] key to enter the SV setting mode. The digit which light brightly is settable.
- 2 Press the [←] key to shift the digit which lights brightly as to the hundreds digit.
- 3 Press the [Δ] key to "7". Pressing the [Δ] key increments numbers, and pressing the [▽] key decrements numbers.
- 4 After finishing the setting, press the [SET] key. All of the set-value digits light brightly and as a result the controller returns to the PVS display mode.



● Set-value increase or decrease

Example: When a temperature 100°C is changed 200°C.

Press the [←] key to shift the digit brightly to the least significant digit. Press the [Δ] key to change "0" to "2", thereby obtaining 200°C. The same applies to set-value decrease.

● Minus (-) value setting

Example: For changing 200 to -100.

Press the [←] key to shift the digit brightly to the hundreds digit. Press the [▽] key to decrement figures in order of 1 → 0 → -1.

● Setting parameters other than set-value

- Press the [SET] key for more than 5 sec. to set controller to the parameter setting mode.
- Press the [SET] key by the required number of times until the parameter symbol to be set is displayed.
- The setting procedure are the same as those of example 1 to 3 in the above "Setting set-value (SV)". Pressing the [SET] key after the setting is finished in the parameters.
- When no parameter setting is required, return the controller to the PVS display mode.

▲ Key operation cautions

- 1 For this controller, the value whose setting was changed is not registered. It is registered for the first time it is shifted to the next parameter by pressing the [SET] key.
- 2 When the controller is not set to the SV setting mode (the SV does not light brightly or dimly even with the [SET] key pressed) or each value does not light brightly or dimly even with the controller moved to the parameter setting mode, set data lock is activated. In this case, change the "LCY" parameter set-value to "0100". In this case, the controller returns to the PVS display mode status if key operation is not performed for more than 1 minute.

■ Set data locking procedures

This controller is provided with a set data locking function which prohibits each set-value change by the [SET] key by the required number of times until the auto-tuning function. Use this function for malfunction prevention at the end of each setting.

- 1 Press the [SET] key by the required number of times to show "LCY" on the measured value (PV) display unit.
- 2 Press the [←], [Δ], and [▽] keys to set the number in the scale at right. Thus the set data lock rate can be selected.

NOTES

- 1 Do not change the value "01" of the set value, as it may cause malfunction.
- 2 Check the set-value position during setting.

■ Caution for operation

- 1 If any problems arise due to mounting units in the control system, do not use the auto-tuning function. In this case, set each value to match the specified value.
- 2 Connect the input signal wiring and then turn ON the power. If the input signal wiring is not connected, the controller judges the error is disconnected to cause the operate of measured value display. For thermocouple input, overheat is also possible in control.
- 3 No reference is needed upon the controller for power failure of 200 ms or less. For power failure of 200 ms or more, the controller performs the auto-tuning operation at start of the first power ON after power recovery (This applies only when alarm action is turned OFF).
- 4 When the set value (SV) is changed during progress of the auto-tuning function, suspend the auto-tuning to perform PID control using the value before auto-tuning start.
- 5 When the auto-tuning function is suspended halfway, the value of PID and control loop break alarm are changed. (The auto-tuning auto-tuning function part is maintained.)

6. DISPLAY AT ERROR OCCURRENCE

Error display	Meaning	Countermeasure
Err	RAM failure (measured set data write, etc.)	Please contact us or your nearest RKC agent.
Over	Overhaul	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>WARNING</p> <p>In order to prevent electric shock, please stop the power supply when the power is OFF. The power is OFF the power.</p> </div>
Flashing	Measured value exceeds the high input display range	
Flashing	Measured value below the low input display range	

Each status at PV at abnormality is shown in the following:

Input type	Range	Code	Input type	Range	Code	Input type	Range	Code
K	0 to 300°C	01	K	0 to 300°C	01	K	-100.0 to +100.0°C	01
	0 to 400°C	02		0 to 400°C	02		-100.0 to +100.0°C	02
	0 to 500°C	03		0 to 500°C	03		-100.0 to +100.0°C	03
	0 to 600°C	04		0 to 600°C	04		-100.0 to +100.0°C	04
	0 to 800°C	05		0 to 800°C	05		-100.0 to +100.0°C	05
	0 to 1000°C	06		0 to 1000°C	06		-100.0 to +100.0°C	06
	0 to 1200°C	07		0 to 1200°C	07		-100.0 to +100.0°C	07
	0 to 1500°C	08		0 to 1500°C	08		-100.0 to +100.0°C	08
	0 to 2000°C	09		0 to 2000°C	09		-100.0 to +100.0°C	09
	0 to 3000°C	10		0 to 3000°C	10		-100.0 to +100.0°C	10
	0 to 4000°C	11		0 to 4000°C	11		-100.0 to +100.0°C	11
	0 to 5000°C	12		0 to 5000°C	12		-100.0 to +100.0°C	12
J	0 to 300°C	01	J	0 to 300°C	01	J	-100.0 to +100.0°C	01
	0 to 400°C	02		0 to 400°C	02		-100.0 to +100.0°C	02
	0 to 500°C	03		0 to 500°C	03		-100.0 to +100.0°C	03
	0 to 600°C	04		0 to 600°C	04		-100.0 to +100.0°C	04
	0 to 800°C	05		0 to 800°C	05		-100.0 to +100.0°C	05
	0 to 1000°C	06		0 to 1000°C	06		-100.0 to +100.0°C	06
	0 to 1200°C	07		0 to 1200°C	07		-100.0 to +100.0°C	07
	0 to 1500°C	08		0 to 1500°C	08		-100.0 to +100.0°C	08
	0 to 2000°C	09		0 to 2000°C	09		-100.0 to +100.0°C	09
	0 to 3000°C	10		0 to 3000°C	10		-100.0 to +100.0°C	10
	0 to 4000°C	11		0 to 4000°C	11		-100.0 to +100.0°C	11
	0 to 5000°C	12		0 to 5000°C	12		-100.0 to +100.0°C	12
F	0 to 300°C	01	F	0 to 300°C	01	F	-100.0 to +100.0°C	01
	0 to 400°C	02		0 to 400°C	02		-100.0 to +100.0°C	02
	0 to 500°C	03		0 to 500°C	03		-100.0 to +100.0°C	03
	0 to 600°C	04		0 to 600°C	04		-100.0 to +100.0°C	04
	0 to 800°C	05		0 to 800°C	05		-100.0 to +100.0°C	05
	0 to 1000°C	06		0 to 1000°C	06		-100.0 to +100.0°C	06
	0 to 1200°C	07		0 to 1200°C	07		-100.0 to +100.0°C	07
	0 to 1500°C	08		0 to 1500°C	08		-100.0 to +100.0°C	08
	0 to 2000°C	09		0 to 2000°C	09		-100.0 to +100.0°C	09
	0 to 3000°C	10		0 to 3000°C	10		-100.0 to +100.0°C	10
	0 to 4000°C	11		0 to 4000°C	11		-100.0 to +100.0°C	11
	0 to 5000°C	12		0 to 5000°C	12		-100.0 to +100.0°C	12

RKC. RKC INSTRUMENT INC.

HIDQ-ARTC30-04, HUGA-WKH-5-04M6, DATA-H/TOPV-146-001, JAPAN
 PHONE: 03-3751-8700 (401 3 273) 8700 E-MAIL: HIDQ@RKC.COM
 FAX: 03-3751-8300 (401 3 273) 8300

Anexo A-3: Calor específico de la madera

TABLA A-5

Propiedades de materiales de construcción (conclusión)
(a una temperatura media de 24°C)

Material	Espesor, L mm	Densidad, ρ kg/m ³	Conductividad térmica, k W/m · K	Calor específico, c_p kJ/kg · K	Valor R (para los espesores de la lista, L/k), K · m ² /W
Material para techos					
Tejas de asbesto-cemento		1 900	—	1.00	0.037
Asfalto en rollos		1 100	—	1.51	0.026
Tejas de asfalto		1 100	—	1.26	0.077
Techado incorporado	10 mm	1 100	—	1.46	0.058
Pizarra	13 mm	—	—	1.26	0.009
Tejas de madera (simples o con cara de plástico/película)		—	—	1.30	0.166
Materiales para revoque					
Revoque de cemento, agregado de arena	19 mm	1 860	0.72	0.84	0.026
Revoque de yeso:					
Agregado ligero	13 mm	720	—	—	0.055
Agregado de arena	13 mm	1 680	0.81	0.84	0.016
Agregado de perlita	—	720	0.22	1.34	—
Material para forro exterior (sobre superficies planas)					
Tejas de asbesto-cemento	—	1 900	—	—	0.037
Forro de tablero duro	11 mm	—	—	1.17	0.12
Forro de madera (rebajada)	25 mm	—	—	1.30	0.139
Forro de madera (contrachapada, traslapada)	10 mm	—	—	1.21	0.111
Forro de aluminio o acero (sobre encofrado):					
Con respaldo hueco	10 mm	—	—	1.22	0.11
Con respaldo de tablero aislante	10 mm	—	—	1.34	0.32
Vidrio arquitectónico	—	2 530	1.0	0.84	0.018
Maderas					
Maderas duras (arce, roble, etc.)	—	721	0.159	1.26	—
Maderas suaves (abeto, pino, etc.)	—	513	0.115	1.38	—
Metales					
Aluminio (1 100)	—	2 739	222	0.896	—
Acero dulce	—	7 833	45.3	0.502	—
Acero inoxidable	—	7 913	15.6	0.456	—

Fuente: Las tablas A-5 y A-6 se adaptaron tomándolas del Handbook of Fundamentals de la ASHRAE (Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, 1993), Cap. 22, tabla 4. Usadas con autorización.

Anexo A-4: Calor específico del agua

Propiedades de líquidos, sólidos y alimentos comunes

a) Líquidos

Sustancia	Datos de ebullición a 1 atm		Datos de congelación		Propiedades de líquidos		
	Punto de ebullición normal, °C	Calor latente de vaporización h_{fg} , kJ/kg	Punto de congelación, °C	Calor latente de fusión h_{if} , kJ/kg	Temperatura, °C	Densidad ρ , kg/m ³	Calor específico c_p , kJ/kg · l
Aceite comestible (ligero)					25	910	1.80
Agua	100	2257	0.0	333.7	0	1000	4.22
					25	997	4.18
					50	988	4.18
					75	975	4.19
					100	958	4.22
Alcohol etílico	78.6	855	-156	108	20	789	2.84
Amoniaco	-33.3	1357	-77.7	322.4	-33.3	682	4.43
					-20	665	4.52
					0	639	4.60
					25	602	4.80
Argón	-185.9	161.6	-189.3	28	-185.6	1394	1.14
Benceno	80.2	394	5.5	126	20	879	1.72
n-Butano	-0.5	385.2	-138.5	80.3	-0.5	601	2.31
Dióxido de carbono	-78.4*	230.5 (a 0°C)	-56.6		0	298	0.59
Etanol	78.2	838.3	-114.2	109	25	783	2.46
Etilén glicol	198.1	800.1	-10.8	181.1	20	1109	2.84
Glicerina	179.9	974	18.9	200.6	20	1261	2.32
Helio	-268.9	22.8	—	—	-268.9	146.2	22.8
Hidrógeno	-252.8	445.7	-259.2	59.5	-252.8	70.7	10.0
Isobutano	-11.7	367.1	-160	105.7	-11.7	593.8	2.28
Mercurio	356.7	294.7	-38.9	11.4	25	13,560	0.139
Metano	-161.5	510.4	-182.2	58.4	-161.5	423	3.49
					-100	301	5.79
					25	787	2.55
Metanol	64.5	1100	-97.7	99.2	25	787	2.55
Nitrógeno	-195.8	198.6	-210	25.3	-195.8	809	2.06
					-160	596	2.97
					20	703	2.10
Octano	124.8	306.3	-57.5	180.7	20	703	2.10
Oxígeno	-183	212.7	-218.8	13.7	-183	1141	1.71
Petróleo	—	230-384	—	—	20	640	2.0
Propano	-42.1	427.8	-187.7	80.0	-42.1	581	2.25
					0	529	2.53
					50	449	3.13
Queroseno	204-293	251	-24.9	—	20	820	2.00
Refrigerante 134a	-26.1	217.0	-96.6	—	-50	1443	1.23
Salmuera (20% de cloruro de sodio a base másica)	103.9	—	-17.4	—	20	1150	3.11
					-26.1	1374	1.27
					0	1295	1.34
					25	1207	1.43

Anexo A-5: Densidad del aire

TABLA A-15

Propiedades del aire a la presión de 1 atm

Temp., $T, ^\circ\text{C}$	Densidad, $\rho, \text{kg/m}^3$	Calor específico, $c_p, \text{J/kg} \cdot \text{K}$	Conductividad térmica, $k, \text{W/m} \cdot \text{K}$	Difusividad térmica, $\alpha, \text{m}^2/\text{s}^2$	Viscosidad dinámica, $\mu, \text{kg/m} \cdot \text{s}$	Viscosidad cinemática, $\nu, \text{m}^2/\text{s}$	Número de Prandtl, Pr
-150	2.866	983	0.01171	4.158×10^{-6}	8.636×10^{-6}	3.013×10^{-6}	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	8.036×10^{-6}	1.189×10^{-5}	5.837×10^{-6}	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	1.252×10^{-5}	1.474×10^{-5}	9.319×10^{-6}	0.7440
-40	1.514	1002	0.02057	1.356×10^{-5}	1.527×10^{-5}	1.008×10^{-5}	0.7436
-30	1.451	1004	0.02134	1.465×10^{-5}	1.579×10^{-5}	1.087×10^{-5}	0.7425
-20	1.394	1005	0.02211	1.578×10^{-5}	1.630×10^{-5}	1.169×10^{-5}	0.7408
-10	1.341	1006	0.02288	1.696×10^{-5}	1.680×10^{-5}	1.252×10^{-5}	0.7387
0	1.292	1006	0.02364	1.818×10^{-5}	1.729×10^{-5}	1.338×10^{-5}	0.7362
5	1.269	1006	0.02401	1.880×10^{-5}	1.754×10^{-5}	1.382×10^{-5}	0.7350
10	1.246	1006	0.02439	1.944×10^{-5}	1.778×10^{-5}	1.426×10^{-5}	0.7336
15	1.225	1007	0.02476	2.009×10^{-5}	1.802×10^{-5}	1.470×10^{-5}	0.7323
20	1.204	1007	0.02514	2.074×10^{-5}	1.825×10^{-5}	1.516×10^{-5}	0.7309
25	1.184	1007	0.02551	2.141×10^{-5}	1.849×10^{-5}	1.562×10^{-5}	0.7296
30	1.164	1007	0.02588	2.208×10^{-5}	1.872×10^{-5}	1.608×10^{-5}	0.7282
35	1.145	1007	0.02625	2.277×10^{-5}	1.895×10^{-5}	1.655×10^{-5}	0.7268
40	1.127	1007	0.02662	2.346×10^{-5}	1.918×10^{-5}	1.702×10^{-5}	0.7255
45	1.109	1007	0.02699	2.416×10^{-5}	1.941×10^{-5}	1.750×10^{-5}	0.7241
50	1.092	1007	0.02735	2.487×10^{-5}	1.963×10^{-5}	1.798×10^{-5}	0.7228
60	1.059	1007	0.02808	2.632×10^{-5}	2.008×10^{-5}	1.896×10^{-5}	0.7202
70	1.028	1007	0.02881	2.780×10^{-5}	2.052×10^{-5}	1.995×10^{-5}	0.7177
80	0.9994	1008	0.02953	2.931×10^{-5}	2.096×10^{-5}	2.097×10^{-5}	0.7154
90	0.9718	1008	0.03024	3.086×10^{-5}	2.139×10^{-5}	2.201×10^{-5}	0.7132
100	0.9458	1009	0.03095	3.243×10^{-5}	2.181×10^{-5}	2.306×10^{-5}	0.7111
120	0.8977	1011	0.03235	3.565×10^{-5}	2.264×10^{-5}	2.522×10^{-5}	0.7073
140	0.8542	1013	0.03374	3.898×10^{-5}	2.345×10^{-5}	2.745×10^{-5}	0.7041
160	0.8148	1016	0.03511	4.241×10^{-5}	2.420×10^{-5}	2.975×10^{-5}	0.7014
180	0.7788	1019	0.03646	4.593×10^{-5}	2.504×10^{-5}	3.212×10^{-5}	0.6992
200	0.7459	1023	0.03779	4.954×10^{-5}	2.577×10^{-5}	3.455×10^{-5}	0.6974
250	0.6746	1033	0.04104	5.890×10^{-5}	2.760×10^{-5}	4.091×10^{-5}	0.6946
300	0.6158	1044	0.04418	6.871×10^{-5}	2.934×10^{-5}	4.765×10^{-5}	0.6935
350	0.5664	1056	0.04721	7.892×10^{-5}	3.101×10^{-5}	5.475×10^{-5}	0.6937
400	0.5243	1069	0.05015	8.951×10^{-5}	3.261×10^{-5}	6.219×10^{-5}	0.6948
450	0.4880	1081	0.05298	1.004×10^{-4}	3.415×10^{-5}	6.997×10^{-5}	0.6965
500	0.4565	1093	0.05572	1.117×10^{-4}	3.563×10^{-5}	7.806×10^{-5}	0.6986
600	0.4042	1115	0.06093	1.352×10^{-4}	3.846×10^{-5}	9.515×10^{-5}	0.7037
700	0.3627	1135	0.06581	1.598×10^{-4}	4.111×10^{-5}	1.133×10^{-4}	0.7092
800	0.3289	1153	0.07037	1.855×10^{-4}	4.362×10^{-5}	1.326×10^{-4}	0.7149
900	0.3008	1169	0.07465	2.122×10^{-4}	4.600×10^{-5}	1.529×10^{-4}	0.7206
1 000	0.2772	1184	0.07868	2.398×10^{-4}	4.826×10^{-5}	1.741×10^{-4}	0.7260
1 500	0.1990	1234	0.09599	3.908×10^{-4}	5.817×10^{-5}	2.922×10^{-4}	0.7478
2 000	0.1553	1264	0.11113	5.664×10^{-4}	6.630×10^{-5}	4.270×10^{-4}	0.7539

Nota: Para los gases ideales, las propiedades c_p , k , μ y Pr son independientes de la presión. Las propiedades ρ , ν y α a una presión P (en atm) diferente de 1 atm se determinan al multiplicar los valores de ρ , a la temperatura dada, por P y al dividir ν y α entre P .

Fuente: Datos generados basándose en el software EES desarrollado por S. A. Klein y F. L. Alvarado. Fuentes originales: Keenan, Chao, Keyes, Gas Tables, Wiley, 1984, y Thermophysical Properties of Matter, Vol. 3: Thermal Conductivity, Y. S. Touloukian, P. E. Liley, S. C. Saxena, Vol. 11: Viscosity, Y. S. Touloukian, S. C. Saxena y P. Hestermans, IFI/Plenum, NY, 1970, ISBN 0-306067020-8.

Anexo A-6: Entalpía del aire

TABLA A-17

Propiedades de gas ideal del aire

<i>T</i> K	<i>h</i> kJ/kg	<i>P_r</i>	<i>u</i> kJ/kg	<i>v_r</i>	<i>s^o</i> kJ/kg · K	<i>T</i> K	<i>h</i> kJ/kg	<i>P_r</i>	<i>u</i> kJ/kg	<i>v_r</i>	<i>s^o</i> kJ/kg · K
200	199.97	0.3363	142.56	1707.0	1.29559	580	586.04	14.38	419.55	115.7	2.37348
210	209.97	0.3987	149.69	1512.0	1.34444	590	596.52	15.31	427.15	110.6	2.39140
220	219.97	0.4690	156.82	1346.0	1.39105	600	607.02	16.28	434.78	105.8	2.40902
230	230.02	0.5477	164.00	1205.0	1.43557	610	617.53	17.30	442.42	101.2	2.42644
240	240.02	0.6355	171.13	1084.0	1.47824	620	628.07	18.36	450.09	96.92	2.44356
250	250.05	0.7329	178.28	979.0	1.51917	630	638.63	19.84	457.78	92.84	2.46048
260	260.09	0.8405	185.45	887.8	1.55848	640	649.22	20.64	465.50	88.99	2.47716
270	270.11	0.9590	192.60	808.0	1.59634	650	659.84	21.86	473.25	85.34	2.49364
280	280.13	1.0889	199.75	738.0	1.63279	660	670.47	23.13	481.01	81.89	2.50985
285	285.14	1.1584	203.33	706.1	1.65055	670	681.14	24.46	488.81	78.61	2.52589
290	290.16	1.2311	206.91	676.1	1.66802	680	691.82	25.85	496.62	75.50	2.54175
295	295.17	1.3068	210.49	647.9	1.68515	690	702.52	27.29	504.45	72.56	2.55731
298	298.18	1.3543	212.64	631.9	1.69528	700	713.27	28.80	512.33	69.76	2.57277
300	300.19	1.3860	214.07	621.2	1.70203	710	724.04	30.38	520.23	67.07	2.58810
305	305.22	1.4686	217.67	596.0	1.71865	720	734.82	32.02	528.14	64.53	2.60319
310	310.24	1.5546	221.25	572.3	1.73498	730	745.62	33.72	536.07	62.13	2.61803
315	315.27	1.6442	224.85	549.8	1.75106	740	756.44	35.50	544.02	59.82	2.63280
320	320.29	1.7375	228.42	528.6	1.76690	750	767.29	37.35	551.99	57.63	2.64737
325	325.31	1.8345	232.02	508.4	1.78249	760	778.18	39.27	560.01	55.54	2.66176
330	330.34	1.9352	235.61	489.4	1.79783	780	800.03	43.35	576.12	51.64	2.69013
340	340.42	2.149	242.82	454.1	1.82790	800	821.95	47.75	592.30	48.08	2.71787
350	350.49	2.379	250.02	422.2	1.85708	820	843.98	52.59	608.59	44.84	2.74504
360	360.58	2.626	257.24	393.4	1.88543	840	866.08	57.60	624.95	41.85	2.77170
370	370.67	2.892	264.46	367.2	1.91313	860	888.27	63.09	641.40	39.12	2.79783
380	380.77	3.176	271.69	343.4	1.94001	880	910.56	68.98	657.95	36.61	2.82344
390	390.88	3.481	278.93	321.5	1.96633	900	932.93	75.29	674.58	34.31	2.84856
400	400.98	3.806	286.16	301.6	1.99194	920	955.38	82.05	691.28	32.18	2.87324
410	411.12	4.153	293.43	283.3	2.01699	940	977.92	89.28	708.08	30.22	2.89748
420	421.26	4.522	300.69	266.6	2.04142	960	1000.55	97.00	725.02	28.40	2.92128
430	431.43	4.915	307.99	251.1	2.06533	980	1023.25	105.2	741.98	26.73	2.94468
440	441.61	5.332	315.30	236.8	2.08870	1000	1046.04	114.0	758.94	25.17	2.96770
450	451.80	5.775	322.62	223.6	2.11161	1020	1068.89	123.4	776.10	23.72	2.99034
460	462.02	6.245	329.97	211.4	2.13407	1040	1091.85	133.3	793.36	23.29	3.01260
470	472.24	6.742	337.32	200.1	2.15604	1060	1114.86	143.9	810.62	21.14	3.03449
480	482.49	7.268	344.70	189.5	2.17760	1080	1137.89	155.2	827.88	19.98	3.05608
490	492.74	7.824	352.08	179.7	2.19876	1100	1161.07	167.1	845.33	18.896	3.07732
500	503.02	8.411	359.49	170.6	2.21952	1120	1184.28	179.7	862.79	17.886	3.09825
510	513.32	9.031	366.92	162.1	2.23993	1140	1207.57	193.1	880.35	16.946	3.11883
520	523.63	9.684	374.36	154.1	2.25997	1160	1230.92	207.2	897.91	16.064	3.13916
530	533.98	10.37	381.84	146.7	2.27967	1180	1254.34	222.2	915.57	15.241	3.15916
540	544.35	11.10	389.34	139.7	2.29906	1200	1277.79	238.0	933.33	14.470	3.17888
550	555.74	11.86	396.86	133.1	2.31809	1220	1301.31	254.7	951.09	13.747	3.19834
560	565.17	12.66	404.42	127.0	2.33685	1240	1324.93	272.3	968.95	13.069	3.21751
570	575.59	13.50	411.97	121.2	2.35531						

Anexo A-7: Entalpía de vaporización

TABLA A-9

Propiedades del agua saturada

Temp., T °C	Presión de saturación, P _{sat} kPa	Densidad, ρ kg/m ³		Entalpía de vaporización, h _{fg} kJ/kg	Calor específico, c _p J/kg · K		Conductividad térmica, k W/m · K		Viscosidad dinámica, μ kg/m · s		Número de Prandtl, Pr		Coeficiente de expansión volumétrica, β 1/K
		Líquido	Vapor		Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	
0.01	0.6113	999.8	0.0048	2 501	4 217	1 854	0.561	0.0171	1.792 × 10 ⁻³	0.922 × 10 ⁻⁶	13.5	1.00	-0.068 × 10 ⁻³
5	0.8721	999.9	0.0068	2 490	4 205	1 857	0.571	0.0173	1.519 × 10 ⁻³	0.934 × 10 ⁻⁶	11.2	1.00	0.015 × 10 ⁻³
10	1.2276	999.7	0.0094	2 478	4 194	1 852	0.580	0.0176	1.307 × 10 ⁻³	0.946 × 10 ⁻⁶	9.45	1.00	0.733 × 10 ⁻³
15	1.7051	999.1	0.0128	2 466	4 185	1 863	0.589	0.0179	1.138 × 10 ⁻³	0.959 × 10 ⁻⁶	8.09	1.00	0.138 × 10 ⁻³
20	2.339	998.0	0.0173	2 454	4 182	1 867	0.598	0.0182	1.002 × 10 ⁻³	0.973 × 10 ⁻⁶	7.01	1.00	0.195 × 10 ⁻³
25	3.169	997.0	0.0231	2 442	4 180	1 870	0.607	0.0186	0.891 × 10 ⁻³	0.987 × 10 ⁻⁶	6.14	1.00	0.247 × 10 ⁻³
30	4.246	996.0	0.0304	2 431	4 178	1 875	0.615	0.0189	0.798 × 10 ⁻³	1.001 × 10 ⁻⁶	5.42	1.00	0.294 × 10 ⁻³
35	5.628	994.0	0.0397	2 419	4 178	1 880	0.623	0.0192	0.720 × 10 ⁻³	1.016 × 10 ⁻⁶	4.83	1.00	0.337 × 10 ⁻³
40	7.384	992.1	0.0512	2 407	4 179	1 885	0.631	0.0196	0.653 × 10 ⁻³	1.031 × 10 ⁻⁶	4.32	1.00	0.377 × 10 ⁻³
45	9.593	990.1	0.0655	2 395	4 180	1 892	0.637	0.0200	0.596 × 10 ⁻³	1.046 × 10 ⁻⁶	3.91	1.00	0.415 × 10 ⁻³
50	12.35	988.1	0.0831	2 383	4 181	1 900	0.644	0.0204	0.547 × 10 ⁻³	1.062 × 10 ⁻⁶	3.55	1.00	0.451 × 10 ⁻³
55	15.76	985.2	0.1045	2 371	4 183	1 908	0.649	0.0208	0.504 × 10 ⁻³	1.077 × 10 ⁻⁶	3.25	1.00	0.484 × 10 ⁻³
60	19.94	983.3	0.1304	2 359	4 185	1 916	0.654	0.0212	0.467 × 10 ⁻³	1.093 × 10 ⁻⁶	2.99	1.00	0.517 × 10 ⁻³
65	25.03	980.4	0.1614	2 346	4 187	1 926	0.659	0.0216	0.433 × 10 ⁻³	1.110 × 10 ⁻⁶	2.75	1.00	0.548 × 10 ⁻³
70	31.19	977.5	0.1983	2 334	4 190	1 936	0.663	0.0221	0.404 × 10 ⁻³	1.126 × 10 ⁻⁶	2.55	1.00	0.578 × 10 ⁻³
75	38.58	974.7	0.2421	2 321	4 193	1 948	0.667	0.0225	0.378 × 10 ⁻³	1.142 × 10 ⁻⁶	2.38	1.00	0.607 × 10 ⁻³
80	47.39	971.8	0.2935	2 309	4 197	1 962	0.670	0.0230	0.355 × 10 ⁻³	1.159 × 10 ⁻⁶	2.22	1.00	0.653 × 10 ⁻³
85	57.83	968.1	0.3536	2 296	4 201	1 977	0.673	0.0235	0.333 × 10 ⁻³	1.176 × 10 ⁻⁶	2.08	1.00	0.670 × 10 ⁻³
90	70.14	965.3	0.4235	2 283	4 206	1 993	0.675	0.0240	0.315 × 10 ⁻³	1.193 × 10 ⁻⁶	1.96	1.00	0.702 × 10 ⁻³
95	84.55	961.5	0.5045	2 270	4 212	2 010	0.677	0.0246	0.297 × 10 ⁻³	1.210 × 10 ⁻⁶	1.85	1.00	0.716 × 10 ⁻³
100	101.33	957.9	0.5978	2 257	4 217	2 029	0.679	0.0251	0.282 × 10 ⁻³	1.227 × 10 ⁻⁶	1.75	1.00	0.750 × 10 ⁻³
110	143.27	950.6	0.8263	2 230	4 229	2 071	0.682	0.0262	0.255 × 10 ⁻³	1.261 × 10 ⁻⁶	1.58	1.00	0.798 × 10 ⁻³
120	198.53	943.4	1.121	2 203	4 244	2 120	0.683	0.0275	0.232 × 10 ⁻³	1.296 × 10 ⁻⁶	1.44	1.00	0.858 × 10 ⁻³
130	270.1	934.6	1.496	2 174	4 263	2 177	0.684	0.0288	0.213 × 10 ⁻³	1.330 × 10 ⁻⁶	1.33	1.01	0.913 × 10 ⁻³
140	361.3	921.7	1.965	2 145	4 286	2 244	0.683	0.0301	0.197 × 10 ⁻³	1.365 × 10 ⁻⁶	1.24	1.02	0.970 × 10 ⁻³
150	475.8	916.6	2.546	2 114	4 311	2 314	0.682	0.0316	0.183 × 10 ⁻³	1.399 × 10 ⁻⁶	1.16	1.02	1.025 × 10 ⁻³
160	617.8	907.4	3.256	2 083	4 340	2 420	0.680	0.0331	0.170 × 10 ⁻³	1.434 × 10 ⁻⁶	1.09	1.05	1.145 × 10 ⁻³
170	791.7	897.7	4.119	2 050	4 370	2 490	0.677	0.0347	0.160 × 10 ⁻³	1.468 × 10 ⁻⁶	1.03	1.05	1.178 × 10 ⁻³
180	1 002.1	887.3	5.153	2 015	4 410	2 590	0.673	0.0364	0.150 × 10 ⁻³	1.502 × 10 ⁻⁶	0.983	1.07	1.210 × 10 ⁻³
190	1 254.4	876.4	6.388	1 979	4 460	2 710	0.669	0.0382	0.142 × 10 ⁻³	1.537 × 10 ⁻⁶	0.947	1.09	1.280 × 10 ⁻³
200	1 553.8	864.3	7.852	1 941	4 500	2 840	0.663	0.0401	0.134 × 10 ⁻³	1.571 × 10 ⁻⁶	0.910	1.11	1.350 × 10 ⁻³
220	2 318	840.3	11.60	1 859	4 610	3 110	0.650	0.0442	0.122 × 10 ⁻³	1.641 × 10 ⁻⁶	0.865	1.15	1.520 × 10 ⁻³
240	3 344	813.7	16.73	1 767	4 760	3 520	0.632	0.0487	0.111 × 10 ⁻³	1.712 × 10 ⁻⁶	0.836	1.24	1.720 × 10 ⁻³
260	4 688	783.7	23.69	1 663	4 970	4 070	0.609	0.0540	0.102 × 10 ⁻³	1.788 × 10 ⁻⁶	0.832	1.35	2.000 × 10 ⁻³
280	6 412	750.8	33.15	1 544	5 280	4 835	0.581	0.0605	0.094 × 10 ⁻³	1.870 × 10 ⁻⁶	0.854	1.49	2.380 × 10 ⁻³
300	8 581	713.8	46.15	1 405	5 750	5 980	0.548	0.0695	0.086 × 10 ⁻³	1.965 × 10 ⁻⁶	0.902	1.69	2.950 × 10 ⁻³
320	11 274	667.1	64.57	1 239	6 540	7 900	0.509	0.0836	0.078 × 10 ⁻³	2.084 × 10 ⁻⁶	1.00	1.97	—
340	14 586	610.5	92.62	1 028	8 240	11 870	0.469	0.110	0.070 × 10 ⁻³	2.255 × 10 ⁻⁶	1.23	2.43	—
360	18 651	528.3	144.0	720	14 690	25 800	0.427	0.178	0.060 × 10 ⁻³	2.571 × 10 ⁻⁶	2.06	3.73	—
374.14	22 090	317.0	317.0	0	—	—	—	—	0.043 × 10 ⁻³	4.313 × 10 ⁻⁶	—	—	—

Nota 1: La viscosidad cinemática ν y la difusividad térmica α se pueden calcular a partir de sus definiciones, $\nu = \mu/\rho$ y $\alpha = k/\rho c_p = \nu Pr$. Las temperaturas de 0.01°C, 100°C y 374.14°C son las temperaturas de los puntos triple, de ebullición y crítico del agua, respectivamente. Las propiedades cuya lista se da arriba (excepto la densidad del vapor) se pueden usar a cualquier presión con error despreciable, excepto a temperaturas cercanas al valor del punto crítico.

Nota 2: La unidad kJ/kg · °C, para el calor específico, es equivalente a kJ/kg · K y la unidad W/m · °C, para la conductividad térmica es equivalente a W/m · K.

Fuente: Los datos de la viscosidad y la conductividad térmica se tomaron de J. V. Sengers y J. T. R. Watson, *Journal of Physical and Chemical Reference Data* 15 (1986), pp. 1291-1322. Los otros datos se obtuvieron de diversas fuentes o se calcularon.

Anexo A-7: Emisividad del acero

TABLA A-18

Emisividades de las superficies

a) Metales

Material	Temperatura, K	Emisividad, ϵ	Material	Temperatura, K	Emisividad, ϵ
Aluminio			Magnesio pulido	300-500	0.07-0.13
Pulido	300-900	0.04-0.06	Mercurio	300-400	0.09-0.12
Lámina comercial	400	0.09	Molibdeno		
Intensamente oxidado	400-800	0.20-0.33	Pulido	300-2 000	0.05-0.21
Anodizado	300	0.8	Oxidado	600-800	0.80-0.82
Bismuto brillante	350	0.34	Níquel		
Latón			Pulido	500-1 200	0.07-0.17
Intensamente pulido	500-650	0.03-0.04	Oxidado	450-1 000	0.37-0.57
Pulido	350	0.09	Platino pulido	500-1 500	0.06-0.18
Placa mate	300-600	0.22	Plata pulida	300-1 000	0.02-0.07
Oxidado	450-800	0.6	Acero inoxidable		
Cromo pulido	300-1 400	0.08-0.40	Pulido	300-1 000	0.17-0.30
Cobre			Ligeramente oxidado	600-1 000	0.30-0.40
Intensamente pulido	300	0.02	Intensamente oxidado	600-1 000	0.70-0.80
Pulido	300-500	0.04-0.05	Acero		
Lámina comercial	300	0.15	Lámina pulida	300-500	0.08-0.14
Oxidado	600-1 000	0.5-0.8	Lámina comercial	500-1 200	0.20-0.32
Oxidado en negro	300	0.78	Intensamente oxidado	300	0.81
Oro			Estaño pulido	300	0.05
Intensamente pulido	300-1 000	0.03-0.06	Tungsteno		
Hoja brillante	300	0.07	Pulido	300-2 500	0.03-0.29
Hierro			Filamento	3500	0.39
Intensamente pulido	300-500	0.05-0.07	Zinc		
Hierro fundido	300	0.44	Pulido	300-800	0.02-0.05
Hierro forjado	300-500	0.28	Oxidado	300	0.25
Aherrumbrado	300	0.61			
Oxidado	500-900	0.64-0.78			
Plomo					
Pulido	300-500	0.06-0.08			
No oxidado, áspero	300	0.43			
Oxidado	300	0.63			

Anexo A-8: Presión atmosférica

TABLA A-16

Propiedades de la atmósfera a gran altitud

Altitud, m	Temperatura, °C	Presión, kPa	Gravedad g, m/s ²	Velocidad del sonido, m/s	Densidad, kg/m ³	Viscosidad μ , kg/m · s	Conductividad térmica, W/m · K
0	15.00	101.33	9.807	340.3	1.225	1.789×10^{-5}	0.0253
200	13.70	98.95	9.806	339.5	1.202	1.783×10^{-5}	0.0252
400	12.40	96.61	9.805	338.8	1.179	1.777×10^{-5}	0.0252
600	11.10	94.32	9.805	338.0	1.156	1.771×10^{-5}	0.0251
800	9.80	92.08	9.804	337.2	1.134	1.764×10^{-5}	0.0250
1000	8.50	89.88	9.804	336.4	1.112	1.758×10^{-5}	0.0249
1200	7.20	87.72	9.803	335.7	1.090	1.752×10^{-5}	0.0248
1400	5.90	85.60	9.802	334.9	1.069	1.745×10^{-5}	0.0247
1600	4.60	83.53	9.802	334.1	1.048	1.739×10^{-5}	0.0245
1800	3.30	81.49	9.801	333.3	1.027	1.732×10^{-5}	0.0244
2000	2.00	79.50	9.800	332.5	1.007	1.726×10^{-5}	0.0243
2200	0.70	77.55	9.800	331.7	0.987	1.720×10^{-5}	0.0242
2400	-0.59	75.63	9.799	331.0	0.967	1.713×10^{-5}	0.0241
2600	-1.89	73.76	9.799	330.2	0.947	1.707×10^{-5}	0.0240
2800	-3.19	71.92	9.798	329.4	0.928	1.700×10^{-5}	0.0239
3000	-4.49	70.12	9.797	328.6	0.909	1.694×10^{-5}	0.0238
3200	-5.79	68.36	9.797	327.8	0.891	1.687×10^{-5}	0.0237
3400	-7.09	66.63	9.796	327.0	0.872	1.681×10^{-5}	0.0236
3600	-8.39	64.94	9.796	326.2	0.854	1.674×10^{-5}	0.0235
3800	-9.69	63.28	9.795	325.4	0.837	1.668×10^{-5}	0.0234
4000	-10.98	61.66	9.794	324.6	0.819	1.661×10^{-5}	0.0233
4200	-12.3	60.07	9.794	323.8	0.802	1.655×10^{-5}	0.0232
4400	-13.6	58.52	9.793	323.0	0.785	1.648×10^{-5}	0.0231
4600	-14.9	57.00	9.793	322.2	0.769	1.642×10^{-5}	0.0230
4800	-16.2	55.51	9.792	321.4	0.752	1.635×10^{-5}	0.0229
5000	-17.5	54.05	9.791	320.5	0.736	1.628×10^{-5}	0.0228
5200	-18.8	52.62	9.791	319.7	0.721	1.622×10^{-5}	0.0227
5400	-20.1	51.23	9.790	318.9	0.705	1.615×10^{-5}	0.0226
5600	-21.4	49.86	9.789	318.1	0.690	1.608×10^{-5}	0.0224
5800	-22.7	48.52	9.785	317.3	0.675	1.602×10^{-5}	0.0223
6000	-24.0	47.22	9.788	316.5	0.660	1.595×10^{-5}	0.0222
6200	-25.3	45.94	9.788	315.6	0.646	1.588×10^{-5}	0.0221
6400	-26.6	44.69	9.787	314.8	0.631	1.582×10^{-5}	0.0220
6600	-27.9	43.47	9.786	314.0	0.617	1.575×10^{-5}	0.0219
6800	-29.2	42.27	9.785	313.1	0.604	1.568×10^{-5}	0.0218
7000	-30.5	41.11	9.785	312.3	0.590	1.561×10^{-5}	0.0217
8000	-36.9	35.65	9.782	308.1	0.526	1.527×10^{-5}	0.0212
9000	-43.4	30.80	9.779	303.8	0.467	1.493×10^{-5}	0.0206
10,000	-49.9	26.50	9.776	299.5	0.414	1.458×10^{-5}	0.0201
12,000	-56.5	19.40	9.770	295.1	0.312	1.422×10^{-5}	0.0195
14,000	-56.5	14.17	9.764	295.1	0.228	1.422×10^{-5}	0.0195
16,000	-56.5	10.53	9.758	295.1	0.166	1.422×10^{-5}	0.0195
18,000	-56.5	7.57	9.751	295.1	0.122	1.422×10^{-5}	0.0195

Fuente: U.S. Standard Atmosphere Supplements. Oficina de Impresiones del Gobierno de Estados Unidos, 1966. Basadas en las condiciones medias anuales a una latitud de 45° y una variación de acuerdo con la época del año y con los patrones del clima. Las condiciones al nivel del mar ($z = 0$) se consideran como $P = 101.325$ kPa, $T = 15^\circ\text{C}$, $\rho = 1.2250$ kg/m³, $g = 9.80665$ m/s².

Anexo A-9: Constante de gas del aire

TABLA A-1

Masa molar, constante de gas y calores específicos de ciertas sustancias

Sustancia	Masa molar <i>M</i> , kg/kmol	Constante de gas <i>R</i> , kJ/kg · K*	Calores específicos a 25°C		
			<i>c_p</i> , kJ/kg · K	<i>c_v</i> , kJ/kg · K	<i>k</i> = <i>c_p</i> / <i>c_v</i>
Aire	28.97	0.2870	1.005	0.7180	1.400
Amoniaco, NH ₃	17.03	0.4882	2.093	1.605	1.304
Argón, Ar	39.95	0.2081	0.5203	0.3122	1.667
Bromo, Br ₂	159.81	0.05202	0.2253	0.1732	1.300
Isobutano, C ₄ H ₁₀	58.12	0.1430	1.663	1.520	1.094
<i>n</i> -Butano, C ₄ H ₁₀	58.12	0.1430	1.694	1.551	1.092
Carbono, bióxido de, CO ₂	44.01	0.1889	0.8439	0.6550	1.288
Carbono, monóxido de, CO	28.01	0.2968	1.039	0.7417	1.400
Cloro, Cl ₂	70.905	0.1173	0.4781	0.3608	1.325
Clorodifluorometano (R-22), CHClF ₂	86.47	0.09615	0.6496	0.5535	1.174
Etano, C ₂ H ₆	30.070	0.2765	1.744	1.468	1.188
Etileno, C ₂ H ₄	28.054	0.2964	1.527	1.231	1.241
Fluoruro, F ₂	38.00	0.2187	0.8237	0.6050	1.362
Helio, He	4.003	2.077	5.193	3.116	1.667
<i>n</i> -Heptano, C ₇ H ₁₆	100.20	0.08297	1.649	1.566	1.053
<i>n</i> -Hexano, C ₆ H ₁₄	86.18	0.09647	1.654	1.558	1.062
Hidrógeno, H ₂	2.016	4.124	14.30	10.18	1.405
Kriptón, Kr	83.80	0.09921	0.2480	0.1488	1.667
Metano, CH ₄	16.04	0.5182	2.226	1.708	1.303
Neón, Ne	20.183	0.4119	1.030	0.6180	1.667
Nitrógeno, N ₂	28.01	0.2968	1.040	0.7429	1.400
Óxido nítrico, NO	30.006	0.2771	0.9992	0.7221	1.384
Nitrógeno, bióxido de, NO ₂	46.006	0.1889	0.8060	0.6171	1.306
Oxígeno, O ₂	32.00	0.2598	0.9180	0.6582	1.395
<i>n</i> -Pentano, C ₅ H ₁₂	72.15	0.1152	1.664	1.549	1.074
Propano, C ₃ H ₈	44.097	0.1885	1.669	1.480	1.127
Propileno, C ₃ H ₆	42.08	0.1976	1.531	1.333	1.148
Agua, H ₂ O	18.015	0.4615	1.865	1.403	1.329
Sulfuro, bióxido de, SO ₂	64.06	0.1298	0.6228	0.4930	1.263
Tetraclorometano, CCl ₄	153.82	0.05405	0.5415	0.4875	1.111
Tetrafluoroetano (R-134a), C ₂ H ₂ F ₄	102.03	0.08149	0.8334	0.7519	1.108
Trifluoroetano (R-143a), C ₂ H ₃ F ₃	84.04	0.09893	0.9291	0.8302	1.119
Xenón, Xe	131.30	0.06332	0.1583	0.09499	1.667

*La unidad kJ/kg · K es equivalente a MPa · m³/kg · K. La constante de gas se calcula de $R = R_u/M$, donde $R_u = 8.31447$ kJ/kmol · K es la constante de gas universal y M la masa molar.

Fuente: Valores de calores específicos se obtuvieron principalmente de rutinas de propiedad preparadas por The National Institute of Standards and Technology (NIST), Gaithersburg, MD.

Anexo A-10: Calor específico del aire

TABLA A-15

Propiedades del aire a la presión de 1 atm

Temp., T , °C	Densidad, ρ , kg/m ³	Calor específico, c_p , J/kg · K	Conductividad térmica, k , W/m · K	Difusividad térmica, α , m ² /s ²	Viscosidad dinámica, μ , kg/m · s	Viscosidad cinemática, ν , m ² /s	Número de Prandtl, Pr
-150	2.866	983	0.01171	4.158×10^{-6}	8.636×10^{-6}	3.013×10^{-6}	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	8.036×10^{-6}	1.189×10^{-5}	5.837×10^{-6}	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	1.252×10^{-5}	1.474×10^{-5}	9.319×10^{-6}	0.7440
-40	1.514	1002	0.02057	1.356×10^{-5}	1.527×10^{-5}	1.008×10^{-5}	0.7436
-30	1.451	1004	0.02134	1.465×10^{-5}	1.579×10^{-5}	1.087×10^{-5}	0.7425
-20	1.394	1005	0.02211	1.578×10^{-5}	1.630×10^{-5}	1.169×10^{-5}	0.7408
-10	1.341	1006	0.02288	1.696×10^{-5}	1.680×10^{-5}	1.252×10^{-5}	0.7387
0	1.292	1006	0.02364	1.818×10^{-5}	1.729×10^{-5}	1.338×10^{-5}	0.7362
5	1.269	1006	0.02401	1.880×10^{-5}	1.754×10^{-5}	1.382×10^{-5}	0.7350
10	1.246	1006	0.02439	1.944×10^{-5}	1.778×10^{-5}	1.426×10^{-5}	0.7336
15	1.225	1007	0.02476	2.009×10^{-5}	1.802×10^{-5}	1.470×10^{-5}	0.7323
20	1.204	1007	0.02514	2.074×10^{-5}	1.825×10^{-5}	1.516×10^{-5}	0.7309
25	1.184	1007	0.02551	2.141×10^{-5}	1.849×10^{-5}	1.562×10^{-5}	0.7296
30	1.164	1007	0.02588	2.208×10^{-5}	1.872×10^{-5}	1.608×10^{-5}	0.7282
35	1.145	1007	0.02625	2.277×10^{-5}	1.895×10^{-5}	1.655×10^{-5}	0.7268
40	1.127	1007	0.02662	2.346×10^{-5}	1.918×10^{-5}	1.702×10^{-5}	0.7255
45	1.109	1007	0.02699	2.416×10^{-5}	1.941×10^{-5}	1.750×10^{-5}	0.7241
50	1.092	1007	0.02735	2.487×10^{-5}	1.963×10^{-5}	1.798×10^{-5}	0.7228
60	1.059	1007	0.02808	2.632×10^{-5}	2.008×10^{-5}	1.896×10^{-5}	0.7202
70	1.028	1007	0.02881	2.780×10^{-5}	2.052×10^{-5}	1.995×10^{-5}	0.7177
80	0.9994	1008	0.02953	2.931×10^{-5}	2.096×10^{-5}	2.097×10^{-5}	0.7154
90	0.9718	1008	0.03024	3.086×10^{-5}	2.139×10^{-5}	2.201×10^{-5}	0.7132
100	0.9458	1009	0.03095	3.243×10^{-5}	2.181×10^{-5}	2.306×10^{-5}	0.7111
120	0.8977	1011	0.03235	3.565×10^{-5}	2.264×10^{-5}	2.522×10^{-5}	0.7073
140	0.8542	1013	0.03374	3.898×10^{-5}	2.345×10^{-5}	2.745×10^{-5}	0.7041
160	0.8148	1016	0.03511	4.241×10^{-5}	2.420×10^{-5}	2.975×10^{-5}	0.7014
180	0.7788	1019	0.03646	4.593×10^{-5}	2.504×10^{-5}	3.212×10^{-5}	0.6992
200	0.7459	1023	0.03779	4.954×10^{-5}	2.577×10^{-5}	3.455×10^{-5}	0.6974
250	0.6746	1033	0.04104	5.890×10^{-5}	2.760×10^{-5}	4.091×10^{-5}	0.6946
300	0.6158	1044	0.04418	6.871×10^{-5}	2.934×10^{-5}	4.765×10^{-5}	0.6935
350	0.5664	1056	0.04721	7.892×10^{-5}	3.101×10^{-5}	5.475×10^{-5}	0.6937
400	0.5243	1069	0.05015	8.951×10^{-5}	3.261×10^{-5}	6.219×10^{-5}	0.6948
450	0.4880	1081	0.05298	1.004×10^{-4}	3.415×10^{-5}	6.997×10^{-5}	0.6965
500	0.4565	1093	0.05572	1.117×10^{-4}	3.563×10^{-5}	7.806×10^{-5}	0.6986
600	0.4042	1115	0.06093	1.352×10^{-4}	3.846×10^{-5}	9.515×10^{-5}	0.7037
700	0.3627	1135	0.06581	1.598×10^{-4}	4.111×10^{-5}	1.133×10^{-4}	0.7092
800	0.3289	1153	0.07037	1.855×10^{-4}	4.362×10^{-5}	1.326×10^{-4}	0.7149
900	0.3008	1169	0.07465	2.122×10^{-4}	4.600×10^{-5}	1.529×10^{-4}	0.7206
1 000	0.2772	1184	0.07868	2.398×10^{-4}	4.826×10^{-5}	1.741×10^{-4}	0.7260
1 500	0.1990	1234	0.09599	3.908×10^{-4}	5.817×10^{-5}	2.922×10^{-4}	0.7478
2 000	0.1553	1264	0.11113	5.664×10^{-4}	6.630×10^{-5}	4.270×10^{-4}	0.7539

Nota: Para los gases ideales, las propiedades c_p , k , μ y Pr son independientes de la presión. Las propiedades ρ , ν y α a una presión P (en atm) diferente de 1 atm se determinan al multiplicar los valores de ρ , a la temperatura dada, por P y al dividir ν y α entre P .

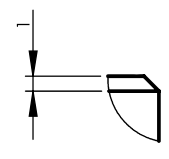
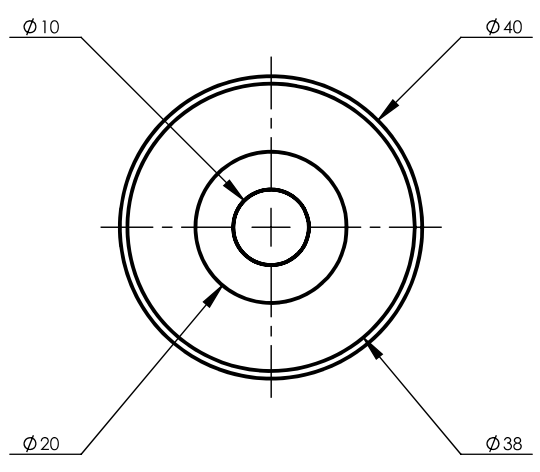
Fuente: Datos generados basándose en el software EES desarrollado por S. A. Klein y F. L. Alvarado. Fuentes originales: Keenan, Chao, Keyes, Gas Tables, Wiley, 1984, y Thermophysical Properties of Matter, Vol. 3: Thermal Conductivity, Y. S. Touloukian, P. E. Liley, S. C. Saxena, Vol. 11: Viscosity, Y. S. Touloukian, S. C. Saxena y P. Hestermans, IFI/Plenum, NY, 1970, ISBN 0-306067020-8.

PLANOS

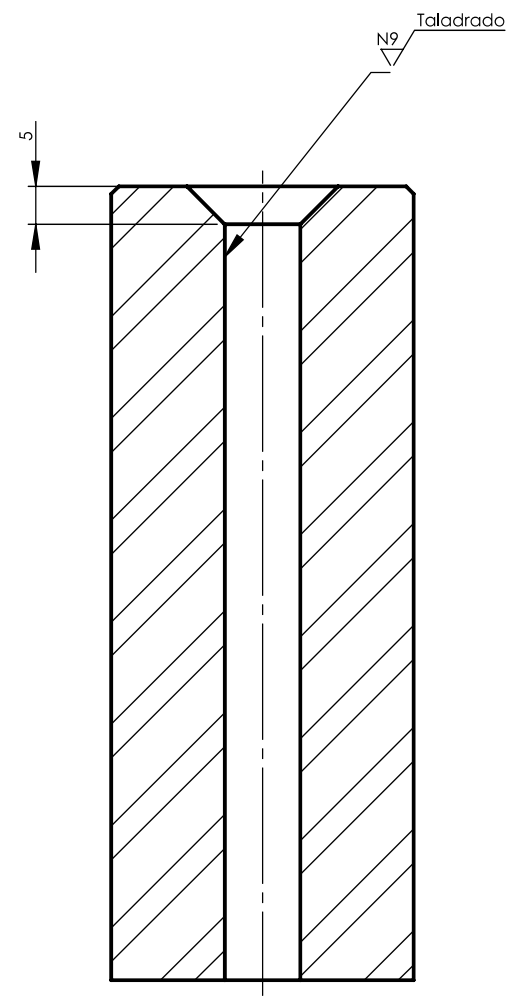
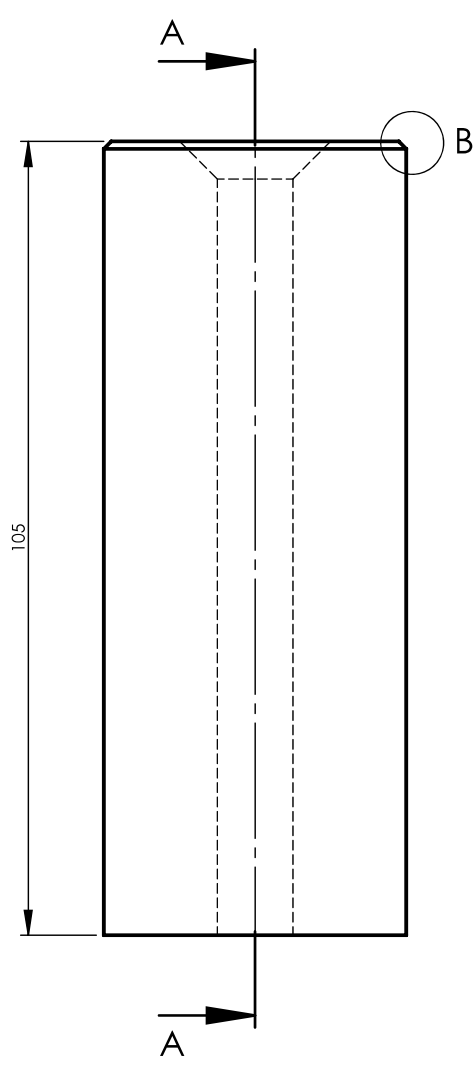
1 2 3 4

N7 Torneado

A
B
C
D
E



DETALLE B
ESCALA 2 : 1



CORTE A-A

				TOLERANCIA: ± 1	PESO: 972.61 gr	MATERIAL: AIS1 1018	
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO: CILINDRO	
				DIBUJÓ: 21/08/2020	Paúl Sailema	ESCALA: 1:1	
				REVISÓ: 3/01/2021	Ing. Santiago Cabrera		
				APROBÓ: 3/01/2021	Ing. Santiago Cabrera		
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		N.º DE LAMINA HOJA 1 DE 5	REGISTRO:
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE			SUSTITUCIÓN:	

1

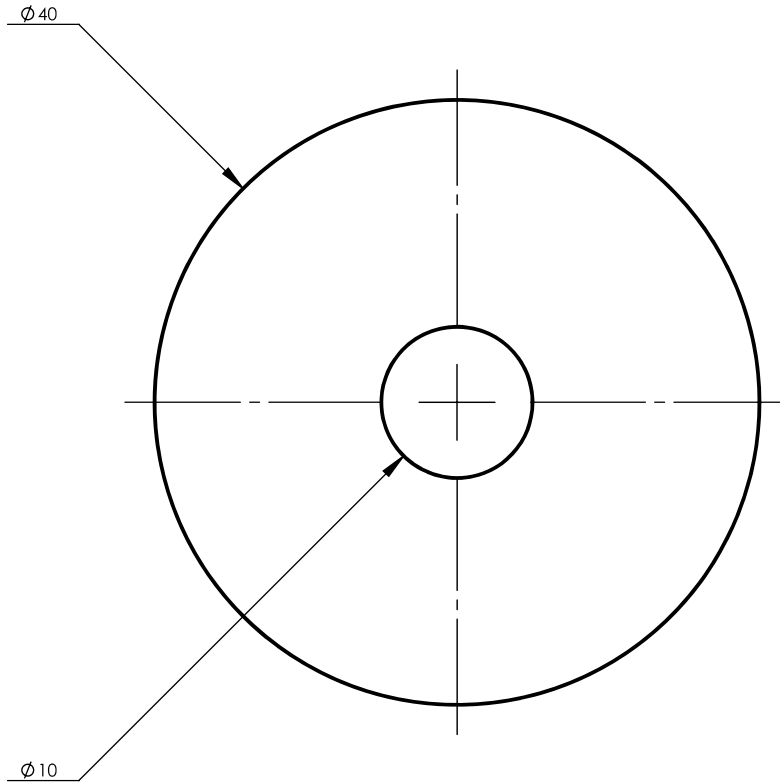
2

3

4

N7 Torneado

A

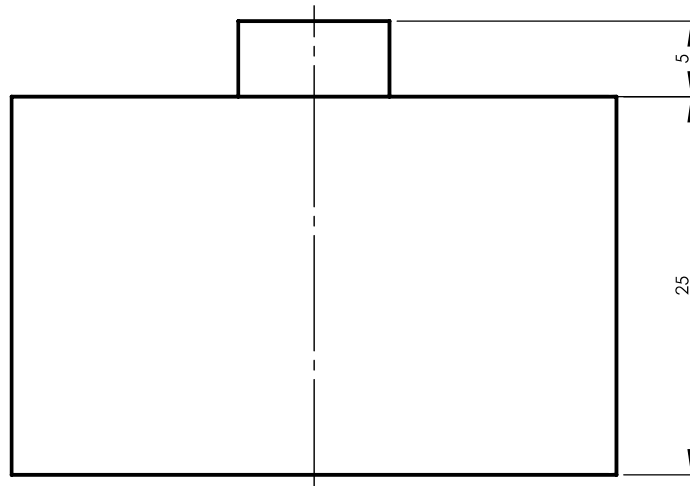


B

C

D

E



				TOLERANCIA: ± 1	PESO: 251.29 gr	MATERIAL: AISÍ 1018	
						TÍTULO: TAPA INFERIOR	ESCALA: 2:1
				DIBUJÓ: 21/08/2020	Paúl Sailema		
				REVISÓ: 3/01/2021	Ing. Santiago Cabrera		
				APROBÓ: 3/01/2021	Ing. Santiago Cabrera		
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		N.º DE LAMINA HOJA 2 DE 5	REGISTRO:
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE			SUSTITUCIÓN:	

1

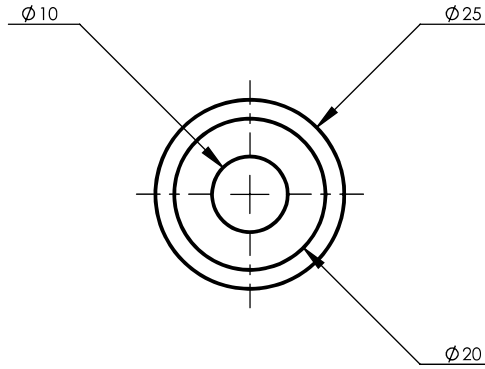
2

3

4

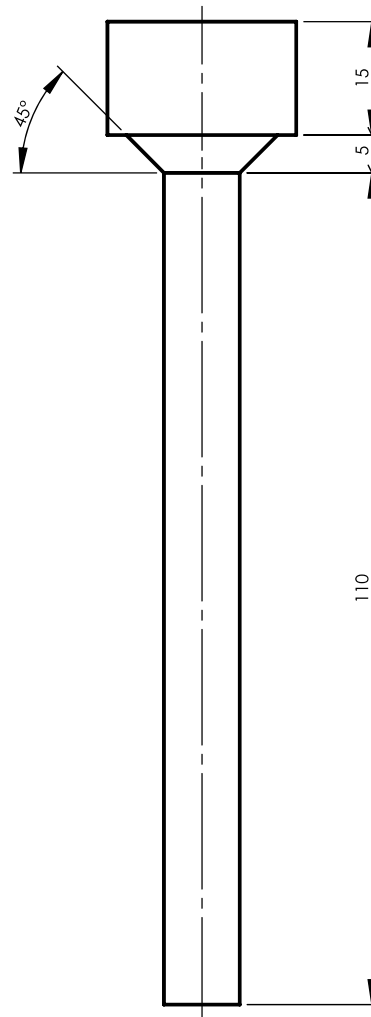
N7 Torneado

A



B

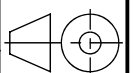
C

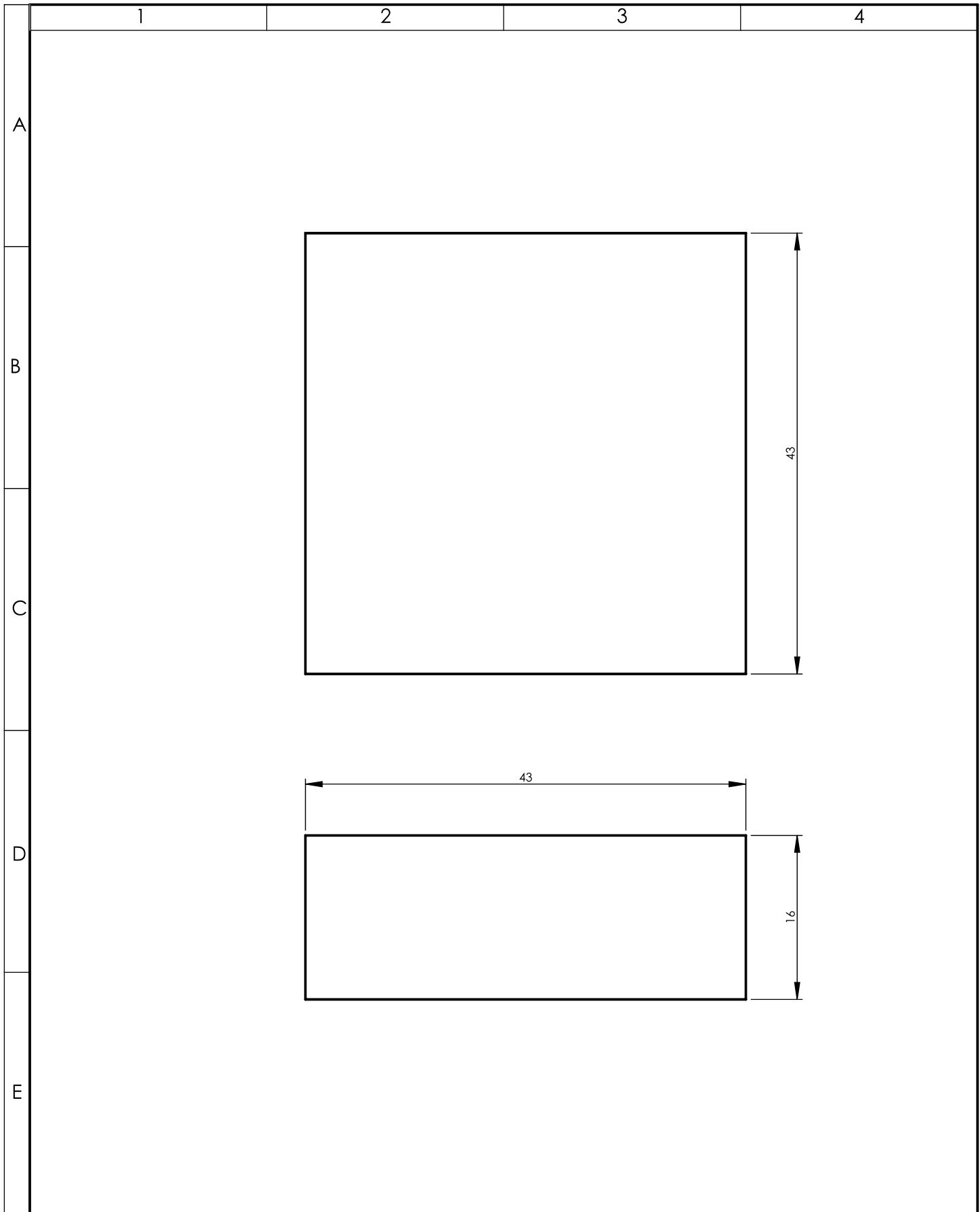


D

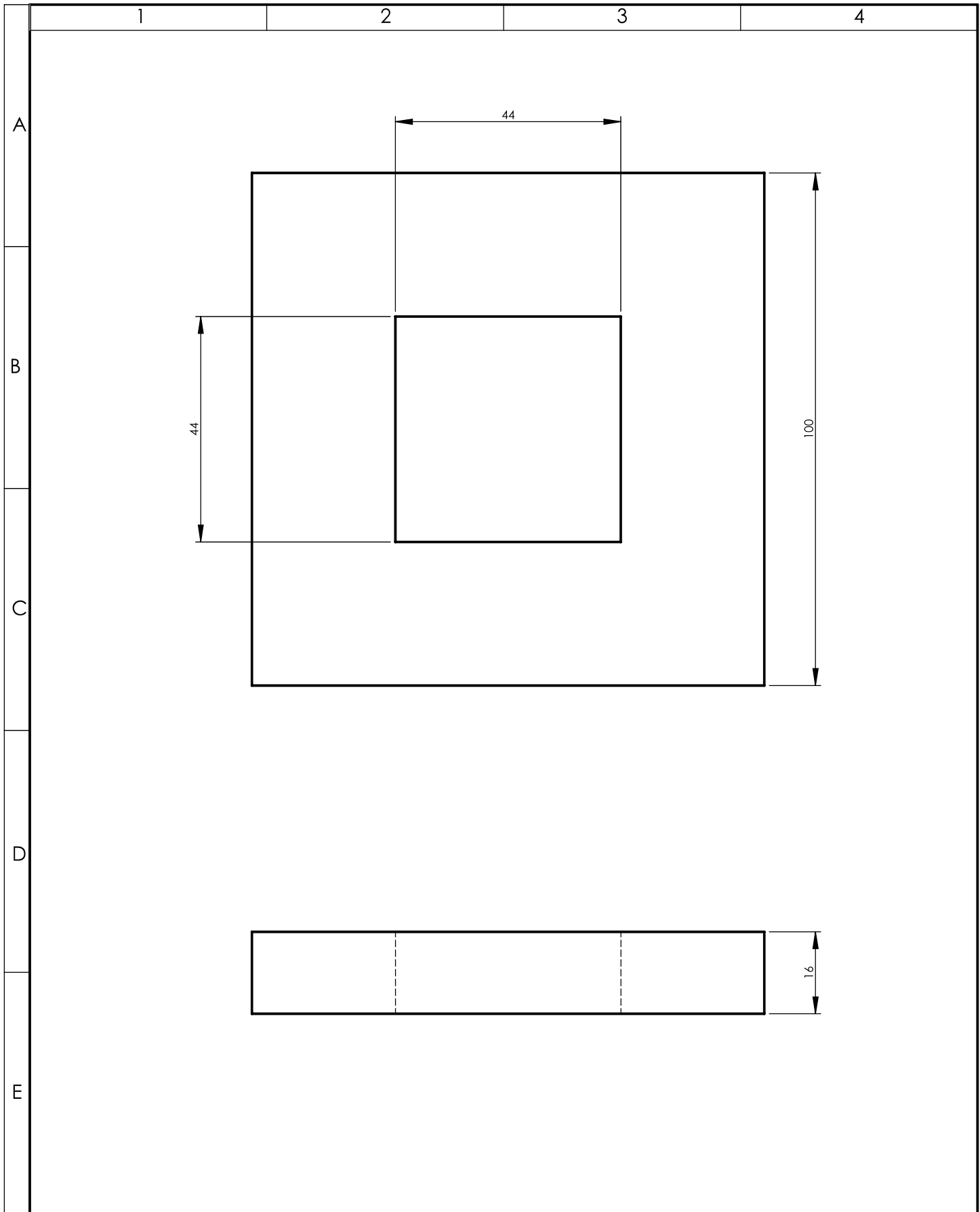
E

				TOLERANCIA: ± 1	PESO: 133.66 gr	MATERIAL: AISI 1018	
						TÍTULO: PUNZÓN	ESCALA: 1:1
				DIBUJÓ: 21/08/2020	Paúl Sailema		
				REVISÓ: 3/01/2021	Ing. Santiago Cabrera		
				APROBÓ: 3/01/2021	Ing. Santiago Cabrera		
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		N.º DE LAMINA HOJA 3 DE 5	REGISTRO:
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE			SUSTITUCIÓN:	





				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:				
				±1	232.23 g	ACERO A36				
						TÍTULO:		ESCALA:		
				FECHA	NOMBRE	MACHO		2:1		
				DIBUJÓ:	21/08/2020	HOJA 4 DE 5		REGISTRO:		
				REVISÓ:	3/01/2021					
				APROBÓ:	3/01/2021					
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE	U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		SUSTITUCIÓN:				



				TOLERANCIA: ± 1	PESO: 1012.84 gr	MATERIAL: ACERO A36	
						TÍTULO: HEMBRA	ESCALA: 1:1
				DIBUJÓ: 21/08/2020	Paúl Sailema		
				REVISÓ: 3/01/2021	Ing. Santiago Cabrera		
				APROBÓ: 3/01/2021	Ing. Santiago Cabrera		
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		N.º DE LAMINA HOJA 5 DE 5	REGISTRO:
EDICIÓN	MODIFICACIÓN	FECHA	NOMBRE			SUSTITUCIÓN:	