



**UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**Proyecto de Investigación previo a  
la Obtención del Título de Ingeniero  
Mecánico**

**TEMA:**

**“DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SECADOR DE TAMBOR PARA DISMINUIR EL  
CONTENIDO DE HUMEDAD EN RESIDUOS DE MADERA Y SER  
APROVECHADOS COMO BIO-COMBUSTIBLE”**

**AUTOR:**

Ibarra Balarezo Sandro Adrián

**DIRECTOR:**

Ing. Omar Cevallos Muñoz MSc.

**Quevedo - Ecuador**

**2016**



## **DECLARACION DE AUTORÍA Y SESIÓN DE DERECHO**

Yo, **Ibarra Balarezo Sandro Adrián**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Técnica Estatal de Quevedo, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

---

Ibarra Balarezo Sandro Adrián

**AUTOR**

## **CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

El suscrito, **Ing. Omar Cevallos Muñoz MSc**, Docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que el Egresado **Ibarra Balarezo Sandro Adrián**, realizó el Proyecto de Investigación de grado titulado “Diseño y simulación de un secador de tambor para disminuir el contenido de humedad en residuos de madera y ser aprovechados como bio-combustible” previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto.

---

**Ing. Omar Cevallos Muñoz MSc.**

**DIRECTOR DE TESIS**

# CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO

Por medio de la presente me permito certificar, que el Sr. Ibarra Balarezo Sandro Adrián, estudiante de la Carrera de Ingeniería Mecánica presencial del paralelo A, una vez que se revisó la tesis de grado titulada “DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SECADOR DE TAMBOR PARA DISMINUIR EL CONTENIDO DE HUMEDAD EN RESIDUOS DE MADERA Y SER APROVECHADOS COMO BIO-COMBUSTIBLE”, tengo a bien informar que se realizó la revisión respectiva por medio del sistema Urkund, con un porcentaje favorable del 9%, cumpliendo con el reglamento de Graduación de Estudiantes de Pregrado y la Normativa establecida por la Universidad.

Ing. Omar Cevallos Muñoz MSc.  
DIRECTOR DEL PROYECTO



## Urkund Analysis Result

**Analysed Document:** TrabajoFindeGrado\_Sandro\_Ibarra.docx (D22359402)  
**Submitted:** 2016-10-12 23:14:00  
**Submitted By:** ocevallos@uteq.edu.ec  
**Significance:** 9 %

### Sources included in the report:

Urkund - Almeida Murillo Wilmer.docx (D21561261)  
1437165507\_103\_\_C%2525C3%2525B3rdova%252BRosas%252BAna%252BP8%252BReporte%252BReserva%252BEcol%2525C3%2525B3gi.docx (D14968014)  
1435629102\_935\_\_ecologia.docx (D14918165)  
1435629207\_857\_\_Visita%252Bde%252Bcampo.pdf (D14918170)  
<http://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/779/1/T-UTEQ-0001.pdf>  
<http://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/399/1/T-UTEQ-0050.pdf>  
<https://es.wikipedia.org/wiki/Humedad>  
[http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-07642011000200007](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642011000200007)

Instances where selected sources appear:

37

Cc. Archivo.

Se adjunta imagen del sistema **Urkund**



# UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO

## FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA

### CARRERA INGENIERIA MECÁNICA

Yo, **TEDDY DE LA CRUZ VALDIVIEZO**, Docente de la Facultad Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifico que he revisado el proyecto de investigación del egresado **IBARRA BALAREZO SANDRO ADRIÁN**, con cedula de ciudadanía N° **1205297185**, previo a la obtención del título de Ingeniero en Mecánico, titulado “**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SECADOR DE TAMBOR PARA DISMINUIR EL CONTENIDO DE HUMEDAD EN RESIDUOS DE MADERA Y SER APROVECHADOS COMO BIO-COMBUSTIBLE**”, habiendo cumplido con la redacción y corrección ortográfica.

---

Socióloga Teddy de la Cruz Valdiviezo

**DOCENTE -FCI**



**UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**TITULO:**

**“DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SECADOR DE TAMBOR PARA DISMINUIR EL CONTENIDO DE HUMEDAD EN RESIDUOS DE MADERA Y SER APROVECHADOS COMO BIO-COMBUSTIBLE”**

Presentado la Comisión Académica como requisito previo a la obtención del título de Ingeniería Mecánica

**Aprobado por:**

---

**Ing. Peralta Fonseca Milton Alexander  
Presidente del Tribunal de Tesis**

---

**Ing. Guadalupe Almeida Jorge Luis  
Miembro del Tribunal de Tesis**

---

**Ing. Najarro Quintero Rodolfo  
Miembro del Tribunal de Tesis**

**QUEVEDO – LOS RIOS – ECUADOR**

**AÑO 2016**

## **AGRADECIMIENTO**

### **A Dios**

Por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio, por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

### **A mis padres**

Por los ejemplos de perseverancia y constancia que los caracterizan a ellos y que me han infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor.

### **A mis maestros**

Al Ing. Msc. Omar Cevallos por su gran apoyo y motivación para la culminación de este Proyecto de Titulación; y a todos los docentes que me impartieron las diferentes unidades de aprendizaje a lo largo de mis estudios universitarios; gracias por su apoyo ofrecido, por su tiempo compartido y por impulsar el desarrollo de nuestra formación profesional.

## **DEDICATORIA**

Quiero dedicar este proyecto:

**A mi esposa Juliana Vera Vélez**

Dedico este trabajo a mi amada esposa Juliana Vera Vélez, por su comprensión, amor, apoyo constante y el ánimo que me brinda día con día para alcanzar nuevas metas, tanto profesionales como personales.

**Y a mi pequeña hija Shelcy Ibarra Vera**

Por ser mi motivación en este reto.

## RESUMEN

El presente proyecto de investigación se centra en el estudio de un secador de tambor rotatorio que permita reducir el contenido de humedad existente en los residuos de madera de balsa (chips) de la empresa Banova Innovaciones en Balsa, para su posterior ingreso a la caldera, que abastece de vapor a dos plantas industriales, Banova y Plantabal S.A, respectivamente, en los diferentes procesos de producción que estos desarrollan. La investigación comprende datos específicos en base de las necesidades de la empresa y la caldera Bremer, además de información obtenida de investigaciones realizadas en torno a los residuos de madera como objeto de estudio, como también el costo de construcción que significa implementar la máquina para secar el chip de forma continua. Adicional a esto se expone las horas de ingeniería utilizadas en el proyecto, en función del diseño, selección y dimensionamiento de los diferentes elementos que componen al secador de tambor. Mediante la implementación de la máquina se prevee aprovechar al máximo la eficiencia energética de la caldera, disponiendo del uso de un biocombustible de mejor calidad producto de reutilizar los residuos de madera que salen del proceso, con características acorde a las exigencias de producción.

Este proyecto investigativo está organizado de la siguiente manera:

**Capítulo I**, comprendido por la problematización, los objetivos planteados y justificación de la investigación.

**Capítulo II**, conformado por la fundamentación teórica, información necesaria para el desarrollo del proyecto, donde se detalla la fundamentación conceptual y referencial utilizada en la investigación.

**Capítulo III**, comprende los métodos, tipos de investigación, técnicas y recursos que permitieron llevar a cabo el análisis del material a secar a través de la investigación.

**Capítulo IV**, se detallan los resultados obtenidos del proceso investigativo y la discusión en función del problema.

**Capítulo V**, se exponen las conclusiones y recomendaciones establecidas de acuerdo a los resultados obtenidos, en base a los objetivos planteados del proyecto.

**Capítulo VI**, se detallan las diversas fuentes bibliográficas, citas bibliográficas y Linkografía en las cuales se basa el proceso investigativo.

**Capítulo VII**, conformada por los datos que complementan la investigación, necesarias para llevar a cabo la solución del problema.

## **ABSTRACT**

This research project focuses on the study of a rotary drum dryer that reduces the content of moisture in the waste balsa wood (chips) Company Banova Innovations in Balsa, for subsequent entry to the boiler, which supplies steam at two industrial plants, Banova and Plantabal SA, respectively, in different production processes they develop. The research includes specific data based on the needs of the company and the Bremer boiler, as well as information obtained from research about the object of study, as well as the cost of construction which means implementing the machine to dry the chip continuously. In addition to this it exposed the engineering hours used in the project, depending on the design, selection and sizing of the various components of the dryer drum. By implementing the machine is anticipated to maximize the energy efficiency of the boiler, having the use of a biofuel better quality product reuse wood waste leaving the process with features according to the demands of production.

This research project is organized as follows:

**Chapter I**, comprised of problematization, the objectives and rationale for the research.

**Chapter II**, consisting of the theoretical basis, information necessary for the project, where the conceptual and referential rationale used in the research is detailed.

**Chapter III**, covers the methods, types of research, techniques and resources that allowed to carry out the analysis of the material to be dried through research.

**Chapter IV**, the results of the research process and discussion by the problem are detailed.

**Chapter V**, conclusions and recommendations set according to the results obtained are set, based on the objectives of the project.

**Chapter VI**, various literature sources, citations and linkography in which the research process is based are detailed.

**Chapter VII**, made up of data that complement the research necessary to carry out the solution of the problem.

# ÍNDICE

<b>DECLARACION DE AUTORÍA Y SESIÓN DE DERECHO .....</b>	<b>iii</b>
<b>CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>iv</b>
<b>CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO .....</b>	<b>v</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>viii</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>ix</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>x</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xii</b>
<b>ÍNDICE.....</b>	<b>xiii</b>
<b>CÓDIGO DUBLIN.....</b>	<b>xxi</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>22</b>
<b>CAPÍTULO I .....</b>	<b>23</b>
<b>CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>23</b>
1.1. Problema de investigación.....	24
1.1.1. Planteamiento del problema.....	24
1.1.2. Formulación del problema.....	25
1.1.3. Sistematización del problema.....	25
1.2. Objetivos.....	25
1.2.1. Objetivo general .....	25
1.2.2. Objetivos específicos.....	25
1.3. Justificación.....	26
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>27</b>
<b>FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>27</b>
2.1. Marco Conceptual.....	28

2.1.1. Diseño.....	28
2.1.2. Secado.....	28
2.1.3. Caldera.....	28
2.1.4. Humedad.....	29
2.1.5. Madera.....	29
2.1.7. Bioenergía.....	29
2.1.8. Biocombustible.....	30
2.1.9. Resistencia de materiales.....	30
2.2. Marco Referencial.....	30
2.2.1. Secado de sólidos.....	30
2.2.2. Diseño de secadores.....	31
2.2.2.1. El secador directo.....	31
2.2.3. Clasificación del secado.....	33
2.2.3.1. Secado continuo.....	33
2.2.3.2. Secado discontinuo.....	35
2.2.4. Tipos de secadoras.....	35
2.2.5. Secadores rotatorios.....	36
2.2.5. Tipos de calderas.....	37
2.2.6. Componentes de una caldera.....	39
2.2.7. Humedad en el aire.....	40
2.2.8. Humedad en los materiales.....	41
2.2.9. Humedad relativa.....	41
2.2.10. Curva de secado.....	41
2.2.11. Tipos de madera.....	43
2.2.12. Chips de madera.....	45

2.2.13. Propiedades físicas y mecánicas del chips de balsa .....	46
2.2.14. Balsa .....	47
2.2.15. Como se produce la Bioenergía.....	47
2.2.16. Biocombustibles en la Industria .....	48
2.2.16.2.¿Qué son los Biocombustibles?.....	49
2.2.16.3. La obtención de Biocombustibles .....	49
2.2.17. Generación de biomasa.....	50
<b>CAPÍTULO III .....</b>	<b>53</b>
<b>METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>53</b>
3.1. Localización.....	54
3.2. Información geográfica del cantón Quevedo.....	54
3.3. Tipo de investigación .....	54
3.3.1. Investigación explicativa.....	54
3.4. Métodos de investigación .....	55
3.5. Fuentes de investigación.....	55
3.6. Diseño de la investigación.....	56
3.7. Instrumentos de investigación .....	56
3.8. Recursos humanos y materiales.....	56
3.8.1. Recurso humano.....	56
3.8.2. Recursos materiales.....	57
<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>58</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>58</b>
4.1. Resultados.....	59
4.1.1. Análisis preliminar del diseño .....	59
4.1.2. Flujo másico .....	60

4.1.3. Diámetro del secador .....	60
4.1.4. Tiempo del proceso de secado en el tambor.....	62
4.1.5. Angulo de inclinación del secador .....	63
4.1.6. Espesor del tambor .....	64
4.1.7. Factor de seguridad.....	66
4.1.8. Momento de inercia del sistema .....	67
4.1.8.1. Inercia del cilindro.....	68
4.1.8.2. Inercia generada por el chips .....	69
4.1.9. Potencia del motor .....	71
4.1.10. Diseño de engranajes .....	71
4.1.11. Soporte rotatorio del tambor.....	76
4.1.12. Selección de chumaceras .....	79
4.1.13. Cantidad de agua a retirar del chips .....	79
4.1.14. Calor necesario para evaporar el agua.....	80
4.1.15. Temperatura de ingreso del aire .....	81
4.1.16. Velocidad necesaria de ventilación .....	83
4.1.17. Temperatura de entrada del vapor .....	85
4.1.18. Criterios de seguridad.....	86
4.1.18.1. Riesgos .....	87
4.1.18.2. Equipo de protección personal (EPP).....	87
4.1.19. Control de operación del secador de tambor .....	88
4.1.20. Análisis económico .....	89
4.1.21. Análisis del proyecto .....	90
4.1.22. flujo de efectivos .....	91

<b>CAPÍTULO V</b> .....	<b>94</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>94</b>
5.1. Conclusiones.....	95
5.2. Recomendaciones .....	96
<b>CAPÍTULO VI</b> .....	<b>97</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>97</b>
6.1. BIBLIOGRAFÍA .....	98
6.2. LINKOGRAFÍA.....	100
<b>CAPÍTULO VII</b> .....	<b>101</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>101</b>
7.1. ANEXOS .....	102

## INDICE DE TABLAS

TABLA 1. TIPOS DE SECADORAS.....	35
TABLA 2. PROPIEDADES FÍSICAS.....	47
TABLA 3. PROCESO DE OBTENCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES.....	50
TABLA 4. EFICIENCIA ENERGÉTICA DE DIFERENTES COMPONENTES [18].....	52
TABLA 5. PARÁMETROS DE DIMENSIONAMIENTO DEL SECADOR .....	59
TABLA 6. PROPIEDADES MECÁNICA ACERO ASTM A36 [24] .....	64
TABLA 7. PARÁMETROS MECÁNICOS .....	72
TABLA 8. ENGRANAJES .....	73
TABLA 9. CARGAS SOBRE EL ENGRANAJE (CONSTRUCCIÓN) .....	74
TABLA 10. SELECCIÓN DE MATERIAL DEL JUEGO DE ENGRANAJES .....	75
TABLA 11. RESULTADOS.....	75
TABLA 12. CONTROL DE OPERACIÓN DEL SECADOR .....	88
TABLA 13. ANÁLISIS ECONÓMICO .....	89
TABLA 14. FLUJO DE EFECTIVOS .....	91

## INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.SECADORES DIRECTOS .....	33
FIGURA 2. SECADO CONTINUÓ .....	34
FIGURA 3. SECADOR ROTATORIO .....	36
FIGURA 4. FORMAS DE LAS ASPAS EN SECADORES ROTATORIOS .....	37
FIGURA 5. CALDERA ACUATUBULAR .....	38
FIGURA 6. CALDERA PIROTUBULAR .....	39
FIGURA 7. CURVA DE SECADO.....	42
FIGURA 8. ÁRBOL DE BALSA .....	44
FIGURA 9. MADERA ARTIFICIAL.....	45
FIGURA 10. EL CHIPS .....	46
FIGURA 11. GENERACIÓN DE BIOMASA .....	51
FIGURA 12. EFICIENCIA CALDERO VS HUMEDAD EN BIOMASA.....	52

FIGURA 13. MAPA DE UBICACIÓN DEL COMPLEJO 3ACOMPOSITES .....	54
FIGURA 14. TAMBOR .....	62
FIGURA 15. DIENTE DEL ENGRANAJE .....	74
FIGURA 16. SOPORTE ROTATORIO .....	76
FIGURA 17. DIAGRAMA ESFUERZO CORTANTE Y MOMENTO DEL SOPORTE..	77
FIGURA 18. SERPENTÍN.....	81
FIGURA 19. RED TÉRMICA .....	82
FIGURA 20. VENTILADOR .....	85

## ÍNDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN 1 FLUJO MÁSSICO .....	60
ECUACIÓN 2 DIÁMETRO DEL SECADOR .....	60
ECUACIÓN 3 VOLUMEN.....	61
ECUACIÓN 4 TIEMPO DE PROCESO DE SECADO .....	62
ECUACIÓN 5 ÁNGULO DE INCLINACIÓN .....	63
ECUACIÓN 6 PRESIÓN .....	64
ECUACIÓN 7 ÁREA TRANSVERSAL.....	65
ECUACIÓN 8 ESPESOR .....	65
ECUACIÓN 9 FUERZA TRANSVERSAL .....	66
ECUACIÓN 10 FUERZA LONGITUDINAL.....	66
ECUACIÓN 11 FACTOR DE SEGURIDAD FUERZA TRANSVERSAL .....	67
ECUACIÓN 12 FACTOR DE SEGURIDAD FUERZA LONGITUDINAL .....	67
ECUACIÓN 13 SUMATORIA DE MOMENTO.....	67
ECUACIÓN 14 SUMATORIA DE MOMENTO DE INERCIA .....	68
ECUACIÓN 15 INERCIA DEL CILINDRO .....	68
ECUACIÓN 16 INERCIA GENERADA POR EL CHIPS .....	69
ECUACIÓN 17 MOMENTO GENERADO POR EL CHIPS .....	70
ECUACIÓN 18 POTENCIA DEL MOTOR .....	71
ECUACIÓN 19 PESO TOTAL SOBRE EL TAMBOR.....	77
ECUACIÓN 20 MOMENTO FLEXIONANTE .....	78

ECUACIÓN 21 FACTOR DE SEGURIDAD .....	78
ECUACIÓN 22 MASA DE AGUA .....	79
ECUACIÓN 23 CALOR NECESARIO PARA EVAPORAR EL AGUA DEL SISTEMA	80
ECUACIÓN 24 FLUJO DE CALOR.....	81
ECUACIÓN 25 FLUJO DE CALOR EN EL TAMBOR .....	83
ECUACIÓN 26 FLUJO MÁSSICO DE VIENTO.....	84
ECUACIÓN 27 CAUDAL DE VIENTO NECESARIO .....	84
ECUACIÓN 28 TEMPERATURA DE ENTRADA DEL VAPOR .....	85
ECUACIÓN 29 CÁLCULO DEL VAN .....	91
ECUACIÓN 30 CÁLCULO DE RELACIÓN COSTO BENEFICIO .....	93

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. ENSAYO DE HUMEDAD .....	102
ANEXO 2. COMPOSICIÓN ACERO ASTM A36 .....	103
ANEXO 3. MOTOR TRIFÁSICO 10 HP [28] .....	104
ANEXO 4. DIMENSIONES DEL MOTOR [28] .....	105
ANEXO 5. RUEDA-SOPORTE ROTATORIO [29] .....	106
ANEXO 6. MOTOR REDUCTOR [28] .....	107
ANEXO 7. CHUMACERA NTN .....	108
ANEXO 8. PIÑÓN [30] .....	109
ANEXO 9. NORMA DIN – ACERO.....	110
ANEXO 10. VENTILADOR INDUSTRIAL .....	111
ANEXO 11. EFICIENCIA DE SOLDADURA [31] .....	112
ANEXO 12. CONSTANTE FÍSICAS [20].....	113
ANEXO 13. FACTOR DE CONVERSIÓN .....	114
ANEXO 14. FACTOR DE TRANSFERENCIA DE CALOR .....	115
ANEXO 15. DISEÑO 3D.....	116
ANEXO 16. PLANOS.....	117

## CÓDIGO DUBLIN

<b>Título</b>	“DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SECADOR DE TAMBOR PARA DISMINUIR EL CONTENIDO DE HUMEDAD EN RESIDUOS DE MADERA Y SER APROVECHADOS COMO BIO-COMBUSTIBLE”			
<b>Autor</b>	Ibarra Balarezo Sandro Adrián			
<b>Palabras claves</b>	Secado	Humedad	Chips	Calor
<b>F. Publicación</b>	NOVIEMBRE, 2016			
<b>Editorial</b>	Quevedo: UTEQ, 2016			
<b>Resumen</b>	<p>El proyecto de investigación se centra en el estudio de un secador de tambor rotatorio que permita reducir el contenido de humedad existente en los residuos de balsa (chips) de la empresa Banova Innovaciones en Balsa. El análisis de estudio, se basa en la selección de material y dimensionamiento del secador de tambor, equipos que trabajarán en el proceso de secado de residuos de madera de balsa (chips), análisis termodinámico utilizando parámetros de transferencia de calor para reducir el contenido de humedad, la utilización de vapor como fuente de energía. Determinación de costos de construcción. Mediante una futura implementación de la máquina se prevee aprovechar al máximo la eficiencia energética de la caldera, disponiendo del uso de un biocombustible de mejor calidad producto de reutilizar los residuos de madera que salen del proceso, con características acorde a las exigencias de producción.</p>			
<b>Descripción</b>				
<b>URI</b>				

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el secado es una de las operaciones con alta incidencia dentro del ámbito comercial de variados procesos industriales aplicados en los sectores de producción alimenticia, agrícola, minera y manufacturera, donde surge la necesidad de tener que procesar productos con una cantidad de humedad estandarizada dentro del proceso productivo, lo que permite obtener productos de mejor calidad que compitan con el mercado nacional e internacional, aumentando la productividad, la eficiencia energética y, por ende la reducción de desperdicios de material que con normalidad se suscita en la industria.

Los procesos de secado a nivel industrial son considerados una operación de alto consumo energético, donde gran parte de estos equipos poseen una baja eficiencia térmica en torno a la energía dotada, la cual es utilizada para reducir la humedad en diferentes productos, donde la aplicabilidad de sistemas de control ofrecen una oportunidad para mejorar el funcionamiento y aumentar el aprovechamiento del agente de combustión en la generación de energía, de tal manera que se logre una alta eficiencia de la máquina.

Además, otro de los problemas dentro de la industria es el deterioro de las máquinas por el uso de productos con altos índices de humedad, los mismos que necesitan de un pre-secado para continuar en la línea de producción. Para lograr esto, se propone como trabajo de investigación el diseño y simulación de un secador de tambor, utilizado para reducir el contenido de humedad en residuos de madera y ser aprovechados como bio-combustible en el campo industrial, el mismo que se ejecuta haciendo uso del software de diseño Inventor.

## **CAPÍTULO I**

### **CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

## **1.1. Problema de investigación**

### **1.1.1. Planteamiento del problema**

Actualmente, la Empresa **BANOVA INNOVACIONES EN BALSA S.A.**, posee una Caldera Brasileira de modelo HBFR-2 acuapirotubular, generadora de vapor de hasta 12 Ton/horas; la misma que funciona en base a biomasa residual (desechos de madera) originados en los diversos procesos de manufactura, útiles para la generación de vapor saturado, el cual es necesario para el desarrollo de los diferentes procesos de secado de madera antes y dentro de la línea de producción.

La mayor problemática de la industria manufacturera es la utilización de desechos de madera con altos grados de humedad en la biomasa (chip verde), que es perjudicial para la vida útil de la caldera, dando efecto a la ineficiente producción de vapor, incumpliendo los parámetros necesarios para el desarrollo productivo, induciendo al deterioro de la máquina, reducción de su eficiencia, elaboración de productos con una calidad diferente a la estimada y por ende al aumento en los costos de producción, lo cual repercute en la estabilidad comercial de la empresa.

La obtención de vapor saturado es una de las principales actividades dentro del proceso de producción, que abastece de manera significativa a la industria, siendo esta máquina la de principal cuidado e importancia de las diferentes áreas, por su uso continuo y requerimiento de funcionamiento las 24 horas del día, ya que el producto obtenido (vapor saturado) es compartido con otra industria Plantabal S.A. ambas pertenecientes a la compañía 3AC Composites.

### **Diagnóstico**

La Empresa Banova Innovaciones en Balsa S.A. necesita implementar en sus herramientas de trabajo un secador de tambor, que les permita secar los residuos de madera de balsa (chip verde) antes de su ingreso al caldero para la generación de vapor, con la finalidad de aprovechar la eficiencia de la máquina y que se pueda disminuir los costos, que generan desmedidos desembolsos de dinero para trasladar estos desperdicios fuera de las instalaciones de la planta

que en muchos de los casos se suscita al ser considerados altamente nocivos para la máquina por su elevado contenido de humedad.

### **1.1.2. Formulación del problema**

¿Cómo incide el diseño y simulación de un secador de tambor como medio para la reducción de humedad en los residuos de madera para luego ser utilizados como bio-combustible en la generación de vapor saturado de la empresa Banova Innovaciones en Balsa S.A.?

### **1.1.3. Sistematización del problema**

La investigación se centra en el cálculo, diseño y simulación de un secador de tambor que utiliza vapor, para reducir la humedad de los residuos de madera para ser utilizados como bio-combustible, planteándose las siguientes cuestiones.

- ¿A qué temperatura se estima que trabaja el sistema?
- ¿Los parámetros de secado presentan un buen rendimiento con respecto al funcionamiento del secador?
- ¿Cuáles serían los costos viables para una futura construcción del secador?
- ¿Cómo incide el aprovechamiento de los residuos de madera en el aumento de temperatura?

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo general**

Diseñar un secador de tambor para reducir el contenido de humedad en residuos de madera y ser aprovechados como biocombustible

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Realizar un análisis mecánico para establecer los parámetros básicos del diseño.
- Simular el movimiento de la secadora de tambor para comprender su principio de funcionamiento.
- Establecer los costos de construcción del diseño propuesto.

### **1.3.Justificación**

El sector industrial continuamente se enfrenta a mayores exigencias, principalmente la reducción de costos, el ahorro energético, la conservación de recursos, los índices de rendimiento y productividad, el desempeño ambiental, factores que inciden en la competitividad tanto nacional como internacional de dicho sector. El secado es una de las operaciones unitarias más relevantes en la industria manufacturera ya que conlleva una alta utilización de recursos energéticos. Por este motivo esta operación es de continuo interés en esta investigación.

La importancia del desarrollo de esta investigación se estableció en el diseño y la simulación de una secadora de tambor para el secado de madera residual, producto de los procesos de producción de la empresa Banova Innovaciones en Balsa S.A, con la finalidad de reducir y mejorar los índices de humedad en los desechos de madera, además, que al implementar este proceso permite el reutilizar los desperdicios de madera, reduciendo la contaminación ambiental por la quema de estos, y beneficiando a la empresa por la reducción en los costos de producción y cumplir con un parámetro dispuesto por los diseñadores del caldero utilizado para la generación de vapor en la planta industrial.

En la actualidad la empresa Banova Innovaciones en Balsa S.A, no dispone de este recurso de secado de residuos, por lo que la implementación de este sistema de secado beneficia a la empresa en varios factores: cumplimiento de parámetros del caldero, reducción de costos de producción, reducción de contaminación ambiental, aumento en el rendimiento de producción ya que se aprovechan los desperdicios generados por la planta.

## **CAPÍTULO II**

### **FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN**

## **2.1. Marco Conceptual**

### **2.1.1. Diseño**

El diseño es una actividad ancestral, que enmarca una gama de acciones e implica analizar, proyectar y programar, además de coordinar los factores materiales y humanos que involucra. Diseñar hace referencia a mostrar algo que no se ve, a comunicar lo que se requiere plantear, en síntesis a comunicar, incluyendo el juicio propio, la aplicabilidad de conocimientos, intuición y destrezas, siendo fundamental la toma de decisiones.<sup>1</sup>

### **2.1.2. Secado**

El secado es un método utilizado para extraer agua de un producto lo cual imposibilita la proliferación de micro organismos y dificulta la putrefacción. Este método utiliza la evaporación para reducir el contenido de humedad. Antiguamente se utilizaba el sol para efectuar este proceso siendo este natural, actualmente se lo realiza artificialmente mediante la inducción de calor. [1]

### **2.1.3. Caldera**

La caldera es una máquina utilizada para la generación de vapor mediante la inducción de calor por medio de la transferencia de calor en un sistema isobárico, a presión constante, en la cual el agente a gasificar usualmente en sentido líquido, cambia el estado de este a vapor saturado. Generalmente es construida de acero laminado, que soporta altas temperaturas, haciendo uso de diferentes fuentes de energía para ser transformada en energía útil para inducir calor al sistema. [2]

---

<sup>1</sup>[http://www.cesfelipesegundo.com/titulaciones/bellasartes/temarios/Diseno\\_Grafico\\_1/Qu%E9%20es%20el%20dise%F1o.pdf](http://www.cesfelipesegundo.com/titulaciones/bellasartes/temarios/Diseno_Grafico_1/Qu%E9%20es%20el%20dise%F1o.pdf)

#### **2.1.4. Humedad**

La humedad hace referencia a la cantidad de agua que posee un cuerpo o al valor de vapor en la atmósfera. Todos los seres vivos están conformados de agua en su estructura molecular, tanto los seres vegetales como los animales, en los que están incluidos los seres humanos, lo cual es indispensable para su subsistencia. [3]

#### **2.1.5. Madera**

La madera es un material de tipo ortótropo de origen vegetal, siendo este la principal materia prima usada por el hombre para abastecer diversas necesidades, dentro del campo doméstico, industrial, comercial, entre otros. La madera es considerada el componente principal del tronco leñoso, donde su parte más sólida se encuentra por debajo de la primera capa, la corteza. La madera es utilizada para la fabricación de una gama variada de productos de gran utilidad en el medio como: camas, mesas, barcos, puentes, sillas, entre otros, en todos los sectores de producción. [4]

#### **2.1.6. Biomasa**

La biomasa es un tipo de material de origen biológico que puede ser vegetal o animal, originado en los compuestos de carbono que tiene lugar durante el proceso de fotosíntesis, proceso que aprovecha la energía suministrada por el sol, los mismos que también pueden haber sufrido algún proceso natural o artificial al cual se excluyen todo material que haya pasado por un proceso de mineralización. [5]

#### **2.1.7. Bioenergía**

La bioenergía es un tipo de energía considerada energía renovable que se produce a partir de la explotación de recursos tanto industriales como materia orgánica, formados en algún proceso mecánico o biológico originada en los seres vivos, o en sus restos o residuos. La bioenergía es generalmente aprovechada mediante el proceso de combustión, o este es transformado en alguna

sustancia que acumule su energía para luego ser aprovechada como biocombustible o inclusive como alimento en el sector industrial. [6]

### **2.1.8. Biocombustible**

El biocombustible es una sustancia que se deriva de la biomasa, la cual se genera en diferentes procesos biológicos de manera natural o artificial. Utilizada como fuente energética para los procesos industriales y en la generación de otras fuentes de energía como la eléctrica, calorífica, entre otras. [7]

### **2.1.9. Resistencia de materiales**

La resistencia de materiales es una rama de la ciencia dedicada al estudio del comportamiento de las fuerzas y los materiales en las estructuras y la industria, mediante el análisis de los sólidos, su composición a nivel molecular. Esta parte de la ciencia conceptualiza el estudio hacia los materiales en razón del soporte de diferentes fuerzas, cargas o esfuerzos aplicadas sobre un sólido, sin que esta experimente alguna deformación en su estructura, considerando tanto el límite plástico como el elástico. La resistencia de materiales hace relación a las fuerzas aplicadas y las inducidas sobre una pieza determinada, permitiendo la simplificación de su geometría para facilitar el análisis y cálculo de las cargas que inciden sobre esta y de esta manera lograr determinar el factor de resistencia que esta dispone hacia las fuerzas incidentes, permitiendo establecer un factor de seguridad del material para ser seleccionado. [8]

## **2.2. Marco Referencial**

### **2.2.1. Secado de sólidos**

El secado de un sólido consiste en separar el contenido de humedad de un sólido mediante la inyección de corrientes de aire a cierta temperatura. Normalmente los contenidos de humedad en los cuerpos suelen estar entre los 65 y 70%, el mismo que debe ser reducido

considerablemente a la medida de humedad admisible para el proceso productivo. Para lo cual esta operación implica una transferencia de masa y energía. [9]

### **2.2.2. Diseño de secadores**

Existen varios tipos de diseños de secadores rotatorios muy populares en las industrias químicas y de procesos, es el secador rotativo continuo. Esta máquina está generalmente asociada con el tonelaje - producto, como resultado de su capacidad para manejar productos que tienen una variación de tamaño, se puede utilizar para secar una amplia gama de materiales desde suelos, maderas, biomasa, entre otros. El principio de las fuentes de energía térmica son el petróleo, el gas y el carbón. Mientras que las temperaturas de entrada típicas para los secadores alimentados directamente con estos combustibles es 650°C a 850 °C, dependiendo en gran medida de la naturaleza del producto manipulado. Cuando los materiales alimenticios son termo-sensibles, el calentamiento con vapor desde un intercambiador de calor indirecto también se utiliza ampliamente. Estos secadores están disponibles en una variedad de diseños, pero en general, se pueden dividir en dos tipos principales: transferencia directa y transferencia indirecta.<sup>2</sup>

Existen varios diseños. Por ejemplo:

#### **2.2.2.1. El secador directo**

Utiliza simultáneamente ambos sistemas. Cuando se utiliza calor directo, los productos de combustión están en contacto íntimo con el material a secar. En el caso de sistemas indirectos, los gases calientes están dispuestos para circular alrededor de la envoltura del secador. Luego se realiza la transferencia de calor y se irradia a través de la carcasa.

Con el sistema directo indirecto, los gases calientes pasan primero por un tubo central, coaxial con la envoltura del secador, y vuelven a través del espacio anular entre el tubo y la envuelta. El material que está en cascada en el anillo recoge calor de los gases, así como por conducción desde el contacto directo con el tubo central. Este diseño es térmicamente, muy eficiente. Si

---

<sup>2</sup> [http://userpages.umbc.edu/~dfrey1/ench445/apv\\_dryer.pdf](http://userpages.umbc.edu/~dfrey1/ench445/apv_dryer.pdf)

bien hay una serie de diseños que emplean diferentes sistemas de flujo de aire, los dos tipos principales más utilizados son el flujo paralelo y contracorriente.<sup>3</sup>

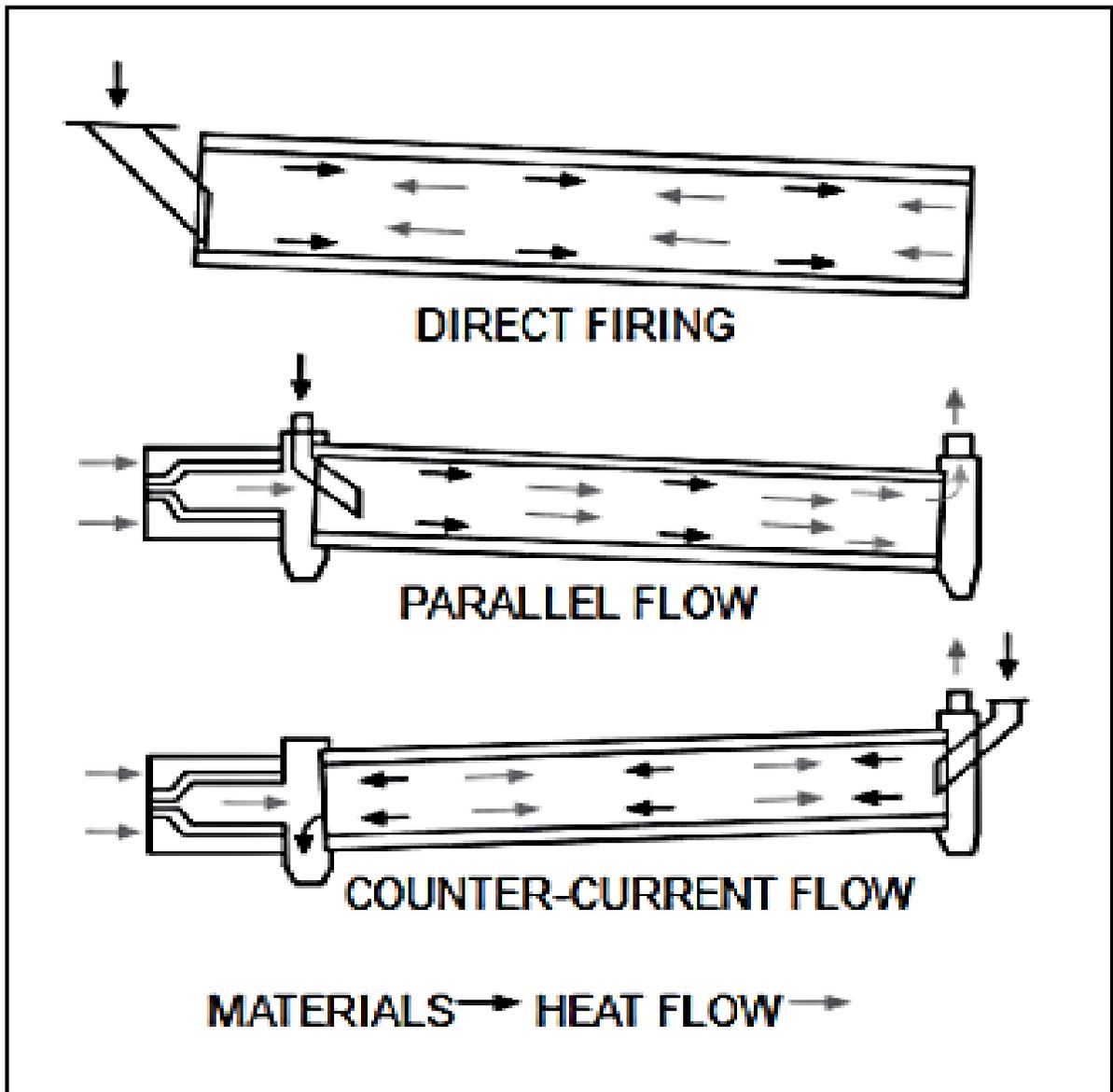
- a) **Con flujo paralelo**, sólo el material de alto contenido de humedad entra en contacto con el gas y, como resultado, se pueden alcanzar mayores velocidades de evaporación que cuando se usa flujo de contracorriente. Además, se pueden secar muchos materiales termo sensibles con éxito por este método. Dicha disposición se presta a la manipulación de materiales pastosos, ya que el secado rápido de la humedad y el consiguiente secado superficial limita la posibilidad de acumulación o aglomeración de la pared dentro del secador.
  
- b) **Flujo a contracorriente**.- se utiliza normalmente para transferir un fluido en movimiento a otro que se mueve en dirección contraria, separados por una membrana semipermeable o un material termo conductor. En esta disposición, los gases de alta temperatura se introducen en contacto con el producto inmediatamente antes de la descarga, donde las huellas finales de la humedad del producto debe ser expulsada. En ambos procesos, sin embargo, las velocidades del gas pueden ser suficientemente altas para producir el arrastre del producto. Por lo tanto, serian inadecuados para materiales de baja densidad o de partículas finas. En tales casos, el secador de tipo de conducción alimentado indirectamente es más adecuado, puesto que la envoltura del secador está habitualmente encerrada en una carcasa de ladrillo o camisa de acero exterior en la que se introducen los gases calientes. Dado que la transferencia de calor se realiza completamente por conducción, no se utiliza la descarga convencional y la conexión en cascada del material. Por el contrario, el interior de la carcasa está equipado con pequeños elevadores diseñados para girar suavemente el producto, manteniendo al mismo tiempo un máximo contacto con la carcasa calentada.<sup>4</sup>

---

<sup>3</sup> [http://userpages.umbc.edu/~dfrey1/ench445/apv\\_dryer.pdf](http://userpages.umbc.edu/~dfrey1/ench445/apv_dryer.pdf)

<sup>4</sup> [http://userpages.umbc.edu/~dfrey1/ench445/apv\\_dryer.pdf](http://userpages.umbc.edu/~dfrey1/ench445/apv_dryer.pdf)

Figura 1. Secadores directos



Fuente: APV Dryer Handbook

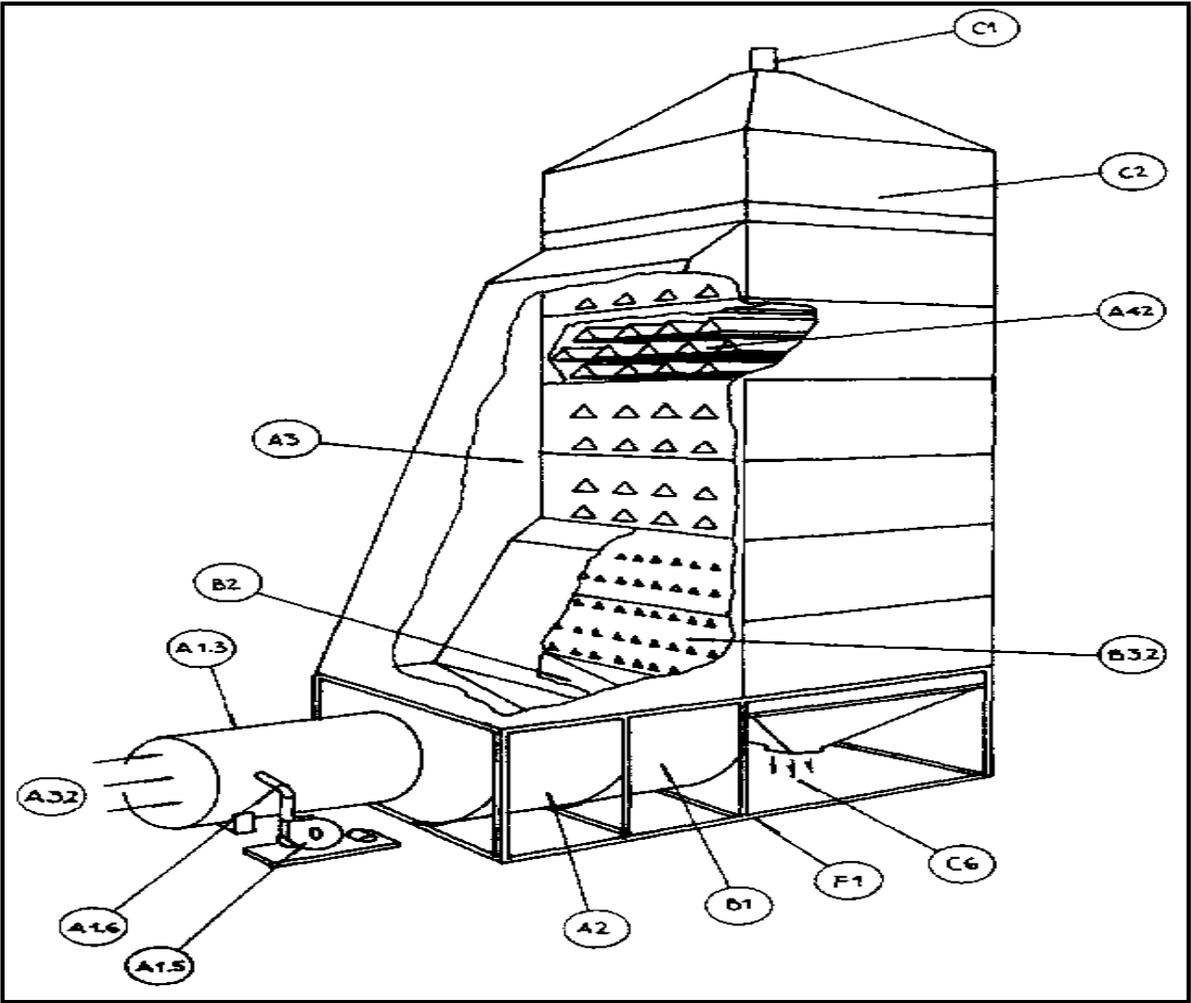
## 2.2.3. Clasificación del secado

### 2.2.3.1. Secado continuo

El secado continuo es el tipo de secado que consiste en una operación donde tanto el sólido a secar y el agente secador fluyen de manera continua a través del equipo. Estos pueden fluir en

dirección paralela o en contracorriente en relación al flujo de secado. Existen diseños de secador continuo en sentido horizontal y vertical de acuerdo al diseño del equipo, induciendo al agente secante (aire caliente, vapor saturado, etc.) mediante el uso de aire a velocidad constante para circular a través del secador de manera continua. [10]

**Figura 2. Secado Continúo**



Fuente: FAO, 2012

### 2.2.3.2. Secado discontinuo

El secado discontinuo es el proceso en el cual se introduce un determinado valor de solido húmedo dentro del equipo, cuando este alcance la humedad especificada se detiene el proceso y se retira el sólido secado. Al igual que el secado continuo el flujo de masa y el gas pueden fluir de manera paralela o cruzada, considerando que una de las desventajas de este secado es su mayor costo de mano de obra y requerimiento energético. [10]

### 2.2.4. Tipos de secadoras

Se clasifican de acuerdo al calentamiento de la operación de secado en secadoras de calentamiento directo e indirecto respectivamente, y estos a su vez se subdividen de acuerdo al flujo en continuos y discontinuos: [11]

**Tabla 1. Tipos de secadoras**

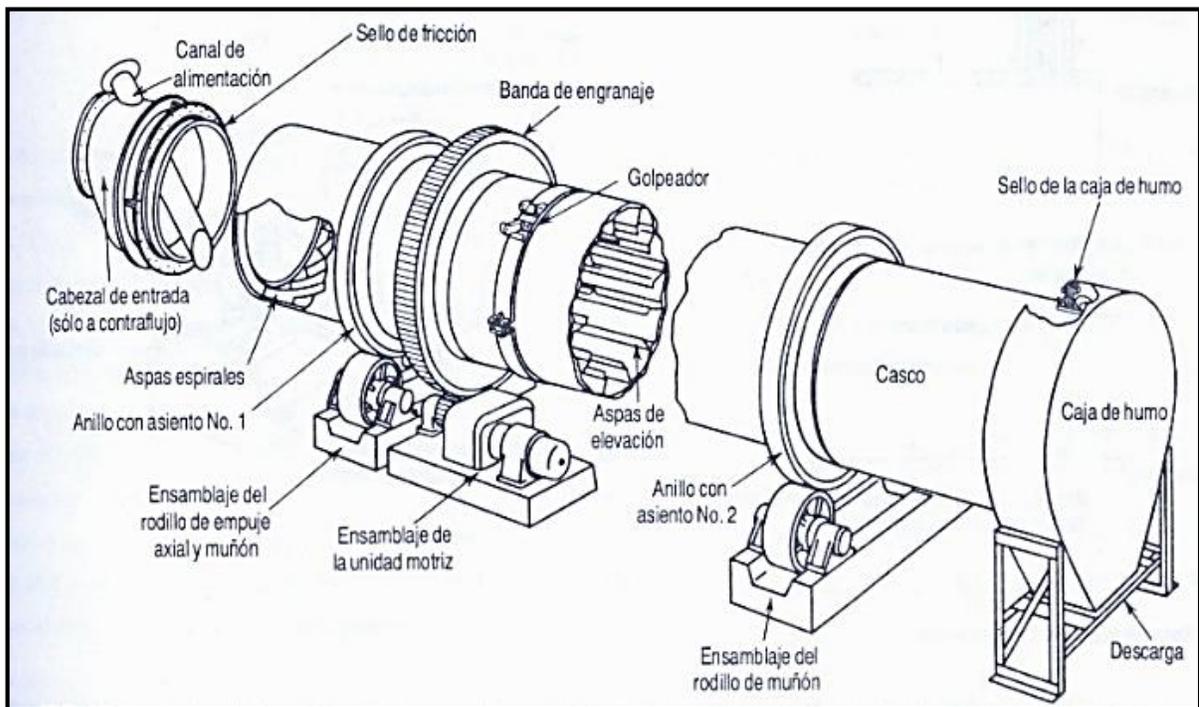
Tipos de secadoras		
De calentamiento directo		De calentamiento indirecto
Discontinuos	Continuos	Discontinuos
Bandeja con corriente de aire	Túnel	Bandeja a vacío
Lecho fluidizado	Neumático	Bandeja a presión atmosférica
Lecho sólido	Ciclónico	Por congelación
	Lecho fluidizado	
	Spray	
	Turbina	
	Rotatorio	

**Fuente:** Mccabe & Smith & Harriot (2002)

### 2.2.5. Secadores rotatorios (Ver figura 3)

El secador rotatorio es un equipo conformado por un cilindro que gira sobre rodamientos específicos para el sistema, con una leve inclinación en relación a la base, la longitud del cilindro oscila entre 4-10 veces el diámetro, que va desde 300 a 3000 mm. Los sólidos ingresan por un extremo y circulan a través del equipo mientras rota a baja velocidad, descargado en el otro extremo del equipo. El secador contiene en su interior aspas que permiten remover los sólidos y facilitar el secado durante el traslado de extremo a extremo a través de su longitud. [12]

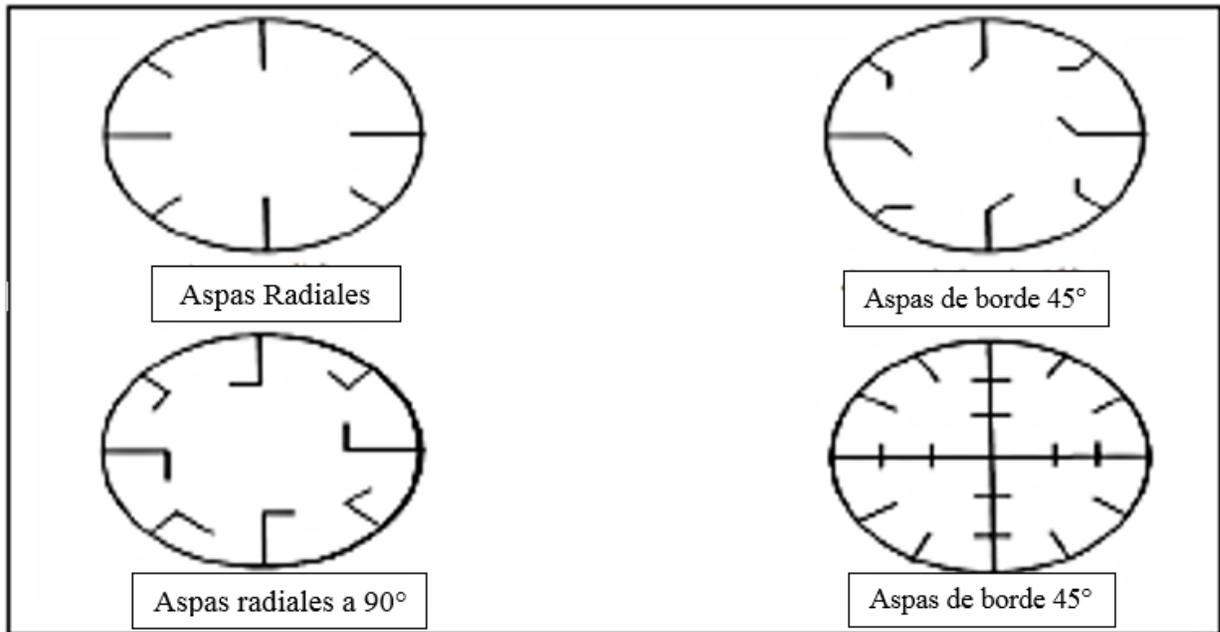
**Figura 3. Secador rotatorio**



**Fuente:** FAO, 2012

Las aspas van alternadas, separadas por una distancia de entre 600 a 2000 mm para asegurar un secado uniforme. Las formas de las aspas dependen del material a secar, en el flujo libre una inclinación de 90°, si es un sólido pegajoso se debe utilizar un aspa plana, pero las más utilizadas y eficientes son las aspas con un reborde a 45° en su extremo. [13]

**Figura 4. Formas de las aspas en secadores rotatorios**



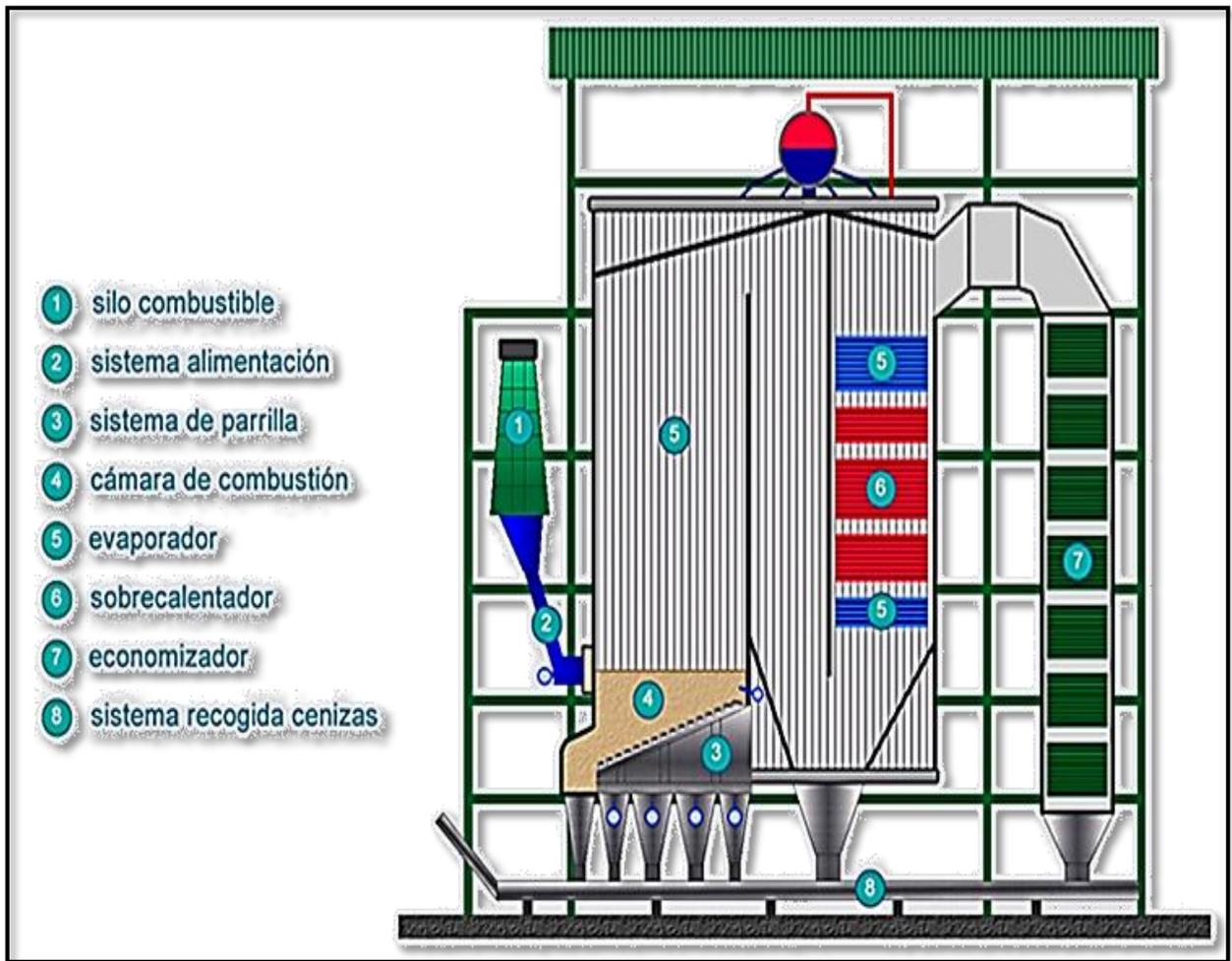
**Fuente:** FAO, 2012

## **2.2.5. Tipos de calderas**

### **Acuatubulares**

Las calderas acuatubulares consisten en una máquina donde el fluido circula por tubos mientras es calentado, y su diseño permite soportar altas presiones en su salida.

**Figura 5. Caldera acuotubular**

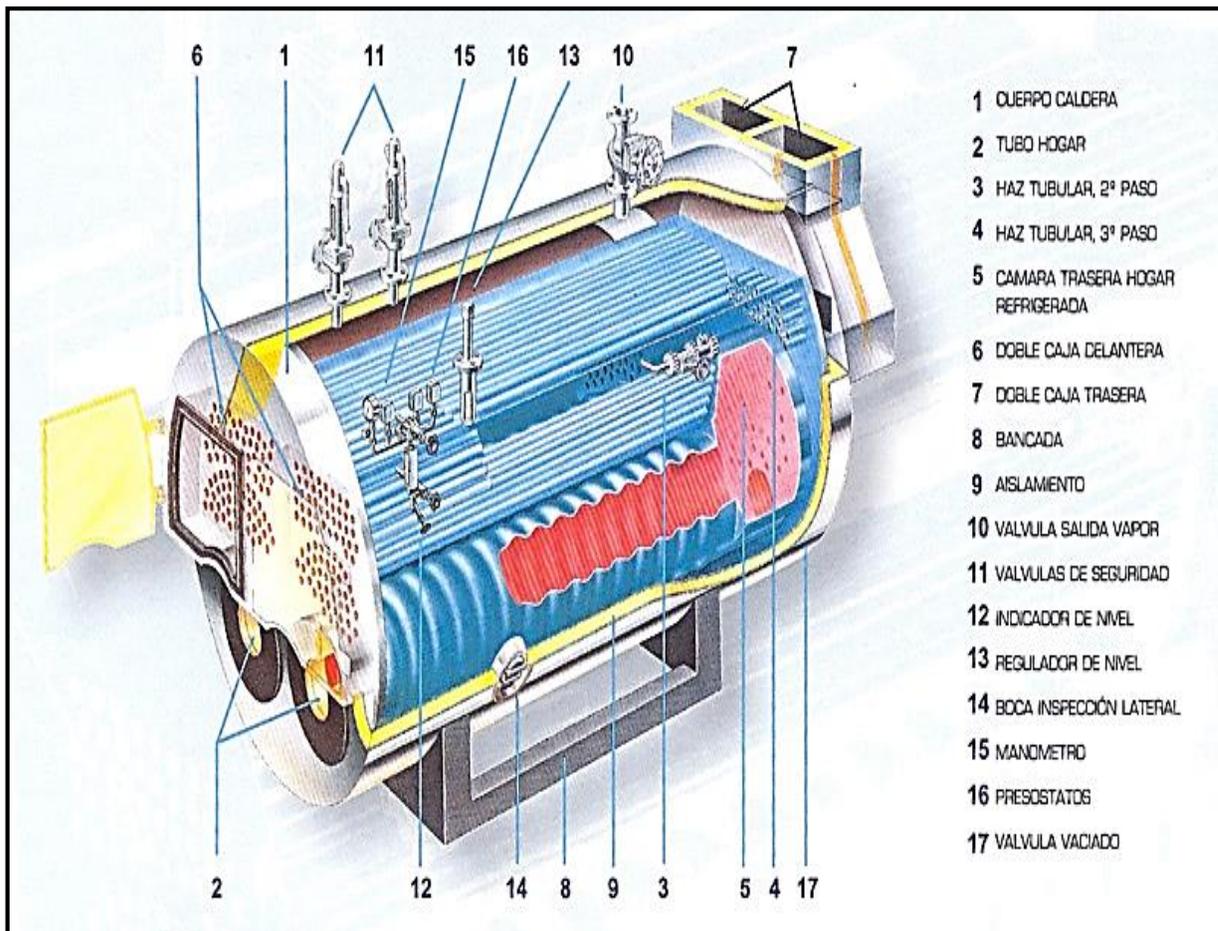


**Fuente:** [www.bsms-energy.es](http://www.bsms-energy.es)

### **Pirotubulares**

En las calderas pirotubulares circulan gases a altas temperaturas a través de tubos dentro del caldero, producto de un proceso de cambio de estado de la materia que pasa el líquido a vapor, en la cual evapora el agua al este entrar en contacto con el tubo a altas temperaturas.

**Figura 6. Caldera Pirotubular**



**Fuente:** [www.sogecal.com](http://www.sogecal.com)

## 2.2.6. Componentes de una caldera

### a. Agua de abastecimiento

Es el agua que ingresa al sistema, sea de una red de agua potable, de un pozo u otra fuente de abastecimiento del líquido, esta debe de pasar por un proceso de tratamiento químico para asegurar la calidad del líquido.

### **b. Agua del condensado**

El condensado representa el valor de la calidad del fluido.

### **c. Vapor seco**

Es el vapor sobresaturado

### **d. Vapor húmedo**

Es el vapor saturado obtenido en el sistema, proveniente de un agua alcalina

### **e. Combustible**

Es el material que suministra al sistema calor, al este ser combustionado, como los derivados del petróleo o los biocombustibles.

### **f. Entre otros.**

## **2.2.7. Humedad en el aire**

Hace referencia a la cantidad de vapor de agua que se encuentra en el aire, que se puede representar por la humedad absoluta o mediante el grado de humedad relativa. Se denomina humedad relativa al contenido de vapor de agua en el aire, este vapor tiene una densidad menor que el aire, por lo cual el aire húmedo es menos denso que el aire seco. El aire al calentarse aún contiene vapor de agua, la media de disminución de temperatura del ambiente es 0,6 °C cada 100 metros de altura.<sup>5</sup>

---

<sup>5</sup> [www.reitec.es/Pdf/agua02.pdf](http://www.reitec.es/Pdf/agua02.pdf)

### **2.2.8. Humedad en los materiales**

Cada material posee un porcentaje de humedad la cual es importante por dos razones:

- A mayor humedad en su composición menor resistencia poseen al paso del calor
- Si el contenido de humedad es grande, afecta la estructura del material, debido al congelamiento interior de su estructura produciendo un efecto de desmenuzamiento de la pieza.

[14]

### **2.2.9. Humedad relativa**

La humedad relativa se la representa en por ciento (%), esta es la relación entre la humedad que contiene una masa de aire y la máxima humedad absoluta que admite antes de condensarse, sometida a la misma temperatura y presión de la atmósfera. [15]

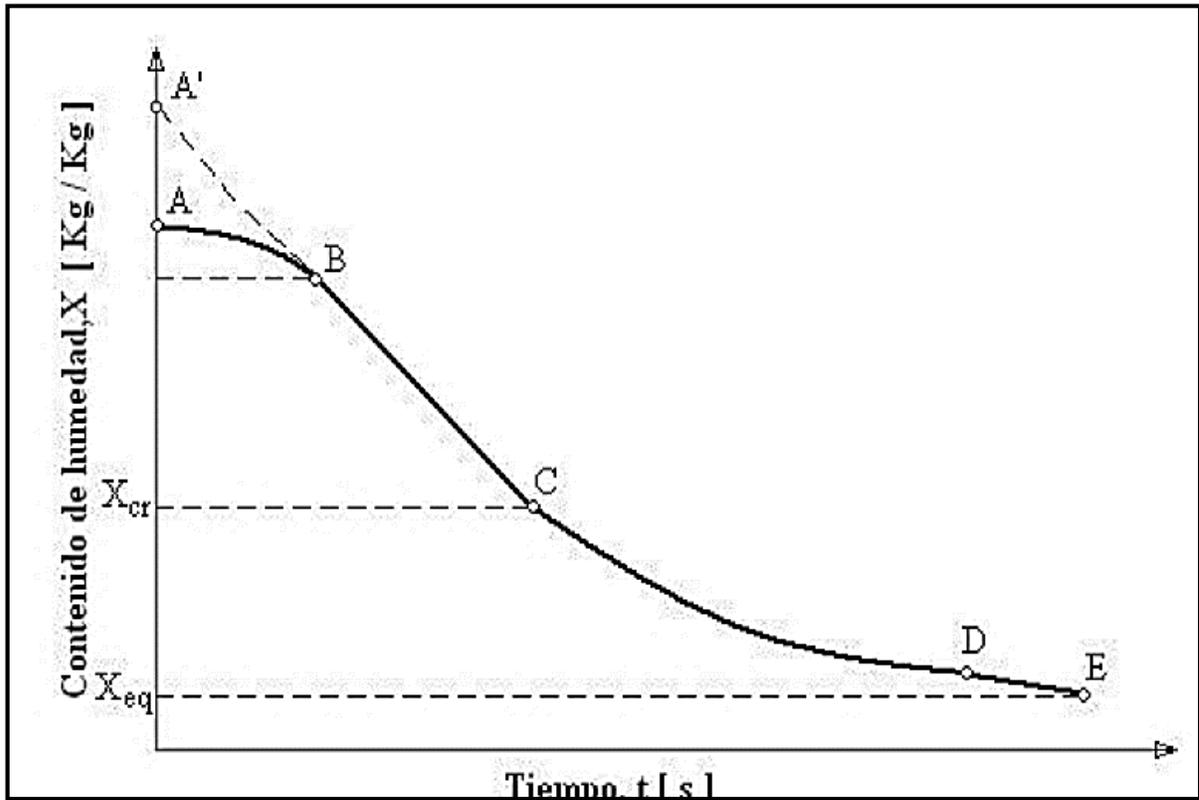
### **2.2.10. Curva de secado**

Representa el secado de los sólidos en la que se relaciona el contenido de humedad con el tiempo, al obtener una gran cantidad de datos al ser graficados representan el contenido de humedad libre en base seca. En la siguiente imagen se aprecia la velocidad de secado en la que se determina los tiempos en diferentes puntos, apreciando un inicio de secado rápido hasta alcanzar un equilibrio en el valor de la humedad.<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-07642011000200007](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642011000200007)

Figura 7. Curva de secado



Fuente: [www.scielo.cl](http://www.scielo.cl)

**Etapa A-B:** Es una etapa de calentamiento (o enfriamiento) inicial del sólido normalmente de poca duración en la cual la evaporación no es significativa por su intensidad ni por su cantidad.

**Etapa B-C:** Es el llamado primer período de secado o período de velocidad de secado constante; donde se evapora la humedad libre o no ligada del material y predominan las condiciones externas. En este período el sólido tiene un comportamiento no higroscópico

**Etapa C-D:** Es el segundo período de secado o período de velocidad de secado decreciente; donde se evapora la humedad ligada del material y predominan las condiciones internas o las características internas y externas simultáneamente.

**Etapa D-E:** En esta etapa la evaporación ocurre desde el interior del sólido y ocurre hasta que no existe secado adicional.<sup>7</sup>

### **2.2.11. Tipos de madera**

Se distinguen dos tipos básicos:

#### **a. Madera natural**

Este tipo de madera procedente de árboles la cual se subdivide en dos tipos, la madera dura y la blanda. La madera dura es la que posee mayor resistencia a las cargas, inclusive al viento, por otra parte, la madera blanda es menos resistente y posee menor dureza con periodo de crecimiento menor a la de mayor dureza.

---

<sup>7</sup> [http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-07642011000200007](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642011000200007)

**Figura 8. Árbol de balsa**



**Fuente:** <https://exwood.wordpress.com/2011/01/03/%C2%BFque-es-la-madera-de-balsa/>

### **b. Madera artificial**

Este tipo de madera es un derivado de otras maderas por medio de un proceso de fabricación mediante láminas o virutas, en procesos como el laminado, aglomerado, contrachapado, entre otras. [16]

**Figura 9. Madera artificial**



**Fuente:** <http://www.mastiposde.com/madera.html>

### **2.2.12. Chips de madera**

El chip también conocido como astillas son trozos de madera de pequeño tamaño, resultado de un proceso de mecanizado, corte o astillado de partes de árboles, que se utilizan para la obtención de celulosa como biomasa. Esta biomasa posee un alto poder calorífico liberado mediante el proceso de combustión.

**Figura 10. El Chips**



**Fuente:** [www.chipsdemadera.com.ar](http://www.chipsdemadera.com.ar)

### **2.2.13. Propiedades físicas y mecánicas del chips de balsa**

Es la madera más liviana en uso comercial, su peso varía de 0,04 a 0,32 g/cm<sup>3</sup> (al 15% contenido de humedad, CH)<sup>8</sup>.

El estudio de esta especie de madera se debe ya que en el complejo industrial 3A Composites (Plantaciones en Balsa Plantabal y Banova Innovaciones en Balsa) trabajan únicamente con este tipo de madera en la fabricación de productos desde bloques, paneles de balsa y el PlyWood de Balsa, único en el mercado nacional como europeo. Productos utilizados para diferentes aplicaciones como sistemas de aislamientos, fuselajes de avión, aspas de aerogeneradores, etc.

---

<sup>8</sup> <http://ecuadorforestal.org/fichas-tecnicas-de-especies-forestales/ficha-tecnica-no-7-balsa/>

**Tabla 2.** Propiedades físicas

<b>Propiedades físicas</b>	
Contracción Radial (%):	2,3
Contracción Tangencial (%):	5,4
Módulo de Elasticidad:	44 x 1000
Módulo de Rotura:	214
E.R. Comprensión Paralela (Kg/cm <sup>2</sup> ):	134
Corte Radial (Kg/cm <sup>2</sup> ):	23

**Fuente:** Vinueza M., 2012

### **2.2.14. Balsa**

Se denomina balsa (*Ochroma pyramidale*), a un tipo de madera natural que se da en variados países sudamericanos, entre los más incidentes el Ecuador debido a las condiciones climáticas y geográficas que dispone el país. Este tipo de madera posee características tales como su densidad de 0.10 a 0.15 g/mL o de 100 kg/m<sup>3</sup> a 150 kg/m<sup>3</sup>, por lo cual es liviana. Crece hasta Alturas de 20 y 25 metros, y de ancho 75 a 90 cm. de diámetro, que puede ser explotada a los 3 o 4 años de crecimiento. Es muy usada para construir tanques, bañeras piezas de automóviles, camiones, etc. [17]

### **2.2.15. Como se produce la Bioenergía**

La bioenergía puede producirse a partir de materiales forestales mediante diversos procesos que van desde la quema de palos y ramas para cocinar y generar calor, a la gasificación de astillas de madera para producir combustible para el transporte. Estos sistemas se diferencian en la eficacia energética, los costes de las instalaciones, las emisiones de carbono y la intensidad de

la mano de obra. Las circunstancias nacionales y locales determinarán en gran medida si cada uno de los sistemas es adecuado desde un punto de vista económico, medioambiental y social. Para lograr los máximos beneficios climáticos de la bioenergía en cuanto a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, la cantidad de dióxido de carbono liberado durante la producción, el procesamiento, el transporte y el uso de biomasa debería ser igual o menor que la cantidad absorbida por la biomasa cosechada.<sup>9</sup>

La madera se ha utilizado desde hace mucho tiempo para cocinar y generar calor. Sin embargo, su eficiencia como fuente de energía varía en función del modo de procesamiento. Por ejemplo, un fuego abierto sólo convierte un 5% del potencial energético de la madera. No obstante, esta cifra aumenta desde un 36%, con las estufas de madera tradicionales, a un 80%, con las estufas modernas de pellets de uso doméstico. Los grandes sistemas diseñados para el uso industrial, como las calderas de recuperación de energía, los sistemas de cogeneración para la producción de calor y energía eléctrica y los de gasificación, también varían mucho en cuanto a la relación coste y eficacia energética.

## **2.2.16. Biocombustibles en la Industria**

### **2.2.16.1. El hombre y la energía**

El ser humano, como todo ser vivo, depende del entorno para obtener energía. Previo al desarrollo industrial, el hombre utilizaba los animales, los vegetales, la fuerza del viento y del agua para obtener la energía necesaria para sus funciones vitales, para producir calor, luz y transporte. Luego, el hombre pasó a utilizar fuentes de energía almacenada en recursos fósiles, primero fue el carbón y posteriormente el petróleo y el gas natural. Actualmente, los combustibles fósiles y la energía nuclear proporcionan cada año alrededor del 90% de la energía que se utiliza en el mundo. Pero las reservas de combustibles fósiles son limitadas y, en mayor o menor grado, son contaminantes. Desde mediados del siglo XX, con el crecimiento de la población, la extensión de la producción industrial y el uso masivo de tecnologías, comenzó a crecer la preocupación por el agotamiento de las reservas de petróleo y el deterioro ambiental.

---

<sup>9</sup> <http://www.greenfacts.org/es/bosques-energia/1-2/3-produccion-bioenergia.htm>

Desde entonces, se impulsó el desarrollo de energías alternativas basadas en recursos naturales renovables y menos contaminantes, como la luz solar, las mareas, el agua, y la bioenergía proveniente de los biocombustibles.

### **2.2.16.2. ¿Qué son los Biocombustibles?**

A diferencia de los combustibles fósiles que provienen de la energía almacenada durante largos períodos en los restos fósiles, los biocombustibles provienen de la biomasa, o materia orgánica que constituye todos los seres vivos del planeta. La biomasa es una fuente de energía renovable, pues su producción es mucho más rápida que la formación de los combustibles fósiles. Entre los cultivos posibles de utilizar para la elaboración de biocombustibles, están los de alto tenor de carbohidratos (caña de azúcar, maíz, mandioca), las oleaginosas (soja, girasol, palmas) y las esencias forestales (eucalipto, pinos). En gran parte del mundo, la leña (o carbón vegetal) que se obtiene a partir de la madera sigue siendo el principal biocombustible empleado para la cocina, la calefacción y la luz. Esta fuente de energía es un recurso renovable si se obtiene a partir de bosques convenientemente reforestados. Asimismo, muchos vehículos utilizan biocombustibles a base de metanol y etanol mezclado con gasolina. Se puede obtener etanol a partir de la caña de azúcar, de la remolacha o el maíz. En algunos países como la India y la China producen biogás a partir de la fermentación natural de desechos orgánicos (excrementos de animales y residuos vegetales).<sup>10</sup>

### **2.2.16.3. La obtención de Biocombustibles**

Según la naturaleza de la biomasa y el tipo de combustible deseado, se pueden utilizar diferentes métodos para obtener biocombustibles: procesos mecánicos (astillado, trituración, compactación), termoquímicos (combustión, pirólisis y gasificación), biotecnológicos (micro bacterianos o enzimáticos) y extractivos. En la siguiente tabla se presenta una síntesis de estos principales procesos de transformación y de los biocombustibles derivados, así como las aplicaciones más frecuentes en cada uno de ellos. Cada uno de estos procesos se inicia con la

---

<sup>10</sup> <http://porquebiotecnologia.com.ar/index.php?action=cuaderno&opt=5&tipo=1&note=58>

biomasa vegetal que se forma a partir del proceso de fotosíntesis, con el aporte de la energía solar que captan y transforman estos organismos.<sup>11</sup>

**Tabla 3.** Proceso de obtención de biocombustibles

Proceso de obtención de biocombustibles						
	Mecánicos	Termoquímicos		Biotecnológicos		Extractivos
Técnicas	Astillado Trituración Compactación	Pirólisis	Gasificación	Fermentación	Digestión anaerobia	Extracción físico-química
Productos	Leñas Astillas Briquetas Aserrín	Carbón Aceites	Gas de gasógeno	Etanol Varios	Biogás CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub>	Aceites Ésteres Hidrocarburos
Aplicaciones	Calefacción Electricidad	Calefacción Electricidad Transporte Industria química	Calefacción Electricidad Transporte Industria química	Transporte Industria química	Calefacción Electricidad	Transporte Industria química

**Fuente.** <http://usuarios.lycos.es/biodieseltr/hobbies4.html>

Cada técnica depende del tipo de biomasa disponible. Si se trata de un material seco puede convertirse en calor directo mediante combustión, el cual producirá vapor para generar energía eléctrica. Si contiene agua, se puede realizar la digestión anaeróbica que lo convertirá en metano y otros gases, o fermentar para producir alcohol, o convertir en hidrocarburo por reducción química. Si se aplican métodos termoquímicos es posible extraer metanol, aceites, gases, etc. El método de la digestión por el cual se obtiene biogás es el más empleado

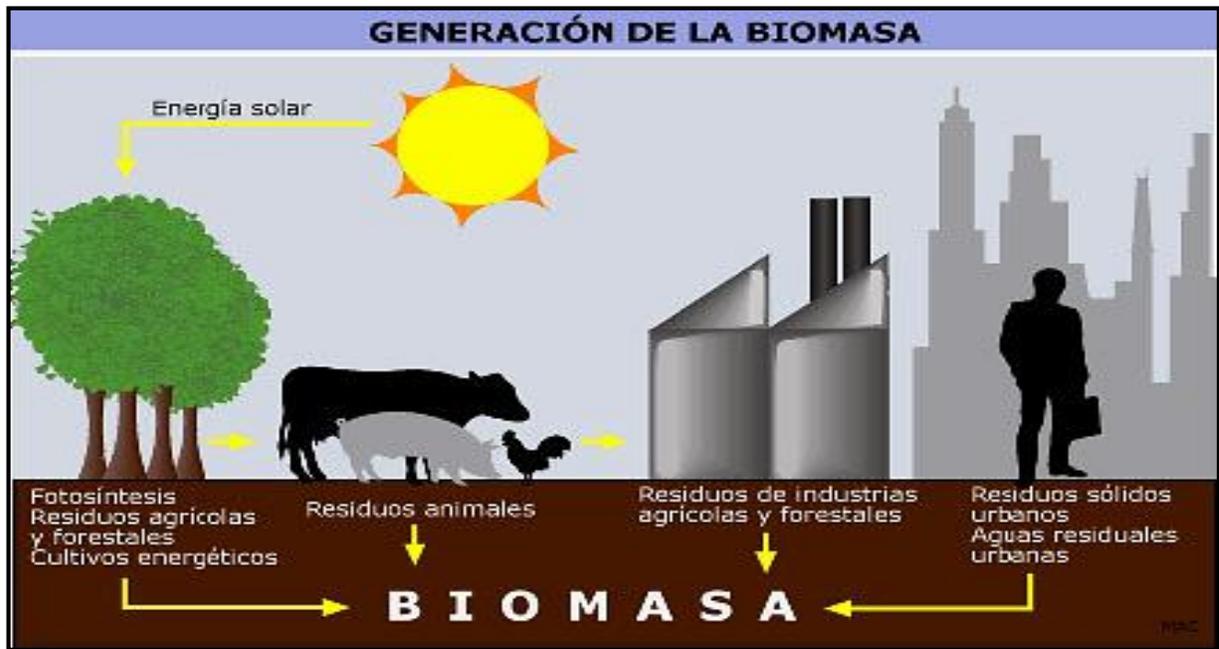
### 2.2.17. Generación de biomasa

La biomasa es una fuente energética renovable, se origina mediante diferentes procesos naturales y a su vez artificiales. Mediante la energía proveniente del sol se aprovecha a través del proceso de fotosíntesis en el cual la clorofila de las plantas aprovecha esta energía para convertir el CO<sub>2</sub> y el agua del suelo en carbohidratos que forman la materia orgánica. A

<sup>11</sup> <http://usuarios.lycos.es/biodieseltr/hobbies4.html>

continuación, se observa la formación de la biomasa a través de los diversos componentes dentro del ciclo de vida del ecosistema.<sup>12</sup>

**Figura 11. Generación de biomasa**



Fuente: OPEXenergy. (2016)

### 2.2.18. Eficiencia energética

La eficiencia energética es el aprovechamiento de la energía suministrada por un sistema, donde su principal objetivo es reducir el consumo energético aprovechando al máximo la generada, de esta manera optimizar los procesos de producción en diferentes campos de la industria.<sup>13</sup>

<sup>12</sup> <http://www.greenfacts.org/es/bosques-energia/1-2/3-produccion-bioenergia.htm>

<sup>13</sup> <https://www.fenercom.com/...Calderas%20industriales/06-Potencial-de-ahorro-energetic>

**Tabla 4. Eficiencia energética de diferentes componentes [18]**

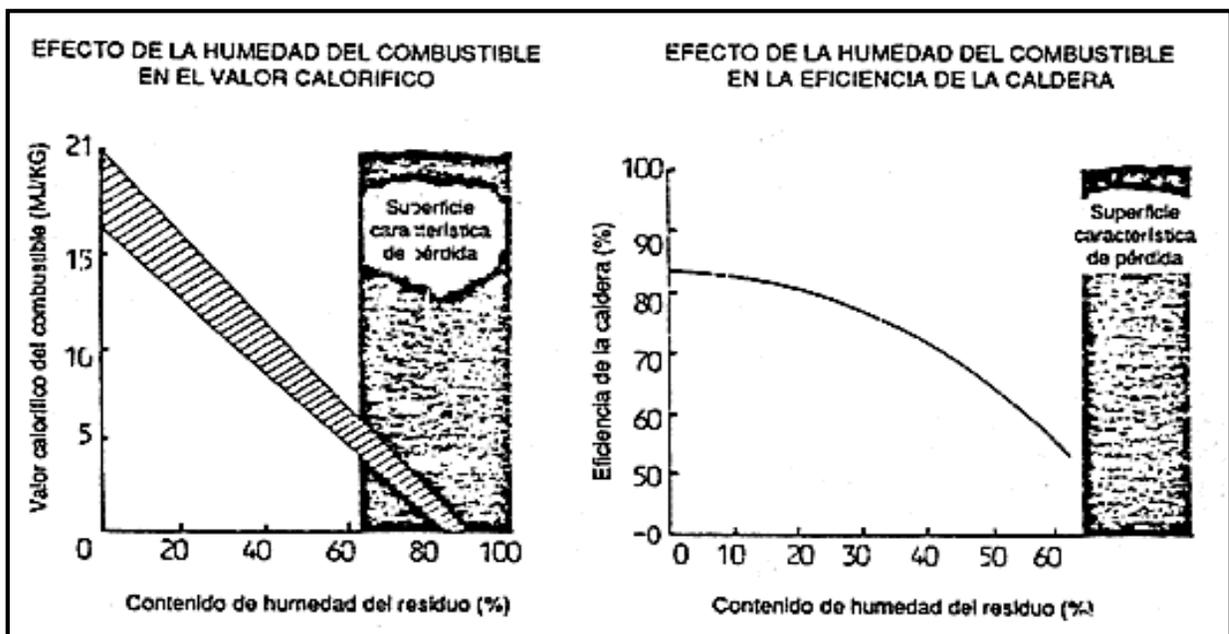
Eficiencia energética	
Kerosene	40-45%
GLP	60-65%
Madera	35-40%
Eléctrica	>70%

**Fuente:** Tata Energy Research Institute, 2005

### 2.2.19. Eficiencia caldero vs humedad en biomasa [3]

Es la relación que existe entre el contenido de humedad del combustible y el valor de poder calorífico generado por el caldero.

**Figura 12. Eficiencia caldero vs humedad en biomasa**



**Fuente:** FAO, 2012

**CAPÍTULO III**  
**METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

### 3.1. Localización

La investigación se localiza en el sector industrial de la Provincia de Los Ríos, en la Ciudad de Quevedo situándose la empresa Banova innovaciones en Balsa, la misma que se encuentra ubicada en el Km 7 Vía Valencia en el Complejo Industrial Plantaciones de Balsa Plantabal del Corporativo 3A Composites.

### 3.2. Información geográfica del cantón Quevedo

Figura 13. Mapa de ubicación del complejo 3A Composites



Fuente: <https://www.google.com.ec/maps/place/Quevedo/>

### 3.3. Tipo de investigación

#### 3.3.1. Investigación explicativa

Se utilizó para explicar los resultados obtenidos en relación al objeto de estudio (el chip de balsa) determinando las variables mecánicas del problema de investigación.

### **3.3.2. Investigación cuantitativa:**

La investigación demanda un análisis cuantitativo en torno a los parámetros que inciden en el diseño, el cual debe ajustarse a la necesidad de la problemática presente y de esta manera se plantea una solución mediante el uso de los datos obtenidos. [19]

## **3.4. Métodos de investigación**

### **3.4.1. Método inductivo**

Mediante el uso del método inductivo se parte desde el análisis interno del problema, en este caso los residuos de madera de balsa (curros, láminas), en donde el material triturado saldrá del proceso productivo con una humedad aproximada del 100%, por consiguiente, este material ingresará al secador rotatorio, en el cual encontrará la temperatura óptima de secado. [19]

### **3.4.2. Método bibliográfico:**

A través del uso de material bibliográfico se obtiene información fidedigna en relación al objeto estudiado, que permite desarrollar el proyecto en torno a datos adquiridos de experimentos, investigaciones, e información del estado del arte en relación al estudio del secado de la biomasa. [19]

## **3.5. Fuentes de investigación**

En el desarrollo investigativo se utiliza las fuentes primarias, como libros y la observación directa, y, como fuentes secundarias artículos de sitios de la internet, entre otros. [19]

## **3.6. Diseño de la investigación**

### **3.6.1. No Experimentales**

Se la utiliza en torno a la manipulación de las variables, que permitan un acercamiento al problema estudiado, esclareciendo el objeto de estudio, para el planteamiento de una solución pertinente al proyecto de investigación. [19]

## **3.7. Instrumentos de investigación**

### **3.7.1. Observación**

La observación permite obtener información real y concisa del entorno de la empresa, a través de la observación directa de manera minuciosa al problema estudiado.

### **3.7.2. Ensayos**

Mediante los ensayos se determina un proceso factible frente al problema investigado, evitando posibles variables que nos proyecten datos erróneos de acuerdo al objetivo planteado, utilizado para determinar el valor de humedad con la que el material (chips) sale de los diferentes procesos de producción de Banova (ver anexo 1).

## **3.8. Recursos humanos y materiales**

### **3.8.1. Recurso humano**

Con el apoyo del personal capacitado en el área de Debobinado de Trozas de balsa y compañeros de trabajo, se obtuvo información clara y precisa respecto al proyecto a plantear como: la producción neta de chips, valores reales del proceso productivo, necesidades del proceso de secado, costos.

### **3.8.2. Recursos materiales**

Para el desarrollo de este trabajo investigativo se utilizaron los siguientes materiales y equipos:

- Internet
- Bibliografía referente a biomasa y secado
- Teléfono móvil
- Impresora
- Balanza
- Medidores de Humedad
- Estufa
- Pesas patrón
- Hojas A4
- Pendrive
- Calculadora
- Anillados

**CAPÍTULO IV**  
**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

## 4.1. Resultados

La finalidad de la investigación es diseñar una máquina que permita reducir el contenido de humedad de los residuos de balsa (chips) antes de ingresar la caldera, y ser utilizados como biomasa a las condiciones adecuadas admitidas por la caldera, ya que al ingresar productos con elevado contenido de humedad en su composición, ocasiona el deterioro de la máquina y reducción de su vida útil e inciden en su rendimiento.

Para efectuar el proceso de diseño se toma en cuenta diversos criterios basados en la investigación de campo, producto de los años de experiencia profesional en el campo de estudio, necesarios para el dimensionamiento del secador de tambor.

### 4.1.1. Análisis preliminar del diseño

Consiste en determinar el valor de humedad en base seca, para estimar el balance de energía de la biomasa, conociendo el valor de humedad de los chips, obtenido mediante un ensayo (ver anexo 1), y el valor de humedad mínimo a obtener para su ingreso a la caldera, detallado en la siguiente tabla:

**Tabla 5. Parámetros de dimensionamiento del secador**

Denominación	Valor	Unidad/observación
%Humedad entrada	36%	Ensayo anexo 1
%Humedad requerida a la salida	12%	Humedad a la salida del proceso de secado (requerimiento de la caldera)
Densidad del chips	125	Kg/m <sup>3</sup>
Producción diaria de chips	120	m <sup>3</sup>
Agente de secado	Aire	Mediante ventilador industrial
Fuente de calor	Vapor	140 °C

**Fuente:** Autor, 2016

### 4.1.2. Flujo másico

Actualmente la empresa Banova Innovaciones en Balsa produce al día un valor de 120 m<sup>3</sup> de chips, producto de los procesos de manufactura que realiza en sus diferentes departamentos, para el cual es necesario determinar el flujo másico por hora del producto a secar.

$$m = d * v \quad \text{Ecuación 1 [20]}$$

Dónde:

$m$  = masa (kg)

$d$  = densidad del chips (kg/m<sup>3</sup>)

$v$  = volumen (m<sup>3</sup>)

$$m = 125 \frac{Kg}{m^3} * 120 m^3$$

$$m = 15000 \text{ kg}/8 \text{ horas}$$

$$m = 1875 \text{ kg}$$

Es decir, por cada hora de trabajo (8 horas diarias) la planta genera un total de 120 m<sup>3</sup> de chips, correspondiente al valor másico de 1875 kg, por consiguiente es el flujo másico de chips a pasar por el secador de tambor rotatorio.

### 4.1.3. Diámetro del secador

El diámetro del secador se dimensiona en función del flujo másico a secar, este es directamente proporcional al volumen del chip. Según Moyers enuncia que la relación entre la longitud y el diámetro debe de ajustarse a la siguiente ecuación: [21].

$$\frac{L}{D} = 4 \text{ a } 15 \quad \text{Ecuación 2}$$

L=Longitud del secador (m)

D= Diámetro del secador (m)

De donde se toma el valor mínimo de relación entre la longitud y el diámetro, siendo  $L= 6 D$ .

Siendo,

$$V = \frac{\pi D^2 L}{4} \quad \text{Ecuación 3}$$

Entonces despejando D de la Ecuación 2 y sustituyendo en la Ecuación 3, se tiene que:

$$V = \frac{\pi \frac{L^2}{36} L}{4}$$

$$144V = \pi L^3$$

$$L = \sqrt[3]{\frac{144V}{\pi}}$$

$$L = \sqrt[3]{\frac{144(15)m^3}{\pi}}$$

$$L = 8,82 \text{ m}$$

La longitud del tambor por la cual circula el chip a ser secado es de 8,82 metros, a través del cual ingresa de forma dosificada la biomasa a ser secada y recorre la longitud establecida para reducir su contenido de humedad en su composición.

Entonces:

$$D = L/6$$

$$D = 8,82/6 \text{ m}$$

$$D = 1,47 \text{ m}$$

Por lo cual el diámetro estimado para el volumen del secado es de 1,47 metros.

**Figura 14. Tambor**



**Fuente:** Autor, 2016

#### **4.1.4. Tiempo del proceso de secado en el tambor**

Es el tiempo que dura el proceso de secado, el cual determina el tiempo de retención de la biomasa mediante circula por el tambor del secador, usualmente se tiene una fracción de abastecimiento del producto a secar de entre el 10-20 %, usado habitualmente en diferentes tipos de secadores. [22]

$$t = \frac{\pi * D^2 * L * f * \rho}{4 * m} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde

$t$  = tiempo de 62roduct62n en el proceso

$f$  = fracción de llenado (15%) [22]

$m$  = flujo másico

$\rho$  = densidad del 62roduct (125 kg/m<sup>3</sup>)

$$t = \frac{\pi * 1,47^2 m^2 * 8,82 m * 15\% * 125 kg/m^3}{4 * 1875 kg/h}$$

$$t = \frac{1122,7kg}{7500 kg/h}$$

$$t = 0,149 h$$

$$t = 8 \text{ min } 56 \text{ sg}$$

De acuerdo al valor obtenido se detalla que el tiempo de retención del producto a secar (chips) es de 8 minutos con 56 segundos

#### 4.1.5. Angulo de inclinación del secador

El ángulo de inclinación es el declive necesario para lograr retener el flujo másico del producto a secar el tiempo estimado y adecuado para establecer el valor de humedad requerido en el proceso.

$$t = \frac{L}{N * D * \tan\theta} \quad \text{Ecuación 5 [23]}$$

Donde,

$\theta$  = ángulo de inclinación

N = número de revoluciones por minuto

De la Ecuación 5 se despeja el ángulo y se obtiene que:

$$\theta = \tan^{-1} \frac{L}{N * D * t}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{8,82 m}{4 * 2\pi \text{ rad/min} * 1,47 m * 0,149 h * 60 \text{ min/h}}$$

$$\theta = \tan^{-1} 0,027$$

$$\theta = 1,53^\circ$$

La inclinación estimada del secador es de 1,53°, necesario para efectuar el proceso de secado a través de su longitud.

#### 4.1.6. Espesor del tambor

Es el espesor de la plancha a utilizar para el tambor, considerando que es donde se efectúa la mayor incidencia de cargas en el proceso de secado, para el cual se utiliza el acero ASTM A36 por su facilidad de adquisición en el mercado, bajo costo, entre otros.

**Tabla 6. Propiedades mecánica Acero ASTM A36 [24]**

<b>Propiedades mecánica Acero ASTM A36</b>	
Resistencia a la fluencia:	250 Mpa
Esfuerzo último:	400 Mpa
Esfuerzo máximo permitido (Diseño)	160 Mpa

**Fuente:** Autor, 2016

El cilindro que forma el tambor soporta una presión en su interior producto del movimiento de la masa a secar, incidiendo su carga sobre las paredes del tambor, se determina mediante la siguiente ecuación:

$$P_r = \frac{P_p}{A_t} \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde,

$P_r$  = presión que ejerce el producto sobre las paredes del tambor

$P_p$  = peso del producto

$A_t$  = Area transversal

Primero se calcula el área transversal del tambor para el cual se emplea la siguiente fórmula:

$$A_t = \pi * R * L$$

Ecuación 7

$$A_t = \pi * 1,47/2 \text{ m} * 8,82 \text{ m}$$

$$A_t = 20,37 \text{ m}^2$$

Entonces,

$$P_r = \frac{1875 \text{ kgf} * 9,8 \frac{\text{N}}{\text{kgf}}}{20,37 \text{ m}^2}$$

$$P_r = 902,06 \text{ Pa}$$

$$P_r = 0,902 * 10^{-3} \text{ MPa}$$

La presión a la cual se encuentra el interior del cilindro es de 0,902 *kPa*, la cual debe resistir la estructura del secador a lo largo del cilindro. Luego se procede a determinar los valores de esfuerzo transversal y longitudinal estimando un espesor de plancha de 2 mm, conociendo que se seleccionó el acero ASTM A36 (ver tabla 5).

$$e = \frac{P_r * R_i}{S * E}$$

Ecuación 8 [25]

Donde,

*e*: Espesor del reactor (mm)

*P<sub>r</sub>*: Presión interna del reactor (bar)

*R<sub>i</sub>*: Radio interno del reactor (mm)

*S*: Esfuerzo máximo permitido (bar) (160MPa) [24]

*E*: Eficiencia de la soldadura (Anexo 2)

$$e = \frac{0,902 * 10^{-3} \text{ MPa} * \frac{1,47}{2} \text{ m}}{160 \text{ MPa} * 0,60}$$

$$e = \frac{6,6297 * 10^{-4} \text{ m}}{96}$$

$$e = 6,906 * 10^{-6} \text{ m}$$

$$e = 0,000007 \text{ mm}$$

Se tiene que el valor estimado de espesor para el tambor haciendo uso de la plancha ASTM A36 es de 0,0007 mm, objeto de una baja presión en su interior producto del flujo del combustible, por lo cual se selecciona una plancha de 2 mm.

#### 4.1.7. Factor de seguridad

$$\sigma_{trans} = \frac{P_r * D}{2 * e} \quad \text{Ecuación 9 [26]}$$

$$\sigma_{long} = \frac{P_r * D}{4 * e} \quad \text{Ecuación 10 [26]}$$

Donde,

$\sigma_{trans}$  = Esfuerzo transversal

$\sigma_{long}$  = Esfuerzo longitudinal

$e$  = Espesor de plancha

Entonces, de la Ecuación 9 y 10 se tiene:

$$\sigma_{trans} = \frac{0,092 * 10^{-3} \text{ MPa} * 1,47 \text{ m}}{2 * 0,002 \text{ m}}$$

$$\sigma_{trans} = 0,034 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{long} = \frac{0,092 * 10^{-3} \text{ MPa} * 1,47 \text{ m}}{4 * 0,002 \text{ m}}$$

$$\sigma_{long} = 0,017 \text{ MPa}$$

Donde,

$$\mu_t = \frac{\text{Resistencia a la fluencia}}{\sigma_{trans}} \quad \text{Ecuación 11 [26]}$$

$$\mu_l = \frac{\text{Esfuerzo último}}{\sigma_{long}} \quad \text{Ecuación 12 [26]}$$

$\mu_t$  = factor de seguridad del esfuerzo transversal

$\mu_l$  = factor de seguridad del esfuerzo longitudinal

Entonces,

$$\mu_t = \frac{250 \text{ MPa}}{0,034 \text{ MPa}}$$

$$\mu_t = 7352,9$$

$$\mu_l = \frac{400 \text{ MPa}}{0,017 \text{ MPa}}$$

$$\mu_l = 23529$$

Se observa que, debido a la baja presión en el tambor del secador, el acero seleccionado a un espesor de 2 mm cumple totalmente el requerimiento mecánico del diseño, para lo cual se tiene un valor del factor de seguridad alto.

#### **4.1.8. Momento de inercia del sistema**

Para la selección del motor es necesario determinar el valor de la sumatoria de inercia a vencer en el sistema, generado por el cilindro que compone el tambor y por el flujo másico dentro del proceso de secado.

$$\sum M = \sum I * \alpha \quad \text{Ecuación 13 [26]}$$

Donde,

$M$ =Momento

$I$ =Inercia del sistema

$\alpha$ =Aceleración angular (2 rad/s<sup>2</sup>) [22]

Entonces, la sumatoria de inercia es igual a:

$$\sum I = I_C + I_{ch} \quad \text{Ecuación 14 [26]}$$

Donde,

$I_C$ = Inercia del cilindro

$I_{ch}$ = Inercia generada por los chips

#### 4.1.8.1. Inercia del cilindro

El cilindro que conforma el tambor posee una geometría circular, para la cual se plantea la siguiente ecuación:

$$I_C = \frac{\pi * L * \rho_{acero} * (D_{ex}^4 - D_i^4)}{64} \quad \text{Ecuación 15 [26]}$$

Donde,

$\rho_{acero}$ = densidad del acero (ASTM A36- 7850 kg/m<sup>3</sup>)

$D_{ex}$ = Diámetro exterior

$D_i$ = Diámetro interior

$$I_C = \frac{\pi * 8,82 \text{ m} * 7850 \text{ kg/m}^3 * (1,472^4 - 1,47^4) \text{ m}^4}{64}$$
$$I_C = \frac{5538,81 \text{ kg m}^2}{64}$$

$$I_C = 86,54 \text{ kg} * m^2$$

El valor de inercia a vencer producto de la estructura que conforma el cilindro es  $98,69 \text{ kg} * m^2$ , lo que representa una carga opuesta al movimiento, incidente en la potencia del motor a seleccionar.

#### 4.1.8.2. Inercia generada por el chips

Conociendo que la fracción de llenado es del 12,5% y su tiempo de secado es de 4 min, indica que el tambor no estará completamente lleno de chips, para el cual por efecto de cálculo se utiliza un 50% de llenado en base al diámetro total del cilindro, considerando que la densidad del chips es de  $125 \text{ kg/m}^3$ .

$$I_C = \frac{\pi * L * \rho_{chips} * (D_{ex}^4 - D_i^4) * 0,5}{64} \quad \text{Ecuación 16 [26]}$$

$$I_C = \frac{\pi * 8,82 \text{ m} * 125 \text{ kg/m}^3 * (1,472^4 - 1,470^4) * 0,5 \text{ m}^4}{64}$$

$$I_C = \frac{44,1 \text{ kg m}^2}{64}$$

$$I_C = 0,689 \text{ kg} * m^2$$

El valor de la inercia producto del chips es de  $0,689 \text{ kg} * m^2$  a través de todo el conducto del tambor.

Entonces la Ecuación 14 es igual a:

$$\sum I = 86,54 \text{ kg} * m^2 + 0,689 \text{ kg} * m^2$$

$$\sum I = 87,23 \text{ kg} * m^2$$

Con el valor de la inercia total generado por el sistema se desarrolla la Ecuación 13:

$$M_T - M_O = \sum I * \alpha$$

Donde,

$M_T$  = Momento de torsión generado por el motor

$M_O$  = Momento Inicial generado por los chips al sistema

$$M_O = m * g * R_i \quad \text{Ecuación 17 [26]}$$

$R_i$  = Radio interior

$g$  = Gravedad (9,8 m/s<sup>2</sup>)

$$M_O = 1875 \text{ kg} * 9,8 \text{ m/s}^2 * \frac{1,47}{2} \text{ m}$$
$$M_O = 13505,63 \text{ Nm}$$

El momento generado por la masa del producto es de 13505,63 Nm lo que permite obtener el valor del momento total generado por el sistema.

$$M_T = \left( \sum I * \alpha \right) + M_O$$

$$M_T = \left( 87,23 \text{ kg} * m^2 * 2 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2} \right) + 13505,63 \text{ Nm}$$

$$M_T = 13680,09 \text{ Nm}$$

Entonces, el momento a vencer generado por la inercia y la masa del sistema, necesario para rotar el secador es de 13680,09 Nm.

#### 4.1.9. Potencia del motor

$$P_{motor} = M_T * n \quad \text{Ecuación 18 [26]}$$

Donde,

$P_{motor}$  = Potencia necesaria del motor

$n$  = revoluciones (4 rpm) [22]

$$P_{motor} = 13680,09 \text{ Nm} * 0,4189 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$P_{motor} = 5730,6 \text{ W}$$

$$P_{motor} = 7,7 \text{ HP}$$

La potencia necesaria del motor es de 7,7 HP, para el cual por factor de seguridad y posibles mejoras o aumento de flujo másico de secado se plantea usar un motor de 10 hp de potencia, con una velocidad de 900 rpm (ver anexo 3).

#### 4.1.10. Diseño de engranajes

La transmisión de potencia y velocidad del motor hacia el sistema se realiza mediante engranajes rectos. Para el diseño de los engranajes se toma en cuenta que se requiere para el sistema una velocidad angular de 4 rpm, y de acuerdo al motor (siemens 900 rpm) seleccionado se debe reducir la velocidad haciendo uso de la relación de transmisión, para el cual se utiliza el software Inventor para dimensionar, diseñar y seleccionar el juego de engranajes a utilizar, como también su análisis mecánico.

- **Resultados del software (INVENTOR- Método de cálculo de resistencia - ISO 6336:1996):**

### a. Parámetros de diseño

Consta de los valores preliminares que permiten dimensionar el juego de engranajes, basados en el generador de diseño del software Inventor Profesional.

**Tabla 7. Parámetros mecánicos**

Parámetros mecánicos		
Coefficiente de engranaje	$i$	16,4286 su
Coefficiente de engranaje deseado	$i_{in}$	16,4325 su
Separación del diámetro	$P$	2,8360 su/in
Ángulo de hélice	$\beta$	0,0000 gr
Ángulo de presión	$\alpha$	14,5000 gr
Distancia al centro	$a_w$	1092,666 mm
Distancia al centro del producto	$a$	1092,666 mm
Corrección unitaria total	$\Sigma x$	0,0000 su
Separación circular	$p$	28,137 mm
Separación circular base	$p_{tb}$	27,241 mm
Ángulo de presión de funcionamiento	$\alpha_w$	14,5000 gr
Coefficiente de contacto	$\varepsilon$	1,7472 su
Desviación límite del paralelismo entre ejes	$f_x$	0,0150 mm
Desviación límite del paralelismo entre ejes	$f_y$	0,0075 mm

**Fuente:** Autor-Inventor

### b. Engranaje

Conociendo el valor de las revoluciones necesarias para el sistema el software determina en función de la relación de transmisión, cargas, y distancia de centros, la dimensión del engranaje que se ajuste a estas variables

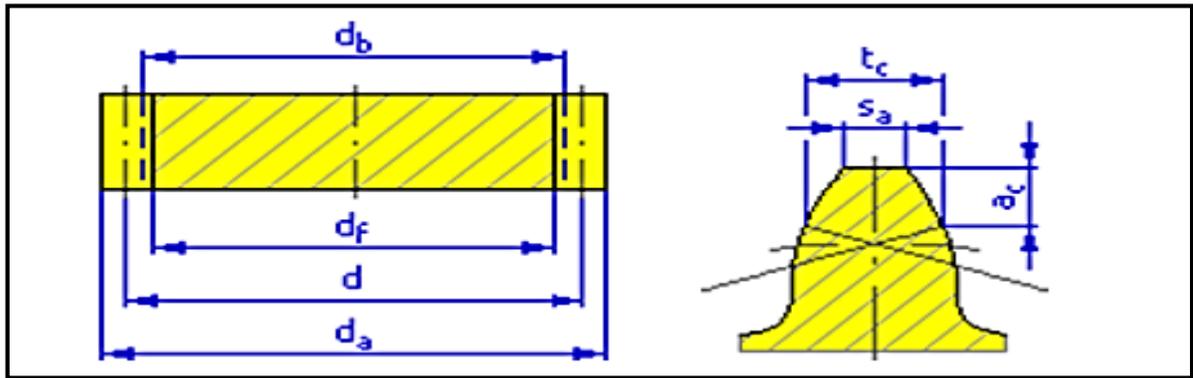
**Tabla 8. Engranajes**

Tipo de modelo		Engranaje 1	Engranaje 2
		Componente	Componente
Número de dientes	Z	14 su	230 su
Corrección unitaria	X	0,5000 su	-0,5000 su
Diámetro de separación	D	125,388 mm	2059,944 mm
Diámetro exterior	$D_a$	152,257 mm	2068,900 mm
Diámetro raíz	$D_f$	111,953 mm	2028,597 mm
Diámetro de círculo base	$D_b$	121,394 mm	1994,330 mm
Diámetro de separación de trabajo	$D_w$	125,388 mm	2059,944 mm
Anchura de cara	B	70,000 mm	70,000 mm
Coefficiente de anchura de cara	$B_f$	0,5583 su	0,0340 su
Altura de cabeza del diente	$a^*$	1,0000 su	1,0000 su
Juego	$c^*$	0,2500 su	0,2500 su
Empalme raíz	$r_f^*$	0,3335 su	0,3335 su
Grosor de diente	S	16,385 mm	11,752 mm
Grosor de diente tangencial	$S_t$	16,385 mm	11,752 mm
Grosor de diente sobre cuerda	$T_c$	15,358 mm	11,015 mm
Altura de cabeza de diente sobre cuerda	$A_c$	11,449 mm	3,054 mm
Cota sobre cuerda	W	43,777 mm	512,770 mm
Dientes de cota sobre cuerda	$Z_w$	2,000 su	19,000 su
Cota sobre (entre) conductores	M	153,643 mm	2076,490 mm
Diámetro de conductor	$d_M$	16,000 mm	16,000 mm
Desviación límite del ángulo de hélice	$F_\beta$	0,0150 mm	0,0190 mm
Oscilación circunferencial radial límite	$F_r$	0,0300 mm	0,0740 mm
Desviación límite de la separación axial	$F_{pt}$	0,0110 mm	0,0170 mm
Desviación límite de la separación básica	$F_{pb}$	0,0110 mm	0,0160 mm
Número virtual de dientes	$Z_v$	14,000 su	230,000 su
Diámetro de separación virtual	$D_n$	125,388 mm	2059,944 mm
Diámetro exterior virtual	$d_{an}$	152,257 mm	2068,900 mm
Diámetro de círculo base virtual	$d_{bn}$	121,394 mm	1994,330 mm
Corrección unitaria sin conicidad	$X_z$	0,8243 su	-2,6545 su
Corrección unitaria sin entalladura	$X_p$	0,5612 su	-6,2094 su
Corrección unitaria con entalladura admitida	$X_d$	0,3945 su	-6,3760 su
Truncamiento cabeza diente	K	0,0000 su	0,0000 su
Unidad de grosor del diente exterior	$S_a$	0,4619 su	1,0499 su
Ángulo de presión en la punta	$A_a$	37,1271 gr	15,4299 gr

**Fuente:** Autor-Inventor

Entre los valores mostrados en la tabla, resaltan el número de dientes de ambos engranajes de 14 y 230 respectivamente.

**Figura 15. Diente del engranaje**



**Fuente:** Autor-Inventor

### c. Cargas

El sistema de secado para rotar a 4 rpm en función de las cargas mecánicas sobre la máquina, necesita de un motor de 10 hp con un reductor de velocidad, lo cual se digita en la plataforma:

**Tabla 9. Cargas sobre el engranaje (Construcción)**

		Engranaje 1	Engranaje 2
Potencia	P	7,500 kW	7,350 kW
Velocidad	N	65,73 rpm	4,00 rpm
Par de torsión	T	1089,605 N m	17542,637 N m
Eficiencia	H	0,980 su	
Fuerza radial	$F_r$	4494,709 N	
Fuerza tangencial	$F_t$	17379,748 N	
Fuerza axial	$F_a$	0,000 N	
Fuerza normal	$F_n$	17951,547 N	
Velocidad circunferencial	V	0,432 mps	
Velocidad de resonancia	$n_{E1}$	13616,531 rpm	

**Fuente:** Autor-Inventor

#### d. Selección de material

De acuerdo a las cargas del sistema se selecciona el material de acero fundido al carbono, material que debe cumplir con los esfuerzos de movimiento del secador rotatorio, el cual se analiza a continuación:

**Tabla 10. Selección de material del juego de engranajes**

Material seleccionado			
Resistencia máxima a tracción	$S_u$	590 MPa	590 MPa
Límite de elasticidad	$S_y$	300 MPa	300 MPa
Módulo de elasticidad	E	206000	206000 MPa
Coefficiente de Poisson	M	0,300 su	0,300 su
Límite de fatiga por plegado	$\sigma_{Flim}$	316,0 MPa	316,0 MPa
Límite de fatiga por contacto	$\sigma_{Hlim}$	1140,0	1140,0 MPa
Dureza de postizo de diente	JHV	210 su	210 su
Dureza de lado del diente	Muy alto	600 su	600 su
Número base de ciclos de carga en	$N_{Flim}$	3000000 su	3000000 su
Número base de ciclos de carga en	$N_{Hlim}$	100000000	100000000 su
Exponente de curva de Wöhler para	$q_F$	6,0 su	6,0 su
Exponente de curva de Wöhler para contacto	$q_H$	10,0 su	10,0 su
Tipo de tratamiento	tipo	2	2 su

**Fuente:** Autor-Inventor

**Tabla 11. Resultados**

Resultados			
Coefficiente de seguridad contra corrosión	$S_H$	1,283 su	1,697 su
Coef. seguridad contra rotura de diente	$S_F$	2,659 su	2,731 su
Seguridad estática en contacto	$S_{Hst}$	2,153 su	2,153 su
Seguridad estática en plegado	$S_{Fst}$	5,930 su	6,132 su

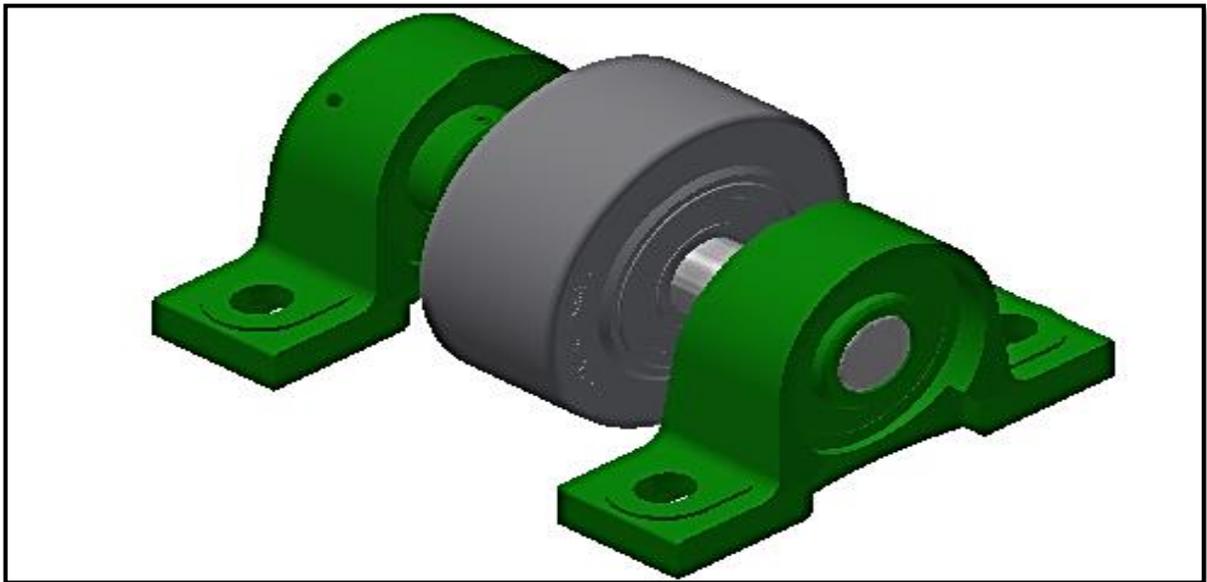
**Fuente:** Autor-Inventor

En la tabla de resultados se observa el valor de los diferentes coeficientes de seguridad, en función de la selección del de material y detalle de las cargas a la cual está sometido el secado de chips, siendo estos mayor a 1, por lo cual su análisis y selección es positivo.

#### **4.1.11. Soporte rotatorio del tambor**

El tambor es un cilindro giratorio que transporta los chips, el cual por su longitud debe disponer de soportes que permitan su rotación, seleccionando dos soportes para cada extremo. Debido a que la longitud del tambor es mayor a los 8 metros se dispone ubicar para el diseño los soportes a 2,5 m de cada extremo, analizado mediante el software MDSolid.

**Figura 16. Soporte rotatorio**



**Fuente:** Autor, 2016

El soporte rotatorio cumple la función de sostener de forma equilibrada el sistema de secado, bajo la carga de la sumatoria de esfuerzos producido por el peso del proceso, para el cual se realiza la siguiente sumatoria con datos obtenidos del software inventor:

$$P_1 = P_e + P_t + P_a + P_m$$

Ecuación 19

Donde,

$P_e$  = Peso del engranaje 2

$P_t$  = Peso del tambor

$P_a$  = Peso de los anillos (2 unidades)

$P_m$  = Peso de la masa

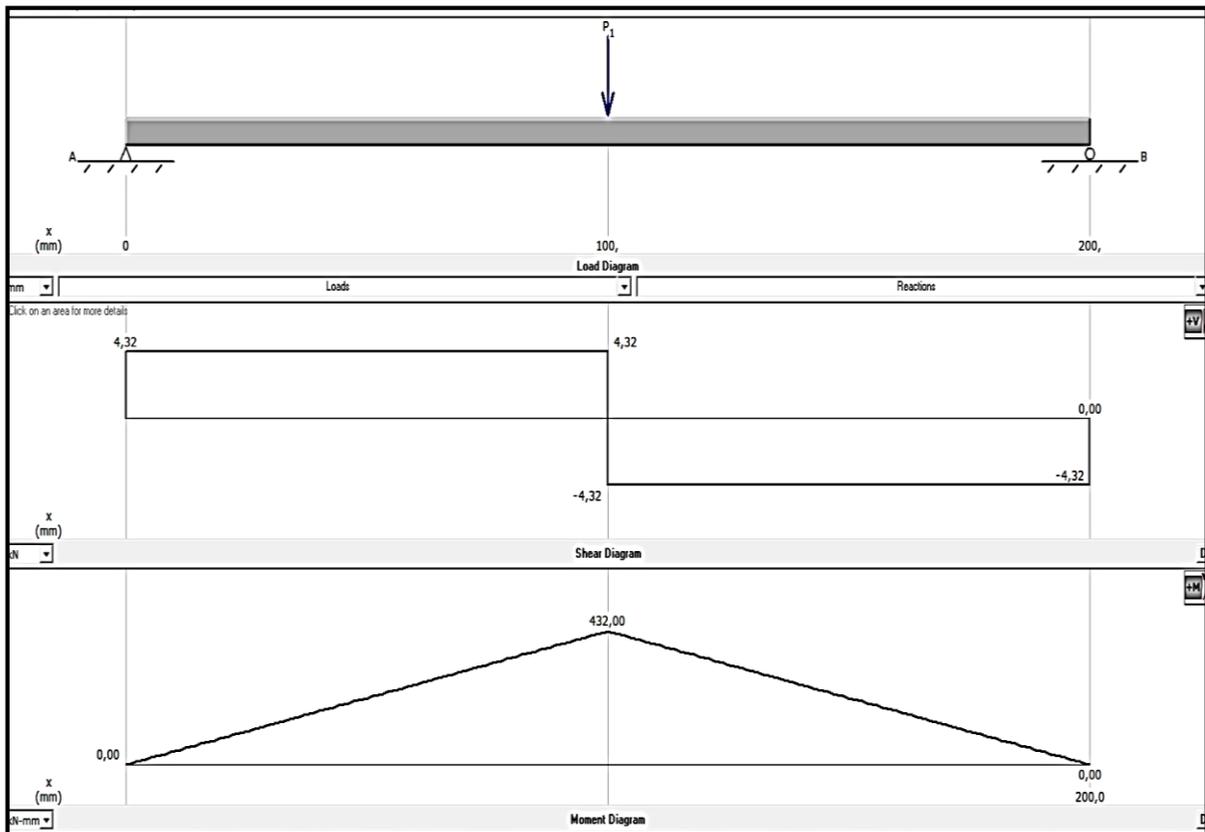
$$P_1 = (646,6 + 653,84 + 58 * 2 \text{ kg} + 1875) \text{ kg} * 9,8 \frac{\text{N}}{\text{kg}}$$

$$\text{Y para cada soporte, se tiene, } P = \frac{32256,1}{4} \text{ N}$$

$$\text{O sea, } P = 8064,02 \text{ N}$$

El sistema posee 4 soportes rotatorios, donde se deduce que cada soporte se ve sometido bajo la acción del 25% de la carga total del sistema, con un valor de 8064,02 N, el soporte rotatorio cuenta con dos chumaceras y un eje que soporta a la rueda que se encuentra en contacto directo con el anillo del tambor rotatorio.

**Figura 17. Diagrama esfuerzo cortante y momento del soporte**



**Fuente:** Autor-MDsolds

En la gráfica se observan los valores máximos de momento y esfuerzo cortante, al cual se encuentra sometido el eje del soporte rotatorio, con el cual se calcula el límite máximo de esfuerzo para seleccionar el material a usar, y determinar su valor de factor de seguridad.

$$\sigma = \frac{M * c}{I} \quad \text{Ecuación 20 [26]}$$

Dónde:

$M$  = Momento máximo flexionante

$C$  = Distancia al eje neutro

$I$  = Momento de inercia del eje

Entonces,

$$I = d^4 * \pi$$
$$\sigma = \frac{M * c}{d^4 * \pi}$$
$$\sigma = \frac{432 \text{ Nm} * 0,015 \text{ m}}{0,03^4 \text{ m}^4 * \pi}$$
$$\sigma = 2546479,1 \text{ Pa}$$
$$\sigma = 2,55 \text{ Mpa}$$

El momento flexionante al cual se encuentra sometido el eje es de 2,55 Mpa, donde se selecciona un acero SAE 1010, que posee un bajo contenido de carbono, para el cual se determine el factor de seguridad, determinado por la siguiente ecuación:

$$\mu = \frac{\sigma}{\sigma_{limite}} \quad \text{Ecuación 21 [26]}$$

Donde,

$\sigma$  = Momento flexionante

$\sigma_{limite}$  = Límite a la tracción

$\mu$  = Factor de seguridad

$$\mu = \frac{290 \text{ Mpa}}{2,55 \text{ Mpa}}$$

$$\mu = 113$$

Se observa un valor de factor de seguridad alto, lo que permite la fiabilidad del uso del acero seleccionado.

#### **4.1.12. Selección de chumaceras**

De acuerdo a las cargas del sistema y al diámetro de 30 mm del eje del soporte rotatorio se selecciona un tipo de chumaceras NTN, por su facilidad de acceso en el mercado, y por su valor de resistencia a las cargas se determina utilizar una chumacera NTN UCP206.

#### **4.1.13. Cantidad de agua a retirar del chips**

Los chips que ingresa al proceso de secado contienen un alto índice de humedad que no admite el caldero para su proceso de generación de vapor, por lo cual surge la necesidad de reducir el porcentaje de humedad, determinado mediante la siguiente ecuación:

$$m_{H_2O} = m_{producto} * \%humedad \quad \text{Ecuación 22}$$

Donde,

$m_{H_2O}$  = masa de agua

$$m_{H_2O} = 1875 \text{ kg} * 36\%$$

$$m_{H_2O} = 675 \text{ kg}$$

Lo que indica que el contenido de humedad en el flujo másico por hora hacia el secador es de 675 kg de agua, el cual debe ser reducido en el proceso.

Se necesita reducir el porcentaje de humedad del 36% al 12% para que sea admisible por la caldera y no atente contra el funcionamiento y vida útil del sistema.

$$m_{H_2O} = 1875 \text{ kg} * 24\%$$

$$m_{H_2O} = 450 \text{ kg}$$

Entonces la cantidad de agua a evaporar en el sistema de secado es de 450 kg.

#### 4.1.14. Calor necesario para evaporar el agua

Es el valor de energía necesaria para evaporar el 24% de humedad del chip durante el proceso de secado, en el tambor rotatorio, en la cual la energía es inducida al sistema mediante la inyección de aire caliente.

$$Q = m_{H_2O} * q_{ev} \quad \text{Ecuación 23 [20]}$$

Donde,

$Q$  = Calor necesario para evaporar el % de agua del sistema

$q_{ev}$  = Factor de calor de evaporación del agua [20]

$$Q = 450 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * \frac{2250 \text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$Q = 1012500 \text{ kJ/h}$$

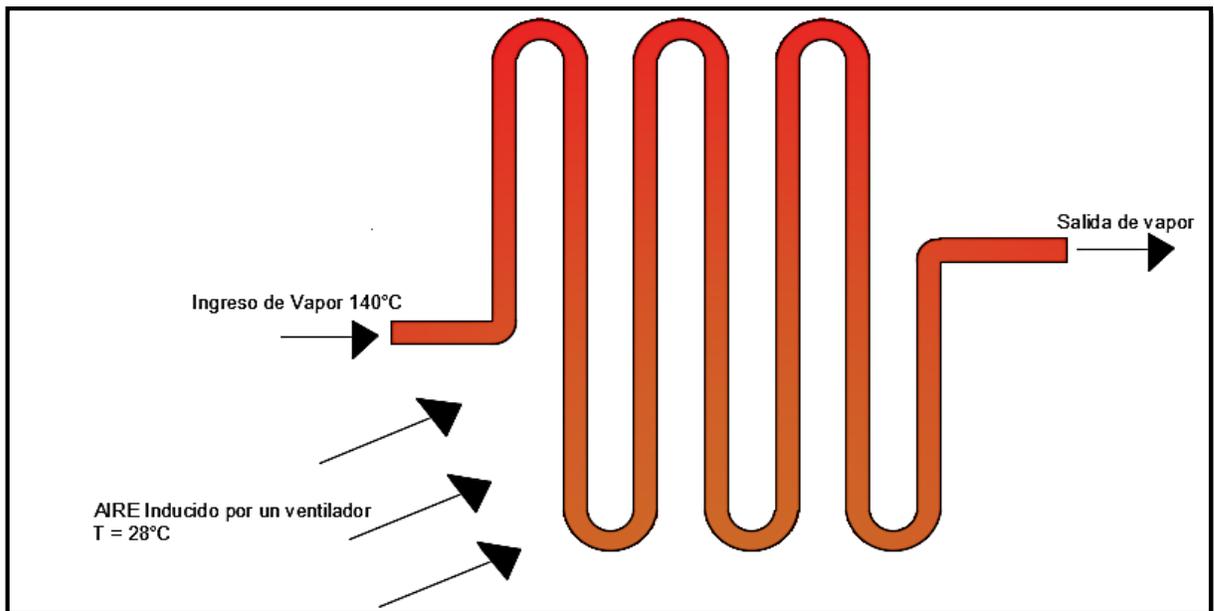
$$Q = 281,25 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}$$

La cantidad de calor necesario a inducir en el sistema es de 281,25 kJ/s, lo que permite retirar los 450 kg de masa de agua.

#### 4.1.15. Temperatura de ingreso del aire

El sistema de secado se realiza mediante la inducción de aire caliente a través de un ventilador industrial que absorbe el calor necesario mediante un serpentín por la cual circula vapor a temperaturas de 140 °C.

Figura 18. Serpentín

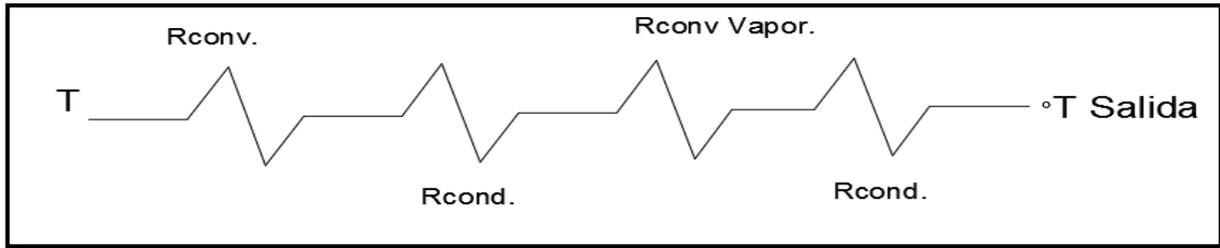


Fuente: Autor-Inventor

$$Q = h * \pi * D^2 (T_{vapor} - T) \quad \text{Ecuación 24 [20]}$$
$$Q = 12000 \frac{W}{m^2 * K} * \pi * (0,051m)^2 (413 - 301)K$$
$$\vec{Q} = 37751,33 W$$

Lo que indica que el sistema si suministra la cantidad de energía necesaria para suministrar calor al sistema de secado, con un valor de 37 751,33 W, propulsado por un ventilador industrial.

**Figura 19. Red Térmica**



**Fuente:** Autor, 2016

Donde,

$R_{Conv}$  = Resistencia de convección del aire a temperatura ambiente

$R_{Cond}$  = Resistencia de conducción de la pared del acero galvanizado

$R_{Conv}$  = Resistencia de convección del vapor

$T$  = Temperatura de ambiente (28°C)

$T_{salida}$  = Temperatura de ingreso al secador

$L$  = Longitud del área transversal del cilindro

$k$  = Coeficiente de conductividad térmica del material (acero galvanizado– 52,5 W/m K)

$r_2$  = Radio externo

$r_1$  = Radio interno

$h$  = Coeficiente de convección (aire: 11 W/m<sup>2</sup> K; vapor 237 W/m<sup>2</sup> K)

$$R_{equivalente} = R_{Conv} + 2 * R_{Cond} + R_{Conv vapor}$$

$$R_{Conv aire} = \frac{1}{2\pi r L h}$$

$$R_{Conv aire} = \frac{1}{2 * \pi * 0,0255m * 0,83 m * 11 \frac{W}{m^2 * K}} = 0,683 \frac{K}{W}$$

$$R_{Conv vapor} = \frac{1}{2\pi r L h}$$

$$R_{Conv gas} = \frac{1}{2 * \pi * 0,0255m * 0,83 m * 237 \frac{W}{m^2 * K}} = 0,0317 \frac{K}{W}$$

$$R_{Cond} = \frac{\ln(r_2 - r_1)}{2\pi L k}$$

$$R_{Cond} = \frac{\ln(0,0255 - 0,0245)}{2 * \pi * 0,83 m * 52,5 \frac{W}{m * K}} = -0,025 \frac{K}{W}$$

Entonces,

$$Q = \frac{T_{\infty 1} - T_{interior}}{R_{equivalente}} \quad \text{Ecuación 25 [20]}$$

$$Q = \frac{T_{\infty 1} - T_{interior}}{R_{Conv} + 2 * R_{Cond} + R_{Conv vapor}}$$

$$Q = \frac{(413 - 301)K}{(0,683 - 2 * 0,025 + 0,0317) \frac{K}{W}}$$

$$Q = 168,5 W$$

#### 4.1.16. Velocidad necesaria de ventilación

El sistema de secado cuenta con un ventilador industrial, para inducir el calor al sistema de secado, cuyo flujo se calcula a continuación:

$$m_a = \frac{Q}{(h_2 - h_1)}$$

Ecuación 26

$m_a$  = Flujo másico de aire

$h_2$  = Valor de entalpía de aire caliente

$h_1$  = Valor de entalpía del aire a temperatura ambiente

$$m_a = \frac{281,25 \text{ kJ/s}}{(121,22 - 77,41) \text{ kJ/kg}}$$

$$m_a = 6,42 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

El flujo másico de aire necesario para evaporar la humedad del sistema es de 6,42 kg/s de aire inducido por el ventilador.

Donde,

$$Q_a = \frac{m_a}{\rho}$$

Ecuación 27 [20]

$Q_a$  = velocidad del aire

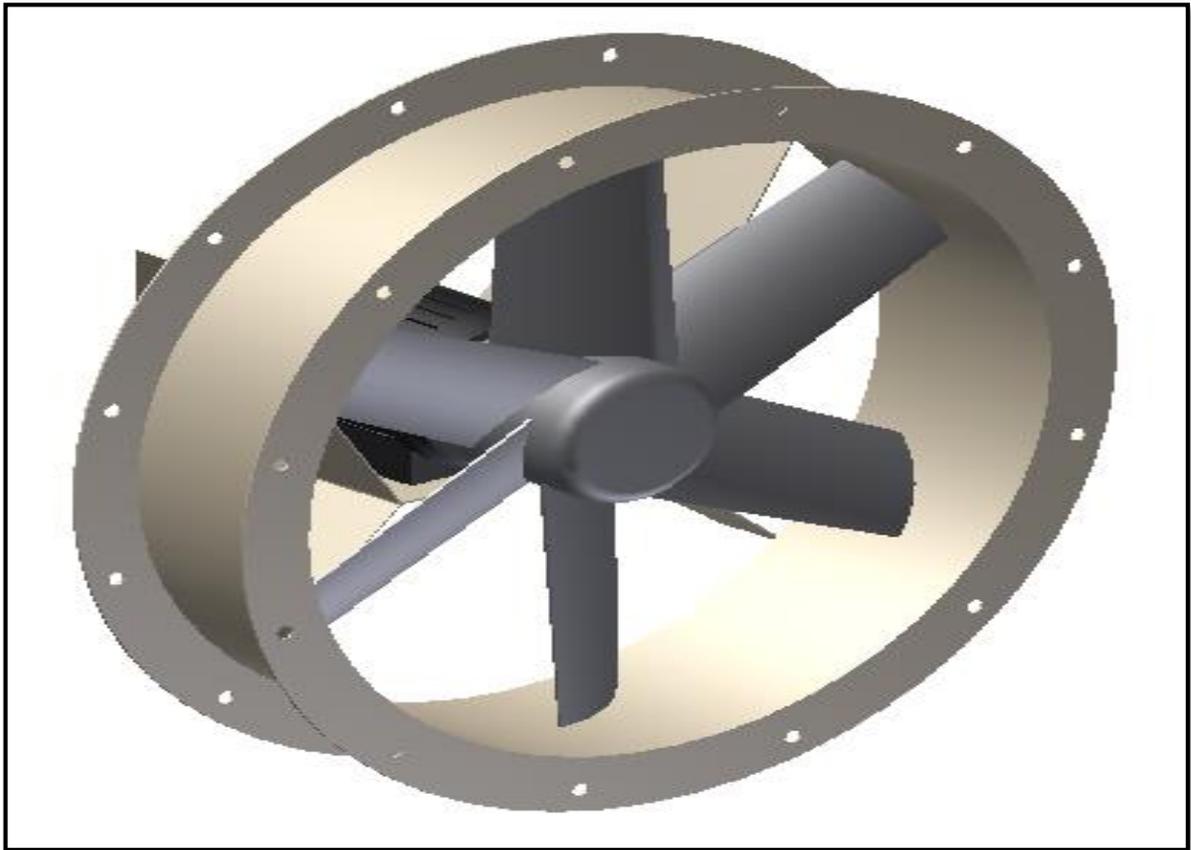
$\rho$  = Densidad del aire

$$Q_a = \frac{6,42 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{1 \text{ kg/m}^3}$$

$$Q_a = 6,42 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Se selecciona un ventilador tipo industrial HFT con capacidad de generar un caudal máximo de  $26000 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$ , lo que es igual a  $7,2 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ .

**Figura 20. Ventilador**



**Fuente:** <http://www.tracepartsonline.net/>

#### **4.1.17. Temperatura de entrada del vapor**

Es la temperatura que adquiere el aire al pasar por el serpentín con una velocidad de  $6,42 \frac{m^3}{s}$ , conociendo que el vapor generado por la caldera es de  $140 \text{ }^\circ\text{C}$  a una presión de 12 bar.

$$Q = c_p * m_a(T_{vapor} - T_{en}) \quad \text{Ecuación 28 [20]}$$

$c_p$  = poder calorífico del vapor (1,84 kJ/kg)

$T_{en}$  = Temperatura de entrada

$$T_{en} = -\frac{Q}{(c_p * m_a)} + T_{vapor}$$

$$T_{en} = -\frac{37,75 \text{ kJ} + 0,1685 \text{ kJ}}{\left(1,84 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} * 6,42 \frac{\text{kg}}{\text{s}}\right)} + 413 \text{ K}$$

$$T_{en} = 409,8 \text{ K}$$

$$T_{en} = 136,8 \text{ }^\circ\text{C}$$

La temperatura con la que ingresa el aire caliente al sistema de secado es de 136,8 °C

Por lo cual la temperatura al final del proceso es de:

$$T_{en} = -\frac{(37,75 + 0,1685 + 281,25) \text{ kJ}}{\left(1,84 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} * 6,42 \frac{\text{kg}}{\text{s}}\right)} + 413 \text{ K}$$

$$T_{en} = 385,64 \text{ K}$$

$$T_{en} = 112,6 \text{ }^\circ\text{C}$$

Debido al proceso de secado y reducción de humedad del 36% al 12% la temperatura final con la que el aire abandona el sistema es de 112,6 °C, permitiendo extraer la humedad de los chips y cediendo calor al proceso.

#### **4.1.18. Criterios de seguridad**

En función a la operación de secado que realiza la máquina se denotan tres riesgos principales, los de origen físico, químico y biológico, los cuales deben ser reducidos haciendo uso del equipo de protección personal.

#### **4.1.18.1. Riesgos**

##### **Riesgos físicos**

- Temperaturas elevadas.
- Ruido producido por el movimiento.
- Contacto eléctrico.
- Inclinación de la máquina.
- Atrapamiento
- Corte

##### **Riesgos químicos**

- Corrosión
- Humedad
- Gases
- Vapor
- Nube de polvo

##### **Riesgos biológicos**

- Bacterias
- Bio-corrosión

#### **4.1.18.2. Equipo de protección personal (EPP)**

De acuerdo a las normas OSHA el equipo de protección personal a usar es el siguiente:

- Casco
- Tapones auditivos
- Mascarillas y equipo de protección respiratoria
- Guates resistentes a elevadas temperaturas
- Delantal
- Calzado de seguridad

#### 4.1.19. Control de operación del secador de tambor

Para salvaguardar a las personas que estarán trabajando en el área de la secadora y la vida útil de toda máquina industrial, debe de ajustarse a un control de operación o check list, en función al trabajo que esta realiza, para lo cual se plantea el siguiente control operacional al que debe estar ajustado el secador rotatorio. El control operacional de la maquina consiste en la inspección diaria, puesta en marcha y control de todos los equipos que hacen el conjunto del secador rotativo, el operador debe estar consciente y capacitado con respecto al funcionamiento del secador.

**Tabla 12. Control de operación del secador**

Simbología		<b>Control de Operación para uso continuo del secador de tambor rotatorio</b>
L	Limpiar	
C	Cambiar	
Lu	Lubricar	
I	Inspeccionar	
R	Reajustar	
Elemento	Actividad	Observación
<b>Control Diario</b>		
Tambor	L	Limpeza, realizarla luego de culminar la producción diaria
Estructura	I-L	Retirar residuos de chips acumulados
Motor	I	Inspeccionar posibles ruidos extraños
Ventilador	I -L	Limpiar hélice
Tubería de vapor	I	Asegurar cierre de válvula de paso de vapor
<b>Control Mensual</b>		
Estructura	L-R	Reajustar posibles daños
Base del motor	R-I-L	Reajustar y controlar pernos de sujeción
Tubería de vapor	L-I	Inspeccionar posibles fugas
Tambor	L-I	Retirar residuos acumulados
Anillos	Lu-I	Lubricar contacto con rueda de soporte
Chumaceras	Lu-I	Lubricar rodamientos e inspeccionar
<b>Control Anual</b>		
Estructura	I-R-L	Inspeccionar unión por soldadura
Pernos	C-R	Cambiar si es necesario pernos de sujeción
Motor	I-C	Reajustar, revisar aceite del motor
Tubería de vapor	I-R-L	Limpiar tubería
Chumaceras	L-I-C	Cambiar si es necesario

**Fuente:** Autor, 2016

#### 4.1.20. Análisis económico

Se detalla los costos de materia prima, mano de obra y demás costos necesarios para la fabricación del secador rotatorio. De esta manera se determina el costo total del proyecto para la rentabilidad en su aplicabilidad en la empresa Banova Innovaciones en Balsa.

**Tabla 13. Análisis económico**

<b>Materia prima</b>				
<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Detalle</b>	<b>Costo U.</b>	<b>Costo Total</b>
14	Unidades	Lámina de tool Acero ASTM A36 1055X2400 2 mm	56,14	785,89
5	Unidades	Tubo circular 2" galvanizado	16,7	83,5
8	Unidades	Chumacera NTN UCP206	25,17	201,36
1	Unidad	Eje	550	550
1	Unidad	Ventilador HFT 7,2 m <sup>3</sup> /s	476,99	476,99
2	Unidades	Platina e = 8mm	14,6	29,2
4	Unidades	Rueda svs de bolas 127/30k	135	540
28	Unidades	Penos y tuercas de anclaje	0,85	23,8
1	Unidades	Motor y motorreductor 10 hp	2253	2253
1	Unidades	Engranaje	270	270
1	Unidades	Piñón	154	154
			<b>Subtotal</b>	<b>5367,74</b>
<b>Mano de obra</b>				
<b>Cantidad</b>	<b>Sueldo 20 días</b>	<b>Detalle</b>	<b>Días de labor</b>	<b>Costo Total</b>
2	500	Soldador	25	625
1	800	Tornero	11	440
3	370	Ayudante	25	462,5
			<b>Subtotal</b>	<b>1527,5</b>
<b>Costos indirectos de fabricación</b>				
<b>Horas</b>	<b>Detalle</b>	<b>Costo /hora</b>	<b>Total</b>	
55	Ingeniería y Diseño de equipo	16	880	
			<b>Subtotal</b>	<b>880</b>
<b>Costo Total</b>				
Subtotal (Materia prima + Mano de obra + C.I.F.)				7775,24
Otros (provisional)			5%	388,76
IVA			14%	1142,97
<b>TOTAL (Subtotal + Otros + IVA)</b>				<b>\$9.306,97</b>

Fuente: Autor, 2016

#### **4.1.21. Análisis del proyecto**

Actualmente la empresa Banova Innovaciones en Balsa, enfrenta un problema en cuestión de eficiencia energética y vida útil de la caldera de la planta, motivo del uso del chips con alto contenido de humedad obtenido de los diferentes procesos de producción, misma que incide en la reducción de la vida útil de la máquina y paros continuos en la producción de vapor, por lo cual la rentabilidad del trabajo de investigación radica en suprimir los paros innecesarios en la producción, conservar la máquina, siguiendo las instrucciones de diseño de la caldera, como lo es el ingreso de biomasa con un porcentaje de humedad menor al 15%, para el cual por efecto de cálculo se utiliza al 12%.

El valor de US\$ 9.306,97 representa una inversión con grandes resultados, ya que la producción de vapor a condiciones establecidas permite que la calidad del producto a secar con el vapor generado en la caldera disponga de las condiciones, características y parámetros que establecen las normas internacionales de calidad respecto a los productos de Balsa.

Adicional, la empresa Banova paga semanalmente un valor de \$650 dólares, rubro perteneciente al pago de viajes continuos de camiones que se encargan de retirar el chips húmedo de la planta, ya que debido a su alto índice de humedad solo se utiliza el de menor índice como biocombustible, y lo demás resulta ser un desperdicio de la planta, que significa un costo apreciable en cuanto a su retiro diario producto de la gran cantidad de chips generado, significando esto un ahorro, al plantear la reutilización de este desecho.

Por lo cual el ahorro anual es:

$US\$ 650 * 52 \text{ semanas (al año)} = US\$ 33.800 \text{ (ahorro anual)}$

Por lo que, al implementar el proyecto en la planta, para reutilizar los residuos de chips generados en el proceso de producción induce al ahorro anual de un valor de \$33.800 dólares, producto de suprimir el pago por viajes de camiones para retirar todos los chips generados diariamente que se sitúan en las tolvas de acumulación de la planta.

#### 4.1.22. Flujo de efectivos

Es el estado económico-producto de los ingresos y egresos de efectivo generados por la implementación del secador rotatorio, mediante el cual se detalla los valores del TIR, VAN y la relación costo beneficio, cuyos índices al ser positivos dan como resultados la viabilidad del proyecto de investigación:

Los valores que se utilizan en el flujo de efectivo se determinan en base al **TMAR** (tasa mínima atractiva de retorno), utilizando un porcentaje del 5 % en el ahorro anual. Este valor se utiliza para obtener rendimientos adicionales al ahorro y percepción de riesgo del proyecto. Puede variar respecto a las necesidades de corto y largo plazo.<sup>14</sup>

El TMAR varía con respecto al tiempo, el aumento de egresos, innovaciones y otras oportunidades de inversión en el proyecto.

**Tabla 14. Flujo de efectivos**

<b>FLUJO DE EFECTIVOS</b>						
Detalle	PERIODO EN AÑOS					
	0	1	2	3	4	5
<b>Ingreso</b>						
Ahorro		33800	35490	37265	39128	41084
<b>Egresos</b>						
Consumo eléctrico		232,46	232,46	232,46	232,46	232,46
Operador		4392,00	4392,00	4392,00	4392,00	4392,00
Mantenimiento de la máquina		250	250	250	250	250
Depreciación (10 años)		817,05	817,05	817,05	817,05	817,05
Inversión inicial	-9306,97					
<b>TOTAL</b>	<b>-9306,97</b>	<b>28108,49</b>	<b>29798,49</b>	<b>31572,99</b>	<b>33436,22</b>	<b>35392,60</b>

<sup>14</sup> <http://ingenieria economica. editorial mc – Graw Hill. Tercera Edición. 1994.>

## Valor Actual Neto (VAN)

Permite determinar el valor presente en un definido número de valores realizados en el futuro, establecidos a 5 años (tiempo en recuperar a corto plazo). El valor del interés en función del Tmar que oscila por el 10,5 %. Se define como una tasa de seguridad en base a la inversión del proyecto.

$$VAN = -I + \frac{FNE}{(1+i)^n} + \frac{FNE}{(1+i)^{n-1}} + \frac{FNE}{(1+i)^{n-2}} + \frac{FNE}{(1+i)^{n-3}} \quad \text{Ecuación 29}$$

$$VAN = -9306,97 + \frac{28108,49}{(1+0,105)^1} + \frac{29798,49}{(1+0,105)^2} + \frac{31572,99}{(1+0,105)^3} + \frac{33436,22}{(1+0,105)^4} + \frac{35392,60}{(1+0,105)^5}$$

$$VAN = -9306,97 + 25437,55 + 24404,49 + 23400,7 + 22426,84 + 21483,3$$

$$VAN = 107845,91$$

## Tasa Interna de Retorno (TIR)

Es la tasa interna de retorno a la cual se recupera el valor invertido en la implementación de la máquina.

$$VAN = -I + \frac{FNE}{(1+i)^n} + \frac{FNE}{(1+i)^{n-1}} + \frac{FNE}{(1+i)^{n-2}} + \frac{FNE}{(1+i)^{n-3}}$$

$$0 = -9306,97 + \frac{28108,49}{(1+3,0765)^1} + \frac{29798,49}{(1+3,0765)^2} + \frac{31572,99}{(1+3,0765)^3} + \frac{33436,22}{(1+3,0765)^4} + \frac{35392,60}{(1+3,0765)^5}$$

$$0 = -9306,97 + 6895,23 + 1793,15 + 466,07 + 121,08 + 31,44$$

$$0 = 0$$

Cuesto indica que el valor del TIR es de 307,65%, lo que significa que el proyecto es rentable siendo mayor a la tasa interna de interés del 10,5%

## Relación Beneficio Costo (B/C)

### VAN DE INGRESOS

$$VAN = \frac{FNE}{(1+i)^n} + \frac{FNE}{(1+i)^{n-1}} + \frac{FNE}{(1+i)^{n-2}} + \frac{FNE}{(1+i)^{n-3}}$$

$$VAN = \frac{33800}{(1+0,105)^1} + \frac{35490}{(1+0,105)^2} + \frac{37265}{(1+0,105)^3} + \frac{39128}{(1+0,105)^4} + \frac{41084}{(1+0,105)^5}$$

$$VAN = 30588,24 + 29065,74 + 27619,03 + 26244,33 + 24938,05$$

$$VAN = 138455,39$$

### VAN DE EGRESOS

$$VAN = -I + \frac{FNE}{(1+i)^n} + \frac{FNE}{(1+i)^{n-1}} + \frac{FNE}{(1+i)^{n-2}} + \frac{FNE}{(1+i)^{n-3}}$$

$$VAN(e) = -9306,97 \frac{6341,51}{(1+0,105)^1} + \frac{6341,51}{(1+0,105)^2} + \frac{6341,51}{(1+0,105)^3} + \frac{6341,51}{(1+0,105)^4} + \frac{6341,51}{(1+0,105)^5}$$

$$VAN(e) = -9306,97 + 6341,51 + 6341,51 + 6341,51 + 6341,51 + 6341,51$$

$$VAN(e) = 14428,4$$

$$B/C = \frac{VAN \text{ INGRESOS} - VAN \text{ EGRESOS}}{INVERSIÓN}$$

Ecuación 30

$$B/C = \frac{138455,39 - 14428,4}{9306,97}$$

$$\frac{B}{C} = 13,33$$

La relación B/C del proyecto de investigación es de **US\$ 13,33** lo que indica que por cada US\$ 1 (un dólar) de inversión se obtendrá US\$ 12,33 dólares de ganancia.

**CAPÍTULO V**  
**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 6.1. Conclusiones

De acuerdo al volumen de producción de chips en la planta, el flujo másico calculado en el diseño del secador de tambor posee el 1 875 kg/h, para el cual se seleccionó como material de tambor el acero ASTM A36, que soporta una presión de flujo másico igual 0,902 kPa y elevadas temperaturas hasta de 137 °C, logrando reducir un 24% de humedad de los chips. Con el aprovechamiento del vapor como energía a utilizar en el proceso de secado, no se necesita de energía adicional para obtener resultados beneficiosos en la reducción de humedad del chip.

El principio de funcionamiento del secador es inducir calor mientras el tambor rota sobre su eje central, para lo cual se selecciona un motor de 10 hp (potencia comercial), donde la simulación en el software de diseño Inventor permite obtener con precisión el juego de engranajes necesarios para el sistema, con un valor z (dientes) correspondiente a 14 para el piñón, y 230 para el engrane, respectivamente.

La construcción del secador rotatorio incluye el proceso de diseño, mecanizado y ensamblaje, para el cual se estima un costo de construcción de US\$ 9 092,15, consiguiendo que la materia prima (chips) ingrese a la caldera en las condiciones de operación adecuada, permitiendo así un producto final en el proceso de secado de la planta con los estándares de calidad sugeridos. De esta manera la empresa Banova obtendría buenos resultados en cuanto a la simplificación del costo por el desalojo de los residuos de madera fuera del complejo y aprovechamiento del mismo.

## 6.2.Recomendaciones

Se recomienda que para la construcción del secador de tambor, se debe realizar un sistema de dosificación de residuos de madera de balsa (chips) para ser acoplado a la entrada de la tolva del respectivo secador, evitando así posibles atascamientos de chips dentro del mismo. Ya que actualmente todo el chip que es aspirado directamente desde el chipeador hasta la tolva de almacenamiento, se precipita hacia los camiones sin ningún control de evacuación o llenado.

Se recomienda que en la construcción y dimensionamiento de un prototipo de secador rotativo se realice un ensayo con varias muestras de la biomasa para determinar de manera más precisa los parámetros finales del equipo, estableciendo la temperatura, flujo másico máximo a pasar por el sistema y tiempos de secados.

Haciendo uso de software de diseño se consiguen ensayos no destructivos para aplicar en el dimensionado, selección y simulación del proceso de secado, facilitando el entendimiento de su principio de funcionamiento para su construcción. Considerando el valor del porcentaje de humedad del producto que se ingresa a la caldera, se recomienda utilizar los secadores rotatorios para que cumplan la función de pre secado de biomasa con altos índice de humedad, en los que surge la necesidad de usar el residuo como biocombustible

Se sugiere que para la construcción del secador rotatorio hacer uso de elementos disponibles en el país que faciliten su mantenimiento preventivo y correctivo para una mejor accesibilidad o compra de repuestos, optimizando recursos que inciden en la disminución de costos del sistema.

**CAPÍTULO VI**  
**BIBLIOGRAFÍA**

## 7.1. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Brokker D. & Bakker F., *Drying and storage of grain and oilseeds*, New York: Van Nostrand Reinhold, 2000.
- [2] T. C., «Pequeño manual del Fochista,» Mexico, 2011.
- [3] F. O. d. I. N. U. p. I. A. y, «Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura,» 21 agosto 2012. [En línea]. Available: <http://www.fao.org/docrep/t0512s/t0512s>. [Último acceso: 8 junio 2016].
- [4] P. V., *Tecnología de la madera*, tercera ed., Santiago: Mundi prensa libros, 2006.
- [5] Sebastián, F., García, D., & Rezeau, A., *Energía de Biomasa*, Volumen 1 ed., A. P. U. d. Zaragoza, Ed., Zaragoza, 2010.
- [6] Antonio de Lucas M, Justo B, José V., *Termotecnia básica aplicada Pablo Riquelme para ingenieros químicos: bases de Termodinámica aplicada*, ISBN 84-8427-331-8 ed., La Mancha: Universidad de Castilla-La Mancha, 2004.
- [7] D. S., «Agrocarburos,» *Colaboraciones - Amigos de la tierra*, p. 74, Septiembre 2007.
- [8] P. POPOV, *Engineering Mechanics of Solids*, ISBN 0-13-279258-3 ed., Englewood Cliffs, 1990.
- [9] Rotary Dryer, agosto 2016. [procesosbio.wikispaces.com/Secado](http://procesosbio.wikispaces.com/Secado).
- [10] Waybackmachine, septiembre 2016. [En línea]. Available: <http://web.archive.org/web/20100510160404/http://www.doschivos.com/trabajos/tecnologia/803.htm>.
- [11] McCABE, W.L., SMITH, J.C. i HARRIOT, P., *Operaciones unitarias en ingeniería química*, Séptima, Ed., México: McGraw-Hill, 2002.
- [12] Nonhebel G., *El secado de sólidos en la industria química*, Primera ed., Barcelona: Reverte s.a., 2002.
- [13] Perry R., *Manual del Ingeniero Químico*, sexta ed., México: McGraw-Hill, 1995.

- [14] Pérez J. & Gardey A., septiembre 2016. [En línea]. Available: <http://definicion.de/humedad/#ixzz4K9q3GI56>.
- [15] Ecured, septiembre 2016. [En línea]. Available: [https://www.ecured.cu/Humedad\\_ambiental](https://www.ecured.cu/Humedad_ambiental).
- [16] Mastiposde, «Tipos de madera,» *Mastiposde.com*, septiembre 2015.
- [17] A. C., La serpiente de Oro, Madrid: Alianza, 1992.
- [18] K. a. L. S. F. Tata Energy Research Institute 2005 Efficiency Measurement of Biogas, 2 junio 2011. [En línea]. Available: <[http://www.snvworld.org/en/Documents/Efficiency\\_measurement\\_of\\_biogas\\_kerosene\\_and\\_LPG\\_stoves\\_Nepal\\_2001.pdf](http://www.snvworld.org/en/Documents/Efficiency_measurement_of_biogas_kerosene_and_LPG_stoves_Nepal_2001.pdf)>.
- [19] L. B., El espíritu sociológico, Buenos Aires: Manantial, 2006.
- [20] Yanus Cengel; MICHAEL A., Termodinámica, España: MC GRAW HILL, 2012.
- [21] C. Moyers, Psychrometry, Evaporative Cooling, and Solids Drying, New York: McGraw-Hill, 1997.
- [22] B. Nonhebel, El secado de sólidos en la industria Química, Barcelona: Reverté, 2000.
- [23] A. Mujumdas, Hanbook Of Industria Drying, New York, 1995.
- [24] API, «API-Standard 650,» *Instituto Americano de Petroleo*, vol. 10MA.
- [25] ASME, «Reglas para construcción de tanques a presión,» *NORMA ASME*, vol. 1, pp. SECCION VIII, DIVISION I, 1995.
- [26] J. Gere, Mecánica de materiales, Mexico: Thompson, 2012.
- [27] Datateca, «Unad,» [En línea]. Available: [datateca.unad.edu.co](http://datateca.unad.edu.co). [Último acceso: 10 septiembre 2016].
- [28] I. siemens, «Industria siemens,» [En línea]. Available: <https://www.industry.siemens.com/>. [Último acceso: 16 septiembre 2016].
- [29] Blickle, «Traceparts,» [En línea]. Available: <http://www.tracepartsonline.net/>. [Último acceso: 16 septiembre 2016].
- [30] Martín, «Industria Martín,» [En línea]. Available: [www.martinsprocket.com](http://www.martinsprocket.com). [Último acceso: 17 Septiembre 2016].
- [31] J. LEON, Diseño y cálculo de recipientes a presión, Lima: Primera edición Inglesa, 2001.

## 7.2.LINKOGRAFÍA

[http://www.cesfelipesecondo.com/titulaciones/bellasartes/temarios/Diseno\\_Grafico\\_1/Qu%E9%20es%20el%20dise%F1o.pdf](http://www.cesfelipesecondo.com/titulaciones/bellasartes/temarios/Diseno_Grafico_1/Qu%E9%20es%20el%20dise%F1o.pdf)

[www.reitec.es/Pdf/agua02.pdf](http://www.reitec.es/Pdf/agua02.pdf)

[http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-07642011000200007](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642011000200007)

<https://exwood.wordpress.com/2011/01/03/%C2%BFque-es-la-madera-de-balsa/>

<http://www.mastiposde.com/madera.html>

[www.chipsdemadera.com.ar](http://www.chipsdemadera.com.ar)

<http://ecuadorforestal.org/fichas-tecnicas-de-especies-forestales/ficha-tecnica-no-7-balsa/>

<https://www.fenercom.com/...Calderas%20industriales/06-Potencial-de-ahorro-energetic>

<https://www.google.com.ec/maps/place/Quevedo/>

<https://es.scribd.com/doc/81906978/CONSTRUCCION-DE-ENGRANAJE>

[http://userpages.umbc.edu/~dfrey1/ench445/apv\\_dryer.pdf](http://userpages.umbc.edu/~dfrey1/ench445/apv_dryer.pdf)

<http://BLANK, Lelan; TARQUIN, Anthony. INGENIERIA ECONOMICA. EDITORIAL MC – GRAW HILL. TERCERA EDICIÓN. 1994.>

**CAPÍTULO VII**  
**ANEXOS**

## 7.1. ANEXOS

### ANEXO 1. Ensayo de humedad

La prueba de secado se realizó en el Área de Genética, lugar de estudio del Complejo Industrial 3A COMPOSITES.

### PROCESO DE TEST

Se tomaron 15 muestras random, el chip se colocó en una estufa a temperatura de 90 °C por un tiempo de 25 minutos.

# Madera	Peso base húmeda (g)	Dimensiones del Chip (mm)		Peso base seca (g)	Diferencia B.húmeda-B.seca (g)	% Humedad base húmeda
		Ancho	Largo			
1	1,6	34	23	1	0,6	38%
2	2,9	31	20	2,3	0,6	21%
3	1,6	1	34	1	0,6	38%
4	1,9	20	16	1,3	0,6	32%
5	0,4	16	25	0,01	0,39	98%
6	2,8	24	38	1,9	0,9	32%
7	2,4	19	17	1,6	0,8	33%
8	1,7	33	30	1,3	0,4	24%
9	1,1	24	40	0,7	0,4	36%
10	2,2	29	16	1,4	0,8	36%
11	2,4	10	49	1,6	0,8	33%
12	1,7	17	20	1	0,7	41%
13	2,1	58	39	1,5	0,6	29%
14	1,9	60	40	1,5	0,4	21%
15	1,8	51	11	1,3	0,5	28%
		<b>Medidas Promedio</b>			<b>Promedio</b>	<b>36%</b>

**Fuente:** Autor, 2016

## ANEXO 2. Composición Acero ASTM A36

**Tabla 4. Composición química - ASTM A36 [12]**

Elementos	%
Carbono (C)	0,25- 0,29
Cobre (Cu)	0,20
Hierro (Fe)	98,0
Manganeso (Mn)	1,03
Fósforo (P)	≤ 0,04
Silicio (Si)	0,28
Azufre (S)	≤ 0,05

**Tabla 5. Algunas propiedades mecánicas - ASTM A36 [12]**

Propiedad	Valor
Densidad, g/cm <sup>3</sup>	7,85
Resistencia a la tracción, MPa	400 - 552
Límite de Fluencia, MPa	250
Módulo de Young, MPa	200 000
Módulo de Cortante, MPa	79 500
Coficiente de Poisson	0,26
Elongación, %	18
Dureza Rockwell B	67 - 83
Dureza Brinell	110 - 150

Fuente: datateca.unad.edu.co [27]

## ANEXO 3. Motor trifásico 10 Hp [28]

Descripción				Modelo		
Potencia en HP	Velocidad en RPM	Tensión a 60 Hz en Volts	Tamaño Armazón NEMA	RGZE Uso general Catálogo Spiridon	RGZESD Uso pesado Catálogo Spiridon	RGZZESD A prueba de explosión Catálogo Spiridon
0.5	900	230/460	143T	1LA01438FP21	No disponible	No disponible
0.75	1800	230/460	143T	1LA01434FE21	*	1MU01434XE21
	1200	230/460	143T	1LA01436FE21	*	1MU01436XE21
	900	230/460	145T	1LA01458FE21	*	No disponible
1	3600	230/460	143T	1LA01432FE21	A7810000020167	1MU01432XE21
	1800	230/460	143T	1LA01444FE21	A7810000020169	1MU01444XE21
	1200	230/460	145T	1LA01456FE21	A7810000014868	1MU01456XE21
	900	230/460	182T	1LA01828FE21	A7810000020180	1MU01828XE21
1.5	3600	230/460	143T	1LA01442FE21	A7810000020181	1MU01442XE21
	1800	230/460	145T	1LA01454FE21	A7810000020182	1MU01454XE21
	1200	230/460	182T	1LA01826FE21	A7810000020184	1MU01826XE21
	900	230/460	184T	1LA01848FE21	A7810000020185	1MU01848XE21
2	3600	230/460	145T	1LA01452FE21	A7810000020186	1MU01452XE21
	1800	230/460	145T	1LA01464FE21	A7810000020187	1MU01464XE21
	1200	230/460	184T	1LA01846FE21	A7810000020188	1MU01846XE21
	900	230/460	213T	1LA02138FE21	A7810000020189	1MU02138XE21
3	3600	230/460	182T	1LA01822FE21	A7810000014829	1MU01822XE21
	1800	230/460	182T	1LA01824FE21	A7810000014845	1MU01824XE21
	1200	230/460	213T	1LA02136FE21	A7810000014869	1MU02136XE21
	900	230/460	215T	1LA02158FE21	A7810000020190	1MU02158XE21
5	3600	230/460	184T	1LA01842FE21	A7810000014850	1MU01842XE21
	1800	230/460	184T	1LA01844FE21	A7810000014846	1MU01844XE21
	1200	230/460	215T	1LA02156FE21	A7810000014890	1MU02156XE21
	900	230/460	254T	1LA02548FE21	A7810000020191	1MU02548XE21
7.5	3600	230/460	213T	1LA02132FE21	A7810000020192	1MU02132XE21
	1800	230/460	213T	1LA02134FE21	A7810000014847	1MU02134XE21
	1200	230/460	264T	1LA02546FE21	A7810000020193	1MU02546XE21
	900	230/460	256T	1LA02568FE21	A7810000020194	1MU02568XE21
10	3600	230/460	215T	1LA02152FE21	A7810000020195	1MU02152XE21
	1800	230/460	215T	1LA02154FE21	A7810000014865	1MU02154XE21
	1200	230/460	256T	1LA02566FE21	A7810000020196	1MU02566XE21
	900	230/460	284T	A7810000014281	A7810000013643	A7810000017089
15	3600	230/460	254T	1LA02542FE21	A7810000014851	1MU02542XE21
	1800	230/460	254T	1LA02544FE21	A7810000014866	1MU02544XE21
	1200	230/460	284T	A7810000014271	A7810000013645	A7810000014893
	900	230/460	286T	A7810000014282	A7810000013646	A7810000017110
20	3600	230/460	256T	1LA02562FE21	A7810000014853	1MU02562XE21
	1800	230/460	256T	1LA02564FE21	A7810000014867	1MU02564XE21
	1200	230/460	286T	A7810000014272	A7810000013647	A7810000014895
	900	230/460	324T	A7810000014283	A7810000013648	A7810000017111
25	3600	230/460	284T5	1LA02842FE22	A7810000013649	A7810000017112
	1800	230/460	284T	1LA02844FE21	A7810000013670	A7810000017114
	1200	230/460	324T	A7810000014273	A7810000013672	A7810000017115
	900	230/460	326T	A7810000014284	A7810000013673	A7810000017116
30	3600	230/460	286T5	1LA02862FE22	A7810000013674	A7810000017117
	1800	230/460	286T	1LA02864FE21	A7810000013675	A7810000017118
	1200	230/460	326T	A7810000014276	A7810000013676	A7810000017119
	900	230/460	364T	A7810000014285	A7810000013677	A7810000017120
40	3600	230/460	324T5	1LA03242FE22	A7810000013678	A7810000017122
	1800	230/460	324T	1LA03244FE21	A7810000013691	A7810000017124
	1200	230/460	334T	A7810000014255	A7810000013692	A7810000017128
	900	230/460	365T	A7810000014286	A7810000013693	A7810000017129

--\* Sobre pedido especial  
 Nota: Los motores RGZE y RGZESD de armazón 143T a 256T, serán sustituidos por los Nuevos Motores NEMA GP10 y SD10 respectivamente (ver página 6)

Fuente: <https://www.industry.siemens.com/>

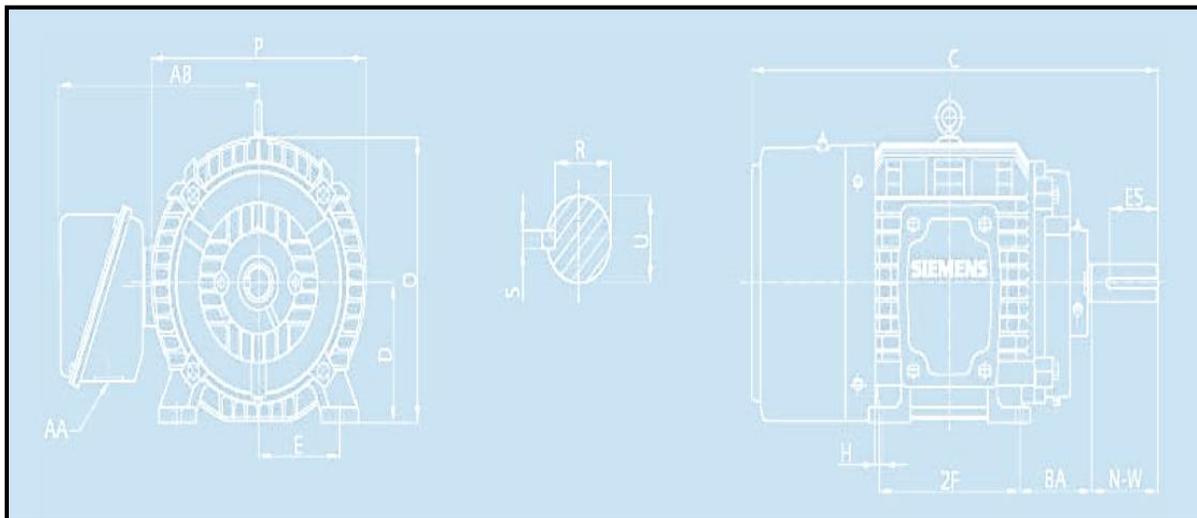
## ANEXO 4. Dimensiones del motor [28]

Motores trifásicos

*Motores horizontales con patas*

Dimensiones de motores horizontales en pulgadas

Armazón	AA	R	S	ES	C	D	E	2F	BA	N-W	O	P	H	AB	U
143T	0.75	0.771	.188	1.41	12.2	3.50	2.75	4	2.25	2.25	6.93	7.7	0.34	6.46	.875
145T	0.75	0.771	.188	1.41	13.3	3.50	2.75	5	2.25	2.25	6.93	4.7	0.34	6.46	+0.000 -.0005
182T	0.75	0.986	.250	1.78	14.2	4.50	3.75	4.50	2.75	2.75	8.86	9.7	0.41	7.36	1.125
184T	0.75	0.986	.250	1.78	15.2	4.50	3.75	5.50	2.75	2.75	8.86	9.7	0.41	7.36	+0.000 -.0005
213T	1.00	1.201	.312	2.41	18.0	5.25	4.25	5.50	3.50	3.38	10.62	11.2	0.41	9.02	1.375
215T	1.00	1.201	.312	2.41	19.1	5.25	4.25	7	3.50	3.38	10.62	11.2	0.41	9.02	+0.000 -.0005
254T	1.25	1.416	.375	2.91	22.3	6.25	5	8.25	4.25	4	12.62	13.4	0.53	9.92	1.625
256T	1.25	1.416	.375	2.91	24.1	6.25	5	10	4.25	4	1.62	13.4	0.53	9.92	+0.000 -.001
284T	1.50	1.591	.500	3.28	28.8	7	5.50	9.50	4.75	4.62	14.19	15.5	0.53	12.94	1.875
286T	1.50	1.591	.500	3.28	28.8	7	5.50	11	4.75	4.62	14.19	15.5	0.53	12.94	+0.000 -.001
284TS	1.50	1.416	.375	1.91	27.5	7	5.50	9.50	4.75	3.25	14.19	15.5	0.53	12.94	1.625
286TS	1.50	1.416	.375	1.91	27.5	7	5.50	11	4.75	3.25	14.19	15.5	0.53	12.94	+0.000 -.001
324T	2.00	1.845	.500	3.91	32.0	8	6.25	10.50	5.25	5.25	15.94	17.1	0.66	15.75	2.215
326T	2.00	1.845	.500	3.91	32.0	8	6.25	12	5.25	5.25	15.94	17.1	0.66	15.75	+0.000 -.001
324TS	2.00	1.591	.500	2.03	30.0	8	6.25	10.50	5.25	3.75	15.94	17.1	0.66	15.75	1.875
326TS	2.00	1.591	.500	2.03	30.0	8	6.25	12	5.25	3.75	15.94	17.1	0.66	15.75	+0.000 -.001
364T	3.00	2.021	.625	4.28	34.2	9	7	11.25	5.88	5.88	17.81	18.5	0.66	17.69	2.375
365T	3.00	2.021	.625	4.28	34.2	9	7	12.25	5.88	5.88	17.81	18.5	0.66	17.69	+0.000 -.001
364TS	3.00	1.591	.500	2.03	32.1	9	7	11.25	5.88	3.75	17.81	18.5	0.66	17.69	1.875
365TS	3.00	1.591	.500	2.03	32.1	9	7	12.25	5.88	3.75	17.81	18.5	0.66	17.69	+0.000 -.001
404T	3.00	2.450	.750	5.65	39.5	10	8	12.25	6.25	7.25	19.90	19.6	0.81	17.50	2.875
405T	3.00	2.450	.750	5.65	39.5	10	8	13.75	6.25	7.25	19.90	19.6	0.81	17.50	+0.000 -.001
404TS	3.00	1.845	.500	2.78	36.5	10	8	12.25	6.25	4.25	19.90	19.6	0.81	17.50	2.125
405TS	3.00	1.845	.500	2.78	36.5	10	8	13.75	6.25	4.25	19.90	19.6	0.81	17.50	+0.000 -.001
444T	3.00	2.875	.875	6.91	45.6	11	9	14.50	7.50	8.50	21.9	21.7	0.81	19.94	3.375
445T	3.00	2.875	.875	6.91	45.6	11	9	16.50	7.50	8.50	21.9	21.7	0.81	19.94	+0.000 -.001
444TS	3.00	2.021	.625	3.03	41.8	11	9	14.50	7.50	4.75	21.9	21.7	0.81	19.94	2.375
445TS	3.00	2.021	.625	3.03	41.8	11	9	16.50	7.50	4.75	21.9	21.7	0.81	19.94	+0.000 -.001
447T	3.00	2.875	.875	6.91	49.1	11	9	20	7.50	8.50	21.9	21.8	0.81	20.12	3.375
447TS	3.00	2.021	.625	3.03	45.4	11	9	20	7.50	4.75	21.9	21.8	0.81	20.12	2.375
449T	3.00	2.875	.875	6.91	54.1	11	9	25	7.50	8.50	21.9	21.8	0.81	20.12	3.375
449TS	3.00	2.021	.625	3.03	50.3	11	9	25	7.50	4.75	21.9	21.8	0.81	20.12	2.375
5449LS	4.00	3.134	.875	7.5	63.7	11	9	25	7.50	9.12	23.4	25.4	0.81	23.0	3.625
5449SS	4.00	2.275	.625	3.5	59.8	11	9	25	7.50	5.25	23.4	25.4	0.81	23.0	2.625



Fuente: <https://www.industry.siemens.com>

## ANEXO 5. Rueda-soporte rotatorio [29]

Blickle > Ruedas de acero para carga súper pesada > Serie SVS

### Ruedas de acero sólido para carga extremadamente pesada / SVS

SVS

Blickle

www.blickle.com  
Mostrar el mapa  
info@blickle.com  
Solicitud de presupuesto



Descarga de CAD  
Inventor  
Descargar el archivo CAD  
Añadir al centro de descarga  
Imprimir en 3D

Núm. de referencia	Tipo	Rodamiento	Ø Rueda (mm)	Ancho rueda (mm)	Capacidad de carga (kg)	Ø Eje	Largo de cubo
SVS 100/25K	Rueda	a bolas	100	40	1700	25	45
<b>SVS 127/30K</b>	<b>Rueda</b>	<b>a bolas</b>	<b>125</b>	<b>55</b>	<b>2750</b>	<b>30</b>	<b>60</b>
SVS 150/45K	Rueda	a bolas	150	55	4000	45	60
SVS 200/60K	Rueda	a bolas	200	80	7000	60	90
SVS 201/50K	Rueda	a bolas	200	55	6000	50	60
SVS 250/70K	Rueda	a bolas	250	65	10000	70	75
SVS 300/100K	Rueda	a bolas	300	90	15000	100	100
SVS 65/20K	Rueda	a bolas	65	40	750	20	45
SVS 80/20K	Rueda	a bolas	80	40	1100	20	45

Lista de materiales

Fabricante	BLICKLE
Designación	Ruedas de acero sólido para carga extremadamente pesada / SVS, Ø Rueda: 125 mm, Rodamiento: a bolas, Ø eje: 30 mm
Referencia	SVS 127/30K

Fuente: <http://www.tracepartsonline.net/>

ANEXO 6. Motor reductor [28]

Motorreductores								
Motorreductores de ejes coaxiales								
Motorreductores de hasta 200 kW								
Datos para selección y pedidos (continuación)								
Potencia $P_{\text{motor}}$ kW	Velocidad de salida		Par de salida $T_2$ Nm	Factor de servicio $f_S$	Índice de reducción $\zeta_{\text{tot}}$	Referencia	Código (n.º polos)	Peso <sup>1)</sup> kg
	$n_2$ (50 Hz) min <sup>-1</sup>	$n_2$ (60 Hz) min <sup>-1</sup>						
7,5 (50 Hz) 9,0 (60 Hz)	<b>E.108-LA132M4</b>							
	342	410	210	3,4	4,26	2KJ1005 - ■HH13 - ■■H1		107
	367	464	185	3,2	3,76 ★	2KJ1005 - ■HH13 - ■■G1		107
	455	546	158	4,7	3,20	2KJ1005 - ■HH13 - ■■F1		107
	525	630	136	4,9	2,77 ★	2KJ1005 - ■HH13 - ■■E1		107
	624	749	115	5,9	2,33 ★	2KJ1005 - ■HH13 - ■■C1		107
	690	828	104	6,0	2,11	2KJ1005 - ■HH13 - ■■B1		107
	804	965	89	6,2	1,81 ★	2KJ1005 - ■HH13 - ■■A1		107
	<b>E.88-LA132M4</b>							
	206	247	348	0,83	7,07 ★	2KJ1004 - ■HH13 - ■■N1		86
223	268	321	0,93	6,53	2KJ1004 - ■HH13 - ■■M1		86	
240	288	298	0,94	6,06 ★	2KJ1004 - ■HH13 - ■■L1		86	
258	310	278	1,2	5,65	2KJ1004 - ■HH13 - ■■K1		86	
285	342	252	1,5	5,11 ★	2KJ1004 - ■HH13 - ■■J1		86	
310	372	231	1,7	4,70	2KJ1004 - ■HH13 - ■■H1		86	
344	413	208	1,9	4,23 ★	2KJ1004 - ■HH13 - ■■G1		86	
373	448	192	2,0	3,90	2KJ1004 - ■HH13 - ■■F1		86	
441	529	162	2,8	3,30	2KJ1004 - ■HH13 - ■■E1		86	
505	606	142	3,1	2,88 ★	2KJ1004 - ■HH13 - ■■D1		86	
594	713	121	3,5	2,45	2KJ1004 - ■HH13 - ■■C1		86	
696	835	103	4,1	2,09 ★	2KJ1004 - ■HH13 - ■■B1		86	
851	1 021	84	4,2	1,71 ★	2KJ1004 - ■HH13 - ■■A1		86	
<b>E.68-LA132M4</b>								
271	325	264	0,83	5,36 ★	2KJ1003 - ■HH13 - ■■M1		69	
295	354	243	0,93	4,93	2KJ1003 - ■HH13 - ■■L1		69	
319	383	224	0,98	4,56 ★	2KJ1003 - ■HH13 - ■■K1		69	
343	412	209	1,1	4,24	2KJ1003 - ■HH13 - ■■J1		69	
389	467	184	1,2	3,74 ★	2KJ1003 - ■HH13 - ■■H1		69	
422	506	170	1,4	3,45	2KJ1003 - ■HH13 - ■■G1		69	
471	565	152	1,6	3,09 ★	2KJ1003 - ■HH13 - ■■F1		69	
511	613	140	1,8	2,85	2KJ1003 - ■HH13 - ■■E1		69	
609	731	118	2,0	2,39	2KJ1003 - ■HH13 - ■■D1		69	
713	856	100	2,1	2,04 ★	2KJ1003 - ■HH13 - ■■C1		69	
856	1 027	84	2,1	1,70	2KJ1003 - ■HH13 - ■■B1		69	
1 032	1 238	69	2,2	1,41 ★	2KJ1003 - ■HH13 - ■■A1		69	
<b>E.48-LA132M4</b>								
376	451	191	0,84	3,87	2KJ1002 - ■HH13 - ■■J1		59	
409	491	175	0,8	3,56 ★	2KJ1002 - ■HH13 - ■■H1		59	
449	539	159	0,94	3,24	2KJ1002 - ■HH13 - ■■G1		59	
493	592	145	1,2	2,95 ★	2KJ1002 - ■HH13 - ■■F1		59	
539	647	133	1,2	2,70	2KJ1002 - ■HH13 - ■■E1		59	

Fuente: <https://www.industry.siemens.com>

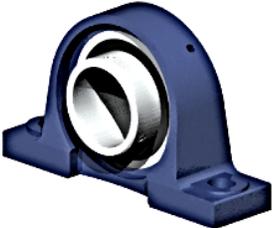
## ANEXO 7. Chumacera NTN

SNR

**NTN** **SNR**

www.ntn-snr.com

Mostrar el mapa



Nivel de detalle  
Soporte montado (una sol)

Descarga de CAD  
Inventor

Descargar el archivo CAD

Añadir al centro de descarga

Imprimir en 3D

Paso de configuración 1/2 | Último >>

d (mm)	Designación	L (mm)	H (mm)	C (kN)	Co (kN)	Peso (kg)
12	UCP201	127	33.3	12.8	6.65	0.7
15	UCP202	127	33.3	12.8	6.65	0.7
17	UCP203	127	33.3	12.8	6.65	0.7
20	UCP204	127	33.3	12.8	6.65	0.7
25	UCP205	140	36.5	14	7.88	0.8
<b>30</b>	<b>UCP206</b>	<b>165</b>	<b>42.9</b>	<b>19.5</b>	<b>11.2</b>	<b>1.4</b>
35	UCP207	167	47.6	25.7	15.2	1.8
40	UCP208	184	49.2	29.6	18.2	2.1
45	UCP209	190	54	31.85	20.8	2.4
50	UCP210	206	57.2	35.1	23.2	3
55	UCP211	219	63.5	43.55	29.2	3.7
60	UCP212	241	69.8	52.5	32.8	5
65	UCP213	265	76.2	57.2	40	6.1
70	UCP214	266	79.4	62	45	6.6
75	UCP215	275	82.6	66	49.5	7.3
80	UCP216	292	88.9	72.5	54.2	8.9
85	UCP217	310	95.2	83.2	63.8	10.8
90	UCP218	327	101.6	96	71.5	13.5

Lista de materiales

Fabricante	SNR
Designación	Soporte de zócalo de fundición gris, serie UCP200, Sin tapones de protección, para un diámetro de eje de 30 mm
Referencia	UCP206
Peso	1.4 kg

Fuente: <http://www.tracepartsonline.net/>

## ANEXO 8. Piñón [30]



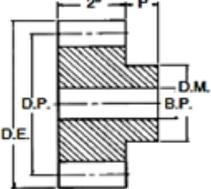
**Tipo B**  
Sencillo con Maza



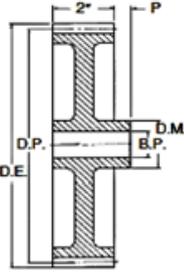
**Tipo B<sub>1</sub>**  
Con Alma



**Tipo B<sub>2</sub>**  
Con Alma y Barrenos de Aligeramiento



**Tipo B**



**Tipo B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>**

**Acero**

Número de Dientes	Número de Parte	Ángulo de Presión	Diámetro		Tipo	Barreno (Pulg.)		Maza (Pulg.)		Peso Aprox. (lb)
			Paso	Exterior		Piloto	Máx.*	Diámetro	Proy.	
11	S411	14°	3.000†	3.500	B	1¼	1¼	2¼	¼	4.0
12	S412	14°	3.000	3.500	B	1¼	1¼	2¼	¼	3.9
13	S413	14°	3.250	3.750	B	1¼	1¼	2¼	¼	4.6
14	S414	14°	3.500	4.000	B	1¼	1¼	2¼	¼	5.7
15	S415	14°	3.750	4.250	B	1¼	1¼	3	¼	6.8
16	S416	14°	4.000	4.500	B	1¼	1¼	3¼	¼	8.0
17	S417	14°	4.250	4.750	B	1¼	2	3¼	¼	9.2
18	S418	14°	4.500	5.000	B	1¼	2¼	3¾	¼	10.4
19	S419	14°	4.750	5.250	B	1¼	2¼	4	¼	10.5
20	S420	14°	5.000	5.500	B	1¼	2¼	4¼	¼	13.4
21	S421	14°	5.250	5.750	B	1¼	2¼	4¼	¼	14.9
22	S422	14°	5.500	6.000	B	1¼	2¼	4¼	¼	16.5
24	S424	14°	6.000	6.500	B	1¼	2¼	4¼	¼	22.8
26	S426	14°	6.500	7.000	B	1¼	2¼	4¼	¼	24.8
28	S428	14°	7.000	7.500	B	1¼	2¼	4¼	¼	27.8
30	S430	14°	7.500	8.000	B	1¼	2¼	4¼	¼	31.0
32	S432	14°	8.000	8.500	B	1¼	2¼	4¼	¼	34.4
36	S436	14°	9.000	9.500	B	1¼	2¼	4¼	¼	41.7
40	S440	14°	10.000	10.500	B	1¼	3¼	5¼	¼	51.8
42	S442	14°	10.500	11.000	B	1¼	3¼	5¼	¼	56.0
44	S444	14°	11.000	11.500	B	1¼	3¼	5¼	¼	60.8
48	S448	14°	12.000	12.500	B	1¼	3¼	5¼	¼	70.8
54	S454	14°	13.500	14.000	B <sub>1</sub>	1¼	3	5	¼	57.4
56	S456	14°	14.000	14.500	B <sub>1</sub>	1¼	3	5	¼	59.9
60	S460	14°	15.000	15.500	B <sub>2</sub>	1¼	3	5	¼	62.8
64	S464	14°	16.000	16.500	B <sub>2</sub>	1¼	3	5	¼	66.2
72	S472	14°	18.000	18.500	B <sub>2</sub>	1¼	3¼	5¼	¼	82.9
80	S480	14°	20.000	20.500	B <sub>2</sub>	1¼	3¼	5¼	¼	95.0
84	S484	14°	21.000	21.500	B <sub>2</sub>	1¼	3¼	5¼	¼	92.0
88	S488	14°	22.000	22.500	B <sub>2</sub>	1¼	3¼	6¼	¼	95.8
96	S496	14°	24.000	24.500	B <sub>2</sub>	1¼	3¼	6¼	¼	124
120	S4120	14°	30.000	30.500	B <sub>2</sub>	1¼	3¼	6	¼	155
144	S4144	14°	36.000	36.500	B <sub>2</sub>	1¼	4	6¼	¼	208

Los engranes con ángulo de presión de 14½° no operan con engranes con ángulo de presión de 20°.

\* Barreno Máximo recomendado con coñero y opresor.

Fuente: [www.martinsprocket.com](http://www.martinsprocket.com)

**ANEXO 9.** Norma DIN – Acero

<b>GRUPO DE MATERIAL</b>	<b>DENOMINACIÓN SEGÚN DIN</b>
<b>Fundición Laminar DIN 1691</b>	GG 20
	GG 26
	GG 35
<b>Fundición Lobular DIN 1693</b>	GGG 42
	GGG 60
	GGG 80
	GGG 100
<b>Fundición Gris DIN 1692</b>	GTS 35
	GTS 65
<b>Acero Fundido DIN 1681</b>	GS 52
	GS 60

**Fuente:** <https://es.scribd.com/doc/81906978/CONSTRUCCION-DE-ENGRANAJE>

## ANEXO 10. Ventilador industrial

SODECA



<http://www.sodeca.com>  
Mostrar el mapa  
[ventilation@sodeca.com](mailto:ventilation@sodeca.com)



Descarga de CAD

Inventor

Descargar el ar

Añadir al centr

Imprimir en 3D

Los modelos 2D y 3D solo garantizan las medidas de la tabla inferior

Model	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	E (mm)	F (mm)	J (mm)	N (mm)
HFT-56-4T-0.75	660	620	564	560	344	150	12	12x30°
HFT-56-4M-0.75	660	620	564	560	344	150	12	12x30°
HFT-56-4T-1	660	620	564	560	344	150	12	12x30°
HFT-56-4/8T-1	660	620	564	560	344	150	12	12x30°
HFT-56-4T-1.5	660	620	564	560	376	150	12	12x30°
HFT-56-4/8T-1.5	660	620	564	560	376	150	12	12x30°
<b>HFT-56-4T-2</b>	<b>660</b>	<b>620</b>	<b>564</b>	<b>560</b>	<b>376</b>	<b>150</b>	<b>12</b>	<b>12x30°</b>
HFT-56-4/8T-2	660	620	564	560	376	150	12	12x30°
HFT-56-6T-0.33	660	620	564	560	310	150	12	12x30°
HFT-56-6M-0.33	660	620	564	560	310	150	12	12x30°
HFT-56-6T-0.5	660	620	564	560	344	150	12	12x30°
HFT-56-6T-0.75	660	620	564	560	344	150	12	12x30°
HFT-63-4T-1	730	690	645	640	325	150	12	12x30°
HFT-63-4/8T-1	730	690	645	640	325	150	12	12x30°
HFT-63-4T-1.5	730	690	645	640	398	150	12	12x30°
HFT-63-4/8T-1.5	730	690	645	640	398	150	12	12x30°
HFT-63-4T-2	730	690	645	640	398	150	12	12x30°
HFT-63-4/8T-2	730	690	645	640	398	150	12	12x30°
HFT-63-4T-3	730	690	645	640	430	150	12	12x30°
HFT-63-4/8T-3	730	690	645	640	430	150	12	12x30°
HFT-63-4T-4	730	690	645	640	430	150	12	12x30°
HFT-63-4/8T-4	730	690	645	640	430	150	12	12x30°
HFT-63-6T-0.5	730	690	645	640	325	150	12	12x30°
HFT-63-6M-0.5	730	690	645	640	325	150	12	12x30°
HFT-63-6T-0.75	730	690	645	640	325	150	12	12x30°

Lista de materiales

Fuente: <http://www.tracepartsonline.net/>

ANEXO 11. Eficiencia de soldadura [31]

TIPOS DE UNIONES NORMA UW-12		EFICIENCIA DE LA UNION CUANDO LA JUNTA ESTA RADIOGRAFIADA		
		AL 100 %	POR PUNTOS	SIN
	SOLDADURA A TOPE UNIDA CON SOLDADURA POR AMBOS LADOS, O BIEN POR OTRO METODO CON LO CUAL SE OBTENGA LA MISMA CALIDAD DEL METAL DE APORTE EN AMBOS LADOS DE LA SUPERFICIE SOLDADA. SI SE USA LA SOLERA DE RESPALDO, DEBERA QUITARSE DESPUES DE APLICAR LA SOLDADURA Y ANTES DE RADIOGRAFIAR.	1.00	0.85	0.70
	SOLDADURA SIMPLE A TOPE CON SOLERA DE RESPALDO LA CUAL PERMANECERA EN EL INTERIOR DEL RECIPIENTE.	0.90	0.80	0.65
	UNION SIMPLE POR UN SOLO LADO SIN SOLERA DE RESPALDO	---	---	0.60
	UNION TRASLAPADA CON DOBLE FILETE	---	---	0.55
	UNION TRASLAPADA CON FILETE SENCILLO Y TAPON DE SOLDADURA	---	---	0.50

Fuente: LEON, J., (2001)

**ANEXO 12. Constante físicas [20]**

Constante universal de los gases	$R_u = 8.31447 \text{ kJ/kmol} \cdot \text{K}$ $= 8.31447 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3/\text{kmol} \cdot \text{K}$ $= 0.0831447 \text{ bar} \cdot \text{m}^3/\text{kmol} \cdot \text{K}$ $= 82.05 \text{ L} \cdot \text{atm}/\text{kmol} \cdot \text{K}$ $= 1.9858 \text{ Btu}/\text{lbmol} \cdot \text{R}$ $= 1\,545.37 \text{ ft} \cdot \text{lb}/\text{lbmol} \cdot \text{R}$ $= 10.73 \text{ psia} \cdot \text{ft}^3/\text{lbmol} \cdot \text{R}$
Aceleración de la gravedad estándar	$g = 9.80665 \text{ m/s}^2$ $= 32.174 \text{ ft/s}^2$
Presión atmosférica estándar	$1 \text{ atm} = 101.325 \text{ kPa}$ $= 1.01325 \text{ bar}$ $= 14.696 \text{ psia}$ $= 760 \text{ mm Hg (0°C)}$ $= 29.9213 \text{ in Hg (32°F)}$ $= 10.3323 \text{ m H}_2\text{O (4°C)}$
Constante de Stefan-Boltzmann	$\sigma = 5.6704 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ $= 0.1714 \times 10^{-8} \text{ Btu}/\text{h} \cdot \text{ft}^2 \cdot \text{R}^4$
Constante de Boltzmann	$k = 1.380650 \times 10^{-23} \text{ J/K}$
Velocidad de la luz en el vacío	$c_o = 2.9979 \times 10^8 \text{ m/s}$ $= 9.836 \times 10^8 \text{ ft/s}$
Velocidad del sonido en aire seco a 0°C y 1 atm	$c = 331.36 \text{ m/s}$ $= 1089 \text{ ft/s}$
Calor de fusión del agua a 1 atm	$h_{if} = 333.7 \text{ kJ/kg}$ $= 143.5 \text{ Btu}/\text{lbm}$
Entalpía de vaporización del agua a 1 atm	$h_{fg} = 2\,256.5 \text{ kJ/kg}$ $= 970.12 \text{ Btu}/\text{lbm}$

**Fuente:** YANUS C., MICHAEL A. (2012)

## ANEXO 13. Factor de conversión

Factores de conversión		
DIMENSIÓN	MÉTRICO	MÉTRICO/INGLÉS
Aceleración	1 m/s <sup>2</sup> = 100 cm/s <sup>2</sup>	1 m/s <sup>2</sup> = 3.2808 ft/s <sup>2</sup> 1 ft/s <sup>2</sup> = 0.3048* m/s <sup>2</sup>
Área	1 m <sup>2</sup> = 10 <sup>4</sup> cm <sup>2</sup> = 10 <sup>6</sup> mm <sup>2</sup> = 10 <sup>-6</sup> km <sup>2</sup>	1 m <sup>2</sup> = 1 550 in <sup>2</sup> = 10.764 ft <sup>2</sup> 1 ft <sup>2</sup> = 144 in <sup>2</sup> = 0.09290304* m <sup>2</sup>
Densidad	1 g/cm <sup>3</sup> = 1 kg/L = 1 000 kg/m <sup>3</sup>	1 g/cm <sup>3</sup> = 62.428 lbm/ft <sup>3</sup> = 0.036127 lbm/in <sup>3</sup> 1 lbm/in <sup>3</sup> = 1 728 lbm/ft <sup>3</sup> 1 kg/m <sup>3</sup> = 0.062428 lbm/ft <sup>3</sup>
Energía, calor, trabajo, energía interna, entalpía	1 kJ = 1 000 J = 1 000 N · m = 1 kPa · m <sup>3</sup> 1 kJ/kg = 1 000 m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> 1 kWh = 3 600 kJ 1 cal <sup>l</sup> = 4.184 J 1 IT cal <sup>l</sup> = 4.1868 J 1 Cal <sup>l</sup> = 4.1868 kJ	1 kJ = 0.94782 Btu 1 Btu = 1.055056 kJ = 5.40395 psia · ft <sup>3</sup> = 778.169 lbf · ft 1 Btu/lbm = 25 037 ft <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> = 2.326* kJ/kg 1 kJ/kg = 0.430 Btu/lbm 1 kWh = 3 412.14 Btu 1 termia = 10 <sup>5</sup> Btu = 1.055 × 10 <sup>5</sup> kJ (gas natural)
Fuerza	1 N = 1 kg · m/s <sup>2</sup> = 10 <sup>5</sup> dina 1 kgf = 9.80665 N	1 N = 0.22481 lbf 1 lbf = 32.174 lbm · ft/s <sup>2</sup> = 4.44822 N
Flujo de calor	1 W/cm <sup>2</sup> = 10 <sup>4</sup> W/m <sup>2</sup>	1 W/m <sup>2</sup> = 0.3171 Btu/h · ft <sup>2</sup>
Coefficiente de transferencia de calor	1 W/m <sup>2</sup> · °C = 1 W/m <sup>2</sup> · K	1 W/m <sup>2</sup> · °C = 0.17612 Btu/h · ft <sup>2</sup> · °F
Longitud	1 m = 100 cm = 1 000 mm = 10 <sup>6</sup> μm 1 km = 1 000 m	1 m = 39.370 in = 3.2808 ft = 1.0926 yd 1 ft = 12 in = 0.3048* m 1 milla = 5 280 ft = 1.6093 km 1 in = 2.54* cm
Masa	1 kg = 1 000 g 1 tonelada métrica = 1 000 kg	1 kg = 2.2046226 lbm 1 lbm = 0.45359237* kg 1 onza = 28.3495 g 1 slug = 32.174 lbm = 14.5939 kg 1 ton corta = 2 000 lbm = 907.1847 kg
Potencia, velocidad de transferencia de calor	1 W = 1 J/s 1 kW = 1 000 W = 1.341 hp 1 hp <sup>l</sup> = 745.7 W	1 kW = 3 412.14 Btu/h = 737.56 lbf · ft/s 1 hp = 550 lbf · ft/s = 0.7068 Btu/s = 42.41 Btu/min = 2544.5 Btu/h = 0.74570 kW 1 hp de caldera = 33 475 Btu/h 1 Btu/h = 1.055056 kJ/h 1 ton de refrigeración = 200 Btu/min
Presión	1 Pa = 1 N/m <sup>2</sup> 1 kPa = 10 <sup>3</sup> Pa = 10 <sup>-3</sup> MPa 1 atm = 101.325 kPa = 1.01325 bars = 760 mm Hg a 0°C = 1.03323 kgf/cm <sup>2</sup> 1 mm Hg = 0.1333 kPa	1 Pa = 1.4504 × 10 <sup>-4</sup> psia = 0.020886 lbf/ft <sup>2</sup> 1 psi = 144 lbf/ft <sup>2</sup> = 6.894757 kPa 1 atm = 14.696 psia = 29.92 in Hg a 30°F 1 in Hg = 3.387 kPa
Calor específico	1 kJ/kg · °C = 1 kJ/kg · K = 1 J/g · °C	1 Btu/lbm · °F = 4.1868 kJ/kg · °C 1 Btu/lbmol · R = 4.1868 kJ/kmol · K 1 kJ/kg · °C = 0.23885 Btu/lbm · °F = 0.23885 Btu/lbm · R

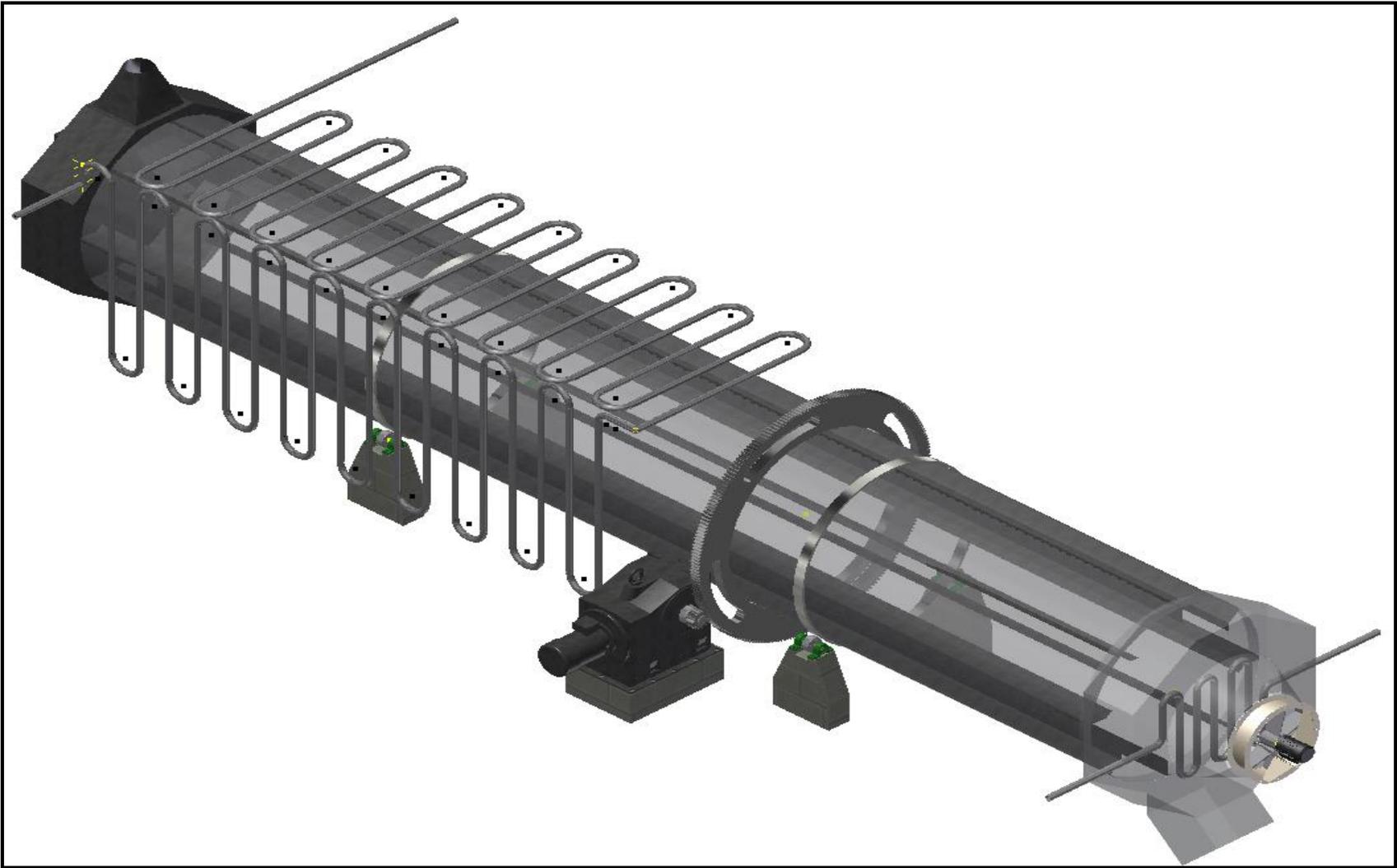
Fuente: YANUS C., MICHAEL A. (2012)

ANEXO 14. Factor de transferencia de calor

<b>Proceso</b>	<b><math>h</math> (W/m<sup>2</sup>·K)</b>
<i>Convección libre</i>	
<i>Gases</i>	2 – 25
<i>Líquidos</i>	50 – 1,000
<i>Convección forzada</i>	
<i>Gases</i>	25 – 250
<i>Líquidos</i>	50 – 20,000
<i>Convección con cambio de fase</i>	
<i>Ebullición o condensación</i>	2,500 – 100,000

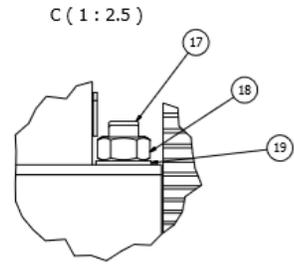
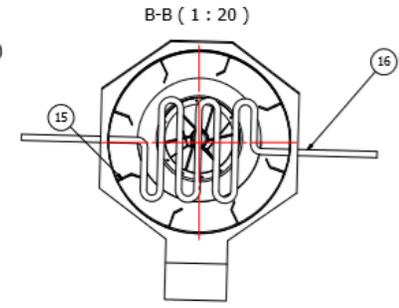
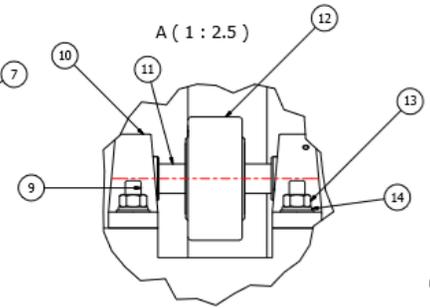
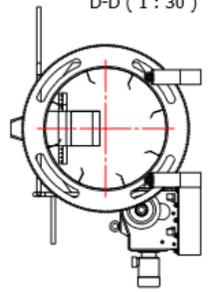
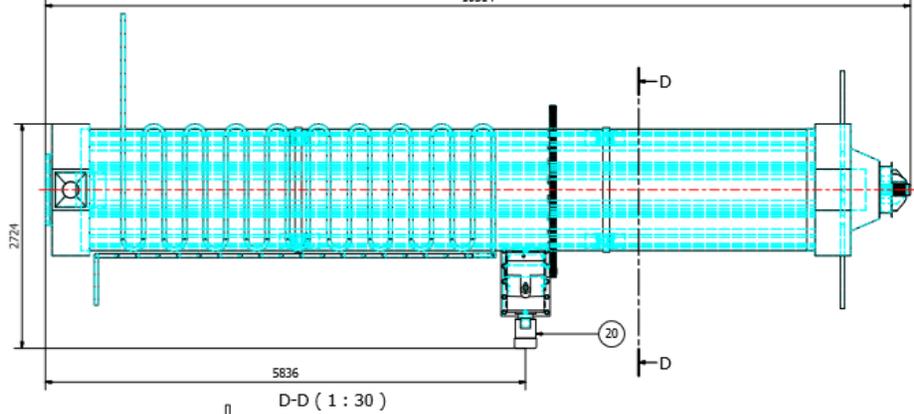
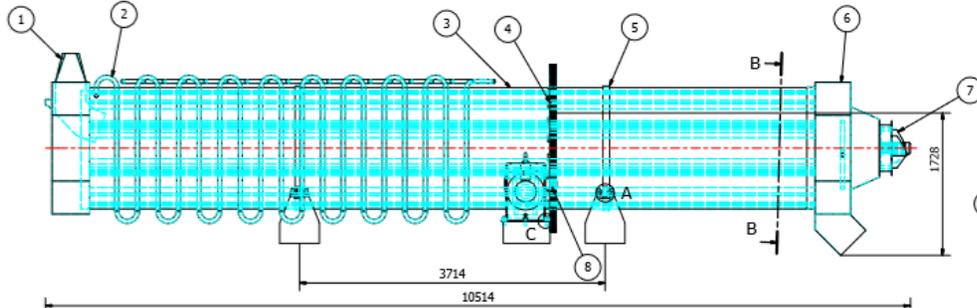
Fuente: YANUS C., MICHAEL A. (2012)

ANEXO 15. Diseño 3D



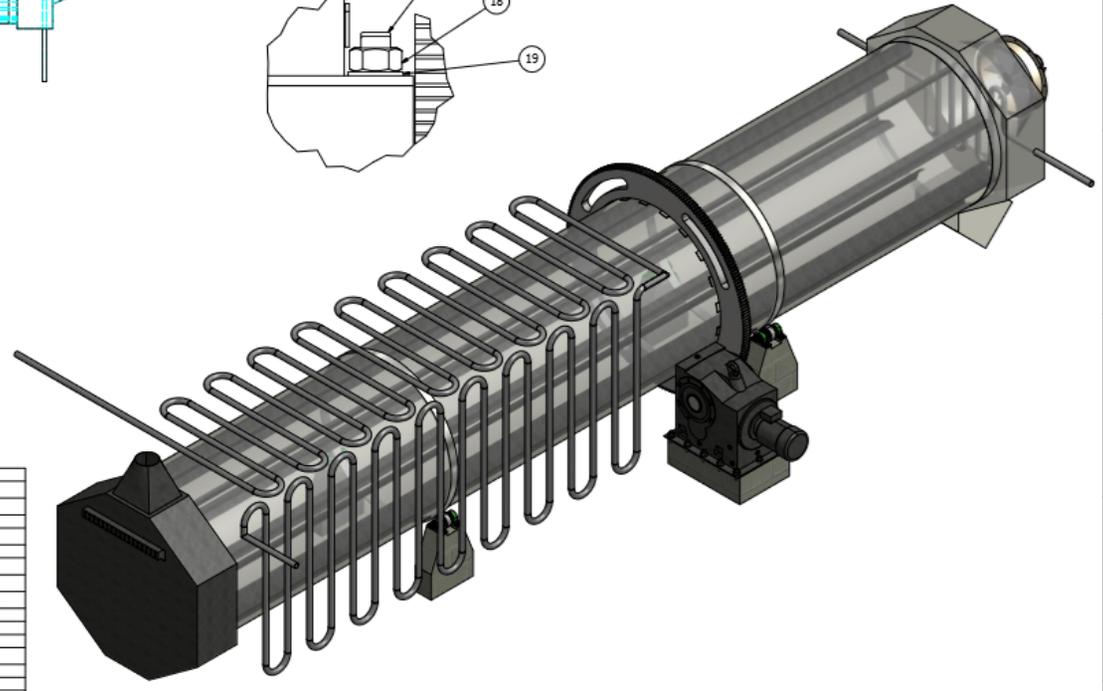
Fuente: Autor-Inventor, 2016

## **ANEXO 16. Planos**



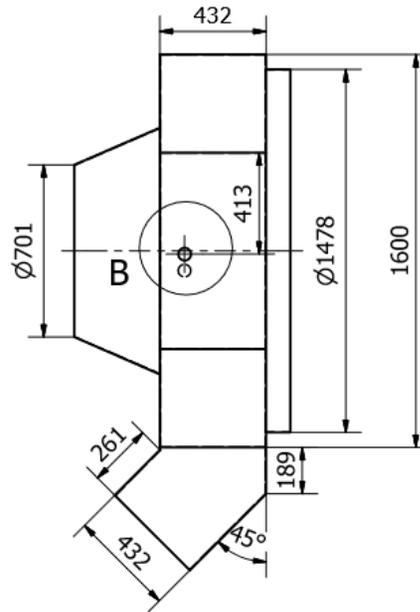
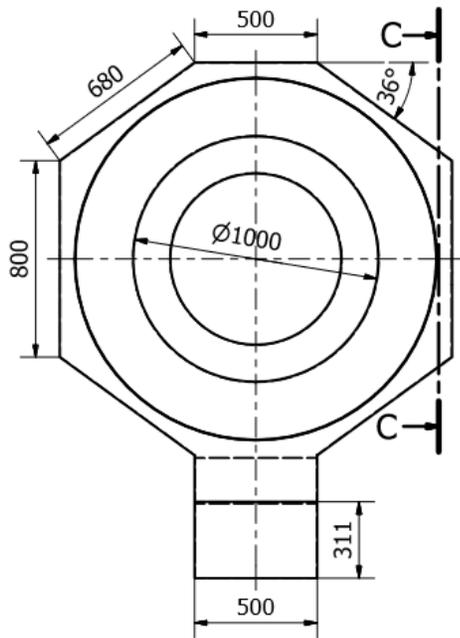
**ESPECIFICACIONES**

PESO: 4818 KG  
 CAPACIDAD: 1875 Kg/h  
 BIOMASA: CHIPS  
 HUMEDAD DE ENTRADA: 36%  
 HUMEDAD DE SALIDA: 12%  
 REVOLUCIONES: 4 RPM  
 INCLINACIÓN DEL MONTAJE: 1,53°

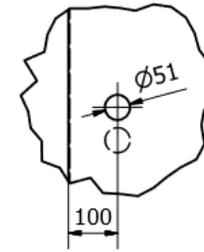


21	1	MOTORREDUCTOR	SK9086.1 SIEMENS	10 HP (7,5 W) - 900 RPM
19	12	ARANDELA PLANA	DIN 126	ARANDELA PARA PERNO HEXAGONAL M30
18	12	TUERCA	DIN 934	TUERCA HEXAGONAL M30
17	12	PERNO DE ANCLAJE	DIN 525	M30 X 110 mm
16	1	SERPENTIN	1.010	CIRCULACION DE VAPOR
15	1	ASPA	1.009	
14	16	ARANDELA PLANA	DIN 126	ARANDELA PARA PERNO HEXAGONAL M16
13	16	TUERCA	DIN 934	TUERCA HEXAGONAL M30
12	4	RUEDA	BLICKLE 584912	ø125 mm, RODAMIENTO DE BOLAS, ø DE EJE 30 mm
11	1	EJE SOPORTE ROTATORIO	1.008	
10	8	CHUMACERA	NTN	UCP206 D30mm
9	16	PERNO DE ANCLAJE	DIN 525	M30 X 110 mm
8	1	PIÑON	MARTIN GEARS	ACERO - TIPO B Z=14 DIENTES
7	1	VENTILADOR	HFT-55-4T-2	12 X30" - 7/2 m³/3/s
6	1	TOLVA DE SALIDA	1.007	
5	2	ANILLO	1.006	
4	1	ENGRANAJE	1.005	DIENTE RECTO
3	1	TAMBOR	1.004	
2	1	SERPENTIN LATERAL	1.003	CIRCULACION DE VAPOR
1	1	TOLVA DE INGRESO	1.002	
Nº	CANT.	DENOMINACION	PLANO/NORMA	OBSERVACION

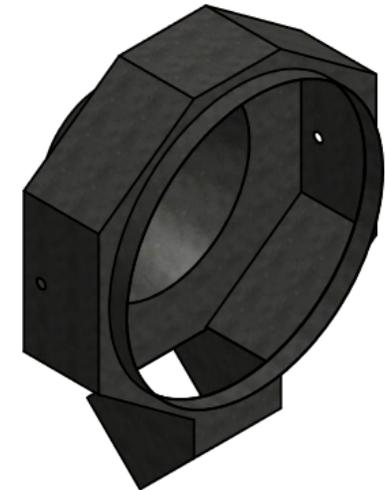
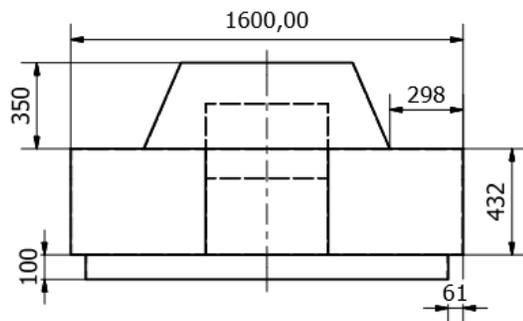
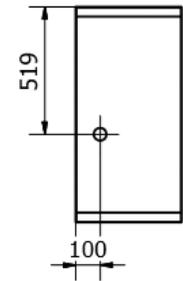
<small>DESIGNO Y COLOCACION DE UN SERVIDOR DE PANDAS PARA DISPONIBILIZAR EL CONTENIDO DE INFORMACION PARA SU CONSULTA Y/O DESCARGA COMO BAO CONSULTABLE</small>	<b>UTEQ</b>	Escala: 1:30	DIB. TARRA SANDRO APROB. ING. CEVALLOS O.
<b>CONJUNTO</b>		<b>1.001</b>	FECHA: 19/09/2016



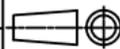
B ( 1 : 10 )

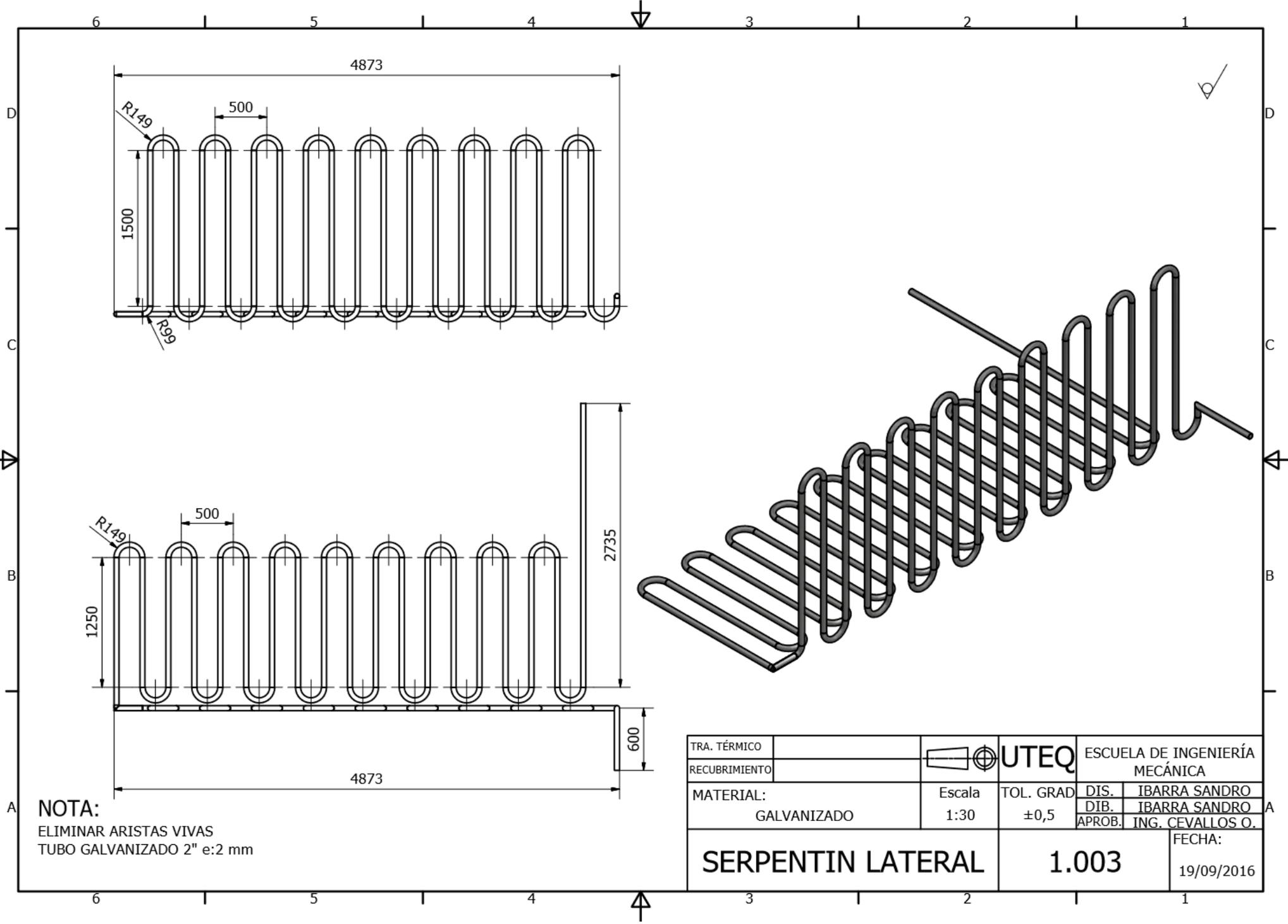


C-C ( 1 : 20 )



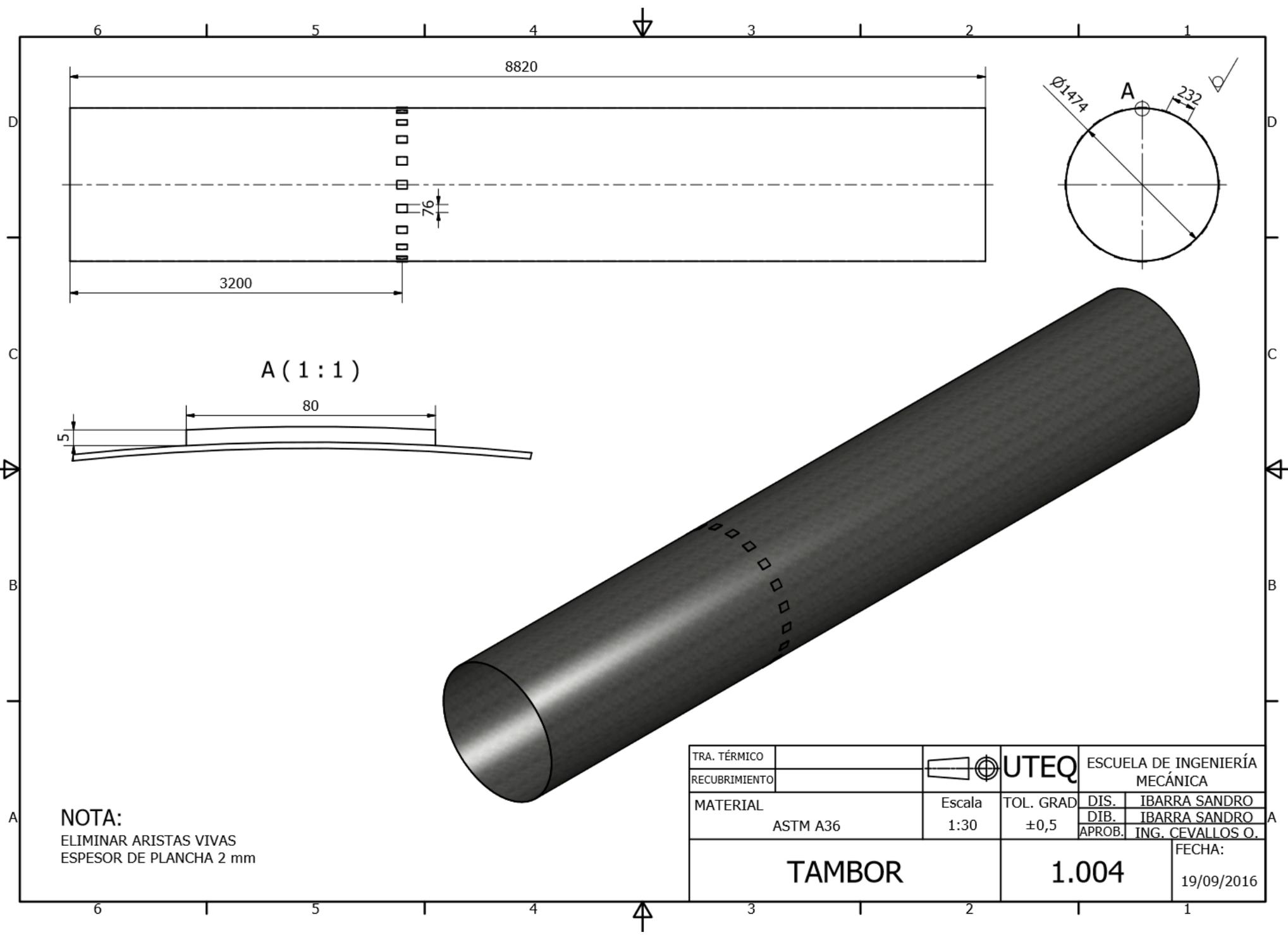
**NOTA:**  
ELIMINAR ARISTAS VIVAS  
ESPESOR DE PLANCHA 2 mm

TRA. TÉRMICO		 <b>UTEQ</b>	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
RECUBRIMIENTO	PINTURA TERMICA		TOL. GRAD	DIS.	IBARRA SANDRO
MATERIAL:	ASTM A36	Escala	1:20	DIB.	IBARRA SANDRO
			±0,5	APROB.	ING. CEVALLOS O.
<b>TOLVA DE INGRESO</b>			<b>1.002</b>	FECHA:	19/09/2016



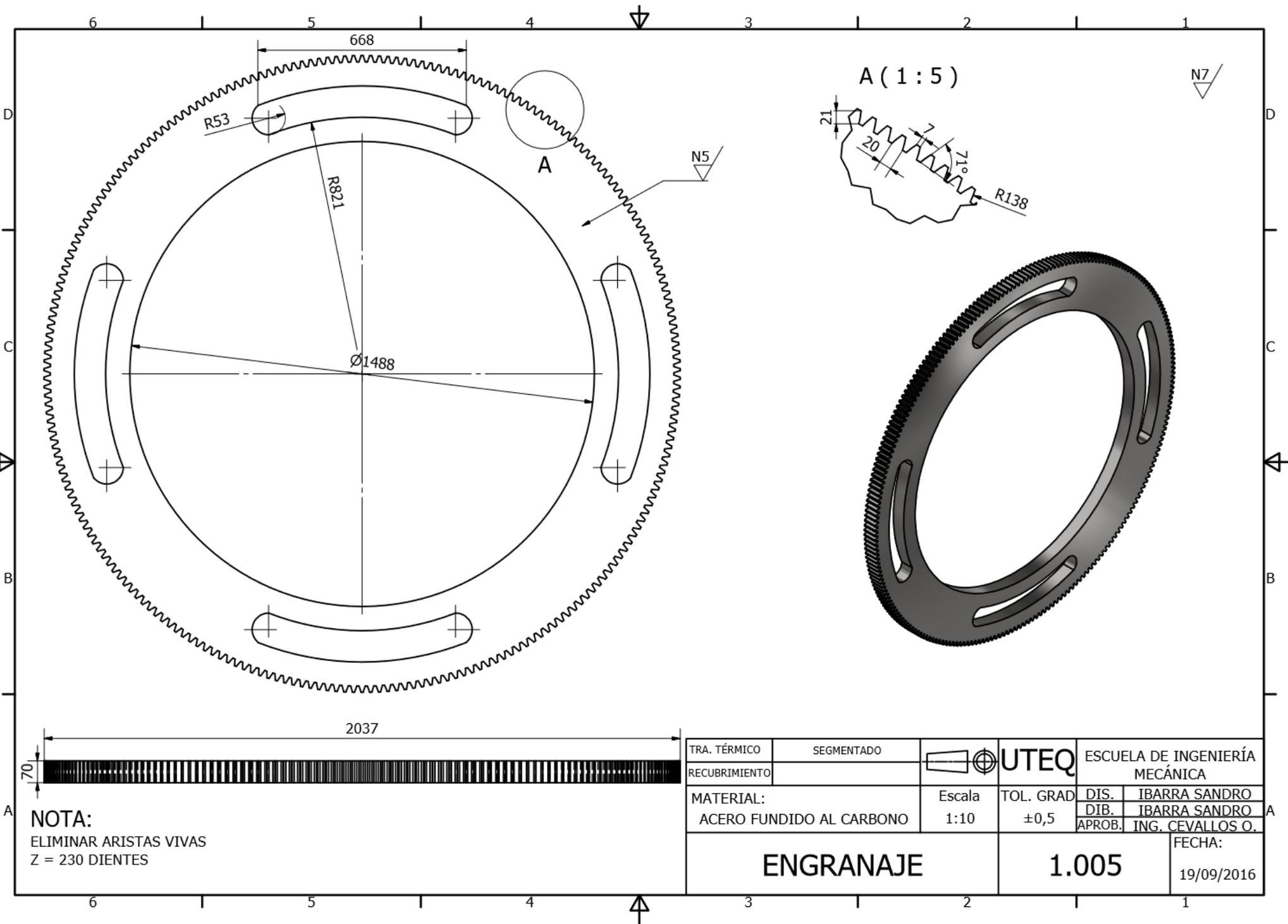
**NOTA:**  
 ELIMINAR ARISTAS VIVAS  
 TUBO GALVANIZADO 2" e:2 mm

TRA. TÉRMICO			ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO			TOL. GRAD	DIS. IBARRA SANDRO
MATERIAL:	GALVANIZADO	Escala 1:30	±0,5	DIB. IBARRA SANDRO
				APROB. ING. CEVALLOS O.
<b>SERPENTIN LATERAL</b>			<b>1.003</b>	FECHA: 19/09/2016

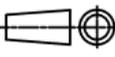


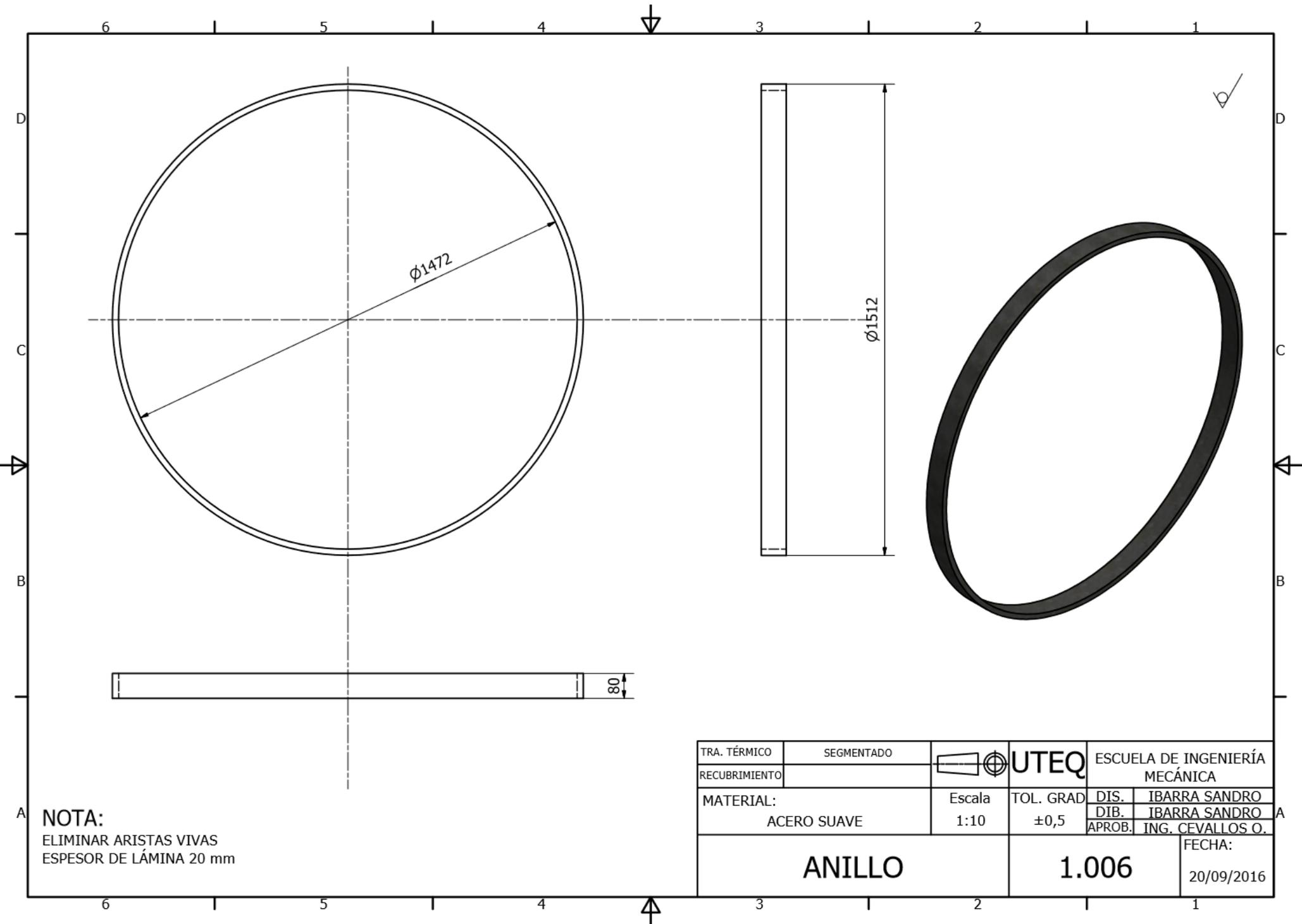
**NOTA:**  
 ELIMINAR ARISTAS VIVAS  
 ESPESOR DE PLANCHA 2 mm

TRA. TÉRMICO			<b>UTEQ</b> ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
RECUBRIMIENTO			
MATERIAL	ASTM A36	Escala 1:30	TOL. GRAD ±0,5
			DIS. IBARRA SANDRO DIB. IBARRA SANDRO APROB. ING. CEVALLOS O.
		<b>TAMBOR</b>	
		<b>1.004</b>	
		FECHA: 19/09/2016	



**NOTA:**  
 ELIMINAR ARISTAS VIVAS  
 Z = 230 DIENTES

TRA. TÉRMICO	SEGMENTADO		ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
RECUBRIMIENTO			DIS.	IBARRA SANDRO	
MATERIAL:		Escala	TOL. GRAD	DIB.	IBARRA SANDRO
ACERO FUNDIDO AL CARBONO		1:10	±0,5	APROB.	ING. CEVALLOS O.
<b>ENGRANAJE</b>			<b>1.005</b>	FECHA:	
				19/09/2016	



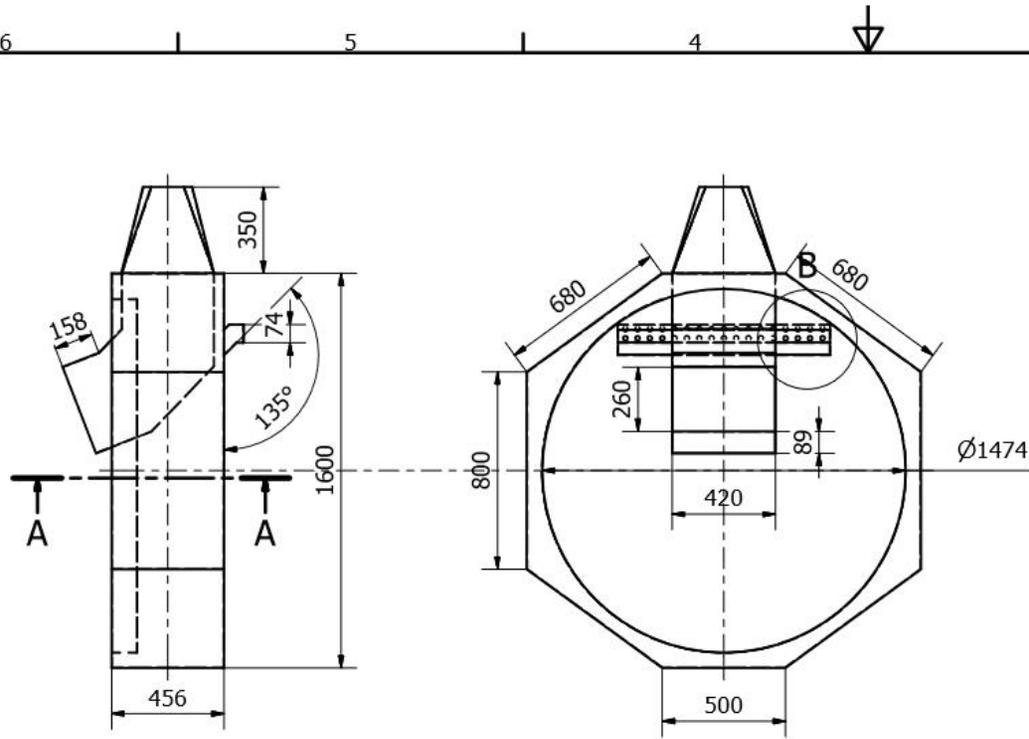
$\Phi 1472$

$\Phi 1512$

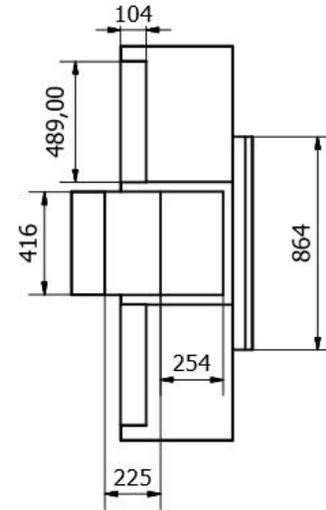
80

**NOTA:**  
 ELIMINAR ARISTAS VIVAS  
 ESPESOR DE LÁMINA 20 mm

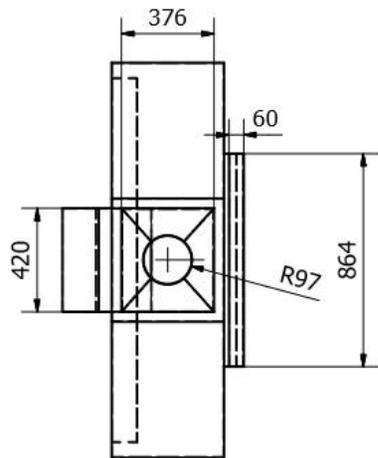
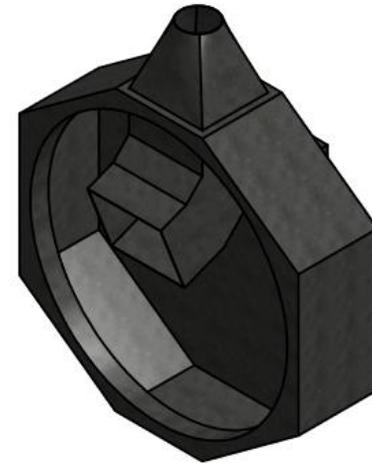
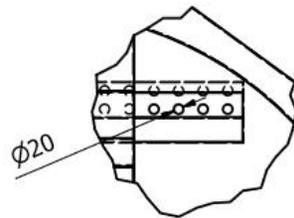
TRA. TÉRMICO	SEGMENTADO		<b>UTEQ</b>	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO				DIS.	IBARRA SANDRO
MATERIAL: ACERO SUAVE		Escala 1:10	TOL. GRAD $\pm 0,5$	DIB.	IBARRA SANDRO
				APROB.	ING. CEVALLOS O.
<b>ANILLO</b>			<b>1.006</b>	FECHA: 20/09/2016	



A-A ( 1 : 20 )

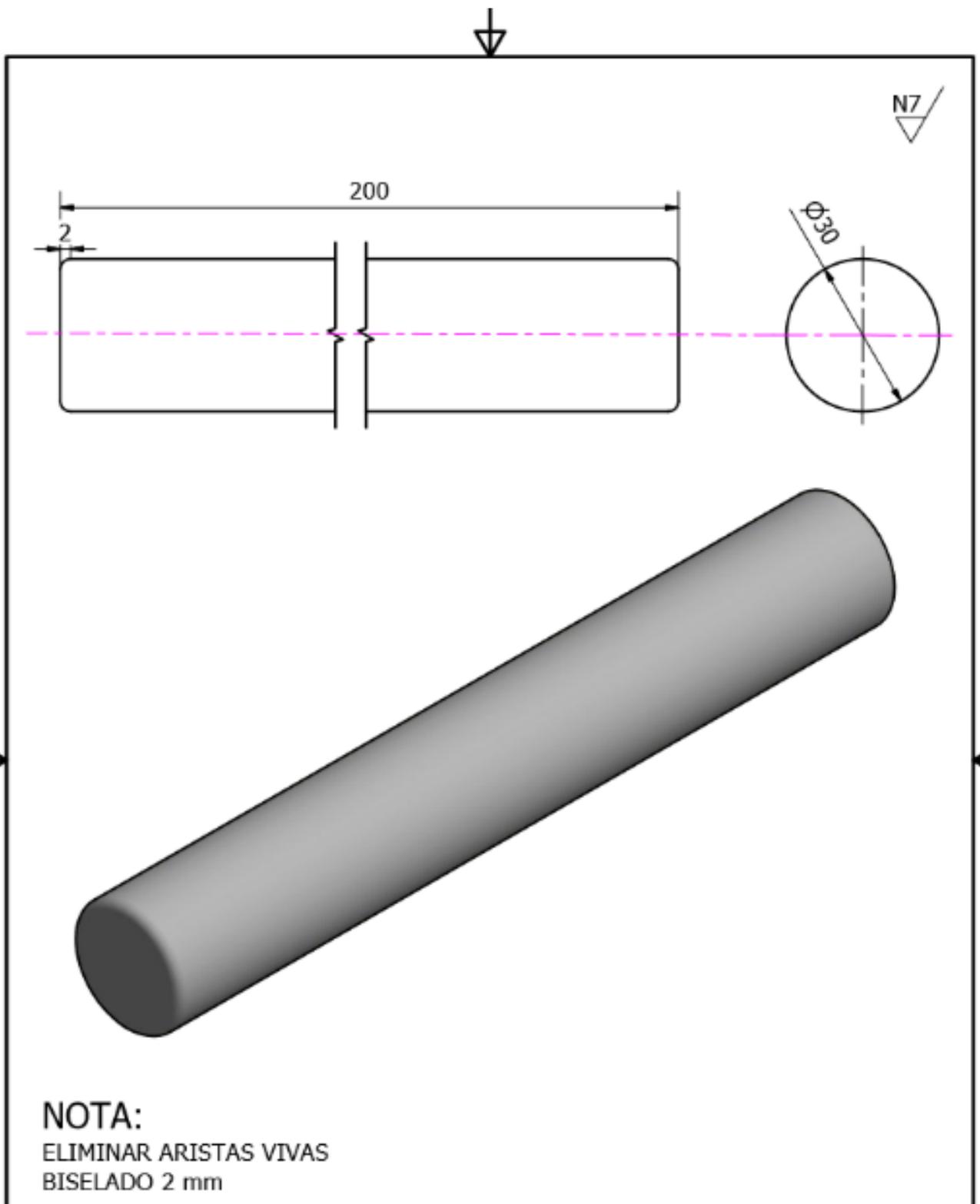


B ( 1 : 10 )



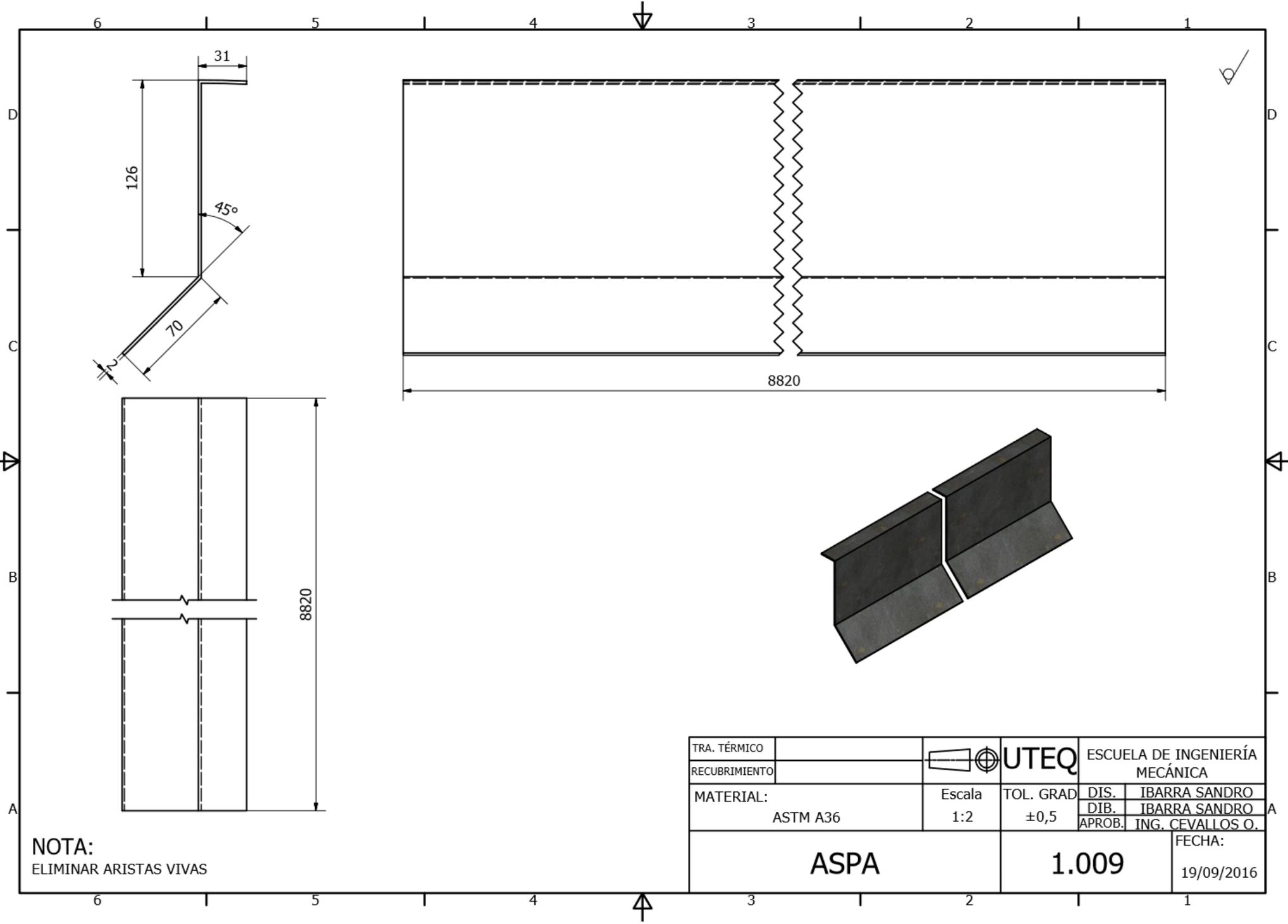
**NOTA:**  
 ELIMINAR ARISTAS VIVAS  
 ESPESOR DE LÁMINA 2 mm  
 34 AGUJEROS TALADRADO M20

TRA. TÉRMICO			ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
RECUBRIMIENTO	PINTURA TERMICA		DIS.	IBARRA SANDRO	
MATERIAL:	ASTM A36	Escala	TOL. GRAD	DIB.	IBARRA SANDRO
		1:20	±0,5	APROB.	ING. CEVALLOS O.
<b>TOLVA DE INGRESO</b>			<b>1.007</b>	FECHA:	19/09/2016

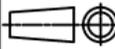


**NOTA:**  
 ELIMINAR ARISTAS VIVAS  
 BISELADO 2 mm

TRA. TÉRMICO			<b>UTEQ</b>	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO				DIS. IBARRA SANDRO DIB. IBARRA SANDRO APROB. ING. CEVALLOS O.	
MATERIAL: ACERO SUAVE		Escala 1:1	TOL. GRAD $\pm 0,5$		
<b>EJE SOPORTE          ROTATORIO</b>			<b>1.008</b>	FECHA: 19/09/2016	



NOTA:  
ELIMINAR ARISTAS VIVAS

TRA. TÉRMICO		 <b>UTEQ</b>	ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
RECUBRIMIENTO			DIS. IBARRA SANDRO	DIB. IBARRA SANDRO
MATERIAL:	ASTM A36	Escala 1:2	TOL. GRAD ±0,5	APROB. ING. CEVALLOS O.
<b>ASPA</b>		<b>1.009</b>		FECHA: 19/09/2016

