



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

MODALIDAD: PRESENCIAL

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

TEMA: “ESTUDIO DEL PROCESO DE SECADO MECÁNICO CON GIRO CONTINUO DE GRANOS DE CACAO Y SU INCIDENCIA EN EL TIEMPO DE OBTENCIÓN DEL PRODUCTO EN LA FINCA INESITA DEL CANTÓN NARANJITO”

Línea de investigación: Producción limpia en la industria y agroindustria

Autor: Marcos Teodoro Vargas Robles

Tutor: Ing. Mg. Alex Mayorga.

Ambato - Ecuador

2016

APROBACIÓN DEL TUTOR

CERTIFICACIÓN

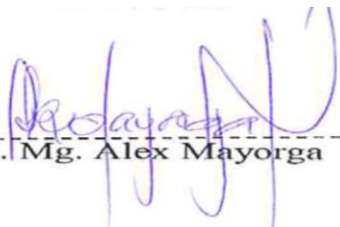
En mi calidad de director de tesis de grado, previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, con el Tema; “ESTUDIO DEL PROCESO DE SECADO MECÁNICO CON GIRO CONTINUO DE GRANOS DE CACAO Y SU INCIDENCIA EN EL TIEMPO DE OBTENCIÓN DEL PRODUCTO EN LA FINCA INESITA DEL CANTÓN NARANJITO”. Realizado por el Sr. Marcos Teodoro Vargas Robles, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Certifico:

- Que la presente tesis es original de su autor.
- Ha sido revisada en cada uno de sus capítulos.
- Está concluida y puede continuar con el trámite correspondiente.

Ambato, Abril 2016

EL TUTOR



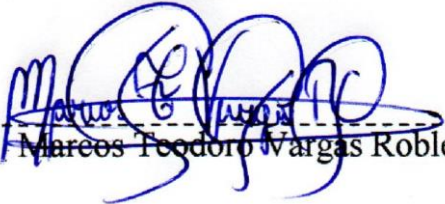
Ing. Mg. Alex Mayorga

AUTORÍA

Ambato, Abril 2016

Yo, Marcos Teodoro Vargas Robles, expreso que el tema, objetivos, conclusiones, recomendaciones, análisis de los resultados y la propuesta, con excepción de conceptos y definiciones en la presente investigación, previo la obtención del Título de Ingeniero Mecánico son absolutamente originales, auténticos y personales.

El AUTOR



Marcos Teodoro Vargas Robles


DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la universidad técnica de Ambato, para que haga de este Proyecto de Investigación o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

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

Ambato, Abril del 2016

El AUTOR



Marcos Feodorovich Vargas Robles

DEDICATORIA

El presente trabajo va dedicado primeramente

A DIOS, a mis padres Olga y Héctor

A mis hermanos Celina, Leonor, Héctor, Martin

A mis sobrinos

A mi novia Elizabeth, que son mi inspiración

Para ser cada día mejor.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Técnica de Ambato a la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

A los docentes de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, quienes estuvieron prestos para ayudarme en todo momento.

A mi grandiosa familia, mis padres, hermanos. Gracias por no perder la fe en mí y luchar a mi lado a cada minuto. Gracias por comprender y entender. Gracias por su amor y paciencia.

A mis amigos y compañeros de estudio quien con su apoyo moral y personal estuvieron en todo momento junto a mi persona.

A la familia Guamán por abrirme las puertas de su hogar y hacer este logro posible.

A mi director de tesis, Ing. Mg. Alex Mayorga por su esfuerzo y dedicación, quien con sus conocimientos, su asesoría y dirección supo guiar el desarrollo de la presente investigación

ÍNDICE

PÁGINAS PRELIMINARES

PORTADA.....	I
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	II
AUTORÍA.....	III
DERECHOS DE AUTOR	IV
DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTO	VI
ÍNDICE DE CONTENIDOS	VII
RESUMEN EJECUTIVO.....	XIX
CAPÍTULO I.....	1
EL PROBLEMA	1
1.1 TEMA:.....	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.2.1 CONTEXTUALIZACIÓN	1
1.2.2 ANÁLISIS CRÍTICO	4
1.2.3 PROGNOSIS	5
1.2.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	5
1.2.5 PREGUNTAS DIRECTRICES	5

1.2.6	DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	6
1.3	JUSTIFICACIÓN.....	6
1.4	OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	8
1.4.1	OBJETIVO GENERAL.....	8
1.4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	8
CAPÍTULO II.....		9
MARCO TEÓRICO.....		9
2.1	ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS	9
2.2	FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA	10
2.3	FUNDAMENTACIÓN LEGAL	10
2.4	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	10
2.4.1	PROCESO DE SECADO	10
2.4.2	OBJETIVO DEL SECADO.....	13
2.4.3	CINÉTICA DEL SECADO.....	15
2.4.4	SECADO.....	19
2.4.5	ESCALA DE PRODUCCIÓN.....	26
2.4.6	PROLIFERACIÓN DE MICROORGANISMOS	26
2.4.7	EL PROCESO DE SECADO	27
2.4.8	LA PLANTA DE CACAO	29
2.4.9	FÓRMULAS UTILIZADAS	39

2.5	CATEGORÍAS FUNDAMENTALES.....	43
2.6	HIPÓTESIS	43
2.7	SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS	43
2.7.1	VARIABLE INDEPENDIENTE.....	43
2.7.2	VARIABLE DEPENDIENTE	44
CAPÍTULO III.....		45
	METODOLOGÍA	45
3.1	ENFOQUE	45
3.1.1	ENFOQUE CUALI-CUANTITATIVO.....	45
3.2	MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN	45
3.2.1	INVESTIGACIÓN DE CAMPO	45
3.2.2	INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	46
3.2.3	INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL.....	46
3.3	NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN	46
3.3.1	INVESTIGACIÓN EXPLORATORIA	46
3.3.2	INVESTIGACIÓN DESCRIPTIVA.....	46
3.3.3	INVESTIGACIÓN CORRELACIONAL.....	47
3.4	POBLACIÓN Y MUESTRA	47
3.5	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	48
3.6	PLAN DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN	50

3.7	PLAN DE PROCESAMIENTOS Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	52
3.7.1	PLAN DE PROCESAMIENTO	52
3.8	PLAN DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	54
CAPÍTULO IV		55
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS		55
4.1	ANÁLISIS DE RESULTADOS	55
4.1.1	INTERPRETACIÓN DE DATOS	57
4.1.2	COMPARACIÓN ENTRE LOS PROCESOS DE SECADO Y MECÁNICO	65
4.2	ÍNDICE DE RAPIDEZ DE SECADO	66
4.3	VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS	67
4.4	VARIABLE INDEPENDIENTE:	67
4.5	VARIABLE DEPENDIENTE:	67
CAPÍTULO V		68
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		68
5.1	CONCLUSIONES	68
5.2	RECOMENDACIONES	69
CAPÍTULO VI		70
PROPUESTA		70
6.1	TEMA DE LA PROPUESTA	70

6.2	ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA	70
6.3	JUSTIFICACIÓN.....	71
6.4	OBJETIVOS.....	72
6.4.1	OBJETIVO GENERAL.....	72
6.4.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	72
6.5	ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD	72
6.5.1	ANÁLISIS TÉCNICO	72
6.5.2	ANÁLISIS ECONÓMICO	73
6.6	FUNDAMENTACIÓN	74
6.7	METODOLOGÍA	75
6.7.1	DISEÑO DEL PROTOTIPO	75
6.7.2	SELECCIÓN DEL TIPO DE SECADOR.....	80
6.7.3	CÁLCULO DE COEFICIENTES DE CONVECCIÓN	81
6.7.4	CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE CONVECCIÓN INTERNO	83
6.7.5	CÁLCULO DE PÉRDIDA DE CALOR A TRAVÉS DE LA PARED	84
6.7.6	ENERGÍA ALMACENADA.....	88
6.7.7	TIEMPO Y TEMPERATURA DE CALENTAMIENTO DEL PRODUCTO.....	90
6.7.8	COMBUSTIÓN Y LLAMA	93

6.7.9	SELECCIÓN DEL VENTILADOR	101
6.7.10	CÁLCULO PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL RODETE.	108
6.7.11	CÁLCULO DE FUERZAS GENERADAS EN EL RODETE	109
6.7.12	POTENCIA DE DISEÑO	117
6.7.13	DISEÑO DEL EJE DEL VENTILADOR	121
6.7.14	CÁLCULO DE MOMENTOS MÁXIMOS Y REACCIONES ...	122
6.7.15	DISEÑO ESTÁTICO	124
6.7.16	DISEÑO DINÁMICO	127
6.8	ADMINISTRACIÓN	133
6.8.1	ESPECIFICACIONES DEL DISEÑO	133
	BIBLIOGRAFÍA	135
ANEXOS	137
	ANEXO 1 PRUEBA N° 1	138
	ANEXO 2 PRUEBA N° 2	139
	ANEXO 3 PRUEBA N° 3	140
	ANEXO 4 PRUEBA N° 4	141
	ANEXO 5 PRUEBA N° 5	142
	ANEXO 6 PRUEBA N° 6	143
	ANEXO 7 TABLA DE ENTALPIAS	144
	ANEXO 8 TABLA DE PROPIEDADES DE LOS COMBUSTIBLES	145

ANEXO 9 TABLA DE PROPIEDADES TERMO FÍSICAS DE LA MATERIA	146
ANEXO 10 CARTA PSICOMÉTRICA	147
ANEXO 11 PROPIEDADES DEL AIRE.....	148
ANEXO 12 VALORES DE C EN FUNCIÓN DEL DISEÑO DEL INYECTOR	149
ANEXO 13 SELECCIÓN DE BANDAS	150
ANEXO 14 CARACTERÍSTICAS DE MOTORES	154
ANEXO 15 PROPIEDADES DEL METAL DEPOSITADO	155
ANEXO 16 PROPIEDADES DE LOS ACEROS	157
PLANOS	159

TABLAS

TABLA 3-1 PLAN DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	50
TABLA 3-2 EQUIPOS E INSTRUMENTOS UTILIZADOS	50
TABLA 4-1 ÍNDICE DE RAPIDEZ DE SECADO MECÁNICO	66
TABLA 4-2 ÍNDICE DE RAPIDEZ DE SECADO MANUAL	67
TABLA 6-1 INFORMACIÓN GENERAL DE LA PROPUESTA	70
TABLA 6-2 COSTOS DE MATERIALES	73
TABLA 6-3 CARACTERÍSTICAS DEL CACAO	75
TABLA 6-4 DIÁMETRO DE INYECTORES.....	94
TABLA 6-5 VALORES DE LA RELACION DE CALORES ESPECIFICOS .	95
TABLA 6-6 MASA ESPECIFICA DEL GAS	96
TABLA 6-7 COEFICIENTES DE CONVECCION DE LOS GASES	99
TABLA 6-8 PARÁMETROS DEL FACTOR DE MODIFICACIÓN SUPERFICIAL DE MARIN.....	129
TABLA 6-9 EFECTO DE LA TEMPERATURA DE OPERACIÓN EN LA RESISTENCIA A LA TENSIÓN DEL ACERO	130
TABLA 6-10 FACTORES DE CONFIABILIDAD <i>KE</i> CORRESPONDIENTES A LAS 8 DESVIACIONES ESTÁNDAR	131

FIGURAS

FIGURA 1.1 PRINCIPALES PAISES PRODUCTORES DE CACAO.	2
FIGURA 1.2 PRODUCCIÓN DE CACAO EN EL ECUADOR	3
FIGURA 1.3 PRODUCCIÓN DE CACAO.	4
FIGURA 2.1 DATOS HUMEDAD LIBRE EN FUNCIÓN DEL TIEMPO.....	16
FIGURA 2.2 CURVA DE LA VELOCIDAD DE SECADO EN FUNCIÓN DE LA HUMEDAD LIBRE.....	17
FIGURA 2.3 SECADO NATURAL EN TENDAL DE CEMENTO.....	20
FIGURA 2.4 PROCESO DE RASTRILLADO.....	20
FIGURA 2.5 CLASIFICACIÓN DE LOS SECADORES SEGÚN SU TIPO DE PRODUCCIÓN.....	23
FIGURA 2.6 CLASIFICACIÓN DE LOS SECADORES SEGÚN SUS CONDICIONES FÍSICAS DE ALIMENTACIÓN.....	25
FIGURA 2.7 CLASIFICACIÓN DE LOS SECADORES POR SU ESCALA DE PRODUCCIÓN.....	26
FIGURA 2.8 CAMBIO DE PESO DURANTE UN PROCESO DE SECADO... ..	28
FIGURA 2.9 CONTENIDO DE HUMEDAD EN FUNCIÓN DEL TIEMPO DE SECADO.....	29
FIGURA 2.10 PLANTA DE CACAO.....	30
FIGURA 2.11 SEMILLA DE CACAO	31
FIGURA 2.12 PLANTA DE CACAO CRIOLLO	32
FIGURA 2.13 PLANTA DE CACAO FORASTERO	33
FIGURA 2.14 VIVERO DE PLANTAS DE CACAO NACIONAL	34
FIGURA 2.15 PLANTA DE CACAO TRINITARIO.....	35
FIGURA 2.16 CAJONES DE FERMENTACIÓN INDIVIDUALES	39
FIGURA 2.17 CAJONES DE FERMENTACIÓN TIPO ESCALERA	39

FIGURA 2.18 CATEGORÍAS FUNDAMENTALES	43
FIGURA 4.1 ESQUEMA DEL CACAO HÚMEDO	55
FIGURA 4.2 ESQUEMA DEL CACAO SECO.....	56
FIGURA 4.3 CURVA TEMPERATURA, HUMEDAD Y PESO VS. TIEMPO	57
FIGURA 4.4 CURVA TEMPERATURA, HUMEDAD Y PESO VS. TIEMPO	59
FIGURA 4.5 CURVA TEMPERATURA, HUMEDAD Y PESO VS. TIEMPO	60
FIGURA 4.6 CURVA HUMEDAD, PESO VS. TIEMPO.....	62
FIGURA 4.7 CURVA HUMEDAD, PESO VS. TIEMPO.....	63
FIGURA 4.8 CURVA HUMEDAD, PESO VS. TIEMPO.....	64
FIGURA 6.1 COMPOSICIÓN DE LA CÁMARA	85
FIGURA 6.2 CIRCUITO EQUIVALENTE DE LA CÁMARA.....	85
FIGURA 6.3 UBICACIÓN DE LAS TEMPERATURAS EN EL SILO	88
FIGURA 6.4 DIAGRAMA DE VELOCIDADES DEL RODETE.....	104
FIGURA 6.5 DIAGRAMA DE VELOCIDADES EN EL ASPA DEL RODETE	105
FIGURA 6.6 DIAGRAMA DE VELOCIDADES	107
FIGURA 6.7 DISEÑO PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL RODETE	108
FIGURA 6.8 ÁNGULO DE CONTACTO DE LA BANDA	115
FIGURA 6.9 DIAGRAMA DE FUERZA DEL EJE DEL VENTILADOR	121
FIGURA 6.10 DIAGRAMA DE FUERZAS Y MOMENTOS.....	122

SIMBOLOGÍA Y ABREVIATURA

L	Longitud total
x	Distancia
b	Base
h	Altura
P	Fuerza
M	Momento flector
E	Módulo de Young del material
I	Momento de Inercia
ρ	Densidad
D	Diámetro
l_c	Longitud crítica
A_w	Actividad de agua
M_m	Masa del cacao
C_{pm}	calor específico del cacao
T	Temperatura
Q_M	Calor requerido

Q_M	Calor promedio
B	Coeficiente de convección
N_{Ud}	Número de Nusselt
Ra_D	Número de Rayleigh
He	Coeficiente de convección promedio
Re	Cálculo del número de Reynolds
Qr	Pérdida De Energía De Calor A Través De La Pared
Rt	Temperatura en las paredes
ΔE_{Alm}	Energía Almacenada

TEMA: “ESTUDIO DEL PROCESO DE SECADO MECÁNICO CON GIRO CONTINUO DE GRANOS DE CACAO Y SU INCIDENCIA EN EL TIEMPO DE OBTENCIÓN DEL PRODUCTO EN LA FINCA INESITA DEL CANTÓN NARANJITO”

Autor: Marcos Teodoro Vargas Robles

RESUMEN EJECUTIVO

El presente proyecto tiene como objetivo principal diseñar una máquina secadora de granos de cacao, con la finalidad de cumplir una necesidad específica de un sector de la producción local en el Cantón Naranjito. Al interior de este documento se hace referencia además del producto a secar, el diseño y el proceso de armado de la máquina, considerando los objetivos señalados.

El primer paso consistió en buscar información necesaria referente a las condiciones o rangos necesarios para el secado de cacao en base a estas condiciones de diseño se realizaron 3 pruebas en un secador experimental, y se las comparo con 3 pruebas que se realizaron de forma manual, con las cuales realizamos las curvas de secado. A continuación elegimos las condiciones más satisfactorias para el diseño de la máquina. Finalmente se diseñó una secadora con una capacidad de 100 kg, y un volumen de la cámara de secado es de $200.7 \times 10^{-3} \text{m}^3$. Se incluye las respectivas hojas de procesos para cada uno de los elementos, además de los planos respectivos necesarios para la fabricación y montaje del mismo.

Se presenta también el análisis de costos relacionados con el diseño, las conclusiones y recomendaciones para el diseño de la máquina que se debe tener.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 TEMA:

“ESTUDIO DEL PROCESO DE SECADO MECÁNICO CON GIRO CONTINUO DE GRANOS DE CACAO Y SU INCIDENCIA EN EL TIEMPO DE OBTENCIÓN DEL PRODUCTO EN LA FINCA INESITA DEL CANTÓN NARANJITO”

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 Contextualización

Si bien hay cultivos de cacao en alrededor de unos 50 países, la producción mundial de cacao se cultiva principalmente en África del Oeste, Centro y Sudamérica y Asia. Los principales productores de cacao son: Ghana, Nigeria, Brasil, Costa de Marfil, Indonesia, Camerún, Ecuador, Togo que representan en conjunto el 91 % de la producción de cacao en grano a nivel mundial. Nuestro país ocupa actualmente el séptimo lugar como productor del grano. En la figura 1.1 se muestra el porcentaje del Ecuador con respecto a los demás países productores. (FAOSTAD, 2010)

La producción nacional de cacao, es aproximadamente del 70%, el cual se exporta en grano, el 25% en productos semielaborados de cacao (manteca, pasta o licor, polvo y chocolate) y el 5%, es consumido por la industria artesanal chocolatera en el país.

Según el último Censo Agropecuario que se lo realizó en el año 2000, los datos que se obtuvieron, nos dice que existen 243,059 hectáreas de cacao, se encuentra

como cultivo solo y 190,919 hectáreas de cacao se encuentra como cultivo asociado (Total 433,978 ha).

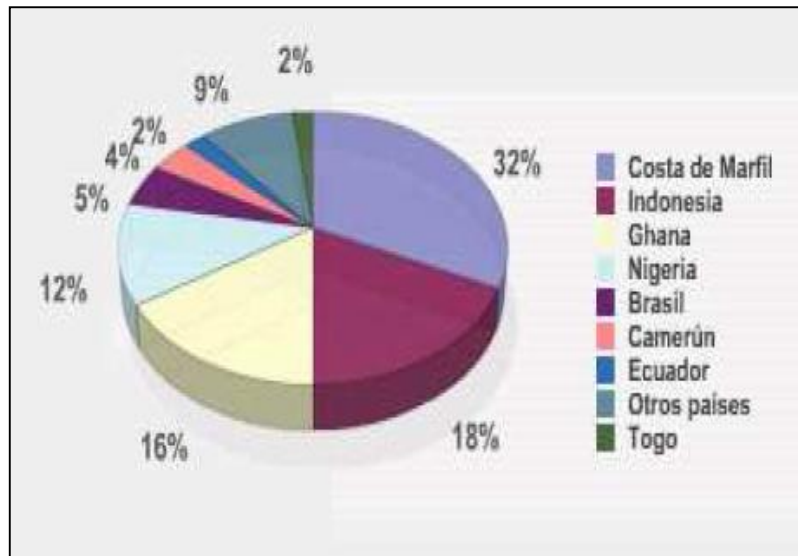


Figura 1.1 Principales países productores de cacao.

Fuente: FAOSTAT

La producción de cacao en el Ecuador es de aproximadamente 110,000 Ton anuales con un promedio de 5 quintales por hectárea anuales, cuyo volumen varía específicamente en función de los factores de orden climático. (AUEMTAR, 2010)

El cacao en el país representa el tercer rubro de exportación agrícola y constituye una fuente de ingreso para más de 100 000 pequeños productores de Esmeraldas, la Amazonía, Los Ríos, El Oro, Guayas y Manabí. La gran demanda de nuestro cacao es atribuida a las características únicas que éste posee, pues con él se fabrica el chocolate oscuro con mayor demanda en el mundo.

La producción cacaotera en el país, se origina por parte húmeda de la costa ecuatoriana, en las provincias de Los Ríos, El Oro y Guayas. En la actualidad el cultivo se encuentra distribuido en provincias de Costa, Sierra y parte del Oriente. (Anecacao, 2004)

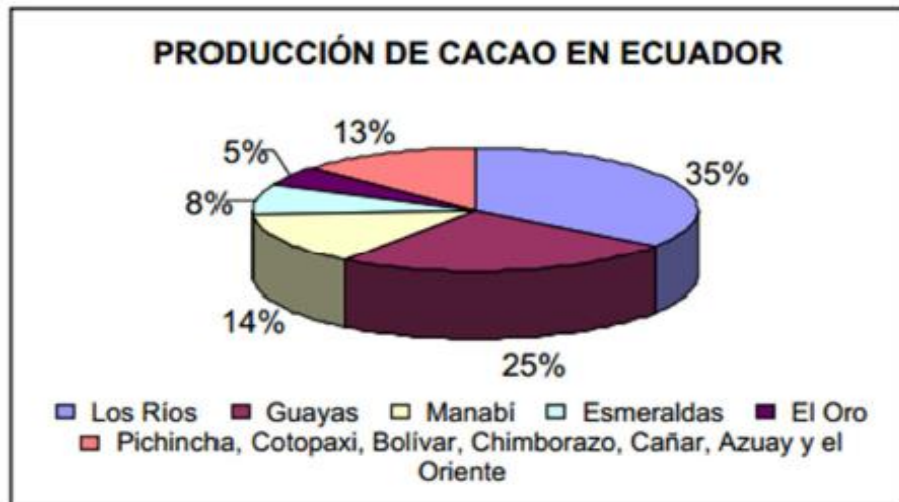


Figura 1.2 Producción de cacao en el Ecuador

Fuente: (Anecacao, 2004)

La situación actual de la Finca “INESITA” del Cantón Naranjito de la Provincia del Guayas es una comunidad dedicada a la actividad agrícola y ganadera, su principal fuente de trabajo es la producción café, cacao, frutas cítricas y cultivos de ciclo corto. Dentro de la producción cacaotera existe un gran número de personas dedicadas a esta actividad, el proceso actual de producción de cacao se lo muestra en el siguiente flujograma.

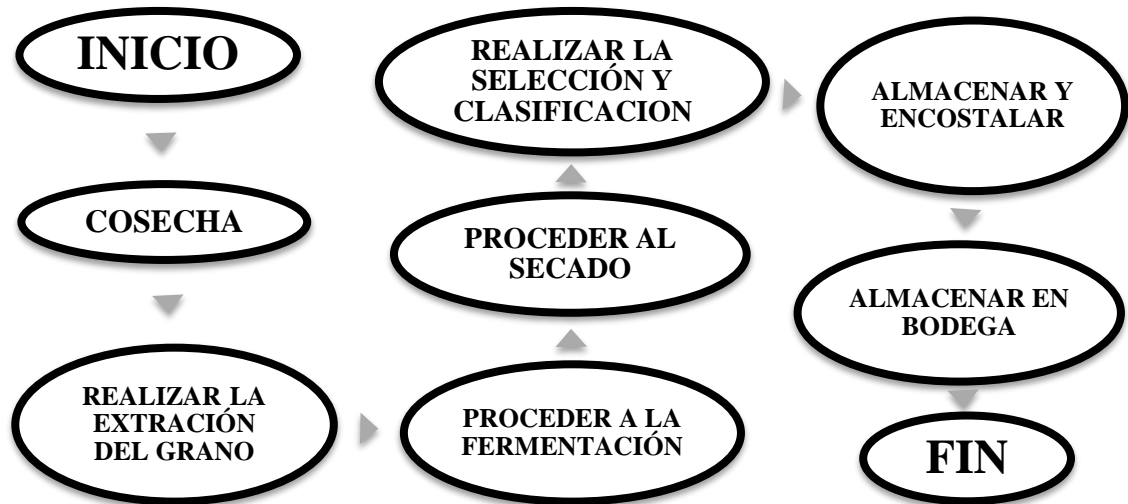


Figura 1.3 Producción de cacao.

Fuente: Marcos Vargas

1.2.2 Análisis crítico

La principal causa para que sean inadecuadas las condiciones de secado para el cacao, se debe al desconocimiento de la tecnología requerida por parte de los productores de la Finca “INESITA”, debido limitaciones económicas, técnicas y de gestión aprovechamiento, instalaciones para el almacenamiento, secado y la refrigeración en condiciones climáticas difíciles.

En cualquier proceso una causa para que la producción sea ineficiente es el escaso conocimiento con referencia a la utilización de maquinaria así como tiempos de secado del producto.

El proyecto de estudio nos dará criterios sobre la necesidad de mejorar el proceso de secado de cacao debido a que en algunos casos es artesanal, y su causa principal es la falta de inversión en el empleo de nuevos métodos y tecnología en este tipo de procesos.

Dentro de un mercado cacaoero tan competitivo la coloración que debe tener el cacao al final del secado tiene que ver con la consistencia y el aroma del producto, si el proceso de secado es manual o rudimentario el producto que se obtendrá al final será baja calidad.

La limitada idea de diseño y construcción de nuevos equipos ha provocado que la industria local no pueda abastecer al país. Mejorar el proceso de secado de cacao representa optimizar la producción y la calidad del producto final obtenido, disminuyendo el tiempo empleado para su preparación.

1.2.3 Prognosis

El secado de cacao genera varias desventajas, estas pueden ser que el secado de cacao no sea uniforme, tiempo elevado de secado, existencia de riesgo o accidentes, por eso, en la actualidad es necesario emplear un sistema de secado bien equipado que ayude a optimizar el proceso, mejorando de esta manera el tiempo de secado para aprovechar y explotar de mejor manera la producción de cacao para el consumo humano, y así obtener una mayor demanda en el mercado.

El proceso de secado inadecuado a futuro causaría efectos como el desecho, baja calidad del cacao como materia prima, ya que son utilizados para generar subproductos, además conllevará a pérdidas económicas a los productores y cada vez habrá más dificultades en la competitividad sectorial.

1.2.4 Formulación del problema

¿Se podrá disminuir el tiempo de secado de granos de cacao utilizando un proceso de secado mecánico con giro continuo?

1.2.5 Preguntas Directrices

¿Qué parámetros térmicos son necesarios establecer, para optimizar el proceso de secado de cacao?

¿Qué factores deben evaluarse para obtener un producto terminado de calidad en un menor tiempo?

¿Con la disminución del tiempo de secado de cacao se incrementara la producción del mismo dentro de la finca Inesita?

¿Cómo influyen las características de la materia prima en el proceso de secado?

¿Con el análisis de modelos aplicados para el secado de cacao se remplazará los procesos rudimentarios y equívocos?

1.2.6 Delimitación del problema

1.2.6.1 Delimitación espacial

La presente investigación se realizó en la finca “INESITA” ubicada en la Parroquia El Rosario del Cantón Naranjito, Provincia del Guayas, además para todos los pequeños productores dedicados a la producción de cacao.

1.2.6.2 Delimitación temporal

El estudio se realizó en un periodo que comprende los meses de Marzo del 2015 hasta Diciembre del 2015.

1.2.6.3 Delimitación de contenido

El presente estudio en su mayoría enfoca su realización a las siguientes áreas: Transferencia de calor, Diseño de elementos mecánicos y Resistencia de materiales.

1.3 JUSTIFICACIÓN

El proceso de secado de cacao se lo realiza en gran parte de forma errónea, dando así cabida a accidentes laborales, un bajo rendimiento en la producción, por tal

motivo la industria cacaotera necesita mejorar la tecnología y optar por sistemas completos que permitan disminuir el tiempo de procesamiento.

La ejecución de este proyecto permitirá a la finca “INESITA” que se dedica a la producción de cacao, obtener beneficios tales como: desarrollar el proceso de secado del producto de forma segura, evitar posibles accidentes laborales que se puede generar durante el proceso, además permitirá aumentar la producción disminuyendo el tiempo del proceso.

En nuestro país se debe desarrollar nuevas iniciativas de industrialización, razón por la cual el presente proyecto nos permitirá establecer los parámetros de secado que se ajuste a las necesidades de la finca “INESITA”, para implementar su uso con el cual se mejora el proceso de secado de cacao, ya que actualmente tiene una creciente demanda, siendo indispensable aumentar la producción.

En nuestro país existen grandes productores de cacao, los cuales aplican nuevas tecnologías que resultan muy costosas, para la adquisición de un pequeño productor, debido a que utilizan secadores industriales de gran tamaño para sus procesos los cuales son imposibles de adquirir por los pequeños productores.

El proyecto es beneficioso debido a que mediante el mejoramiento del proceso de secado de cacao, se podrá disminuir el tiempo de secado que se lo realiza de manera manual. A nivel nacional el consumo de cacao ha permitido que la industria alimenticia desarrolle diferentes procesos para su producción y procesamiento, el uso de un secador para realizar el secado del producto permitirá mejorar el tiempo del proceso de secado.

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 Objetivo general

- Determinar los parámetros del proceso de secado mecánico con giro continuo de granos de cacao que permitan disminuir el tiempo de producción y mejorar características del producto para su comercialización.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Establecer cuáles son los parámetros térmicos de funcionamiento para acelerar el proceso de secado de cacao.
- Evaluar los factores que influyen en proceso de secado del producto.
- Determinar el tiempo adecuado de secado de cacao para la elaboración de subproductos.
- Caracterizar la materia prima antes y después del proceso de secado

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

Estudios realizados anteriormente en instituciones de educación superior de los cuales se rescataron sus conclusiones y recomendaciones.

En la Universidad Técnica de Machala, Facultad de Ingeniería en Alimentos existe la tesis referente a la investigación con el Tema: “DISEÑO DE UN SECADOR DE CACAO PARA LA PARROQUIA EL PARAÍSO DEL CANTÓN LAS LAJAS DE LA PARROQUIA DE EL ORO” del año 2013, Autor: Jimmy Javier Torres Palacios , en la cual el diseño realizado garantiza que la humedad final del cacao acordes a los estipulados en tablas.

En la Escuela Politécnica Nacional Facultad de Ingeniería Mecánica existe la tesis referente a la investigación con el Tema: “DISEÑO DE UN SECADOR DE GRANOS DE CACAO FINO” del año 2010, Autores: Christian David Guachamin Velásquez, el diseño ofrece “el volteo”, beneficioso y minimiza la intervención de terceros para voltear los granos.

En la Escuela Superior Politécnica del Litoral Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción existe la tesis referente a la investigación con el Tema: “IMPLEMENTACIÓN DE UN EQUIPO DE SECADO PARA ALIMENTOS”, del año 2006, Autor: Juan Carlos Merino Plaza, en un proceso de secado existen factores muy importantes que se pueden variar durante el mismo; pero son solo dos quienes se constituyen en los verdaderos protagonistas del proceso. La temperatura y la velocidad del aire marcan la forma, la calidad y el tiempo en que se llevara a cabo este proceso.

2.2 FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA

El presente trabajo investigativo se encuentra en el paradigma Crítico-Propositivo porque se determinará el proceso de secado óptimo de cacao y en base a esto se podrá realizar la propuesta con la intención solucionar el problema que presenta la Finca “INESITA” en el tiempo del proceso secado y mejorar la calidad del producto.

2.3 FUNDAMENTACIÓN LEGAL

El presente trabajo investigativo se realizó de acuerdo a la norma

NTE INEN 173.- Esta norma tiene por objeto establecer el método para determinar el contenido de humedad en el cacao en grano.

NTE INEN 177.- Esta norma establece el procedimiento para la toma de muestra del cacao en grano.

2.4 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.4.1 PROCESO DE SECADO

El proceso de secado consiste en la remoción de un líquido de un material por la aplicación de calor, llevándose a cabo por evaporación. Este proceso se logra por la transferencia del líquido a un gas no saturado como aire. El objetivo del proceso de secado es detener o disminuir el crecimiento de microorganismos así como las reacciones químicas. En los alimentos se suele hablar de deshidratación. (Enriquez, 1995)

Este es un proceso que se basa en la remoción de la humedad de una material, y esto involucra a los fenómenos de transferencia de calor y masa, de una forma simultánea.

La transferencia de masa sucede en el instante que el sólido pierde humedad y la transferencia de calor se verifica cuando el medio en el que se encuentra el material entrega calor al sólido el que se emplea en la evaporación del agua que se va incorporando al aire a medida que transcurre este proceso.

Tenemos que una de las formas más usadas del proceso de secado radica en hacer que circule una corriente de aire caliente alrededor del material a secar.

2.4.1.1 Descripción general del proceso de secado.

El proceso de secado se describe como la eliminación de humedad, para originar un producto sólido y seco. Cuando un sólido húmedo es sometido a secado térmico, ocurrirán simultáneamente dos procesos:

Proceso 1.- Se encontrara transferencia de la humedad interna hacia la superficie del sólido.

Proceso 2.- Se encontrara transferencia de energía (comúnmente como calor) de los alrededores para evaporar la humedad de la superficie.

De los dos procesos, mencionados anteriormente se determina la velocidad con la cual el secado es realizado. La transferencia de energía, en forma de calor, de los alrededores hacia el sólido húmedo puede ocurrir como resultado de conducción, convección, y/o radiación y en algunos casos también se pueden presentar como una combinación de estos efectos. (Enriquez, 1995)

2.4.1.2 Condiciones externas.

Este caso se refiere a, la eliminación de agua en forma de vapor de la superficie del material, y depende de las condiciones externas tales como: temperatura, humedad y flujo del aire, área de la superficie expuesta y presión. Estas condiciones son importantes durante las etapas iniciales de secado cuando la humedad de la superficie está siendo removida. En algunos materiales puede haber encogimiento,

excesiva evaporación en la superficie, después de que la humedad inicial ha sido removida dando lugar a altos gradientes de humedad del interior a la superficie. Este fenómeno es causado por el sobresecado y encogimiento y consecuentemente las altas tensiones dentro del material, dando como resultado agrietamiento y deformación. (Enriquez, 1995)

2.4.1.3 Condiciones internas.

El movimiento de humedad dentro del material es una función de la naturaleza física dentro del sólido, la temperatura y su contenido de humedad. En una operación de secado cualquiera de estos procesos puede ser el factor que determine la velocidad de secado.

A partir de la transferencia de calor hacia un sólido húmedo, un gradiente de temperatura se desarrolla dentro del sólido mientras la evaporación de la humedad ocurre en la superficie. La evaporación produce una migración de humedad desde adentro del sólido hacia la superficie, la cual ocurre a través de uno o más mecanismos, normalmente, difusión, flujo capilar, presión interna causada por el encogimiento durante el secado. (Enriquez, 1995)

2.4.1.4 Mecanismo de secado.

Hay dos métodos para remover la humedad:

1. Evaporación. Esta ocurre cuando la presión del vapor de la humedad en la superficie del sólido es igual a la presión atmosférica. Esto se debe al aumento de temperatura de la humedad hasta el punto de ebullición. Si el material que está siendo secado es sensible al calor, entonces la temperatura a la cual la evaporación ocurre, la temperatura puede ser disminuida, bajando la presión (evaporación al vacío). Si la presión disminuye baja más allá del punto triple, entonces la fase líquida no puede existir y la humedad en el producto es congelada.

2. Vaporización. El secado es llevado a cabo por convección, pasando aire caliente sobre el producto. El aire es enfriado por el producto y la humedad es transferida hacia el aire. En este caso la presión del vapor de la humedad sobre el sólido es menor que la presión atmosférica. (Enriquez, 1995)

2.4.2 Objetivo del secado

El objetivo primordial del proceso de secado es reducir en gran parte el contenido de humedad del material y así evitando el crecimiento microbiano y las reacciones químicas en el producto a secar.

2.4.2.1 Factores que intervienen en el proceso de secado

2.4.2.2 Humedad relativa del aire

Se define como humedad relativa del aire a la razón de la presión de vapor de agua que se encuentra presente en ese momento, con respecto a la presión de saturación de vapor de agua a la misma temperatura. La misma que es expresada en porcentaje (%), a medida que se incrementa la temperatura del aire aumenta su capacidad de absorción de humedad y viceversa.

2.4.2.3 Velocidad del aire

Dentro del secador la velocidad del aire tiene como función principal, la de transmitir la energía que se requiere para calentar el agua que se encuentra dentro del material a secar lo cual facilita su evaporación, además la de transportar la humedad que sale del material. En el proceso de secado juega un papel importante la capa límite que se encuentra entre el material a secar y el aire. La forma en la que se encuentra la corriente del aire es importante para la velocidad de secado, la corriente turbulenta es mucho más eficaz que una laminar, pues la primera afecta en mayor forma la capa límite y el aire. Cuando el material contiene un elevado

contenido de humedad, la velocidad del aire desempeña un papel muy importante en las primeras etapas del secado.

A una mayor velocidad de secado, la tasa de evaporación disminuye y el tiempo de secado aumenta. Por esta razón, para asegurar un secado rápido y uniforme es necesario una circulación del aire de forma regular.

2.4.2.4 Temperatura del aire

En el proceso de secado, la elección de la temperatura adecuada se la toma tomando en consideración el producto que se someterá en este proceso. Se encuentran diferentes niveles de temperatura que se mantienen durante el proceso de secado. Mientras dura el proceso de secado, se origina un gradiente de temperatura la cual tiene una relación con respecto al espesor del material a secar.

2.4.2.5 Actividad de agua

La actividad de agua es un parámetro que durante años se ha relacionado con la estabilidad de los alimentos. En términos simples la actividad de agua (A_w) es la medida de la presión relativa de las moléculas de agua en el espacio de cabeza por encima del alimento el cual está en un recipiente, comparado con la presión que ejerce el agua pura a la misma temperatura.

Se puede mencionar que A_w es un parámetro empírico que correlaciona el crecimiento microbiano y las reacciones químicas. A pesar de que se ha demostrado que no es un factor determinante continúa siendo una ayuda debido a que los costos del instrumento son bajos y sus mediciones son fáciles. La FDA así como otras agencias utilizan la A_w como uno de los factores de seguridad en los sistemas alimenticios. Así como el pH indica el grado de acidez la A_w indica el grado de disponibilidad de agua. (Nonhebel, 1979)

2.4.3 Cinética del secado.

A la velocidad de secado se la define como la pérdida de humedad del material húmedo con respecto a la unidad de tiempo, y más exactamente por el cociente diferencial $\left(-\frac{dx}{d\theta}\right)$ operando en condiciones constantes, es decir con aire cuyas condiciones (humedad, presión, temperatura y velocidad) permanecen constantes con relación al tiempo. La velocidad de secado se refiere analíticamente a la unidad de área de la superficie de secado, de acuerdo con la ecuación:

$$W = \frac{S}{A} = \left(-\frac{dx}{d\theta}\right) \quad \text{Ecuacion 2.1 cinetica del secado}$$

Donde:

S = Peso del solido seco

A = Area de la superficie espuesta

W = Velocidad del secado

2.4.3.1 Curvas de cinética de secado

Tenemos que a partir de las curvas de cinética de secado (x vs t , dx/dt vs x), las cuales deben ser obtenidas a nivel de laboratorio, puede tenerse una idea del consumo de energía, del mecanismo de migración de humedad, del tiempo de secado, de las condiciones predominantes en la transferencia de calor y masa y de la influencia que tienen en la velocidad de secado las variables del proceso tales como: , humedad de entrada, temperatura, velocidad del aire, etc. Con los datos obtenidos durante la prueba de secado o sea de la variación de la humedad con el tiempo, puede hacerse un gráfico de contenido de humedad en función del tiempo. (Nonhebel , 1979)

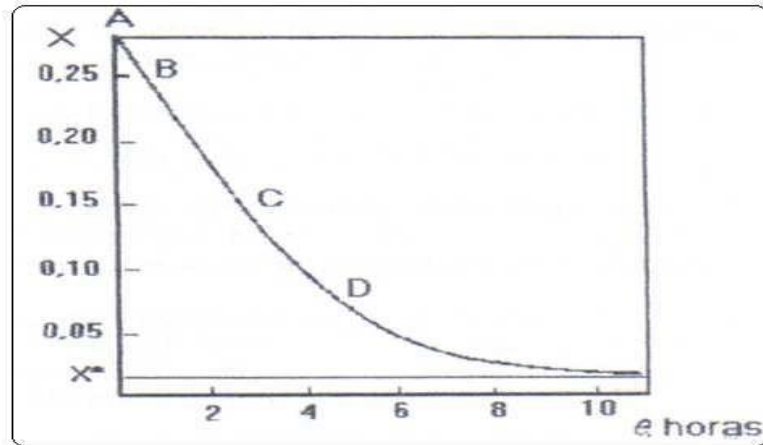


Figura 2.1 Datos humedad libre en función del tiempo

Fuente: G, Nonhebel “El secado de sólidos en la industria Química”

Fase B; la estabilización, donde tenemos que las condiciones de la superficie del sólido se equilibran con las del aire de secado. Habitualmente es una proporción despreciable del total de secado.

Fase C; el periodo de velocidad constante, mientras dure el mismo la superficie del sólido se mantiene saturada de agua líquida debido a que el movimiento del agua desde el interior del sólido hasta la superficie ocurre a la misma velocidad que la de la evaporación en la superficie.

Fase D; el periodo de velocidad decreciente, en la superficie del sólido comienza a desecarse ya que el agua que aun se halla en su interior encuentra dificultades para llegar a la superficie del sólido. La temperatura del sólido comienza hasta aproximarse a la temperatura aire de secado cuando el producto se ha desecado totalmente. Esto es lo que determina que la temperatura del aire deba moderarse para evitar que la temperatura del producto supere la temperatura crítica. (Nonhebel , 1979)

2.4.3.2 Curvas de régimen de secado

Con las curvas de régimen de secado se puede obtener bastante información si se convierten los datos a regímenes de secado, y se lleva a un gráfico en función del contenido de humedad. Se pueden apreciar dos partes notorias de la curva de régimen de secado: un período de régimen constante y uno de caída de régimen, aunque en la teoría existen o se pueden apreciar tres etapas del proceso o períodos de secado.

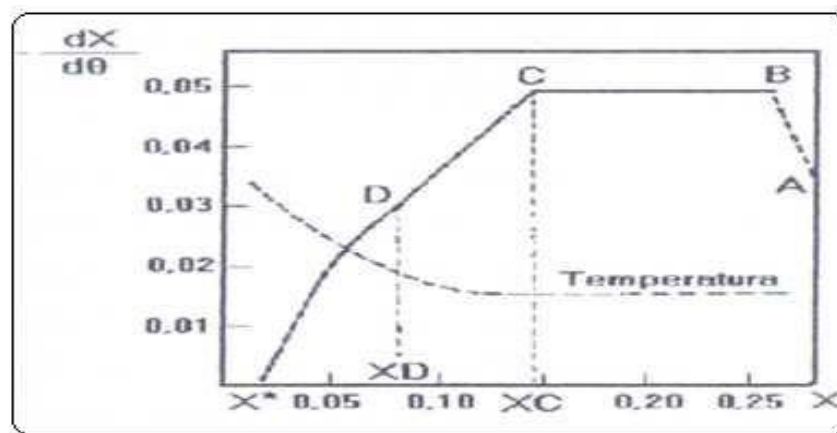


Figura 2.2 Curva de la velocidad de secado en función de la humedad libre

Fuente: G, Nonhebel "El secado de sólidos en la industria Química"

Etapa A-B: En esta etapa de calentamiento inicial del sólido normalmente es de poca duración en la cual la evaporación no es significativa por su intensidad ni por su cantidad. En esta etapa el sólido se calienta desde la temperatura ambiente hasta que se alcance el equilibrio entre el enfriamiento por evaporación y la absorción de calor de los gases. Este equilibrio se alcanza a la temperatura de bulbo húmedo del gas. (Nonhebel , 1979)

Etapa B-C: O también llamado primer período de secado o período de velocidad de secado constante; donde se evapora la humedad libre o no ligada del material y en la cual predominan las condiciones externas. La velocidad de secado se mantiene

constante si el gas tiene un estado estacionario y en general depende solo de las propiedades y velocidad del mismo. Durante este período la temperatura del sólido se mantiene igual a la de bulbo húmedo del gas, ya que se mantiene el equilibrio alcanzado al final de la etapa de calentamiento.

Etapa C-D: o también llamado 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. Durante este período, la temperatura del material sobrepasa la de bulbo húmedo debido a que el descenso de la velocidad de secado rompe el equilibrio térmico que mantiene estable la temperatura y una parte considerable del calor se emplea en un calentamiento del sólido. (Nonhebel , 1979)

2.4.3.3 Clasificación y selección de secadores.

La selección del contenido final de humedad es principalmente dictada por los requerimientos de almacenamiento y estabilidad. El contenido final de la humedad determina el tiempo total de secado y las condiciones requeridas para el proceso. Los gradientes de humedad interna dentro de las partículas y la variación del contenido de humedad entre las partículas son importantes. Las restricciones de temperatura pueden aumentar a causa de la degradación térmica, cambios de fase, decoloración y manchas, flamabilidad de polvos, entre otros factores. La sensibilidad térmica es la que fija la temperatura máxima a la cual el producto puede ser expuesto durante el tiempo de secado.

La primera subdivisión está basada en métodos de transferencia de calor:

1. Conducción de calor.
2. Convección de calor.
3. Radiación de calor.
4. Calefacción dieléctrica.

La siguiente subdivisión está basada en el tipo de recipiente secador:

1. Bandeja.
2. Tambor rotatorio.
3. Lecho fluidizado.
4. Neumático.
5. Spray.

2.4.4 Secado

Es el proceso durante el cual las almendras de cacao, terminan de perder el exceso de humedad que contienen y están listas para ser vendidas.

Durante el tiempo de secado las almendras de cacao terminan los cambios para obtener el aroma y el sabor a chocolate. Además se producen cambios en el color, apareciendo el color típico marrón del cacao fermentado y secado correctamente.

Existen distintos métodos de secado pudiendo ser natural o artificial.

2.4.4.1 Métodos de Secado

2.4.4.2 Secado natural

Se lo hace aprovechando el calor solar, se utiliza tradicionalmente tendales de caña o de cemento, donde se mantiene al producto hasta que alcance su grado óptimo de secado, obteniéndose almendras con mayor aroma.

El tiempo del secado al natural varía de acuerdo a la situación climática de la región, se lo debe exponer al sol por lo menos 4 días.



Figura 2.3 Secado natural en tendal de cemento

Fuente: Marcos Vargas

Durante el transcurso del día soleado se realiza el procedimiento, para la optimización del secado, conocido como rastrillado que consiste en mover el cacao con un rastrillo que es de madera elaborado manualmente para este fin. Este proceso es realizado por la persona encargado, quien es responsable de realizar esta proceso varias veces al día.

El principal inconveniente del secado natural es que no se pueden controlar las condiciones climáticas, las cuales no permiten un buen secado.



Figura 2.4 Proceso de rastrillado

Fuente: Marcos Vargas

2.4.4.3 Secado mecánico o artificial

Se efectúa mediante el empleo de estufas o secadoras mecánicas; por lo general se utiliza en zonas húmedas en las que hay poca presencia de luz solar. Estas máquinas hacen pasar una corriente de aire seco y caliente por las almendras del cacao.

El secado artificial o mecánico determina mayores gastos pero tiene ventajas, pues al controlarse las variables del tratamiento, en el lapso de unas horas, es posible obtener un producto homogéneo y de excelente calidad comercial. (Enriquez, 1995)

Hay diversos métodos para deshidratar, y estos pueden clasificarse, de la siguiente forma:

- a) Desecación por aire caliente.
- b) Desecación por contacto directo con una superficie caliente.
- c) Desecación por aporte de energía de una fuente radiante de microondas o dieléctrica.
- d) Liofilización.

De ellos, el más utilizado es la aplicación de una corriente de aire caliente. Sobre éste método se toman algunas consideraciones con la intención de ayudar a comprender el proceso y su control.

Si se considera un sólido inerte, mojado con agua pura, que se deseca en una corriente de aire caliente que circula paralelamente a la superficie de desecación, y suponiendo además que la temperatura y la humedad del aire sobre la superficie del sólido se mantienen constantes durante todo el ciclo de desecado y que todo el calor necesario es aportado por dicha corriente de aire. (Nonhebel , 1979)

2.4.4.3.1 Clasificación de los secadores mecánicos según su tipo

Existen en el mercado muchos tipos de secadores para la industria, cada uno diseñado para su propia especialidad y algunos lo suficientemente versátiles como para secar más de un tipo de material húmedo. Los secadores pueden clasificarse de acuerdo con el modo de operar o con el servicio requerido. Sin embargo, la elección de un secador se reduce a decidir entre no más de tres tipos, teniendo en cuenta el rendimiento y la economía de cada uno de ellos.

Métodos de operación

La figura 2.5 clasifica a los secadores según su método de operación. Se hace una primera subdivisión según la forma de Transferencia de Calor.

- Calentamiento por conducción
- Calentamiento por convección
- Calentamiento infrarrojo o sea todas las formas de calentamiento por radiación.
- Calentamiento dieléctrico.

La liofilización puede incluirse en la clasificación como un caso especial de calentamiento por conducción. La siguiente subdivisión principal es por tipo de recipiente de secado, bandejas, tambor rotatorio, lecho fluidizado, neumático o pulverización. En la figura 2.5 se muestra cuáles son los recipientes que realmente se adaptan mejor a la operación, al vacío o con atmósferas inertes.

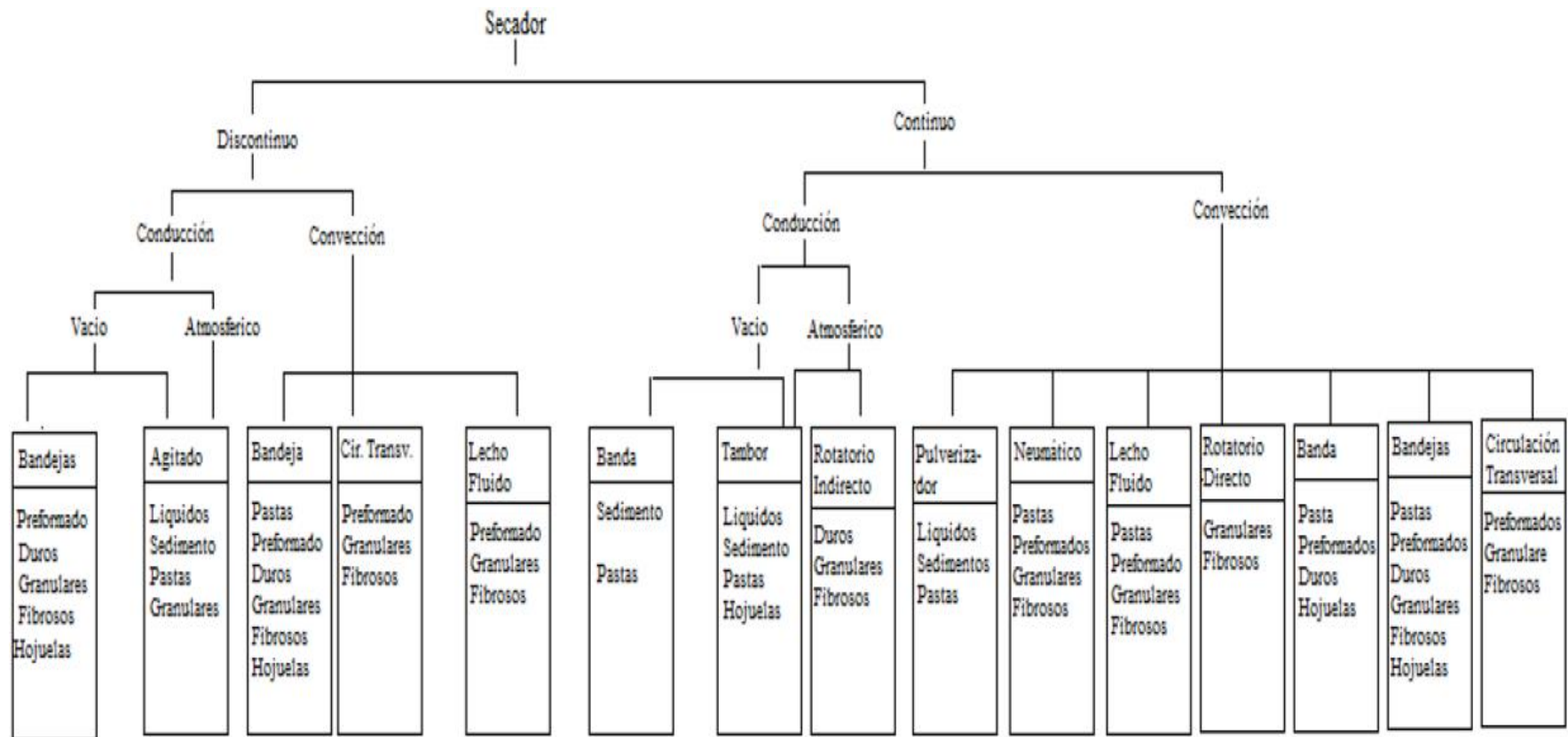


Figura 2.5 Clasificación de los secadores según su tipo de producción

Fuente: Nonhebel G, Secado de Sólidos (1979, Abril)

2.4.4.4 Condiciones físicas de alimentación

En primer lugar, debe ponerse de relieve que antes de proceder al secado, deben usarse medios puramente mecánicos para reducir la humedad de la alimentación a la menor cantidad posible, pues con pocas excepciones, los procesos de evaporación, filtración y centrifugación son más rápidos y baratos que los procesos equivalentes en la planta de secado.

En la figura 2.6 se muestra la clasificación de los secadores desde el punto de vista de las condiciones físicas del material que va a ser secado. (Nonhebel , 1979)

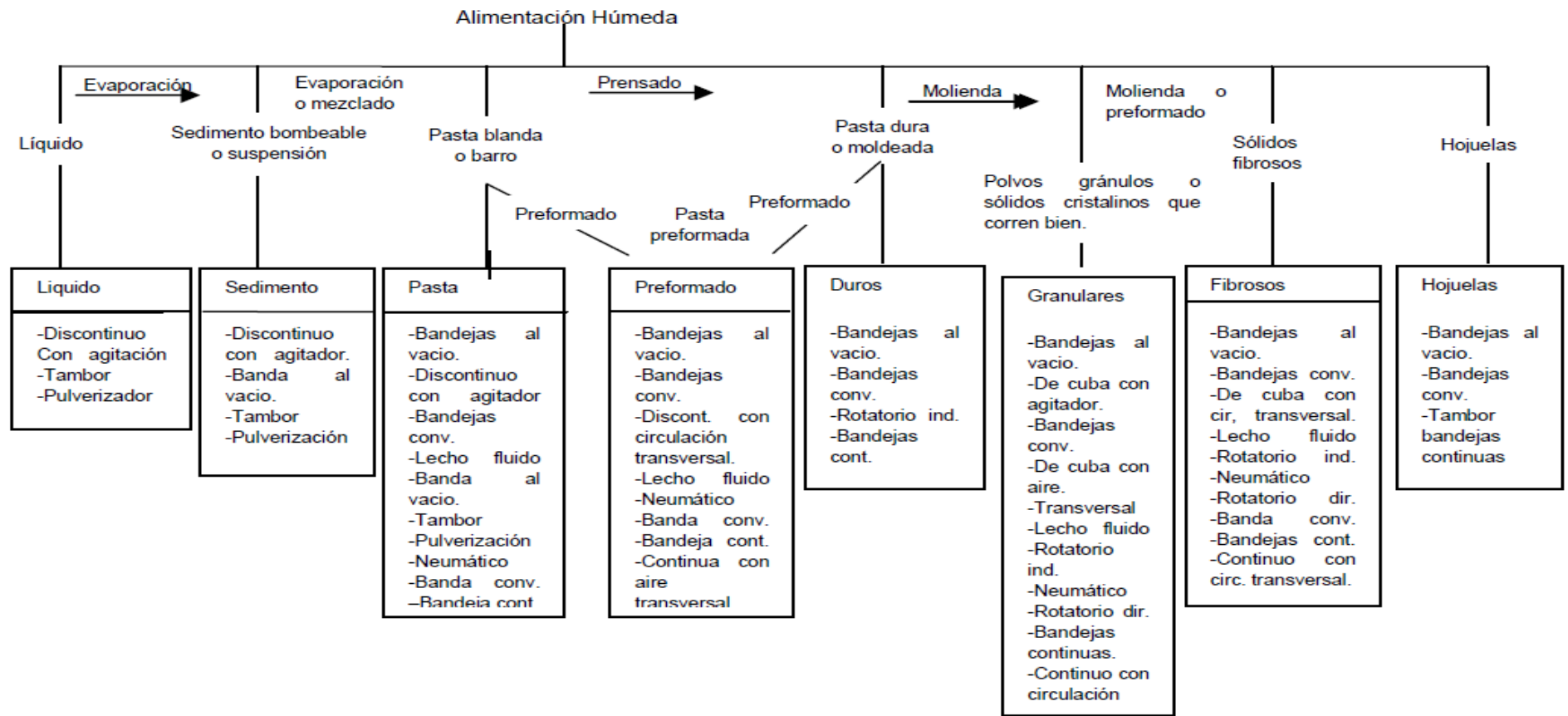


Figura 2.6 Clasificación de los secadores según sus condiciones físicas de alimentación

Fuente: Nonhebel G, Secado de Sólidos (1979, Abril)

2.4.5 Escala de producción

En la figura 2.7 se muestran los diversos tipos de secadores disponibles, clasificados de acuerdo a la escala de producción. Puede verse que la cantidad de tipos de secadores disponibles para secado continuo en gran escala es mucho más limitada que para equipos de tamaño medio. (Nonhebel , 1979)

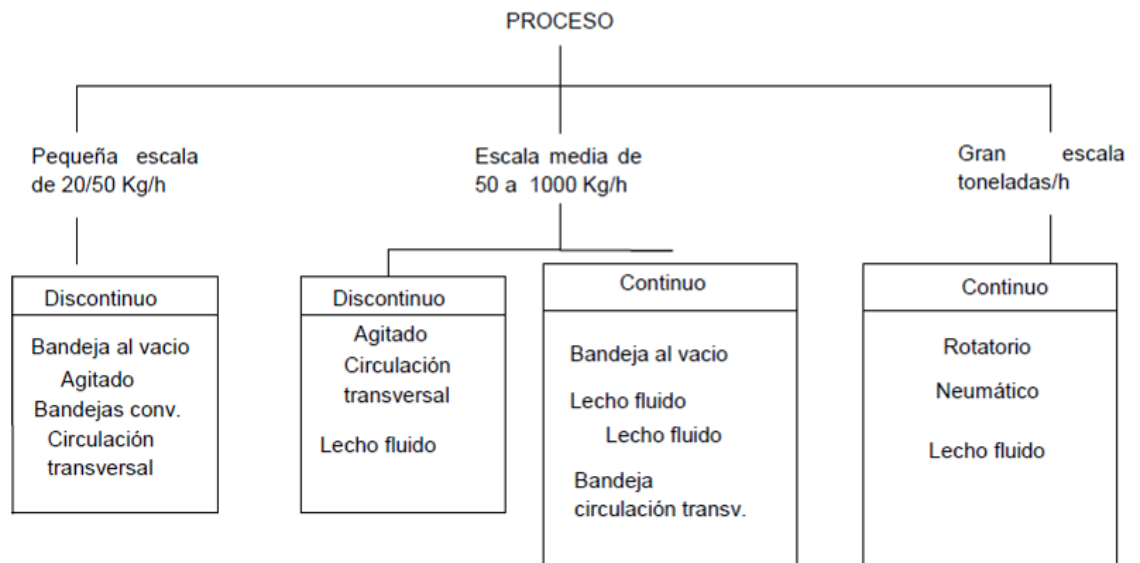


Figura 2.7 Clasificación de los secadores por su escala de producción.

Fuente: Nonhebel G, Secado de Sólidos (1979, Abril)

2.4.6 Proliferación de microorganismos

Las células vivas son sensibles al contenido de humedad en su medio ambiente. La habilidad de los microorganismos para crecer y producir toxinas se relaciona con la actividad de agua del medio

2.4.6.1 Fenómenos físicos y estructurales

Cambios geométricos y estructurales en los alimentos durante el secado afecta las propiedades de transferencia de masa y la calidad del producto. Los defectos más comunes en productos deshidratados son dureza, textura como madera,

rehidratación lenta e incompleta, pérdida de jugosidad (típica de alimentos frescos) y cristalización de polisacáridos como almidones. El encogimiento es uno de los cambios más comunes de la deshidratación y ocurre durante las primeras etapas del secado.

2.4.6.2 Aplicaciones del proceso de secado

En alimentos el secado es reducir el volumen y peso de los materiales obteniendo de esta manera la disminución del costo en el transporte y almacenamiento. Adicionalmente ayuda a la conservación y estabilidad de productos animales y vegetales para disminuir el crecimiento de hongos y bacterias. En definitiva, el secado permite obtener un producto más estable, especialmente en alimentos.

2.4.6.3 Psicometría

Psicometría es el estudio del comportamiento de las mezclas agua-aire. La tabla psicométrica se basa en graficar la humedad del aire en función de la temperatura. La tabla psicométrica involucra la ganancia o pérdida de humedad en aire.

2.4.6.4 Curva o diagrama psicrométrico

Es un diagrama de humedad que nos muestra las características de humedad del aire. Estas curvas son representaciones gráficas de la relación entre temperatura y humedad del vapor de agua en el aire en un sistema a presión constante. Las temperaturas y volúmenes específicos se muestran en el eje horizontal, y en el vertical la humedad absoluta y la presión de vapor. Esquema de una carta psicométrica Anexo 10.

2.4.7 El proceso de secado

En los procesos de secado, los datos suelen expresarse como la variación que experimenta el peso del producto que se está secando con el tiempo y lo podemos

observar en la figura 2.8. Aunque a veces, los datos de secado pueden expresarse en términos de velocidad de secado.

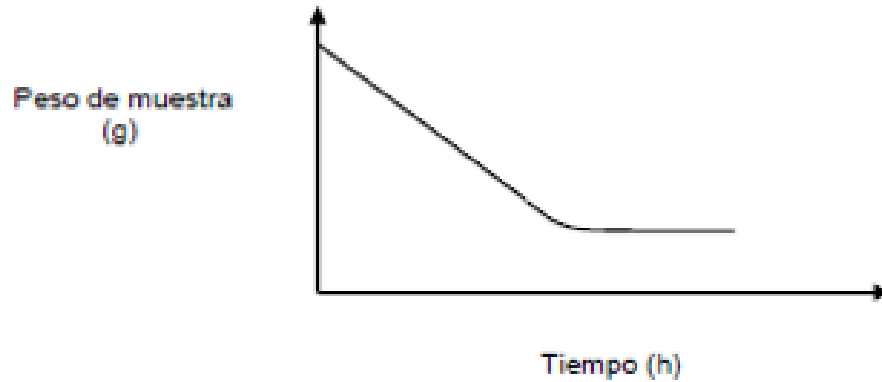


Figura 2.8 Cambio de peso durante un proceso de secado.

Fuente: Fuente: Nonhebel G, Secado de Solidos (1979, Abril)

El contenido en humedad del producto se define como la relación entre la cantidad de agua en el alimento y la cantidad de sólidos secos y se expresa como:

$$X_t = (W_t - F_s) / F_s \quad 2.2$$

Dónde:

W_t = Peso total de material en un tiempo determinado.

F_s = Peso de los sólidos secos,

X_t = Humedad expresada como peso de agua/peso de sólido seco. (Nonhebel , 1979)

En los procesos de secado una variable muy importante es la denominada contenido de humedad libre, X . El contenido de humedad libre se puede evaluar si se considera el contenido de humedad de equilibrio.

$$X = X_t - X_{eq} \quad 2.3$$

En la que:

X_{eq} = Contenido de humedad cuando se alcanza el equilibrio.

Una típica curva de secado se obtiene al representar el contenido de humedad libre X frente al tiempo de secado t lo podemos observar en la figura 2.9.

La velocidad de secado (IRS) es proporcional al cambio del contenido de humedad en función del tiempo (t): (Nonhebel , 1979)

$$IRS \propto dX/dt \quad 2.4$$

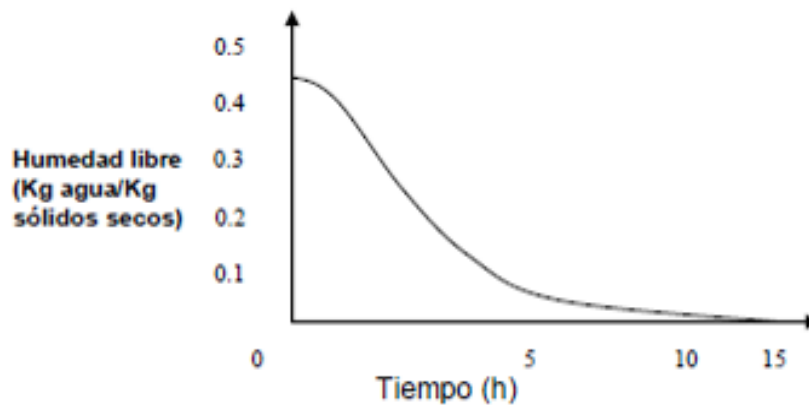


Figura 2.9 Contenido de humedad en función del tiempo de secado.

Fuente: Nonhebel G, Secado de Solidos (1979, Abril)

$$IRS = - (Fs/A1) (dX/dt) \quad 2.5$$

2.4.8 La Planta De Cacao

El árbol de cacao de la figura 2.10 (*Theobroma cacao* L. de la familia Sterculiaceae) es normalmente un árbol pequeño entre 4 y 8 metros de alto, aunque si recibe

sombra de árboles grandes, puede alcanzar los 10 metros de alto. El tallo es recto, la madera de color claro, casi blanco, y la corteza es delgada., de color café. El fruto (la nuez del cacao) puede alcanzar una longitud de 15 – 25 centímetros. Cada fruto contiene entre 30 y 40 semillas, que una vez secas y fermentadas se convierten en cacao en grano. Las semillas de color marrón- rojizo en el exterior y están cubiertas de una pulpa blanca y dulce. (MALESPÍN, 1982)



Figura 2.10 Planta de cacao

Fuente: Marcos Vargas

Para obtener una producción ideal, los arboles de cacao necesitan una temperatura constante de cerca de 24-26 grados centígrados, lluvias abundantes y regulares, además de un suelo rico en potasa, nitrógeno y en oligo-elementos, los arboles jóvenes son particularmente sensibles al sol y al viento por lo que necesitan desarrollarse a la sombra de otros árboles como el banano, el caucho, etc. estos árboles se los conoce como “Madres de cacao”, un árbol puede vivir hasta 30-40 años, en las plantaciones por lo general se remplazan los arboles de cacao a partir de los 25 años.

Después de desgranar las semillas (Figura 2.11) son fermentadas y luego secadas al sol. Para el secado del grano debe tener una humedad entre el 7 al 8% para

considerarse optimo, un árbol produce por término medio de 0.5 a 2 Kg de semillas secas ala año. (MALESPÍN, 1982)



Figura 2.11 Semilla de cacao

Fuente: Marcos Vargas

2.4.8.1 Variedades de cacao en el Ecuador

Los cacaos cultivados presentan una variedad grande en lo referente a las características de la forma, color y dimensiones, de las distintas partes de la flor, del fruto o de la semilla. Durante miles de años el cacao ha sido cultivado en América y todos los tipos que se encuentran no son más que variedades de los que apenas es posible conocer su origen e historia.

Se han producido mutaciones, se han hecho selecciones y han intervenido numerosos cruzamientos naturales. Sin embargo, es posible describir una clasificación aceptada por la mayoría de autores y distribuirlos en los siguientes grupos. (BRAUDEAU, 1970)

- Criollo
- Forastero amazónico
- Trinitario

- Nacional

2.4.8.1.1 CRIOLLO

El término de cacao criollo (indígena) originalmente fue atribuido por los conquistadores españoles al cacao cultivado en ese entonces en Venezuela. Actualmente, se ubica en este grupo todos los casos que muestran las mismas características de los antiguos criollos venezolanos, principalmente los tipos con cotiledones color blanco se cultivan en América Central, México, Venezuela y Colombia.

Este tipo tienen sus flores con estaminoides de color rosado pálido, mazorcas de color rojo a amarillo al estado de madurez, como se indica en la figura 2.12, con diez surcos profundos, muy rugosos y punteadas; los cotiledones frescos son de color blanco o violeta pálido. Requieren de un período corto para fermentar (2-3 días), es muy aromático y se los designa comercialmente como “cacao fino”. (BRAUDEAU, 1970)



Figura 2.12 Planta de cacao criollo

Fuente: Marcos Vargas

2.4.8.1.2 FORASTERO AMAZÓNICO

Este grupo comprende a los cacaos de África Occidental y Brasil, que proporcionan el 80% de la producción mundial. Son llamados como amazónicos, porque están distribuidos en forma natural en la cuenca de ese río y sus afluentes.

Se reconoce como centro de origen de este centro genético el área localizada entre los ríos Putumayo, Napo y Caquetá, en América del Sur

Los estaminoides de este grupo son pigmentados de violeta, las mazorcas son amarillas cuando están maduras, con surcos y rugosidad; lisas y de extremo redondeado. Se observa las características de la planta en la figura 2.13. (BRAUDEAU, 1970)



Figura 2.13 Planta de cacao forastero

Fuente: Marcos Vargas

La cáscara de la mazorca es relativamente gruesa sus granos más o menos aplastados con los cotiledones frescos de color púrpura oscuro. Requiere un período de 4 a 6 días para fermentar. (BRAUDEAU, 1970)

2.4.8.1.3 CACAO NACIONAL

La variedad “Nacional”, por mucho tiempo se la ha considerado perteneciente a los Forasteros, pero se la mantiene como un grupo distinto aparte, porque sus características de calidad y aroma se asemejan más a los criollos. (BRAUDEAU, 1970)



Figura 2.14 Vivero de plantas de cacao nacional

Fuente: Marcos Vargas

2.4.8.1.4 TRINITARIO

Los trinitarios ocupan del 30 al 40% de la producción mundial. Botánicamente son un grupo complejo, constituido por una población híbrida que se originó en la Isla de Trinidad, cuando la variedad original (Criollo de Trinidad), se cruzó con la variedad introducida de la Cuenca del Orinoco. (Guamán, 2007)

Las características genéticas, morfológicas y de calidad son intermedias entre criollos y forasteros, determinando diversos tipos de cacao. La planta y fruto de esta variedad de cacao se puede observar en la figura 2.15.



Figura 2.15 Planta de cacao trinitario

Fuente: Marcos Vargas

2.4.8.2 PROCESAMIENTO DEL FRUTO

La preparación del cacao como materia prima para la industrialización del producto, incluye una serie ordenada de procesos que inicia con la cosecha de mazorcas maduras, extracción de almendras, fermentación y termina con el secado del grano.

El fin de este proceso es convertir la materia prima en un producto comercial, de mejor calidad, fácil transporte y almacenamiento. Es necesario tomar en cuenta que la calidad del cacao depende de otros factores, como son el tipo genético, el medio donde se desarrolla el cultivo, el método de fermentación y secado. (Guamán, 2007)

2.4.8.3 COSECHA

La cosecha se realiza una vez que la mazorca ha llegado a su madurez, lo que se aprecia por el cambio de su coloración. Se debe seleccionar las mazorcas sanas y descartar las enfermas.

Los árboles de cacao florecen dos veces al año, siendo principalmente los meses de floración en julio y junio, en los meses de septiembre y octubre tiene lugar una segunda floración pero más pequeña. (Guamán, 2007)

El período de maduración de los frutos oscila entre los cuatro y los seis meses, según la altura sobre el nivel del mar y de la temperatura. Así la primera cosecha se concentra en los meses de octubre, noviembre y diciembre y la segunda durante marzo y abril.

Cosechar máximo cada 15 días en época lluviosa y 30 días en época seca, en época de alta producción generalmente la cosecha es semanal. Se recomienda que no se debe cosechar antes de que haya un cambio definitivo de color indicando madurez, así como tampoco mazorcas sobre maduras ya que empiezan a germinar las almendras. (Semilla del fruto de cacao). (Guamán, 2007)

2.4.8.4 POST COSECHA

2.4.8.4.1 Extracción del cacao

La apertura y extracción del grano de la mazorca, de preferencia debe efectuarse dentro de la misma plantación, pero rotando los sitios para esta labor, debido a que los cascarrones sirven de refugio natural a los insectos polinizadores, a su vez que constituyen una fuente natural de materia orgánica y minerales al suelo. (Guamán, 2007)

Se realiza la extracción del grano de la mazorca, generalmente de forma manual, teniendo el cuidado de no lastimar los granos y no mezclar las almendras con la placenta o vena y pedazos de cáscaras. En secuencia se debe realizar la fermentación de las almendras, que constituye la parte más importante del proceso por cuanto es responsable del aroma y sabor a chocolate. Químicamente es un proceso que se desarrolla por la presencia de microorganismos (levaduras, bacterias) y por los fermentos que se generan. (Guamán, 2007)

2.4.8.4.2 Fermentación

La fermentación conocida también como cura, preparación, cocinado, etc. Es el proceso al que se somete las almendras frescas, que mata el embrión y permite a las almendras adquirir su particular calidad, dando como resultado un producto un producto con el sabor precursor del chocolate. Para ello se necesita de lugares acondicionados y bien ventilados. Cuando las almendras no fermentan debido a que se realiza mal éste proceso, produciéndose el llamado cacao corriente.

La duración del sistema de fermentación, no debe ser mayor de tres días para el cacao. Existen varios métodos para realizar la fermentación, siendo los más empleados la fermentación en montones, en sacos, en cajas, y el empleo de tendales. (Guamán, 2007)

2.4.8.4.3 Fermentación en montón

Para el sistema de montón se requiere sacar el maguey (placenta) y luego se hace el montón con la mayor altura posible sobre un piso de madera, caña o cemento. Luego se lo cubre con plástico u hojas de bijao, o plátano para evitar la fuga de color y la pérdida de temperatura, y se lo destapa cada 24 horas para moverlo y obtener un proceso normal, inmediatamente se lo vuelve a tapar y este proceso se cumple durante 4 días que el tiempo necesario para que el cacao se encuentre correctamente fermentado. (Guamán, 2007)

2.4.8.4.4 Fermentación en sacos

Para realizar la fermentación con esta técnica, se procede a llenar la pepa de cacao en grano en sacos, para luego poner en una superficie alta, lo cual facilita el escurrimiento de la baba del cacao, este proceso dura 4 días antes de ser llevado al secado. (Guamán, 2007)

2.4.8.4.5 Fermentación en cajas

Construidas con madera; el tamaño depende de la cantidad de la cosecha, no se recomienda utilizar maderas como: teca, roble, porque transmiten olores que se impregnan a las almendras

El manejo en cajones tiene que seguir los siguientes pasos:

- Remover las almendras cada 48 horas o cambiarlas de cajón.
- Utilizar pala de madera para la remoción
- No mezclar las almendras cosechadas en días diferentes
- Mantener limpios los cajones de fermentación.

El cacao nacional se fermenta en 4 días, el trinitario en 6 días. (Guamán, 2007)

Los diseños más comunes de fermentadores en cajones son individuales y de escalera como se indica en la figura 2.16 y 2.17.



Figura 2.16 Cajones de fermentación individuales

Fuente: Marcos Vargas



Figura 2.17 Cajones de fermentación tipo escalera

Fuente: <http://www.infoagro.go.cr/Agricola/indexagric.htm>

El principal problema de calidad que caracteriza al cacao ecuatoriano es su deficiente fermentación, lo que ocasiona la presencia de altos índices de granos violetas y pizarrosos, además de granos defectuosos e impurezas, y de la pérdida de aroma. (Guamán, 2007)

2.4.9 Fórmulas Utilizadas

- **Calor específico del cacao.**

El calor específico del cacao en condiciones ambientales frescas es posible expresar por la fórmula de SIEBEL:

$$C_{p_m} = 3.35 \times Hr + 0.84 \text{ (KJ/kg.}^\circ\text{C)}$$

- **Calor Que Requiere El Cacao**

El calor requerido para calentar el cacao está determinado por la siguiente relación:

$$Q_m = m_m \times C_{pm} \times (T_2 - T_1) = \text{KJ}$$

- **El calor promedio se determina**

$$q_m = \frac{Q_m}{\Delta t} = \text{kW}$$

- **Coefficiente expansion volumetrica se determina**

$$\beta = \frac{1}{T_f} = ^\circ\text{K}^{-1}$$

- **Cálculo del coeficiente de convección promedio**

$$h_e = \frac{N_{uD} \times k}{D_e} = \frac{w}{m^2 \cdot ^\circ\text{K}}$$

- **Temperatura en las paredes**

$$R_{t_{\text{conv}}} = \frac{1}{R_{\text{conv}}}$$

$$\dot{Q}_r = \frac{T_{\infty-1} - T_2}{R_{t_{\text{conv}}}}$$

$$R_{t_{\text{cond}}} = \frac{1}{R_{\text{conv}} + R_{\text{cond}}}$$

- **Energía Almacenada**

$$\dot{E}_{\text{ent}} - \dot{E}_{\text{sal}} = E_{\text{alm}}$$

$$\Delta E_{alm} = [(m.Cp)_{aire} + (m.Cp)_{cacao}] \left(\frac{T_f - T_0}{\Delta t} \right)$$

- **Tiempo Y Temperatura De Calentamiento Del Producto**

Para encontrar el factor de conducción térmica necesario se toma en cuenta los valores medios de las temperaturas del aire dentro y fuera de la secadora.

$$T_m = \frac{T_o + T_i}{2}$$

- **Coficiente Expansion Volumetria Interno**

$$B_i = \frac{h L c}{k}$$

- **Cálculo Del Calor Emitido Por El Inyector**

$$C = k \cdot S \sqrt{\frac{2 g h}{p}}$$

Se calcula la sección de la boquilla (inyector) para salida del gas:

$$S = \frac{\pi D^2}{4}$$

- **Masa volumétrica, con la altura y el radio de la boquilla:**

$$m_1 = m_0 \times \frac{H_1}{10332} \times \frac{273}{273 + ^\circ C}$$

- **Calor Total Que Genera El Inyector**

$$\dot{Q}_{ent} = C m_{comb} \times P_{C_{comb}} = \frac{J}{S}$$

- **Reacción Estequiométrica De La Combustión**

Se determina el flujo másico partiendo de la ecuación química para combustión del propano:

masa de aire = masa de oxígeno + masa de nitrógeno

A continuación se procede al cálculo del flujo másico del aire,

$$\dot{m} = A_c \times \dot{m}_{comb} = \frac{\text{kg aire}}{S}$$

- **Transferencia de calor para el flujo másico.**

$$\dot{Q}_{sal} = \dot{m} \cdot q_{sal}$$

- **Caudal Del Ventilador**

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

2.5 CATEGORÍAS FUNDAMENTALES

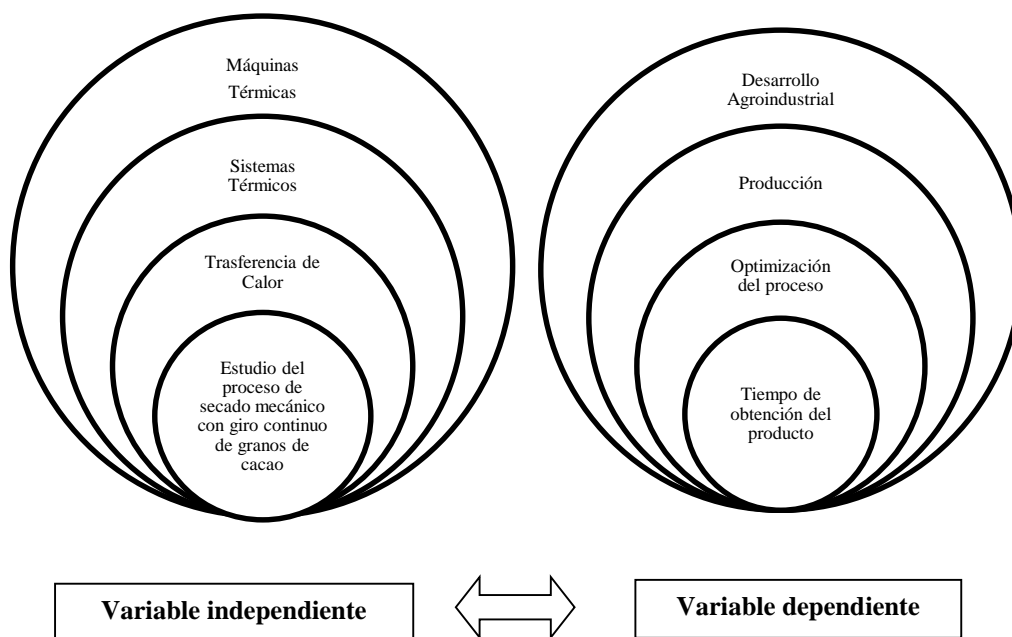


Figura 2.18 Categorías Fundamentales

Fuente: Marcos Vargas R.

2.6 HIPÓTESIS

El proceso de secado mecánico con giro continuo permitirá disminuir el tiempo de secado de granos de cacao en la finca INESITA del cantón Naranjito.

2.7 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS

2.7.1 Variable independiente

Proceso de secado mecánico con giro continuo de granos de cacao.

2.7.2 Variable dependiente

Tiempo de obtención del producto.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 ENFOQUE

3.1.1 Enfoque cuali-cuantitativo

La presente investigación se lo realizó bajo el enfoque de variables cuantitativas; ya que se realizaron pruebas que nos ayudaron a determinar la rapidez del secado de los granos de cacao.

La información que se requirió para el presente estudio, tiene como fuentes primarias libros, tesis, artículos, internet y más; mientras que las fuentes secundarias se requirieron de las publicaciones y/o artículos técnicos en el área; así también para el análisis de resultados se manejó tablas, gráficas de dispersión de datos y más.

3.2 MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación se basa en las siguientes modalidades de investigación:

3.2.1 Investigación de campo

La investigación de campo fue de vital importancia ya que se evaluó la veracidad del proceso investigativo mediante ensayos, pruebas y análisis en el prototipo para la obtención de datos fundamentales así poder realizar un análisis estadístico para evaluar la fiabilidad de nuestro proyecto, donde se utilizó equipos para determinar la humedad, temperatura tiempo y peso de los granos de cacao.

3.2.2 Investigación bibliográfica

Bibliográfica ya que la investigación se la realizó basándose en información obtenida de libros, catálogos e internet los cuales fueron necesarios para una correcta investigación, tales como:

- Fundamentos de Transferencia de Calor – Frank P. Incropera
- Termodinámica - Yunus A. Cengel
- Diseño en Ingeniería Mecánica- Shigley
- Resistencia de Materiales

3.2.3 Investigación experimental

Experimental ya que se realizó una comparación entre procesos de secado de granos de cacao para obtener el producto en un menor tiempo con las mejores características.

3.3 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.3.1 Investigación Exploratoria

Exploratoria debido a que se seleccionó el proceso más adecuado de secado que cumpla con las características necesarias de funcionamiento para la disminución de tiempo de secado de cacao además de obtener un producto final de calidad y así se poder obtener datos para conocer los parámetros necesarios para el proceso de secado.

3.3.2 Investigación Descriptiva

Descriptiva porque se dio a conocer cuáles son los parámetros necesarios para que se dé un óptimo proceso de secado, de tal forma que sea de conocimiento general para lectores afines a este tema.

3.3.3 Investigación Correlacional

Correlacional debido a que se elaboró graficas de temperatura, humedad, peso vs tiempo, para obtener el producto en el menor tiempo posible y así mejorar la calidad de los granos de cacao.

3.4 POBLACIÓN Y MUESTRA

La producción de cacao en la finca Inesita es de 30 quintales mensuales de las cuales se procesa 15 quintales al mes.

Con la estimación del tamaño de muestra se pudo conocer la proporción de la población que tienen las características obtenidas para el estudio, a partir del análisis de un solo grupo ellas (una muestra). Los datos estadísticos sirven para conocer el tamaño de la muestra necesaria. La muestra que se tomo fue de 10 kg.

3.5 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Variable Independiente: Proceso de secado mecánico con giro continuo de granos de cacao.

CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS	TÉCNICAS- INSTRUMENTOS
<p>El secado consiste en la remoción de humedad de una sustancia, para producir un producto sólido y seco. Involucrando fenómenos de transferencia de calor y masa, en forma simultánea.</p>	<p>Remoción de humedad.</p> <p>Producto</p>	<p>Porcentaje adecuado de humedad del producto</p> <p>Calidad</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura • Velocidad de secado • Textura • Apariencia • Sabor y olor 	<p>Observación- Directa lista de chequeo.</p> <p>Norma INEN 1513 cálculo de la humedad de granos</p> <p>Observación- Directa</p> <p>Investigación bibliográfica y tecnológica.</p>

Variable Dependiente: Tiempo de obtención del producto.

CONCEPTUALIZACIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
<p>Es la cantidad de tiempo que se emplea para el proceso o actividad del secado de un lote de cacao de una manera adecuada, para la obtención del producto final.</p>	<p>Cantidad de Tiempo</p>	<p>Tiempo que tarda el secado de cierta cantidad de cacao.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Mínima ≤ 15 min • Normal = 25 min • Exagerada ≥ 30 min 	<p>Observación directa, control del tiempo.</p>

3.6 PLAN DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

De acuerdo al desarrollo del estudio se tomó nota de todo lo que se consideró necesario para describir los hechos de significación espacial, que nos ayudó a registrar incidentes hasta tener una base informativa suficiente para el desarrollo de la investigación.


Tabla 3-1 Plan de recolección de datos

TÉCNICA	INSTRUMENTO
Observación directa	Ficha de campo
Investigación bibliográfica	Libros, internet, catálogos

Fuente: Marcos Vargas

La observación directa, tubo el propósito de facilitar la información relevante respecto al tema de estudio aclarando dudas y brindando soluciones.

Tabla 3-2 Equipos e instrumentos utilizados

Nombre	Detalle	Función
Cronómetro		Permite tomar el tiempo del proceso de secado

<p>Balanza</p>		<p>Permite determinar el peso de la cantidad de granos de cacao a utilizar.</p>
<p>Medidor de humedad</p>		<p>Permite determinar la humedad en los granos de cacao.</p>
<p>Termocupla</p>		<p>Permite determinar la temperatura.</p>
<p>Secador sin mecanismo de giro</p>		<p>Permite eliminar la temperatura del producto.</p>

3.7 PLAN DE PROCESAMIENTOS Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Los datos que se recolectaron pasaron por un proceso de revisión para eliminar información defectuosa, contradictoria o incompleta, para poder representarlos de la forma que resulte más conveniente para el entendimiento y análisis.

3.7.1 Plan de procesamiento

3.7.1.1 Determinación Temperatura vs. Tiempo.

a) Instrumentos para la práctica:

- Cronómetro.
- Termocupla.

b) Toma de datos:

Una vez encendido y puesto en funcionamiento el secador se procedió a tomar los datos de Temperatura vs. Tiempo con la ayuda de la termocupla y de un cronómetro en un lapso de 25 minutos aproximadamente.

3.7.1.2 Determinación Humedad vs. Tiempo

a) Instrumentos para la práctica:

- Cronómetro.
- Medidor de humedad.

b) Toma de datos:

Una vez encendido y puesto en funcionamiento el secador se procedió a tomar los datos de Humedad vs. Tiempo con la ayuda del medidor de humedad y de un cronómetro en un lapso de 25 minutos aproximadamente.

3.7.1.3 Determinación Peso vs. Tiempo

a) Instrumentos para la práctica:

- Cronómetro.
- Balanza.

b) Toma de datos:

Una vez encendido y puesto en funcionamiento el secador se procedió a tomar los datos de Peso vs. Tiempo con la ayuda de la Balanza y de un cronómetro en un lapso de 25 minutos aproximadamente.

3.7.1.4 Determinación Humedad Vs. Tiempo (Forma manual).

a) Instrumentos para la práctica:

- Cronómetro.
- Medidor de humedad.

b) Toma de datos:

Una vez puesto el cacao en el tendal se procedió a tomar los datos del medidor de humedad vs. Tiempo con la ayuda de la medidor de humedad y de un cronómetro en un lapso de 7 días aproximadamente.

3.7.1.5 Determinación Peso vs. Tiempo (Forma manual).

a) Instrumentos para la práctica:

- Cronómetro.
- Balanza.

b) Toma de datos:

Una vez encendido y puesto en funcionamiento el secador se procedió a tomar los datos de Peso vs. Tiempo con la ayuda de la Balanza y de un cronómetro en un lapso de lapso de 7 días aproximadamente.

3.8 PLAN DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Después de realizar las pruebas de secado con los tiempos determinados procedimos a recolectar la información necesaria. Para nuestro caso la temperatura, la humedad, el peso y el tiempo.

Las pruebas de secado realizadas fueron 6, de las cuales la componen: 3 pruebas de manera mecánica y 3 pruebas de manera manual.

Con los datos recogidos procedimos a realizar la tabulación para una mejor interpretación de los resultados, luego realizamos las gráficas con las referencias obtenidas anteriormente.

Obtuvimos también los índices de rapidez de secado.

Mediante gráficas y un análisis matemático de los datos obtenemos información acertada para verificar el óptimo desempeño del secador de cacao.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo describiremos la forma de funcionamiento del prototipo, a través de pruebas de secado.

Con lo cual mediante las pruebas de secado de granos de cacao se justificara su desempeño.

Para la obtención de los datos se utilizó un cronometro, un sensor de temperatura (termocupla), una balanza y un medidor de humedad.

El contenido de humedad durante el secado de los granos de cacao varía entre el 75 % al inicio del proceso y el 8% antes del almacenamiento logrando así evitar la proliferación de hongos y la reacción de los compuestos del producto.

- La humedad del cacao es de alrededor del 75% al inicio del proceso.

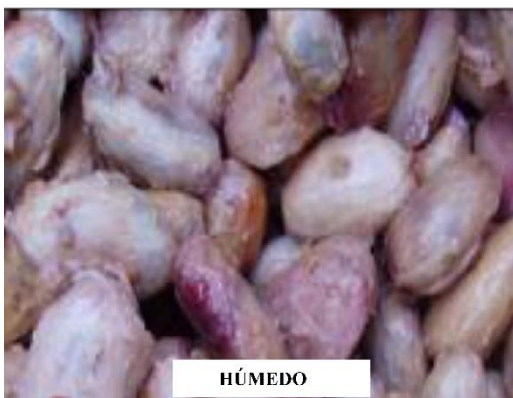


Figura 4.1 Esquema del cacao húmedo

Fuente: Marcos Vargas

- La humedad del cacao es de alrededor del 8% antes del almacenamiento.



Figura 4.2 Esquema del cacao seco

Fuente: Marcos Vargas

Para realizar el análisis de los resultados que obtuvimos, partiremos de la toma de datos de las pruebas realizadas, para luego proceder a tabular y graficar y obtener las curvas características y tener en cuenta como la humedad de los granos de cacao disminuye y la temperatura aumenta acorde al tiempo en el que se encuentra encendido todo el sistema del prototipo.

Las pruebas se repitieron sin cambiar ningún parámetro con la intención de comprobar el producto final

A continuación presentaremos las pruebas efectuadas: 3 de manera mecánica y 3 de manera manual respectivamente.

4.1.1 INTERPRETACIÓN DE DATOS

4.1.1.1 Pruebas de Secado Mecanico

Las pruebas se las realizo a una temperatura de 65 °C, en un tiempo de 25 minutos según los cálculos típicos.

Prueba N° 1

En la Anexo N° 1 se recopilan los datos de temperatura, humedad y peso vs tiempo recolectados en el secador. De los cuales se desprende la siguiente gráfica:

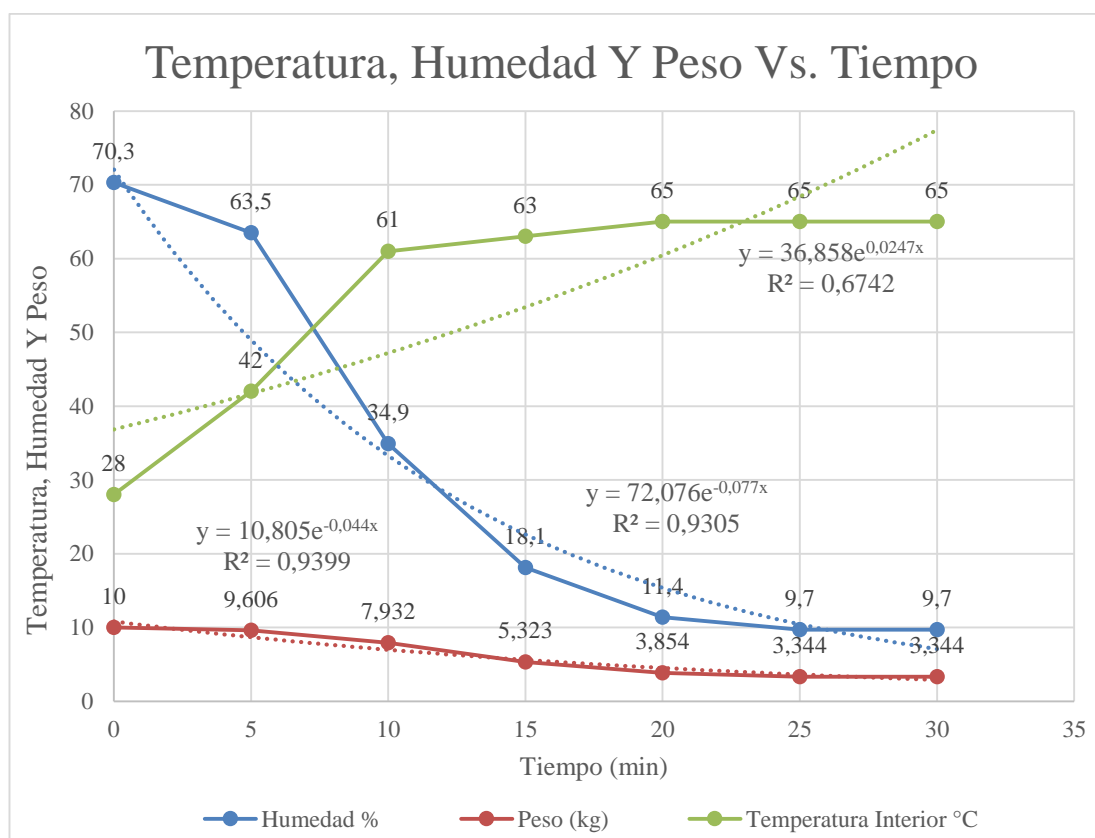


Figura 4.3 Curva Temperatura, Humedad Y Peso Vs. Tiempo

Fuente: Marcos Vargas

Análisis

La Figura 4.3 nos sirve para determinar las características del producto en función de la humedad, temperatura, peso con respecto al tiempo del secado de los granos de cacao.

Donde notamos como la humedad de los granos de cacao disminuye desde un 70,3% hasta un 9,7 % en un tiempo de 25 min.

La temperatura aumenta desde los 28 °C hasta los 65 °C que es la temperatura ideal para el secado de granos de cacao con una tendencia lineal con respecto al tiempo de secado es decir que la velocidad de secado permanece constante.

El peso disminuye desde los 10 kg que es el peso de nuestra muestra hasta los 3,344 kg en un tiempo de 25 min.

Prueba N° 2

En la Anexo N° 2 se recopilan los datos de temperatura, humedad y peso vs tiempo recolectados en el secador. De los cuales se desprende la siguiente gráfica:

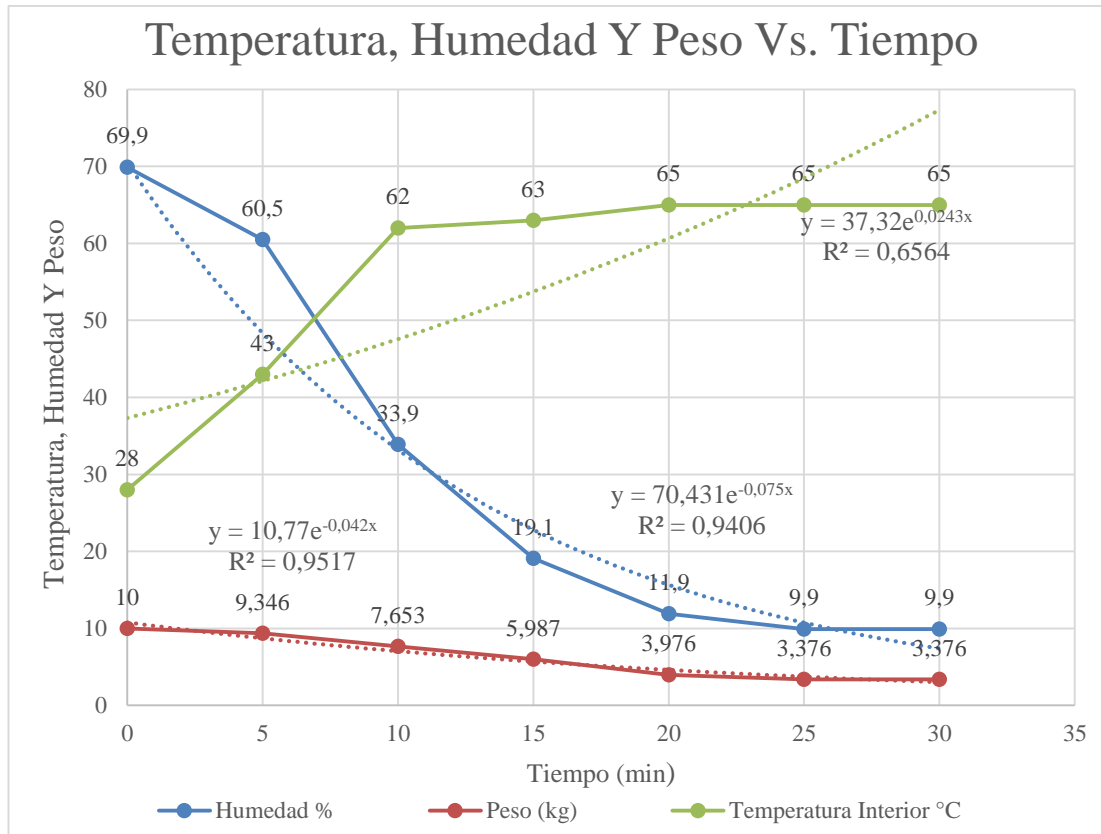


Figura 4.4 Curva Temperatura, Humedad Y Peso Vs. Tiempo

Fuente: Marcos Vargas

Análisis

La Figura 4.4 nos sirve para determinar las características del producto en función de la humedad, temperatura, peso con respecto al tiempo del secado de los granos de cacao.

Donde notamos como la humedad de los granos de cacao disminuye desde un 69,9% hasta un 9,9 % en un tiempo de 25 min.

La temperatura aumenta desde los 28 °C hasta los 65 °C que es la temperatura ideal para el secado de granos de cacao con una tendencia lineal con respecto al tiempo de secado es decir que la velocidad de secado permanece constante.

El peso disminuye desde los 10 kg que es el peso de nuestra muestra hasta los 3,376 kg en un tiempo de 25 min.

Prueba N° 3

En la Anexo N° 3 se recopilan los datos de temperatura, humedad y peso vs tiempo recolectados en el secador. De los cuales se desprende la siguiente gráfica:

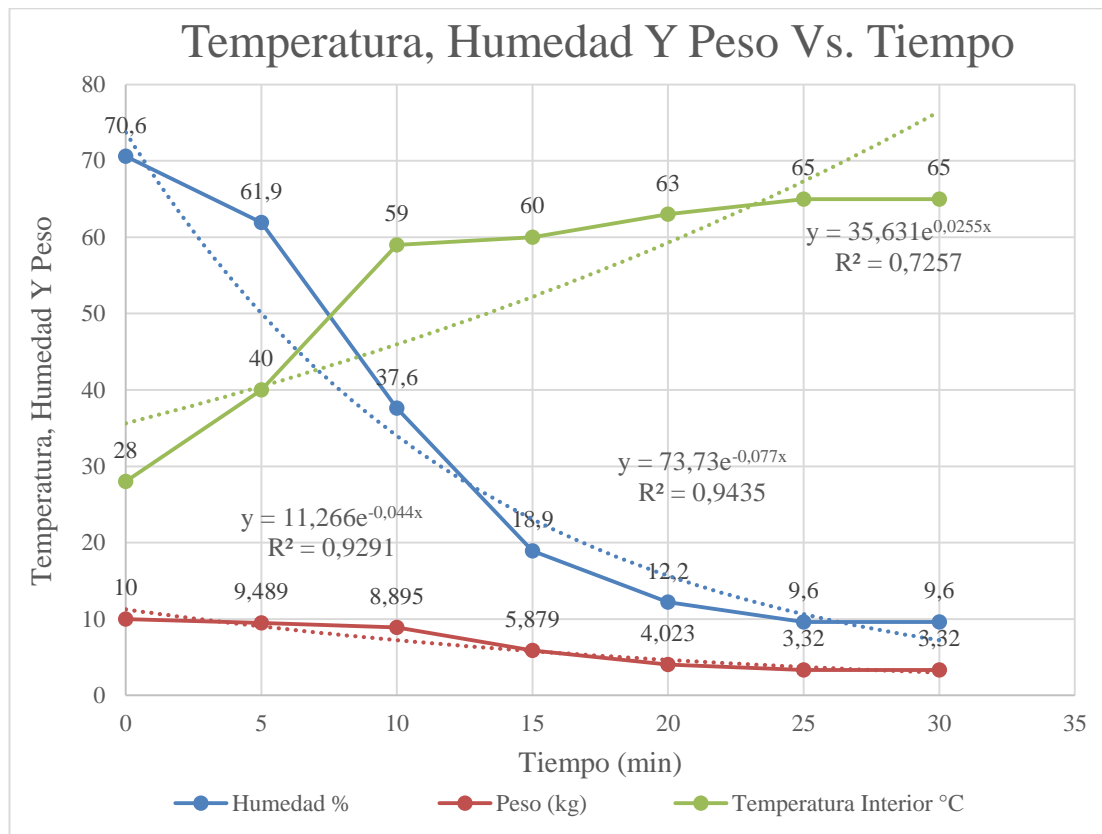


Figura 4.5 Curva Temperatura, Humedad Y Peso Vs. Tiempo

Fuente: Marcos Vargas

Análisis

La Figura 4.5 nos sirve para determinar las características del producto en función de la humedad, temperatura, peso con respecto al tiempo del secado de los granos de cacao.

Donde notamos como la humedad de los granos de cacao disminuye desde un 70,6 % hasta un 9,6 % en un tiempo de 25 min.

La temperatura aumenta desde los 28 °C hasta los 65 °C que es la temperatura ideal para el secado de granos de cacao con una tendencia lineal con respecto al tiempo de secado es decir que la velocidad de secado permanece constante.

El peso disminuye desde los 10 kg que es el peso de nuestra muestra hasta los 3,32 kg en un tiempo de 25 min.

4.1.1.2 Pruebas de Secado Manual

- Las siguientes tres pruebas se los realizo de forma manual a una temperatura promedio de 28 °C en el transcurso de cuatro horas diarias (entre las 9 am y 16 pm) en un tiempo de 7 días.

Prueba N° 4

En la Anexo N° 4 se recopilan los datos de humedad y peso vs tiempo recolectados en el secador. De los cuales se desprende la siguiente gráfica:

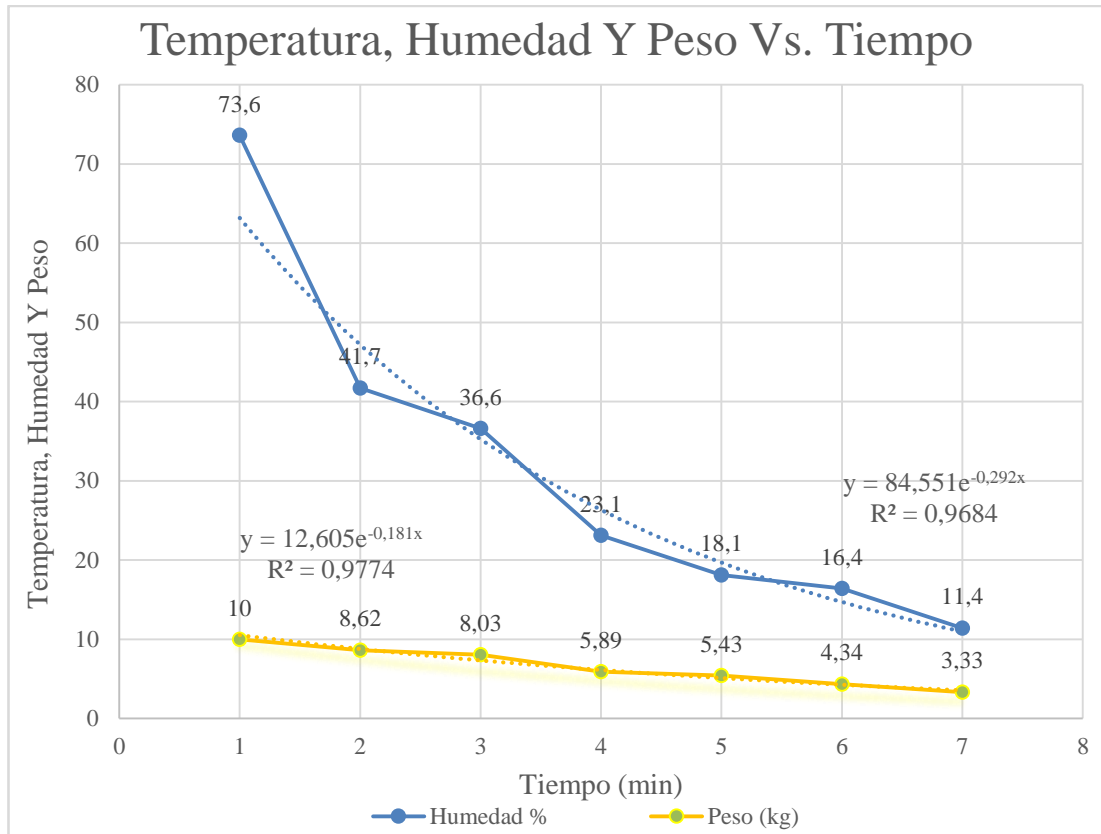


Figura 4.6 Curva Humedad, Peso Vs. Tiempo

Fuente: Marcos Vargas

Análisis

La Figura 4.6 nos sirve para determinar las características del producto en función de la humedad, peso con respecto al tiempo del secado de los granos de cacao.

Donde notamos como la humedad de los granos de cacao disminuye desde un 73,6 % hasta un 11,4 % en un tiempo de 7 días, con una tendencia lineal con respecto al tiempo de secado es decir que la velocidad de secado permanece constante.

El peso disminuye desde los 10 kg que es el peso de nuestra muestra hasta los 3,38 kg en un tiempo de 7 días.

Prueba N° 5

En la Anexo N° 5 se recopilan los datos de temperatura, humedad y peso vs tiempo recolectados en el secador. De los cuales se desprende la siguiente gráfica:

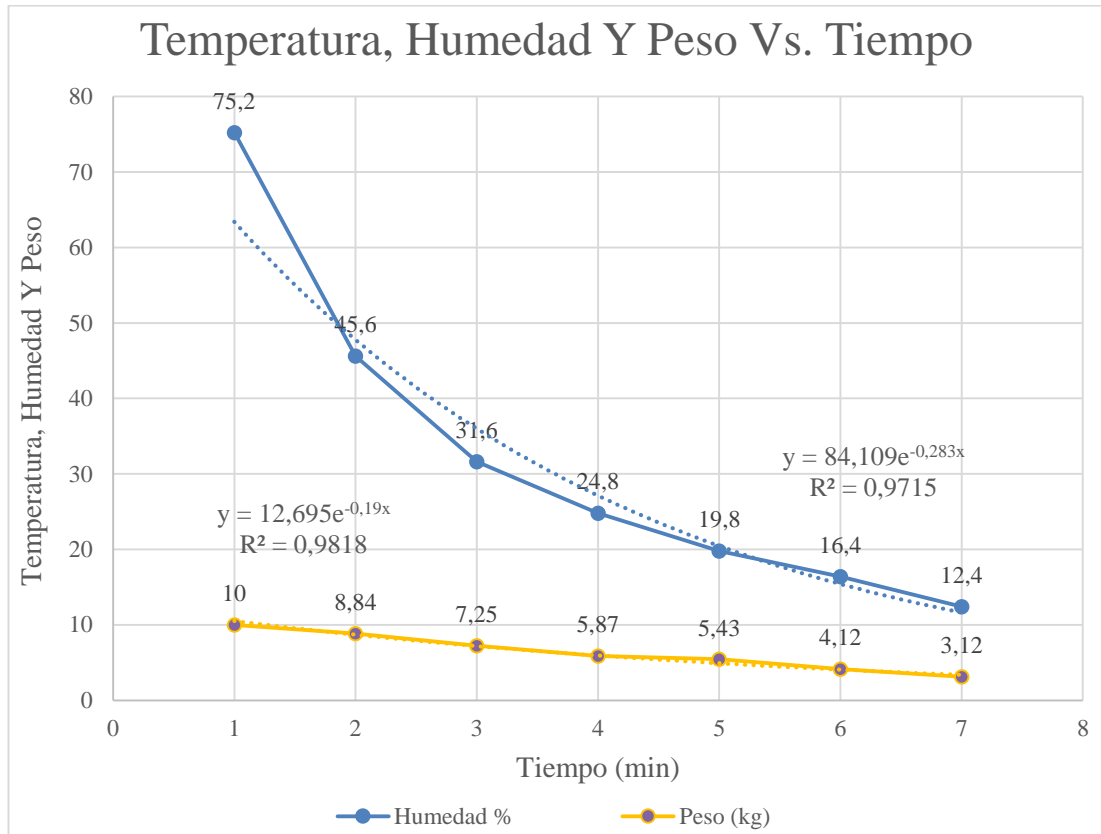


Figura 4.7 Curva Humedad, Peso Vs. Tiempo

Fuente: Marcos Vargas

Análisis

La Figura 4.7 nos sirve para determinar las características del producto en función de la humedad, peso con respecto al tiempo del secado de los granos de cacao.

Donde notamos como la humedad de los granos de cacao disminuye desde un 75,2 % hasta un 12,4 % en un tiempo de 7 días con una tendencia lineal con respecto al tiempo de secado es decir que la velocidad de secado permanece constante.

El peso disminuye desde los 10 kg que es el peso de nuestra muestra hasta los 3,43 kg en un tiempo de 7 días.

Prueba N° 6

En la Anexo 6 se recopilan los datos de temperatura, humedad y peso vs tiempo recolectados en el secador. De los cuales se desprende la siguiente gráfica:

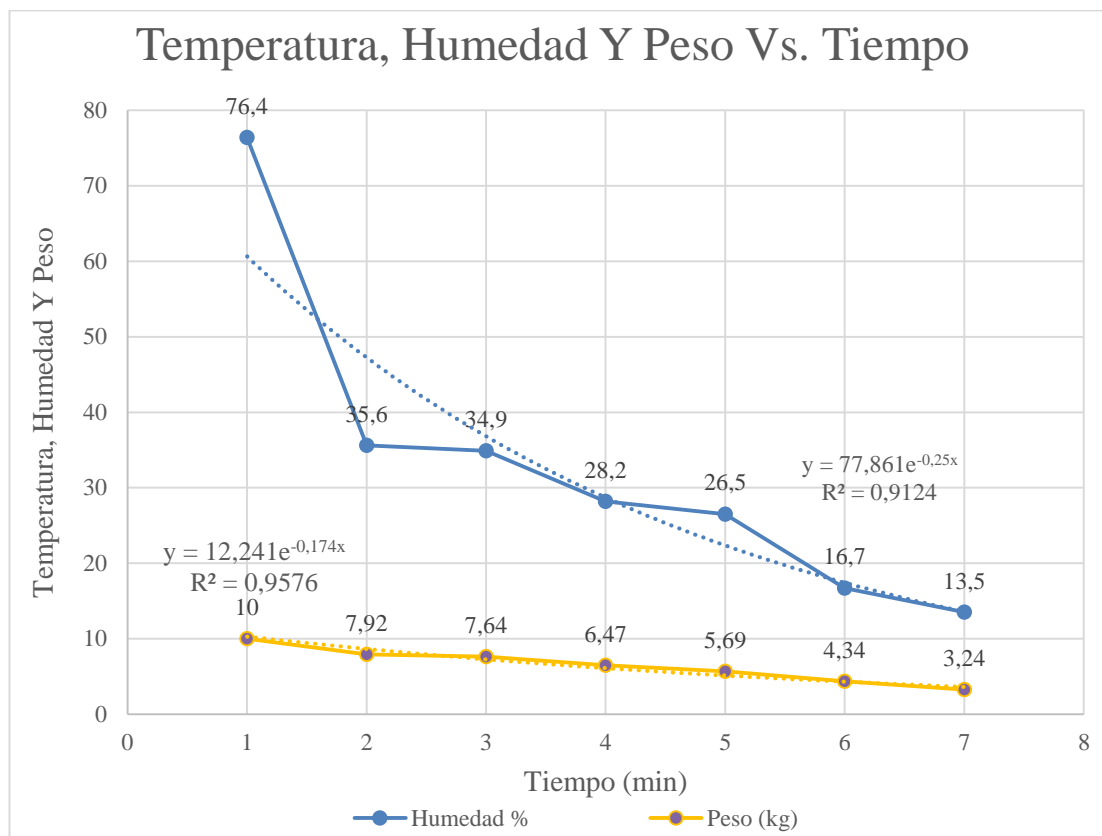


Figura 4.8 Curva Humedad, Peso Vs. Tiempo

Fuente: Marcos Vargas

Análisis

La Figura 4.8 nos sirve para determinar las características del producto en función de la humedad, peso con respecto al tiempo del secado de los granos de cacao.

Donde notamos como la humedad de los granos de cacao disminuye desde un 76,4 % hasta un 13,5 % en un tiempo de 7 días, con una tendencia lineal con respecto al tiempo de secado es decir que la velocidad de secado permanece constante.

El peso disminuye desde los 10 kg que es el peso de nuestra muestra hasta los 3,56 kg en un tiempo de 7 días.

4.1.2 Comparación Entre Los Procesos De Secado Y Mecánico

La comparación se la realizó en función del tiempo total de secado de granos de cacao.

Sabemos que mediante las pruebas realizadas de secado mecánico que los granos de cacao ingresan con una humedad del 75 % a una temperatura promedio de 28 °C que es la temperatura ambiente del lugar. Trascurrido el tiempo de 25 min pudimos observar que la humedad final alcanza el 10 %.

Mientras que en las pruebas de secado manual los granos de cacao tienen una humedad del 75 % a una temperatura promedio de 28 °C que es la temperatura ambiente del lugar. Trascurrido el tiempo de 7 días pudimos observar que la humedad final alcanza el 15 %.

Sabemos que mediante las pruebas realizadas de secado mecánico que los granos de cacao ingresan con un peso de 10 kg que es el peso de nuestra muestra y disminuye hasta los 3,32 kg en un tiempo de 25 min.

Mientras que en las pruebas de secado manual los granos de cacao tienen un peso los 10 kg que es el peso de nuestra muestra y disminuye hasta los 3,38 kg en un tiempo de 7 días.

4.2 ÍNDICE DE RAPIDEZ DE SECADO.

El índice de rapidez de secado (IRS) nos indica la aceleración del tiempo de secado el cual se efectuara en el transcurso de los pruebas.

Para realizar este ensayo tomaremos en cuenta las humedades inicial y final sobre el porcentaje de tiempo con el fin de tener en cuenta cual es el porcentaje de rapidez de secado.

Este cálculo se obtendrá mediante la siguiente formula:

$$IRS = \frac{Hi - Hf}{\Delta T} * 100\%$$

Hi = Humedad Inicial

Hf = Humedad Final

Para calcular la rapidez de secado sacaremos un promedio y obtendremos el valor en porcentaje del IRS.

Donde obtuvimos:

Tabla 4-1 Índice de rapidez de secado mecánico

Número de grafica	Humedad Inicial del cacao (Hi)	Humedad Final del cacao (Hf)	IRS (%)
Pruebas 1	70,3	9,7	202,0
Pruebas 2	69,9	9,9	200,0
Pruebas 3	70,6	9,6	203,3
		Promedio	201,8

Fuente: Marcos Vargas

Tabla 4-2 Índice de rapidez de secado manual

Número de grafica	Humedad Inicial del cacao (Hi)	Humedad Final del cacao (Hf)	IRS (%)
Pruebas 4	76,6	11,4	3,9
Pruebas 5	69,9	9,9	3,6
Pruebas 6	70,6	9,6	3,6
		Promedio	3,7

Fuente: Marcos Vargas

El IRS nos indica que el secado mecánico es un 200 % más efectivo que el secado natural con un 3,7 %.

4.3 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

Mediante este prototipo para secar cacao se ha reducido considerablemente el tiempo de secado del producto, lo cual constituye una buena alternativa para la FINCA INESITA DEL CANTÓN NARANJITO, ya que por medio del secado natural se demoraban alrededor de siete días o más. Con esta alternativa de secado ellos se demoraran un tiempo de 25 minutos por 10 Kg de granos de cacao.

4.4 VARIABLE INDEPENDIENTE:

Proceso de secado mecánico con giro continuo de granos de cacao

4.5 VARIABLE DEPENDIENTE:

Tiempo de obtención del producto.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Se ha diseñado un secador para el tratamiento postcosecha de granos de cacao fino. El secador rotatorio puede procesar 100 Kg. de cacao en 222 minutos (3 h, 42 min.) con lo cual nos ha ayudado a optimizar los tiempos de secado.

Para determinar el tiempo del proceso de secado se realizaron 6 pruebas, las cuales fueron 3 de secado mecánico y 3 de secado manual. Estableciendo para el secado manual un tiempo de 7 días y para el mecánico de 222 min (3 h, 42 min.).

El diseño ofrece un volteo de los granos de cacao, que beneficia y minimiza la intervención de terceros para voltear los granos. Además la extracción de la humedad se lo hace en toda la superficie, dándonos una mejor calidad del producto.

Mediante el secador podemos decir que nos a facilitó el trabajo de una forma efectiva ya que se disminuye considerablemente la humedad de los granos de cacao.

Mediante el secador podemos decir que nos facilitó el trabajo de una forma efectiva ya que se disminuye considerablemente el tiempo para la obtención de los granos de cacao.

El contenido de humedad es un factor de calidad, que nos permite inferir en los criterios para: preservación, empaque, y almacenamiento del cacao.

Este sistema de secado fue muy efectivo, dado que se alcanzó la humedad requerida para comercializar los granos de cacao.

5.2 RECOMENDACIONES

Capacitar y dar asistencia técnica al pequeño productor de granos de cacao con técnicas apropiadas de post-cosecha ya que estas determinan la óptima calidad del producto final.

La temperatura del secado de los granos de cacao no debe exceder los 70° C ya que se corre el riesgo de que los granos de cacao aumenten su acidez, lo cual se deriva en la pérdida de calidad.

La vida útil del equipo depende totalmente del tipo de mantenimiento que se dé a los diferentes elementos que la componen, y será necesario que se realice un plan de mantenimiento para la máquina secadora de cacao.

El secador está diseñado para una cierta cantidad de producto, para lo cual será indispensable utilizar el equipo cuando se disponga la cantidad de material indicada, para optimizar el uso de la máquina. Mediante una adecuada planificación del secado con respecto a la producción.

Hay que tener cuidado con las pérdidas de calor que se puedan producir en la cámara de secado, para lo cual se recomienda recubrir esta zona con polímeros aislantes.

CAPÍTULO VI

PROPUESTA

6.1 TEMA DE LA PROPUESTA

Diseño de un equipo secador semiautomático para el proceso de secado mecánico con giro continuo en la finca Inesita del cantón Naranjito.

Tabla 6-1 Información general de la propuesta

Datos generales de la propuesta	
Ejecutor	Marcos Vargas
Descripción	Secador mecánico de giro continuo para granos de cacao
Proceso	Diseño
Pruebas	Finca Inesita del cantón Naranjito
Beneficiario	Finca Inesita

Fuente: Marcos Vargas

6.2 ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA

En la Universidad Técnica de Ambato se ha realizado una investigación en el área de energías con el tema de “ESTUDIO Y MEJORAMIENTO DEL PROCESO MANUAL DE TOSTADO DEL HABA Y SU INCIDENCIA EN EL TIEMPO DE OBTENCIÓN DEL PRODUCTO TERMINADO, PARA LA EMPRESA GRANOFA CÍA. LTDA.” Investigación en la que se determinó varios parámetros como la cantidad de calor aportado para realizar el tueste, así como también en el contenido de humedad y su efecto sobre el tiempo total de tueste.

Los cálculos se enfocaron en la capacidad de carga de la cámara de secado.

- **Combustible**

Para el diseño de la secadora se propone como combustible el uso de GLP, por su poder calorífico.

- **Cantidad a tostar**

La cantidad a secar es un factor muy importante a tomar en cuenta durante la investigación, la masa a ser procesada es de 100 Kg.

- **Temperatura**

La temperatura máxima que debe alcanzar la cámara de secado es 65 °C, esto De la investigación realizada previamente

- **Cantidad de calor**

La cantidad de calor que se necesita para el secado, dependerá del total de granos de cacao que se va a secar.

6.3 JUSTIFICACIÓN

Proporcionar la posibilidad de optimizar el tiempo de producción total del proceso de secado de cacao en la Finca Inesita el diseño de un secador semiautomático con giro continuo.

Debido a que en el método de secado manual no existe un movimiento constante y uniforme la calidad del secado disminuye. Con el método de secado con giro continuo nos permite obtener un secado más uniforme.

6.4 OBJETIVOS

6.4.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un secador semiautomático con giro continuo para granos de cacao para disminuir el tiempo de obtención del producto en la finca Inesita del cantón Naranjito.

6.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Dimensionar la cámara de secado.

Diseño y cálculo de elementos mecánicos.

Determinar la capacidad de secado.

6.5 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD

El desarrollo de la propuesta fue factible, ya que tuvimos la predisposición de los administradores de la finca “Inesita” en la prestación de los recursos como es la materia prima e información básica del proceso de producción. Permittiéndonos alcanzar el objetivo propuesto.

Todos los resúmenes y apuntes considerados para el desarrollo de la propuesta se encontraron en la biblioteca de la Universidad Técnica de Ambato e Internet por lo que fueron de fácil adquisición, haciendo que el proyecto sea factible de llevarselo a cabo.

6.5.1 Análisis Técnico

Para el diseño de la secadora de cacao se utilizaron métodos y mecanismos de cálculo e instrumentos de medición existentes en la finca “Inesita”.

6.5.2 Análisis Económico

El costo de los materiales y de su construcción es el siguiente:

Tabla 6-2 Costos de materiales

MATERIALES			
	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Perfil C 80 x 40 x 3 (A36)	4	80	320
Plancha 1000 x 1000 x 6 (A36)	2	100	200
Eje Ø 38.1 x 2000 (AISI 304)	1	300	300
Plancha 2400 x 1200 x 2 (AISI 304)	1	354	354
Plancha 625 x 160 x 3 (AISI 304)	1	200	200
Plancha Ø 450 x 6 (AISI 304)	1	80	80
Eje Ø 38.1 x 3600 (AISI 1020)	2	150	300
Plancha 2400 x 1200 x 2 (A36)	2	160	320
Platina 6000 x 25,4 x 3 (A36)	4	50	200
Plancha 2400 x 1200 x 1.25 (A36)	2	30	60
Lana de vidrio 2400 x 1200 x 5	1	100	100
Eje Ø 105 x 37 (AISI 1020)	1	25	25
Plancha 1200 x 600 x 6 (A36)	1	150	150
Plancha 2400 x 1200 x 2 (ANSI 32) Galvanizado	2	40	80
Angulo 3000 x 50 x 5 (A36)	1	8	8
Eje Ø 12,7 x 3000 (AISI 1020)	1	15	15
Eje Ø 100 x 50 (AISI 1020)	1	20	20
ELEMENTOS DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA			
Motorreductor	1	370	370
Cadena	1	5	5

Quemador	1	895	895
ELEMENTOS INDICADORES Y DE ACCIONAMIENTO			
Termostato	1	20	20
Pulsadores on /off	1	25	25
MANO DE OBRA			
Operaciones de construcción			1500
COSTO TOTAL			5547

Fuente: Marcos Vargas

6.6 FUNDAMENTACIÓN

La integración de los elementos que conforman el secador giratorio está orientado a asegurar los aspectos básicos de funcionalidad y fiabilidad.

Y lo componen los siguientes elementos:

- **Quemador**

Un quemador es un equipo que se lo utiliza para quemar combustible, por ende es donde se realiza la combustión.

- **Cámara de secado**

Es donde se aloja los granos de cacao para ser secados.

- **Ventilador**

El ventilador es con el cual suministramos el aire caliente a la cámara de secado, este ventilador está compuesto por un eje, también consta de un rodete y 15 álabes de sección recta por facilidad de construcción

- **Estructura**

Constituye el bastidor de la secadora, donde se colocan todos los componentes del secador para su correcto funcionamiento.

- **Sistema motriz**

Es el encargado de dar movimiento de rotación a la cámara de tueste, constituido principalmente por:

- Motor, reductor

- Eje

- Rodamientos

6.7 METODOLOGÍA

6.7.1 DISEÑO DEL PROTOTIPO

Para el diseño se tomó, en cuenta varios factores:

6.7.1.1 DISEÑO TÉRMICO

Tabla 6-3 CARACTERÍSTICAS DEL CACAO

CARACTERÍSTICAS DEL CACAO	
Dimensiones del cacao	2,3 X 1,2 X 0,8 cm
Peso de cada semilla	3,3 gr

Fuente: Marcos Vargas

6.7.1.1.1 Humedad relativa del cacao.

La humedad relativa del cacao fermentado está entre 60% y 75% de contenido de agua.

6.7.1.1.2 Calor específico del cacao.

Con una humedad relativa de 70% de agua el calor específico de cacao es:

Por encima del punto de congelación = 0.8-1.006 (kJ/kg. °C)

Por debajo del punto de congelación = 0.8-1.89 (kJ/kg. °C)

Las propiedades térmicas de los alimentos dependen de su contenido de agua. Es posible expresar los calores específicos de los alimentos por la fórmula de SIEBEL:

$$C_{p_{\text{fresco}}} = 3.35 \times H_r + 0.84 \text{ (KJ/kg.}^\circ\text{C)} \quad (6.1)$$

6.7.1.1.3 Parámetros de diseño

Para el diseño de un secador giratorio se considera los siguientes datos informativos:

- **Condiciones ambientales**

Se tomará en cuenta las condiciones de la ciudad de Naranjito.

Temperatura Ambiente: 28 °C

Humedad relativa promedio: 70 %

Presión Atmosférica: 759 mm Hg.

- **Condiciones de trabajo.**

Se consideran los siguientes parámetros necesarios para el funcionamiento del secador:

Temperatura requerida durante el proceso: 65 °C

Tiempo requerido para realizar el proceso: 3.69 h

Cantidad de cacao: 100 kg

Volumen aproximado de 100 kg de cacao $6.69 \times 10^{-3} \text{ m}^3$

$$V_{\text{grano}} = b \times h \times e \quad (6.2)$$

$$V_{\text{grano}} = 2.3 \times 1.2 \times 0.8$$

$$V_{\text{grano}} = 2.208 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

La masa total de cacao para el secador es 100 kg

Masa de una grano 3,3 gr

$$N_{\text{granos}} = \frac{100000}{3.3}$$

$$N_{\text{granos}} = 30303.03$$

- **Volumen total de los granos de cacao**

$$V_{\text{T. de granos}} = N_{\text{de granos}} \times V_{\text{grano}}$$

$$V_{T. \text{ de granos}} = 30303.30 \times 2.208 \times 10^{-6}$$

$$V_{T. \text{ de granos}} = 66.9 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

- **Volumen de la cámara**

La cámara debe ser tres veces más que el volumen del cacao para que los granos tengan libertad de movimiento y así conseguir un secado uniforme.

$$V_{\text{cámara}} = 3V_{T. \text{ de granos}}$$

$$V_{\text{cámara}} = 3(66.9 \times 10^{-3} \text{ m}^3)$$

$$V_{\text{cámara}} = 200.7 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

Se impone una longitud del cilindro de 1.0 m

- **Diámetro de la cámara**

$$V_{\text{cámara}} = \frac{\pi D^2}{4} \times h \tag{6.3}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \times V_{\text{cámara}}}{\pi \times h}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 200.07 \times 10^{-3}}{\pi \times 1.0}}$$

$$D = 0.505 \text{ m}$$

$$D = 505 \text{ mm}$$

Tiempo de trabajo: 8 horas/día

Para el diseño se considera 100 kg de cacao para incrementar la producción de cacao seco.

- **Otras condiciones**

El secador es giratorio, accionado por un motor.

El secador gira a 35 rpm, esto evita que el cacao se parta.

El secador es a gas.

El secador es aislado por lana de vidrio para evitar pérdidas de calor.

La resistencia eléctrica, proporciona el calor necesario para el secado.

Las paredes internas del secador deben ser de acero inoxidable AISI 304, porque son de aceros austeníticos de aleaciones magnéticas que por lo general se emplea en equipo para procesar alimento.

El calor específico del cacao en condiciones ambientales frescas es:

$$C_{p_{\text{fresco}}} = 3.35 \times Hr + 0.84 \quad (6.4)$$

Dónde:

C_{pm} calor específico del cacao, (kJ/kg. °C)

$Hr = 70\%$ de humedad relativa promedio. Considerado

$$C_{pm} = 3.35 \times 0.7 + 0.84$$

$$C_{pm}=3.185 \text{ (kJ/kg } ^\circ\text{C)}$$

6.7.2 SELECCIÓN DEL TIPO DE SECADOR

Luego de haber analizado las ventajas y desventajas que ofrecen cada uno de los tipos de secadores, la mejor opción para realizar el presente proyecto es; un secador horizontal, ya que representa varias ventajas que se pueden aprovechar, será de calentamiento indirecto, mediante un inyector.

6.7.2.1 CÁLCULO DEL CALOR REQUERIDO PARA EL CACAO.

El cálculo térmico implica calcular el calor requerido para secar al cacao así como las pérdidas de calor, se debe tener en cuenta los parámetros necesarios como ya determinamos anteriormente:

Temperatura requerida: 28 °C

Temperatura alcanzada en el interior del secador: 65 °C

Tiempo requerido para calentar al cacao: 96 min = 5760 s

- **Calor Que Requiere El Cacao**

El calor requerido para calentar el cacao está determinado por la siguiente relación:

$$Q_m = m_m \times C_{pm} \times (T_2 - T_1) \quad (6.5)$$

Donde:

m_m Masa del cacao, en kg

C_{pm} Calor específico del cacao, en kJ/kg °C

T1 Temperatura ambiente promedio, en °C

T2 Temperatura en el interior del secador, en °C

Entonces:

$$Q_m = 11784.5 \text{ KJ}$$

El calor promedio se determina de

$$q_m = \frac{Q_m}{\Delta t} = \frac{11784.5}{5760} = 2.046 \text{ kW}$$

6.7.3 CÁLCULO DE COEFICIENTES DE CONVECCIÓN

6.7.3.1 CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE CONVECCIÓN EXTERNO

Propiedades del aire a 28 °C = 301 °K (Temperatura del aire en el ambiente)

$$K = 0.02588 \text{ W/m } ^\circ\text{k}$$

$$v = 16.08 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{S}$$

$$A = 2.208 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{S}$$

$$Pr = 0.7282$$

Coeficiente expansion volumétrica

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{301 \text{ }^\circ\text{K}} = 0.00302 \text{ }^\circ\text{K}^{-1} \quad (6.6)$$

- **Cálculo del número de Rayleigh**

$$Ra_D = \frac{g\beta(T-T_\infty)D^3}{\nu^2} Pr \quad (6.7)$$

$$Ra_D = \frac{(9.81)(0.00302)(65-28)0.505^3}{(16.08 \times 10^{-6})^2} (0.7282)$$

$$Ra_D = 397.58 \times 10^6$$

- **Cálculo del número de Nusselt**

$$N_{uD} = \left\{ 0.6 + \frac{0.387 Ra_D^{1/6}}{\left[1 + \left(\frac{0.559}{Pr} \right)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2 \quad (6.8)$$

$$N_{uD} = 87.03$$

- **Cálculo del coeficiente de convección promedio**

$$h_e = \frac{N_{uD} \times k}{De} \quad (6.9)$$

$$h_e = 4.46 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$$

6.7.4 CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE CONVECCIÓN INTERNO

Para iniciar los cálculos se impone una temperatura de 65 °C, con el fin de iniciar los cálculos, y luego obtener la temperatura necesaria para el secado.

Propiedades del aire a 65 °C= 338 °K (valor impuesto)

$$K = 29.12 \times 10^{-3} \text{ W/m } ^\circ K$$

$$Pr = 0.699$$

$V_\infty = 1.6\text{-}3.3 \text{ m/S}$ (Velocidad de flujo recomendado)

$$\rho = 1.041 \text{ kg/m}^3$$

$\mu = 202 \times 10^{-7} \text{ N.S/m}^2$ (Viscosidad dinámica)

6.7.4.1 Determinación del flujo de gases laminar o turbulento

- Cálculo del número de Reynolds

$$Re = \frac{\rho v_\infty D_e}{\mu} \quad (6.10)$$

$$Re = \frac{1.041 \times 3.3 \times 0.505}{202 \times 10^{-7}}$$

$$Re = 85882.5$$

$$\text{Nu}=0.023\text{Re}^{4/5}\times\text{Pr}^{1/3} \quad (6.11)$$

$$\text{Nu}=0.023(85882.5)^{4/5}\times(0.699)^{1/3}$$

$$\text{Nu}=180.72$$

$$h_e=\frac{N_{uD}\times k}{D_e} \quad (6.12)$$

$$h_e=\frac{180.72\times(29.12\times 10^{-3}\text{ W/m }^\circ\text{K})}{0.505}$$

$$h_e=10.42\text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{K}$$

6.7.5 CÁLCULO DE PÉRDIDA DE CALOR A TRAVÉS DE LA PARED

Se toma la forma de un cilindro con espesor del material de 2 mm.

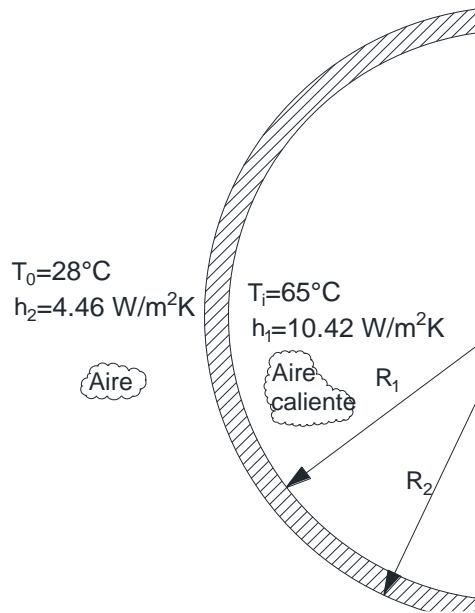


Figura 6.1 Composición de la cámara

Fuente: Marcos Vargas

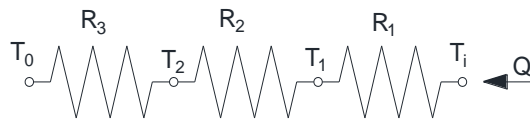


Figura 6.2 Circuito equivalente de la cámara

Fuente: Marcos Vargas

$$R_1 = \frac{1}{2\pi h_1 r_1 L}; R_2 = \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi k L}; R_3 = \frac{1}{2\pi h_2 r_2 L}$$

$$Qr = \frac{T_{\infty,i} - T_{\infty,0}}{\frac{1}{2\pi \cdot h_1 \cdot r_1 \cdot L} + \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi \cdot k \cdot L} + \frac{1}{2\pi \cdot h_2 \cdot r_2 \cdot L}} \quad (6.13)$$

Siendo:

$$T_{\infty,i}=338^{\circ}\text{K}$$

$$T_{\infty,0}=301^{\circ}\text{K}$$

$$h_1=4.46 \text{ w/m}^2\text{k}$$

$$h_2=10.42 \text{ w/m}^2\text{k}$$

$$k=16.3 \text{ w/m}^{\circ}\text{k}$$

$$L=1.0\text{m}$$

$$Q_r= 367.65 \text{ w}$$

$$Q_r= 367.65 \frac{\text{J}}{\text{s}}$$

El resultado anterior indica la energía de salida del prototipo.

Se considera la energía que se sale al realizar el secado de los granos tomando en cuenta el contenido de humedad que se disminuye.

- **Temperatura en las paredes**

$$R_{t_{\text{conv}}} = \frac{1}{R_{\text{conv}}} \tag{6.14}$$

$$Rt_{\text{conv}} = 9.94$$

$$\dot{Q}_r = \frac{T_{\infty-1} - T_{,2}}{Rt_{\text{conv}}} \quad (6.15)$$

$$T_{,2} = T_{\infty-1} - \dot{Q}_r \times Rt_{\text{conv}}$$

$$T_{,2} = 65 - 0.367 \times 9.94$$

$$T_{,2} = 61.35$$

$$Rt_{\text{cond}} = \frac{1}{R_{\text{conv}} + R_{\text{cond}}} \quad (6.16)$$

$$Rt_{\text{cond}} = 3.857 \times 10^{-5}$$

$$\dot{Q}_r = \frac{T_{\infty-1} - T_{,1}}{Rt_{\text{cond}}} \quad (6.17)$$

$$T_{,1} = T_{\infty-1} - \dot{Q}_r \times Rt_{\text{cond}}$$

$$T_{,1} = 64.99$$

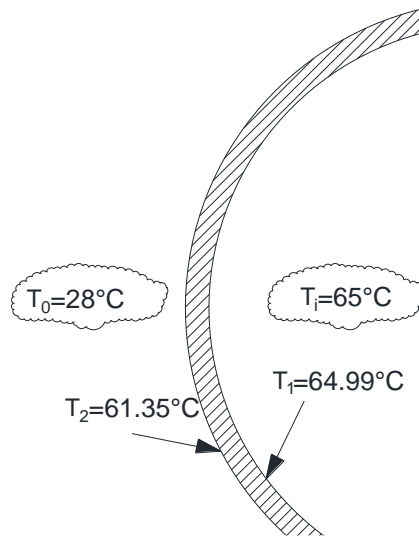


Figura 6.3 Ubicación de las temperaturas en el silo

Fuente: Marcos Vargas

6.7.6 ENERGÍA ALMACENADA

$$\dot{E}_{\text{alm}} = \rho \cdot C_p \frac{\partial T}{\partial t} dx dy dz \quad (6.18)$$

ρ Densidad

C_p Calor específico

$\frac{\partial T}{\partial t}$ Diferencial de temperatura respecto al tiempo

(6.19)

$$\dot{E}_{\text{ent}} - \dot{E}_{\text{sal}} = \dot{E}_{\text{alm}}$$

$$\Delta E_{alm} = \left[m \cdot C_p \left(\frac{T_f - T_0}{\Delta t} \right) \right]_{aire} + \left[m \cdot C_p \left(\frac{T_f - T_0}{\Delta t} \right) \right]_{cacao} \quad (6.20)$$

$$\Delta E_{alm} = [(m \cdot C_p)_{aire} + (m \cdot C_p)_{cacao}] \left(\frac{T_f - T_0}{\Delta t} \right) \quad (6.21)$$

- **Propiedades del cacao**

$$m = 0.0033 \text{ kg}$$

$$C_p = 3.185 \text{ kJ/kg}^\circ\text{K} = 0.922 \text{ W.h/kg}^\circ\text{K}$$

- **Propiedades del aire**

$$T = 28^\circ\text{C} = 301^\circ\text{K}$$

$$m = 0.141 \text{ kg}$$

$$C_p = 1007 \text{ J/Kg}^\circ\text{K} = 0.279 \text{ W.h/kg}^\circ\text{K}$$

Energía necesaria en el Silo

$$\Delta E_{alm} = [(0.141 \times 1007)_{aire} + (0.0033 \times 3.185)_{cacao}] \left(\frac{338 - 301}{4} \right)$$

$$\Delta E_{alm} = 1313.50 \text{ W} = 1313.50 \text{ J/S}$$

$$\dot{E}_{ent} - \dot{E}_{Sal} = \dot{E}_{alm} \quad (6.22)$$

$$\dot{E}_{ent} = \dot{E}_{alm} + \dot{E}_{Sal}$$

$$\dot{E}_{ent} = 1313.5 + 367.65$$

$$\dot{E}_{ent} = 1681.15 \text{ J/S} = 1445,53 \text{ Kcal /h}$$

6.7.7 TIEMPO Y TEMPERATURA DE CALENTAMIENTO DEL PRODUCTO

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \times L \quad (6.23)$$

Siendo:

A= Área del Silo

D= Diámetro del Silo

L=Longitud del Silo

$$A = \frac{\pi(0.505\text{m})^2}{4} \times 1.0$$

$$A = 0.2003 \text{ m}^2$$

Lc= 1.25

Para encontrar el factor de conducción térmica necesario se toma en cuenta los valores medios de las temperaturas del aire dentro y fuera de la secadora.

$$T_m = \frac{T_o + T_i}{2} \quad (6.24)$$

Dónde:

$T_o = 28^\circ\text{C}$ (Temperatura ambiente)

$T_i = 65^\circ\text{C}$ (Temperatura interna asumida de la secadora)

$$T_m = 46.5^\circ\text{C}$$

Con T_m , se ingresa al Anexo 11:

$$k = 54 \text{ W/m}^\circ\text{K}$$

Reemplazando valores obtenidos en la ecuación obtenemos:

Coefficiente expansión volumétrica interno

$$B_i = \frac{h.Lc}{k} \quad (6.25)$$

$$B_i = \frac{10.42 \times 1.25}{54}$$

$$B_i = 0.216 > 0.1$$

6.7.7.1 Análisis general del método de resistencia interna despreciable.

$$[h(T - T_\infty) + \varepsilon\sigma(T^4 - T_{\text{alr}}^4)]As = mCp \frac{dT}{dt} \quad (6.26)$$

Tomando el efecto convectivo despreciable resulta:

$$mC_p \frac{dT}{dt} = -\varepsilon\sigma A_s(T^4 - T_{\text{air}}^4)$$

Integrando y simplificando la ecuación se tiene:

$$t = \frac{m.C_p}{3\varepsilon\sigma A_s} \left(\frac{1}{T^3} - \frac{1}{T_i^3} \right) \quad (6.27)$$

Tomando en cuenta la emisibilidad del cacao y aire

$$t = \frac{m.C_p}{3\varepsilon\sigma A_s} \left(\frac{1}{T^3} - \frac{1}{T_i^3} \right)_{\text{cacao}} + \frac{m.C_p}{3\varepsilon\sigma A_s} \left(\frac{1}{T^3} - \frac{1}{T_i^3} \right)_{\text{aire}} \quad (6.28)$$

Simplificando la ecuación se tiene:

$$t = \left[\frac{m.C_p}{3\varepsilon\sigma A_s_{\text{cacao}}} + \frac{m.C_p}{3\varepsilon\sigma A_s_{\text{aire}}} \right] \left(\frac{1}{T^3} - \frac{1}{T_i^3} \right) \quad (6.29)$$

Reemplazando valores:

Reemplazando los valores obtenidos en la ecuación 6.23 se tiene:

$$t = \left[\frac{(100)(0.922)}{3(0.76)(6.31 \times 10^{-8})(1.87)} + \frac{(0.141)(0.279)}{3(0.3)(5.67 \times 10^{-8})(1.87)} \right] \left(\frac{1}{301^3} - \frac{1}{338^3} \right)$$

$$t = 3.69 \text{ h}$$

$$t = 3 \text{ h, } 42 \text{ min}$$

$$t=221.72 \text{ min} \approx 222 \text{ min}$$

Este es el tiempo requerido para secar 100 kg de cacao a una temperatura de 65 °C.

6.7.8 COMBUSTIÓN Y LLAMA

6.7.8.1 CÁLCULO DEL CALOR EMITIDO POR EL INYECTOR

$D= 0.75 \text{ cm} = 0.0075 \text{ m}$ Diámetro del Inyector (Tabla 6.4)

$Q=$ Caudal en m^3/S o gasto del inyector

$C= 0.9$ (Anexo 12)

$S=$ Sección del inyector

$g= 9.81 \text{ m/S}^2$

$h= 5098.58 \text{ kg/m}^2$ ó 0.5 bar (Presión de combustible asumido)

$p= 1.8 \text{ kg/m}^3$

$$Q=k.S.\sqrt{\frac{2gh}{p}} \quad (6.30)$$

Se calcula la sección de la boquilla (inyector) para salida del gas:

$$S=\frac{\pi D^2}{4} \quad (6.31)$$

Tabla 6-4 Diámetro de Inyectores

Tecnomsm S.A.

Alf. M. de Alegría 2494 B (B1618BGZ) El Talar Prov. de Bs. As. Argentina
T.E. (54-11) 4726-7772 L.R. FAX directo (54-11) 4726-7773
www.glama.com.ar E-MAIL info@glama.com.ar

Glama 

CALEFONES-CALEFACTORES-COCINAS

Diámetros de inyectores Sobre coeficiente 0.9 y Presión de suministro normal

Diámetro Inyector	Kcal/h Gas Licuado	Kcal/h Gas Natural	Diámetro Inyector	Kcal/h Gas Licuado	Kcal/h Gas Natural
0,10	28	15	2,00	11290	5840
0,15	64	33	2,05	11861	6136
0,20	113	58	2,10	12447	6439
0,25	176	91	2,15	13047	6749
0,30	254	131	2,20	13660	7067
0,35	346	179	2,25	14288	7392
0,40	452	234	2,30	14930	7724
0,45	572	296	2,35	15587	8063
0,50	706	365	2,40	16257	8410
0,55	854	442	2,45	16941	8764
0,60	1016	526	2,50	17640	9126
0,65	1192	617	2,55	18353	9494
0,70	1383	715	2,60	19079	9870
0,75	1588	821	2,65	19820	10254
0,80	1806	934	2,70	20575	10644
0,85	2039	1055	2,75	21344	11042
0,90	2286	1183	2,80	22128	11447
0,95	2547	1318	2,85	22925	11860
1,00	2822	1460	2,90	23736	12279
1,05	3112	1610	2,95	24562	12707
1,10	3415	1767	3,00	25402	13141
1,15	3733	1931	3,05	26255	13583

Fuente: Tecnomsm S.A.

Para 1445,53 Kcal /h, se requiere de un diámetro de 0.75cm

$$S = \frac{\pi(0.0075\text{m})^2}{4}$$

$$S = 4.42 \times 10^{-5} \text{m}^2$$

$$Q = 0.9 \times 4.42 \times 10^{-5} \sqrt{\frac{2 \times 9.81 \times 5098.58}{1.8}}$$

$$Q = 9.378 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$C_m = C_2 \times S \times \sqrt{H_1 \times m_1 \times r \left(\frac{2}{r+1} \right)^{\frac{r+1}{r-1}} \times 9.81} \quad (6.32)$$

Siendo:

$$C_2 = 1$$

$$S = 4.42 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$H_1 = 5098.58 \text{ kg/m}^2$$

$r = 1.13$ (relación de calor específico del propano comercial)

Tabla 6-5 Valores De La Relacion De Calores Especificos

Valor de la relación de calores específicos	r
Gas ciudad	1.33
Gas natural	1.31
Propano comercial	1.13
Butano comercial	1.1

Fuente: Cengel, Y. Termodinámica

Se calcula la masa volumétrica, con la altura y el radio de la boquilla:

$$m_1 = m_0 \times \frac{H_1}{10332} \times \frac{273}{273 + ^\circ\text{C}}$$

Tabla 6-6 Masa específica del gas

Masa específica del gas (Mo)	Kg/m ³
Gas ciudad	0.69
Gas natural	0.83
Propano comercial	2.07
Butano comercial	2.62

Fuente: Cengel, Y. Termodinámica

$$m_1 = 2.07 \times \frac{5098.58}{10332} \times \frac{273}{273+639}$$

$$m_1 = 0.306 \text{ kg/m}^3$$

$$C_m = 1 \times 4.42 \times 10^{-5} \times \sqrt{5098.58 \times 0.306 \times 1.13 \left(\frac{2}{1.13+1} \right)^{\frac{1.13+1}{1.13-1}} \times 9.81}$$

$$C_m = 3.47 \times 10^{-3} \text{ kg/seg (Flujo másico del combustible)}$$

6.7.8.2 CALOR TOTAL QUE GENERA EL INYECTOR

$$\dot{Q}_{ent} = C_{m_{comb}} \times P_{c_{comb}} \quad (6.33)$$

C_m = Flujo másico del combustible

P_c = Poder calorífico

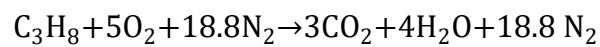
$$\dot{Q}_{ent} = 3.47 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{seg}} \times 46340 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\dot{Q}_{\text{ent}}=160.798 \frac{\text{kJ}}{\text{seg}}$$

Este calor se genera en el inyector.

6.7.8.3 REACCIÓN ESTEQUIOMÉTRICA DE LA COMBUSTIÓN

Se determina el flujo másico partiendo de la ecuación química para combustión del propano:



$$\text{CO}_2=3/25.8=0.1163$$

$$\text{H}_2\text{O}=4/25.8=0.1550$$

$$\text{N}_2=18.8/25.8=0.7287$$

$$\text{Total:} \quad 1.000$$

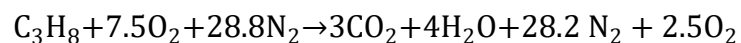
Se basa en la siguiente igualdad:

$$\text{Exceso de aire\%} = \text{aire teórico\%} - 100\%$$

Tomamos un exceso de aire para mejorar el proceso de secado de los granos de cacao.

$$\text{Exceso de aire\%} = 150\% - 100\% = 50\%$$

Entonces el combustible propano con 150% del aire teórico su relación se convierte en:



masa de aire = masa de oxígeno + masa de nitrógeno

$$\text{masa de aire} = 7.5 \text{ mol O}_2 \times 32.0 \frac{\text{lb}}{\text{mol}} + 28 \text{ mol N}_2 \times 28.0 \frac{\text{lb}}{\text{mol}}$$

$$\text{masa de aire} = 1029.6 \frac{\text{lbm aire}}{\text{lbm mol comb}}$$

$$m_{\text{comb}} = \text{C}_3\text{H}_8 = 12 \times 3 + 8 \times 1.007$$

$$m_{\text{comb}} = 44.064 \text{ lbm comb}$$

$$A_c = \frac{1029.6 \frac{\text{lbm aire}}{\text{lbm mol comb}}}{44.064 \text{ lbm comb}}$$

$$A_c = 23.366 \frac{\text{lbm aire}}{\text{lbm comb}} = 23.366 \frac{\text{kg aire}}{\text{kg comb}}$$

A continuación se procede al cálculo del flujo másico del aire,

$$\dot{m} = A_c \times \dot{m}_{\text{comb}} \quad (6.34)$$

$$\dot{m} = 23.366 \frac{\text{kg aire}}{\text{kg comb}} \times 3.47 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{seg}}$$

$$\dot{m} = 81.08 \times 10^{-3} \frac{\text{kg aire}}{\text{seg}}$$

Se calcula la transferencia de calor para el proceso de combustión de flujo estable mediante un balance de energía.

$$E_{\text{salida}} = E_{\text{entrada}}$$

$$Q_{\text{sal}} + \sum N_p(\bar{h}_f + \bar{h} - \bar{h}^\circ)_p = \sum N_r(\bar{h}_f + \bar{h} - \bar{h}^\circ)_r \quad (6.35)$$

ó

$$Q_{\text{sal}} = \sum N_p(\bar{h}_f + \bar{h} - \bar{h}^\circ)_p = \sum N_r(\bar{h}_f + \bar{h} - \bar{h}^\circ)_r \quad (6.36)$$

Se hace una suposición que el aire y los productos de combustión serán gases ideales, y se tiene que $h=h(T)$.

Tabla 6-7 Coeficientes De Conveccion De Los Gases

Sustancia	\bar{h}_f kJ/kmol	\bar{h}_{280K} kJ/kmol	\bar{h}_{298K} kJ/kmol	\bar{h}_{1500K} kJ/kmol
C ₃ H ₈	103850	-	-	-
O ₂	0	8150	8682	49292
N ₂	0	8141	8669	47073
H ₂ O	-241820	-	9904	57999
CO ₂	-393520	-	9364	71078
CO	-110530	-	8669	47517

Fuente: Cengel, Y. Termodinámica

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{sal}} = & (1 \text{ kmol C}_3\text{H}_8) [(-103850 + h_{280} - h_{298}) \text{ kJ/kmol C}_3\text{H}_8] \\
 & + (7.5 \text{ kmol O}_2) [(0 + 8150 - 8682) \text{ kJ/kmol O}_2] \\
 & + (28.8 \text{ kmol N}_2) [(0 + 8141 - 8669) \text{ kJ/kmol N}_2] \\
 & - (3 \text{ kmol CO}_2) [(-393520 + 71078 - 9364) \text{ kJ/kmol CO}_2] \\
 & - (4 \text{ kmol H}_2\text{O}) [(-241820 + 57999 - 9904) \text{ kJ/kmol H}_2\text{O}]
 \end{aligned}$$

$$-(28.8 \text{ kmol N}_2) [(0 + 47073 - 8669) \text{ kJ/kmol N}_2]$$

$$-(2.5 \text{ kmol O}_2) [(0 + 8150 - 8682) \text{ kJ/kmol O}_2]$$

$$Q_{\text{sal}} = 527506.4 \text{ kJ/kmol de C}_3\text{H}_8$$

Este resultado indica que 527506.4 kJ de calor transfieren desde la cámara de combustión por cada mol de C₃H₈.

$$q_{\text{sal}} = \frac{527506.4 \text{ kJ/kmol}}{44.097 \text{ kg/Kmol}}$$

$$q_{\text{sal}} = 11962.41 \frac{\text{kJ}}{\text{kg GLP}}$$

A continuación se calcula la transferencia de calor para el flujo másico hallado anteriormente.

$$\dot{Q}_{\text{sal}} = \dot{m} \cdot q_{\text{sal}} \tag{6.37}$$

$$\dot{Q}_{\text{sal}} = 81.08 \times 10^{-3} \frac{\text{kg aire}}{\text{seg}} \times 11962.41 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\dot{Q}_{\text{sal}} = 969.91 \frac{\text{kJ}}{\text{seg}} = 969.91 \text{ kw}$$

6.7.9 SELECCIÓN DEL VENTILADOR

6.7.9.1 Flujo De Aire En La Cámara De Secado

$$\dot{m} = \frac{Q_{\text{operación}}}{C_p \times \Delta T} \quad (6.38)$$

$$Q_{\text{operación}} = 969.91 \text{ kJ/s} = 3491676 \text{ KJ/h}$$

$$C_p = 1.007 \text{ kJ/kg}^\circ\text{K aire @ } 338^\circ\text{K}$$

$$\rho = 1.034 \text{ kg/m}^3 \text{ aire @ } 338^\circ\text{K}$$

$$\dot{m} = \frac{3491676 \text{ kJ/h}}{1.007 \text{ kg/m}^3 \times 37^\circ\text{K}}$$

$$\dot{m} = 93713.63 \text{ kg/h}$$

6.7.9.2 CAUDAL DEL VENTILADOR

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

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

$$\dot{V} = \frac{93713.63 \text{ kg/h}}{1.034 \text{ kg/m}^3}$$

$$\dot{V} = 90632.13 \approx 90650 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 25.18 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

6.7.9.3 DIÁMETRO DEL RODETE

Por efectos de cálculo se impone un diámetro exterior y diámetro interior del ventilador

$$D_1 = 270 \text{ mm,}$$

$$D_2 = 345 \text{ mm}$$

Ancho del rodete

$$R = \frac{b}{D_2} \quad (6.39)$$

Donde:

$R = 0.45$ Relación de aspecto (impuesto)

b = Ancho del rodete

$$b = R \times D_2$$

$$b = 0.45 \times 345$$

$$b = 155.25 \approx 156 \text{ mm}$$

Velocidad de entrada

$$U_1 = \frac{\pi D_1 n}{60} \quad (6.40)$$

$n=3600\text{rpm}$

$$U_1 = \frac{\pi \times 0.27\text{m} \times 3600\text{rpm}}{60}$$

$$U_1 = 50.89 \text{ m/s}$$

Velocidad Absoluta

$$C_{1m} = C_1 = \frac{Q}{\pi \times D_1 \times b} \quad (6.41)$$

$$C_{1m} = C_1 = \frac{25.18 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi \times 0.27\text{m} \times 0.156\text{m}}$$

$$C_{1m} = C_1 = 190.29 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\beta = \arctg \frac{C_1}{U_1} \quad (6.4213)$$

$$\beta = \arctg \frac{190.29}{50.89}$$

$$\beta = 75.027^\circ$$

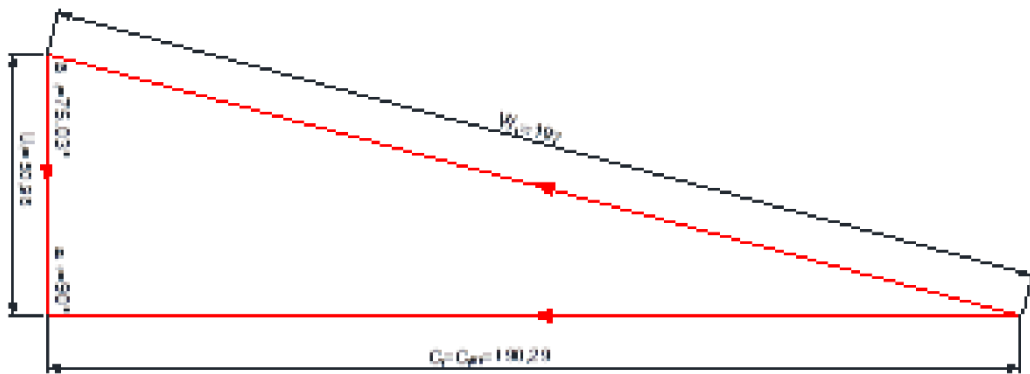


Figura 6.4 Diagrama De Velocidades Del Rodete

Fuente: Marcos Vargas

Velocidad de salida

$$U_2 = \frac{\pi D_2 n}{60} \quad (6.43)$$

$$U_2 = \frac{\pi \times 0.345 \times 3600}{60}$$

$$U_2 = 65.031$$

Se calcula el ángulo de salida

$$\frac{R_2}{\cos \beta_1} = \frac{R_1}{\cos \beta_2}$$

$$\cos \beta_2 = \frac{0.135}{0.1725} \times \cos 75.027$$

$$\beta_2 = 78.334^\circ$$

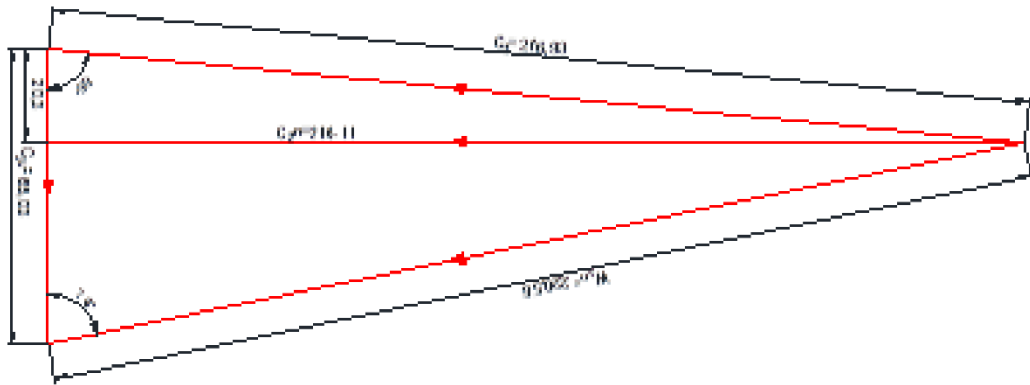


Figura 6.5 Diagrama De Velocidades En El Aspa Del Rodete

Fuente: Marcos Vargas

6.7.9.4 PRESIÓN PRODUCIDA POR EL VENTILADOR EN LA ECUACIÓN DE LA CONTINUIDAD

$$Q = \pi \times D_1 \times b_1 \times C_{1m} = \pi \times D_2 \times b_2 \times C_{2m} \quad (6.44)$$

$$C_{2m} = \frac{D_1 \times b_1}{D_2 \times b_2} \times C_{1m}$$

$$C_{2m} = \frac{270 \times 156}{345 \times 107.5} \times 190.29$$

$$C_{2m} = 216.11 \text{ m/seg}$$

$$C_{2u} = U_2 - \frac{C_{2m}}{\text{tg}\beta_2} \quad (6.45)$$

$$C_{2u} = 65.031 - \frac{216.11}{\text{tg}78.334}$$

$$C_{2u}=20.433 \text{ m/seg}$$

$$C_2=\sqrt{C_{2m}^2+C_{2u}^2} \quad (6.46)$$

$$C_2=\sqrt{216.11^2+20.433^2}$$

$$C_2=217.07 \text{ m/seg}$$

$$w^2=U^2+C_2^2-2U_2C_{2u} \quad (6.47)$$

$$w^2=65.031^2+217.07^2-2(65.031)(20.433)$$

$$w=220.66\text{m/seg}$$

$$wr=\frac{U_2}{r_2}$$

$$wr=\frac{65.031}{0.1725}$$

$$wr=376.99 \text{ rad/seg}$$

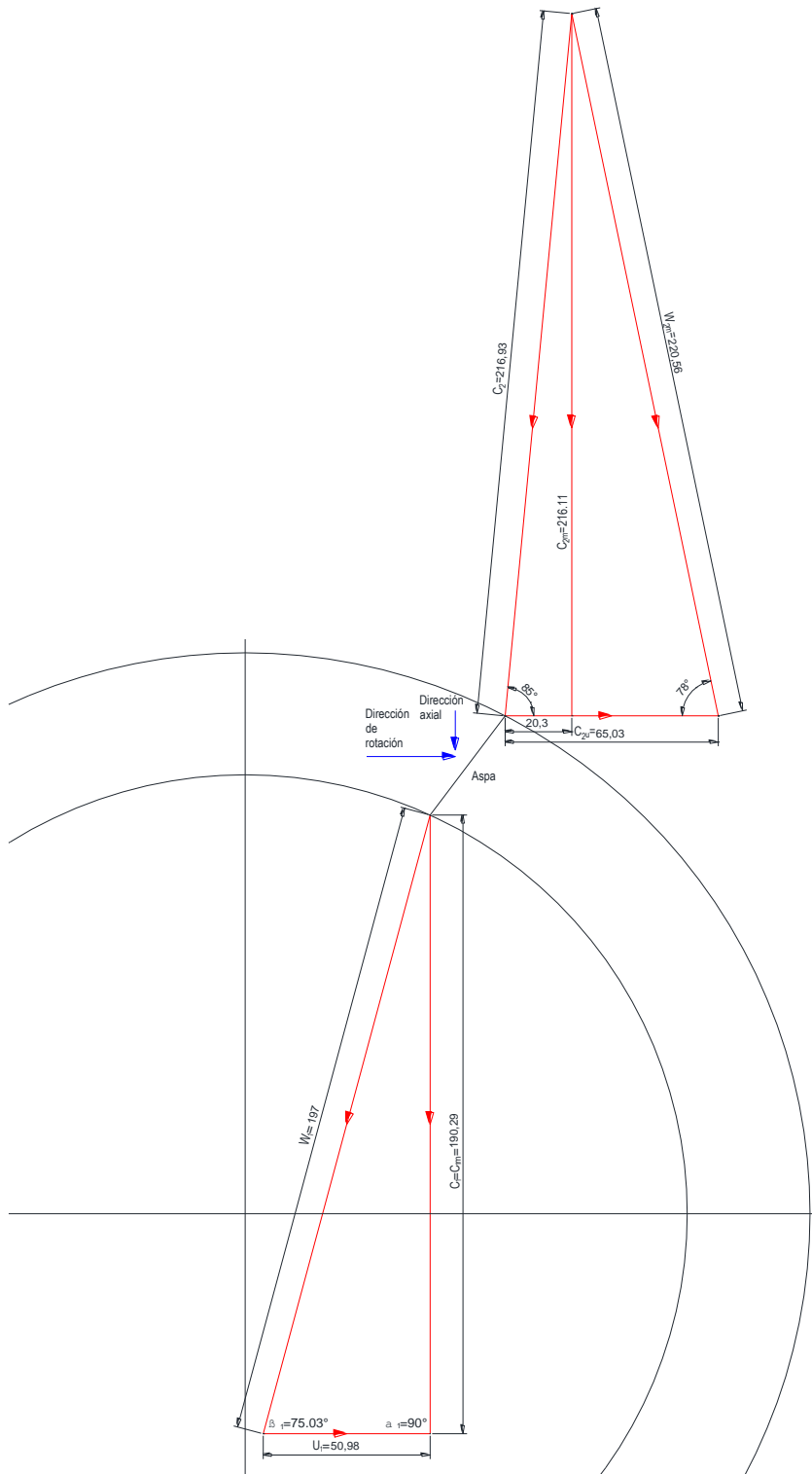


Figura 6.6 Diagrama De Velocidades

Fuente: Marcos Vargas

6.7.10 Cálculo para la construcción del rodete.

- Número de álabes en el rodete del ventilador

$$z = \frac{\beta_2}{3} \quad (6.4814)$$

$$z = \frac{78.334}{3}$$

$z = 26$ álabes

Geometría del álabe

$$\bar{z} = \frac{360^\circ}{z} = \frac{360}{26} = 13.85^\circ$$

$$\theta = 60^\circ - \frac{\bar{z}}{2} = 53.075^\circ$$

$$\lambda = 150^\circ - \frac{\bar{z}}{2} = 143.075^\circ$$

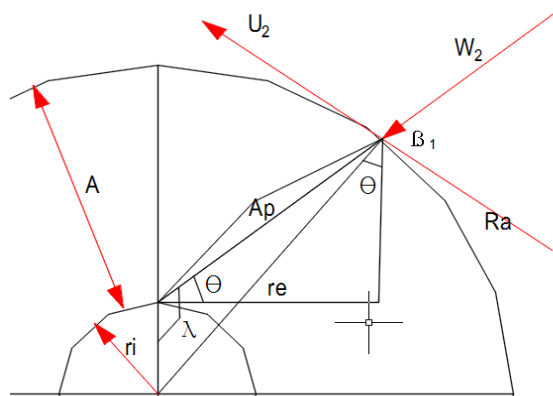


Figura 6.7 Diseño para la construcción del rodete

Fuente: Marcos Vargas

6.7.11 Cálculo de fuerzas generadas en el rodete

Se calcula el caudal que ingresa en un álabe

$$Q_a = \frac{Q_{\max}}{Z} \quad (6.49)$$

$$Q_a = \frac{25.18 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{26}$$

$$Q_a = 0.968 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Peso de un álabe.

$$P_a = P_u \times L \quad (6.50)$$

$$P_u = 1.646 \text{ kgf/m}$$

$$L = 0.075 \text{ m}$$

$$P_a = 1.646 \times 0.075$$

$$P_a = 0.123 \text{ kgf}$$

$$\sum F_x = Q_a \rho (-C_{1x} + C_{2x})$$

$$\sum F_x = (0.968)(1.034)(20.42)$$

$$\sum F_x = 20.44 \text{kgf}$$

$$\sum F_y = Q_a \rho (-C_{1y} + C_{2y})$$

$$\sum F_y = (0.028)(1.034)(-190.29 + 216.01)$$

$$\sum F_y = 25.72 \text{kgf}$$

$$R_1 = \sqrt{\sum F_x^2 + \sum F_y^2}$$

$$R_1 = \sqrt{(20.44)^2 + (25.72)^2}$$

$$R_1 = 32.85 \text{kgf}$$

$$\varepsilon = 51.52^\circ$$

6.7.11.1 FUERZA CENTRÍFUGA

$$F_c = P_a N^2 r_e \quad (6.51)$$

F_c = Fuerza Centrífuga

P_a = Peso del álabe

N = Velocidad de embalamiento (rpm) se tomará la velocidad del ventilador por efectos de cálculo

$$N = 377 \text{ rad/seg}$$

$$F_c=(0.123)(377)^2(0.135)$$

$$F_c=2360.05 \text{ kgf}$$

$$\sum F_x = -R_{1x}$$

$$\sum F_x = -20.44 \text{ kgf}$$

$$\sum F_y = F_c + R_{1y}$$

$$\sum F_y = 2360.05 + 20.13$$

$$\sum F_y = 2380.18$$

Se calcula la fuerza total en el álabe

$$R_1 = \sqrt{(-20.44)^2 + (2380.18)^2}$$

$$R_1 = 2380.27 \text{ kgf}$$

6.7.11.2 POTENCIA DEL VENTILADOR

$$\Delta P = 123 [\text{mmH}_2\text{O}]$$

$$\Delta P = 1206.22 \left[\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right]$$

Se calcula la cabeza de presión,

$$h = \frac{\Delta P}{\rho g}$$

$$\rho_{a@65^{\circ}\text{C}} = 1.034 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right]$$

$$g = 9.8 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$$

$$h = \frac{1206.22}{(1.034)(9.8)}$$

$$h = 118.91 [\text{m}]$$

Se calcula la potencia útil del ventilador P_u :

$$P_u = \rho \cdot Q \cdot g \cdot h$$

$$P_u = 1166.38 [\text{W}]$$

$$P_u = (1.034)(0.968)(9.8)(118.91)$$

Sabemos que para turbinas de aspas radiales el rendimiento está entre el 56% y el 69%, de lo cual asumimos un rendimiento del 69 %; de lo cual resulta:

$$P_{\text{Suministrada}} = \frac{P_u}{\eta}$$

$$P_{\text{Suministrada}} = \frac{1166.38}{0.69}$$

$$P_{\text{Suministrada}} = 1690.41 \text{ [W]}$$

$$P_{\text{Suministrada}} = 2.26 \text{ [Hp]} \approx 2.5 \text{ [Hp]}$$

El resultado nos da una potencia efectiva de 2.5 [hp] estandarizando.

6.7.11.3 SELECCIÓN DE BANDA

Se selecciona una banda trapezoidal porque absorbe una mayor vibración y produce poco ruido además presenta una eficiencia entre el 70 al 98% aproximadamente.

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{D_1}{D_2} \quad (6.52)$$

Dónde:

D_1 = Diámetro de la polea conductora [in]

D_2 = Diámetro de la polea conducida [in]

n_1 = Velocidad de la polea conductora [RPM del motor 1500]

n_2 = Velocidad de la polea conducida [RPM requeridas por la turbina 3600]

$$D_2 = \frac{D_1 \times n_1}{n_2}$$

$$D_2 = \frac{6 \times 1500}{3600}$$

$$D_2 = 2.5 \text{ in}$$

6.7.11.4 LONGITUD DE BANDA

Se asume una banda A38.

Se calcula la longitud de paso.

$$L_p = L + L_c \quad (6.53)$$

Donde:

L_p = Longitud de paso (pulg)

L_c = 1.3 cantidad a sumar (Anexo 13)

$$L_p = 38 + 1.3$$

$$L_p = 39.3$$

Se calcula la distancia entre centros.

C = Distancia entre centros [pulg]

L_p = Longitud de paso [pulg]

d = Diámetro de la polea conducida [2 pulg]

D = Diámetro polea motriz [6 pulg]

$$C=0.25 \left\{ \left[L_p - \frac{\pi}{2} (D+d) \right] + \sqrt{\left[L_p - \frac{\pi}{2} (D+d) \right]^2 - 2(D-d)^2} \right\} \quad (6.54)$$

$$C=0.25 \left\{ \left[39.3 - \frac{\pi}{2} (6+2.5) \right] + \sqrt{\left[39.3 - \frac{\pi}{2} (6+2.5) \right]^2 - 2(6-2.5)^2} \right\}$$

$$C=12.855[\text{pulg}]$$

Ángulo de contacto

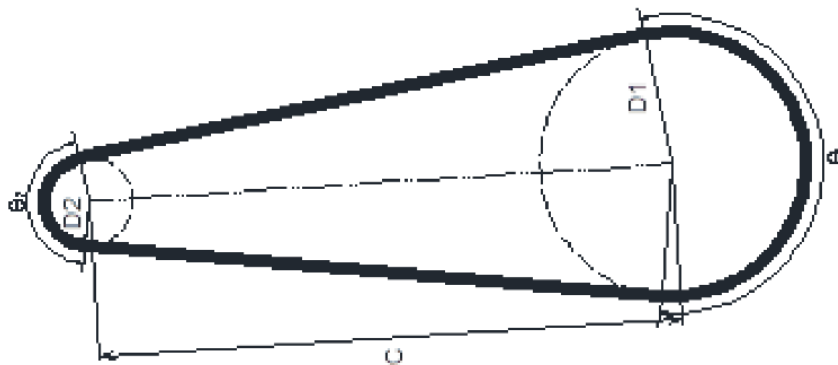


Figura 6.8 Ángulo de contacto de la banda

Fuente: Marcos Vargas

$$\theta_2 = 180^\circ - 2 \sin^{-1} \frac{[D_1 - D_2]}{2C} \quad (6.55)$$

$$\theta_1 = 180^\circ + 2 \sin^{-1} \frac{[D_1 - D_2]}{2C} \quad (6.56)$$

$$C=12.855 \text{ [pulg]}$$

$$\theta_2=180^\circ-2\sin^{-1}\frac{[6-2.5]}{2\times 12.855}$$

$$\theta_2=164.35^\circ\cong 2.87[\text{rad}]$$

$$\theta_1=180^\circ+2\sin^{-1}\frac{[6-2.5]}{2\times 12.855} \quad (6.57)$$

$$\theta_1=195.65^\circ\cong 3.41[\text{rad}]$$

$$L=[4C^2-(D_1-D_2)^2]^{1/2}+\frac{1}{2}(D_1\theta_1+D_2\theta_2)$$

$$L=[4(12.855)^2-(6-2.5)^2]^{1/2}+\frac{1}{2}(6\times 3.41+2.5\times 2.87)$$

$$L=39.287[\text{pulg}]$$

$$\rightarrow L=40[\text{pulg}]$$

6.7.11.5 Velocidad periférica

$$V=\frac{\pi\times D_2\times n_1}{12}$$

$$V=\frac{\pi\times 2.5\times 1500}{12}$$

$$V=981.75\left[\frac{\text{ft}}{\text{min}}\right]$$

Calculamos la potencia permitida para la banda

$$H_a = K_1 \cdot K_2 \cdot H_{tab} \quad (6.58)$$

Con un factor de corrección del ángulo de contacto K_1

$$\frac{D_1 - D_2}{C} = \frac{6 - 2.5}{12.855} = 0.272$$

$K_1 = 0.787$ (Anexo 13)

Para el factor de corrección de longitud de banda

$K_2 = 0.9$ (Anexo 13)

$H_{tab} = 1.154$ (Anexo 13)

$$H_a = (0.787)(0.9)(1.154)$$

$$H_a = 0.817 [Hp]$$

6.7.12 Potencia de diseño

$$H_d = K_s \cdot H_{nom} \quad (6.59)$$

Para lo cual tenemos:

H_d = Potencia de diseño

$H_{nom} = 2.5$ Potencia nominal

$K_s=1$ Uniforme (Anexo 13)

$$H_d = K_s \cdot H_{nom}$$

$$H_d = 1 \times 2.5$$

$$H_d = 2.5$$

6.7.12.1 CALCULO DE NÚMERO DE BANDAS

$$N_b = \frac{H_d}{H_a} \quad (6.60)$$

$$N_b = \frac{2.5}{0.817}$$

$$N_b = 3.1 \approx 3 \text{ bandas}$$

6.7.12.2 TENSION CENTRIFUGA

$$F_c = K_c \left(\frac{V}{1000} \right)^2 \quad (6.61)$$

Donde:

F_c = Tensión centrífuga

$K_c=0.561$ Anexo 13

$$F_c = 0.561 \left(\frac{981.75}{1000} \right)^2$$

$$F_c = 0.54[\text{lb}] = 1.976[\text{N}]$$

6.7.12.3 TENSIÓN MAYOR

$$\Delta F = F_1 - F_2$$

$$\Delta F = \frac{63025 \frac{H_d}{N_b}}{n(d/2)} \quad (6.62)$$

$$\Delta F = \frac{63025 \frac{2.5}{3.1}}{1500(2.5/2)}$$

$$\Delta F = 27.1[\text{N}]$$

$$F_1 = F_c + \frac{\Delta F \cdot \exp(f\varphi)}{\exp(f\varphi) - 1} \quad (6.63)$$

$f = 0.8$ (Anexo 13)

$$\varphi = \theta_d = \theta_2 = 2.87[\text{rad}]$$

$$\exp(f\varphi) = \exp(0.8 \times 2.87)$$

$$\exp(f\varphi) = 9.934$$

$$F_1 = 1.976 + \frac{27.1 \times 9.934}{9.934 - 1}$$

$$F_1 = 32.1[\text{N}]$$

6.7.12.4 TENSIÓN MENOR

$$F_2 = F_1 - \Delta F$$

$$F_2 = 32.1 - 27.1$$

$$F_2 = 5$$

6.7.12.5 TENSIÓN INICIAL

$$F_i = \frac{F_1 + F_2}{2} - F_c$$

$$F_i = \frac{32.1 + 5}{2} - 1.976$$

$$F_i = 16.57$$

$$T = r(F_1 - F_2) [\text{N.m}]$$

$$T = 0.0635(32.1 - 5) [\text{N.m}]$$

$$T = 1.72 [\text{N.m}]$$

6.7.12.6 FACTOR DE SEGURIDAD

$$n_{fs} = \frac{H_a N_b}{H_{nom} K_s} \quad (6.64)$$

$$n_{fs} = \frac{(0.817)(3.1)}{(2.5)(1)}$$

$$n_{fs} = 1.01$$

El resultado nos indica que la banda A40 es la indicada para emplearse en el ventilador.

6.7.13 DISEÑO DEL EJE DEL VENTILADOR

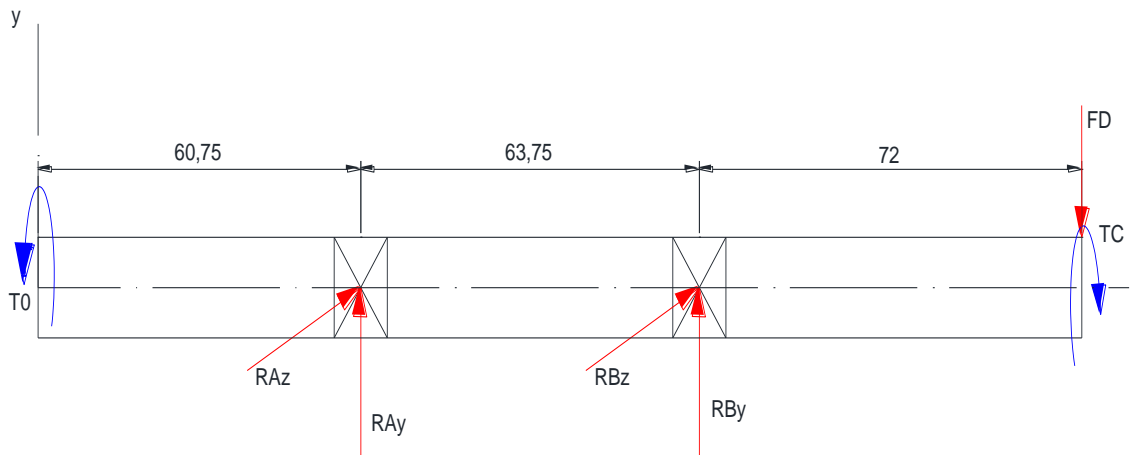


Figura 6.9 Diagrama de fuerza del eje del ventilador

Fuente: Marcos Vargas

La fuerza flexionante que ejerce en el punto FD en el eje para transmisiones con banda en V es

$$FD = F_1 + F_2 \quad (6.65)$$

$$FD = 3(32.1 + 5) [N]$$

$$FD = 111.3 [N]$$

6.7.14 CÁLCULO DE MOMENTOS MÁXIMOS Y REACCIONES

Para el plano X-Y

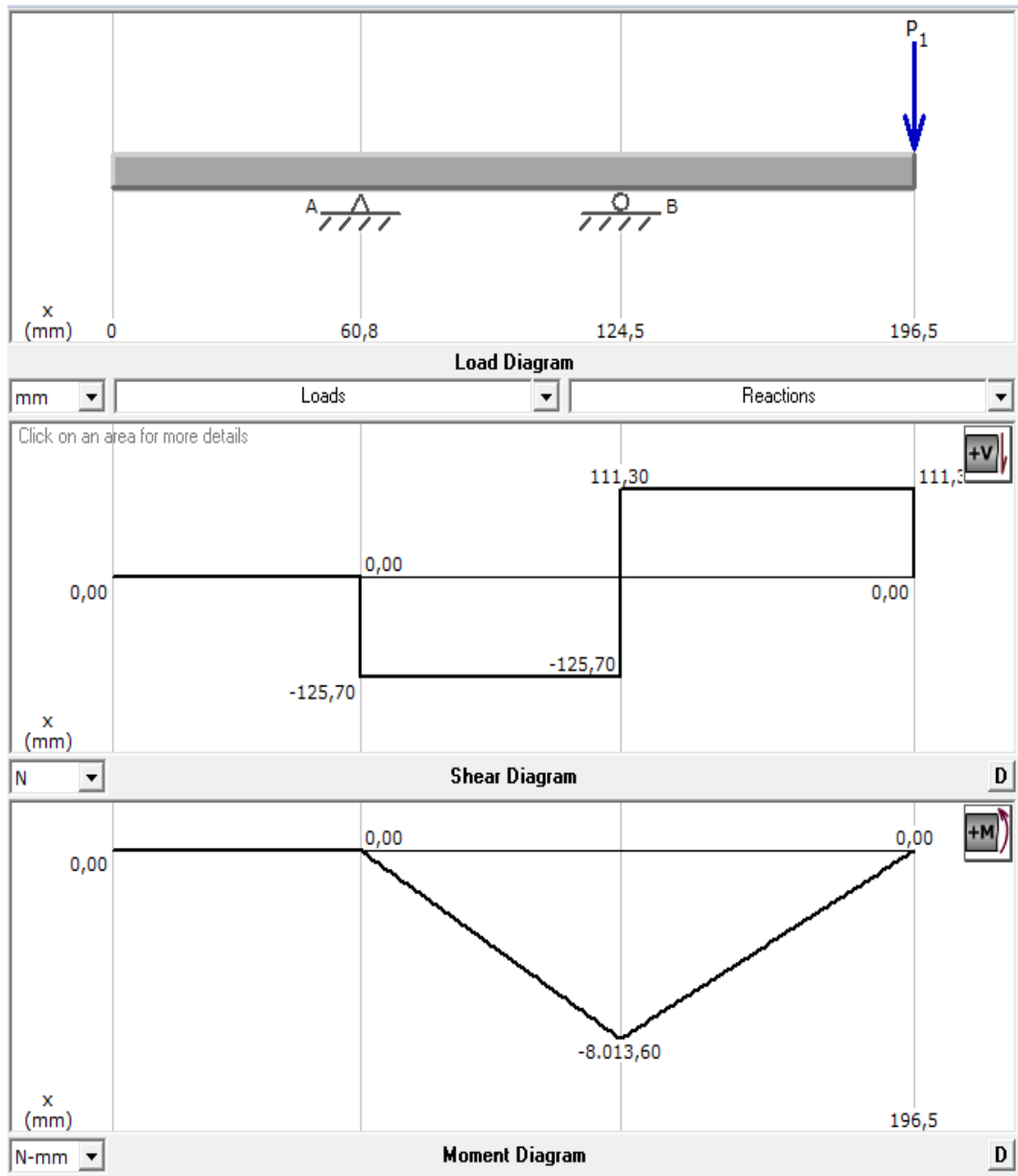


Figura 6.10 Diagrama De Fuerzas Y Momentos

Fuente: Marcos Vargas

$$\curvearrowright \sum M_A = 0$$

$$-111.3[\text{N}](0.1965[\text{m}]) + R_{BY}(0.1245[\text{m}]) = 0$$

$$R_{BY} = \frac{(111.3[\text{N}](0.1965[\text{m}]))}{0.1245[\text{m}]}$$

$$R_{BY} = 175.67 [\text{N}]$$

$$\uparrow \sum F_H = 0$$

$$-F_D + R_{AY} + R_{BY} = 0$$

$$-111.3[\text{N}] + R_{AY} + 175.67 [\text{N}] = 0$$

$$R_{AY} = -64.35 [\text{N}]$$

$$V_0 = 0$$

$$V_{AI} = 0$$

$$V_{AD} = 0 - 64.35 = -64.35$$

$$V_{BI} = -64.35 + 0 = -64.35$$

$$V_{BD} = -64.35 + 175.67 = 111.3$$

$$V_{CI} = 111.3 + 0 = 111.3$$

$$V_{CD} = 111.3 - 111.3 = 0$$

$$M_0=0$$

$$M_A=0$$

$$M_B=0-(125.7)(63.75 \times 10^{-3})=-8.013$$

$$M_C=-8.013+(111.3)(72 \times 10^{-3})=0$$

Plano X-Z

$$\cup \sum M_B=0$$

$$0 \times (0.13575 \text{ [m]}) + R_{BZ}(0.072 \text{ [m]}) = 0$$

$$R_{BZ}=0 \text{ [N]}$$

$$\uparrow \sum F_H=0$$

$$R_{AZ} - R_{BZ} = 0$$

$$R_{AZ} = R_{BZ} = 0$$

$$M_{\text{MAX}} = \sqrt{(0)^2 + (-8.013)^2} \text{ [N.m]}$$

$$M_{\text{MAX}} = 8.013 \text{ [N.m]}$$

6.7.15 DISEÑO ESTÁTICO

Para el esfuerzo máximo por flexión tenemos:

$$\sigma_x = \frac{32.M_{MAX}}{\pi d^3} \quad (6.66)$$

$$\sigma_x = \frac{32 \times 8.013 \text{ [N.m]}}{\pi d^3}$$

$$\sigma_x = \frac{81.62 \text{ [N.m]}}{d^3}$$

Para el esfuerzo máximo por torsión tenemos:

$$\tau_{xy} = \frac{16T}{\pi d^3}$$

$$T = I \times \alpha$$

$$I = I_{eje} + I_{rodete}$$

$$I = (1.473 \times 10^{-3} + 18 \times 10^{-3}) [\text{Kg.m}^2]$$

$$I = 0.0195 [\text{Kg.m}^2]$$

$$\alpha = \frac{376.99 \text{ [rad/s]} - 0}{0.5 \text{ [s]}}$$

$$\alpha = 753.98 \text{ [rad/s}^2\text{]}$$

$$T = 0.0195 \times 753.98$$

$$T = 14.7 \text{ [N.m]}$$

$$\tau_{xy} = \frac{16 \times 14.7 \text{ [N.m]}}{\pi d^3}$$

$$\tau_{xy} = \frac{74.88 \text{ [N.m]}}{d^3}$$

Para el cálculo del diámetro por resistencia estática, se usa la teoría VON MISES de esfuerzos combinados

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2} \quad (6.67)$$

$$\sigma' = \sqrt{\left(\frac{81.62}{d^3}\right)^2 + 3\left(\frac{74.88}{d^3}\right)^2}$$

$$\sigma' = \frac{153.24 \text{ [N.m]}}{d^3}$$

Para el eje de la turbina se toma un acero AISI 304: (Anexo 16)

$$S_y = 276 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$S_{ut} = 586 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$n = \frac{S_y}{\sigma'} \quad (6.68)$$

$$\sigma' = \frac{S_y}{n}$$

Para encontrar el diámetro se impone un factor de diseño de 1.2:

$$\sigma' = \frac{276 \text{ [MPa]}}{1.2}$$

$$\sigma' = 230 [\text{MPa}]$$

$$230 \times 10^6 [\text{Pa}] = \frac{153.24 [\text{N.m}]}{d^3}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{153.24 [\text{N.m}]}{230 \times 10^6 [\text{Pa}]}}$$

$$d = 8.73 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$d = 8.73 \text{ mm}$$

6.7.16 DISEÑO DINÁMICO

Determinamos el factor S_e' a partir del S_{ut}

$$S_e' = \begin{cases} 0.5 S_{ut} & S_{ut} \leq 200 \text{ kpsi (1 400 MPa)} \\ 100 \text{ kpsi} & S_{ut} > 200 \text{ kpsi} \\ 700 \text{ MPa} & S_{ut} > 1 400 \text{ MPa} \end{cases}$$

Fuente: Joseph E. Shigley, Diseño en Ingeniería Mecánica

Como $S_{ut} = 586 [\text{MPa}]$,

De donde tenemos que:

$S_{ut} \leq 1400 [\text{MPa}]$.

Por lo tanto:

$$S_e' = 0.5 S_{ut}$$

$$S_e' = 0.5(586[\text{MPa}])$$

$$S_e' = 293[\text{MPa}]$$

Donde tenemos la modificación de S_e' para determinar S_e :

$$S_e = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_f \cdot S_e'$$

Dónde:

S_e = Limite de resistencia a la fatiga del eje.

S_e' = Limite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria.

K_a = Factor de superficie.

K_b = Factor de tamaño.

K_c = Factor de confiabilidad.

K_d = Factor de temperatura.

K_e = Factor de efectos diversos.

K_f = Factor de concentración de tensiones.

- **Factor de superficie K_a .**

El factor de superficie K_a depende de la calidad del acabado superficial.

$$k_a = a S_{ut}^b$$

Tabla 6-8 Parámetros del factor de modificación superficial de Marin.

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	S_{ut} kpsi	S_{ut} MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

Fuente: Joseph E. Shigley, Diseño en Ingeniería Mecánica

Maquinado o laminado en frío

$$a = 4.51$$

$$b = -0.265$$

$$\rightarrow k_a = 4.51(586)^{-0.265} = 0.833$$

- **Factor de tamaño K_b .**

$$k_b = \begin{cases} (d/0.3)^{-0.107} = 0.879d^{-0.107} & 0.11 \leq d \leq 2 \text{ pulg} \\ 0.91d^{-0.157} & 2 < d \leq 10 \text{ pulg} \\ (d/7.62)^{-0.107} = 1.24d^{-0.107} & 2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ 1.51d^{-0.157} & 51 < d \leq 254 \text{ mm} \end{cases}$$

Fuente: Joseph E. Shigley, Diseño en Ingeniería Mecánica

$$k_b = 1.24d^{-0.107}, 2.79 \leq d \leq 51 [\text{mm}]$$

$$\rightarrow k_b = 1.24(8.73)^{-0.107} = 0.983$$

- **Factor de confiabilidad K_c .**

$$k_c = \begin{cases} 1 & \text{flexión} \\ 0.85 & \text{axial} \\ 0.59 & \text{torsión}^{17} \end{cases}$$

Fuente: Joseph E. Shigley, Diseño en Ingeniería Mecánica

$$\rightarrow k_c = 0.59 \text{ (El eje está sometido a torsión)}$$

- **Factor de temperatura**

$$k_d = \frac{S_T}{S_{RT}} \text{ (Temperatura máxima de operación } 150 \text{ }^\circ\text{C)}$$

Tabla 6-9 Efecto de la temperatura de operación en la resistencia a la tensión del acero.

Temperatura, °C	S_T/S_{RT}	Temperatura, °F	S_T/S_{RT}
20	1.000	70	1.000
50	1.010	100	1.008
100	1.020	200	1.020
150	1.025	300	1.024
200	1.020	400	1.018
250	1.000	500	0.995
300	0.975	600	0.963
350	0.943	700	0.927
400	0.900	800	0.872
450	0.843	900	0.797
500	0.768	1 000	0.698
550	0.672	1 100	0.567
600	0.549		

Fuente: Joseph E. Shigley, Diseño en Ingeniería Mecánica

$$\rightarrow k_d = 1.025$$

- **Factor de efectos diversos K_e .**

Se toma en cuenta la confiabilidad con la siguiente formula:

$$\rightarrow k_e = 1 - 0,08 Z_a$$

De donde se desprende la siguiente tabla:

Tabla 6-10 Factores de confiabilidad k_e correspondientes a las 8 desviaciones estándar.

Confiabilidad, %	Variación de transformación z_a	Factor de confiabilidad k_e
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

Fuente: Joseph E. Shigley, Diseño en Ingeniería Mecánica

$$\rightarrow k_e = 0.868 \text{ (Para una confiabilidad del 95\%)}$$

$$\rightarrow k_f = 1 \text{ (Sección uniforme)}$$

Donde tenemos como resultado:

$$S_e = (0.833)(0.983)(0.59)(1.025)(0.868)(1)(293[\text{MPa}])$$

$$S_e = 125.99 [\text{MPa}]$$

Las cargas alternantes T_a y T_m son:

$$\sigma_a = \sqrt{\frac{32 \times 8.013}{\pi(0.00873)^3} + 3 \left(\frac{74.88}{0.00873^3} \right)^2}$$

$$\sigma_a = 194.93 [\text{MPa}]$$

$$M_a = \frac{\sigma_a \pi d^3}{32}$$

$$M_a = \frac{194.93 \times 10^6 \times \pi \times 0.00815^3}{32}$$

$$M_a = 10.36$$

$$T_a = 14.7 [\text{N.m}]$$

Debido a que no existe fluctuación de cargas M_m y $T_m = 0$

Para obtener el factor de seguridad, aplicamos la teoría de falla de Soderberg,

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi d^3} \left\{ \frac{1}{S_e} [4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2]^{1/2} + \frac{1}{S_{yt}} [4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2]^{1/2} \right\}$$

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi(0.00873)^3} \left\{ \frac{1}{125.99 \times 10^6} [4(1 \times 10.36)^2 + 3(1 \times 14.7)^2]^{1/2} \right\}$$

$$\frac{1}{n} = 1.994$$

$$n = 0.501$$

Este resultado indica que el eje con un diámetro de 8.73 mm no soporta los esfuerzos. Se recalcula con un valor de diámetro mayor (12.7 mm).

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi(0.02)^3} \left\{ \frac{1}{125.99 \times 10^6} [4(1 \times 10.36)^2 + 3(1 \times 14.7)^2]^{1/2} \right\}$$

$$\frac{1}{n} = 0.648$$

$$n = 1.54$$

Este valor indica que el eje con un diámetro de 12.7 mm (1/2 in) es adecuado.

6.8 ADMINISTRACIÓN

El presente estudio se lo ha realizado en base a la información existente en la finca Inesita y a las pruebas realizadas sobre este proceso permiten obtener parámetros para el desarrollo de tablas de adquisición, demostrando los objetivos propuestos anteriormente.

El equipo diseñado se encuentra listo para su posterior construcción mediante la administración de la Finca Inesita.

6.8.1 Especificaciones Del Diseño

El prototipo consta de un ventilador de 1 Hp de potencia con el cual se suministra el aire caliente a la cámara de secado. Este ventilador está compuesto por un eje de diámetro igual a 13 mm. También consta de un rodete de diámetro exterior igual a 156 mm y 26 álabes de sección recta por facilidad de construcción. Con este ventilador se suministra aire caliente con un caudal de 25,18 m³/s aproximadamente. El volumen de la cámara de secado es de 200.7 × 10⁻³ m³ y tiene una carga de 100 kg de cacao con una holgura suficiente para que el grano gire con cierta libertad.

Reducir el Tiempo de operación: Con el desarrollo de la nueva tecnología nos permite la innovación de los procesos de producción ya existentes creando equipos mucho más eficientes con reducción de tiempos y optimizando recursos.

Precautelar la seguridad del operario: Con el desarrollo de la nueva tecnología nos permite mejores niveles de seguridad para el personal que se encuentra a cargo de manipular el equipo.

Mejorar la calidad y la cantidad de la producción: Con el diseño de esta secadora se obtendrá una calidad más alta de los granos de cacao en lo que tiene que ver con su coloración debido a que se tiene una temperatura estable durante todo el proceso de tueste, también se incrementara la producción mediante la reducción del tiempo total del proceso mejorando los ingresos para la empresa.

BIBLIOGRAFÍA

Anecacao. (2004).

AUEMTAR. (2010). AUEMTAR. En AUEMTAR, AUEMTAR. Quito.

BRAUDEAU, J. (1970). El Cacao. En J. BRAUDEAU, El Cacao;. España: Blume.

ÇENGEL, Y. A. (2006). Transferencia de Calor . En Y. A. ÇENGEL, Transferencia de Calor . Mexico: MCGRAW-HILL.

ÇENGEL, Y. A. (2012). TERMODINAMICA 7ma Ed. En Y. A. ÇENGEL, TERMODINAMICA 7ma Ed. Mexico: MCGRAW-HILL.

Enriquez, G. (1995). Beneficio del Cacao. INIAP.

FAOSTAD. (2010).

Guamán, C. M. (2007). Estudio de factibilidad para el cultivo de cacao. En C. M. Guamán, Estudio de factibilidad para el cultivo de “cacao.

Incropera, F. P. (1999.). Fundamentos de Transferencia de Calor. 4ta. ed. . En F. P. Incropera, Fundamentos de Transferencia de Calor. 4ta. ed. . Mexico. : PRENTICE HALL.

INEN. (2006). Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 176:2006. En INEN, Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 176:2006. Cuarta Revisión.

INIAP. (2006). Calidad física y organoléptica del cacao. En INIAP, Calidad física y organoléptica del cacao. Quevedo .

López, G. N. (2012). ELABORACIÓN DE PROYECTOS Y TESIS DE POSGRADO. En G. N. López, ELABORACIÓN DE PROYECTOS Y TESIS DE POSGRADO.

MALESPÍN, M. (1982). El Cacao. Nicaragua: IICA.


Mischke., J. E. (2002). Diseño en ingeniería mecánica. 4ta. ed. En J. E. Mischke., Diseño en ingeniería mecánica. 4ta. ed. Mexico D.F.: McGraw-Hill.

Nonhebel , G. (1979). “El secado de sólidos en la industria Química”. En G. Nonhebel, “El secado de sólidos en la industria Química”. España: Ed. Reverté.

Perry, R. (1992). Manual del Ingeniero Químico. Mexico: McGraw Hill.

ANEXOS



ANEXO 1 PRUEBA N° 1

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA ENSAYO DE SECADO MECÁNICO DEL CACAO 						
DATOS INFORMATIVOS						
Tiempo: 30 min			Fecha: 08/08/2015			
Temperatura: 65 °C			Lugar: Cantón Naranjito			
Cantidad: 10 Kg			Autor: Marcos Vargas			
PRUEBA N° 1						
#	Tiempo (min)	Humedad %	Peso (kg)	%	Temperatura Interior °C	Temperatura Exterior °C
1	0	70,3	10	0	28	28
2	5	63,5	9,606	0,394	42	30
3	10	34,9	7,932	2,068	61	33
4	15	18,1	5,323	4,677	63	34
5	20	11,4	3,854	6,146	65	35
6	25	9,7	3,344	6,656	65	38
7	30	9,7	3,344	6,656	65	38

ANEXO 2 PRUEBA N° 2

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA ENSAYO DE SECADO MECÁNICO DEL CACAO 						
DATOS INFORMATIVOS						
Tiempo: 30 min			Fecha: 09/08/2015			
Temperatura: 65 °C			Lugar: Cantón Naranjito			
Cantidad: 10 Kg			Autor: Marcos Vargas			
PRUEBA N° 2						
#	Tiempo (min)	Humedad %	Peso (kg)	%	Temperatura Interior °C	Temperatura Exterior °C
1	0	69,9	10	0	28	28
2	5	60,5	9,346	0,654	43	30
3	10	33,9	7,653	2,347	62	33
4	15	19,1	5,987	4,013	63	34
5	20	11,9	3,976	6,024	65	35
6	25	9,9	3,376	0,6	65	38
7	30	9,9	3,376	0,6	65	38

ANEXO 3 PRUEBA N° 3

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA ENSAYO DE SECADO MECÁNICO DEL CACAO 						
DATOS INFORMATIVOS						
Tiempo: 240 min			Fecha: 10/08/2015			
Temperatura: 65 °C			Lugar: Cantón Naranjito			
Cantidad: 50 Kg			Autor: Marcos Vargas			
PRUEBA N° 3						
#	Tiempo (min)	Humedad %	Peso (kg)	%	Temperatura Interior °C	Temperatura Exterior °C
1	0	70,6	10	0	28	28
2	5	61,9	9,489	0,511	40	30
3	10	37,6	8,895	1,105	59	31
4	15	18,9	5,879	4,121	60	33
5	20	12,2	4,023	5,977	63	34
6	25	9,6	3,32	6,68	65	34
7	30	9,6	3,32	6,68	65	35

ANEXO 4 PRUEBA N° 4

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA ENSAYO DE SECADO MANUAL DEL CACAO 				
DATOS INFORMATIVOS				
Tiempo: 7 días		Fecha: 11/08/2015		
Temperatura: 28 °C		Lugar: Cantón Naranjito		
Cantidad: 10 Kg		Autor: Marcos Vargas		
PRUEBA N° 4				
#	Tiempo (Dia)	Humedad %	%	Peso (kg)
1	1	73,6	0	10
2	2	41,7	1,38	8,62
3	3	36,6	1,97	8,03
4	4	23,1	4,11	5,89
5	5	18,1	4,57	5,43
6	6	16,4	5,66	4,34
7	7	11,4	6,67	3,33

ANEXO 5 PRUEBA N° 5

 <p align="center"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA ENSAYO DE SECADO MECANICO DEL CACAO </p> 				
DATOS INFORMATIVOS				
Tiempo: 7 días		Fecha: 20/08/2015		
Temperatura: 28 °C		Lugar: Cantón Naranjito		
Cantidad: 10 Kg		Autor: Marcos Vargas		
PRUEBAN° 5				
#	Tiempo (Dia)	Humedad %	%	Peso (kg)
1	1	75,2	0	10
2	2	45,6	1,16	8,84
3	3	31,6	2,75	7,25
4	4	24,8	4,13	5,87
5	5	19,8	4,57	5,43
6	6	16,4	5,88	4,12
7	7	12,4	6,88	3,12

ANEXO 6 PRUEBA N° 6

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA ENSAYO DE SECADO MECANICO DEL CACAO 				
DATOS INFORMATIVOS				
Tiempo: 7 dias		Fecha: 29/08/2015		
Temperatura: 28 °C		Lugar: Canton Naranjito		
Cantidad: 10 Kg		Autor: Marcos Vargas		
PRUEBAN° 6				
#	Tiempo (Dia)	Humedad %	%	Peso (kg)
1	1	76,4	0	10
2	2	35,6	2,08	7,92
3	3	34,9	2,36	7,64
4	4	28,2	3,53	6,47
5	5	26,5	4,31	5,69
6	6	16,7	5,66	4,34
7	7	13,5	6,76	3,24

ANEXO 7 TABLA DE ENTALPIAS

Entalpia de formación, función de Gibbs de formación y entropía absoluta a 25°C, 1 atm

Sustancia	Fórmula	\bar{h}_f° kJ/kmol	\bar{g}_f° kJ/kmol	\bar{s}° kJ/kmol · K
Acetileno	$C_2H_2(g)$	+226,730	+209,170	200.85
Agua	$H_2O(l)$	-285,830	-237,180	69.92
Alcohol etílico	$C_2H_5OH(g)$	-235,310	-168,570	282.59
Alcohol etílico	$C_2H_5OH(l)$	-277,690	-174,890	160.70
Alcohol metílico	$CH_3OH(g)$	-200,670	-162,000	239.70
Alcohol metílico	$CH_3OH(l)$	-238,660	-166,360	126.80
Amoníaco	$NH_3(g)$	-46,190	-16,590	192.33
Benceno	$C_6H_6(g)$	+82,930	+129,660	269.20
<i>n</i> -butano	$C_4H_{10}(g)$	-126,150	-15,710	310.12
Carbón	$C(s)$	0	0	5.74
Dióxido de carbono	$CO_2(g)$	-393,520	-394,360	213.80
<i>n</i> -dodecano	$C_{12}H_{26}(g)$	-291,010	+50,150	622.83
Etano	$C_2H_6(g)$	-84,680	-32,890	229.49
Etileno	$C_2H_4(g)$	+52,280	+68,120	219.83
Hidrógeno	$H_2(g)$	0	0	130.68
Hidrógeno	$H(g)$	+218,000	+203,290	114.72
Hidroxilo	$OH(g)$	+39,460	+34,280	183.70
Metano	$CH_4(g)$	-74,850	-50,790	186.16
Monóxido de carbono	$CO(g)$	-110,530	-137,150	197.65
Nitrógeno	$N_2(g)$	0	0	191.61
Nitrógeno	$N(g)$	+472,650	+455,510	153.30
<i>n</i> -octano	$C_8H_{18}(g)$	-208,450	+16,530	466.73
<i>n</i> -octano	$C_8H_{18}(l)$	-249,950	+6,610	360.79
Oxígeno	$O_2(g)$	0	0	205.04
Oxígeno	$O(g)$	+249,190	+231,770	161.06
Peróxido de hidrógeno	$H_2O_2(g)$	-136,310	-105,600	232.63
Propano	$C_3H_8(g)$	-103,850	-23,490	269.91
Propileno	$C_3H_6(g)$	+20,410	+62,720	266.94
Vapor de agua	$H_2O(g)$	-241,820	-228,590	188.83

ANEXO 8 TABLA DE PROPIEDADES DE LOS COMBUSTIBLES

Propiedades de algunos combustibles e hidrocarburos comunes

Combustible (fase)	Fórmula	Masa molar, kg/kmol	Densidad, ¹ kg/L	Entalpía de vaporización, ² kJ/kg	Calor específico, ¹ c_p kJ/kg · K	Poder calorífico superior, ³ kJ/kg	Poder calorífico inferior, ³ kJ/kg
Acetileno (g)	C_2H_2	26.038	—	—	1.69	49,970	48,280
Benceno (ℓ)	C_6H_6	78.114	0.877	433	1.72	41,800	40,100
Butano (ℓ)	C_4H_{10}	58.123	0.579	362	2.42	49,150	45,370
Carbono (s)	C	12.011	2	—	0.708	32,800	32,800
Decano (ℓ)	$C_{10}H_{22}$	142.285	0.730	361	2.21	47,640	44,240
Diesel ligero (ℓ)	$C_nH_{1.8n}$	170	0.78-0.84	270	2.2	46,100	43,200
Diesel pesado (ℓ)	$C_nH_{1.7n}$	200	0.82-0.88	230	1.9	45,500	42,800
Etano (g)	C_2H_6	30.070	—	172	1.75	51,900	47,520
Etanol (ℓ)	C_2H_6O	46.069	0.790	919	2.44	29,670	26,810
Gas natural (g)	$C_nH_{3.8n}N_{0.1n}$	18	—	—	2	50,000	45,000
Gasolina (ℓ)	$C_nH_{1.87n}$	100-110	0.72-0.78	350	2.4	47,300	44,000
Heptano (ℓ)	C_7H_{16}	100.204	0.684	365	2.24	48,100	44,600
Hexano (ℓ)	C_6H_{12}	84.161	0.673	392	1.84	47,500	44,400
Hexeno (ℓ)	C_6H_{14}	86.177	0.660	366	2.27	48,310	44,740
Hidrógeno (g)	H_2	2.016	—	—	14.4	141,800	120,000
Isopentano (ℓ)	C_5H_{12}	72.150	0.626	—	2.32	48,570	44,910
Metano (g)	CH_4	16.043	—	509	2.20	55,530	50,050
Metanol (ℓ)	CH_4O	32.042	0.790	1168	2.53	22,660	19,920
Monóx. de carbono (g)	CO	28.013	—	—	1.05	10,100	10,100
Octano (ℓ)	C_8H_{18}	114.231	0.703	363	2.23	47,890	44,430
1-Penteno (ℓ)	C_5H_{10}	70.134	0.641	363	2.20	47,760	44,630
Propano (ℓ)	C_3H_8	44.097	0.500	335	2.77	50,330	46,340
Tolueno (ℓ)	C_7H_8	92.141	0.867	412	1.71	42,400	40,500

**ANEXO 9 TABLA DE PROPIEDADES TERMO FÍSICAS DE LA
MATERIA**

Apéndice A ■ Propiedades termofísicas de la materia

839

TABLA A.4 Propiedades termofísicas de gases a presión atmosférica^a

T (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg · K)	$\mu \cdot 10^7$ (N · s/m ²)	$\nu \cdot 10^6$ (m ² /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	Pr
Aire							
100	3.5562	1.032	71.1	2.00	9.34	2.54	0.786
150	2.3364	1.012	103.4	4.426	13.8	5.84	0.758
200	1.7458	1.007	132.5	7.590	18.1	10.3	0.737
250	1.3947	1.006	159.6	11.44	22.3	15.9	0.720
300	1.1614	1.007	184.6	15.89	26.3	22.5	0.707
350	0.9950	1.009	208.2	20.92	30.0	29.9	0.700
400	0.8711	1.014	230.1	26.41	33.8	38.3	0.690
450	0.7740	1.021	250.7	32.39	37.3	47.2	0.686
500	0.6964	1.030	270.1	38.79	40.7	56.7	0.684
550	0.6329	1.040	288.4	45.57	43.9	66.7	0.683
600	0.5804	1.051	305.8	52.69	46.9	76.9	0.685
650	0.5356	1.063	322.5	60.21	49.7	87.3	0.690
700	0.4975	1.075	338.8	68.10	52.4	98.0	0.695
750	0.4643	1.087	354.6	76.37	54.9	109	0.702
800	0.4354	1.099	369.8	84.93	57.3	120	0.709
850	0.4097	1.110	384.3	93.80	59.6	131	0.716
900	0.3868	1.121	398.1	102.9	62.0	143	0.720
950	0.3666	1.131	411.3	112.2	64.3	155	0.723
1000	0.3482	1.141	424.4	121.9	66.7	168	0.726
1100	0.3166	1.159	449.0	141.8	71.5	195	0.728
1200	0.2902	1.175	473.0	162.9	76.3	224	0.728
1300	0.2679	1.189	496.0	185.1	82	238	0.719
1400	0.2488	1.207	530	213	91	303	0.703
1500	0.2322	1.230	557	240	100	350	0.685
1600	0.2177	1.248	584	268	106	390	0.688

ANEXO 10 CARTA PSICOMÉTRICA

PSYCHROMETRIC CHART

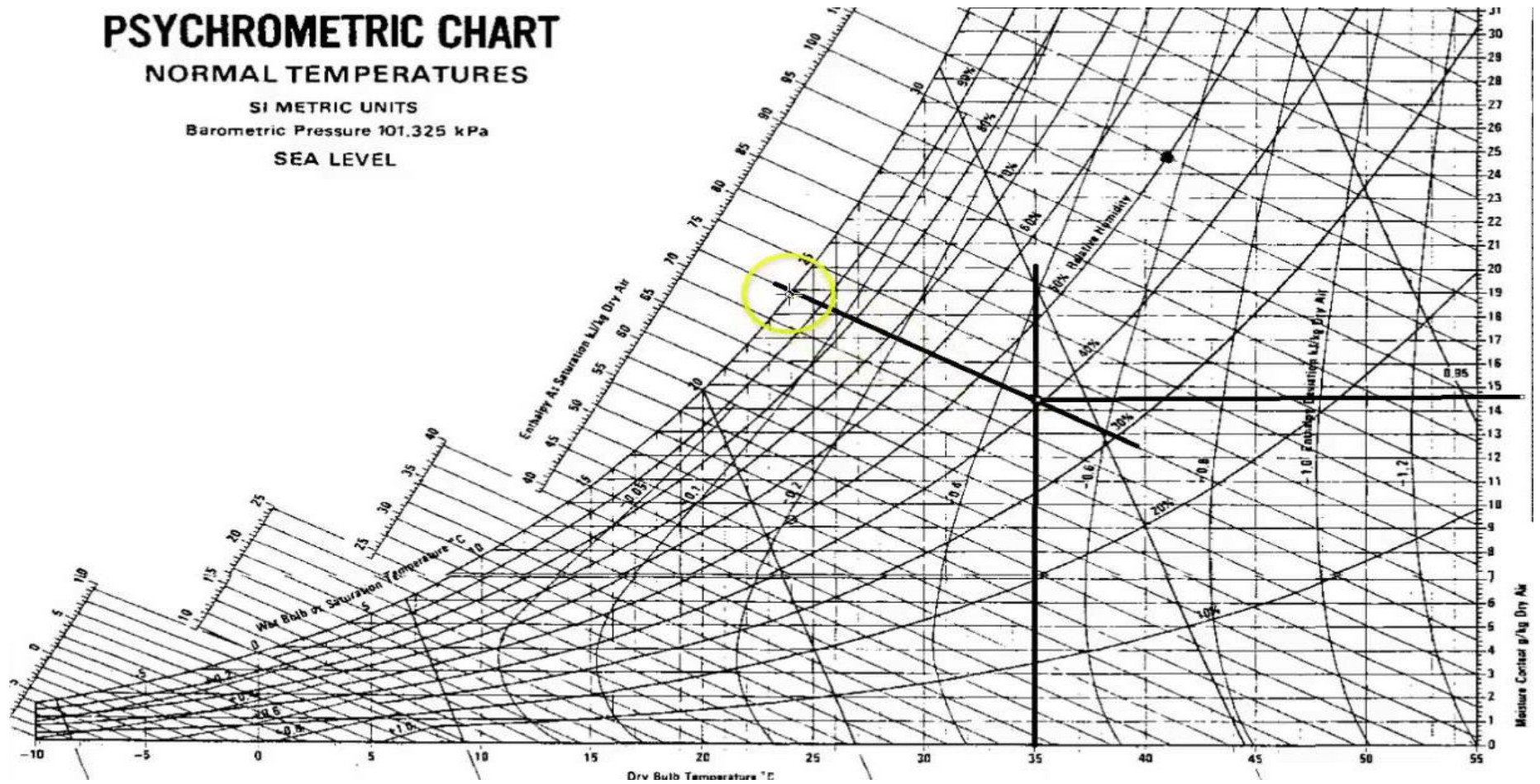
NORMAL TEMPERATURES

SI METRIC UNITS

Barometric Pressure 101.325 kPa

SEA LEVEL

147



ANEXO 11 PROPIEDADES DEL AIRE

736
APENDICE 1

ABLA A-15

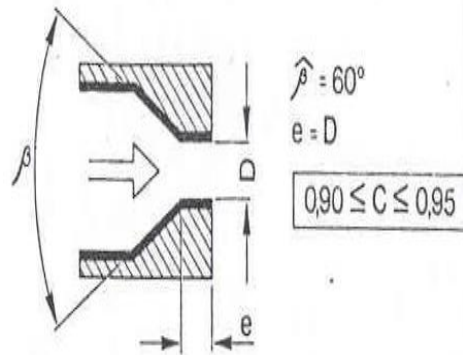
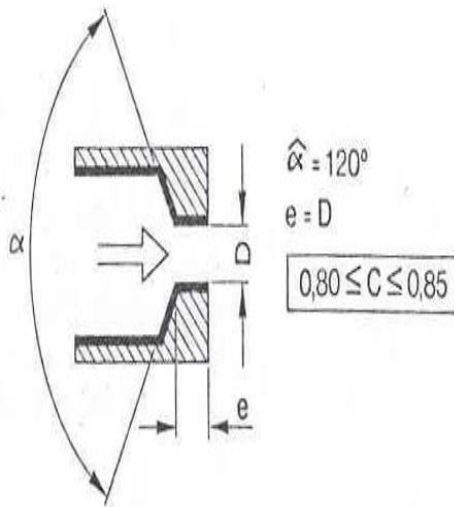
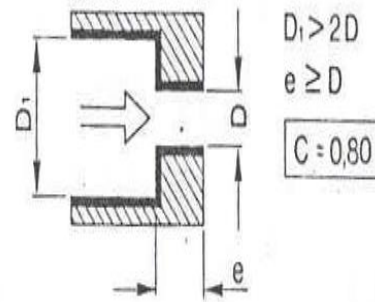
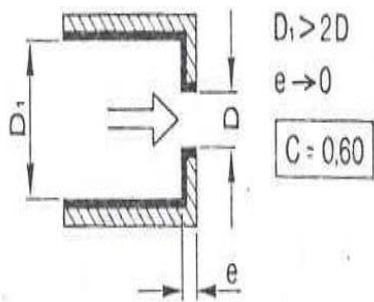
propiedades del aire a la presión de 1 atm

emp., $T, ^\circ\text{C}$	Densidad, $\rho, \text{kg/m}^3$	Calor específico, $C_p, \text{J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$	Conductividad térmica, $k, \text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$	Difusividad térmica, $\alpha, \text{m}^2/\text{s}$	Viscosidad dinámica, $\mu, \text{kg/m} \cdot \text{s}$	Viscosidad cinemática, $\nu, \text{m}^2/\text{s}$	Número de Prandtl, Pr
-150	2.866	983	0.01171	4.158×10^{-6}	8.636×10^{-6}	3.013×10^{-6}	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	8.036×10^{-6}	1.189×10^{-5}	5.837×10^{-6}	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	1.252×10^{-5}	1.474×10^{-5}	9.319×10^{-6}	0.7440
-40	1.514	1 002	0.02057	1.356×10^{-5}	1.527×10^{-5}	1.008×10^{-5}	0.7436
-30	1.451	1 004	0.02134	1.465×10^{-5}	1.579×10^{-5}	1.087×10^{-5}	0.7425
-20	1.394	1 005	0.02211	1.578×10^{-5}	1.630×10^{-5}	1.169×10^{-5}	0.7408
-10	1.341	1 006	0.02288	1.696×10^{-5}	1.680×10^{-5}	1.252×10^{-5}	0.7387
0	1.292	1 006	0.02364	1.818×10^{-5}	1.729×10^{-5}	1.338×10^{-5}	0.7362
5	1.269	1 006	0.02401	1.880×10^{-5}	1.754×10^{-5}	1.382×10^{-5}	0.7350
10	1.246	1 006	0.02439	1.944×10^{-5}	1.778×10^{-5}	1.426×10^{-5}	0.7336
15	1.225	1 007	0.02476	2.009×10^{-5}	1.802×10^{-5}	1.470×10^{-5}	0.7323
20	1.204	1 007	0.02514	2.074×10^{-5}	1.825×10^{-5}	1.516×10^{-5}	0.7309
25	1.184	1 007	0.02551	2.141×10^{-5}	1.849×10^{-5}	1.562×10^{-5}	0.7296
30	1.164	1 007	0.02588	2.208×10^{-5}	1.872×10^{-5}	1.608×10^{-5}	0.7282
35	1.145	1 007	0.02625	2.277×10^{-5}	1.895×10^{-5}	1.655×10^{-5}	0.7268
40	1.127	1 007	0.02662	2.346×10^{-5}	1.918×10^{-5}	1.702×10^{-5}	0.7255
45	1.109	1 007	0.02699	2.416×10^{-5}	1.941×10^{-5}	1.750×10^{-5}	0.7241
50	1.092	1 007	0.02735	2.487×10^{-5}	1.963×10^{-5}	1.798×10^{-5}	0.7228
60	1.059	1 007	0.02808	2.632×10^{-5}	2.008×10^{-5}	1.896×10^{-5}	0.7202
70	1.028	1 007	0.02881	2.780×10^{-5}	2.052×10^{-5}	1.995×10^{-5}	0.7177
80	0.9994	1 008	0.02953	2.931×10^{-5}	2.096×10^{-5}	2.097×10^{-5}	0.7154
90	0.9718	1 008	0.03024	3.086×10^{-5}	2.139×10^{-5}	2.201×10^{-5}	0.7132
100	0.9458	1 009	0.03095	3.243×10^{-5}	2.181×10^{-5}	2.306×10^{-5}	0.7111
120	0.8977	1 011	0.03235	3.565×10^{-5}	2.264×10^{-5}	2.522×10^{-5}	0.7073
140	0.8542	1 013	0.03374	3.898×10^{-5}	2.345×10^{-5}	2.745×10^{-5}	0.7041
160	0.8148	1 016	0.03511	4.241×10^{-5}	2.420×10^{-5}	2.975×10^{-5}	0.7014
180	0.7788	1 019	0.03646	4.593×10^{-5}	2.504×10^{-5}	3.212×10^{-5}	0.6992
200	0.7459	1 023	0.03779	4.954×10^{-5}	2.577×10^{-5}	3.455×10^{-5}	0.6974
250	0.6746	1 033	0.04104	5.890×10^{-5}	2.760×10^{-5}	4.091×10^{-5}	0.6946
300	0.6158	1 044	0.04418	6.871×10^{-5}	2.934×10^{-5}	4.765×10^{-5}	0.6935
350	0.5664	1 056	0.04721	7.892×10^{-5}	3.101×10^{-5}	5.475×10^{-5}	0.6937
400	0.5243	1 069	0.05015	8.951×10^{-5}	3.261×10^{-5}	6.219×10^{-5}	0.6948
450	0.4880	1 081	0.05298	1.004×10^{-4}	3.415×10^{-5}	6.997×10^{-5}	0.6965
500	0.4565	1 093	0.05572	1.117×10^{-4}	3.563×10^{-5}	7.806×10^{-5}	0.6986
600	0.4042	1 115	0.06093	1.352×10^{-4}	3.846×10^{-5}	9.515×10^{-5}	0.7037
700	0.3627	1 135	0.06581	1.598×10^{-4}	4.111×10^{-5}	1.133×10^{-4}	0.7092
800	0.3289	1 153	0.07037	1.855×10^{-4}	4.362×10^{-5}	1.326×10^{-4}	0.7149
900	0.3008	1 169	0.07465	2.122×10^{-4}	4.600×10^{-5}	1.529×10^{-4}	0.7206
1 000	0.2772	1 184	0.07868	2.398×10^{-4}	4.826×10^{-5}	1.741×10^{-4}	0.7260
1 500	0.1990	1 234	0.09599	3.908×10^{-4}	5.817×10^{-5}	2.922×10^{-4}	0.7478
2 000	0.1553	1 264	0.11113	5.664×10^{-4}	6.630×10^{-5}	4.270×10^{-4}	0.7539

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

Fuente: Datos generados basándose en el software EES desarrollado por S. A. Klein y F. L. Alvarado. Fuentes originales: Keenan, Chao, Keyes, Gas Tables, Wiley, 198, y Thermophysical Properties of Matter, Vol. 3: Thermal Conductivity, Y. S. Touloukian, P. E. Liley, S. C. Saxena, Vol. 11: Viscosity, Y. S. Touloukian, S. C. Saxena y P. Hestermans, IFI/Plenum, NY, ISBN 0-306067020-8.

ANEXO 12 VALORES DE C EN FUNCIÓN DEL DISEÑO DEL INYECTOR



ANEXO 13 SELECCIÓN DE BANDAS

Dimensiones de conversión de longitud. (Sume la cantidad que se muestra circunferencia interior para obtener la longitud de paso en pulgadas)

Sección de la banda	A	B	C	D	E
Cantidad a sumar	1.3	1.8	2.9	3.3	4.5

Factor de corrección del ángulo de contacto K_1 * banda plana VV y en V

$\frac{D-d}{C}$	θ , grados	VV	K_1 Plana en V
0.00	180	1.00	0.75
0.10	174.3	0.99	0.76
0.20	166.5	0.97	0.78
0.30	162.7	0.96	0.79
0.40	156.9	0.94	0.80
0.50	151.0	0.93	0.81
0.60	145.1	0.91	0.83
0.70	139.0	0.89	0.84
0.80	132.8	0.87	0.85
0.90	126.5	0.85	0.85
1.00	120.0	0.82	0.82
1.10	113.3	0.80	0.80
1.20	106.3	0.77	0.77
1.30	98.9	0.73	0.73
1.40	91.1	0.70	0.70
1.50	82.8	0.65	0.65

*Un ajuste de curva de la columna VV en términos de θ es
 $K_1 = 0.143\ 543 + 0.007\ 46\ 8\ \theta - 0.000\ 015\ 052\ \theta^2$
 en el intervalo de $90^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$.

Factor de corrección de longitud de banda K_2^*

Factor de longitud	Longitud nominal de la banda, pulg				
	Bandas A	Bandas B	Bandas C	Bandas D	Bandas E
0.85	Hasta 35	Hasta 46	Hasta 75	Hasta 128	
0.90	38-46	48-60	81-96	144-162	Hasta 195
0.95	48-55	62-75	105-120	173-210	210-240
1.00	60-75	78-97	128-158	240	270-300
1.05	78-90	105-120	162-195	270-330	330-390
1.10	96-112	128-144	210-240	360-420	420-480
1.15	120 y mayor	158-180	270-300	480	540-600
1.20		195 y mayor	330 y mayor	540 y mayor	660

*Multiplique la potencia nominal de la banda por este factor para conseguir la potencia corregida.

Factores de servicio sugeridos K_s para transmisiones de banda en V

Maquinaria impulsada	Fuente de potencia	
	Características del par de torsión normal	Par de torsión alto o no uniforme
Uniforme	1.0 a 1.2	1.1 a 1.3
Impacto ligero	1.1 a 1.3	1.2 a 1.4
Impacto medio	1.2 a 1.4	1.4 a 1.6
Impacto pesado	1.3 a 1.5	1.5 a 1.8

Potencias nominales de bandas en V estándar

Sección de la banda	Diámetro de paso de la polea, pulg	Velocidad de la banda, pie/min				
		1 000	2 000	3 000	4 000	5 000
A	2.6	0.47	0.62	0.53	0.15	
	3.0	0.66	1.01	1.12	0.93	0.38
	3.4	0.81	1.31	1.57	1.53	1.12
	3.8	0.93	1.55	1.92	2.00	1.71
	4.2	1.03	1.74	2.20	2.38	2.19
	4.6	1.11	1.89	2.44	2.69	2.58
	5.0 y mayor	1.17	2.03	2.64	2.96	2.89

Factores K_b y K_c para bandas en V

Sección de la banda	K_b	K_c
A	220	0.561
B	576	0.965
C	1 600	1.716
D	5 680	3.498
E	10 850	5.041
3V	230	0.425
5V	1 098	1.217
8V	4 830	3.288

*Datos cortesía de Gates Rubber Co., Denver, Colo.

Coeficiente de fricción f

Material	Especificación	Tamaño, pulg	Diámetro mínimo de la polea, pulg	Tensión permisible por ancho unitario a 600 pies/min, lbf/pulg	Peso específico, lbf/pulg ³	Coeficiente de fricción
Cuero	1 capa	$t = \frac{11}{64}$	3	30	0.035-0.045	0.4
		$t = \frac{13}{64}$	$3\frac{1}{2}$	33	0.035-0.045	0.4
	2 capas	$t = \frac{18}{64}$	$4\frac{1}{2}$	41	0.035-0.045	0.4
		$t = \frac{20}{64}$	6 ^o	50	0.035-0.045	0.4
		$t = \frac{23}{64}$	9 ^o	60	0.035-0.045	0.4
Poliamida ^b	F-0 ^c	$t = 0.03$	0.60	10	0.035	0.5
	F-1 ^c	$t = 0.05$	1.0	35	0.035	0.5
	F-2 ^c	$t = 0.07$	2.4	60	0.051	0.5
	A-2 ^c	$t = 0.11$	2.4	60	0.037	0.8
	A-3 ^c	$t = 0.13$	4.3	100	0.042	0.8
	A-4 ^c	$t = 0.20$	9.5	175	0.039	0.8
Uretano ^d	w = 0.50	$t = 0.062$	Vea	5.2 ^e	0.038-0.045	0.7
	w = 0.75	$t = 0.078$	la tabla	9.8 ^e	0.038-0.045	0.7

ANEXO 14 CARACTERÍSTICAS DE MOTORES

MOTORES NEMA TRIFÁSICOS ARMAZÓN DE ALUMINIO (MULTIMONTAJE) W22 NEMA PREMIUM



CARACTERÍSTICAS

Motores modelo MPA3J y MPM3J

- Motores con patas desmontables (Armazón MPM3J-143/5T – 213/5T).
- Motores con caja de conexión y patas fundidos (Armazón MPA3J-48).
- Totalmente cerrados con ventilación exterior (TEFC).
- Montaje Horizontal.
- Caja de conexiones Superior (F3) como estándar.
- Aislamiento Clase F.
- Diseño Eléctrico NEMA B.
- Tiempo para máxima transferencia de potencia 1500 [ms].
- Protección IP55.
- Servicio Continuo.
- Factor de servicio 1.15 armazón 48, 1.25 armazones 143T a 215T.
- Voltaje 208-230 / 460 V @ 60 HZ.

CERTIFICACIONES



ANEXO 15 PROPIEDADES DEL METAL DEPOSITADO

INDURA 7018-AR

Clasificación AWS: E-7018 / E-4918

- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Electrodo para acero al carbono • Revestimiento bajo hidrógeno con hierro en polvo. Color gris | <ul style="list-style-type: none"> • Toda posición • Corriente continua, electrodo positivo |
|---|---|

Descripción

Electrodo de bajo contenido de hidrógeno.

Se caracteriza por depósitos de calidad radiográfica, arco fácil de establecer, excelentes características operativas, fácil desprendimiento de escoria y excelente presentación.

Usos

Se recomienda para trabajos donde se requiera una alta calidad radiográfica.

Aplicaciones típicas

- Construcción
- Reparación de buques
- Plataformas petroleras
- Cañerías, etc.

Procedimiento para soldar

Para soldaduras de filetes horizontales y trabajo de soldadura en sentido vertical descendente, debe usarse un arco corto. No se recomienda la técnica de anastre.

En soldadura en posición sobrecabeza debe usarse un arco corto con ligero movimiento oscilatorio en la dirección de avance.

Debe evitarse la oscilación brusca del electrodo. Para mayores detalles ver página 33. Observe las recomendaciones para almacenaje de los electrodos, página 20.

Composición química (típica) del metal depositado:

C 0,09%; Mn 1,05%; Si 0,55%; P 0,020%; S 0,015%

Características típicas del metal depositado (según norma AWS: A5.1/A5.1M-04):

Resultados de pruebas de tracción con probetas de metal de aporte	Requerimientos	Energía Absorbida Ch-v	Requerimientos
Resistencia a la tracción : 572 MPa	490 MPa	135J a -30°C	27J a -30°C
Límite de fluencia : 475 MPa	400 MPa		
Alargamiento en 50 mm : 31%	22%		

Amperajes recomendados:

Diámetro mm	Longitud mm	Amperaje		Electrodos x kg aprox.
		mín.	máx.	
2,4	300	60	110	52
3,2	350	100	160	26
4,0	350	130	210	19
4,8	350	190	280	14

INDURA 308L

Clasificación AWS: E-308L-16

- Electrodo para aceros inoxidables austeníticos
- Revestimiento rutilico. Color blanco
- Toda posición
- Corriente continua, electrodo positivo o corriente alterna
- Resistente a la corrosión intergranular

Descripción

El electrodo 308L posee un revestimiento rutilico, lo que lo hace apto para soldar con CA o CC, electrodo positivo.

Este electrodo se caracteriza por un arco estable de transferencia spray, cuyo depósito es de excelente forma y apariencia.

La escoria se desprende fácilmente, además de tener muy buena reanudación de arco por lo que se aconseja usarlo en soldadura intermitente.

El depósito es de acero inoxidable austenítico.

Usos

El electrodo 308L ha sido diseñado principalmente para soldar aceros inoxidables austeníticos con un contenido extrabajo de carbono.

El contenido máximo de 0,04% de carbono según normas AWS, evita la formación de carburos y la precipitación de ellos en los bordes de grano, dando así una excelente protección contra la corrosión intergranular.

Se recomienda especialmente para aplicaciones resistentes a la corrosión, cuando hay posibilidad de "picadura", producida por los ácidos sulfúricos y sulfurosos, sulfito y soluciones de celulosa.

Aplicaciones típicas

- Aceros inox. 304, 304L, 308, 308L, 321, 347, 348
- Equipos químicos y petroquímicos
- Estanques que contengan productos químicos corrosivos

Composición química (típica) del metal depositado:

C 0,02%; Mn 0,83%; Si 0,76%; P 0,025%; S 0,008%; Cr 18,7%; Ni 10,0%; Mo 0,18%

Características típicas del metal depositado (según norma AWS: A5.4/A5.4M-06):

Resultados de pruebas de tracción con probetas de metal de aporte	Requerimientos
Resistencia a la tracción : 560 MPa	520 MPa
Alargamiento en 50 mm : 41%	35%

Amperajes recomendados:

Diámetro mm	Longitud mm	Amperaje		Electrodos x kg aprox.
		mín.	máx.	
2,4	300	60	90	59
3,2	350	90	120	31
4,0	350	120	150	21
*4,8	350	150	190	10

ANEXO 16 PROPIEDADES DE LOS ACEROS



AISI 304

Acero Inoxidable - Tolerancia H8-H9

GENERALIDADES: Acero inoxidable austenítico al cromo-níquel de mediana resistencia. No magnéticos y no endurecen por tratamiento térmico. Al aplicarse trabajo en frío pueden lograr un ligero magnetismo y endurecimiento. Calidad especial para soldar, excelentes características de formado debido a su alta ductilidad y resistencia al impacto.

Se puede disponer del material 304 L, indicando la L, menor contenido de carbono ((0.030) lo que mejora las características de soldabilidad y resistencia a la corrosión principalmente

ANALISIS TIPICO %

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
AISI 304	≤0.08	≤1.00	≤2.00	≤0.045	≤0.03	8.00-10.50	18.00-20.00

EQUIVALENCIAS

AISI	304
SAE	30304
DIN	X5CrNi18 10
W.-Nr.	1-4301
ASTM	A240
BS	304 S 15

PROPIEDADES MECANICAS

Propiedad	
Esfuerzo de cedencia, N/mm ²	276
Resistencia a la tensión, N/mm ²	586
Elongación, A5	60%
Reducción de área, Z	65-70%
Dureza	150 HB

APLICACIONES

Se utiliza principalmente para el procesamiento de alimentos y químicos. Entre las sustancias a las cuales resiste tenemos:

QUIMICOS	ALIMENTOS
Acido Nítrico	Jugos de Fruta
Acido Sulfúrico	Leche
Acido Fosfórico	Cerveza
Acido Cítrico	Mayonesa
Acido Carbónico	Café
Acido Oleico	Agua Potable
Soda Cáustica	Vinagre
Carbonato de Sodio	Salsa de Tomate
Cloruro de Sodio	Azúcar
Alcohol Etilico y Metílico	Gelatina
Cloroformo	Cola
Agua Marina	
Gasolina	

Nota: Con respecto a los ácidos, se deben tomar en cuenta las concentraciones de los mismos, de acuerdo a las curvas de corrosión .

Entre los usos que se pueden dar al acero inoxidable 304 tenemos: enfriadores, tanques de almacenamiento, recipientes para químicos, intercambiadores de calor, implementos para el manejo de alimentos, tintas, ejes para bombas, etc.

TRATAMIENTO TERMICO

Recocido: Deben ser recocidos a aproximadamente 1050-1070 °C, sosteniéndolos a esta temperatura durante un periodo corto, aproximadamente 1/2 hora y después enfriándolos rápidamente, de preferencia en agua. El enfriamiento en aire debe hacerse solamente en...

SAE 1018

Eje de transmisión - tolerancias h10-h11



GENERALIDADES: Acero de bajo contenido de carbono.

ANÁLISIS TÍPICO %

	C	Mn	P	S
SAE 1018	0.15-0.20	0.60-0.90	0.040	0.050

PROPIEDADES MECÁNICAS

Suministrado laminado en frío (medidas pequeñas hasta 2 1/2") o torneado (medidas hasta 6"). Las medidas 7", 8", 9" y 10" son suministradas laminadas en caliente o torneado de desbaste.

Propiedad: Laminado en Frío	
Esfuerzo de cedencia, kg/mm ²	min. 31
Resistencia a la tracción, kg/mm ²	51-71
Elongación, A5	20%
Reducción de área, Z	57%
Dureza	163 HB

APLICACIONES

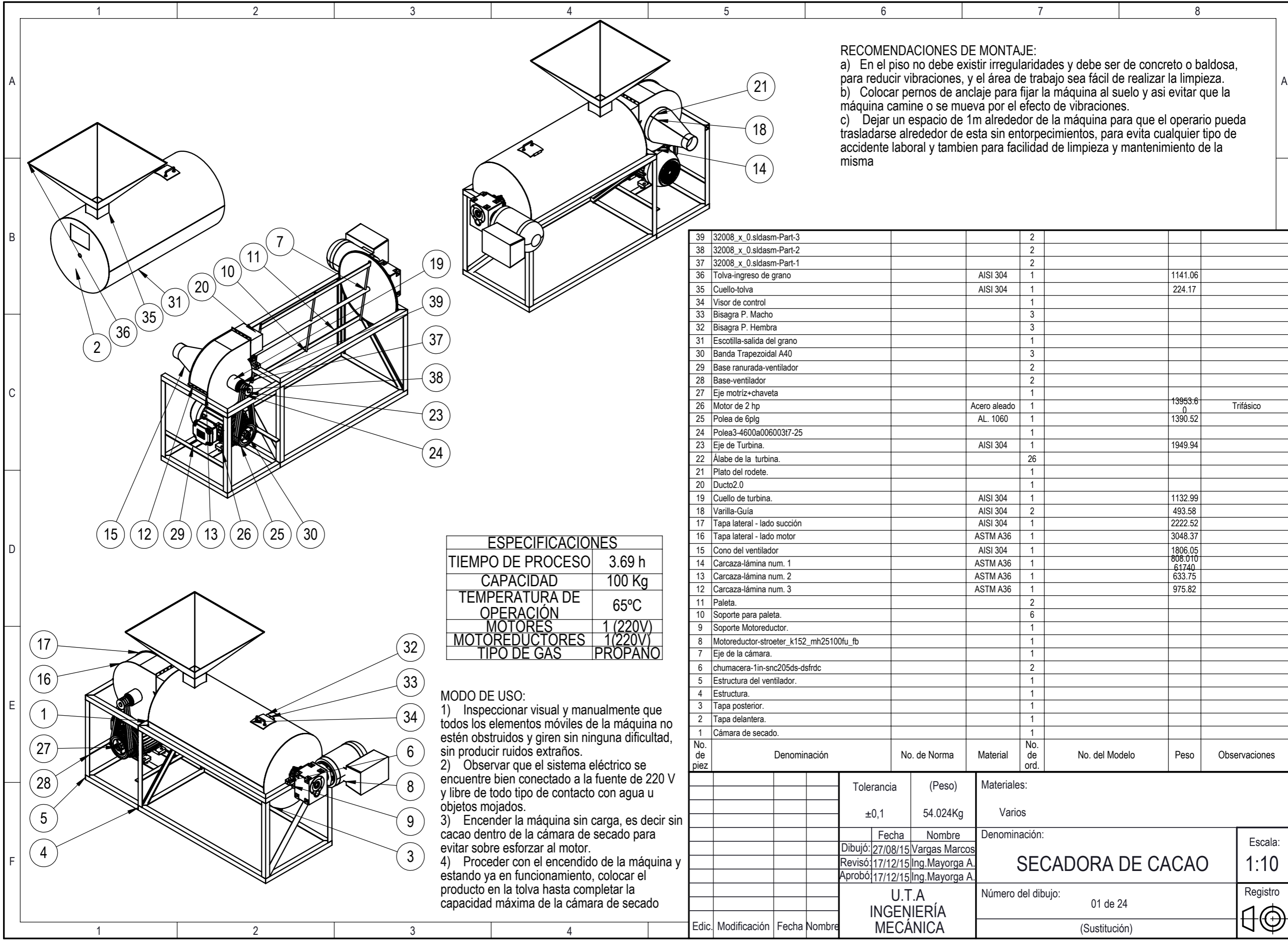
Donde se requiera aplicaciones con cargas mecánicas no muy severas, pero con ciertos grados de tenacidad importantes, como por ej.: pernos y tuercas, piezas de máquinas pequeñas, ejes, bujes, pasadores, grapas, etc. Factible de cementación con buena profundidad de penetración debido a su alto contenido de manganeso. Excelente soldabilidad.

MEDIDAS EN STOCK:

REDONDO

Diámetro (pulg)	Peso (kg/m)
1/4	0,2
5/16	0,4
3/8	0,6
1/2	1,0
5/8	1,6
3/4	2,2
7/8	3,0
1	4,0
1 1/8	5,0
1 1/4	6,2
1 3/8	7,5
1 1/2	8,9
1 3/4	12,2
2	15,9
2 1/4	20,1
2 1/2	24,9
2 3/4	30,1
3	35,8
3 1/4	42,0
3 1/2	48,7
4	63,6
4 1/2	80,5
5	99,4
5 1/2	120,3
6	143,2
7	194,9
8	254,6
9	322,2
10	399,9

PLANOS



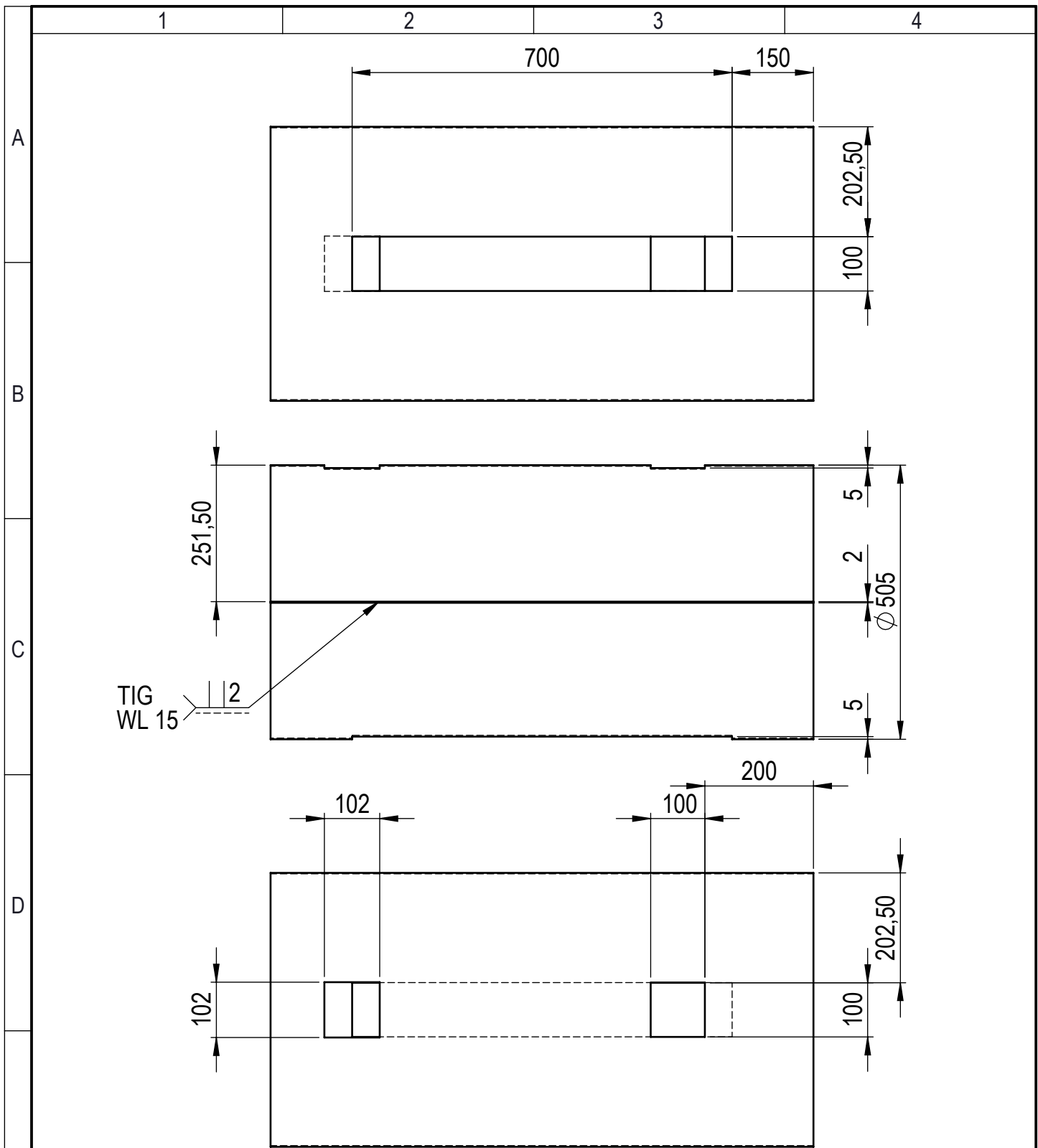
RECOMENDACIONES DE MONTAJE:
 a) En el piso no debe existir irregularidades y debe ser de concreto o baldosa, para reducir vibraciones, y el área de trabajo sea fácil de realizar la limpieza.
 b) Colocar pernos de anclaje para fijar la máquina al suelo y así evitar que la máquina camine o se mueva por el efecto de vibraciones.
 c) Dejar un espacio de 1m alrededor de la máquina para que el operario pueda trasladarse alrededor de esta sin entorpecimientos, para evita cualquier tipo de accidente laboral y también para facilidad de limpieza y mantenimiento de la misma

ESPECIFICACIONES	
TIEMPO DE PROCESO	3.69 h
CAPACIDAD	100 Kg
TEMPERATURA DE OPERACIÓN	65°C
MOTORES	1 (220V)
MOTOREDUCTORES	1(220V)
TIPO DE GAS	PROPANO

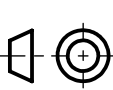
MODO DE USO:
 1) Inspeccionar visual y manualmente que todos los elementos móviles de la máquina no estén obstruidos y giren sin ninguna dificultad, sin producir ruidos extraños.
 2) Observar que el sistema eléctrico se encuentre bien conectado a la fuente de 220 V y libre de todo tipo de contacto con agua u objetos mojados.
 3) Encender la máquina sin carga, es decir sin cacao dentro de la cámara de secado para evitar sobre esforzar al motor.
 4) Proceder con el encendido de la máquina y estando ya en funcionamiento, colocar el producto en la tolva hasta completar la capacidad máxima de la cámara de secado

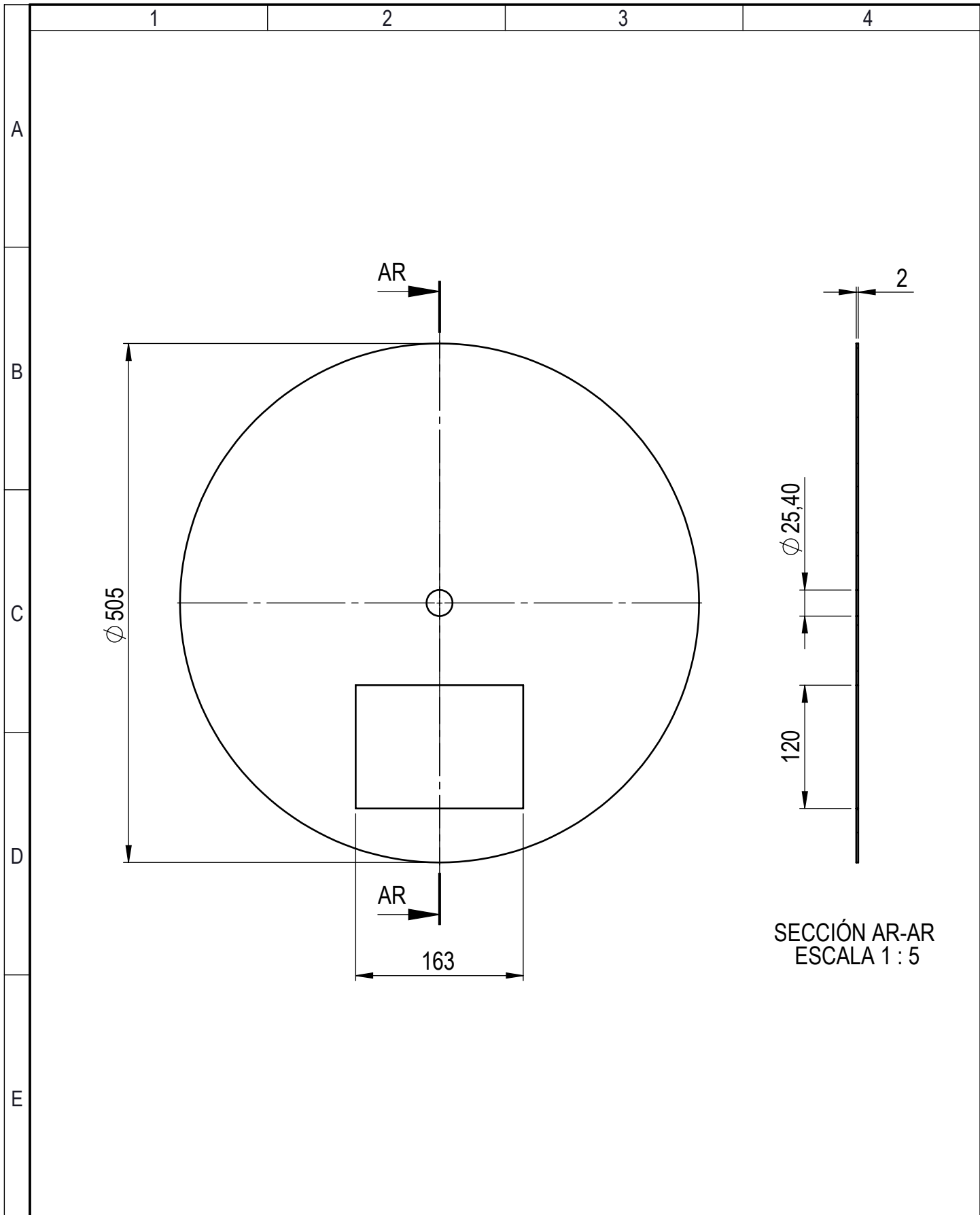
No. de pieza	Denominación	No. de Norma	Material	No. de ord.	No. del Modelo	Peso	Observaciones
39	32008_x_0.sldasm-Part-3			2			
38	32008_x_0.sldasm-Part-2			2			
37	32008_x_0.sldasm-Part-1			2			
36	Tolva-ingreso de grano		AISI 304	1		1141.06	
35	Cuello-tolva		AISI 304	1		224.17	
34	Visor de control			1			
33	Bisagra P. Macho			3			
32	Bisagra P. Hembra			3			
31	Escotilla-salida del grano			1			
30	Banda Trapezoidal A40			3			
29	Base ranurada-ventilador			2			
28	Base-ventilador			2			
27	Eje motriz+chaveta			1			
26	Motor de 2 hp		Acero aleado	1		13953.60	Trifásico
25	Polea de 6plg		AL. 1060	1		1390.52	
24	Polea3-4600a00600317-25			1			
23	Eje de Turbina.		AISI 304	1		1949.94	
22	Álabe de la turbina.			26			
21	Plato del rodete.			1			
20	Ducto2.0			1			
19	Cuello de turbina.		AISI 304	1		1132.99	
18	Varilla-Guía		AISI 304	2		493.58	
17	Tapa lateral - lado succión		AISI 304	1		2222.52	
16	Tapa lateral - lado motor		ASTM A36	1		3048.37	
15	Cono del ventilador		AISI 304	1		1806.05	
14	Carcaza-lámina num. 1		ASTM A36	1		808.010	
13	Carcaza-lámina num. 2		ASTM A36	1		61740	
12	Carcaza-lámina num. 3		ASTM A36	1		633.75	
11	Paleta.			2		975.82	
10	Soporte para paleta.			6			
9	Soporte Motoreductor.			1			
8	Motoreductor-stroeter_k152_mh25100fu_fb			1			
7	Eje de la cámara.			1			
6	chumacera-1in-snc205ds-dsfrdc			2			
5	Estructura del ventilador.			1			
4	Estructura.			1			
3	Tapa posterior.			1			
2	Tapa delantera.			1			
1	Cámara de secado.			1			

Tolerancia		(Peso)		Materiales:	
±0,1		54.024Kg		Varios	
Fecha		Nombre		Denominación:	
Dibujó: 27/08/15		Vargas Marcos		SECADORA DE CACAO	
Revisó: 17/12/15		Ing. Mayorga A.			
Aprobó: 17/12/15		Ing. Mayorga A.			
U.T.A		Número del dibujo:		Escala:	
INGENIERÍA		01 de 24		1:10	
MECÁNICA		(Sustitución)		Registro	



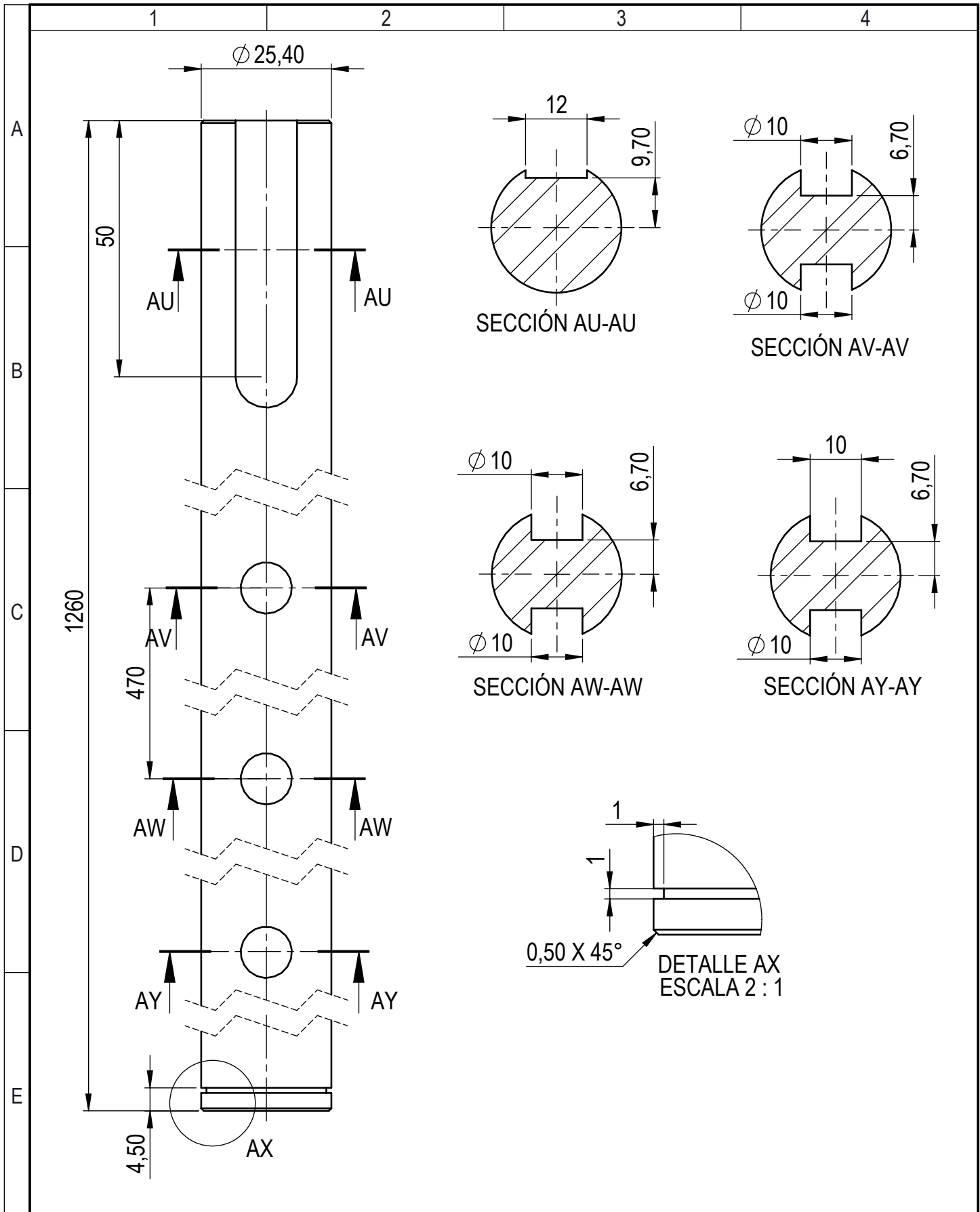
E Nota: Dejar 5cm de espacio en la longitud de la plancha de acero para obtener un rolado de mayor precisión, cortar los exeso antes de soldar.

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:		
				±0,1	0.525 Kg	AISI 304		
				Fecha	Nombre	Título:		
				Dibujó: 27/08/15	Vargas Marcos	CÁMARA DE SECADO		
				Revisó: 17/12/15	Ing. Mayorga A.			
				Aprobó: 17/12/15	Ing. Mayorga A.			
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		Número de hoja:	02 de 24	
Edic.	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)		
								

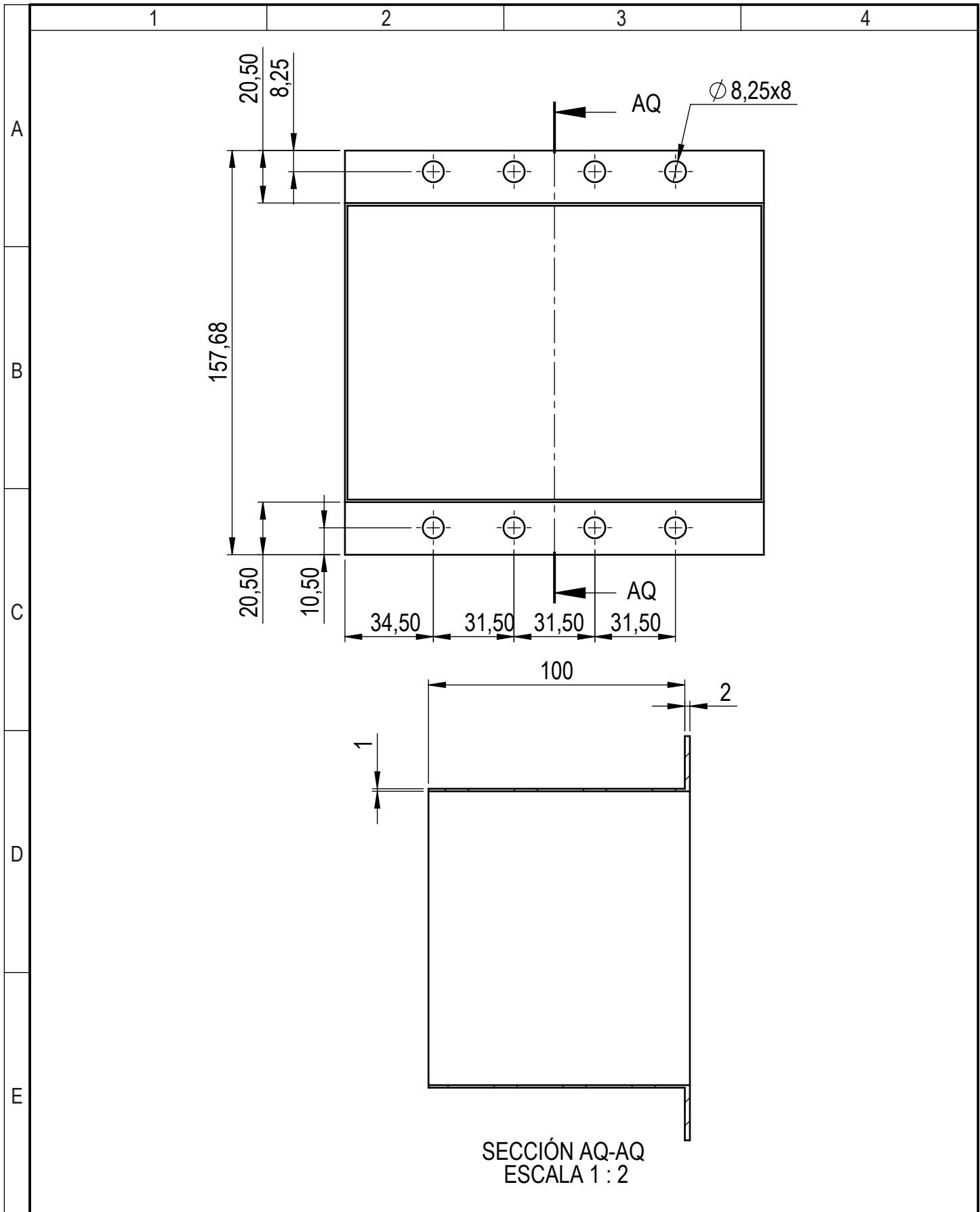


SECCIÓN AR-AR
ESCALA 1 : 5

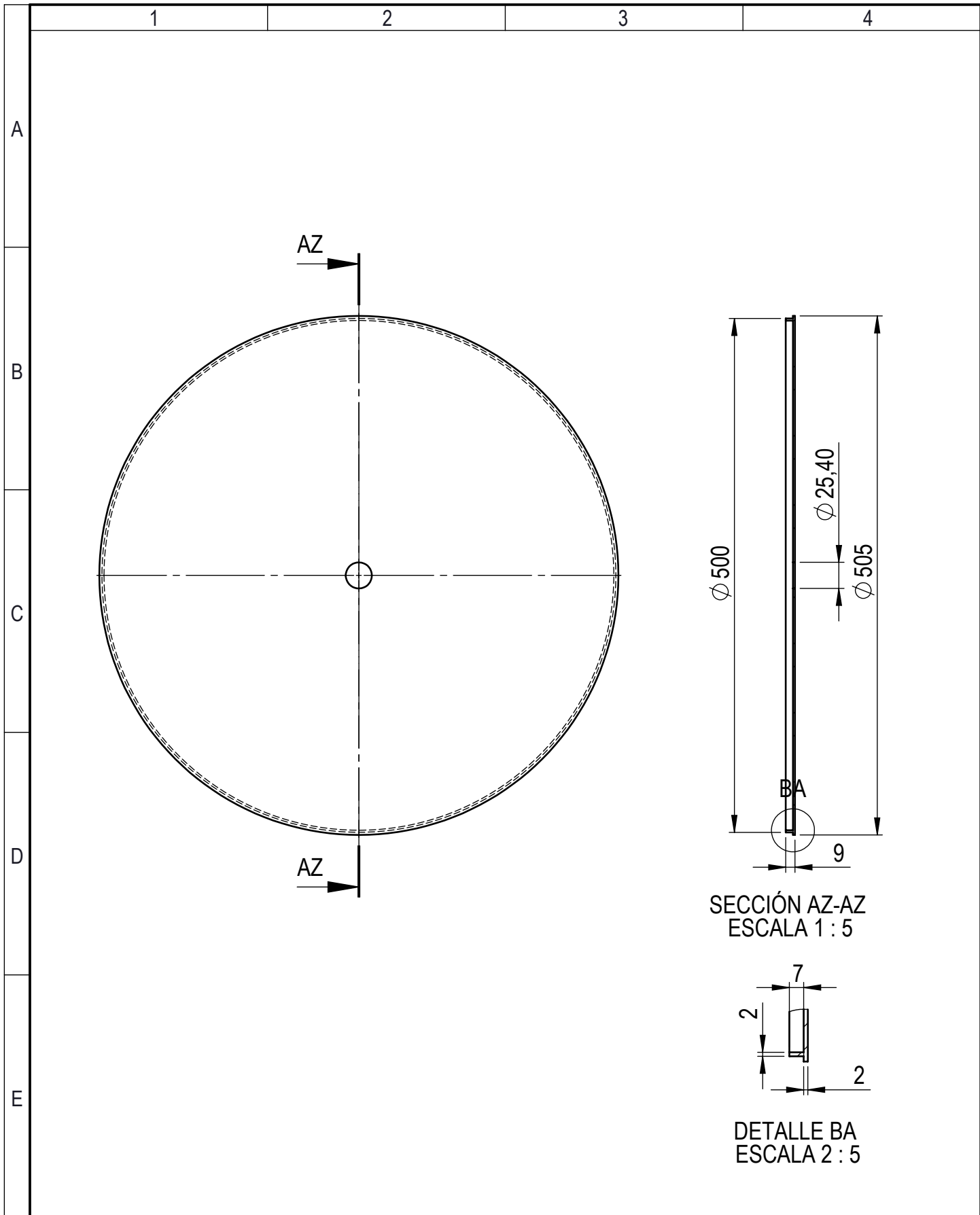
				Tolerancia	(Peso)	Materiales:		
				±0,1	0.514 Kg	AISI 304		
				Fecha	Nombre	Título:		
				Dibujó: 27/08/15	Vargas Marcos	TAPA FRONTAL		
				Revisó: 17/12/15	Ing. Mayorga A.			
				Aprobó: 17/12/15	Ing. Mayorga A.			
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		Número de hoja:	03 de 24	
Edic.	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)		
							Escala: 1:5	



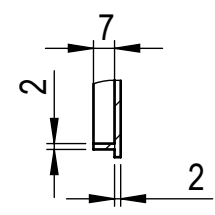
				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	0.604 Kg	AISI 304	
				Fecha	Nombre	Título:	
				Dibujó: 27/08/15	Vargas Marcos	Escala:	
				Revisó: 17/12/15	Ing. Mayorga A.	EJE DE CÁMARA DE SECADO	
				Aprobó: 17/12/15	Ing. Mayorga A.	2:1	
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		Número de hoja:	
						04 de 24	
Edic.	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	0.279 Kg	AISI 304	
				Fecha	Nombre	Título:	
				Dibujó: 27/08/15	Vargas Marcos	DUCTO	
				Revisó: 17/12/15	Ing. Mayorga A.		
				Aprobó: 17/12/15	Ing. Mayorga A.		
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		Número de hoja:	05 de 24
Edic.	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	
Escala: 1:2.5							

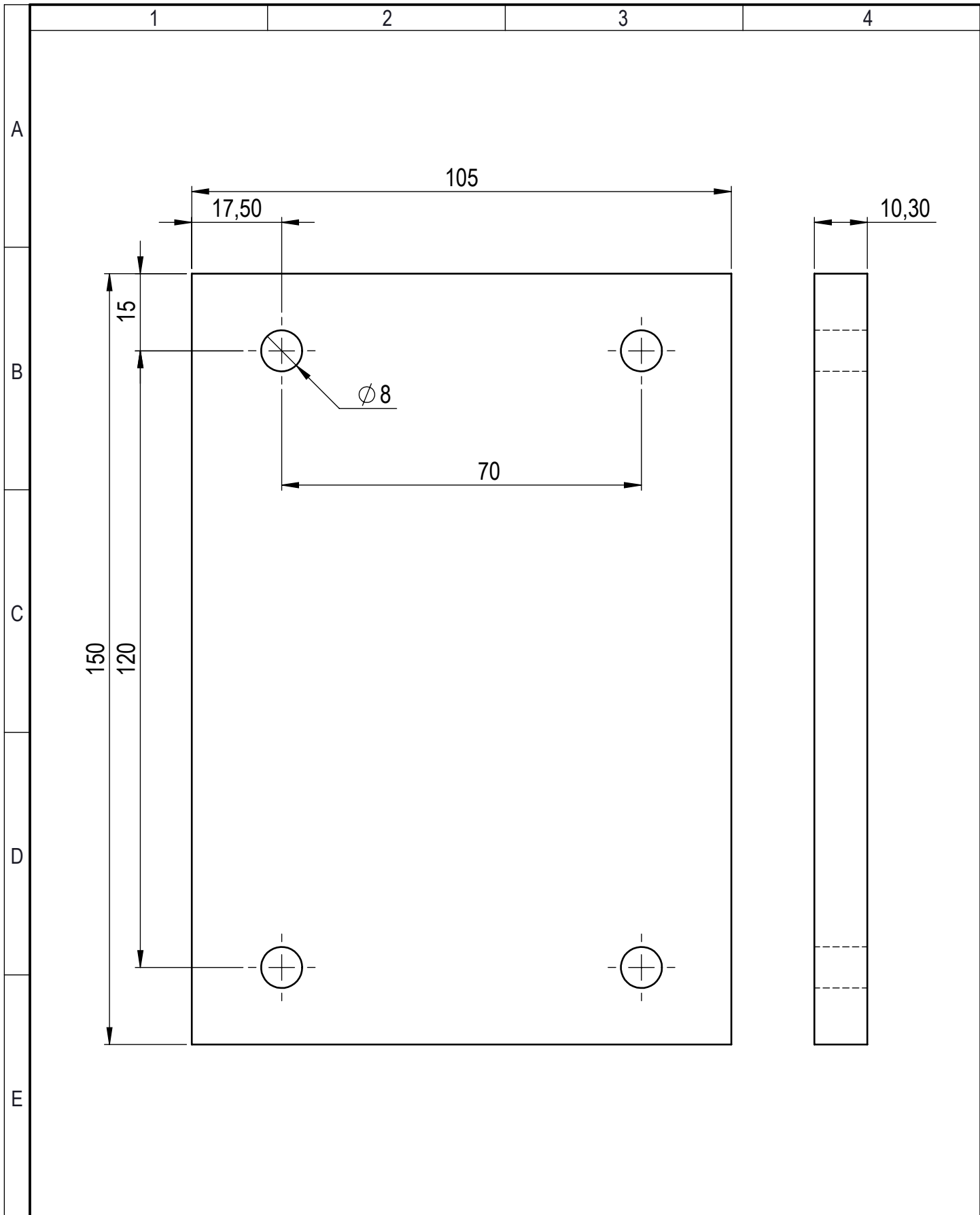


SECCIÓN AZ-AZ
ESCALA 1 : 5



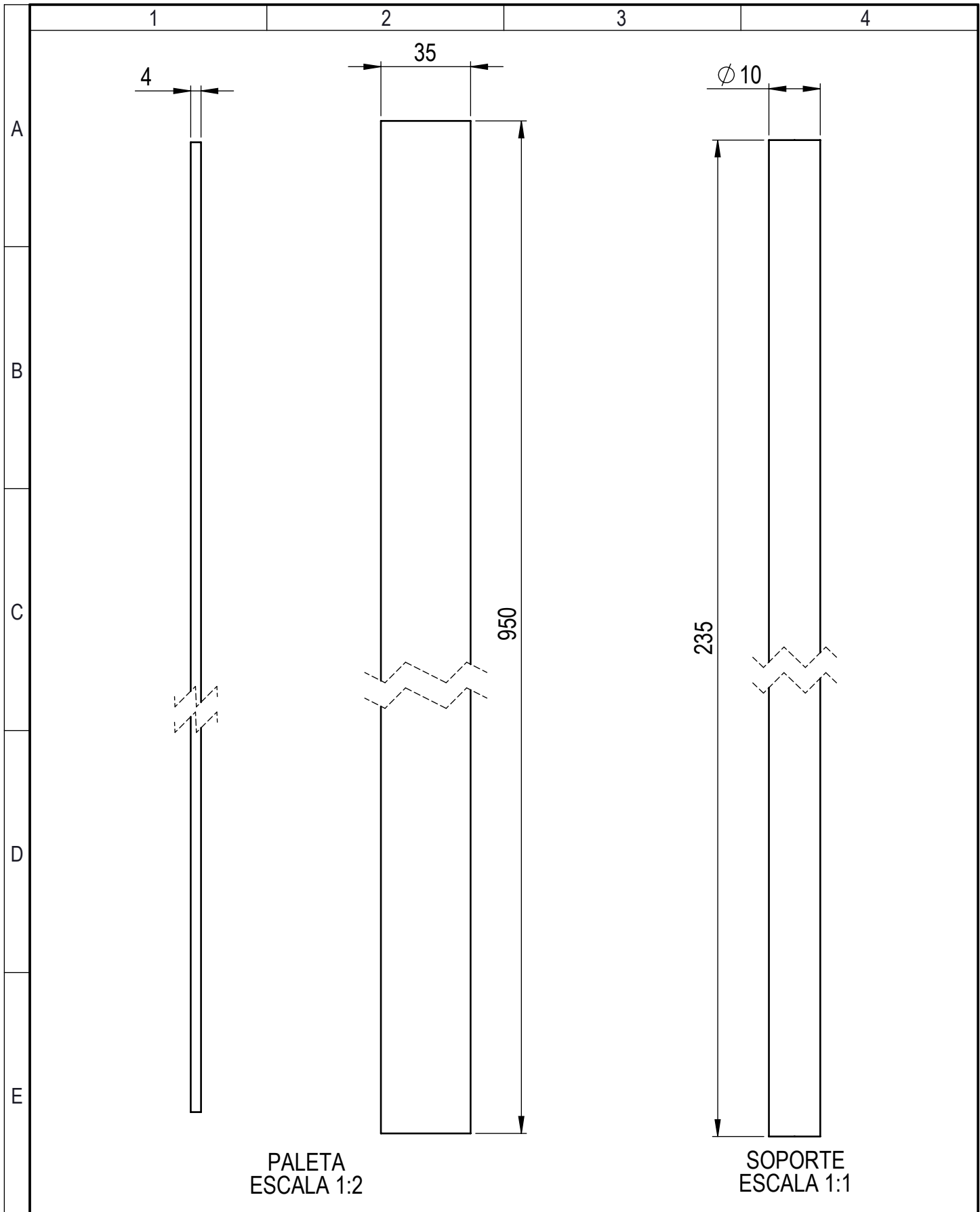
DETALLE BA
ESCALA 2 : 5

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:		
				±0,1	0.682 Kg	AISI 304		
				Fecha	Nombre	Título:		
				Dibujó: 27/08/15	Vargas Marcos	TAPA POSTERIOR		
				Revisó: 17/12/15	Ing. Mayorga A.			
				Aprobó: 17/12/15	Ing. Mayorga A.			
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		Número de hoja:	06 de 24	
Edic.	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)		
							Escala: 1:2.5	



				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	0.199Kg	Caucho	
					Fecha	Nombre	Título:
				Dibujó:	27/08/15	Vargas Marcos	CAUCHO BASE
				Revisó:	17/12/15	Ing.Mayorga A.	
				Aprobó:	17/12/15	Ing.Mayorga A.	
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA			Número de hoja:
							07 de 24
Edic.	Modificación	Fecha	Nombre				(Sustitución)

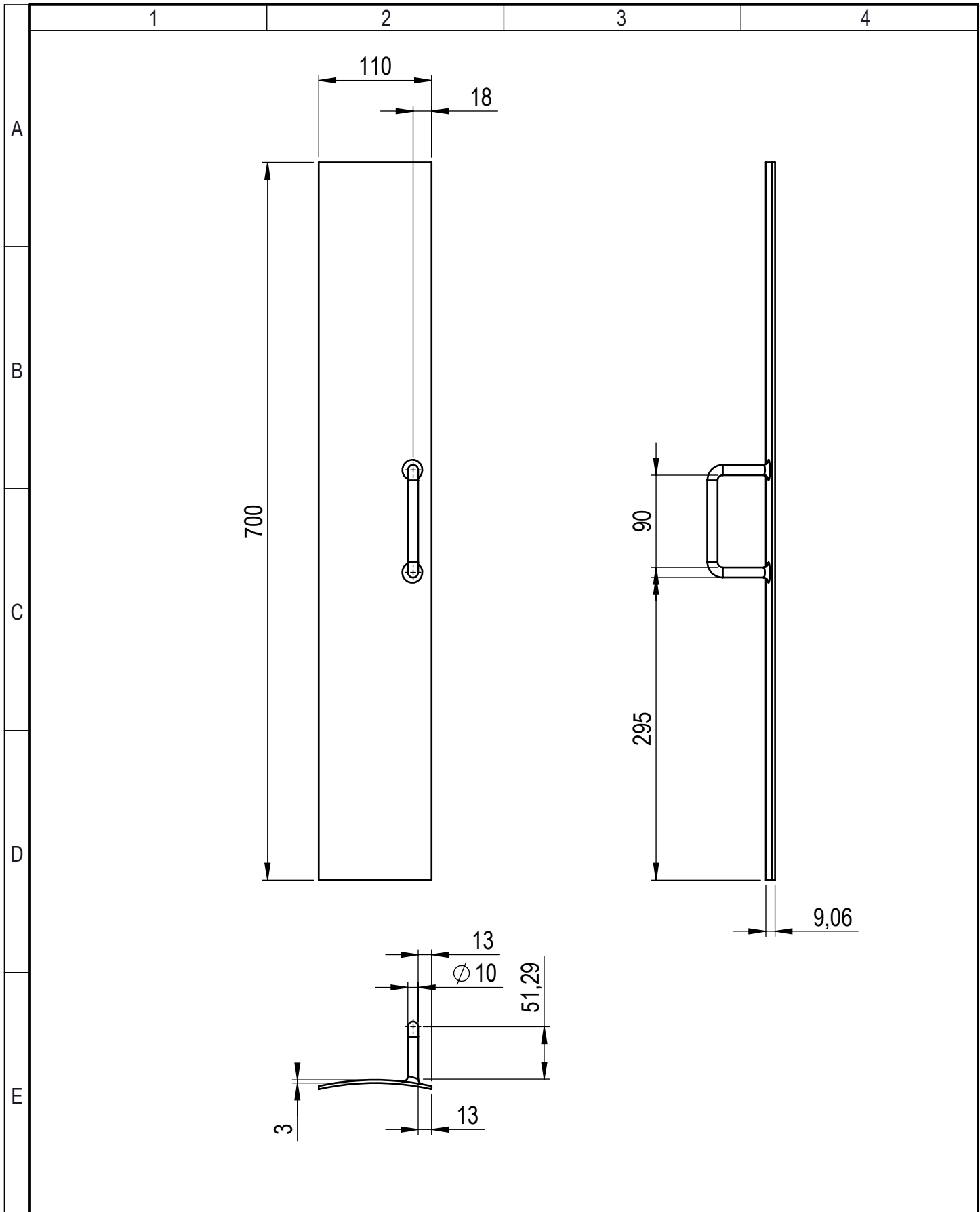
Escala:
1:1



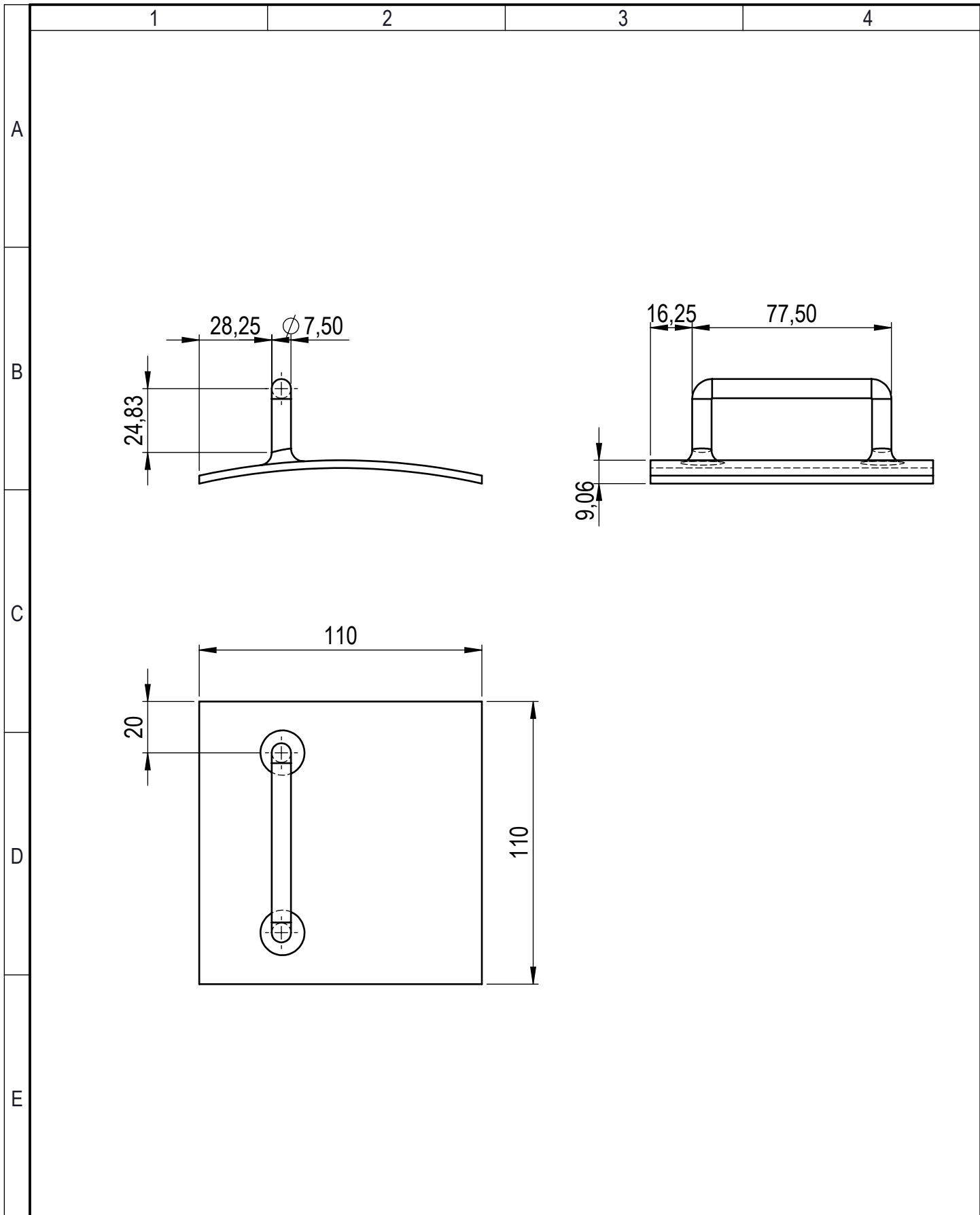
PALETA
ESCALA 1:2

SOPORTE
ESCALA 1:1

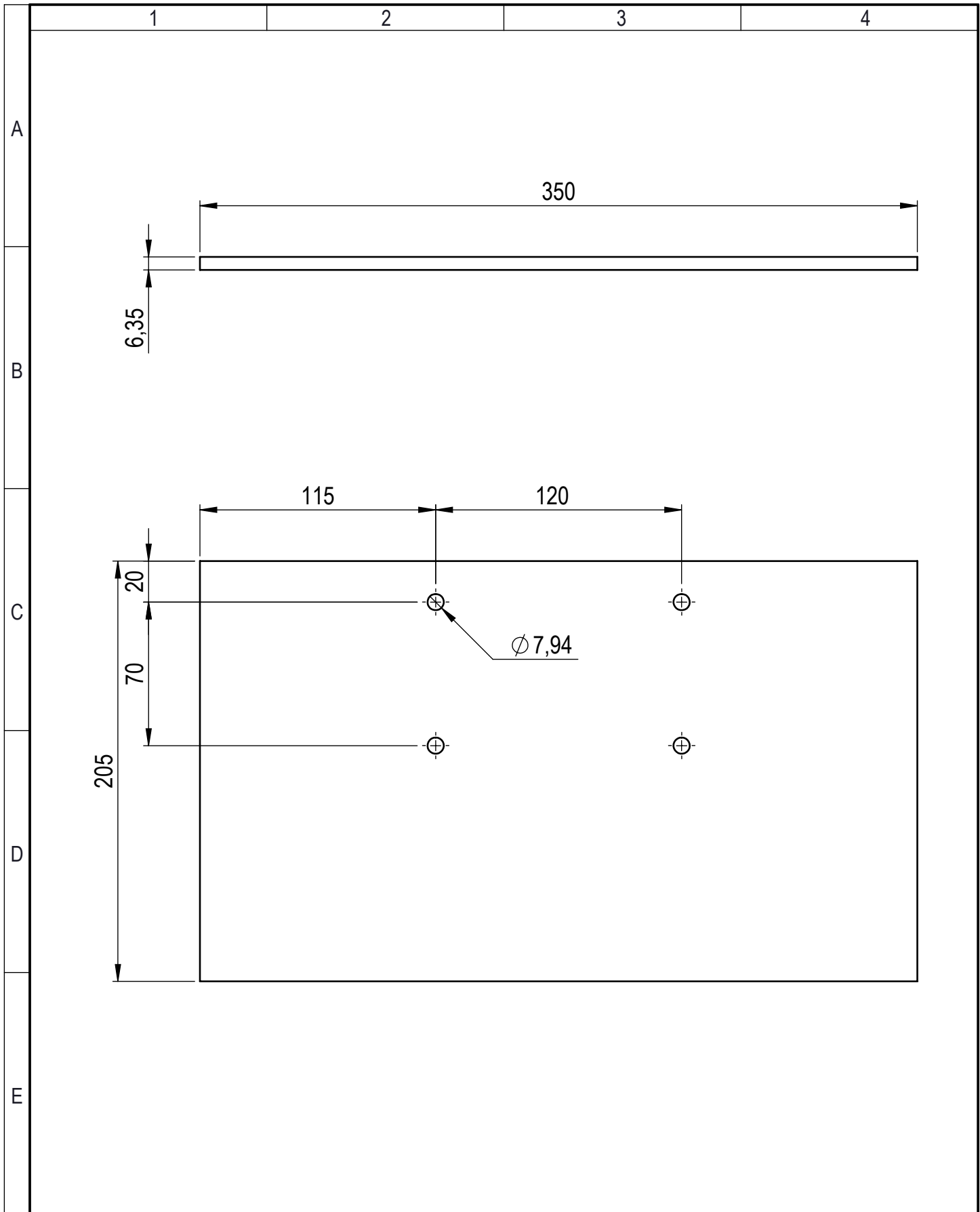
				Tolerancia	(Peso)	Materiales:		
				±0,1	0.627Kg	AISI 304		
				Fecha	Nombre	Título:		
				Dibujó: 16/09/15	Vargas Marcos	PALETA Y SOPORTE		
				Revisó: 17/12/15	Ing. Mayorga A.			
				Aprobó: 17/12/15	Ing. Mayorga A.			
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		Número de hoja:	08 de 24	
Edic.	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)		
							Escala: 1:1	



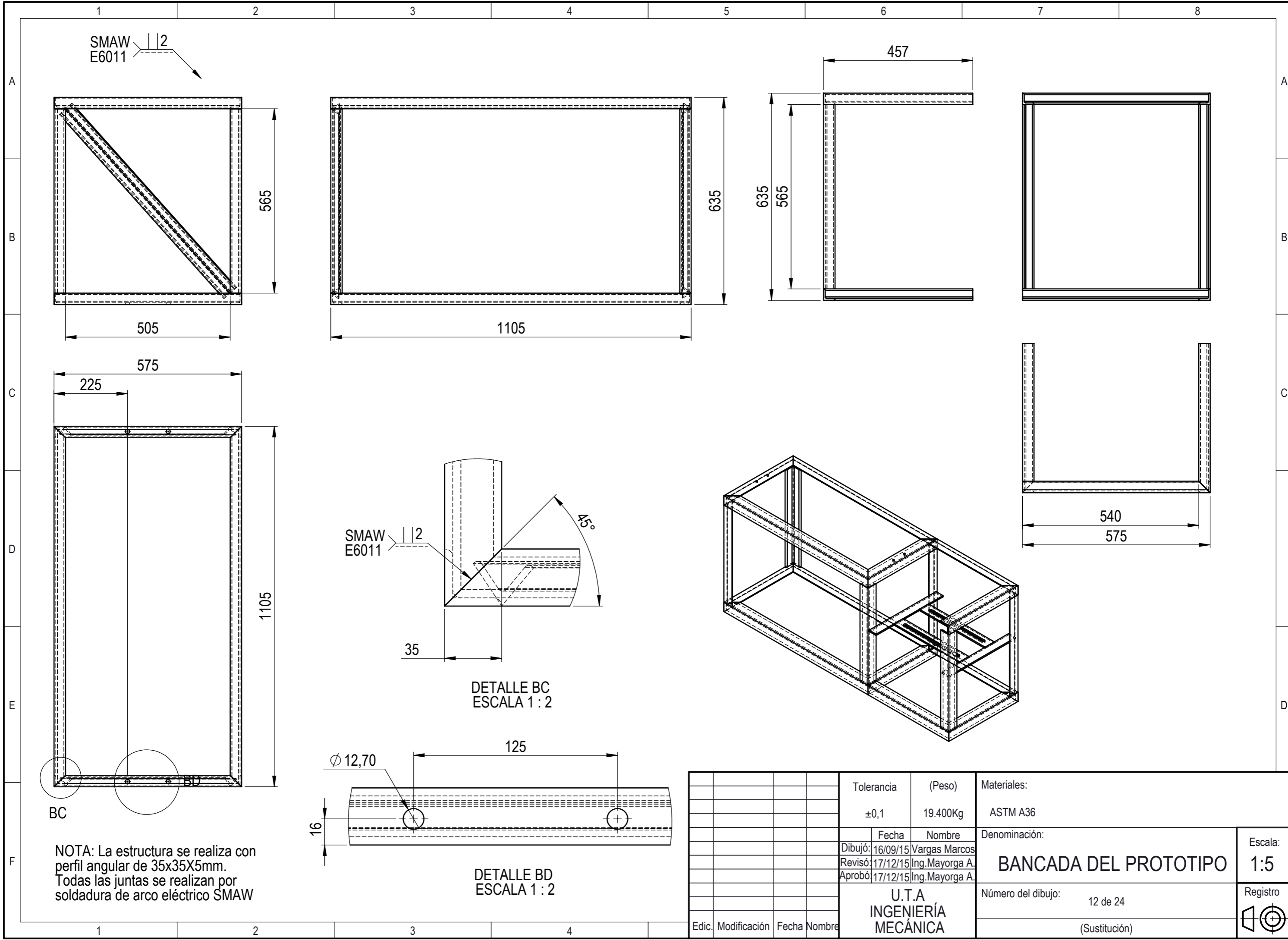
				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	0.982 Kg	AISI 304	
				Fecha	Nombre	Título:	
				Dibujó: 16/09/15	Vargas Marcos	ESCOTILLA SALIDA DE GRANO	
				Revisó: 17/12/15	Ing. Mayorga A.		
				Aprobó: 17/12/15	Ing. Mayorga A.		
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		Número de hoja: 09 de 24	
						(Sustitución)	
Edic.	Modificación	Fecha	Nombre			Escala: 1:5	



				Tolerancia	(Peso)	Materiales:		
				±0,1	0.127Kg	AISI 304		
				Fecha	Nombre	Título:		
				Dibujó: 16/09/15	Vargas Marcos	VISOR		
				Revisó: 17/12/15	Ing. Mayorga A.			
				Aprobó: 17/12/15	Ing. Mayorga A.			
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		Número de hoja:	10 de 24	
Edic.	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)		
							Escala: 1:2	



				Tolerancia	(Peso)	Materiales:		
				±0,1	3.635Kg	AISI 304		
					Fecha	Nombre	Título:	
				Dibujó:	16/09/15	Vargas Marcos	PLACA - BASE VENTILADOR	
				Revisó:	17/12/15	Ing. Mayorga A.		
				Aprobó:	17/12/15	Ing. Mayorga A.		
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA			Número de hoja:	11 de 24
Edic.	Modificación	Fecha	Nombre					
							Escala:	
							1:2.5	



SMAW E6011 2

SMAW E6011 2

DETALLE BC
ESCALA 1 : 2

DETALLE BD
ESCALA 1 : 2

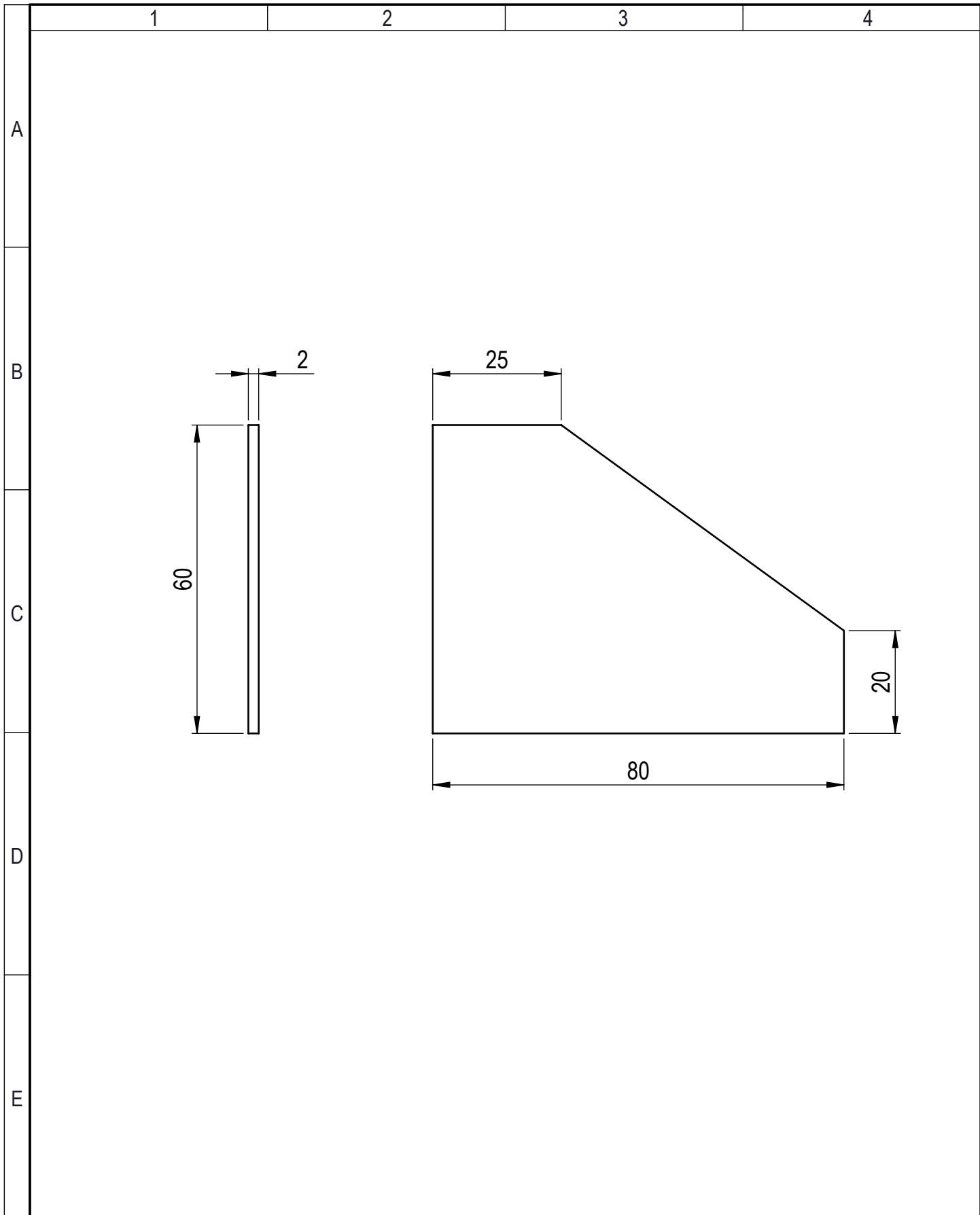
NOTA: La estructura se realiza con perfil angular de 35x35X5mm. Todas las juntas se realizan por soldadura de arco eléctrico SMAW

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	19.400Kg	ASTM A36	
						Denominación:	
				Fecha	Nombre	Escala:	
				Dibujó: 16/09/15	Vargas Marcos	1:5	
				Revisó: 17/12/15	Ing. Mayorga A.	BANCADA DEL PROTOTIPO	
				Aprobó: 17/12/15	Ing. Mayorga A.		
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		Número del dibujo: 12 de 24	
Edic.	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	
						Registro	

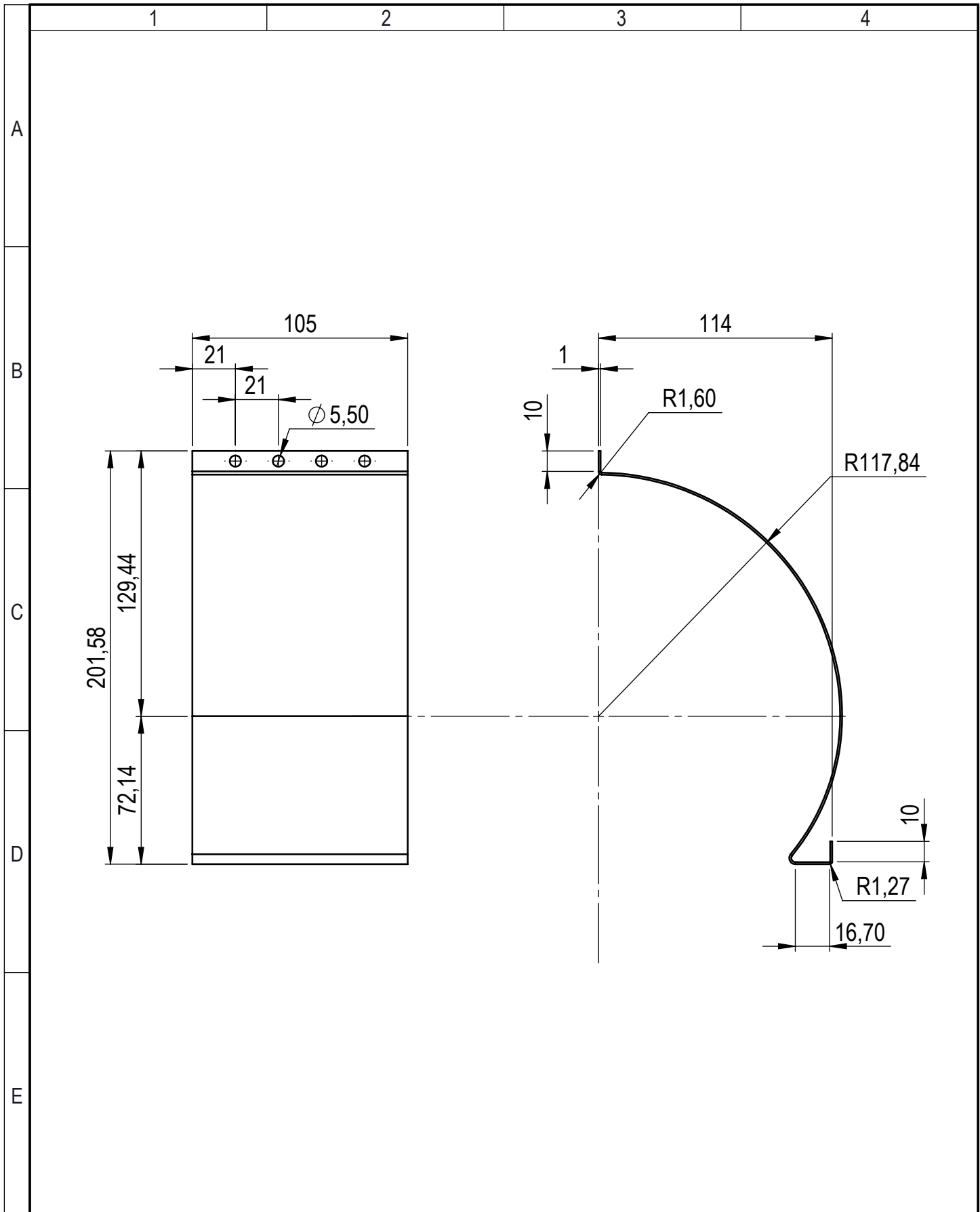
BANCADA DEL PROTOTIPO

Escala: 1:5

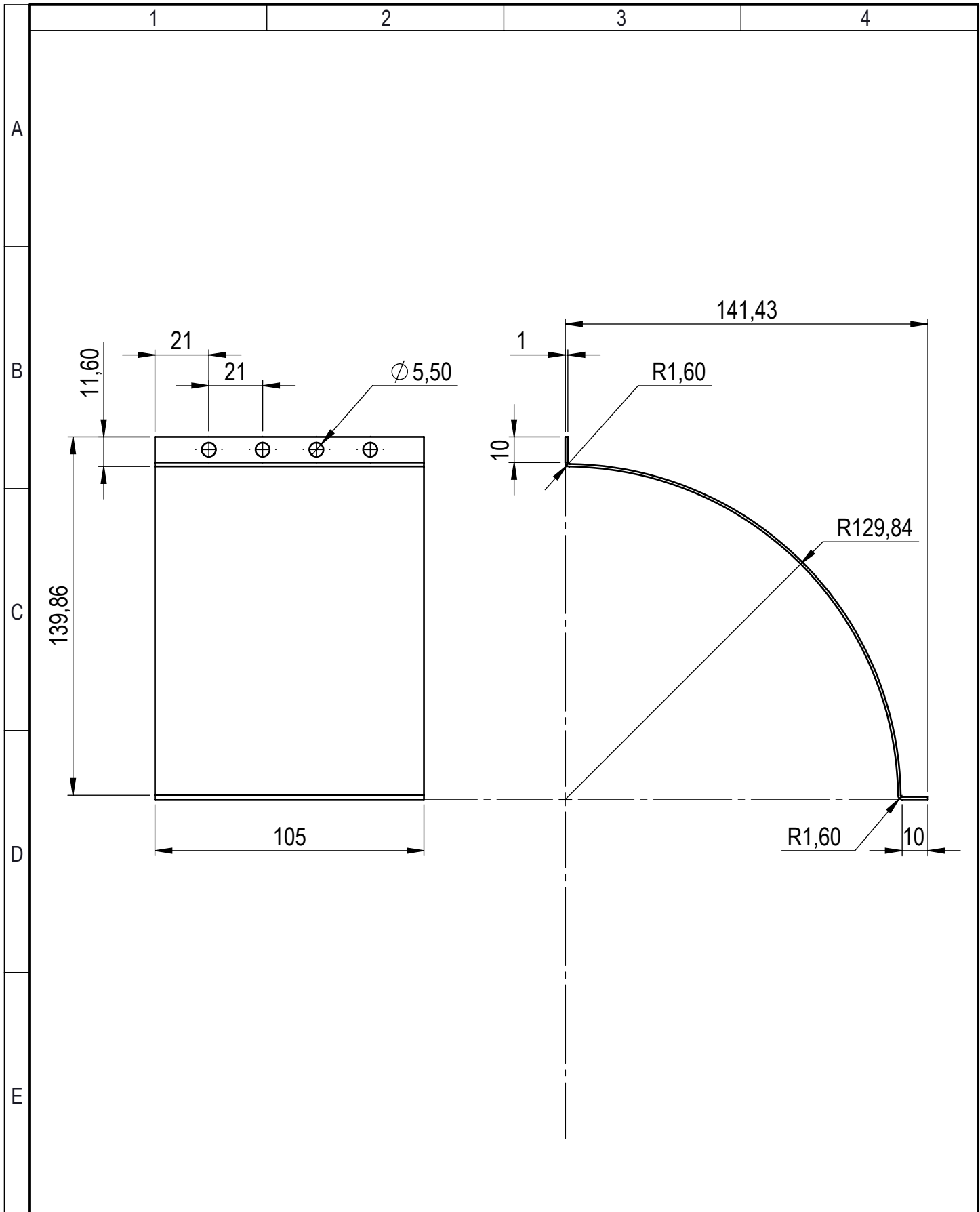




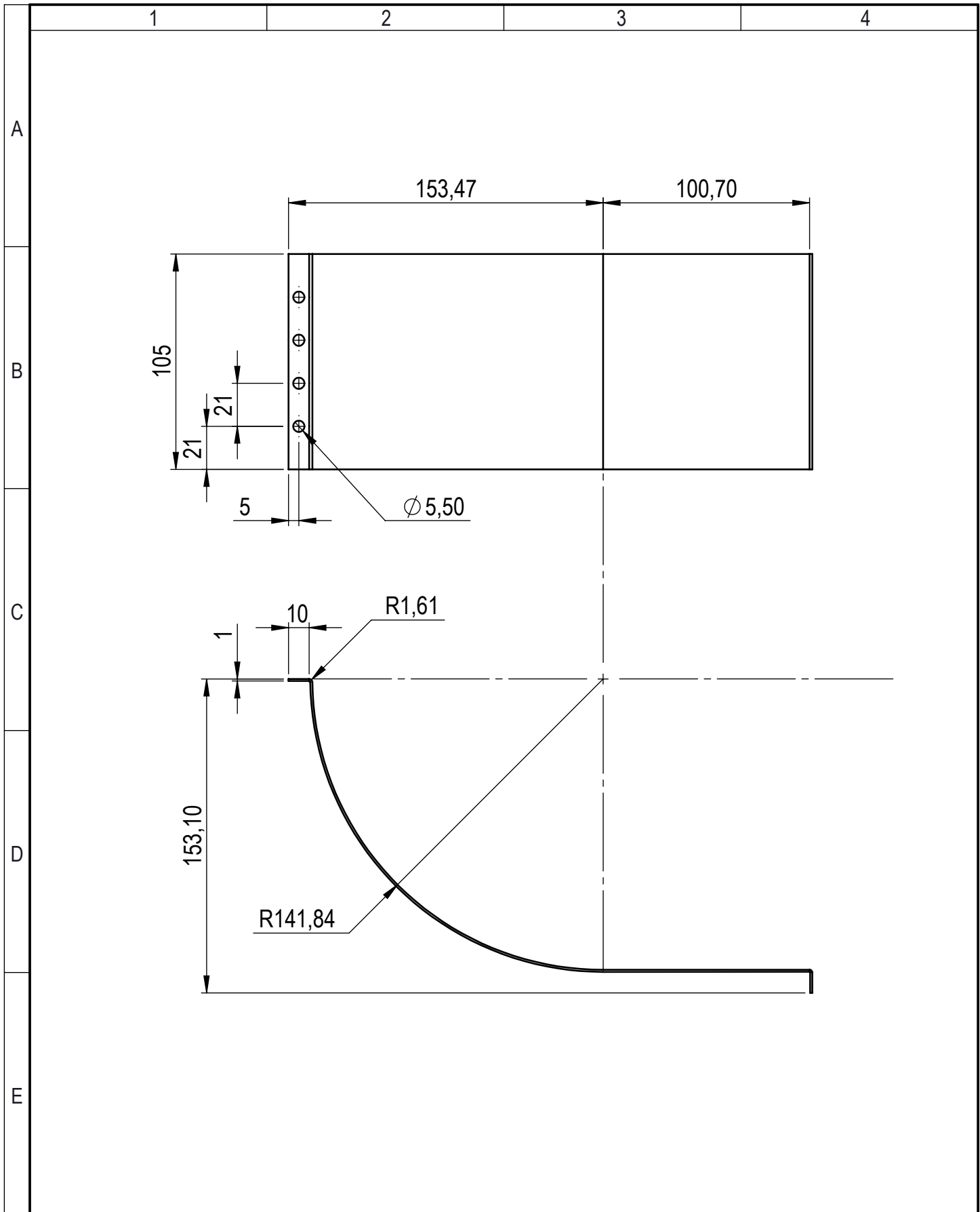
				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	0.059 Kg	AISI 304	
				Fecha	Nombre	Título:	
				Dibujó: 16/09/15	Vargas Marcos	ÁLABE DEL VENTILADOR	
				Revisó: 17/12/15	Ing. Mayorga A.		
				Aprobó: 17/12/15	Ing. Mayorga A.		
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		Número de hoja:	14 de 24
Edic.	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	
						Escala: 1:1	



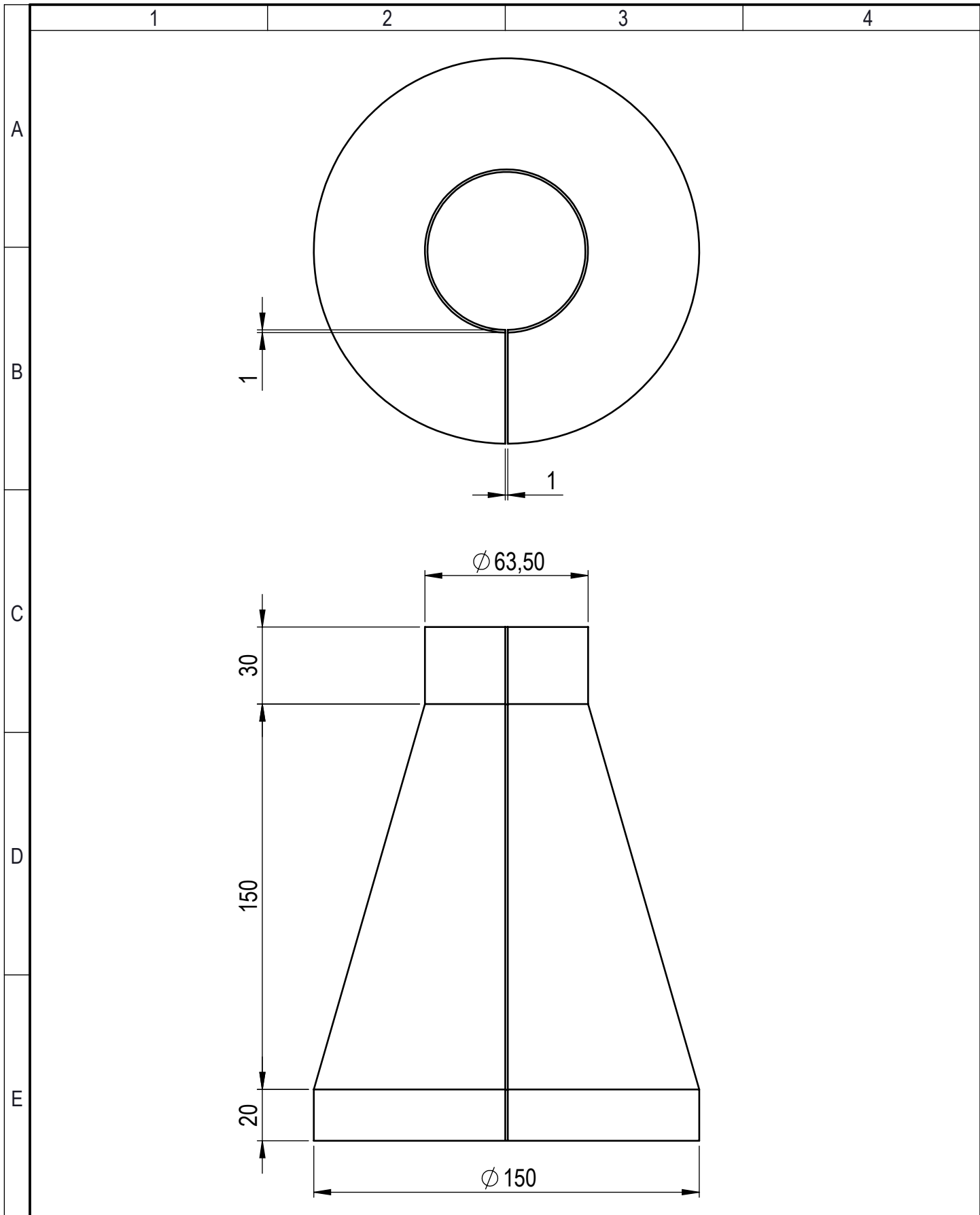
				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	0.253 Kg	AISI 304	
				Fecha	Nombre	Título:	
				Dibujó: 16/09/15	Vargas Marcos	CARCAZA DE LÁMINA N°1	
				Revisó: 17/12/15	Ing. Mayorga A.		
				Aprobó: 17/12/15	Ing. Mayorga A.		
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		Número de hoja:	15 de 24
Edic.	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	
						Escala: 1:2.5	



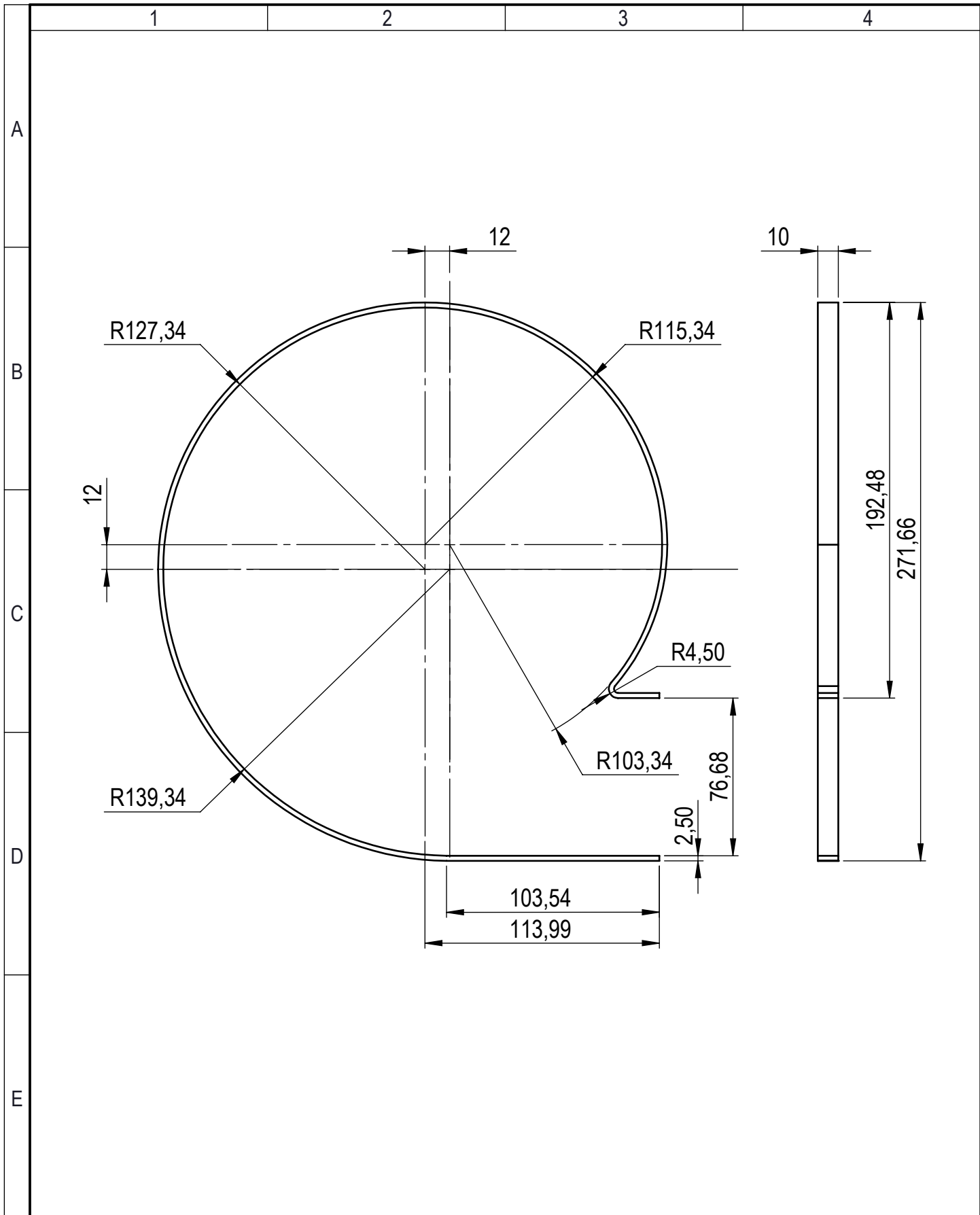
				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	0.188 Kg	AISI 304	
				Fecha	Nombre	Título:	
				Dibujó: 16/09/15	Vargas Marcos	CARCAZA DE LÁMINA N°2	
				Revisó: 17/12/15	Ing. Mayorga A.		
				Aprobó: 17/12/15	Ing. Mayorga A.		
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		Número de hoja:	16 de 24
Edic.	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



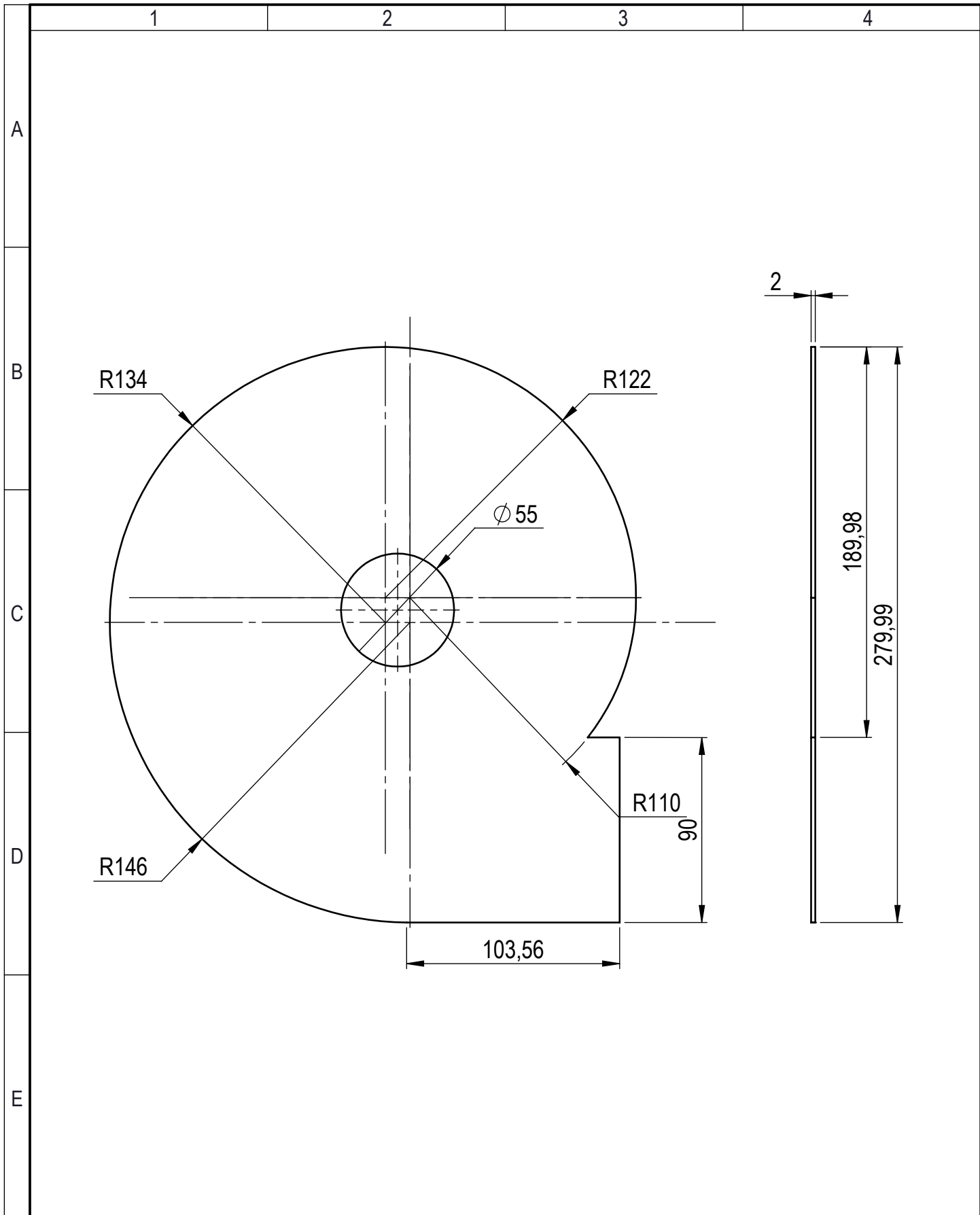
				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	0.288 Kg	AISI 304	
				Fecha	Nombre	Título:	
				Dibujó: 21/09/15	Vargas Marcos	CARCAZA DE LÁMINA N°3	
				Revisó: 17/12/15	Ing. Mayorga A.		
				Aprobó: 17/12/15	Ing. Mayorga A.		
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		Número de hoja:	17 de 24
Edic.	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	
						Escala:	1:2.5



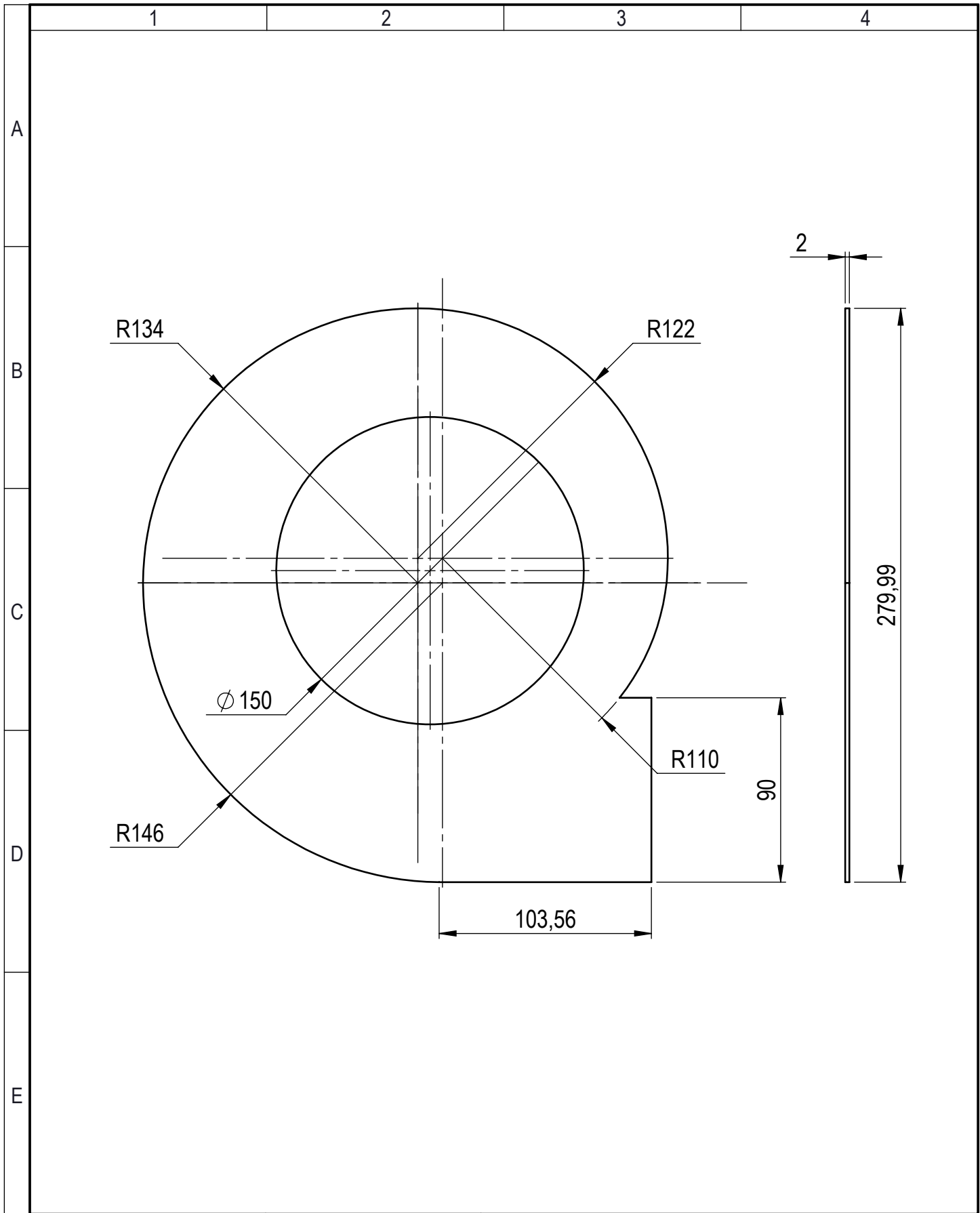
				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	0.535Kg	AISI 304	
				Fecha	Nombre	Título:	
				Dibujó: 21/09/15	Vargas Marcos	CONO - LADO DE SUCCIÓN	
				Revisó: 17/12/15	Ing. Mayorga A.		
				Aprobó: 17/12/15	Ing. Mayorga A.		
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		Número de hoja:	20 de 24
Edic.	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	
						Escala: 1:2.5	



				Tolerancia	(Peso)	Materiales:		
				±0,1	0.162Kg	AISI 304		
				Fecha	Nombre	Título:		
				Dibujó: 21/09/15	Vargas Marcos	VARILLA GUÍA		
				Revisó: 17/12/15	Ing. Mayorga A.			
				Aprobó: 17/12/15	Ing. Mayorga A.			
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		Número de hoja:	19 de 24	
Edic.	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)		
							Escala: 1:2.5	



				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	0.903 Kg	AISI 304	
				Fecha	Nombre	Título:	
				Dibujó: 21/09/15	Vargas Marcos	Escala:	
				Revisó: 17/12/15	Ing. Mayorga A.	TAPA DEL LADO DEL MOTOR	
				Aprobó: 17/12/15	Ing. Mayorga A.	1:2.5	
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		Número de hoja: 20 de 24	
						(Sustitución)	
Edic.	Modificación	Fecha	Nombre				



				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	0.658 Kg	AISI 304	
				Fecha	Nombre	Título:	
				Dibujó: 21/09/15	Vargas Marcos	TAPA DE LADO DE SUCCIÓN	
				Revisó: 17/12/15	Ing. Mayorga A.		
				Aprobó: 17/12/15	Ing. Mayorga A.		
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		Número de hoja:	21 de 24
Edic.	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	
						Escala: 1:2.5	

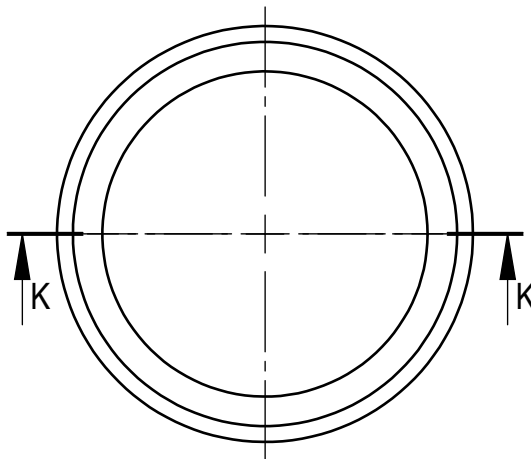
1

2

3

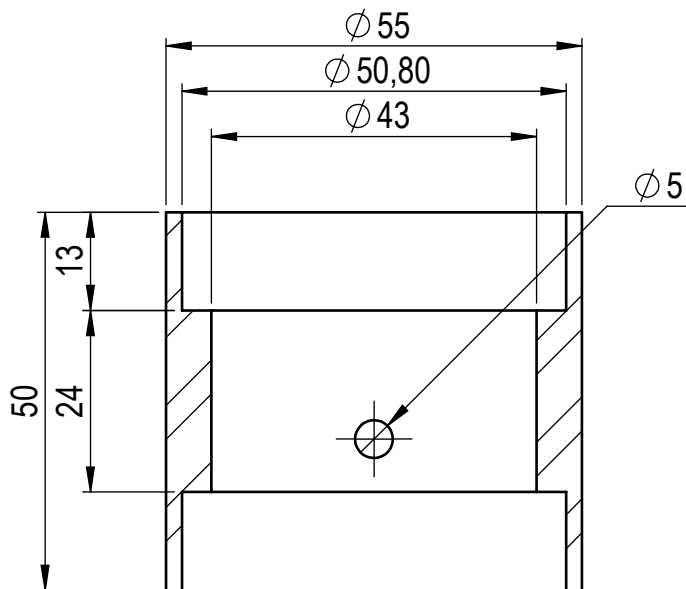
4

A



B

C

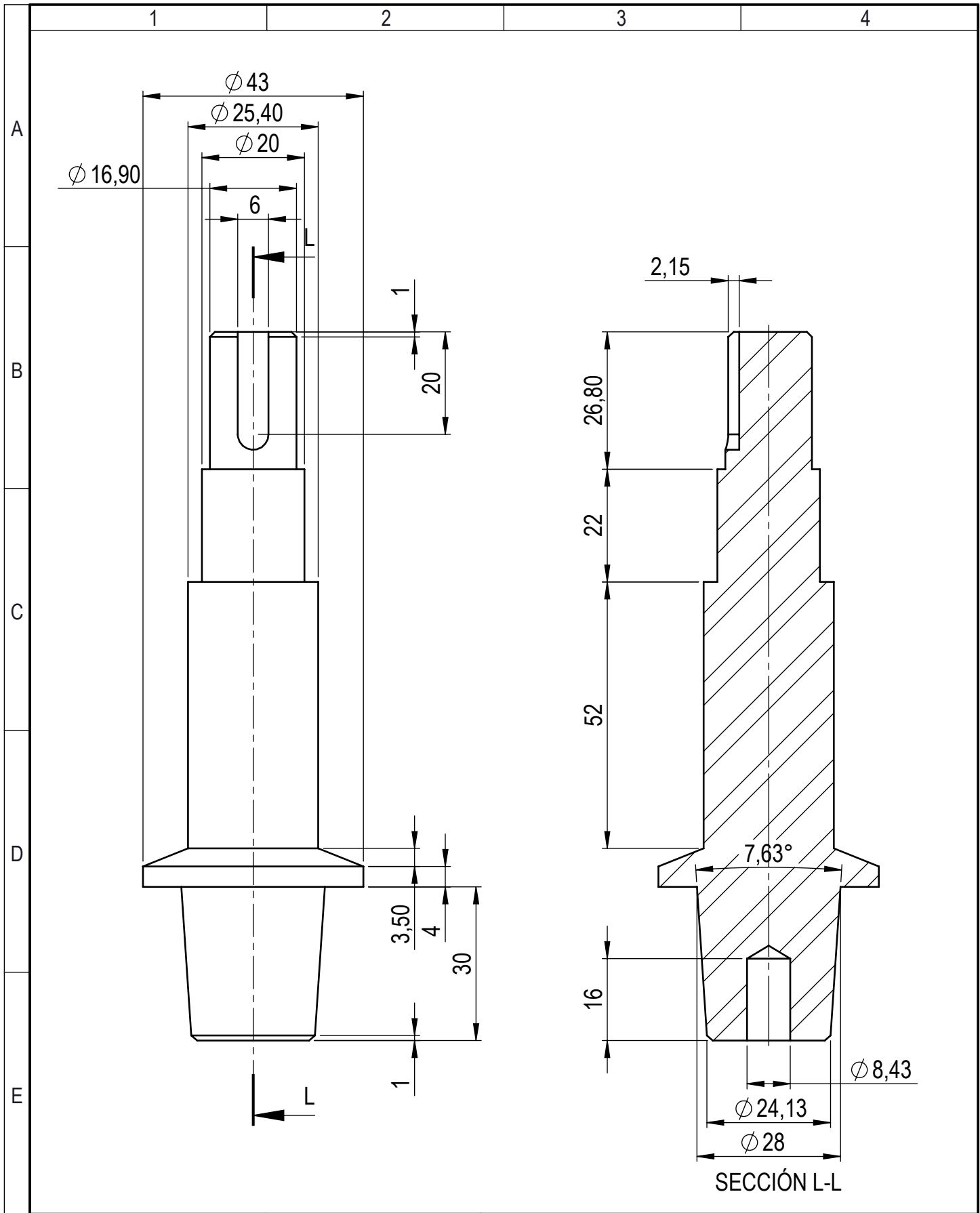


D

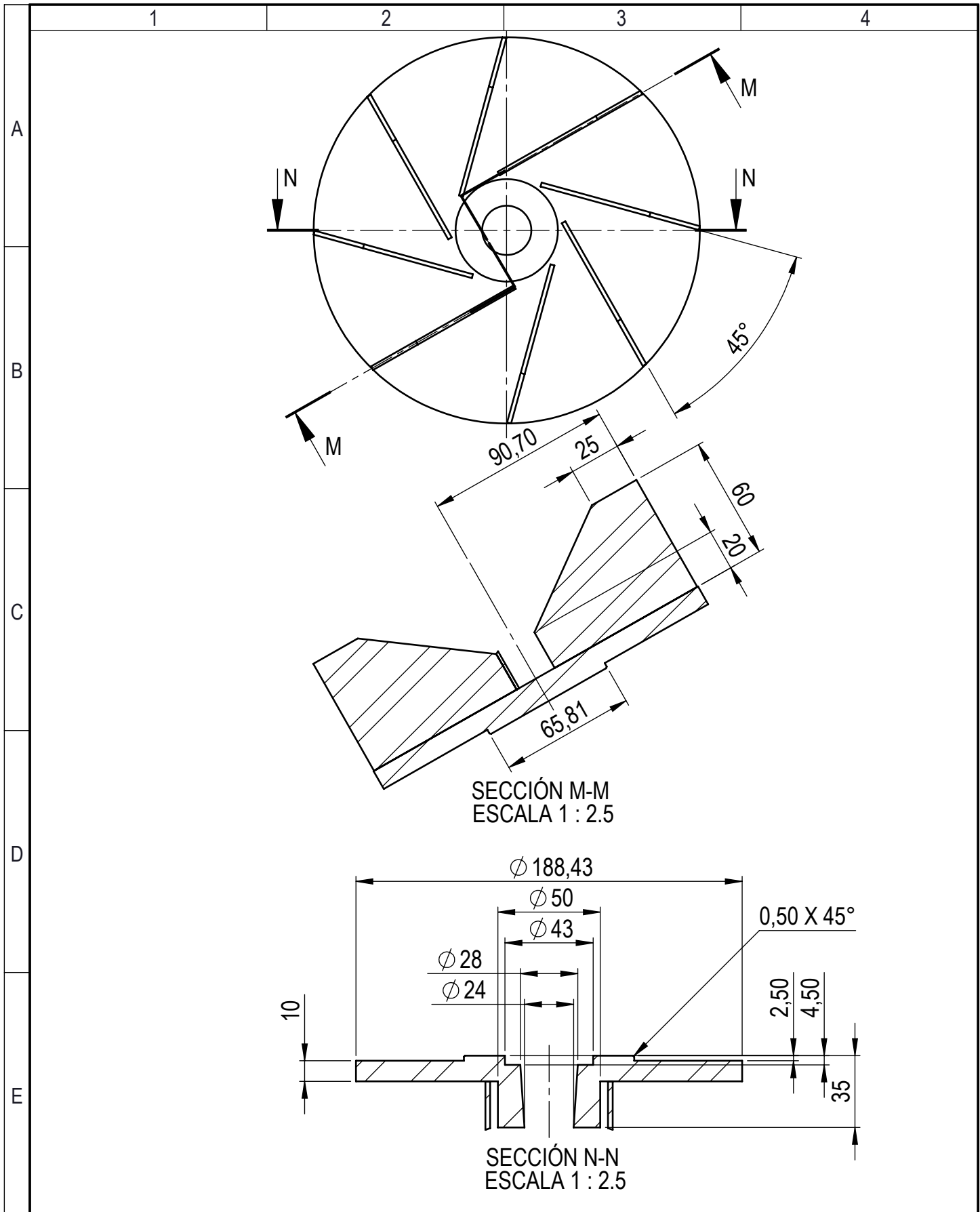
E

SECCIÓN K-K

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				$\pm 0,1$	0.249 Kg	AISI 304	
				Fecha	Nombre	Título:	
				Dibujó: 21/09/15	Vargas Marcos	CUELLO DE LA TURBINA	
				Revisó: 17/12/15	Ing. Mayorga A.		
				Aprobó: 17/12/15	Ing. Mayorga A.		
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		Número de hoja:	22 de 24
Edic.	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	0.738Kg	AISI 304	
				Fecha	Nombre	Título:	
				Dibujó: 21/09/15	Vargas Marcos	EJE DEL VENTILADOR	
				Revisó: 17/12/15	Ing. Mayorga A.		
				Aprobó: 17/12/15	Ing. Mayorga A.		
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		Número de hoja:	23 de 24
Edic.	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	
						Escala: 1:1	



				Tolerancia	(Peso)	Materiales:		
				$\pm 0,1$	2.928Kg	AISI 304		
				Fecha	Nombre	Título:		
				Dibujó: 21/09/15	Vargas Marcos	RODETE DEL VENTILADOR		
				Revisó: 17/12/15	Ing. Mayorga A.			
				Aprobó: 17/12/15	Ing. Mayorga A.			
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		Número de hoja:	24 de 24	
Edic.	Modificación	Fecha	Nombre					(Sustitución)
							Escala: 1:2.5	