

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

Diseño de un triturador y secador de desechos orgánicos domésticos

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Mecánico

Presentado por:

César Isaac Pillajo Ramírez

Ronny Paul Torres Vélez

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2019

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a mi mamá, quién ha sido parte fundamental en todo el proceso de mi carrera y para la realización de esta meta cumplida, a mi familia, quienes siempre me han alentado a seguir mejorando y nunca desistir, aconsejándome en todo momento y brindándome su apoyo incondicional.

A los docentes, por el conocimiento impartido y la guía proporcionada, a mis amigos, por todo el respaldo, aliento y buenas vibras.

César Pillajo Ramírez

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a mis padres, Augusto Efraín Torres y Zoila Vélez González, quienes han estado presentes en cada etapa de mi vida y con sus gestos de apoyo y cariño me han ayudado a cumplir cada una de las metas que me he planteado, a mis hermanos Grace Torres Vélez y Cesar Torres Vélez por encaminarme bajo sus experiencias y enseñanzas, me han impulsado a superar cada obstáculo en el transcurso de mi vida académica, a mis amigos y compañeros con los que he pasado gratos momentos a lo largo de la carrera.

Ronny Torres Vélez

AGRADECIMIENTOS

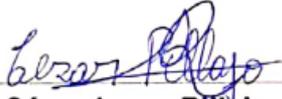
Expresamos nuestro más sincero agradecimiento a nuestro tutor MsC. Galo Durazno y a nuestro coordinador MsC. Rodolfo Paz quienes nos guiaron a lo largo de este proyecto, a nuestros compañeros y amigos que nos dieron recomendaciones en las diferentes etapas del proceso de diseño, finalmente agradecemos a todos los profesores de la FIMCP en el área de ingeniería mecánica, quienes han sabido brindarnos sus enseñanzas a través de la carrera.

César Isaac Pillajo Ramírez

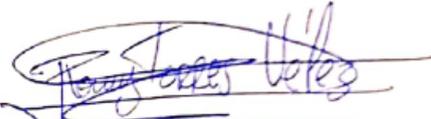
Ronny Torres Vélez

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; **César Isaac Pillajo Ramírez** y **Ronny Paul Torres Vélez** y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”



**César Isaac Pillajo
Ramírez**



**Ronny Paul Torres
Vélez**

EVALUADORES



Rodolfo Paz Mora

PROFESOR DE LA MATERIA



Galo Durazno Palacios

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

Actualmente la acumulación de basura y la falta de innovación en electrodomésticos con fines sustentables son problemáticas que se presentan en el país, por esto se tiene como objetivo realizar el diseño de un triturador y secador para desechos orgánicos, transformando esta materia en compost, existe un aumento en la implementación de huertos en el hogar y conciencia sobre la situación actual del planeta.

Mediante diferentes herramientas de diseño como matriz de decisión se convergió a un modelo final el cual está formado por una trituradora de rodillos y por un secador por resistencia, para esto se usaron elementos finitos y software CAD.

En el análisis realizado se determinó la potencia necesaria para el motor, la cual fue 1 Hp, además de la capacidad de la resistencia necesaria para secar y calentar los desechos a las condiciones deseables.

Se concluye que el diseño implementado del electrodoméstico tiene capacidad para cubrir la demanda de desechos generados en una familia promedio, y el consumo energético es menor que el gasto realizado al comprar compost, por lo cual se genera beneficio, además sigue algunos de los lineamientos de los objetivos de desarrollo sostenible planteados por la ONU.

Palabras Clave: Secador, triturador, elementos finitos, desechos orgánicos

ABSTRACT

Currently the accumulation of garbage and the lack of innovation in appliances for sustainable purposes are problematic that occur in the country, so it aims to carry out the design of a shredder and dryer for organic waste, transforming this material into compost, there is an increased implementation of home gardens and awareness of the current situation on the planet.

Through different design tools as a decision matrix, a final model was formed which is formed by a roller crusher and a resistance dryer, for this purpose finite elements and CAD software were used.

In the analysis carried out, the necessary power for the motor was determined, which was 1 Hp, in addition to the capacity of the necessary resistance to dry and heat the waste to the desirable conditions.

It is concluded that the implemented design of the appliance has the capacity to meet the demand for waste generated in an average family, and the energy consumption is lower than the expense incurred when buying compost, for which benefit is generated, in addition it follows some of the guidelines of the sustainable development goals set by the ONU.

Keywords: *Dryer, crusher, finite elements, organic waste*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
<i>ABSTRACT</i>	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS.....	V
SIMBOLOGÍA.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIII
ÍNDICE DE PLANOS.....	XIV
CAPÍTULO 1.....	1
1. Introducción	1
1.1 Definición del Problema.....	1
1.2 Justificación del proyecto	1
1.3 Objetivos	2
1.3.1 Objetivo General	2
1.3.2 Objetivos Específicos.....	2
1.4 Marco teórico.....	2
1.4.1 Residuos	2
1.4.2 Generación y manejo de residuos en el Ecuador	3
1.4.3 Trituradora	4
1.4.4 Secadores.....	7
1.4.5 Sistemas de control	10
1.4.6 Compostaje.....	10
CAPÍTULO 2.....	12
2. Metodología	12
2.1 Flujograma de diseño, caja negra y caja transparente	12
2.2 Requerimientos y funciones de diseño.....	14

2.2.1	Requerimientos de diseño	14
2.2.2	Especificaciones de diseño.....	14
2.3	Análisis y selección de alternativas	15
2.4	Diseño de Forma	18
2.5	Diseño Detallado	18
CAPÍTULO 3.....		31
3.	Resultados Y ANÁLISIS	31
3.1	Triturador.....	31
3.2	Secador	32
3.3	Simulación en la cámara de secado.....	35
3.4	Esquema eléctrico del sistema	37
3.5	Análisis de costos.....	38
3.5.1	Costo de producción	38
3.5.2	Costo total del equipo	38
3.6	Imagen digital con apariencia realista del equipo	40
CAPÍTULO 4.....		41
4.	Conclusiones Y Recomendaciones	41
4.1	Conclusiones	41
4.2	Recomendaciones.....	42
BIBLIOGRAFÍA.....		43
APÉNDICES.....		45

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ASTM	American Society for Testing and Materials
NACE	National Association of Corrosion Engineer
SSC	Electrodo de Plata Cloruro de Plata
CSE	Electrodo de Cobre Sulfato de Cobre
HWL	High Water Level
LWL	Low Water Level
CIS	Inspección pasó a paso, medición de potenciales de encendido
MPY	Milésimas de pulgadas por año
GAD	Gobierno autónomo descentralizado
ODS	Objetivos de desarrollo sostenible

SIMBOLOGÍA

mil	Milésima de pulgada
mg	Miligramo
pH	Potencial de Hidrógeno
m	Metro
mV	Milivoltio
Cu	Cobre
Ni	Níquel
C	Carbono
Mn	Manganeso
P	Fósforo
Hab	Habitantes
V_{in}	Volumen inicial residuos
m	Masa
Φ	Diámetro
ρ	Densidad
r_x	Relación de reducción
A_0	Área transversal inicial
A_f	Área transversal final
ϵ	Deformación real
p	Presión aplicada por el rodillo
\bar{Y}_f	Esfuerzo de fluencia promedio
F_{ro}	Fuerza aplicada necesaria por el rodillo
N	Fuerza normal por el rodillo
μ_d	Coeficiente de fricción cinética entre metal sobre metal lubricado
$R_{rodillo}$	Radio del rodillo
L_0	Altura inicial de los desechos antes de pasar el rodillo
L_f	Altura mínima de los desechos después de ser comprimidos por el rodillo
u	Coeficiente del acero
L_{ro}	Largo del rodillo
m_v	Relación de velocidad angular

ω_{out}	Velocidad angular de salida
ω_{in}	Velocidad angular de entrada
V	Velocidad tangencial de rodillos
R_g	Radio de giro sobre la matriz
ω_R	Velocidad angular de rodillos
P_R	Potencia de los rodillos
L_c	Longitud de contacto del rodillo
θ_t	Ángulo de trabajo del rodillo
t_t	Tiempo de recorrido del rodillo
V_{ex}	Velocidad de extrusión
V_0	Velocidad inicial
A_s	Aceleración al interior de la matriz
\dot{V}_v	Flujo volumétrico a través de la matriz
t	Tiempo requerido
N_a	Número de agujeros en la matriz
N_{ro}	Número de rodillos
F_v	Fuerza sobre la matriz
A_{ci}	Área de los rodillos
σ_m	Esfuerzo axial sobre la matriz
M_{max}	Momento máximo
c_m	Distancia desde el eje neutro
I_m	Segundo momento de área
τ_m	Esfuerzo cortante sobre la matriz
V_{max}	Fuerza cortante máxima
A_m	Área transversal de la matriz
σ_{prom}	Esfuerzo promedio
σ_x	Esfuerzo en el eje x
σ_y	Esfuerzo en el eje y
R	Radio del círculo
τ_{max}	Esfuerzo cortante máximo
$\sigma_{1,2}$	Esfuerzos principales
σ_{VM}	Esfuerzo de Von Mises
S_y	Esfuerzo de fluencia del material

n	Factor de seguridad
F_C	Fuerzas de corte
A_C	Área de corte
τ_C	Esfuerzo de corte
M_C	Momento de cuchillas
P_C	Potencia de cuchillas
P_T	Potencia total
\dot{m}_{pre}	Tasa de producto húmedo que ingresa a la cámara de secado
m	Masa de producto húmedo al ingreso de la cámara de secado
t	Tiempo en horas de secado
\dot{m}_{sol_e}	Flujo de masa de sólido seco al ingreso de la cámara de secado
\dot{m}_{age}	Flujo de masa de agua presente en el producto al ingreso de la cámara de secado
\dot{m}_{pr_s}	Flujo total de producto húmedo a la salida de la cámara de secado
\dot{m}_{sol_s}	Flujo de masa de sólido seco a la salida de la cámara de secado
\dot{m}_{ag_s}	Flujo de masa de agua a la salida de la cámara de secado
ϕ_s	Porcentaje de humedad a la salida de la cámara de secado
$\Delta\dot{m}_{ag}$	Tasa de vaporización de material húmedo de residuos
w_{aire_1}	Humedad absoluta del aire antes del calentador
w_{aire_2}	Humedad absoluta del aire después del calentador
$\dot{W}_{flecha_{1-2}}$	Potencia de flecha
$\dot{W}_{eléctrico_{1-2}}$	Potencia eléctrica
\dot{m}_{aire_1}	Masa de aire a la entrada del calentador
h_1	Entalpía del aire a la entrada del calentador de aire
h_2	Entalpía del aire a la salida del calentador de aire
\dot{m}_{aire_1}	Flujo de aire en la entrada del calentador
\dot{m}_{aire_2}	Flujo de aire en la entrada de la cámara de secado
h	Entalpía del aire
$h_{aire\ seco}$	Entalpía de aire seco
c_p	Calor específico de aire seco
w	Humedad absoluta
h_g	Entalpía de vapor de agua

$h_g(T)$	Entalpía de vapor saturado a temperatura T
T	Temperatura
P	Presión Total del aire atmosférico
P_a	Presión del aire seco
P_v	Presión del vapor de agua
ω	Humedad absoluta o relación de humedad
m_v	Masa de vapor de agua
m_a	Masa de aire seco
P_v	Presión de vapor de agua
P_a	Presión de aire seco
V	Volumen de la mezcla
R_v	Constante de gas ideal específica del vapor de agua
R_a	Constante de gas ideal específica de aire seco
ϕ	Humedad relativa
m_g	Masa de la máxima cantidad de vapor de agua que resiste el aire
P_g	Presión de la máxima cantidad de vapor de agua que resiste el aire
ν	Volumen específico del aire
R_a	Constante de gas ideal de aire
P_a	Presión de aire
T	Temperatura del aire a la entrada del calentador
\dot{Q}_{sec}	Calor de vaporización de residuos
h_{fg}	Calor latente de vaporización del producto
$\dot{m}_{residuos}$	Flujo de masa de residuos
$c_{p_{residuos}}$	Calor específico de los residuos
T_s	Temperatura de salida del secador
T_e	Temperatura de entrada del secador
v	Velocidad de entrada
\dot{V}	Flujo volumétrico
A_{ent}	Área de entrada
Re	Número de Reynolds
v	Velocidad del aire caliente
L	Longitud de recorrido
ρ	Densidad del aire

μ	Viscosidad dinámica
Nu	Número de Nusselt
Pr	Número de Prandtl
h_{conv}	Coefficiente de convección
Nu	Número de Nusselt
k_{aire}	Coefficiente de conducción del aire
L_{rec}	Longitud de recorrido

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Triturador de mandíbula	5
Figura 1.2. Triturador de rodillo dentado	5
Figura 1.3. Molino de martillo	6
Figura 1.4. Molino de frotación	7
Figura 1.5. Secador de bandejas.....	8
Figura 1.6. Secador rotatorio	8
Figura 1.7. Secador de pulverización	9
Figura 1.8. Secador de tambor	9
Figura 2.1. Flujograma de diseño	12
Figura 2.2. Caja negra: estados A y B.....	13
Figura 2.3. Caja transparente	13
Figura 2.4. Diseño de forma de posible solución.....	18
Figura 2.5. Diseño de rodillo de trituración	20
Figura 2.6. Principios físicos que actúan sobre los rodillos	21
Figura 2.7. Diseño de calentador previo a cámara de secado.....	27
Figura 2.8. Diseño de cámara de secado.....	29
Figura 3.1. Diagrama esquemático del sistema de control de temperatura en cámara de secado.....	34
Figura 3.2. Posición asimétrica de ductos de entrada y salida de aire: líneas de temperatura y flujo de aire	35
Figura 3.3. Posición asimétrica de ductos de entrada y salida de aire: plano XY de simulación de líneas de temperatura.....	36
Figura 3.4. Posición simétrica de ductos de entrada y salida de aire: líneas de temperatura y flujo de aire	36
Figura 3.5. Posición simétrica de ductos de entrada y salida de aire: plano XY de simulación de líneas de temperatura.....	37
Figura 3.6. Diagrama esquemático del sistema eléctrico del equipo.....	37
Figura 3.7. Imagen realista del equipo	40
Figura 3.8. Imagen realista del equipo: vista de corte	40
Figura A.1. Diagrama de cuerpo libre.....	51
Figura A.2. Diagrama de fuerza cortante.....	51

Figura A.3. Diagrama de momento flector.....	52
Figura A.4. Perfil de la matriz	52
Figura A.5. Diagrama de cuerpo libre.....	54
Figura A.6. Diagrama de fuerza cortante.....	55
Figura A.7. Diagrama de momento flector.....	55
Figura A.8. Diagrama de cuerpo libre	56
Figura A.9. Diagrama de fuerza cortante.....	56
Figura A.10. Diagrama de momento flector	57
Figura A.11. Diseño de forma del eje secundario	59
Figura A.12. Diagrama de cuerpo libre	59
Figura A.13. Diagrama de fuerza cortante.....	60
Figura A.14. Diagrama de momento flector	60
Figura A.15. Diseño de forma del eje principal	61
Figura A.16. Especificaciones de la chaveta y chavetero.....	62
Figura A.17. Esquema Simplificado Cámara de secado	66
Figura A.18. Sección Calentador de aire	68
Figura A.19. Sección cámara de secado.....	69
Figura A.20. Diagrama de resistencias: Flujo paralelo	72
Figura A.21. Diagrama de resistencias: Flujo perpendicular	73
Figura A.22. Programación Arduino para temporizadores.....	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Parámetros de control	10
Tabla 2.1. Escala de importancia	15
Tabla 2.2. Tabla de comparación por pares entre especificaciones de diseño	15
Tabla 2.3. Tabla de mecanismos, componentes y medios que utilizan para realizar las funciones	15
Tabla 2.4. Tabla de alternativa de solución A.....	16
Tabla 2.5. Tabla de alternativa de solución B.....	16
Tabla 2.6. Tabla de alternativa de solución C.....	17
Tabla 2.7. Tabla morfológica presenta una comparación entre posibles soluciones dando como resultado la ganadora	17
Tabla 2.8. Coeficientes “n” y “c” a partir del número de Reynolds.....	30
Tabla 3.1. Selección de rodamientos	32
Tabla 3.2. Selección de motor	32
Tabla 3.3. Resultados principales: Cálculos termodinámicos.....	33
Tabla 3.4. Parametrización de controlador de temperatura.....	34
Tabla 3.5. Costo total del equipo	38
Tabla A.1. Coeficientes de concentradores de esfuerzo	58
Tabla A.2. Tabla de Chavetas y chaveteros según diámetro de eje.....	62
Tabla A.3. Tabla de rodamientos NTN	65
Tabla A.4. Datos y propiedades para cálculos termodinámicos	66
Tabla A.5. Coeficientes ‘n’ y ‘c’ para el cálculo de número de Nusselt.....	71

ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1	ENSAMBLE DE LA MÁQUINA TRITURADORA Y SECADORA
PLANO 2	MÁQUINA TRITURADORA Y SECADORA
PLANO 3	CARCASA DE EQUIPO
PLANO 4	CÁMARA DE SECADO
PLANO 5	RODILLOS
PLANO 6	PLANCHA BASE
PLANO 7	MATRIZ CUADRADA
PLANO 8	TOLVA DE INGRESO DE RESÍDUOS A CÁMARA DE SECADO
PLANO 9	EJE PRINCIPAL Y EJE SECUNDARIO
PLANO 10	TEE

(Ver apéndices)

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Definición del Problema

La industria manufacturera ecuatoriana ha incrementado en los últimos 10 años su producción nacional en el área de línea blanca, sin embargo, la inversión para proyectos innovadores con base en la sostenibilidad es mínima.

El manejo de desechos tiene gran impacto ambiental, ya que éste se lo realiza de manera no diferenciada, mediante un servicio puerta a puerta. En algunos de los sectores de gran concentración poblacional se puede observar la falta de contenedores comunitarios, donde los desechos terminan en las calles y aceras, produciendo cúmulos de basura y emisión de malos olores, lo que afecta el ciclo sostenible en el país.

1.2 Justificación del proyecto

La tendencia del desarrollo tecnológico global en los últimos años se ha centrado en procesos y productos amigables con el ambiente, lo que impulsa al progreso de la innovación enfocada en este sector, mediante el diseño de productos que van más allá de los tradicionales y que tienen como finalidad realizar un ciclo sostenible. La generación y mal manejo de residuos orgánicos por parte de las familias ecuatorianas, da la apertura para diseñar un producto de línea blanca, que puede ser usado en los hogares reduciendo en gran medida la problemática ambiental y devolviendo los nutrientes a la tierra en forma de compost; el mismo que, al ser utilizado en huertos locales o en jardines reduzca gastos de los usuarios que utilizan este tipo de productos e incluso puede producir ingresos. También, este estudio sirve de base para el desarrollo del tratamiento industrial de desechos, ampliando el horizonte de los diferentes métodos de manejo de residuos. Se debe agregar que, el proyecto sigue la directriz y colabora con los objetivos de desarrollo sostenible (ODS), los cuales, buscan el bien común y resguardar el medio ambiente (Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, 2016).

Los principales ODS que se abarcan son:

ODS 3: Salud y bienestar

ODS 9: Industria, innovación e infraestructura

ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles

ODS 12: Producción y consumos responsables

ODS 13: Acción por el clima

1.3 Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Diseñar una máquina que permita triturar y secar desechos orgánicos caseros para ser utilizados posteriormente como abono.

1.3.2. Objetivos Específicos

1. Desarrollar el diseño y los planos en detalle del equipo.
2. Modelar en 3D y crear una imagen digital con apariencia realista del equipo.
3. Analizar mediante elementos finitos la transferencia de calor en el secador.
4. Diseño y programación del sistema de control.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Residuos

Los residuos son materiales u objetos que, una vez cumplido su propósito de uso pierden su utilidad. (RAE, 2019). Los residuos se clasifican según tres aspectos que son: por su peligrosidad, su origen y por su composición. Dentro de los residuos clasificados por su peligrosidad, se encuentran los residuos inertes, llamados así debido que no experimentan cambios significativos de índole físico, químico o biológico, es decir, no afectan ni reaccionan con otro tipo de materia con la que puedan entrar en contacto. (Ecolec, 2019). Los residuos peligrosos son aquellos que causan afectaciones, no solo al ser humano, sino también al medio ambiente, debido a sus características reactivas, corrosivas, inflamables, radioactivas, entre otras. (Sistema de Información Ambiental de Colombia, 2019). Los residuos no peligrosos son aquellos que, aunque reaccionen

con otro tipo de material no peligroso, no afectan al medio ambiente ni a los seres humanos. (Ecolec, 2019)

Según su origen se subdividen en: residuos domésticos, aquellos que se generan en los hogares, debido a las actividades que se realizan dentro de ellos; residuos comerciales, que son generados por actividades que se realizan tanto en negocios de comercio, ya sea este, al por mayor o al por menor, así como también, los residuos industriales, que se obtienen a partir de los diferentes procesos de manufactura, utilización, consumo o mantenimiento propio de la industria. Según su composición, se encuentran los residuos orgánicos, que son desechos de origen biológico tales como: desechos de alimento, hojas, entre otros; los residuos inorgánicos, se refieren a toda clase de desecho que no sean de origen biológico, entre los cuales están las fibras sintéticas y los plásticos. (Ecolec, 2019)

1.4.2 Generación y manejo de residuos en el Ecuador

En el Ecuador, al menos un 80% de los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GADs), realizan una gestión directa en cuanto al manejo de residuos sólidos, es decir, que cuentan con un departamento propio para la ejecución de esta actividad. El servicio de barrido en la región Costa se encuentra cubierta en un 83.32%, en la región Sierra se mantiene en un 84.38%, en la región Amazónica se da en un 95.11%, mientras que, en la región insular, este servicio se encuentra cubierto en un 100%. Por ende, en el Ecuador se ha cubierto al menos 7260.8 Km, por lo tanto, los jornaleros barren en promedio 1.75 Km al día. (AME- INEC, 2014)

La separación en la fuente es la recuperación de los materiales que se pueden reciclar desde el hogar o en los puntos de recolección; este proceso se da ordenando y dividiendo los desperdicios dependiendo de su peligrosidad. Para el caso de Ecuador, 81 de 220 municipios mantienen procesos que realizan este tipo de prácticas en residuos sólidos; en algunas urbes, se han instaurado planes piloto, en barrios o en toda la ciudad. (AME- INEC, 2014)

En promedio la producción per cápita de residuos sólidos es de 0.52 kg/hab/día dentro del continente, a su vez, en la región insular ecuatoriana es de 0.72 kg/hab/día. Según, datos del INEC (2014) se recolectaron

1135.09 toneladas de residuos diferenciados al día, a diferencia de las 10068145 toneladas de residuos no diferenciados por día. Por otra parte, menciona que, el uso de rellenos sanitarios disminuye el impacto que los desechos sólidos causan en el medio ambiente y minimiza el peligro para la seguridad y salud pública en el país; tan solo el 39% de GADs utilizan rellenos sanitarios como parte de su manejo de desechos. Destacando que, en las regiones Sierra y Amazonía, el uso de relleno sanitario sobrepasa el 49%, mientras que, en la región Costa, se lo realiza tan solo en el 15% de sus municipios.

1.4.3 Trituradora

La práctica de reducción de tamaño de cuerpos se realiza para obtener productos de menor masa, mediante el cizallamiento, fractura o pulverización; este proceso se produce cuando el cuerpo es sometido a esfuerzos que superan el límite plástico, momento en que el elemento presenta desgarramientos de material (McCabe, Smith, & Harriot, 1991). El proceso de trituración consiste en reducir elementos de gran tamaño, por encima de los 10 centímetros; mientras que los procesos de molienda se realizan para reducir sólidos de tamaño reducidos en partículas mucho más pequeñas, con una alta relación de reducción (McCabe, Smith, & Harriot, 1991).

Los equipos de reducción de tamaño se clasifican de acuerdo con las fuerzas que actúan sobre el producto, tales como:

- **Compresión:**
Es utilizado para reducir sólidos con alta dureza con un tamaño considerable
- **Impacto:**
Se utiliza para reducir sólidos tanto de tamaños medianos como para molienda fina.
- **Cizallamiento:**
Son equipos utilizados para reducir el tamaño de sólidos en molienda fina.
- **Corte:**

Son equipos utilizados para obtener sólidos con tamaños ya predefinidos.

Para la reducción de materiales duros y de gran tamaño se utilizan trituradoras de mandíbulas; su funcionamiento se realiza a partir del impacto entre una mandíbula fija con una mandíbula móvil, cuyo movimiento se da de manera excéntrica mediante la acción de una biela de tracción. Los quebrantadores giratorios actúan acercando y alejando el elemento móvil hacia la placa desintegradora fija; la estructura es de forma troncocónica invertida (McCabe, Smith, & Harriot, 1991).

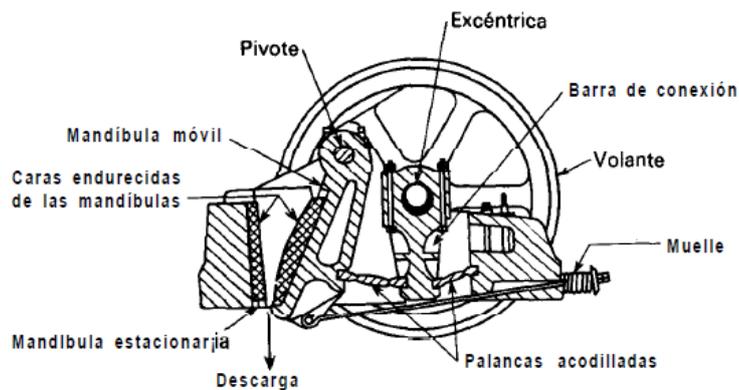


Figura 1.1. Tritrador de mandíbula

Fuente: McCabe, Smith, Harriot, 1991

El triturador de rodillo dentado consta de un elemento fijo, sobre el cual se va a reducir el tamaño de los sólidos, debido al desgarramiento que produce el rodillo dentado mientras gire (McCabe, Smith, & Harriot, 1991).

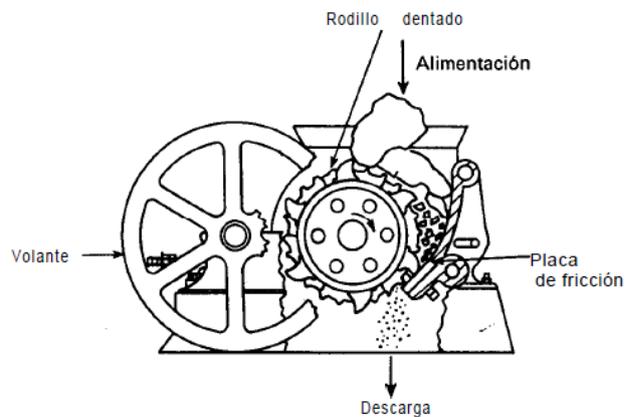


Figura 1.2. Tritrador de rodillo dentado

Fuente: McCabe, Smith, Harriot, 1991

Los molinos de martillos constan de una estructura fija, con la cual va a golpear el producto mientras grandes bloques de acero giren en la periferia de un disco; los productos seguirán impactándose con la placa rompedora hasta que sean lo suficientemente finos para que pasen a través de los tamices de descarga (McCabe, Smith, & Harriot, 1991).

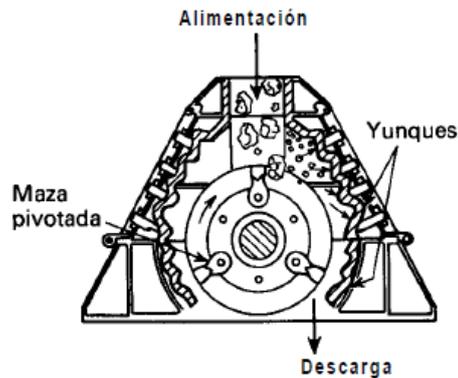


Figura 1.3. Molino de martillo

Fuente: McCabe, Smith, Harriot, 1991

Los molinos de frotación son utilizados para la disminución de tamaño de sólidos blandos; el mecanismo de acción consta de dos discos circulares, uno fijo y el otro móvil, de caras estriadas y con eje generalmente horizontal; la alimentación se realiza a través de una abertura ubicada en el centro de uno de los discos, mientras que, la descarga se lleva a cabo de manera tangencial a los discos y se aprovecha la gravedad para recoger el material ya procesado; este tipo de mecanismos tienen una variedad de aplicaciones tales como troceado, molienda, granulación y desmenuzamiento, puesto que se pueden variar los discos estriados (McCabe, Smith, & Harriot, 1991).

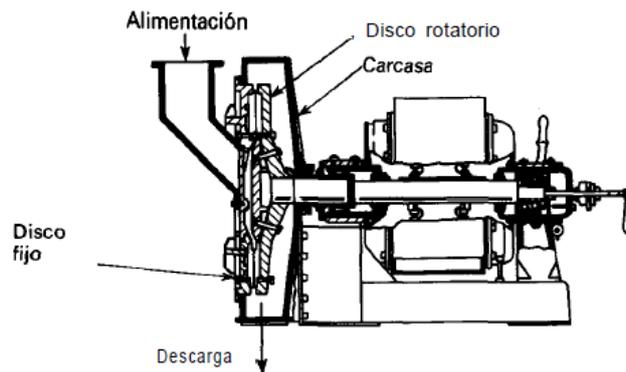


Figura 1.4. Molino de frotación

Fuente: McCabe, Smith, Harriot, 1991

1.4.4 Secadores

Los desechos orgánicos generados en el hogar poseen humedad, debido principalmente a lixiviados; esta humedad dificulta y extiende el proceso de compostaje, por eso, la importancia de reducir la humedad en estos desechos. Para ello, se puede implementar el proceso de desecación o deshidratación, lo cual permite disminuir el porcentaje de humedad de los desechos. Existen diferentes métodos de transferencia de calor para secar estos desechos, mismos que realizan por conducción, convección o por radiación. La transferencia de calor por conducción se efectúa por la propagación de energía entre partículas, de las más energéticas a las menos energéticas, sin transferencia de masa y a través de la interacción directa; en la transferencia de calor por convección existe propagación de energía, ocasionada por el movimiento molecular aleatorio y el movimiento macroscópico, donde interactúan una superficie sólida y un fluido en movimiento, que se encuentran con diferentes temperaturas; la transferencia de calor por radiación ocurre cuando la energía que emite un cuerpo, ya sea líquido o sólido con una determinada temperatura finita, se traslada a través de ondas electromagnéticas. Existen diferentes mecanismos para realizar el proceso de secado, donde se da transferencia sincrónica, de materia y calor.

Los secadores de armarios o bandejas emplean gases calientes, los cuales circulan por las bandejas que se encuentran en espacios cerrados y se ubican de forma continua (McCabe, Smith, & Harriot, 1991).

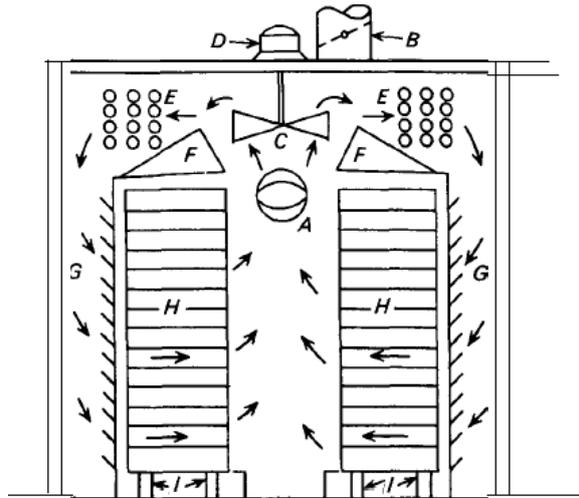


Figura 1.5. Secador de bandejas

Fuente: McCabe, Smith, Harriot, 1991

En los secadores rotatorios se emplean cilindros a determinada inclinación, además, estos rotan para acarrear el material húmedo y los gases calientes circulan al interior del cilindro en contra del desplazamiento de la materia húmeda. Los principales parámetros, que intervienen en este mecanismo, son: el tamaño de las partículas que ingresan, la inclinación a la que se encuentra el cilindro y la velocidad de desplazamiento de la materia húmeda (McCabe, Smith, & Harriot, 1991).

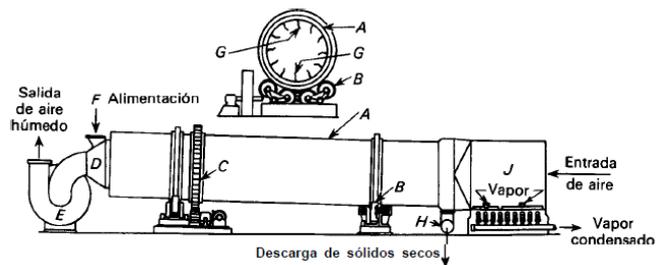


Figura 1.6. Secador rotatorio

Fuente: McCabe, Smith, Harriot, 1991

Los secadores por pulverización emplean un disolvente que se evapora dejando partículas secas, consta de 3 etapas: pulverización del fluido, contacto del fluido pulverizado con el medio secante y el desprendimiento del producto seco. Las partes principales de estos secadores son: la cámara de desecación, calentador de aire, ventilador, separador de polvos,

separador húmedo, bomba de alta presión (McCabe, Smith, & Harriot, 1991).

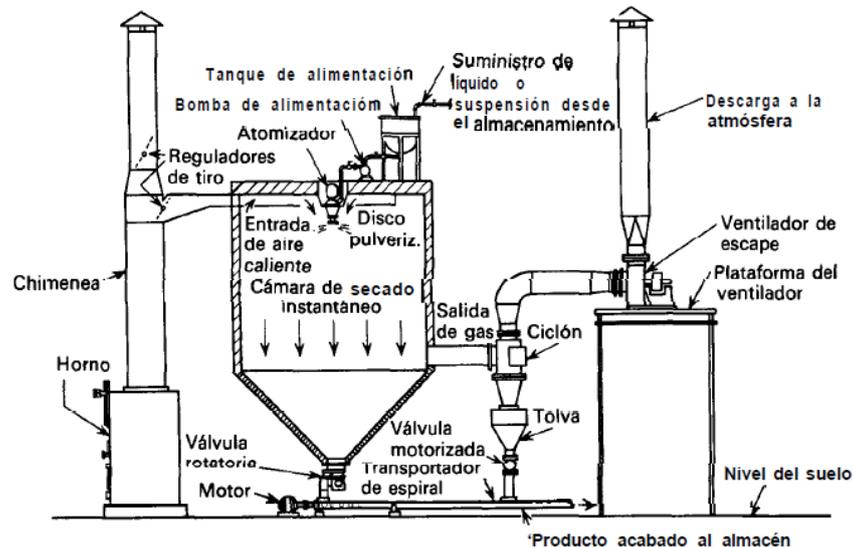


Figura 1.7. Secador de pulverización

Fuente: McCabe, Smith, Harriot, 1991

Los secadores de rodillo o tambor giran hasta desprender películas de líquido, estas se adhieren a su superficie a través del flujo de gases calientes, para luego evaporar el disolvente. Estos secadores se usan principalmente para materia que es perceptible al calor, ya que el tiempo de exposición entre estas películas y el flujo de calor es corto; como resultado se obtiene materia sólida seca y con apariencia a escamas (McCabe, Smith, & Harriot, 1991).

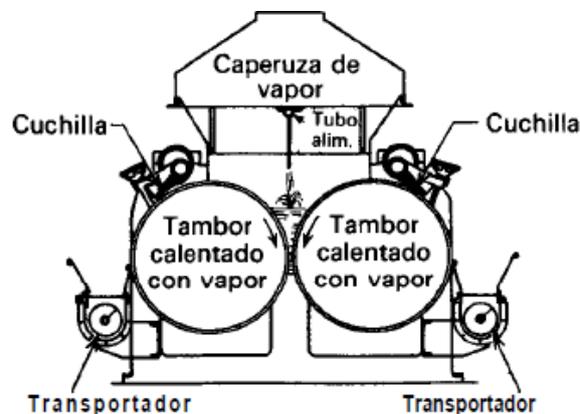


Figura 1.8. Secador de tambor

Fuente: McCabe, Smith, Harriot, 1991

1.4.5 Sistemas de control

Para realizar el sistema de control se deben conocer los principales parámetros, entre los cuales se encuentran: la relación carbono-nitrógeno, temperatura, humedad, PH, tamaño y estructura; los microcontroladores de bajo costo tales como Raspberry o Arduino se han vuelto muy populares para sensor, toma de datos y realizar acciones sobre un sistema, debido a su simplicidad de programación y uso de software libre.

Tabla 1.1. Parámetros de control

Parámetros de control	
Tamaño de partículas	25-27 mm
Temperatura	50 – 60 °C
PH	7 – 7.5
Relación carbono-nitrógeno	25- 50
Humedad	50 – 60 %
Color	Marrón oscuro

Fuente: Elaboración propia

El parámetro principal para controlar es la temperatura, ya que, algunos de los otros parámetros dependen de este. La instrumentación utilizada puede ser analógica o digital, pero en estos sistemas prevalece los equipos digitales, debido a su precisión y tiempo de respuesta, además existen algunos que registran dos o más parámetros, como humedad y temperatura (Ramírez, 2013).

1.4.6 Compostaje

El compostaje es una técnica que permite el control de la biodegradación de materia orgánica, cuyo resultado es aportar nutrientes a los cultivos y al suelo. Esta técnica surge del medio rural, ya que, tradicionalmente se acumulaban los desechos de actividades agrícolas, domiciliarias, agropecuarias durante un determinado tiempo; estos se encontraban expuestos a la intemperie con el principal objetivo de secarlos y reducir su tamaño, para luego se utilizaban como abonos. Cuando estos se emplean en el suelo comienza un proceso de mineralización, en algunos casos, no se aprovechan todos los nutrientes y en otros produce un efecto perjudicial, puesto que, ciertas condiciones acogen a procesos anaeróbicos y de fertilización ocasionando la pérdida de nutrientes esenciales. En

consecuencia, se desarrolla una biotécnica que permite el control de las variables (temperatura, humedad, etc.), durante todo el proceso y minimiza el tiempo y las respiraciones anaeróbicas, a su vez, se centra en amplificar la fase aeróbica; este tratamiento se lo denomina compostaje termo aeróbico o aerotérmico (Jan Van Wambeke, 2013).

El compostaje aeróbico atraviesa distintas fases, se las puede clasificar de acuerdo con la temperatura que alcanza la zona central. La fase inicial o de latencia en la cual se forma el cúmulo, generalmente se extiende durante 24 a 72 horas y la temperatura ambiente está entre 10 y 12 °C. Luego se presenta la fase mesotérmica 1, donde la temperatura se encuentra entre 10 a 40 °C, el aumento de temperatura se debe a la actividad metabólica. Después de esto acontece la fase termogénica, de manera que se suprimen todos elementos biológicos desagradables, la temperatura permanece entre 40 y 70 °C. Finalmente, se presenta la fase mesotérmica 2, en la que se produce una disminución de temperatura, tendiendo a la temperatura ambiente, esta es la fase de maduración y la duración depende de diversos factores; como resultado se da el equilibrio biológico y se culmina el proceso (Jan Van Wambeke, 2013).

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

Se plantearon diferentes herramientas para el proceso de diseño, siendo la más significativas la matriz de decisiones, la cual permitió seleccionar la mejor alternativa para el diseño conceptual; una vez realizado este diseño se procedió a elaborar el diseño detallado, el cual se enfoca en los parámetros técnicos que se deben distinguir. Con esto se convergió, a los parámetros deseados, para el triturador, secador y el sistema de control.

2.1 Flujograma de diseño, caja negra y caja transparente

Mediante los requerimientos del usuario, se establecieron las condiciones de diseño para cada uno de los mecanismos, a continuación, se presenta un flujograma con los diferentes componentes a diseñar y seleccionar:

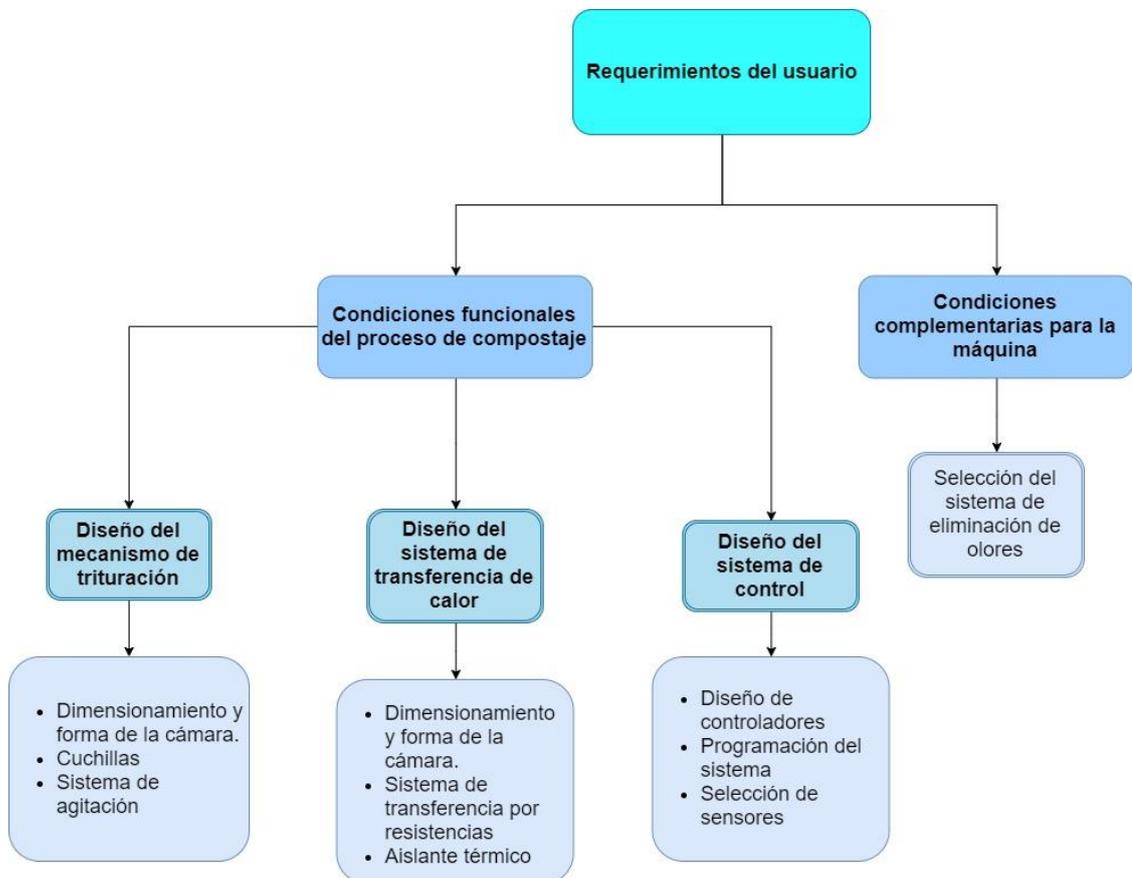


Figura 2.1. Flujograma de diseño

Fuente: Elaboración propia

Usando las herramientas de caja negra y transparente, es posible ilustrar de mejor manera las entradas, salidas y medios para llegar, desde los residuos orgánicos del hogar hacia el compost.

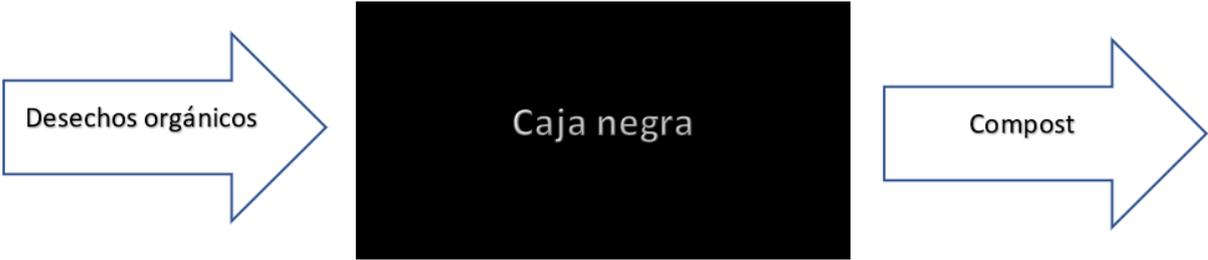


Figura 2.2. Caja negra: estados A y B
Fuente: Elaboración propia

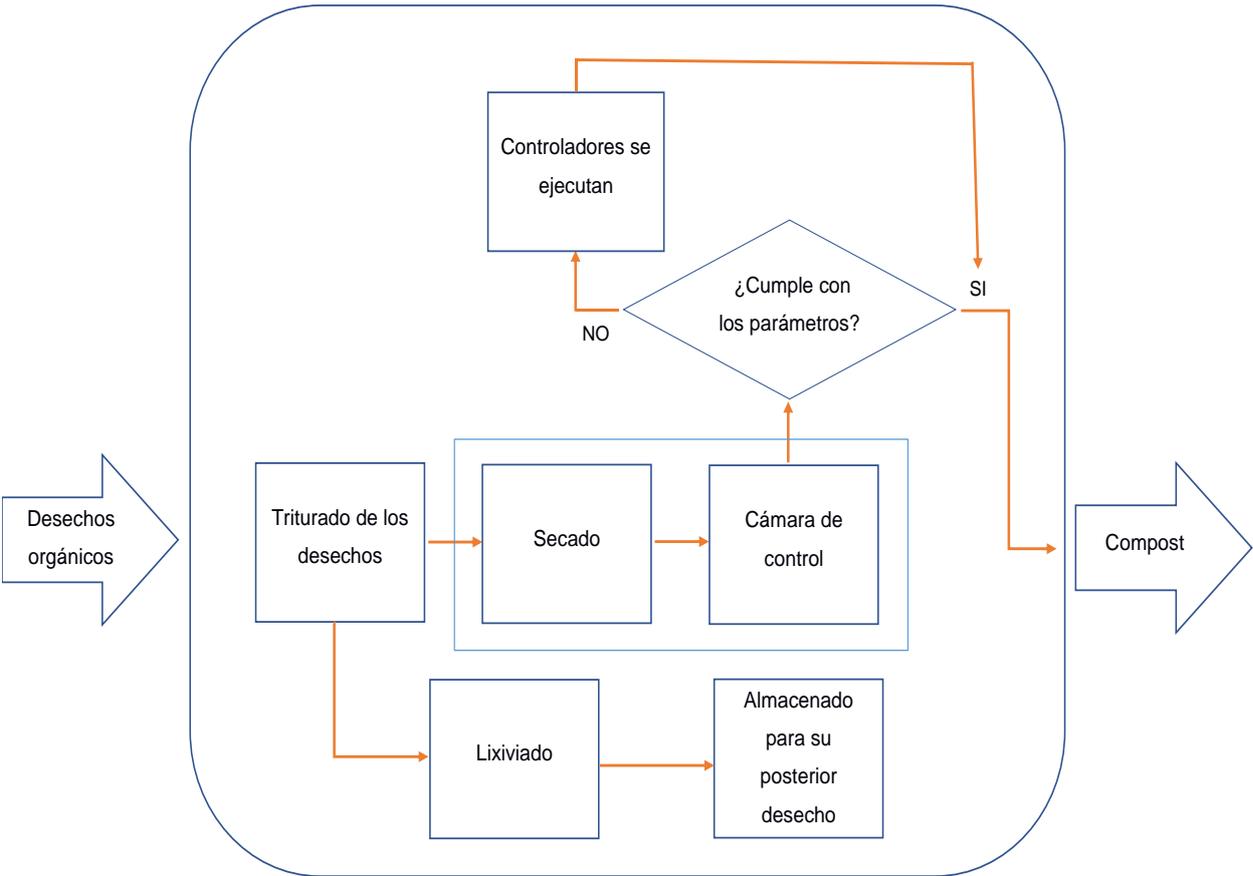


Figura 2.3. Caja transparente
Fuente: Elaboración propia

2.2 Requerimientos y funciones de diseño

2.2.1 Requerimientos de diseño

En la presente lista se detallan los requerimientos fundamentales:

- Liviana
- Compacta
- No debe ser costosa
- Fácil uso
- No debe emitir olores desagradables
- Fácil limpieza
- Materiales de buena calidad

2.2.2 Especificaciones de diseño

Se determinó como función principal el proceso aerobio de la materia orgánica hasta obtener compostaje. Por otro lado, de los requerimientos se deriva las funciones, las cuales fijan parámetros cuantitativos que son bases para el desarrollo del diseño.

A continuación, se especifican las características:

- Funcionamiento
- Peso
- Dimensiones
- Precio
- Ergonomía
- Estética

Para establecer, el peso relativo de cada una de las especificaciones de diseño, se realizó la metodología de comparación por pares, donde cada una de las especificaciones se confrontaron entre sí, determinando su relación e importancia; a continuación, se presenta la escala utilizada y la tabla.

Escala utilizada:

Tabla 2.1. Escala de importancia

Escala	1	5	10	1/5	1/10
Importancia	Igual importancia	Importante	Más importante	No es importante	Para nada importante

Fuente: Elaboración propia

Comparación por pares:

Tabla 2.2. Tabla de comparación por pares entre especificaciones de diseño

Especificaciones	Dimensiones	Costo	Funcionamiento	Ergonomía	Peso	Éstetica	Row Total	Peso relativo
Dimensiones	1	1/10	1/10	1/5	1/5	5	6.60	5.99
Costo	10	1	1	10	5	10	37	33.58
Funcionamiento	10	1	1	5	5	10	32	29.04
Ergonomía	5	1/10	1/5	1	1/5	1/10	6.6	5.99
Peso	5	1/5	1/5	5	1	5	16.4	14.88
Éstetica	1/5	1/10	1/10	10	1/5	1	11.6	10.53
Total							110.20	100.00

Fuente: Elaboración propia

2.3 Análisis y selección de alternativas

Tabla 2.3. Tabla de mecanismos, componentes y medios que utilizan para realizar las funciones

Mecanismos y componentes	Medios			
Material de estructura	Aluminio	Fibra de Carbono	Acero	Vidrio
Mecanismo de trituración	Despulpador	Triturador de rodillos lisos	Triturador de martillo	Triturador de rodillos dentados
Mecanismo de secado	Rotatorio	Por bandejas	Aspersión	Resistencias
Métodos de eliminación de olores	Físico	Químico	Biológico	
Estructura	Fija	Desmontable	Plegable	Móvil
Sistema	Abierto	Cerrado	Semi cerrado	

Fuente: Elaboración propia

Se plantearon varias alternativas como posibles soluciones, las cuales fueron comparadas, mediante una matriz de decisión, seleccionando la mejor opción de acuerdo con los criterios de diseño que se consideran más importantes y fundamentales.

Alternativa A

Como principales componentes de esta alternativa, se tuvo un mecanismo de trituración mediante despulpador y un sistema de secado rotatorio, en la siguiente tabla, se detalla el resto de los componentes:

Tabla 2.4. Tabla de alternativa de solución A

Mecanismos y componentes	Tipo
Material de estructura	Aluminio
Mecanismo de trituración	Despulpador
Mecanismo de secado	Rotatorio
Método de eliminación de olores	Físico
Estructura	Desmontable
Sistema	Cerrado
Accionamiento	Eléctrico
Instrumentación	Digital y analógico

Fuente: Elaboración propia

Alternativa B

Los mecanismos de rodillos, para la trituración y de resistencias para el secado, optimizan la máquina; otros aspectos, de la máquina se detallan a continuación:

Tabla 2.5. Tabla de alternativa de solución B

Mecanismos y componentes	Tipo
Material de estructura	Acero
Mecanismo de trituración	Despulpador
Mecanismo de secado	Resistencias
Método de eliminación de olores	Biológico
Estructura	Fija
Sistema	Semicerrado
Accionamiento	Electromecánico
Instrumentación	Digital

Fuente: Elaboración propia

Alternativa C

La fibra de Carbono se usó como material principal de la estructura, la misma es móvil contando con un triturador de martillo y un mecanismo de secado por bandejas. Para disuadir los olores, se utilizó un método químico, que cuenta con accionamiento mecánico y sensores analógicos.

Tabla 2.6. Tabla de alternativa de solución C

Mecanismos y componentes	Tipo
Material de estructura	Fibra de carbono
Mecanismo de trituración	De martillo
Mecanismo de secado	Secado por bandejas
Método de eliminación de olores	Químico
Estructura	Desmontable
Sistema	Cerrado
Accionamiento	Mecánico
Instrumentación	Digital y analógico

Fuente: Elaboración propia

Matriz de decisión

Para elaborar esta matriz, se utilizaron los valores ponderados obtenidos de la comparación por pares, para cada especificación de diseño; mientras que, para valorar las alternativas de diseño, se utilizó una escala del 1 al 5 siendo 5 la más adecuada y 1 la menos adecuada. Mientras que la puntuación, se obtuvo multiplicando las ponderaciones, previamente obtenidas con la escala de cada una de las alternativas, se sumaron cada una de estas y se obtuvo el valor total para cada alternativa.

Tabla 2.7. Tabla morfológica presenta una comparación entre posibles soluciones dando como resultado la ganadora

Alternativa Especificación es de diseño	Dimensiones (5.99%)	Costo (33.58%)	Funcionamiento (29.04%)	Ergonomía (5.99%)	Peso (14.88%)	Estética (10.53%)	Puntuación ponderada
A	3,00	1,00	5,00	1,00	3,00	1,00	257,91
B	5,00	5,00	3,00	5,00	5,00	5,00	441,97
C	1,00	3,00	1,00	3,00	1,00	1,00	179,15

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo, con la tabla 2.7 siguiendo con los criterios de selección mostrados, la mejor alternativa fue la B. En cuanto, al tema de las dimensiones, se puede apreciar que se utilizó un triturador de rodillos y un secador por resistencias, que permiten tiempos de trituración y secado óptimos, en comparación con las otras alternativas. Se emplearon materiales como: acero para la estructura y filtros biológicos, para la eliminación de olores, el sistema de control consta de microcontroladores con software libre, haciendo que su costo sea asequible.

2.4 Diseño de Forma

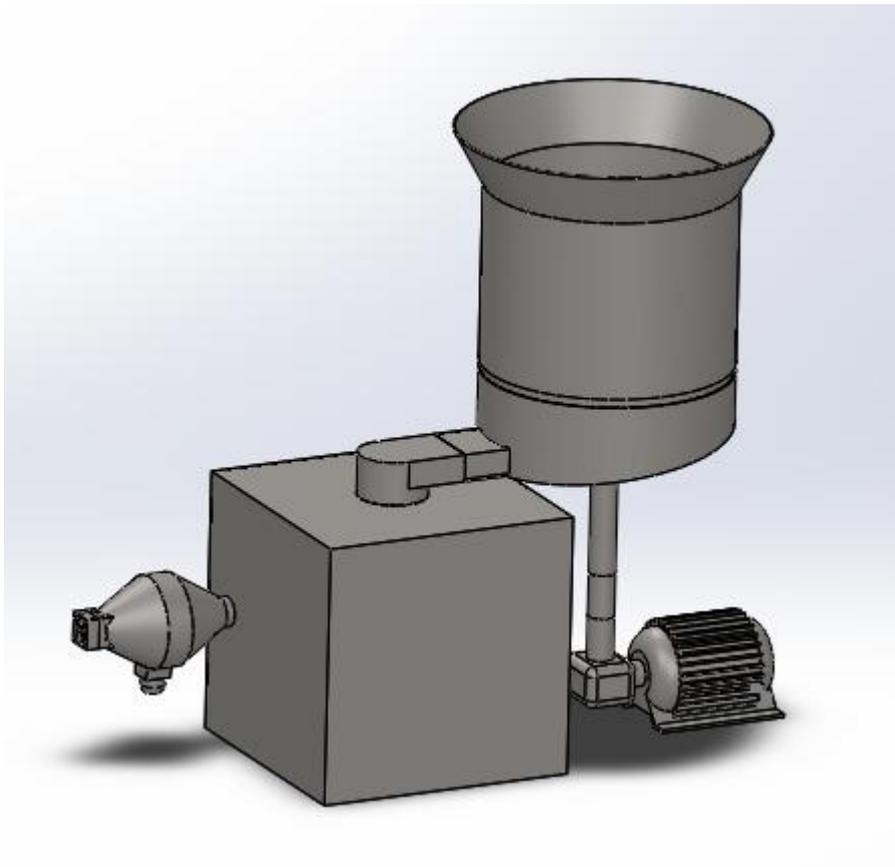


Figura 2.4. Diseño de forma de posible solución

Fuente: Elaboración propia

2.5 Diseño Detallado

Para el diseño de la máquina, se consideró como capacidad de entrada 5 kg de desechos orgánicos, tomando en consideración los datos que proporciona el INEC, establece que una persona genera 0.52 kg de desechos orgánicos por día, dentro del continente y en la región insular de 0.72 kg (INEC, 2014), por este motivo se asumió la generación de residuos para una familia de 4 integrantes, con una media

de producción de $0.62 \frac{Kg}{día}$ por cada uno y contemplando que el recolector de basura circula cada 2 días.

La densidad representativa de residuos de alimentos, sin compactación es de $300 \frac{Kg}{m^3}$, con base a este registro, se obtuvo el volumen del contenedor de entrada de desechos (Tchobanoglous, 1997), para calcularlo se empleó la siguiente relación:

$$V_{in} = \frac{m}{\rho} \quad (2.1)$$

Para el tamaño de partícula, se determinó realizar un compost mediano, se caracteriza, por su tamaño de partícula que comprende el rango de 12 – 25 mm y es utilizado como abono, material de filtros biológicos o para el mejoramiento del suelo, para la longitud se considera un rango óptimo de 10 a 20 mm (Roben E., 2002).

Análisis de fuerzas involucradas en los rodillos

La trituradora, consta de dos partes principales: la matriz de corte y los rodillos giratorios; para determinar la presión, se estimó como extracción indirecta, primero se estableció la relación de reducción mediante (Groover, 2007):

$$r_x = \frac{A_0}{A_f} \quad (2.2)$$

Para el área final, se seleccionó de forma cuadrada y definiendo un tamaño de partícula de 20 mm, se dispuso de una cascara de banano para el área inicial 13600 mm^2 .

Para el cálculo de la deformación real, producto del contacto entre los rodillos y la matriz de corte, y asumiendo una deformación ideal se utilizó:

$$\epsilon = \ln r_x \quad (2.3)$$

La presión que aplica el rodillo, para comprimir los desechos contra la matriz de corte se definió a través de:

$$p = \bar{Y}_f \epsilon \quad (2.4)$$

Para el esfuerzo de fluencia, se seleccionó una manzana, ya que los desechos a triturar presentan dicha textura y la información acerca de esfuerzos de alimentos

es escasa; los ensayos, arrojaron un esfuerzo de fluencia de 500 kPa (R. Lu, 2013), adicionalmente, se debe considerar las restricciones dadas, como evitar colocar huesos o materiales de metal en el triturador.

Para determinar la fuerza aplicada, por el rodillo sobre un dado de la matriz de corte, se empleó la siguiente ecuación (Groover, 2007):

$$F_{ro} = pA_0 \quad (2.5)$$

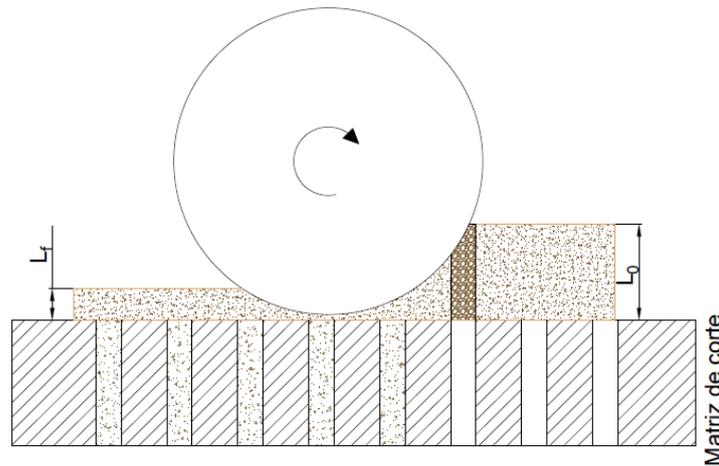


Figura 2.5. Diseño de rodillo de trituración

Fuente: Elaboración propia

Se analizó la fuerza a vencer causada por el cumulo de desechos para poder triturarlos, la cual se cuantificó por medio de (Serway, 2005):

$$F_k = \mu_d N \quad (2.6)$$

Rodillos

Dimensiones

Se calculó el radio del rodillo mediante la siguiente relación (Kalpakjian y Schmid, 2008):

$$R = \frac{L_0 - L_f}{u^2} \quad (2.7)$$

Para determinar el largo del rodillo, se puede establecer como dos veces el radio del mismo, lo que se calculó por medio de:

$$L_{ro} = 2.2R \quad (2.8)$$

Cinemática

Se evaluó la velocidad de giro de los rodillos, para esto se definió un motor con 1200 *rpm*, este se encuentra acoplado a un reductor con relación 1:4, y mediante la siguiente relación se halló la velocidad angular de salida (Norton, 2009):

$$m_v = \frac{\omega_{out}}{\omega_{in}} \quad (2.9)$$

Para determinar la velocidad tangencial de los rodillos, velocidad con la cual se mueven, a través de la matriz se implementó la ecuación siguiente (Norton, 2009):

$$V = \omega_{out} * R_g \quad (2.10)$$

Con el fin de definir la velocidad angular de los rodillos, se utilizó la siguiente ecuación (Norton, 2009):

$$\omega_R = \frac{V}{R} \quad (2.11)$$

Potencia de rodillos

Se efectuó el análisis de la potencia requerida por los rodillos, a continuación, se presenta un diagrama donde se muestran las fuerzas que intervienen:

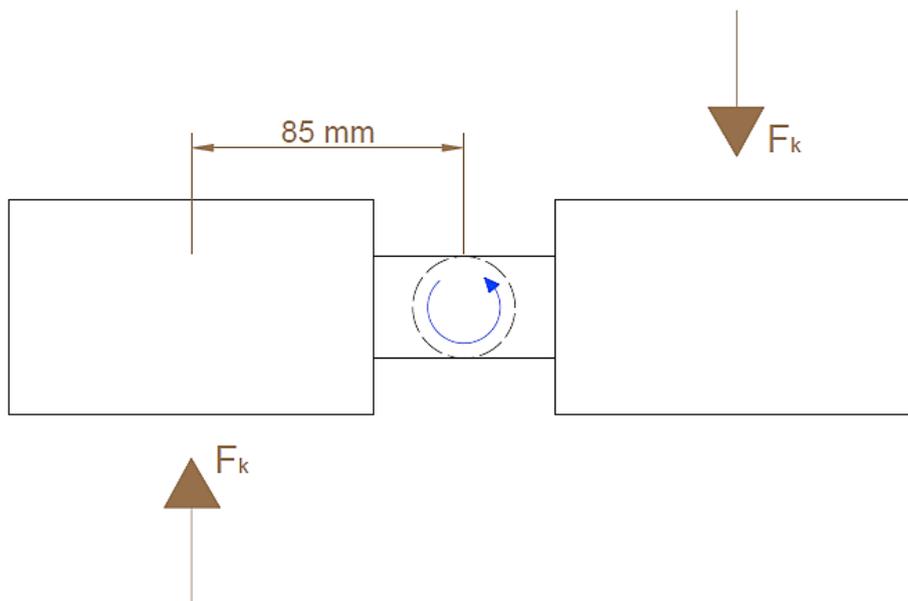


Figura 2.6. Principios físicos que actúan sobre los rodillos

Fuente: Elaboración propia

Además, se asumió el punto de aplicación de la fuerza en la mitad de los rodillos, después del análisis de la expresión se reduce a:

$$M_r = 2F_k(0.085) \quad (2.12)$$

Con el objetivo de establecer la potencia requerida por los rodillos, se usó la relación entre torque y velocidad angular (Norton, 2009):

$$P_R = M_r * \omega_R \quad (2.13)$$

Matriz para corte

Con la finalidad de especificar las características de la matriz de corte, se debe conocer inicialmente la longitud de contacto del rodillo con la matriz aplicando la siguiente relación (Groover, 2007):

$$L_c = \sqrt{R(L_0 - L_f)} \quad (2.14)$$

Adicionalmente, se calculó el ángulo de trabajo del rodillo donde distinguen dos zonas: una de extrusión y la otra de compresión (Groover, 2007):

$$\theta_t = \arctan\left(\frac{L_c}{R}\right) \quad (2.15)$$

El tiempo de recorrido del rodillo, de la longitud de contacto se describe mediante:

$$t_t = \frac{\theta_t}{\omega_R} \quad (2.16)$$

La velocidad de extrusión de los desechos reducidos se determinó, a través de la relación que sigue, en la cual, se consideró que el rodillo parte desde el reposo, es decir su velocidad inicial es cero (Groover, 2007):

$$V_{ex} = V_0 + (A_s * t_t) \quad (2.17)$$

El flujo volumétrico de los desechos extruidos en la matriz de corte se especificó relacionando el tiempo de recorrido del rodillo con el volumen ocupado:

$$\dot{V}_v = \frac{V_{in}}{t} \quad (2.18)$$

Finalmente, se especificó el número de agujeros de la matriz de corte, tal como se muestra:

$$N_a = \frac{\dot{V}_v}{V_{ex} * N_{ro} * A_f} \quad (2.19)$$

Cuchillas de corte

Se seleccionó como material, para las cuchillas de corte acero inoxidable AISI 304; y, se delimitó las dimensiones de la cuchilla en base al radio de giro, longitud del dado, además, del momento y potencia necesaria, empleando las siguientes relaciones:

$$F_C = \tau_C A_C \quad (2.20)$$

$$M_C = 2F_C(0.007) \quad (2.21)$$

$$P_C = M_C * \omega_R \quad (2.22)$$

De modo que la potencia total mínima para el motor está dada por:

$$P_T = P_R + P_C \quad (2.23)$$

Fuerza sobre la matriz

Se realizó el análisis estático, para la flexión de la matriz para corte, considerando la fuerza calculada, previamente del rodillo y valorando 12 apoyos para la matriz se obtuvo la fuerza.

Con respecto a lo anterior, se puede cuantificar los esfuerzos flexionante y cortante a través de (Budynas y Nisbett, 2008):

$$\sigma_m = \frac{M_{max} c_m}{I_m} \quad (2.24)$$

$$\tau_m = \frac{3V_{max}}{2A_m} \quad (2.25)$$

Se efectuó el estudio del círculo de Mohr con las siguientes ecuaciones (Budynas y Nisbett, 2008):

Centro del círculo:

$$\sigma_{prom} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \quad (2.26)$$

Radio del círculo:

$$R = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + (\tau_{xy})^2} \quad (2.27)$$

$$R = \tau_{max} \quad (2.28)$$

Esfuerzos principales:

$$\sigma_{1,2} = \sigma_{prom} \pm R \quad (2.29)$$

Para examinar el criterio por fallas, se optó por la teoría de la energía de la distorsión para materiales dúctiles (Budynas y Nisbett, 2008):

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1\sigma_2 + 3\tau_{max}^2} \quad (2.30)$$

La validación del factor de seguridad se determinó mediante la ecuación de diseño (Budynas y Nisbett, 2008):

$$n = \frac{S_y}{\sigma_{VM}} \quad (2.31)$$

Análisis de los ejes principal y secundarios

Se estableció como eje principal, el elemento que transmite el movimiento rotacional desde el reductor y como ejes secundarios los elementos que conectan el acople con los rodillos, para cada uno de estos se realizó los diagramas de fuerza cortante y momento flector con las fuerzas que intervienen. Como los ejes secundarios están sometidos a las mismas fuerzas se desarrolló el estudio de uno de ellos; para esto se utilizó las ecuaciones de Marin y Goodman. En la primera se indica como afectan diversos factores (manufactura, entorno, material, diseño) al límite de resistencia a la fatiga y la segunda empleó el criterio de Goodman, considerando los esfuerzos combinados en el eje (Budynas y Nisbett, 2008):

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e \quad (2.32)$$

$$d = \left(\frac{16n}{\pi} \left\{ \frac{1}{S_e} \left[4(k_f M_a)^2 + 3(k_{fs} T_a)^2 \right]^{1/2} + \frac{1}{S_{ut}} \left[4(k_f M_m)^2 + 3(k_{fs} T_m)^2 \right]^{1/2} \right\} \right)^{1/3} \quad (2.33)$$

Se ejecutó el estudio de la chaveta en el punto crítico mediante las siguientes ecuaciones (Budynas y Nisbett, 2008):

$$L = \frac{NF_t}{S_{sy}W} \quad (2.34)$$

Adicionalmente se analizó el aplastamiento producido en la chaveta a través de la expresión (Budynas y Nisbett, 2008):

$$N = \frac{S_y}{\left(\frac{F_t}{0.5hL} \right)} \quad (2.35)$$

Para la selección de rodamientos, se estableció una vida nominal de 12000 horas debido a la recomendación del fabricante NTN, para este análisis se aplica la siguiente relación:

$$C_r = \left(\frac{n*60}{10^6} L_{10h} \right)^{1/3} P_n \quad (2.36)$$

Secador

Masa de residuos

Se asume que la temperatura ambiente es de 28°C con una humedad relativa del 80%, tomando en cuenta un promedio de datos históricos en la ciudad de Guayaquil (EXA-ISS-1, 2020). La temperatura óptima para secado de residuos para obtener compostaje es de: 50°C, con una humedad relativa de 50%. (Tchobanoglous, Theisen, & Vigil, 1998) Asumiendo, un periodo de secado de 4 horas y teniendo en cuenta la capacidad para secar previamente establecida, se obtiene la tasa de ingreso al secador del material de la siguiente manera:

$$\dot{m}_{pre} = \frac{m}{t} \left(\frac{kg}{h} \right) \quad (2.37)$$

Una vez establecido la tasa de producto húmedo, se debe diferenciar el flujo de masa seca de producto y el flujo de agua. (Mora, 2015)

Para flujo másico seco del producto:

$$\dot{m}_{sol_e} = (1 - \phi_e)\dot{m}_{pr_e} \left(\frac{kg}{h}\right) \quad (2.38)$$

Para flujo másico de agua presente en el producto:

$$\dot{m}_{ag_e} = (\phi_e)(\dot{m}_{pr_e}) \left(\frac{kg \text{ de agua}}{h}\right) \quad (2.39)$$

El flujo total de producto húmedo a la salida de la cámara de secado viene dado por la siguiente expresión:

$$\dot{m}_{pr_s} = \dot{m}_{ag_s} + \dot{m}_{sol_s} \left(\frac{kg}{h}\right) \quad (2.40)$$

A la salida del secador, la humedad relativa debe disminuir a 50%, esto no quiere decir que el flujo de masa seca cambie su proporción.

$$\dot{m}_{sol_e} = \dot{m}_{sol_s} \quad (2.41)$$

Mientras que el flujo de masa de agua a la salida de la cámara de secado se obtiene a partir de la siguiente manera:

$$\dot{m}_{ag_s} = \frac{\phi_s \dot{m}_{sol_s}}{1 - \phi_s} \left(\frac{kg \text{ de agua}}{h}\right) \quad (2.42)$$

La tasa de vaporización del material húmedo se obtiene a través de la diferencia entre el flujo de masa en la entrada del secador, contra el flujo de masa en la salida del secador. (Mora, 2015)

$$\Delta \dot{m}_{ag} = \dot{m}_{ag_s} - \dot{m}_{ag_e} \quad (2.43)$$

Aire: Masa, humedad y entalpía

La humedad absoluta del aire al pasar por el calentador no cambia, puesto que, no se agrega ni se quita masa de agua en el aire, por lo tanto, se asume que (Cengel & Boles, 2011):

$$w_{aire_1} = w_{aire_2} \quad (2.44)$$

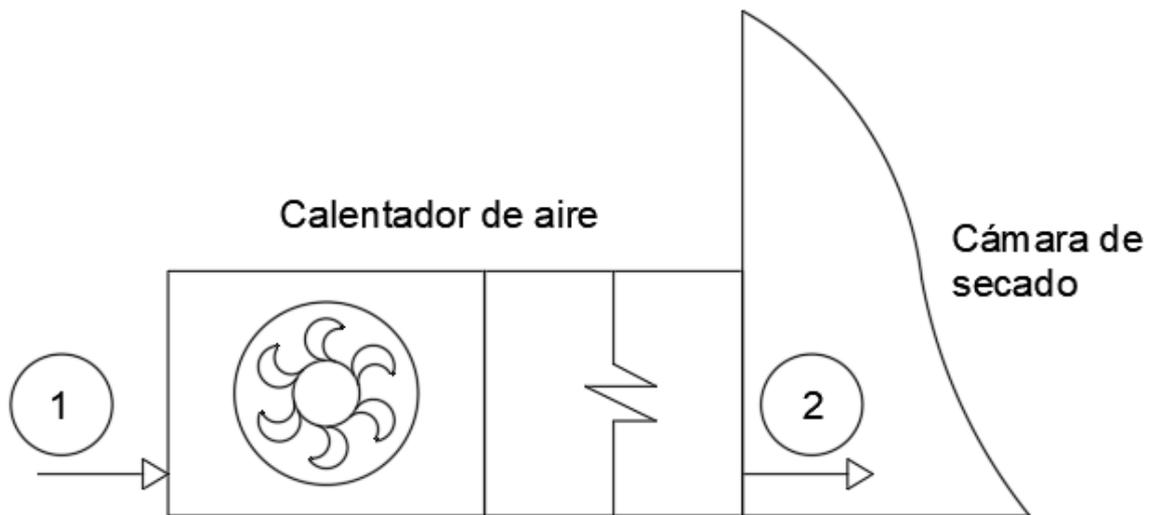


Figura 2.7. Diseño de calentador previo a cámara de secado

Fuente: Elaboración propia

Conociendo valores de humedad relativa, presión de vapor y temperatura tanto al ingreso, como a la salida del calentador se determina una expresión para conocer la energía que necesita la resistencia para calentar el aire que ingresa a la cámara de secado (Cengel & Boles, 2011).

$$\dot{W}_{flecha_{1-2}} + \dot{W}_{eléctrico_{1-2}} = \dot{m}_{aire_1}(h_2 - h_1) \text{ (kW)} \quad (2.45)$$

El flujo de masa a la entrada del calentador debe ser el mismo con el que entra a la cámara de secado.

$$\dot{m}_{aire_1} = \dot{m}_{aire_2} \quad (2.46)$$

La entalpía total del sistema es una propiedad extensiva del aire, esta se obtiene a partir de la suma de la entalpia del aire seco y se logra a partir de la siguiente expresión. (Cengel & Boles, 2011)

$$h = h_{aire\ seco} + wh_g \text{ (kJ/kg de aire seco)} \quad (2.47)$$

$$h_{aire\ seco} = c_p T \quad (2.48)$$

Con el fin de facilitar los cálculos y reducir variables de entrada, se asumió el aire atmosférico como gas ideal, de esta manera, se puede determinar la entalpía de vapor de agua siempre que el rango de temperaturas varíe desde -10°C hasta 50°C, se determina por las siguientes expresiones con un porcentaje de error de

hasta un 0.2% con las tabuladas en tablas termodinámicas (Cengel & Boles, 2011):

$$h_g(T) = 2500.9 + 1.82T(^{\circ}C) \left(\frac{kJ}{kg} \right) \quad (2.49)$$

Mientras que:

$$P = P_a + P_v \quad (2.50)$$

La relación de humedad es la cantidad de vapor de agua en el aire y se expresa como (Cengel & Boles, 2011):

$$\omega = \frac{m_v}{m_a} \left(kg \text{ vapor de } \frac{agua}{kg} \text{ aire seco} \right) \quad (2.51)$$

Asumiendo comportamiento de gas ideal (Cengel & Boles, 2011):

$$\omega = \frac{m_v}{m_a} = \frac{P_v V / R_v T}{P_a V / R_a T} = \frac{P_v / R_v}{P_a / R_a} = 0.622 \frac{P_v}{P_a} = 0.622 \frac{P_v}{P - P_v} \quad (2.52)$$

La humedad relativa se define como la cantidad de humedad contenida en el aire sobre la máxima cantidad de humedad que este puede contener, la humedad relativa varía desde un valor de 0 hasta 1, donde 0 es aire seco y 1 es aire saturado (Cengel & Boles, 2011):

$$\phi = \frac{m_v}{m_g} = \frac{P_v V / R_v T}{P_g V / R_v T} = \frac{P_v}{P_g} \quad (2.53)$$

O en términos de presión total, presión saturada del aire y humedad absoluta,

$$\phi = \frac{\omega P}{(0.622 + \omega) P_g} \quad (2.54)$$

Para encontrar el flujo volumétrico que debe ingresar al calentador de aire, se hace referencia a las ecuaciones de gas ideal, donde se obtiene el volumen específico; la constante de gas ideal para aire R_a es 0.287 kPa*m³/kg*K. (Cengel & Boles, 2011)

$$v = \frac{R_a T}{P_a} \quad (m^3/kg) \quad (2.55)$$

$$\dot{V} = \dot{m}_a v \quad (m^3/s) \quad (2.56)$$

Cámara de secado

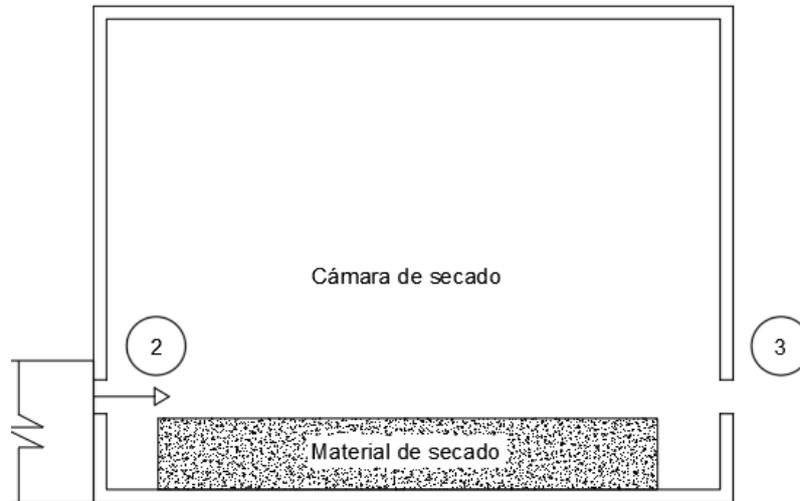


Figura 2.8. Diseño de cámara de secado

Fuente: Elaboración propia

Se asume que, el proceso que ocurre dentro del sistema de estudio es adiabático, por lo tanto, el calor que entrega el aire es igual al que reciben los residuos en la cámara de secado.

$$\dot{Q}_{gana} = -\dot{Q}_{pierde} \quad (2.57)$$

El calor que gana los residuos, con el fin de reducir la humedad del producto se obtiene a partir de un balance de energía en el que actúan los residuos a secar y el aire previamente calentado (Cengel & Boles, 2011):

$$-\dot{m}_{aire_2}(h_3 - h_2) = \Delta\dot{m}_{ag}h_{fg} + \dot{m}_{residuos}c_{p_{residuos}}(T_s - T_e) \quad (2.58)$$

Pérdidas de calor hacia los alrededores

Según mediciones en hogares, se observó que la velocidad del viento en interiores oscila entre 0.1 y 0.2 (m/s), por este motivo, se asumió un valor promedio de (0.15m/s). (Simancas Yovane, 2003). El diámetro de ingreso a la cámara se seleccionó dependiendo de las dimensiones del calentador de aire, mismo que fue de 30 (mm). Las dimensiones de la cámara se establecieron en 30x30x30(cm³) con un espesor de plancha de 2 (mm), de acero A36.

La velocidad del aire que ingresa a la cámara de secado a partir del flujo volumétrico se determinó mediante la siguiente expresión:

$$v = \frac{\dot{V}}{A_{ent}} \left(\frac{m}{s} \right) \quad (2.59)$$

Para el cálculo de coeficientes de convección, se debe tener en cuenta ciertos factores adimensionales, tales como los números de Reynolds, Nusselt y Prandtl

$$Re = \frac{vL\rho}{\mu} \quad (2.60)$$

Flujo Paralelo

$$Nu = 0.648Re^{0.5}Pr^{\frac{1}{3}} \quad (Re < 10^5) \quad (2.61)$$

$$Nu = 0.0366Re^{0.8}Pr^{\frac{1}{3}} \quad (Re > 10^5) \quad (2.62)$$

Flujo Perpendicular

$$Nu = cRe^nPr^{\frac{1}{3}} \quad (2.63)$$

Tabla 2.8. Coeficientes “n” y “c” a partir del número de Reynolds

Reynolds	N	c
1- 4	0.330	0.989
4- 40	0.385	0.911
40- 4000	0.466	0.683
4000- 40000	0.618	0.193
40000- 250000	0.805	0.0266

Fuente: (Cengel & Boles, 2011)

Coeficiente de convección

$$h_{conv} = \frac{Nu k_{aire}}{L_{rec}} \quad (2.64)$$

Con la siguiente expresión, se obtiene los valores de transferencia de calor por conducción y convección en placa plana:

Conducción

$$\dot{Q} = -\frac{kA}{L_{rec}}(T_2 - T_1) \quad (2.65)$$

$$R = \frac{L_{rec}}{kA} \quad (2.66)$$

Convección

$$\dot{Q} = hA(T_2 - T_1) \quad (2.67)$$

$$R = \frac{1}{hA} \quad (2.68)$$

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Triturador

La capacidad de trituración es de 5 kg en aproximadamente 30 segundos, con lo cual, se llegó a tener como resultado una velocidad angular de entrada de 300 RPM y se dimensionó el diámetro de los rodillos, mismos que son los responsables de reducir el tamaño de los desechos.

Mediante un análisis de reducción de tamaño se obtuvieron las dimensiones principales de los rodillos y el eje motriz.

A continuación, se muestran las restricciones presentes en el triturador:

- No colocar huesos
- No colocar lácteos y carne
- No colocar metales

El radio y la longitud de los rodillos obtenidos fue de 50 mm y 110 mm respectivamente. Por otra parte, se planteó reducir los desechos desde 13600 mm² a 400 mm², para poder realizarlo se superó una fuerza de 42.24 N; dicha fuerza fue obtenida considerando un esfuerzo de fluencia de un ensayo realizado a una manzana (existen escasos valores de esfuerzos de fluencia de alimentos).

Por medio de cálculos de velocidad de extrusión y asumiendo que la masa triturada debe pasar a través de la matriz de corte en un tiempo de 30 segundos, se tuvo como resultado que deben existir mínimo 10 dados de corte, sin embargo, se optó por aumentar esta cantidad, debido que, los dados se deben distribuir uniformemente en la matriz. Asimismo, mediante un análisis estático se calculó el espesor de la matriz, cuyo valor fue de 10 mm; por otra parte, para precautelar que el producto triturado no se mezcle con ningún tipo de agente externo, se definió acero inoxidable AISI 304, como material para la matriz de corte y las cuchillas.

Para el dimensionamiento de las cuchillas se definió el radio de corte de 140 mm porque permite que este se realice uniformemente, así como también se ubicaron a 5 mm de separación de la matriz de corte; cabe

mencionar, que la potencia que se genera al cortar el producto fue de 0.007 Hp, valor que se tomó en cuenta para posteriormente elegir el motor.

Se diseñaron dos ejes motrices, ambos son del mismo material acero AISI 1045 rolado en caliente; el primero transmite la velocidad del reductor hasta el acople de los rodillos, su longitud es de 300 mm, el menor diámetro logrado es de 20 mm, y el mayor diámetro de 30 mm, posee dos chavetas, una en cada extremo de 6x6 mm² y 11 mm de longitud. Para el eje secundario, se tiene una longitud de 140 mm, los valores hallados para los diámetros menor y mayor fueron 15 y 20 mm respectivamente.

Los rodamientos de bolas se seleccionaron a partir de cálculos que sugiere el fabricante NTN en su catálogo y se presentan a continuación:

Tabla 3.1. Selección de rodamientos

Eje	Marca	Modelo
Eje principal	NTN	6004
Eje secundario	NTN	6002

Fuente: Elaboración propia

Mediante los resultados sobre la potencia requerida por los rodillos y las cuchillas, se estableció la selección de un motor, además, supe pérdidas que se puedan presentar.

A continuación, se detalla los parámetros del motor seleccionado:

Tabla 3.2. Selección de motor

Motor jaula de ardilla				
Potencia [HP]	Velocidad [RPM]	Tensión a 60 Hz [Volts]	Marca	Capacitor de arranque
1	1200	220/440	NEMA	ODP

Fuente: Elaboración propia

3.2 Secador

Mediante los resultados obtenidos a partir de los cálculos termodinámicos, simulaciones y parámetros predefinidos, se pudo determinar la potencia necesaria que debe suministrar la resistencia calefactora; misma que fue de 862 Watts, por lo cual se seleccionó una resistencia de copa plana de media pulgada marca Brototermic, código C010, con una potencia de 1500 [watts] y con un diámetro exterior de 73 mm. El flujo volumétrico a la entrada

del sistema 4.41 CFM, entonces, se seleccionó un ventilador NMB 03515SS, con una potencia de 0.84 watts y un flujo de aire de 5.65 CFM. La pérdida por transferencia de calor, hacia los alrededores de la cámara de secado es de 32.18 watts, lo que equivale a un 3.73% de la potencia que se requiere para secar los residuos orgánicos; por lo tanto, no es necesario el uso de aislantes térmicos en las paredes del secador. Los resultados principales obtenidos a través de cálculos de transferencia de calor, balances de energía y transferencia de masa se presentan a continuación:

Tabla 3.3. Resultados principales: Cálculos termodinámicos

Resultados obtenidos	
Flujo de masa entrada de calentador	0.0023 ($\frac{kg}{s}$)
Flujo volumétrico	0.0020 ($\frac{m^3}{s}$)
Flujo de masa entrada secador	0.0023 ($\frac{kg}{s}$)
Velocidad de entrada secador	2.9401 ($\frac{m}{s}$)
Coefficiente de convección: flujo paralelo en interior de la cámara	16.9149 ($\frac{W}{m^2K}$)
Coefficiente de convección: flujo perpendicular en interior de la cámara	19.9427 ($\frac{W}{m^2K}$)
Coefficiente de convección: flujo paralelo en exterior de la cámara	3.3951 ($\frac{W}{m^2K}$)
Coefficiente de convección: flujo perpendicular en exterior de la cámara	2.7232 ($\frac{W}{m^2K}$)
Trabajo Eléctrico	861.2891 (watts)
Calor perdido hacia los alrededores	32.1809 (watts)

Fuente: Elaboración propia

Se realizó el control de temperatura, mediante el uso de un controlador de bajo costo, para ambientes caseros, el mismo que realiza la recolección de

datos a través de un sensor PT100, cuya sensibilidad permite aproximaciones precisas en el rango de temperatura que va desde -100°C hasta 200°C. La señal que envía el controlador una vez que se encuentra por encima o por debajo de la temperatura predefinida en 53°C, con una histéresis de 2°C, la recepta un relé de estado sólido que enciende o apaga la resistencia calefactora.

Tabla 3.4. Parametrización de controlador de temperatura

N	Parámetro	Descripción	Valor
1	SV	Valor de parametrización	55 C
2	SL1	Tipo de entrada	1100
3	SL2	Unidad de temperatura	0000
4	SL3	No configurable	
5	SL4	Tipo de selección alarma 1	0000
6	SL5	Tipo de selección alarma 2	0000
7	SL6	No configurable	
8	SL7	No configurable	
9	SL8	No configurable	
10	PB	PV bias	2
11	OH	ON/OFF acción diferencial	0
12	AH1	Diferencial de alarma 1	0
13	AH2	Diferencial de alarma 2	0
14	SLH	Límite de valor superior	0
15	SLL	Límite de valor inferior	100

Fuente: Elaboración propia

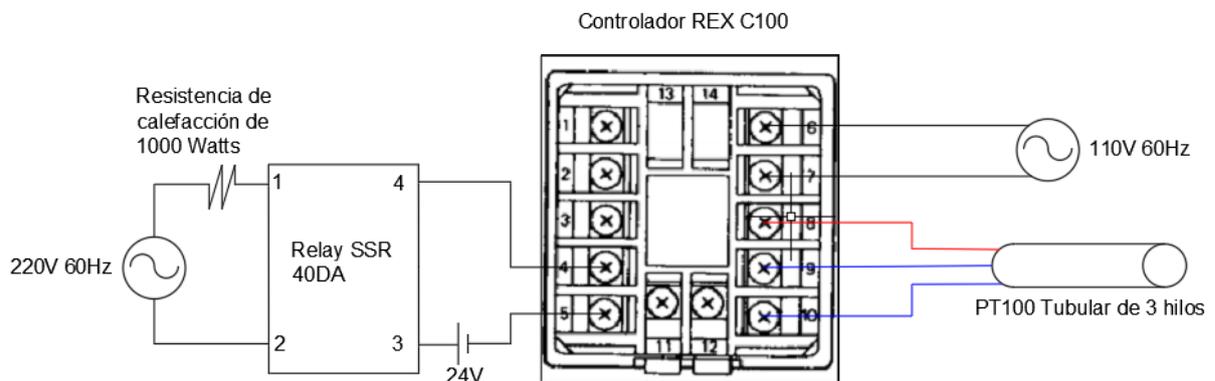


Figura 3.1. Diagrama esquemático del sistema de control de temperatura en cámara de secado

Fuente: Elaboración propia

3.3 Simulación en la cámara de secado

Con la ayuda del programa ANSYS se desarrolló la simulación de líneas de temperatura y flujo de masa de aire a través de la cámara de secado, con el fin de comparar y determinar la mejor disposición de los ductos de entrada y la salida de aire, para este caso se tomaron dos escenarios; el primero de ellos fue una disposición asimétrica entre los ductos como se puede visualizar en las figuras 3.1 y 3.2, las líneas de temperatura y el flujo de aire siguen un curso uniforme para el secado; mientras que, en el escenario donde los ductos de entrada y salida son simétricos, el flujo de aire y las líneas de temperatura no son uniformes, por ende el secado que se obtiene tiende a estratificar ciertas zonas del producto y mantener una cantidad excesiva de humedad en el resto.

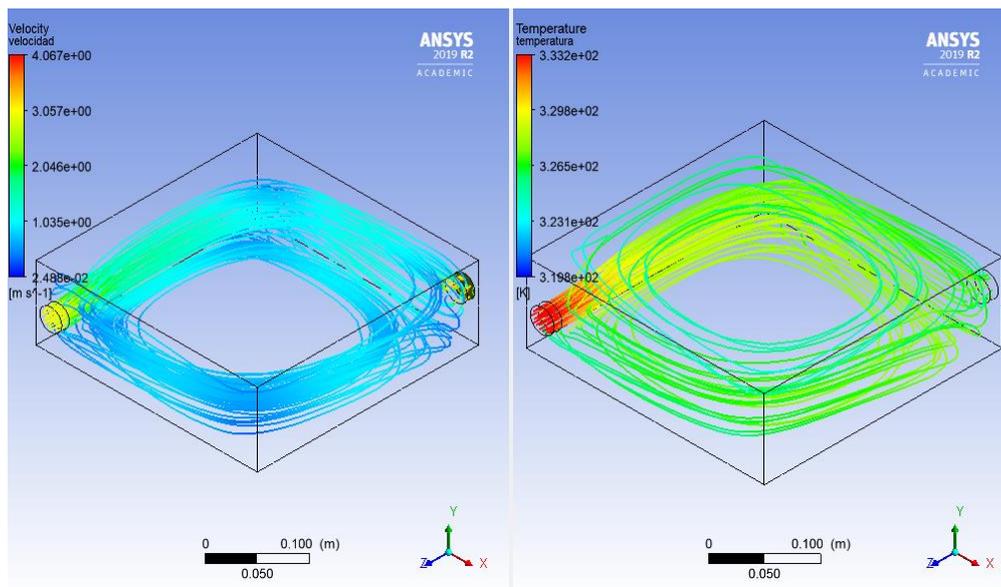


Figura 3.2. Posición asimétrica de ductos de entrada y salida de aire: líneas de temperatura y flujo de aire

Fuente: Elaboración propia

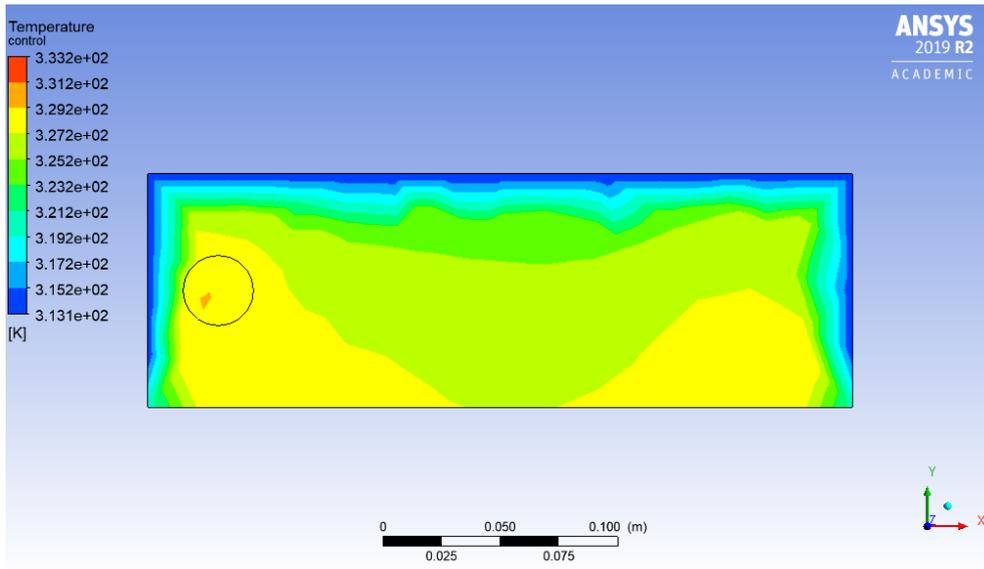


Figura 3.3. Posición asimétrica de ductos de entrada y salida de aire: plano XY de simulación de líneas de temperatura
Fuente: Elaboración propia

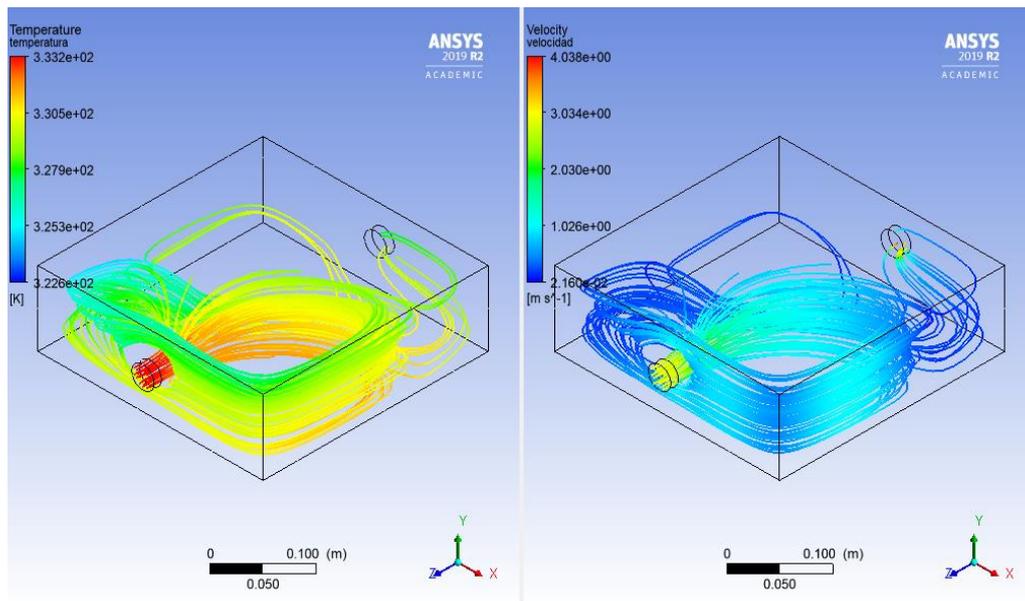


Figura 3.4. Posición simétrica de ductos de entrada y salida de aire: líneas de temperatura y flujo de aire
Fuente: Elaboración propia

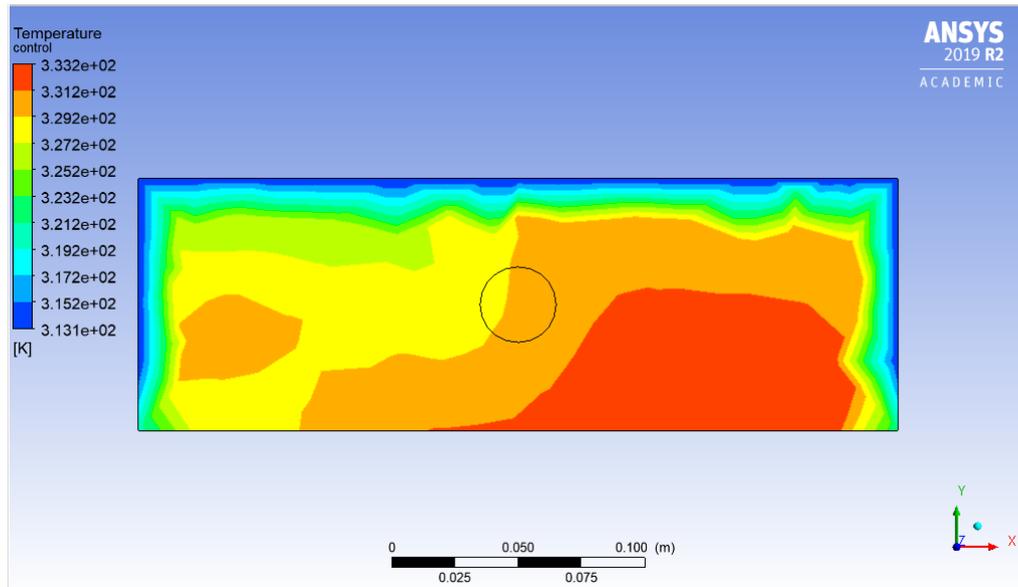


Figura 3.5. Posición simétrica de ductos de entrada y salida de aire: plano XY de simulación de líneas de temperatura
 Fuente: Elaboración propia

3.4 Esquema eléctrico del sistema

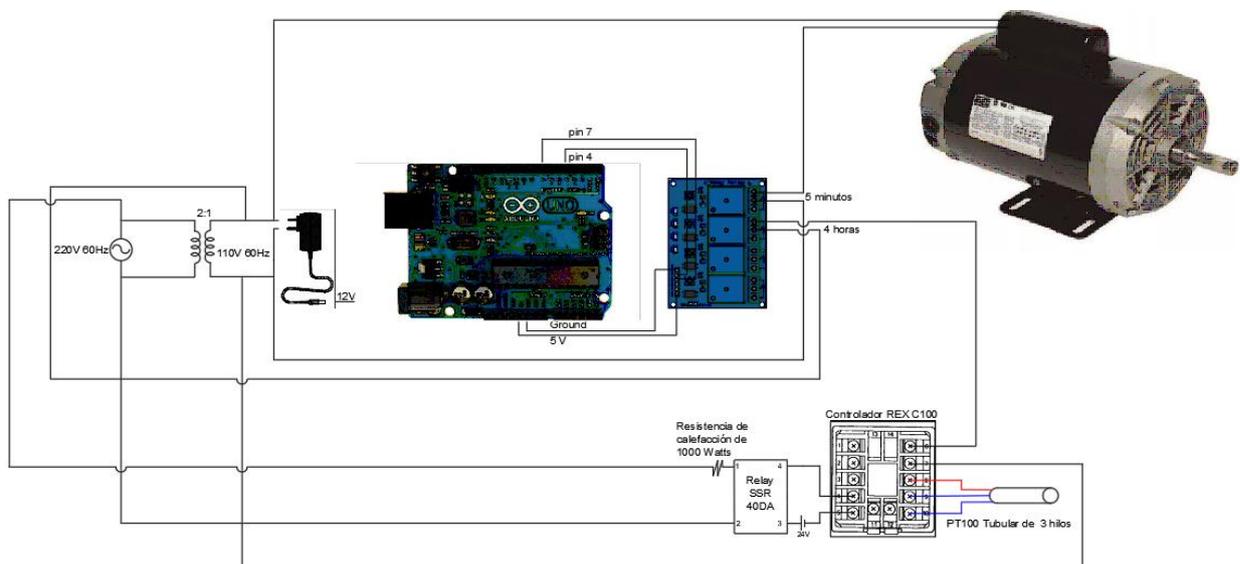


Figura 3.6. Diagrama esquemático del sistema eléctrico del equipo
 Fuente: Elaboración propia

La alimentación de energía eléctrica debe realizarse a 220V 60Hz, debido que la resistencia calefactora trabaja con ese voltaje. Para converger el cableado del sistema de triturado y el secador en una sola línea se tuvo que incorporar el uso de un transformador de 2:1, puesto que el motor y el controlador funcionan con un voltaje de 110V; para la sincronización de encendido entre la trituradora y la cámara

de secado, se utilizó un microcontrolador Arduino Uno con un módulo de relés programados para encender durante los 5 primeros minutos la trituradora, luego encender durante 4 horas el controlador de temperatura, el mismo que, también cuenta con un relé de estado sólido, con el fin de encender y apagar la resistencia calefactora cuando varíe de forma abrupta la temperatura.

3.5 Análisis de costos

3.5.1 Costo de producción

Se producen 3 kg de compost por cada 5 kg de desechos orgánicos que se obtienen del hogar, por lo tanto, se puede realizar una buena aproximación del costo de producción de materia prima mediante el consumo de energía eléctrica, puesto que, el equipo no necesita otro tipo de recurso.

Se obtuvo 1.15 kWh por cada kg de compost, a su vez, la empresa encargada del consumo eléctrico estableció la tarifa de 10 centavos por cada kilovatio hora consumido, es decir que, el costo de producción es de \$3.45 por cada saco de 30 kg de compost, mientras que, en el mercado, el costo por saco es de \$7.50 obteniendo una ganancia de \$4.05.

3.5.2 Costo total del equipo

Se realizó, el análisis de costos de la maquinaria. Se presenta a continuación todos los costos considerados:

Tabla 3.5. Costo total del equipo

Descripción	Magnitud	Cantidad	Costo unitario [\$]	Costo total [\$]
Triturador				
Motor 1 Hp/1200 RPM	Unidad	1	130	130
Eje de acero AISI 1045 30 mm de Φ	Metro	0.5	28	14
Eje de acero AISI 1045 20 mm de Φ	Metro	0.5	25	12.5

Rodamiento 6002	Unidad	4	7.50	30
Rodamiento 6004	Unidad	2	7	14
Chaveta 6x6 AISI 1010	Metro	0.05	6	0.3
Electrodo E6011	Libra	3	1.75	5.25
Grilón circular	Unidad	1	22	22
Pernos grado 5	Unidad	18	1	18
Tubo 38 [mm]	Metro	5	5	25
Torneada de eje	Unidad	4	8	32
Chaveteado de eje de 20 a 30	Unidad	2	5	10
Disco de corte	Unidad	1	4.75	4.75
Disco de desbaste	Unidad	1	3.50	3.50
Plancha de acero inoxidable	Milímetros cuadrados	500x5000	80	70
Pintura	Galón	1	16	16
Secador				
Ventilador	Unidad	1	10.66	10.66
Resistencia eléctrica	Unidad	1	38.79	38.79
Sistema de control				
Controlador REX C100	Unidad	1	54.99	54.99
Sensor PT100	Unidad	1	19.99	19.99
Mano de obra				
Operarios	Hora	25	7	175
Costo total				\$706.73

Fuente: Elaboración propia

3.6 Imagen digital con apariencia realista del equipo



Figura 3.7. Imagen realista del equipo
Fuente: Elaboración propia

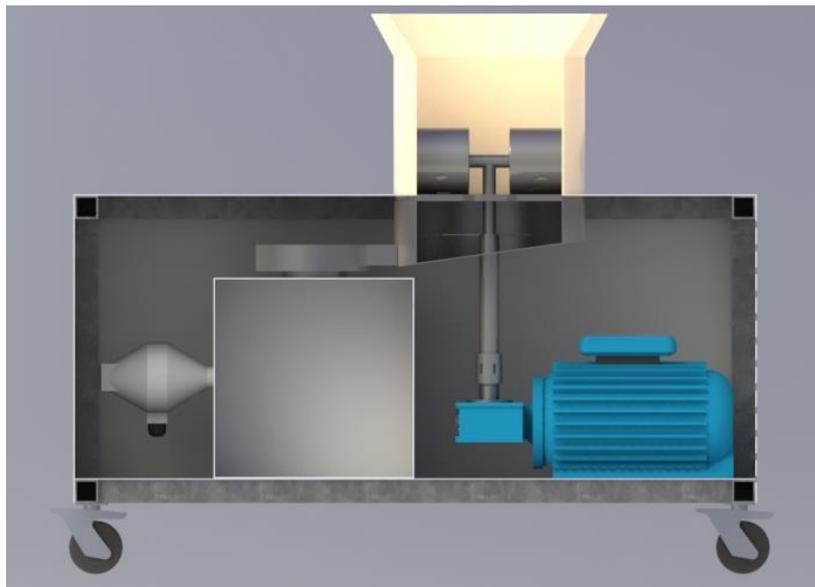


Figura 3.8. Imagen realista del equipo: vista de corte
Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Para el diseño del equipo se estableció como mecanismos principales: un triturador y un secador. Se realizaron los cálculos de diseño y la selección de los elementos mecánicos más importantes, destacando el motor de 1 Hp, y la resistencia calefactora del secador de 864 watts.
- Se realizó un análisis de costos de los elementos del equipo acorde con el mercado local, teniendo un precio de aproximadamente \$707. Además, se halló la trazabilidad de la inversión, considerando que el beneficio obtenido es de \$4.05, la persona que adquiera el electrodoméstico recuperará su inversión en 2 años utilizando la máquina 12 horas al día, concluido este tiempo todo lo que ingresa será netamente beneficio para la misma.
- El uso de la máquina contribuye a disminuir el impacto ambiental generado por los desechos orgánicos, debido que, del total de basura que se desechó, el 57% corresponde a material orgánico; es decir que, si toda la población guayaquileña utilizara este electrodoméstico, se reduciría alrededor de 2394 toneladas de residuos al día.
- Mediante un análisis de elementos finitos, se obtuvo la posición óptima en la que los ductos de entrada y de salida de aire deben ser colocados, con el fin de distribuir de mejor manera la temperatura y el flujo de masa en el secador.
- El modelado en 3D y la realización de planos, son la base para la manufactura y una primera aproximación visual del equipo.
- La realización de este equipo favorece a la sociedad, puesto que, se fomenta la innovación, generando plazas de trabajo para la fabricación del electrodoméstico y la comercialización del compost producido.

- Se estableció que el sistema de control debe ser de bajo costo, teniendo en cuenta que la máquina es para el hogar, se optó por mecanismos sin protecciones de tipo industrial o a su vez a condiciones climáticas adversas. Por esto se eligió un microcontrolador Arduino Uno para gobernar el tiempo de encendido de cada sistema presente en el equipo, así como también, un controlador de temperatura Rex C100, cuya histéresis es de 2°C; por lo tanto, proporciona mediciones confiables.

4.2 Recomendaciones

- Se recomienda utilizar otros materiales con algún tipo de recubrimiento anticorrosivo que sustituyan al acero inoxidable en el mecanismo de trituración para abaratar costos.
- Se sugiere aumentar la capacidad de trituración y secado, si lo que se quiere es comercializar el compost resultante, realizando esto se podrá obtener un mayor margen de ganancia.
- Se aconseja cumplir con las restricciones del triturador, caso contrario, el compost obtenido no servirá como nutriente para ningún suelo y en el peor de los casos podría dañarse el triturador.
- Se propone realizar compostaje, con base en productos de origen vegetal, puesto que productos cárnicos y lácteos, reducen en gran cantidad la relación de carbono- nitrógeno en el producto.
- Si se desea industrializar el equipo, se debe realizar un sistema de control más estricto, controlar parámetros como humedad, pH y relación carbono nitrógeno.
- Se aconseja realizar la limpieza del equipo cada semana, para evitar la acumulación de material y suciedad, lo cual afectaría al compost resultante.
- Se sugiere realizar el mantenimiento del equipo cada tres meses para evitar cualquier desperfecto por falta de cuidado de los elementos mecánicos y térmicos.

BIBLIOGRAFÍA

- AME- INEC. (2014). *Estadística de información ambiental económica en GADs*. Recuperado el 20 de octubre de 2019, de https://www.ecuadorencifras.gob.ec//documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Municipios_ConsProvinciales_2014/Municipios-2014/presentacion_ambientales-2014.pdf
- Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2011). Termodinámica. En Y. A. Cengel, & M. A. Boles, *Termodinámica* (págs. 737- 760). Mexico D. F.: McGRAW HILL.
- Ecolec. (2019). *Ecolec Fundación*. Obtenido de <https://www.ecolec.es/informacion-y-recursos/tratamiento-de-residuos/#2>
- EXA-ISS-1. (Enero de 2020). *Agencia espacial civil ecuatoriana*. Obtenido de <http://guayaquil.exa.ec/>
- INEC. (2014). *Ecuador en cifras*. Obtenido de https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Hogares_2014/Documento_tecnico_Modulo_Ambiental_Hogares_2014.pdf
- Jan Van Wambeke, A. P. (2013). *Manual de compostaje del agricultor*. Santiago.
- McCabe, W., Smith, J., & Harriot, P. (1991). *Operaciones unitarias en ingeniería química* (Cuarta ed., Vol. 1). (I. d. España, Ed.) Madrid, España: McGraw Hill. Recuperado el 20 de Octubre de 2019
- Mora, A. (2015). *Diseño de un secador rotatorio para granos de cacao*. Tesis de pregrado, ESPOL, FIMCP, Guayaquil. Recuperado el 20 de octubre de 2019
- RAE. (2019). Obtenido de <https://dle.rae.es/srv/search?m=30&w=residuo>
- Ramírez, R. L. (2013). Diseño, construcción y prueba de un prototipo. *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia*, 185-196.
- Simancas Yovane, K. (2003). *Reacondicionamiento bioclimático de viviendas de segunda residencia en clima mediterráneo*. Catalunya: Universitat Politècnica de Catalunya.
- Sistema de Información Ambiental de Colombia. (2019). *SIAC*. Obtenido de <http://www.siac.gov.co/residuos peligrosos>

- Tchobanoglous, G., Theisen, H., & Vigil, S. (1998). tecnologías de conversión biológica y química. En G. Tchobanoglous, H. Theisen, & S. Vigil, *Gestión integral de residuos sólidos* (págs. 772- 778). México D.F.: McGraw-Hill.
- MacCabe, W., Harriot, P. and Smith, J. (1994). Unit operations of chemical engineering. New York: McGraw-Hill.
- Serway, R. and Jewett, J. (2013). Principles of physics. Boston, MA: Brooks/Cole.
- Carreño, J. (2015). Diseño y construcción de una máquina peletizadora de alimentos balanceados para ganado vacuno. Ingeniero Electromecánico. Universidad Nacional de Loja.
- Lu, R. (2013). Principles of solid food texture analysis. Woodhead Publishing Limited, pp.1-22.
- Norton, R. (2000). Diseño de maquinaria (2a. ed.). McGraw-Hill Interamericana.
- Budynas, R. and Nisbett, J. (2012). Diseño en ingeniería mecánica de Shigley (9a. ed.). México, D.F.: McGraw-Hill Interamericana.
- Talens, P. (2017). Caracterización del comportamiento mecánico de alimentos sólidos. Valência, pp.1-8.
- Rodríguez, A. and Maupoey, P. (1994). Cinéticas de deshidratación con aire caliente de zanahoria en rodajas. *Reviteca*, (3), pp.1-2.
- De la Torre, R. (n.d.). Diseño de una Peletizadora para Biomasa de Matriz Plana de Capacidad 80 kg/hora. Universidad Internacional SEK.

APÉNDICES

CÁLCULOS PARA ELEMENTOS DE TRITURADORA

Capacidad de la trituradora

Se obtuvo la capacidad del contenedor mediante la ecuación 2.1:

Para:

$$m = 5 \text{ [Kg]}$$

$$\rho = 300 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right]$$

$$V = \frac{5 \text{ Kg}}{300 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}}$$

$$V = 0.017 \text{ [m}^3\text{]}$$

Se da como sentado un contenedor cilíndrico, para obtener las dimensiones de este, se asumió la siguiente relación entre diámetro y altura:

$$h = 1.9r$$

Donde:

r : Radio del cilindro

h : Altura del cilindro

Se presenta las dimensiones obtenidas:

$$r = 141 \text{ [mm]} \quad h = 272 \text{ [mm]}$$

Análisis de fuerzas

Se consiguió la relación de reducción a partir de la ecuación 2.2:

Para:

$$A_0 = 13600 \text{ [mm}^2\text{]}$$

$$A_f = 400 \text{ [mm}^2\text{]}$$

$$r_x = \frac{13600 \text{ mm}^2}{400 \text{ mm}^2}$$

$$r_x = 34$$

A continuación, se presenta el valor de la deformación real evaluado por la ecuación 2.3:

$$\epsilon = \ln 34$$

$$\epsilon = 3.53$$

La presión aplicada por el rodillo se obtuvo mediante la ecuación 2.4, para el esfuerzo de fluencia se analizó la variedad de desechos orgánicos que podrían ingresar, se obtuvo:

Para:

$$\bar{Y}_f = 500 \text{ [kPa]}$$

$$p = (500 \times 10^3 \text{ Pa}) \cdot 3.53$$

$$p = 1.76 \times 10^6 \text{ [Pa]}$$

La fuerza de compresión aplicada por el rodillo sobre un dado de corte se la determinó por la ecuación 2.5:

$$F_{ro} = (1.76 \times 10^6 \text{ Pa})(0.02 \text{ m})^2$$

$$F_{ro} = 704 \text{ [N]}$$

La fuerza para vencer debido a la resistencia de los desechos se calculó empleando la ecuación 2.6, conjuntamente la fuerza normal es la misma fuerza que ejerce el rodillo.

Para:

$$N = 704 \text{ [N]}$$

$$\mu_d = 0.06$$

$$F_k = (0.06)(704 \text{ N})$$

$$F_k = 42.24 \text{ [N]}$$

Rodillos

Dimensiones

El radio de rodillo obtenido por medio de la ecuación 2.7.

Para:

$$L_0 = 28 [mm]$$

$$L_f = 0.5 [mm]$$

$$u = 0.74$$

$$R = \frac{28-0.5}{0.74^2}$$

$$R = 50 [mm]$$

Conseguido de la de la ecuación 2.8 y con las consideraciones establecidas.

$$L_{ro} = 2.2(50 mm)$$

$$L_{ro} = 110 [mm]$$

Cinemática

Obtenido a partir de la ecuación 2.9. Esta velocidad se transmite al eje principal, donde se encuentran acoplados los rodillos.

Para:

$$\omega_{in} = 1200 [rpm]$$

$$m_v = \frac{1}{4}$$

$$\omega_{out} = \frac{1}{4} 1200 rpm$$

$$\omega_{out} = 300 [rpm]$$

Calculado por medio de la ecuación 2.10 y definiendo un radio de giro.

Para:

$$R_g = 140 [mm]$$

$$V = (300 rpm) \left(\frac{2\pi rad}{60 s} \right) (0.140 m)$$

$$V = 4.40 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Velocidad angular de los rodillos definidos a través de la relación 2.11.

$$\omega_R = \frac{4.40 \frac{m}{s}}{0.050 m}$$
$$\omega_R = 88.0 \left[\frac{rad}{s} \right]$$

Potencia de rodillos

Momento máximo que se produce en el rodillo, además se asumió que la fuerza aplicada es en el medio del rodillo, se empleó la ecuación 2.12.

$$M_r = 2(42.24 N) (0.085 m)$$
$$M_r = 7.18 [Nm]$$

Potencia necesaria de los rodillos calculada a partir de la ecuación 2.13.

$$P_R = (7.18 Nm) \left(88.0 \frac{rad}{s} \right)$$
$$P_R = 631.84 [W] \cong 0.85 [hp]$$

Dados para corte

Determinación de la longitud de contacto del rodillo a través de la ecuación 2.14

$$L_c = \sqrt{0.05(0.028 - 5 \times 10^{-4})}$$
$$L_c = 0.04 [m]$$

La ecuación 2.15 permitió establecer el ángulo de trabajo del rodillo.

$$\theta_t = \arctan\left(\frac{0.04}{0.05}\right)$$
$$\theta_t = 39^\circ \cong 0.7 [rad]$$

Para el tiempo de recorrido del rodillo se obtuvo lo siguiente.

$$t_t = \frac{0.70 rad}{88.0 \frac{rad}{s}}$$
$$t_t = 0.01 [s]$$

Para establecer la velocidad de extrusión primero se realizó el análisis para la aceleración al interior de la matriz.

$$a_s = \frac{42.24 \text{ N}}{5 \text{ kg}}$$

$$a_s = 8.4 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$$

Mediante el valor obtenido y con la ecuación 2.17 se pudo hallar dicha velocidad:

$$V_{ex} = 0 + (8.4 * 0.01 \text{ s})$$

$$V_{ex} = 0.084 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

Se definió el parámetro del flujo volumétrico de trituración, considerando los 5 kg de desechos en la entrada, un tiempo requerido de 30 segundos y la densidad de los desechos, además de un factor extra para la capacidad, se empleó la ecuación 2.18.

$$\dot{V}_v = \frac{0.021 \text{ m}^3}{30 \text{ s}}$$

$$\dot{V}_v = 7 \times 10^{-4} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$$

Se consiguió el número total de dados de la matriz por intermedio de la ecuación 2.19

$$N_a = \frac{7 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{\left(0.084 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right) (2) (0.02 \text{ m})^2}$$

$$N_a = 10.4$$

Se optó por 18 dados, ya que aumenta la tasa de corte.

$$N_a = 18$$

Adicionalmente se delimitó el espesor de la matriz para corte a 10 mm.

Cuchillas de corte

Se optó por acero inoxidable AISI 304 como material de corte debido a la alta resistencia a la corrosión en presencia de agua, ácidos, soluciones y el medio. Adicionalmente la forma de las cuchillas se decidió rectangulares con dimensiones:

$$R_c = 140 \text{ [mm]}$$

$$b = 20 \text{ [mm]}$$

$$e = 1.5 \text{ [mm]}$$

En ensayos realizados se han determinado esfuerzos para algunas texturas de alimentos, en base a esto se eligió el esfuerzo cortante más crítico presentado (Vincent y Lillford, 2003), por otra parte, la velocidad angular de las cuchillas es la misma que la velocidad angular de salida del reductor ya que se encuentran acopladas directo al eje. Aplicando las ecuaciones 2.20, 2.21 y 2.22 respectivamente se evaluó:

Para:

$$\tau_c = 30 \text{ [kPa]}$$

$$A_c = 4 \times 10^{-4} \text{ [m}^2\text{]}$$

$$F_c = (30 \text{ kPa})(4 \times 10^{-4} \text{ m}^2)$$

$$F_c = 12 \text{ [N]}$$

$$M_c = 2(12 \text{ N})(0.007 \text{ m})$$

$$M_c = 0.168 \text{ [Nm]}$$

$$P_c = (0.168 \text{ Nm}) \left(31.4 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \right)$$

$$P_c = 5.3 \text{ [W]} \cong 0.007 \text{ [hp]}$$

Como resultado se presenta la potencia total mínima para el triturador:

$$P_T = 0.85 \text{ hp} + 0.007 \text{ hp}$$

$$P_T = 0.857 \text{ [hp]}$$

Matriz para corte

Fuerza sobre la matriz

Para:

$$F_r = 704 \text{ [N]}$$

Se establecieron 12 apoyos en los extremos de la matriz, por lo cual la carga se distribuye de manera uniforme sobre estos. Por lo tanto:

$$F_m = 58.7 \text{ [N]}$$

Diagramas resultantes de la matriz de corte

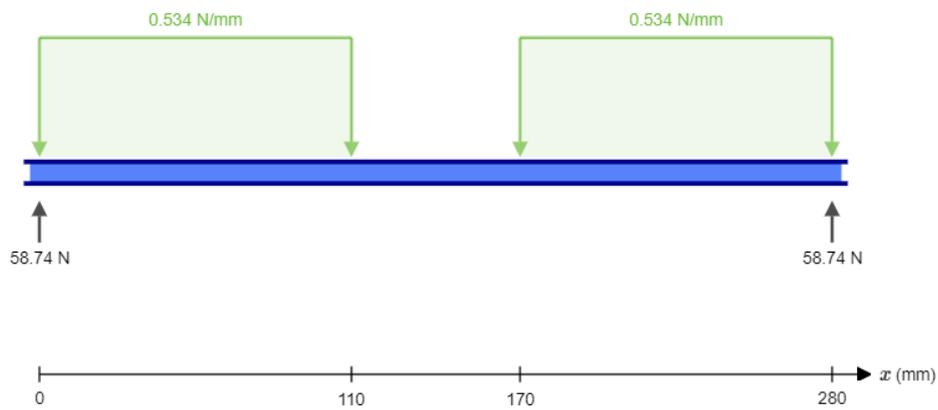


Figura A.1. Diagrama de cuerpo libre
Fuente: SkyCiv

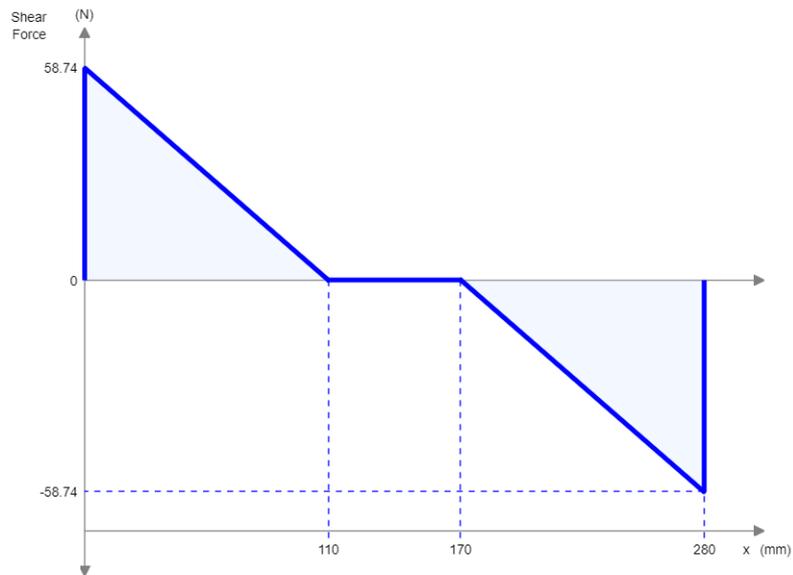


Figura A.2. Diagrama de fuerza cortante
Fuente: SkyCiv

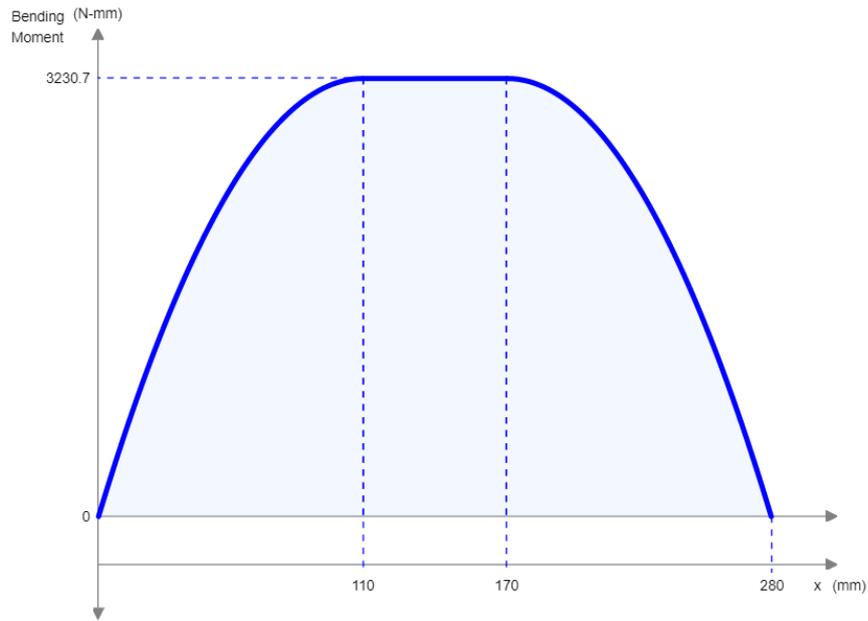


Figura A.3. Diagrama de momento flector
Fuente: SkyCiv

Criterios de falla para la matriz

Esfuerzo flexionante máximo

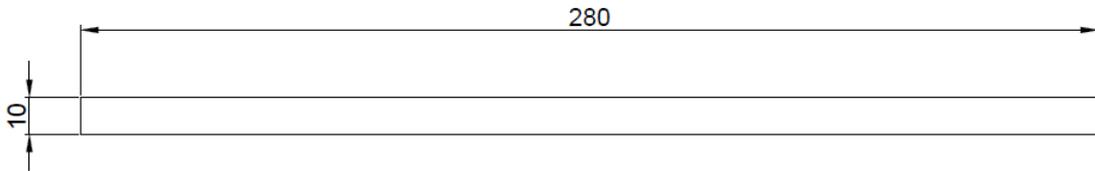


Figura A.4. Perfil de la matriz
Fuente: Elaboración propia

Para:

$$M_{max} = 3.23 \text{ [Nm]}$$

$$c_m = 5 \times 10^{-3} \text{ [m]}$$

$$I_m = 2.3 \times 10^{-8} \text{ [m}^4\text{]}$$

$$\sigma_m = \frac{(3.23 \text{ Nm})(5 \times 10^{-3} \text{ m})}{2.3 \times 10^{-8} \text{ m}^4}$$

$$\sigma_m = 7 \times 10^5 \text{ [Pa]}$$

Esfuerzo cortante

Para:

$$V_{max} = 58.74 [N]$$

$$A_m = 2.8 \times 10^{-3} [m^2]$$

$$\tau_m = \frac{3(58.74 N)}{2(2.8 \times 10^{-3} m^2)}$$

$$\tau_m = 3.15 \times 10^4 [Pa]$$

Círculo de Mohr

Centro del círculo:

Para:

$$\sigma_x = 7 \times 10^5 [Pa]$$

$$\sigma_{prom} = \frac{7 \times 10^5 Pa}{2}$$

$$\sigma_{prom} = 3.5 \times 10^5 [Pa]$$

Radio del círculo

$$R = \sqrt{(7 \times 10^5 Pa)^2 + (3.15 \times 10^4 Pa)^2}$$

$$R = 7 \times 10^5 [Pa]$$

$$\tau_{max} = 7 \times 10^5 [Pa]$$

Esfuerzos principales

$$\sigma_{1,2} = 7 \times 10^5 Pa \pm 7 \times 10^5 Pa$$

$$\sigma_1 = 1.4 \times 10^6 [Pa] \quad \sigma_2 = 0$$

Esfuerzo de Von Mises

$$\sigma_{VM} = \sqrt{(1.4 \times 10^6 Pa)^2 + 3(7 \times 10^5 Pa)^2}$$

$$\sigma_{VM} = 1.85 \times 10^6 [Pa]$$

Factor de seguridad

Para:

$$S_y = 18 \times 10^6 \text{ [Pa]}$$

$$n = \frac{18 \times 10^6 \text{ Pa}}{1.85 \times 10^6 \text{ Pa}}$$
$$n = 9.73$$

Análisis de los ejes principal y secundarios

Cabe señalar que para ambos ejes se seleccionó como material acero AISI 1045 rolado en caliente, sus propiedades:

$$S_y = 310 \text{ MPa}$$

$$S_{ut} = 565 \text{ MPa}$$

Eje secundario

Diagramas resultantes del eje secundario en el plano XY

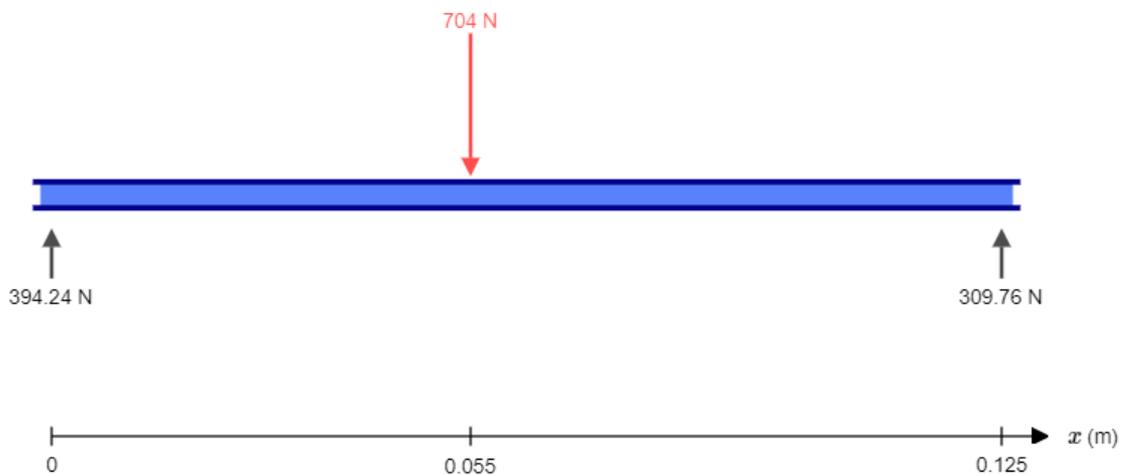


Figura A.5. Diagrama de cuerpo libre

Fuente: SkyCiv

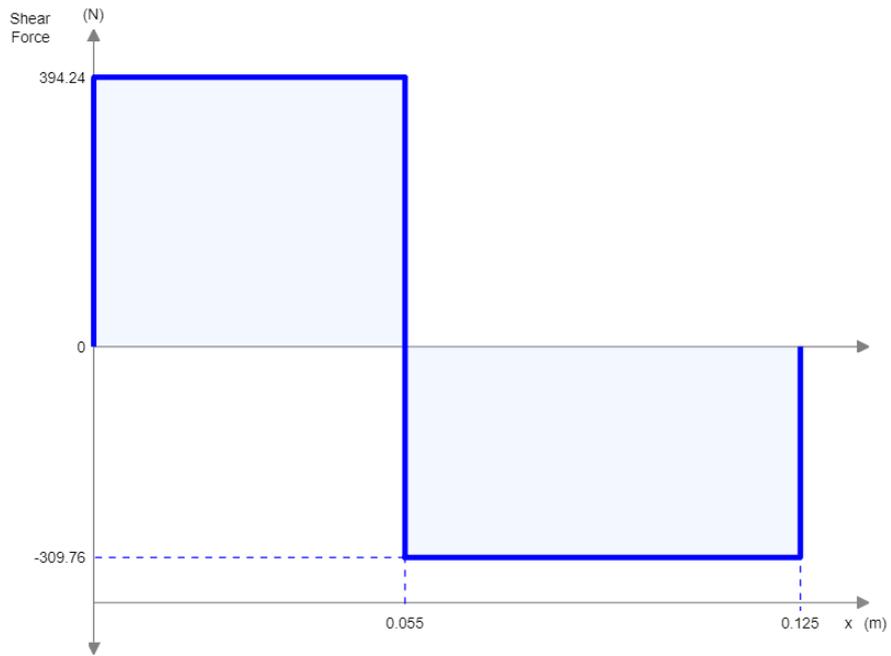


Figura A.6. Diagrama de fuerza cortante
Fuente: SkyCiv

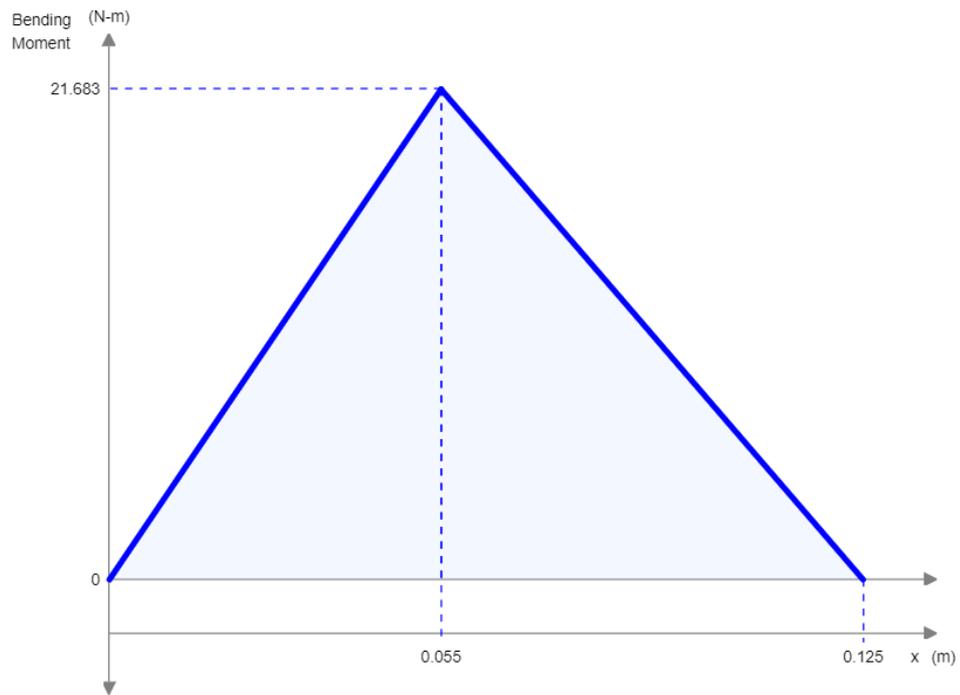


Figura A.7. Diagrama de momento flector
Fuente: SkyCiv

Diagramas resultantes del eje secundario en el plano XZ

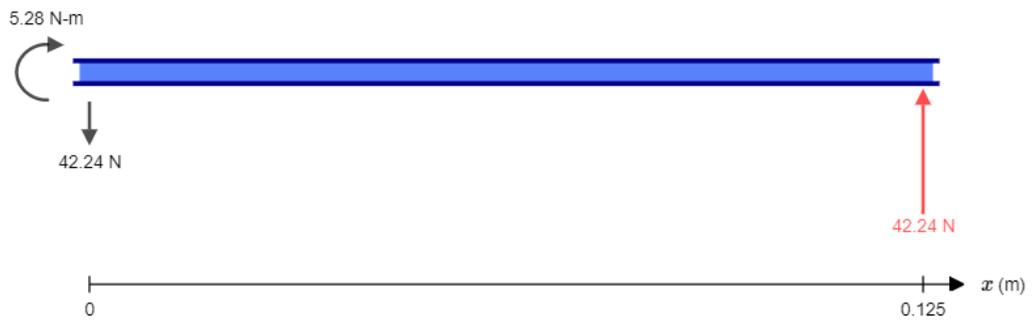


Figura A.8. Diagrama de cuerpo libre
Fuente: SkyCiv



Figura A.9. Diagrama de fuerza cortante
Fuente: SkyCiv

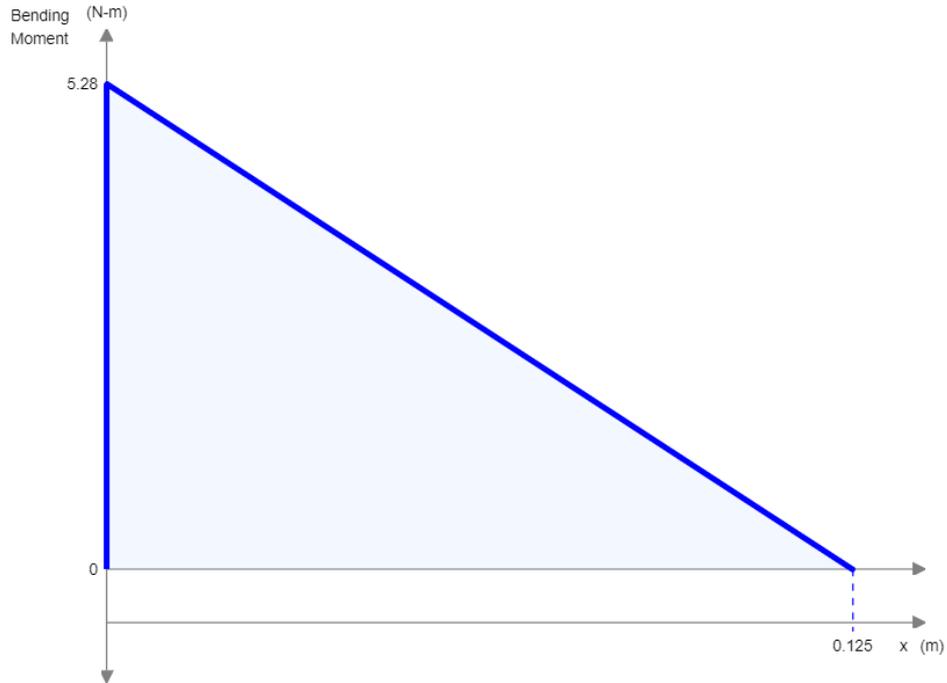


Figura A.10. Diagrama de momento flector

Fuente: SkyCiv

La longitud total del eje es de 140 mm, además para hallar el diámetro mínimo del eje se examinó el punto más crítico, primero se calculó el momento total máximo y posteriormente se utilizaron las ecuaciones 2.32 (Budynas y Nisbett, 2008).

Momento máximo:

$$M_{max} = \sqrt{(21.68 \text{ Nm})^2 + (2.32 \text{ Nm})^2}$$

$$M_{max} = 21.80 \text{ [Nm]}$$

Se seleccionó 90 % de intervalo de confianza, además de un acabado superficial maquinado, por lo cual se tiene:

Para:

$$k_a = 0.84$$

$$k_b = 1$$

$$k_c = 1$$

$$k_d = 1$$

$$k_e = 0.89$$

$$k_f = 1$$

$$S'_e = 565 \text{ [MPa]}$$

$$S_e = (0.84)(1)(1)(1)(0.89)(1)(0.5)(565)$$

$$S_e = 212 \text{ [MPa]}$$

Se definieron los parámetros de implementar las ecuaciones de Goodman, se puede suponer que:

$$K_f = K_t \text{ y } K_{fs} = K_t$$

Se empleó la tabla 7.1 (Budynas y Nisbett, 2008) para los coeficientes de concentradores de esfuerzo.

Tabla A.1. Coeficientes de concentradores de esfuerzo

	Flexión	Torsión	Axial
Filete de hombro: agudo ($r/d = 0.02$)	2.7	2.2	3.0
Filete de hombro: bien redondeado ($r/d = 0.1$)	1.7	1.5	1.9
Cuñero fresado ($r/d = 0.02$)	2.2	3.0	—
Cuñero de patín o trapezoidal	1.7	—	—
Ranura para anillo de retención	5.0	3.0	5.0

Fuente: Budynas y Nisbett

Por ende, se obtuvo:

Para:

$$k_f = 1.7$$

$$M_a = 21.80 \text{ [Nm]}$$

$$k_{fs} = 1.5$$

$$T_a = 0$$

$$M_m = 0$$

$$T_m = 0$$

$$d = \left(\frac{16(3)}{\pi} \left\{ \frac{1}{212 \times 10^6 \text{ Pa}} \left[4 \left((1.7)(21.80 \text{ Nm}) \right)^2 \right]^{1/2} \right\} \right)^{1/3}$$

$$d = 0.0019 \text{ [m]}$$

$$d = 20 \text{ [mm]}$$

Realizando el mismo procedimiento para el punto donde se encuentran ubicados los rodamientos se consiguió:

$$d = 15 \text{ [mm]}$$

Se presenta el gráfico del eje, se considera los hombros para los rodamientos:

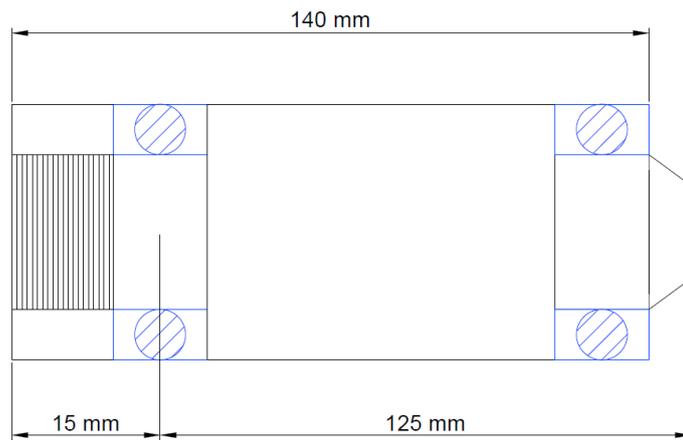


Figura A.11. Diseño de forma del eje secundario
Fuente: Elaboración propia

Eje principal

Para el eje principal se realizó el proceso de diseño inverso, como se muestra a continuación:

Diagramas resultantes del eje secundario en el plano XZ

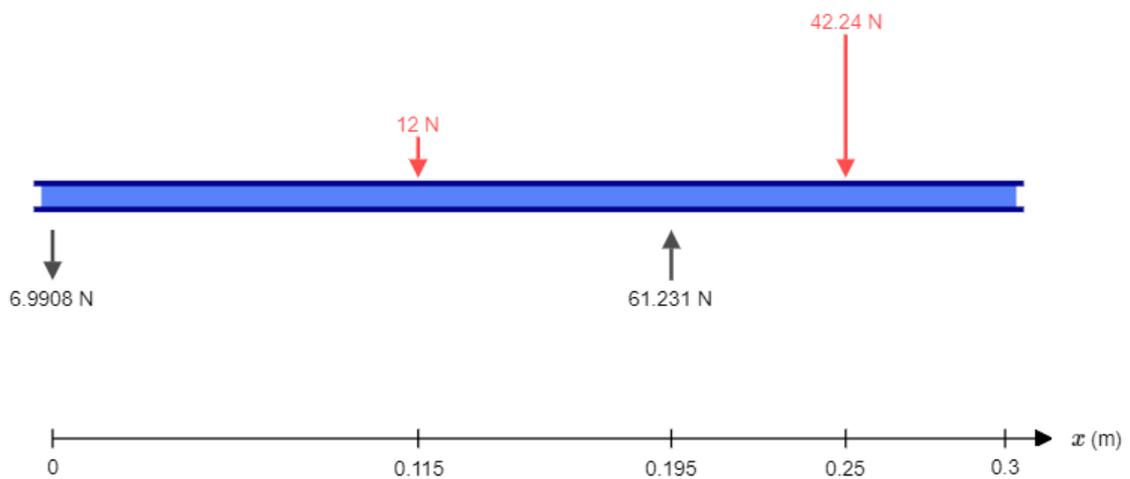


Figura A.12. Diagrama de cuerpo libre
Fuente: SkyCiv

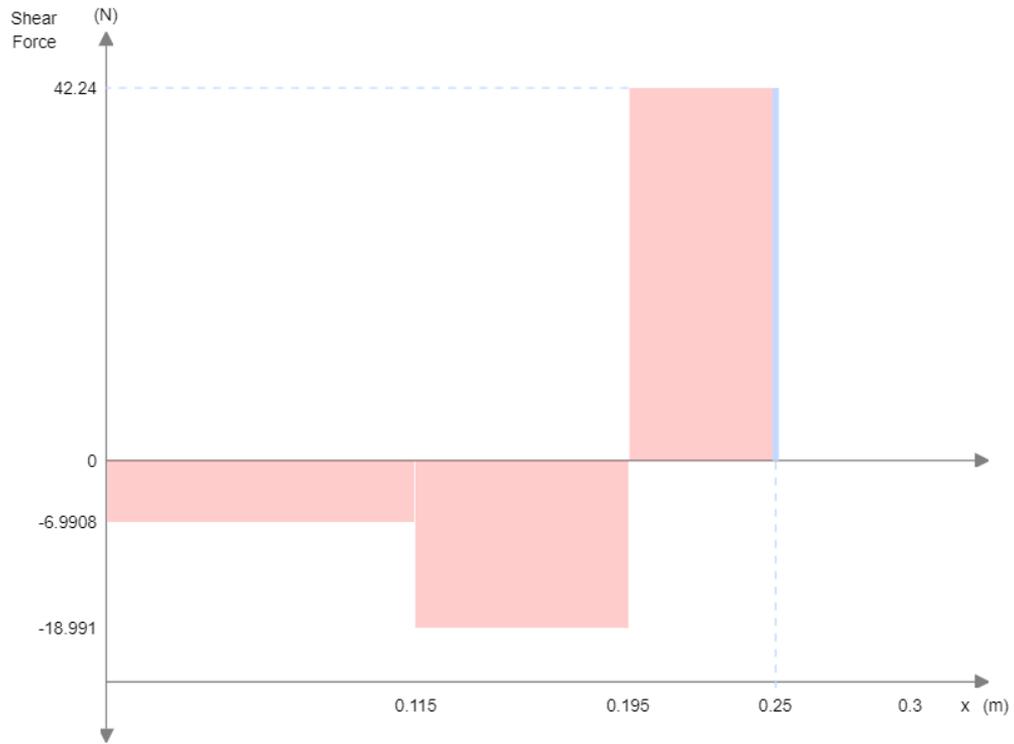


Figura A.13. Diagrama de fuerza cortante
Fuente: SkyCiv

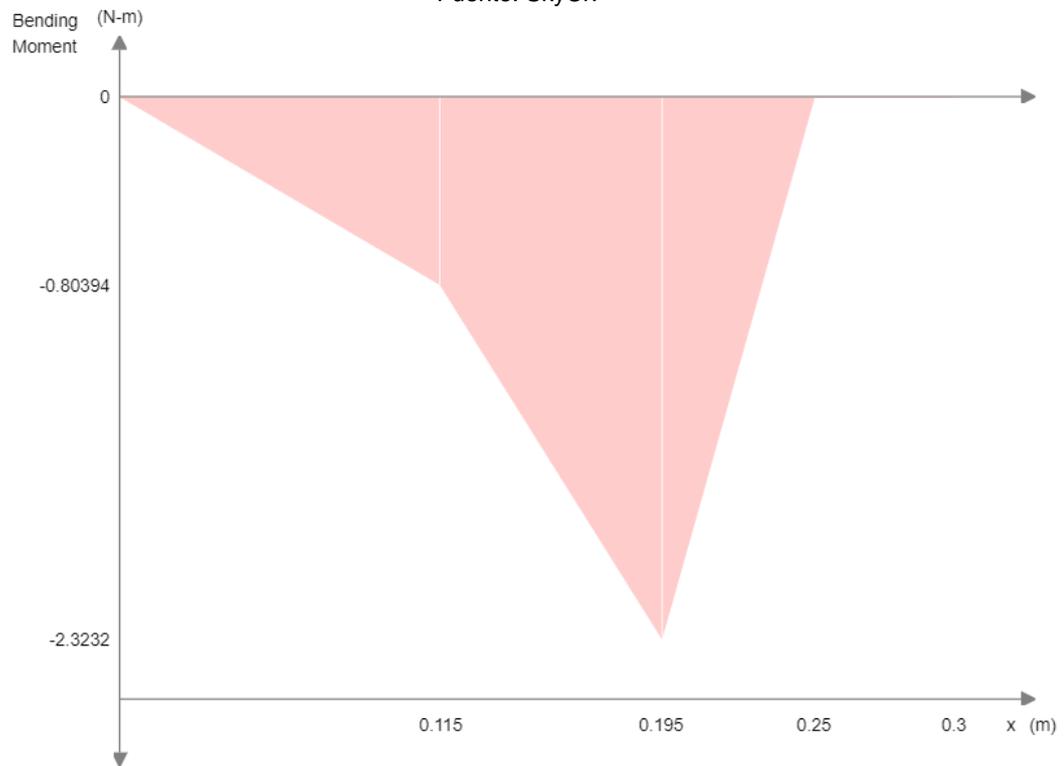


Figura A.14. Diagrama de momento flector
Fuente: SkyCiv

Se partió de un diámetro determinado y mediante la ecuación 2.33, se calculó el factor de seguridad con dicho diámetro. Además, se tomaron las condiciones previas para el esfuerzo modificado.

Para:

$k_f = 2.2$	$M_a = 2.32 [Nm]$	$k_{fs} = 3.0$
$T_a = 0$	$M_m = 0$	$T_m = 7.4 [Nm]$
$S_e = 212 [MPa]$	$d = 0.02 [m]$	$S_{ut} = 565 [MPa]$

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi((0.02 \text{ m})^3)} \left\{ \frac{1}{212 \times 10^6 \text{ Pa}} \left[4((2.2)(2.32 \text{ Nm}))^2 \right]^{1/2} + \frac{1}{565 \times 10^6 \text{ Pa}} \left[3((3.0)(7.4 \text{ Nm}))^2 \right]^{1/2} \right\}$$

$$n = 13$$

Se presenta el gráfico del eje, se considera los hombros para los rodamientos:

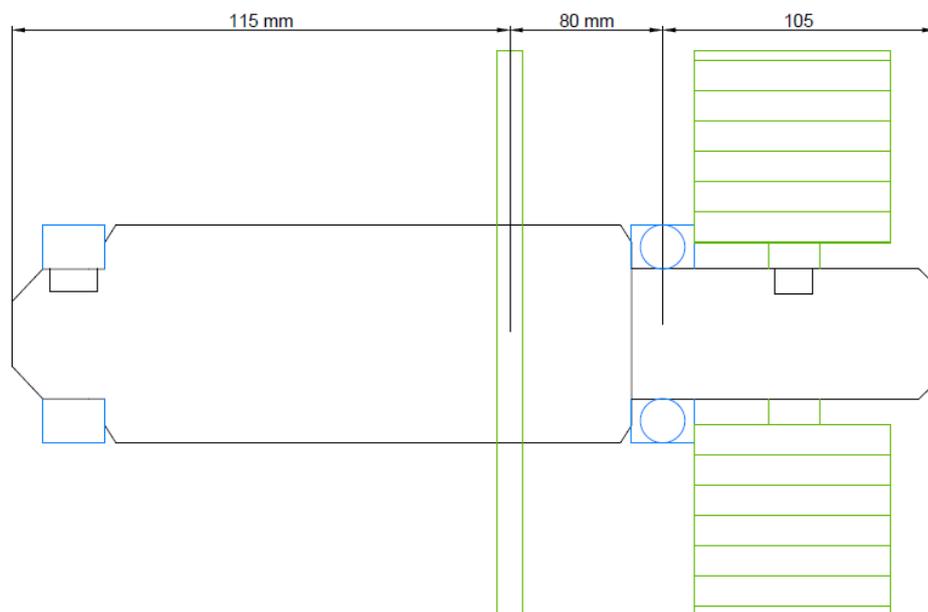


Figura A.15. Diseño de forma del eje principal

Fuente: SkyCiv

Chaveta

Para las dimensiones de la chaveta se usó la tabla de chavetas disponible en el catálogo de Rodavigo, para diámetros de ejes 17 a 22 mm se tiene (Rodavigo):

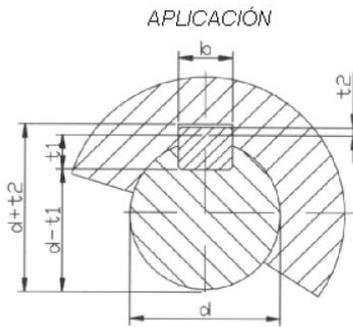


Figura A.16. Especificaciones de la chaveta y chavetero
Fuente: Rodavigo,2015

Tabla A.2. Tabla de Chavetas y chaveteros según diámetro de eje

Campo de aplicación		Chaveta			Chavetero							Profundidad			
		Sección		Toleran sobre		Dim. nom. b	Tolerancia sobre b			Eje				Cubo	
Diámetro eje d	Dimen normal b x h	b ^{h9}	h*	b	Por eje			Por cubo				t1		t2	
					H9	N9	P9	D10	Js9	P9	Nom	Tol.	Nom	Tol.	
De 6	8	2x2	0	0	2							1,2		1	
Más de 8	10	3x3	-0,025	-0,025	3	+0,025	-0,004	-0,006	+0,060	±0,012	-0,006	1,8		1,4	
Más de 10	12	4x4			4							2,5	+0,1	1,8	+0,1
Más de 12	17	5x5	0	0	5	+0,030	0	-0,012	+0,078	±0,015	-0,012	3	0	2,3	0
Más de 17	22	6x6	-0,030	-0,030	6	0	-0,030	-0,042	+0,030		-0,042	3,5		3,5	
Más de 22	30	8x7	0		8							5		3,3	
Más de 30	38	10x8	-0,036		10	+0,036	0	-0,015	+0,098	±0,018	-0,015	5		3,3	
Más de 38	44	12x8		0	12							5		3,3	
Más de 44	50	14x9		-0,090	14							5,5		3,8	
Más de 50	58	16x10	0		16	+0,043	0	-0,018	+0,120	±0,021	-0,018	6		4,3	
Más de 58	60	18x11	-0,043		18	0	-0,043	-0,061	+0,050		-0,061	7		4,4	
Más de 65	75	20x12			20							7,5	+0,2	4,9	+0,2
Más de 75	85	22x14			22							9	0	5,4	0
Más de 85	95	25x14	0	0	25	+0,052	0	-0,022	+0,149	±0,026	-0,022	9		5,4	
Más de 95	110	28x16	-0,052	-0,110	28	0	-0,052	-0,074	+0,065		-0,074	10		6,4	
Más de 110	130	32x18			32							11			

Fuente: Rodavigo

Adicionalmente para el material de la chaveta se empleó acero AISI 1010 rolado en caliente, mediante la ecuación 2.34 se calculó la longitud de la chaveta.

Para:

$$F_t = 740 [N]$$

$$S_y = 179 [MPa]$$

$$w = 0.006 [m]$$

$$S_{sy} = 89.5 [MPa]$$

$$N = 8$$

$$L = \frac{(8)(740 \text{ N})}{(89.5 \times 10^6 \text{ Pa})(0.006 \text{ m})}$$

$$L = 0.011 \text{ [m]}$$

Para comprobar que no se producen fallas por aplastamiento se utilizó la ecuación 2.35.

$$N = \frac{179 \times 10^6 \text{ Pa}}{\left(\frac{740 \text{ N}}{0.5(0.006 \text{ m})(0.011 \text{ m})} \right)}$$

$$N = 8$$

Selección de rodamientos

Se realizó el análisis de los rodamientos del eje principal, teniendo en cuenta la relación entre fuerzas.

$$P_n = XF_r + YF_a$$

Donde:

F_r : Carga radial

F_a : Carga axial

Además, se escogió un rodamiento de bolas 6004, debido a que ya se conoce el diámetro del eje, para corroborar la selección se realizaron las siguientes valoraciones.

$$F_r = 61.23 \text{ [N]}$$

$$F_a = 704 \text{ [N]}$$

$$\frac{F_a}{F_r} = \frac{704 \text{ N}}{61.23 \text{ N}} = 11$$

$$\frac{F_a}{F_r} > e$$

Para, valores obtenidos por medio del catálogo NTN (NTN, 2004):

$$X = 0.56$$

$$Y = 1.31$$

$$P_n = (0.56)(61.23 \text{ N}) + (1.31)(704 \text{ N})$$

$$P_n = 956.53 \text{ [N]}$$

La capacidad básica de carga se verifica mediante la ecuación 2.35:

$$n = 300 \text{ [rpm]}$$

$$L_{10h} = 12000 \text{ [h]}$$

$$C_r = \left(\frac{300 * 60}{10^6} * 12000 \right)^{\frac{1}{3}} (956.53)$$
$$C_r = 5739.18 \text{ [N]}$$

Mientras que la capacidad del básica de carga dinámica para el rodamiento 6004 es de:

$$C_r = 9.40 \text{ [KN]}$$

Contrastando las capacidades calculada vs la que muestra el catálogo respectivamente:

$$5.74 \text{ [KN]} < 9.40 \text{ [KN]}$$

Lo cual indica que el rodamiento seleccionado es el correcto.

Mientras que para el eje secundario se escogió el rodamiento 6002, a causa de que no intervienen cargas axiales se la carga dinámica equivalente es igual a la fuerza radial, por lo que:

$$P_n = 42.24 \text{ [N]}$$

La capacidad básica de carga se verifica nuevamente mediante la ecuación 2.35:

$$n = 88 \text{ [rpm]}$$

$$L_{10h} = 12000 \text{ [h]}$$

$$C_r = \left(\frac{88 * 60}{10^6} * 12000 \right)^{\frac{1}{3}} (42.24)$$
$$C_r = 168.4 \text{ [N]}$$

Mientras que la capacidad del básica de carga dinámica para el rodamiento 6002 es de:

$$C_r = 5.60 \text{ [KN]}$$

Contrastando las capacidades calculada vs la que muestra el catálogo respectivamente:

$$0.17 \text{ [KN]} < 5.60 \text{ [KN]}$$

Esto corrobora la selección realizada.

Rodamientos seleccionados en el catálogo (NTN, 2004).

Tabla A.3. Tabla de rodamientos NTN

Dimensiones principales				Capacidades básicas de carga				Factor	Velocidades límites				Números de rodamientos					
mm				kN		kgf		f_0	r.p.m.				tipo abierto	con tapas	con sello de no contacto	con sello de bajo torque	con sello de contacto	
d	D	B	$r_{s\ min}^{(1)}$	r_{NS}	C_r	C_{or}	C_r		C_{or}	grasa tipo abierto	aceite tipo abierto	LLH						LLU
10	15	3	0.1	—	0.855	0.435	87	44	15.7	10 000	12 000	—	—	6700	—	—	—	
	19	5	0.3	—	1.83	0.925	187	94	14.8	32 000	38 000	—	24 000	6800	ZZ	LLB	—	LLU
	22	6	0.3	0.3	2.7	1.27	275	129	14.0	30 000	36 000	—	21 000	6900	ZZ	LLB	—	LLU
	26	8	0.3	—	4.55	1.96	465	200	12.4	29 000	34 000	25 000	21 000	6000	ZZ	LLB	LLH	LLU
	30	9	0.6	0.5	5.10	2.39	520	244	13.2	25 000	30 000	21 000	18 000	6200	ZZ	LLB	LLH	LLU
	35	11	0.6	0.5	8.20	3.50	835	355	11.4	23 000	27 000	20 000	16 000	6300	ZZ	LLB	LLH	LLU
12	18	4	0.2	—	0.930	0.530	95	54	16.2	8 300	9 500	—	—	6701	—	LLF	—	—
	21	5	0.3	—	1.92	1.04	195	106	15.3	29 000	35 000	—	20 000	6801	ZZ	LLB	—	LLU
	24	6	0.3	0.3	2.89	1.46	295	149	14.5	27 000	32 000	—	19 000	6901	ZZ	LLB	—	LLU
	28	7	0.3	—	5.10	2.39	520	244	13.2	26 000	30 000	—	—	16001	—	—	—	—
	28	8	0.3	—	5.10	2.39	520	244	13.2	26 000	30 000	21 000	18 000	6001	ZZ	LLB	LLH	LLU
	32	10	0.6	0.5	6.10	2.75	620	280	12.7	22 000	26 000	20 000	16 000	6201	ZZ	LLB	LLH	LLU
15	21	4	0.2	—	0.940	0.585	96	59	16.5	6 600	7 600	—	—	6702	—	LLF	—	—
	24	5	0.3	—	2.08	1.26	212	128	15.8	26 000	31 000	—	17 000	6802	ZZ	LLB	—	LLU
	28	7	0.3	0.3	3.65	2.00	375	204	14.8	24 000	28 000	—	16 000	6902	ZZ	LLB	—	LLU
	32	8	0.3	—	5.60	2.83	570	289	13.9	22 000	26 000	—	—	16002	—	—	—	—
	32	9	0.3	0.3	5.60	2.83	570	289	13.9	22 000	26 000	18 000	15 000	6002	ZZ	LLB	LLH	LLU
	35	11	0.6	0.5	7.75	3.60	790	365	12.7	19 000	23 000	18 000	15 000	6202	ZZ	LLB	LLH	LLU
17	42	13	1	0.5	11.4	5.45	1 170	555	12.3	17 000	21 000	15 000	12 000	6302	ZZ	LLB	LLH	LLU
	23	4	0.2	—	1.00	0.660	102	67	16.3	5 000	6 700	—	—	6703	—	LLF	—	—
	26	5	0.3	—	2.23	1.46	227	149	16.1	24 000	28 000	—	15 000	6803	ZZ	LLB	—	LLU
	30	7	0.3	0.3	4.65	2.58	475	263	14.7	22 000	26 000	—	14 000	6903	ZZ	LLB	—	LLU
	35	8	0.3	—	6.80	3.35	695	345	13.6	20 000	24 000	—	—	16003	—	—	—	—
	35	10	0.3	0.3	6.80	3.35	695	345	13.6	20 000	24 000	16 000	14 000	6003	ZZ	LLB	LLH	LLU
20	40	12	0.6	0.5	9.60	4.60	980	465	12.8	18 000	21 000	15 000	12 000	6203	ZZ	LLB	LLH	LLU
	47	14	1	0.5	13.5	6.55	1 380	665	12.2	16 000	19 000	14 000	11 000	6303	ZZ	LLB	LLH	LLU
	62	17	1.1	—	22.7	10.8	2 320	1 100	11.1	14 000	16 000	—	—	6403	—	—	—	—
	27	4	0.2	—	1.04	0.730	106	74	16.1	5 000	5 700	—	—	6704	—	LLF	—	—
20	32	7	0.3	0.3	4.00	2.47	410	252	15.5	21 000	25 000	—	13 000	6804	ZZ	LLB	—	LLU
	37	9	0.3	0.3	6.40	3.70	650	375	14.7	19 000	23 000	—	12 000	6904	ZZ	LLB	—	LLU
	42	8	0.3	—	7.90	4.50	810	455	14.5	18 000	21 000	—	—	16004	—	—	—	—
	42	12	0.6	0.5	9.40	5.05	955	515	13.9	18 000	21 000	13 000	11 000	6004	ZZ	LLB	LLH	LLU
	47	14	1	0.5	12.8	6.65	1 310	680	13.2	16 000	18 000	12 000	10 000	6204	ZZ	LLB	LLH	LLU
	52	15	1.1	0.5	15.9	7.90	1 620	805	12.4	14 000	17 000	12 000	10 000	6304	ZZ	LLB	LLH	LLU

Fuente: Rodamientos NTN

CÁLCULOS TERMODINÁMICOS

Tabla A.4. Datos y propiedades para cálculos termodinámicos

Datos para cálculos termodinámicos		
$T_{\text{aire1}} = 28^{\circ}\text{C}$	$P_{\text{atm}} = 101.325 \text{ kPa}$	$P_{\text{agua@}52^{\circ}\text{C}} = 13.716 \text{ kPa}$
$T_{\text{aire2}} = 60^{\circ}\text{C}$	$c_p \text{ aire} = 1.005 \text{ kJ/kg K}$	$h_{\text{agua@}52^{\circ}\text{C}} = 2594.82 \text{ kJ/kg}$
$T_{\text{aire3}} = 52^{\circ}\text{C}$	$c_p \text{ residuos} = 3.3 \text{ kJ/kg K}$	$v_{\text{aire interiores}} = 0.15 \text{ m/s}$
$T_{\text{residuos1}} = 28^{\circ}\text{C}$	Dimensiones: $30 \times 30 \times 30 \text{ cm}^3$	$P_{\text{aire@}60^{\circ}\text{C}} = 1.9993$
$T_{\text{residuos2}} = 50^{\circ}\text{C}$	Espesor de placa: 2mm	$P_{\text{aire@}28^{\circ}\text{C}} = 1.4025$
$\phi_1 = 80\%$	$R_{\text{aire}} = 0.287 \text{ kPa m}^3 / \text{kg K}$	$D_{\text{ent}} = 30 \text{ mm}$
$\phi_{\text{res1}} = 70\%$	$P_{\text{agua@}28^{\circ}\text{C}} = 3.8461 \text{ kPa}$	$A_{\text{ent}} = 7.06 \times 10^{-4} \text{ m}^2$
$\phi_{\text{res2}} = 50\%$	$h_{\text{fg agua@}P_{\text{atm}}} = 2256.5 \text{ kJ/kg}$	$\mu = 1.789 \times 10^{-5} \text{ kg/ms}$
$\rho_{\text{aire}} = 1.225 \text{ kg/m}^3$	$K_{\text{cond}} = 0.0253 \text{ W/mK}$	$h_{\text{g@}60^{\circ}\text{C}} = 2608.8 \text{ kJ/kg}$

Fuente: Elaboración propia

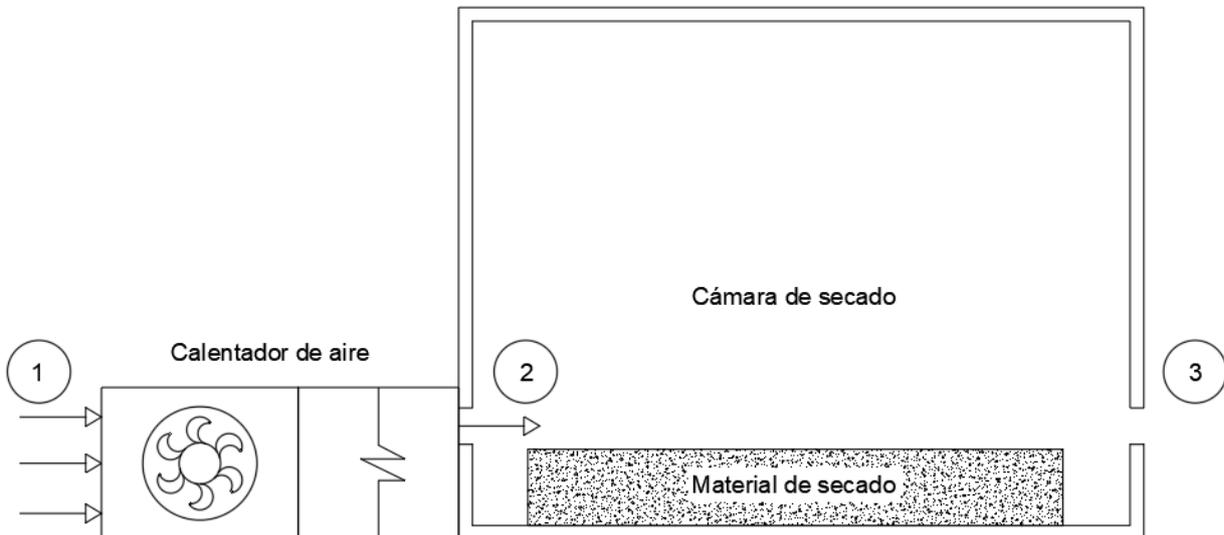


Figura A.17. Esquema Simplificado Cámara de secado

Fuente: Elaboración propia

Flujo de masa de residuos

Flujo de masa total de secado

$$\dot{m}_{pre} = \frac{5}{4} = 1.25 \left(\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right)$$

$$\dot{m}_{pre} = 1.25 \left(\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right)$$

Flujo másico seco del producto

$$\dot{m}_{sol_e} = (1 - 0.7)1.25 = 0.375 \left(\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right)$$

$$\dot{m}_{sol_e} = 0.375 \left(\frac{\text{kg}}{\text{h}} \right)$$

Flujo másico de agua presente en el producto

$$\dot{m}_{ag_e} = (0.7)(1.25) = 0.875 \left(\frac{kg \text{ de agua}}{h} \right)$$

$$\dot{m}_{ag_e} = 0.875 \left(\frac{kg \text{ de agua}}{h} \right)$$

Flujo de masa seca a la salida del secador

$$\dot{m}_{sol_e} = \dot{m}_{sol_s} = 0.375 \left(\frac{kg}{h} \right)$$

$$\dot{m}_{sol_s} = 0.375 \left(\frac{kg}{h} \right)$$

Flujo de masa de agua a la salida de la cámara de secado

$$\dot{m}_{ag_s} = \frac{0.5(0.375)}{1 - 0.5} = 0.375 \left(\frac{kg \text{ de agua}}{h} \right)$$

$$\dot{m}_{ag_s} = 0.375 \left(\frac{kg \text{ de agua}}{h} \right)$$

El flujo total de producto húmedo a la salida de la cámara de secado

$$\dot{m}_{pr_s} = 0.375 + 0.375 = 0.750 \left(\frac{kg}{h} \right)$$

$$\dot{m}_{pr_s} = 0.750 \left(\frac{kg}{h} \right)$$

La tasa de vaporización del material húmedo

$$\Delta \dot{m}_{ag} = 0.875 - 0.375 = 0.5 \left(\frac{kg \text{ de agua}}{h} \right)$$

$$\Delta \dot{m}_{ag} = 0.5 \left(\frac{kg \text{ de agua}}{h} \right)$$

Aire: Masa, humedad y entalpía

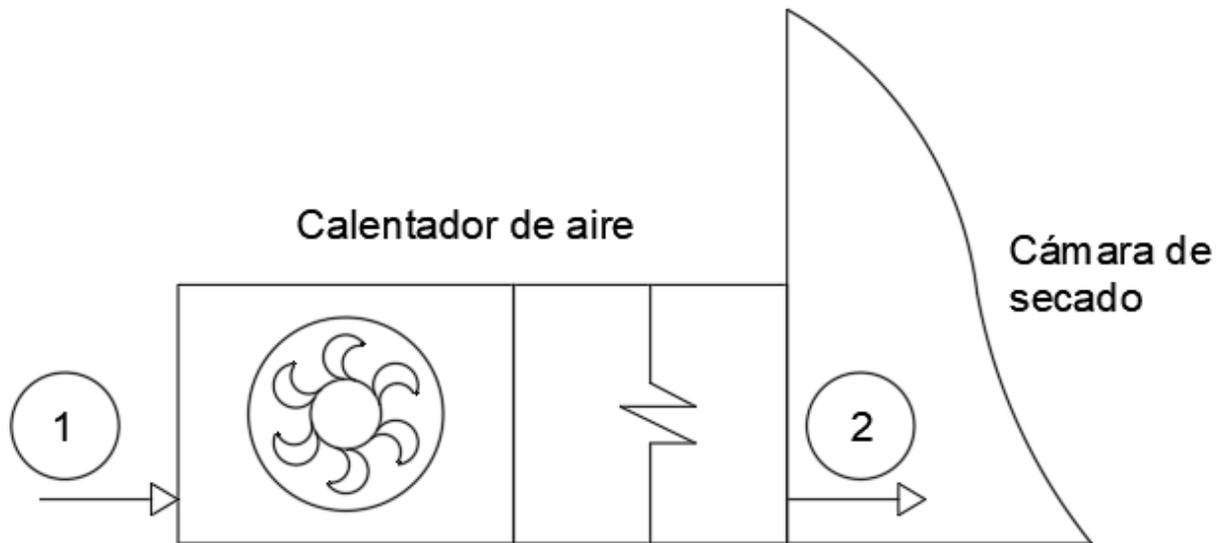


Figura A.18. Sección Calentador de aire

Fuente: Elaboración propia

$$W_{aire_1} = W_{aire_2}$$

Balance de energía en calentador de aire

$$\dot{W}_{flecha_{1-2}} + \dot{W}_{eléctrico_{1-2}} = \dot{m}_{aire_1} (h_2 - h_1) \text{ (kW)}$$

Entalpía entrada de calentador de aire

$$h_1 = c_p T + 0.622 \frac{P_v}{P - P_v} h_g \text{ (kJ/kg de aire seco)}$$

$$h_g(T) = 2500.9 + 1.82T(^{\circ}\text{C}) \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) \text{ (Para rango entre } -10^{\circ}\text{C y } 50^{\circ}\text{C)}$$

$$h_1 = 1.005(28) + 0.622 \frac{3.8461}{101.325 - 3.8461} (2500.9 + 1.82(28)) = 90.766 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$$

$$h_1 = 90.766 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$$

Entalpía a la salida del calentador de aire

De la Tabla A-4 (Cengel & Boles, 2011) $h_{g@60^{\circ}\text{C}}=2608.8\text{kJ/kg}$, $P_{@60^{\circ}\text{C}}=19.947\text{kPA}$

$$h_2 = 1.005(60) + 0.622 \frac{19.947}{101.325 - 19.947} 2608.8 = 458.042 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$$

$$h_2 = 458.042 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$$

Cámara de secado

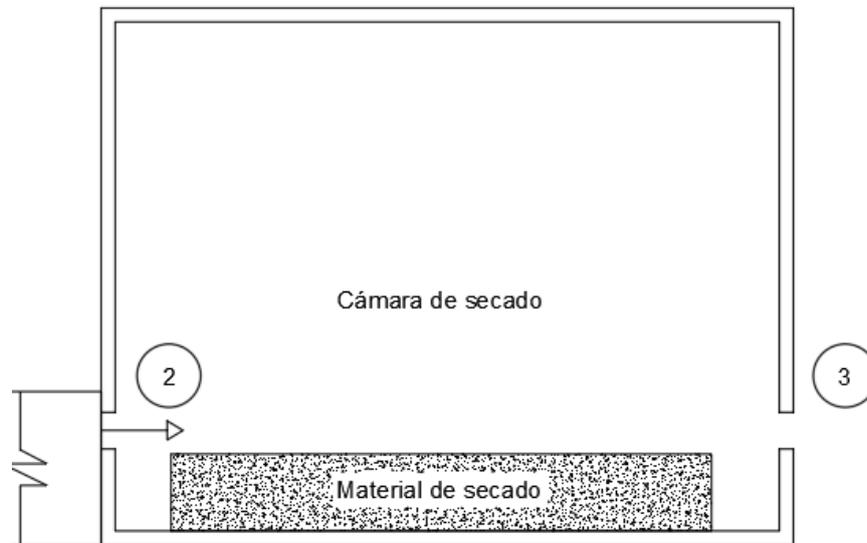


Figura A.19. Sección cámara de secado

Fuente: Elaboración propia

El calor que entrega el aire es igual al que reciben los residuos en la cámara de secado.

$$\dot{Q}_{gana} = -\dot{Q}_{pierde}$$

Balance de energía dentro de la cámara de secado

$$\dot{m}_{aire_2}(h_2 - h_3) = \Delta\dot{m}_{ag}h_{fg} + \dot{m}_{pre}c_{p_{residuos}}(T_s - T_e) + \dot{Q}_{amb}$$

$$\dot{m}_{aire_2} = \frac{0.5(2256.5) + 1.25(3.3)(60 - 28)}{(h_2 - h_3)}$$

$$h_3 = 1.005(52) + 0.622 \frac{13.7164}{101.325 - 13.7164} 2594.82 = 304.94$$

$$\dot{m}_{aire_2} = \frac{0.5(2256.5) + 1.25(3.3)(60 - 28) + \dot{Q}_{amb}}{(458.042 - 304.94)}$$

Para una primera aproximación no se consideró pérdidas por transferencia de calor hacia el ambiente ($\dot{Q}_{amb}=0$)

$$\dot{m}_{aire_2} = 8.231 \left(\frac{kg}{h}\right) = 2.28 \times 10^{-3} \left(\frac{kg}{s}\right)$$

Balance de energía y masa del calentador de aire

$$\dot{m}_{aire_2} = \dot{m}_{aire_1} = 2.28 \times 10^{-3} \left(\frac{kg}{s}\right)$$

$$\dot{W}_{flecha_{1-2}} + \dot{W}_{eléctrico_{1-2}} = 2.28 \times 10^{-3}(458.042 - 90.766) = 0.839 \text{ (kW)}$$

$$\dot{W}_{flecha_{1-2}} + \dot{W}_{el\u00e9ctrico_{1-2}} = 0.839 \text{ (kW)}$$

Presi\u00f3n de aire

$$P_a = 101.325 - 3.8161$$

$$P_a = 97.5089 \text{ (kPa)}$$

Volumen espec\u00edfico

$$v = \frac{R_a T}{P_a} \text{ (m}^3/\text{kg)}$$

$$v = \frac{0.287(301)}{97.5089} \text{ (m}^3/\text{kg)}$$

$$v = 0.886 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right)$$

Flujo volum\u00e9trico

$$\dot{V} = \dot{m}_a v \text{ (m}^3/\text{s)}$$

$$\dot{V} = 2.28 \times 10^{-3} (0.886) \text{ (m}^3/\text{s)}$$

$$\dot{V} = 0.00202 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)$$

$$\dot{V} = 4.27 \text{ CFM}$$

P\u00e9rdidas de calor hacia los alrededores

\u00c1rea de entrada

$$A_{ent} = \frac{\pi(0.03^2)}{4} = 7.06 \times 10^{-4} \text{ (m}^2)$$

Velocidad de entrada

$$v = \frac{0.00202}{7.06 \times 10^{-4}} \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$$

$$v = 2.86 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$$

N\u00famero de Reynolds

$$Re = \frac{vL\rho}{\mu}$$

$$Re = \frac{2.86(0.3)(1.225)}{1.789 \times 10^{-5}} = 58750.70$$

$$Re = 58750.70$$

Flujo Paralelo ($Re < 10^5$)

$$Nu = 0.648 Re^{0.5} Pr^{\frac{1}{3}}$$

$$Nu = 0.648(54025.99^{0.5})(1.9993^{\frac{1}{3}})$$

$$Nu = 197.86$$

$$h_{int1} = \frac{Nu k_{aire}}{L}$$

$$h_{int1} = \frac{(197.86)(0.0253)}{0.3} = 16.68 \left(\frac{W}{m^2K} \right)$$

$$h_{int1} = 16.68 \left(\frac{W}{m^2K} \right)$$

Flujo Perpendicular

$$Nu = cRe^n Pr^{\frac{1}{3}}$$

$$Nu = 0.0266(58750.70)^{0.805} 1.9993^{\frac{1}{3}}$$

$$Nu = 231.33$$

Tabla A.5. Coeficientes 'n' y 'c' para el cálculo de número de Nusselt

Reynolds	n	c
1- 4	0.330	0.989
4- 40	0.385	0.911
40- 4000	0.466	0.683
4000- 40000	0.618	0.193
40000- 250000	0.805	0.0266

Fuente: (Cengel & Boles, 2011)

$$h_{int2} = \frac{231.33 (0.0253)}{0.3} = 19.51 \left(\frac{W}{m^2K} \right)$$

$$h_{int2} = 19.51 \left(\frac{W}{m^2K} \right)$$

Velocidad al interior de la casa

$$v = 0.15 \left(\frac{m}{s} \right)$$

Número de Reynolds

$$Re = \frac{vL\rho}{\mu}$$

$$Re = \frac{0.15(0.3)(1.225)}{1.789 \times 10^{-5}} = 3081.33$$

$$Re = 3081.33$$

Flujo Paralelo ($Re < 10^5$)

$$Nu = 0.648Re^{0.5}Pr^{\frac{1}{3}}$$

$$Nu = 0.648(3081.33^{0.5})(1.4025^{\frac{1}{3}})$$

$$Nu = 40.26$$

$$h_{ext1} = \frac{Nu k_{aire}}{L}$$

$$h_{ext1} = \frac{(40.26)(0.0253)}{0.3} = 3.39 \left(\frac{W}{m^2K} \right)$$

$$h_{ext1} = 3.39 \left(\frac{W}{m^2K} \right)$$

Flujo Perpendicular

$$Nu = cRe^nPr^{\frac{1}{3}}$$

$$Nu = 0.683(3081.33)^{0.466}1.4025^{\frac{1}{3}}$$

$$Nu = 32.29$$

$$h_{ext2} = \frac{32.29(0.0253)}{0.3} = 2.72 \left(\frac{W}{m^2K} \right)$$

$$h_{ext2} = 2.72 \left(\frac{W}{m^2K} \right)$$

Flujo Paralelo

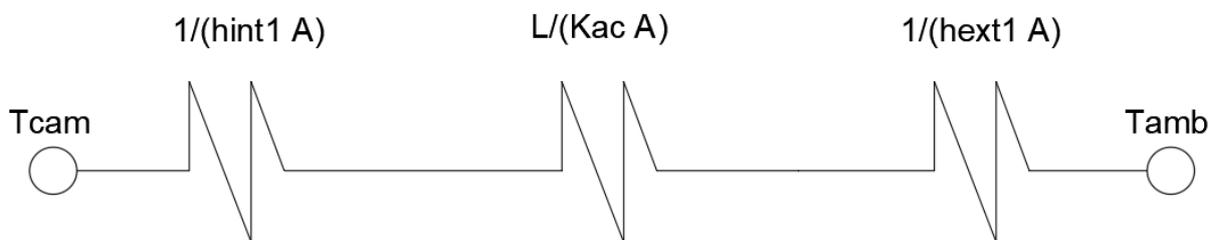


Figura A.20. Diagrama de resistencias: Flujo paralelo

Fuente: Elaboración propia

$$\dot{Q}_{paralelo} = \frac{T_2 - T_1}{\frac{1}{h_{int1}A} + \frac{e}{kA} + \frac{1}{h_{ext1}A}}$$

$$\dot{Q}_{paralelo} = \frac{60 - 28}{\frac{1}{(16.68)(0.09)} + \frac{0.002}{(54)(0.09)} + \frac{1}{(3.39)(0.09)}}$$

$$\dot{Q}_{paralelo} = 8.11 \text{ (Watts)}$$

Flujo Perpendicular

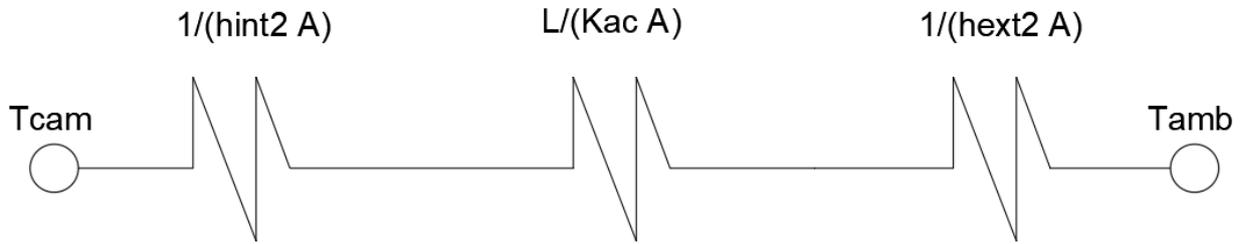


Figura A.21. Diagrama de resistencias: Flujo perpendicular

Fuente: Elaboración propia

$$\dot{Q}_{perpendicular} = \frac{T_2 - T_1}{\frac{1}{h_{int2}A} + \frac{e}{kA} + \frac{1}{h_{ext2}A}}$$

$$\dot{Q}_{perpendicular} = \frac{60 - 28}{\frac{1}{(19.51)(0.09)} + \frac{0.002}{(54)(0.09)} + \frac{1}{(2.72)(0.09)}}$$

$$\dot{Q}_{perpendicular} = 6.87 \text{ (Watts)}$$

Calor perdido hacia los alrededores

$$\dot{Q}_{perdida} = \dot{Q}_{perpendicular} + 3\dot{Q}_{paralelo}$$

$$\dot{Q}_{perdida} = 6.87 + 3(8.11)$$

$$\dot{Q}_{perdida} = 31.2 \text{ (Watts)}$$

Luego de realizar iteraciones tomando en cuenta pérdidas por transferencia de calor hacia el ambiente

$$\dot{W}_{flecha_{1-2}} + \dot{W}_{eléctrico_{1-2}} = 861.289 \text{ (Watts)}$$

$$\dot{V} = 0.00208 \left(\frac{m^3}{s} \right)$$

$$\dot{V} = 4.41 \text{ (CFM)}$$

$$\dot{Q}_{perdida} = 32.181 \text{ (Watts)}$$

PROGRAMACIÓN ARDUINO PARA TEMPORIZADORES

```
// Diseño de triturador y secador
// Temporizador con modulos de Reles
// Definir pines para reles
int rele1 = 4;
int rele2 = 7;

void setup() {
  // Configuración
  pinMode(rele1, OUTPUT); // Configurar rele1 como salida o OUTPUT
  pinMode(rele2, OUTPUT); // Configurar rele2 como salida o OUTPUT
  Serial.begin(9600); // Abrir el puerto serie a la velocidad de 9600bps para transmision de datos.
}

void loop() {
  // Código principal donde ocurren en loop
  digitalWrite(rele1, HIGH); // envia señal alta al rele 1
  Serial.println("Rele 1 accionado");
  digitalWrite(rele2, LOW); // envia señal baja al rele 2
  Serial.println("Rele 2 apagado");
  delay(1000 * 60 * 5);      // 5 minutos

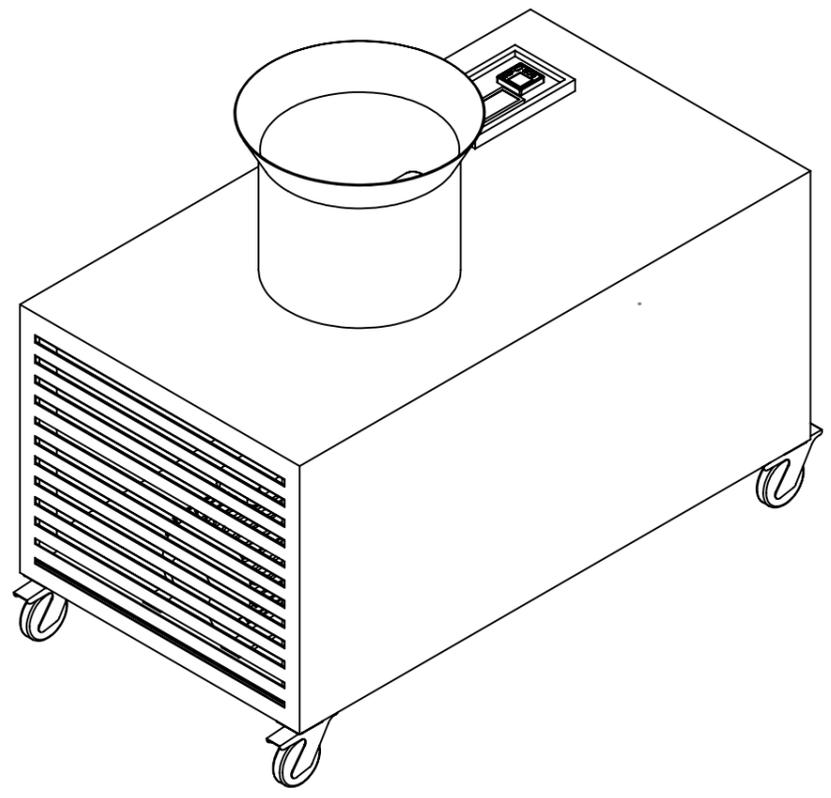
  digitalWrite(rele1, LOW); // envia señal baja al rele 1
  Serial.println("Rele 1 no accionado");
  digitalWrite(rele2, HIGH); // envia señal alta al rele 2
  Serial.println("Rele 2 accionado");
  delay(1000 * 3600 * 4);    // 4 horas
}
}
```

Figura A.22. Programación Arduino para temporizadores

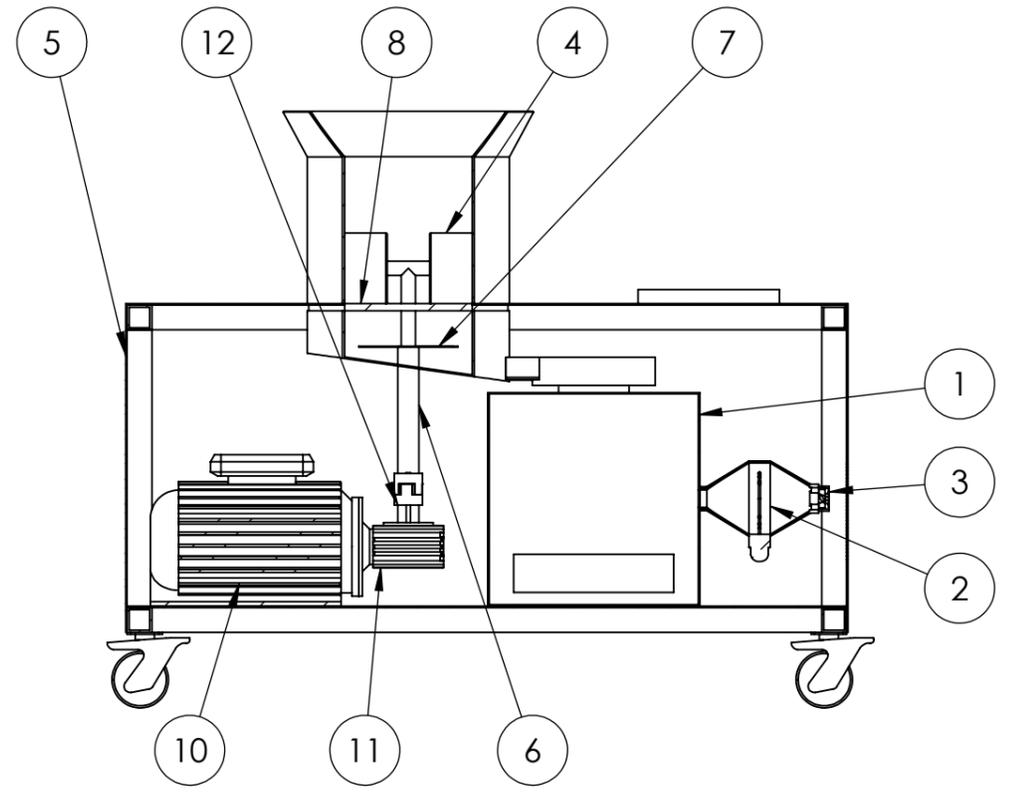
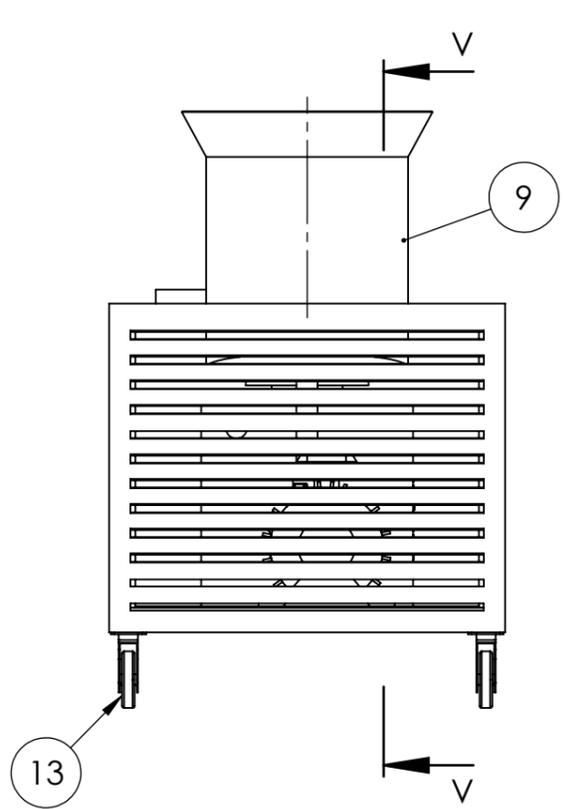
PLANOS DEL EQUIPO

8 7 6 5 4 3 2 1

F
E
D
C
B
A



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Cámara de Secado	1
2	Resistencia	1
3	Ventilador	1
4	Rodillos	2
5	Carcasa	1
6	Eje Motriz	1
7	Cuchillas	1
8	Matriz Cuadrada	1
9	Tolva de entrada Secador	1
10	Motor	1
11	Reductor	1
12	Acople	2
13	Ruedas	4



SECCIÓN V-V
ESCALA 1 : 10

TÍTULO:
Ensamble de la máquina trituradora
y secadora

NOMBRE	FIRMA	FECHA	Sistema:
DIBUJ. Torres R- Pillaje C		23/1/20	
VERIF. MsC. Galo Durazno		23/1/20	
APROB. MsC. Rndolfo Paz		23/1/20	

N.º DE DIBUJO: **1**

ESCALA:1:10

HOJA 1 DE 10

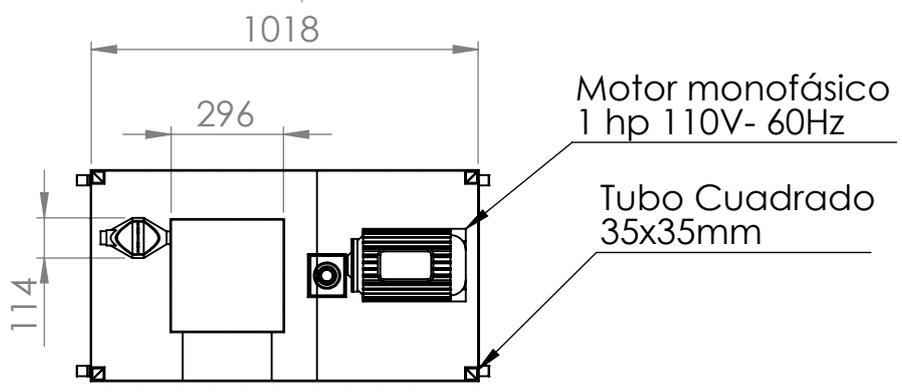
8 7 6 5 4 3 2 1

F
E
D
C
B
A

4 3 2 1

F

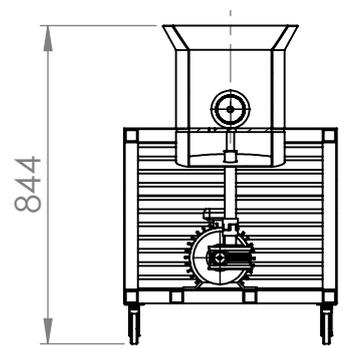
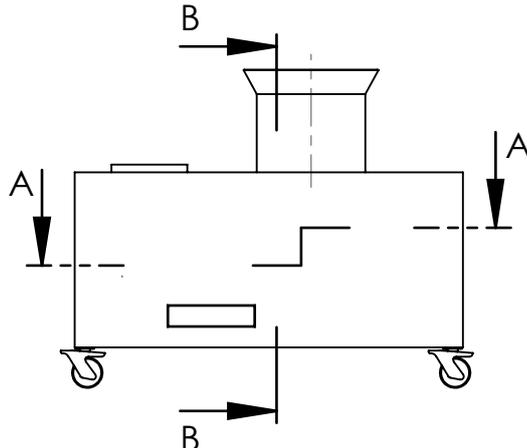
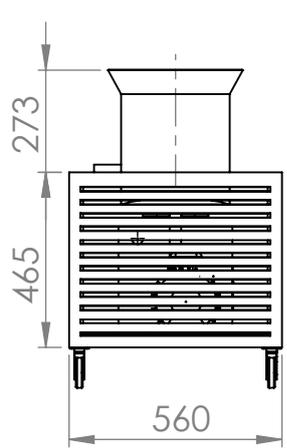
F



SECCIÓN A-A

E

E



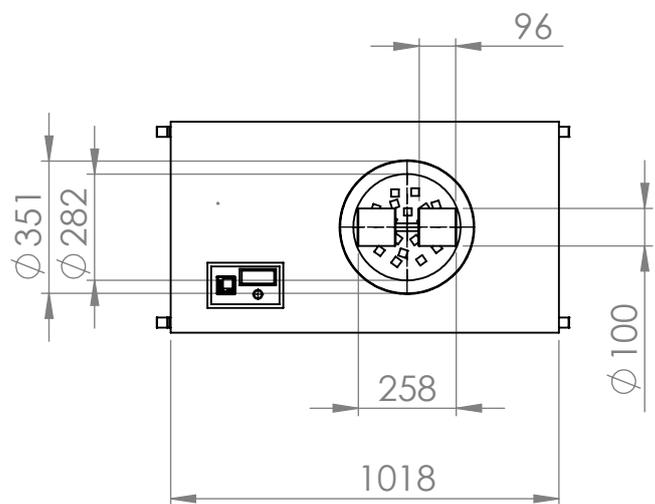
SECCIÓN B-B

D

D

C

C



B

B

TÍTULO:
Máquina trituradora y secadora

N.º DE DIBUJO
2

ESCALA: 1:20

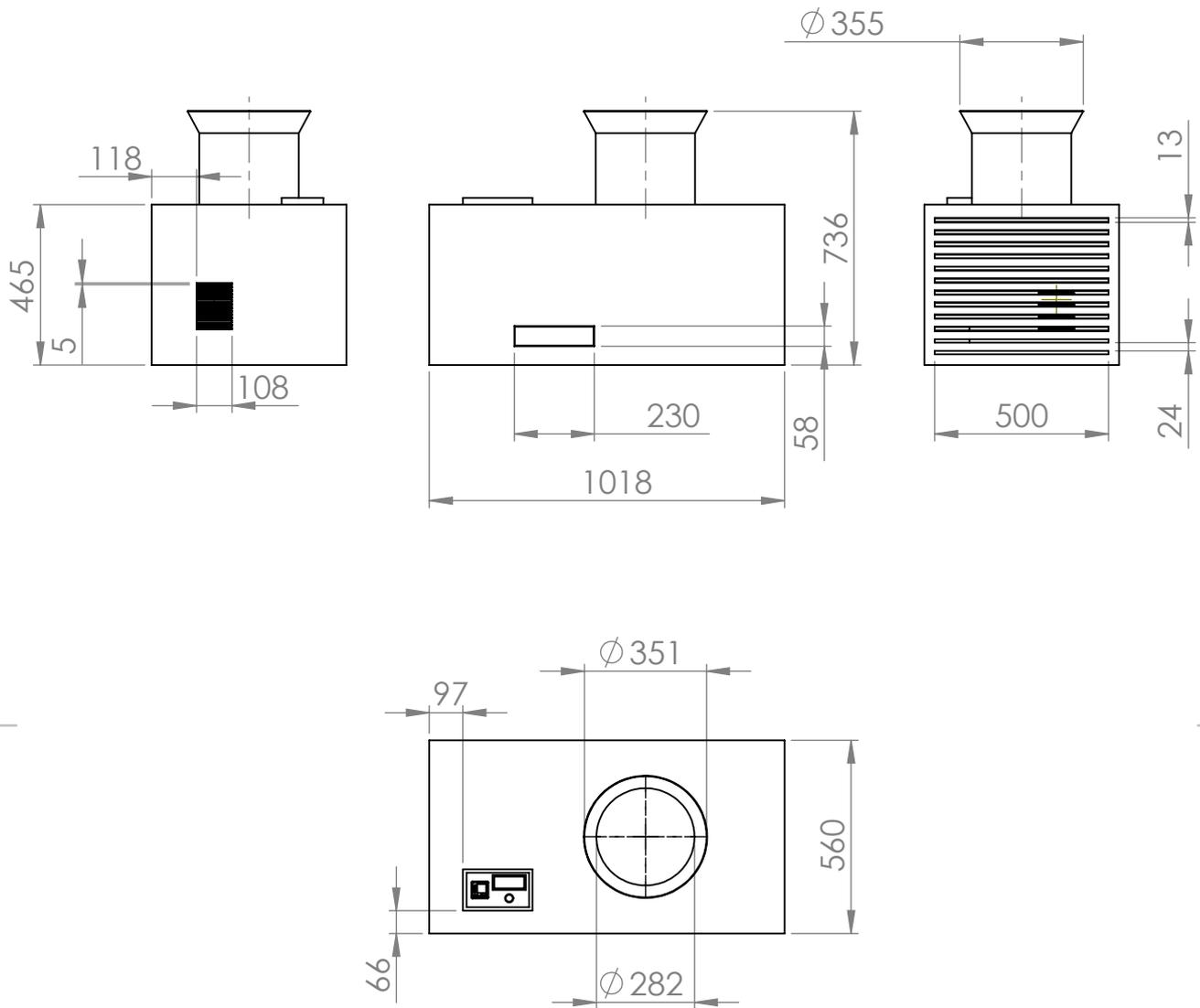
HOJA 2 DE 10

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	SISTEMA:
DIBUJ.	Torres R- Pillajo C		23/1/20	
VERIF.	MsC. Galo Durazno		23/1/20	
APROB.	MsC. Rodolfo Paz		23/1/20	

A

A

4 3 2 1



TÍTULO:

Carcasa de equipo

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	SISTEMA:
DIBUJ.	Torres R- Pillajo C		23/1/20	
VERIF.	MsC. Galo Durazno		23/1/20	
APROB.	MsC. Rodolfo Paz		23/1/20	

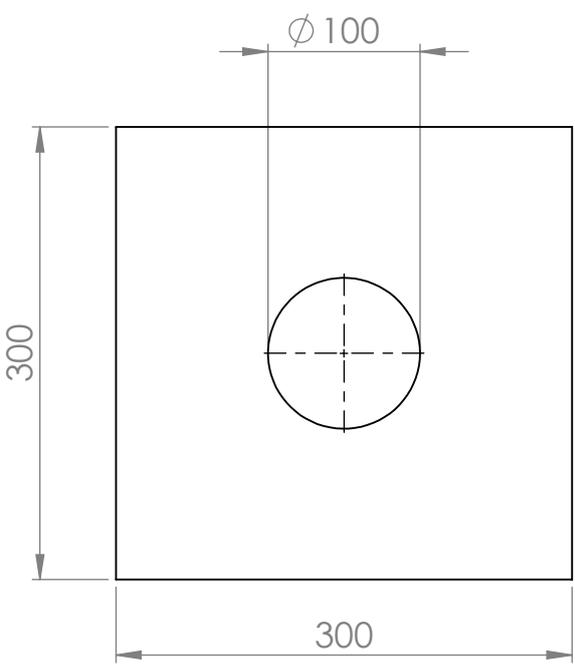
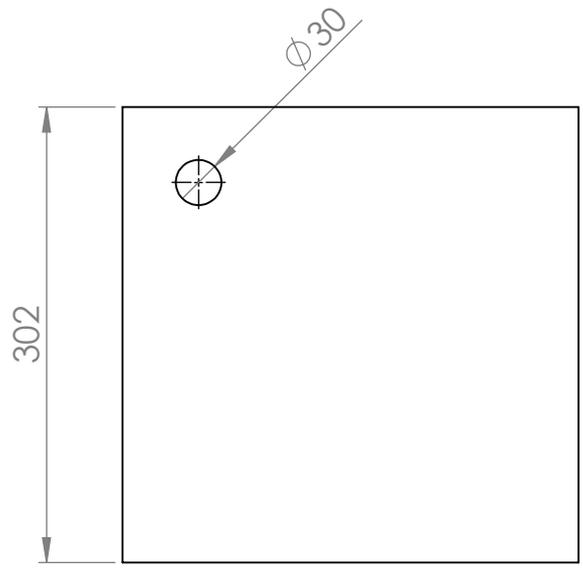
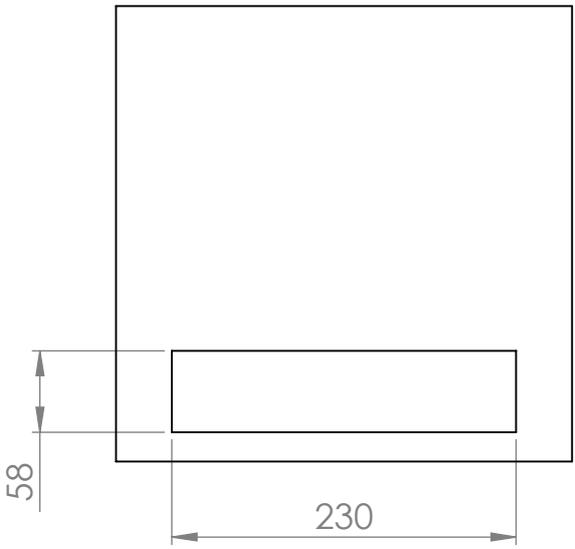
N.º DE DIBUJO

3

A4

ESCALA:1:20

HOJA 3 DE 10



TÍTULO:
Cámara de secado

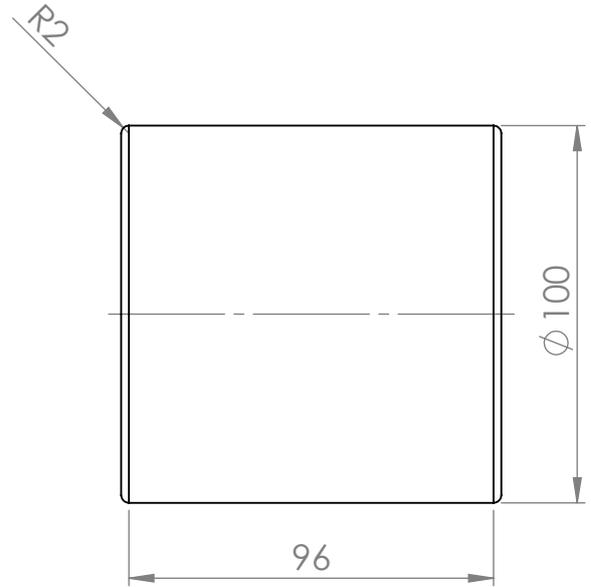
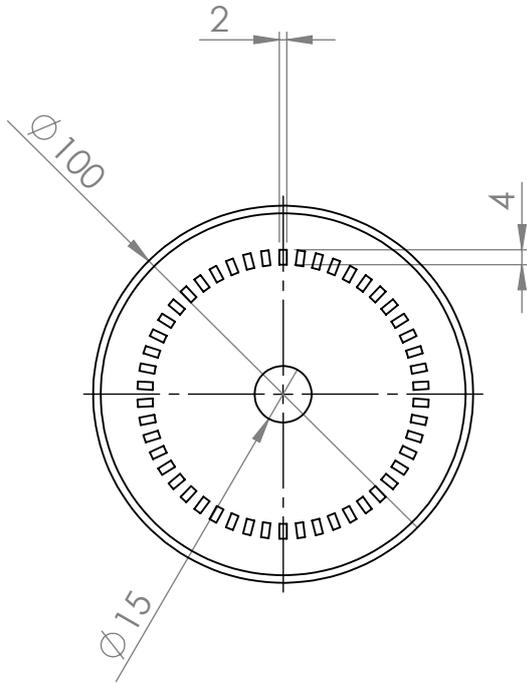
	NOMBRE	FIRMA	FECHA	SISTEMA:
DIBUJ.	Torres R- Pillajo C		23/1/20	
VERIF.	MsC. Galo Durazno		23/1/20	
APROB.	MsC. Rodolfo Paz		23/1/20	

N.º DE DIBUJO
4

ESCALA:1:5

HOJA 4 DE 10

A4



TÍTULO:

Rodillos

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	SISTEMA:
VERIF.	Torres R- Pillajo C		23/1/20	
DIBUJ.	MsC. Galo Durazno		23/1/20	
APROB.	MsC. Rodolfo Paz		23/1/20	

N.º DE DIBUJO

5

A4

ESCALA:1:2

HOJA 5 DE 10

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

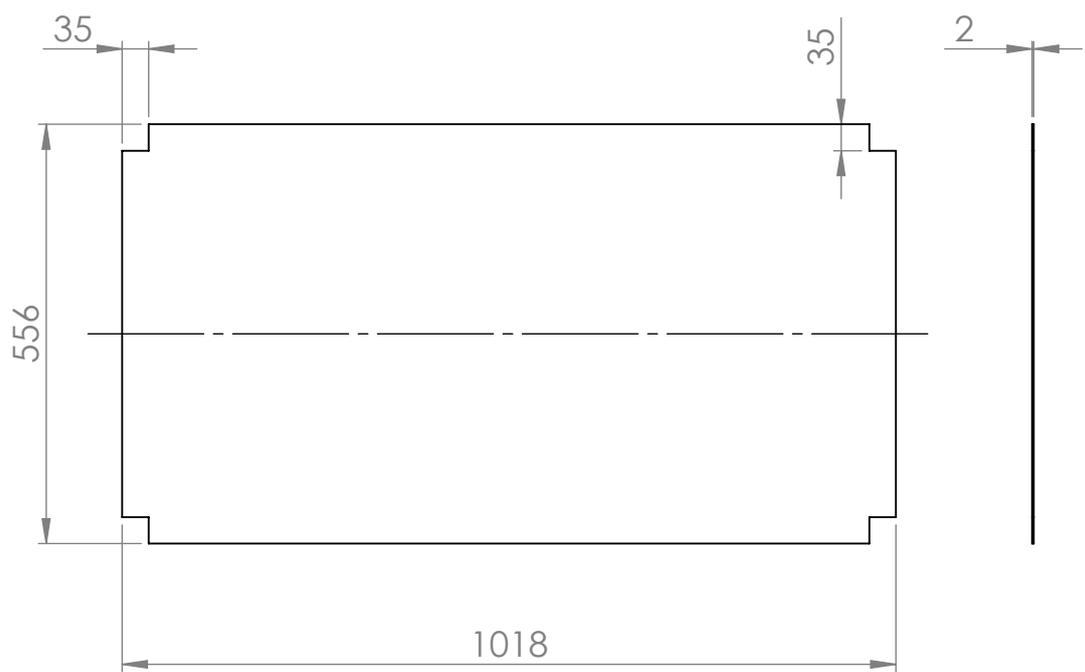
C

B

B

A

A

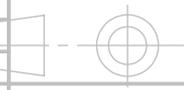


TÍTULO:
Plancha Base

N.º DE DIBUJO
6

ESCALA:1:10

HOJA 6 DE 10

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	SISTEMA:
DIBUJ.	Torres R- Pillajo C		23/1/20	
VERIF.	MsC. Galo Durazno		23/1/20	
APROB.	MsC. Rodolfo Paz		23/1/20	

4 3 2 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

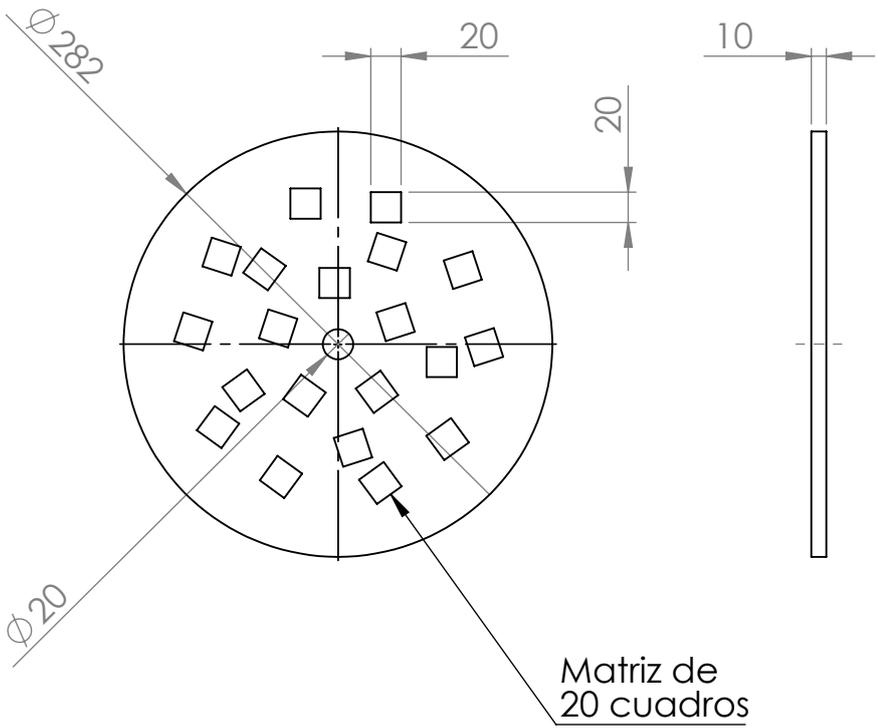
C

B

B

A

A



TÍTULO:
Matriz Cuadrada

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	SISTEMA:
DIBUJ.	Torres R- Pillajo C		23/1/20	
VERIF.	MsC.Galo Durazno		23/1/20	
APROB.	MsC. Rodolfo Paz		23/1/20	

N.º DE DIBUJO
7

A4

ESCALA:1:5 HOJA 7 DE 10

4 3 2 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

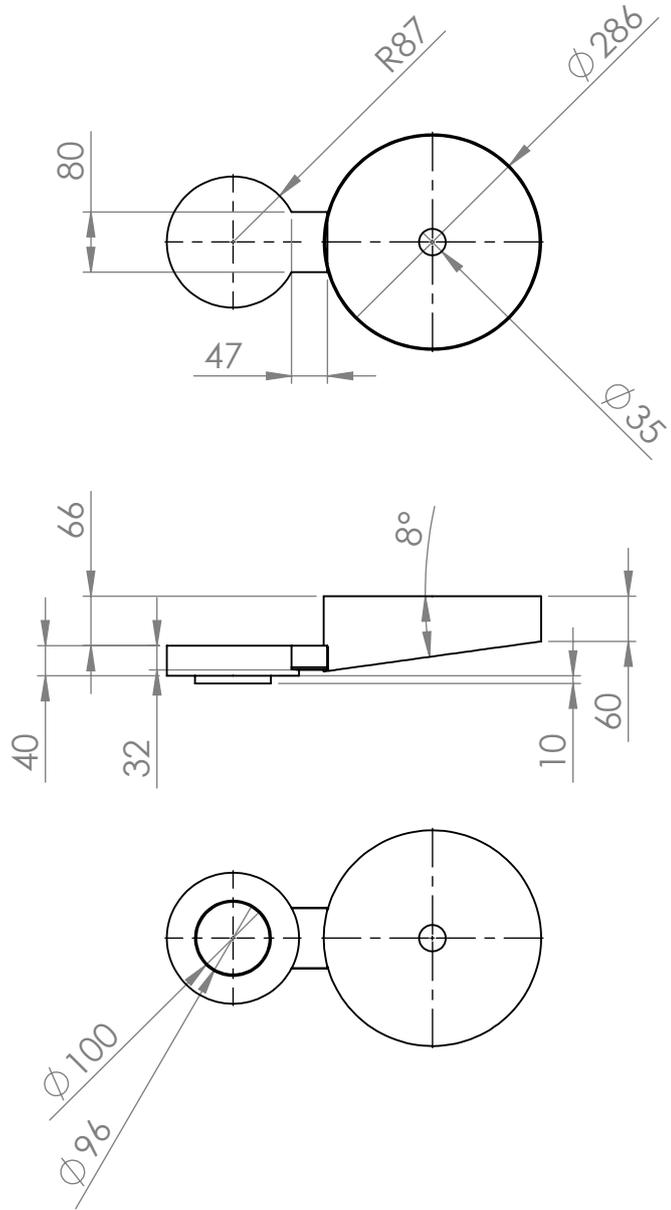
C

B

B

A

A



TÍTULO:
**Tolva de ingreso de
 residuos a cámara de
 secado**

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	SISTEMA:
DIBUJ.	Torres R- Pillajo C		23/1/20	
VERIF.	MsC. Galo Durazno		23/1/20	
APROB.	MsC. Rodolfo Paz		23/1/20	

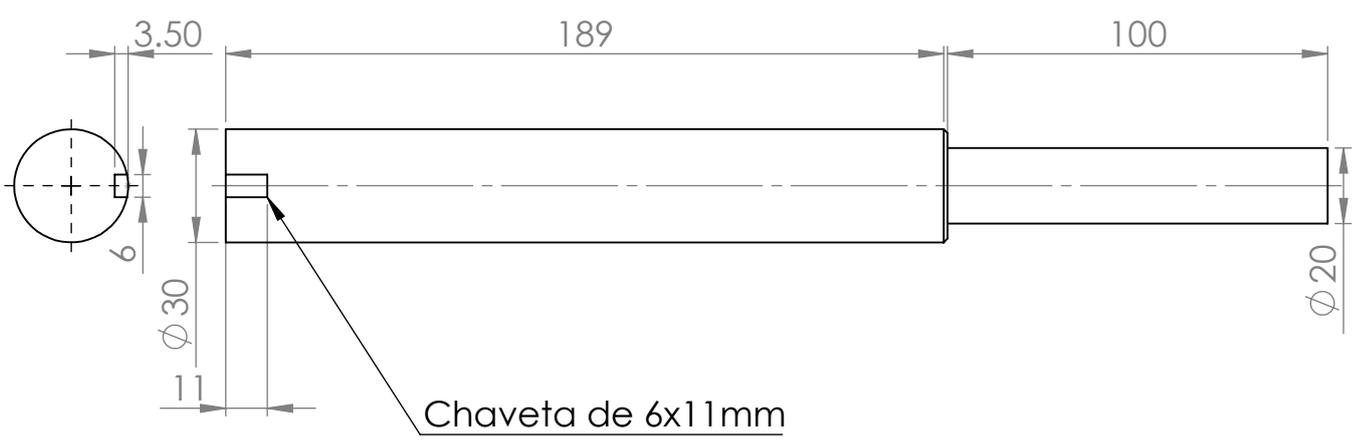
N.º DE DIBUJO
8

ESCALA:1:10

HOJA 8 DE 10

A4

4 3 2 1



Chaveta de 6x11mm



TÍTULO:
Eje principal y secundario

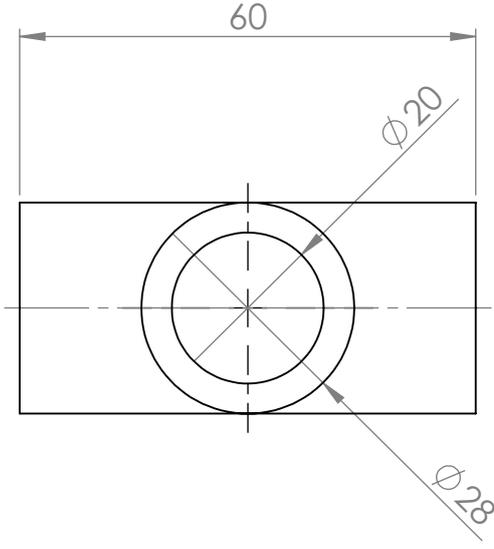
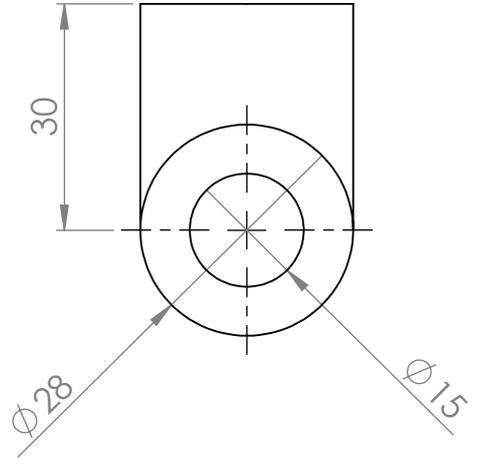
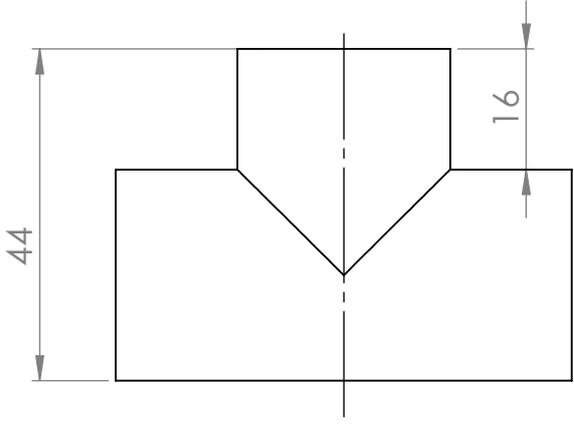
	NOMBRE	FIRMA	FECHA	SISTEMA:
DIBUJ.	Torres R- Pillajo C		23/1/20	
VERIF.	MsC. Galo Durazno		23/1/20	
APROB.	MsC. Rodolfo Paz		23/1/20	

N.º DE DIBUJO
9

ESCALA:1:2

HOJA 9 DE 10

A4



TÍTULO: Tee

N.º DE DIBUJO: 10

ESCALA: 1:1

HOJA 10 DE 10

A4

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	SISTEMA:
DIBUJ.	Torres R- Pillajo C		23/1/20	
VERIF.	MsC. Galo Durazno		23/1/20	
APROB.	MsC. Rodolfo Paz		23/1/20	