

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la

Producción

"Diseño de equipos para la deshidratación de alfalfa mediante un quemador de biomasa"

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Materia Integradora

Previo la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentado por:

Luis Fernando Leal Zavala

Mario Jamil Salame Barzola

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2016

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por su protección y bendiciones.

A mis padres por su amor incondicional, ustedes son parte fundamental en mi vida.

A Karol, Emilia, Paula y Vanessa por su constante apoyo para la culminación de esta meta.

Luis Leal

Agradezco a mi madre por su ayuda y formación como persona

A mi esposa por su amor y comprensión; a mis hermanos y a todos los que han aportado en mi formación profesional todo este tiempo.

Mario Salame

DECLARACIÓN EXPRESA

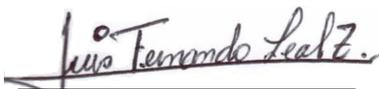
“La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de la materia integradora corresponde exclusivamente al equipo conformado por:

Luis Fernando Leal Zavala

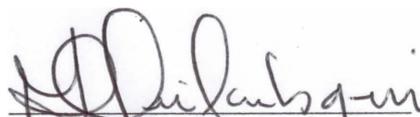
Mario Jamil Salame Barzola

Miguel Quilambaqui Jara, Ph.D

Y el patrimonio intelectual del mismo a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP) de la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.



Luis Fernando Leal Zavala



Miguel Quilambaqui Jara, Ph.D



Mario Jamil Salame Barzola

RESUMEN

El desarrollo de este proyecto es el diseño de equipos para la deshidratación de alfalfa en fibras largas para un sector agrícola de la provincia de Cotopaxi, teniendo un flujo promedio de alfalfa de 500 kg/h, donde se busca disminuir la humedad desde 46% hasta 13%, esto debe ser en un tiempo mínimo con el fin de reducir altamente las degradaciones de vitaminas y proteínas del producto, y que sirva de alimento en la producción de leche para el ganado

El diseño contempló cálculos psicrométrico y termodinámico con los que se determinó la potencia calorífica que debe generar el quemador; también los flujos y balance de masas en el proceso. En la sección de cálculos para el secador y componentes auxiliares se realizaron las evaluaciones respectivas para lograr determinar las dimensiones y consumos de potencia. La alfalfa ingresa al secador por una banda transportadora, luego de secado la alfalfa cae a otra banda transportadora de descarga la cual contiene un túnel de enfriamiento del producto seco previo al ingreso a la prensa de empaclado.

Realizamos el análisis de resultados con lo que se pudo determinar si los valores encontrados se encuentran dentro de valores esperados según parámetros de constructibilidad para los equipos seleccionados y de factibilidad técnica para el proceso. Con las especificaciones y características técnicas de los equipos se procedió con el análisis económico para determinar sus costos.

Las conclusiones encontradas determinan el uso práctico del quemador de biomasa de astilla de madera para el proceso de deshidratación propuesto, en base al análisis de resultados también se pueden concluir que las proporciones dimensionales encontradas son las óptimas para el proceso. Las recomendaciones citadas ayudarían para en un futuro la fabricación de los equipos seleccionados.

Palabras clave: alfalfa, humedad, psicrométrico, termodinámico, secador, quemador, biomasa, ganado.

ABSTRACT

The development of this project is the design of equipment for the dehydration of alfalfa into long fibers for the agricultural sector in the province of Cotopaxi, with an average flow of 500 kg/h of alfalfa, which seeks to reduce humidity from 46% to 13%, this should be at a minimum time, in order to greatly reduce the degradation of vitamins and protein product and serve as food in milk production for cattle

The design method consists of psychrometric and thermodynamic calculations with that we proceed to determine the heating power to be generated by the burner, also flows and mass balance necessary in the process. In the calculations section for the dryer and auxiliary components the respective evaluations were conducted to determine the dimensions and power consumptions. Alfalfa gets in the dryer by a conveyor belt, after the drying, alfalfa falls to another discharge conveyor, which contains a cooling tunnel of the dried product before entering the media packaging.

We analyze the results with what it could be determined if the values found are within expected parameters according to the selected constructability and technical feasibility of the process equipment values. With the specifications and technical characteristics of the equipment, we proceeded with economic analysis in order to determine their costs.

The conclusions found determine the practical use of biomass burner wood chips for the dehydration process proposed, based on the analysis results can also be concluded that the aspect ratios found are optimal for the process. The above recommendations would help in the future to manufacture selected equipment.

Key words: *alfalfa, humidity, psychrometric, thermodynamic, dryer, burner, biomass, cattle.*

INDICE

RESUMEN.....	I
ABSTRACT.....	II
ABREVIATURAS.....	V
SIMBOLOGÍA.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	X
ÍNDICE DE PLANOS.....	XI
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Descripción del problema.....	1
1.2 Objetivos.....	2
1.2.1 Objetivo principal	2
1.2.2 Objetivos específicos.....	2
1.3 Marco Teórico	2
1.3.1 Uso de alfalfa e importancia económica.....	2
1.3.2 Características y propiedades de la alfalfa.....	3
1.3.3 Equipos apropiados para el secado de sólidos.....	4
1.3.4 Quemadores de biomasa.....	7
1.3.5 Sistemas de enfriamiento	9
1.3.6 Equipos auxiliares para el proceso.	9
2. METODOLOGÍA DEL DISEÑO.....	14
2.1 Cálculos Termodinámicos y psicrométricos aplicados.....	16
2.2 Selección de equipos y características de operatividad.....	22
2.3 Cálculos y dimensionamiento de secador rotativo.....	25
2.4 Cálculos y dimensionamiento de quemador de biomasa.....	32
2.5 Cálculos y dimensionamiento de separador ciclónico.....	40
2.6 Cálculos y selección de ventiladores.....	44
2.7 Cálculos y dimensionamiento de banda transportadora.....	46

2.8	Cálculos y dimensionamiento de sistema de enfriamiento.....	50
3.	RESULTADOS.....	52
3.1	Materiales y procesos de fabricación.....	53
3.2	Análisis de costos.....	55
3.3	Análisis de resultados y factibilidad técnica.....	60
4.	DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	61
4.1	Conclusiones.....	61
4.2	Recomendaciones.....	62

BIBLIOGRAFÍA

APENDICE

PLANOS ESQUEMÁTICOS

ABREVIATURAS

Msnm	Metros sobre el nivel del mar
INAMHI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
EES	Engineering Equation Solver
NTU	Número de unidades de transferencia
RPM	Revoluciones por minuto
AICE	American Institute of Chemical Engineers
ASTM	American Society for Testing and Materials
GMAW	Gas Metal Arc Welding
AISI	American Iron and Steel Institute

SIMBOLOGÍA

°C	Grados centígrados
Hp	Caballos de fuerza
Kg	Kilogramo
KPa	Kilo pascales
KJ	KiloJoules
S	segundos
°K	Grados Kelvin
µm	Micrómetro
mm	Milímetro
Min	Minuto
M	Metros
Kw	Kilowatts
<i>kmol</i>	Kilomol
\bar{d}_p	Diámetro de partícula
Ø	Diámetro
Re	Reynolds
T	Temperatura
T _m	Temperatura media
P	Presión
w	Humedad absoluta
h	Entalpía
φ	Humedad relativa
$\dot{m}_{p;i}$	Flujo alfalfa húmeda al ingreso
$\phi_{p;i}$	Humedad inicial de la alfalfa
$\phi_{p;f}$	Humedad final de la alfalfa
T _{p;i}	Temperatura entrada de la alfalfa
T _{p;f}	Temperatura salida de la alfalfa
ρ _p	Densidad de la alfalfa

C_{p_p}	Calor específico de la alfalfa
$d_{50,p}$	Diámetro promedio de partícula
C_{air}	Calor específico del aire
\dot{m}_{air}	Flujo de aire para secado
\dot{m}_{sol}	Flujo alfalfa sólida
$\dot{m}_{p,f}$	Flujo salida de alfalfa
$\dot{m}_{agua,i}$	Cantidad de agua al ingreso
$\dot{m}_{agua,f}$	Cantidad de agua al salir
\dot{m}_{evap}	Flujo de agua evaporada
$C_{p_{agua}}$	Calor específico del agua
$C_{p_{vap}}$	Calor específico vapor de agua
$h_{w;fg}$	Calor latente evaporización del agua
\dot{Q}_2	Calentamiento de la alfalfa sólida
\dot{Q}_3	Calentamiento del agua remanente en el producto
\dot{Q}_{tot}	Flujo de calor total
f	Factor de diseño del tipo de secador.
T_w	Temperatura de pared
$T_{air;Sat}$	Temperatura saturación aire a entrada del secador
$\dot{Q}_{tot;2}$	Flujo total de calor necesario corregido
$\dot{m}_{air,0}$	Flujo másico total desde la cámara de combustión
$C_{p_{air}}$	Calor específico del aire
D_e	Diámetro equivalente
Vel	Velocidad del aire
A_{flujo}	Área de flujo
D	Diámetro del secador
Pot_{rot}	Consumo potencia de giro
η	Eficiencia global
τ	Tiempo de residencia
N_{rot}	Velocidad de rotación

PCI_{am}	Poder calorífico de la astilla
\dot{m}_f	Flujo de combustible necesario para la combustión
ρ_{am}	Densidad astilla de madera
\dot{Q}_{am}	Capacidad nominal del quemador
$\dot{V}_{f,nom}$	Consumo real nominal de combustible
Vol_{tolva}	Volumen de tolva

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Tipos de secadores.....	5
Figura 1.2	Caldera de biomasa.....	7
Figura 1.3	Ventilador de álabes curvados hacia adelante	10
Figura 1.4	Ventilador de álabes rectos o salida radial.	10
Figura 1.5	Ventilador de álabes curvados hacia atrás	11
Figura 2.2	Resumen Año 2010 de temperatura y humedad en Rumipamba.	17
Figura 2.3	Diagrama psicrométrico de puntos.	19
Figura 2.4	Perfiles de temperatura para el secado de alfalfa.....	25
Figura 2.5	Cintas de apoyo radial	30
Figura 2.6	Soportes axiales	30
Figura 2.7	Tolva para biocombustible de quemador.....	35
Figura 2.8	Parrilla de quemador.....	36
Figura 2.9	Intercambiador de calor en quemador	37
Figura 2.10	Medidas del ciclón colector convencional Swift.	41
Figura 2.11	Curvas de recolección de partículas a diámetros d_p para 3 diferentes diámetros del ciclón.....	43
Figura 2.12	Esquema de ventilador centrífugo	45
Figura 2.13	Esquema de banda transportadora de alimentación.....	46
Figura 2.14	Rodillos de banda transportadora.....	46
Figura 2.15	Coeficiente C_1 para bandas transportadoras	47
Figura 2.14	Esquema de banda para descarga y enfriamiento de alfalfa	48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1	Tipo de secador según el sólido y el proceso	6
Tabla 1.2	Densidad aparente de varios tipos de combustible de madera.	8
Tabla 2.1	Resultados de análisis psicrométrico.....	18
Tabla 2.2	Datos para secado de alfalfa	19
Tabla 2.3	Resultados para balance de masas.....	20
Tabla 2.4	Resultados para flujos de calor.....	21
Tabla 2.5	Matriz de decisiones	23
Tabla 2.6	Equipos auxiliares para el sistema de secado de alfalfa.....	24
Tabla 2.7	Combustión estequiométrico de astillas de madera $\frac{kg}{h}$	33
Tabla 2.8	Flujos de aire seco y vapor de agua presentes en el proceso	34
Tabla 2.9	Datos para ciclón colector.....	40
Tabla 2.10	Dimensiones de ventilador centrífugo.....	45
Tabla 3.1	Materiales y procesos principales de fabricación por equipos.	54
Tabla 3.2	Costos por mano de obra de fabricación	55
Tabla 3.3	Costos por mano de obra de instalación y puesta en marcha	55
Tabla 3.4	Costos por materiales en secador rotatorio	56
Tabla 3.5	Costos por materiales en 2 bandas transportadoras	57
Tabla 3.6	Costos por materiales en sistema de enfriamiento	57
Tabla 3.7	Costos por materiales en transportador sinfín	58
Tabla 3.8	Costos por materiales en ciclón colector	58
Tabla 3.9	Costos por materiales en quemador de biomasa.....	59

ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1 ESQUEMA GENERAL DE EQUIPOS (VISTAS ISOMÉTRICAS)

PLANO 2 ESQUEMA DE SECADOR ROTATORIO

PLANO 3 TAMBOR ROTATORIO

PLANO 4 CABEZALES DE ENTRADA Y SALIDA

PLANO 5 QUEMADOR DE ASTILLAS DE MADERA 300 KW

PLANO 6 CICLÓN COLECTOR

PLANO 7 VENTILADOR CENTRÍFUGO

PLANO 8 BANDA TRANSPORTADORA DE ALIMENTACIÓN

PLANO 9 BANDA TRANSPORTADORA DE DESCARGA

CAPITULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción del problema

El desarrollo del sector ganadero del Ecuador, está relacionado directamente con el tipo y calidad de forrajes que podemos encontrar en el país (Ing. Felipe Alba, 2010), tales como: alfalfa, leguminosas, pastos, etc. Una correcta alimentación al ganado bovino, ayuda a mantener características genéticas de alta producción, las mismas que se perderían si la alimentación fuese deficiente.

El crecimiento y desarrollo de las plantas forrajeras del tipo leguminosas ocurre en la época invernal, debido a la humedad presente en el ambiente. El principal problema se da en la época de verano, debido a la sequía que ocurre durante esta temporada. Por esta razón se hace necesario conservar el excedente de forraje, producto de la época lluviosa a fin de ser aprovechado durante las épocas críticas.

Las fibras largas de alfalfa, son un tipo de forraje bastante usado en el país, dado que son una buena fuente de minerales y vitaminas como: calcio, fosforo, magnesio, potasio, cinc, cobre, hierro, vitamina C, D, E y K. Además al ser un alimento rico en fibra, estimula la masticación y asegura el buen funcionamiento mecánico de la rumia, lo cual permite a los animales rumiantes tener una mejor digestión, lo que resulta favorable para las vacas lecheras dado que brindan una mejor calidad y cantidad en su leche.

Con el fin de conservar de una manera apropiada las fibras de alfalfa, se recomienda que estas posean una humedad menor al 15%. Actualmente la deshidratación de esta leguminosa se la realiza artesanalmente en la región Sierra de Ecuador, haciendo uso de batchs (lotes) para obtener un secado ambiental en cobertizos, por esta razón el producto no llega a obtener la humedad recomendada,

llegando tan solo a un 30%, esto implica además, que por el tiempo prolongado de exposición al ambiente, este absorberá microorganismos dañinos para el mismo.

Por esta razón se propone realizar el diseño de los equipos necesarios para la deshidratación de alfalfa de forma continua, tales como: Quemador de biomasa, secador rotativo, separador ciclónico, túnel de enfriamiento, banda transportadora, y demás equipos auxiliares.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo principal

El objetivo principal es determinar las especificaciones técnicas y costos de los equipos necesarios para el proceso de deshidratación de alfalfa en fibras largas, asumiendo la capacidad de 500 kg/h de producción.

1.2.2 Objetivos específicos

Los objetivos específicos se detallan a continuación:

- Obtener una humedad menor al 15% en las fibras largas de alfalfa luego del proceso de secado.
- Investigar los procesos industriales para el correcto secado de forrajes.
- Determinar los parámetros necesarios para el diseño de un quemador de biomasa.

1.3 Marco Teórico

1.3.1 Uso de alfalfa e importancia económica

Dentro de las plantas forrajeras del tipo de leguminosas, la alfalfa podría considerarse la de mayor importancia para la alimentación de animales rumiantes, posee superficie cultivada superior a 23 millones de hectáreas en el mundo, y constituye el cuarto forraje en áreas cultivables en el planeta. De acuerdo a (Hu Yuegao, 2010) las principales regiones con mayor producción de alfalfa son Norte América con 11,9 millones de hectáreas (41%), Europa con 7,12 millones de hectáreas (25%), Sur América con 7 millones de hectáreas (23%), Asia con 2,23

millones (8%), África (2%) y Oceanía (1%). Los principales países productores de alfalfa (en millones de hectárea) son Estados Unidos (9), Argentina (6,9), Canadá (2), Rusia (1,8), Italia (1,3), China (1,3), entre otros países.

Según el III Censo Nacional Agropecuario del 2001 en el Ecuador existían 26341 hectáreas cultivadas de alfalfa, además se contabilizaron 70 683 unidades productivas agropecuarias de esta planta.

Actualmente solo en la región Sierra existen cerca de 194000 hectáreas cosechadas de alfalfa (Ministerio de agricultura, 2011). La importancia del cultivo de la alfalfa va desde su interés como fuente natural de proteínas, fibra, vitaminas y minerales. La ganadería intensiva es la que ha demandado de forma regular los alimentos que ha tenido que proveer la industria, dando lugar al cultivo de la alfalfa.

1.3.2 Características y propiedades de la alfalfa

La alfalfa (*Medicago sativa*, L) es una planta herbácea de aptitud forrajera, pertenece a la familia de las leguminosas. Tiene su área de origen en Asia menor y sur del Cáucaso, abarcando países como Turquía, Irak, Irán, Siria y Pakistán. (Ugarriza, 2009).

Su promedio de vida varía de 5 a 7 años dependiendo de: variedad, clima, agua y suelo. Las plantas nuevas desarrollan una raíz principal pivotante que penetra rápidamente, llegando a las profundidades de 1,5-2 metros. Posee una corona que sale del terreno, de la cual emergen brotes que dan lugar a los tallos.

El 10% de su peso son minerales entre los que se puede mencionar, Fósforo, hierro, azufre, potasio. El 22 % de su peso son proteínas. Además la alfalfa también contiene enzimas digestivas, cumarinas e isoflavonas.

En animales rumiantes tiene beneficios adicionales, tales como el estímulo de la rumia, y el aumento de la salivación que se provoca en el ganado, mientras más grande sea la fibra de la alfalfa, mayor será el estímulo que le provoque, además

el aumento de salivación ayuda a controlar el PH, lo que evita problemas posteriores con la rumia.

1.3.3 Equipos apropiados para el secado de sólidos.

La deshidratación por secado convectivo es una técnica que mediante la evaporación logra separar el contenido líquido de un sólido. Este procedimiento de secado sigue un número de condiciones físicas necesarias para la disminución de humedad por medio de una corriente de aire a mayor temperatura y un área apropiada para la transferencia de calor y de masa.

El secado de sólidos, térmicamente, consiste en la eliminación de un líquido por evaporación (conversión en vapor), de esta manera separándolo del sólido; para ello es necesario el aporte de energía en forma de calor.

En el proceso de secado convectivo la humedad se elimina en forma de vapor por la corriente de gas (generalmente aire). El secado puede ser acelerado por la velocidad, temperatura, humedad y dirección del aire de secado.

Los métodos por el cual el gas entra en contacto con un lecho de sólidos pueden ser en flujo paralelo, flujo perpendicular y por circulación directa. Respecto a los sentidos de flujo entre los sólidos y el gas de secado, hay tres términos que definen la forma del proceso:

- Flujo de gas en corriente paralela.
- Flujo de gas a contracorriente.
- Flujo transversal de gas

Basados en la transferencia de calor a los sólidos húmedos, los secadores se clasifican en los siguientes grupos:

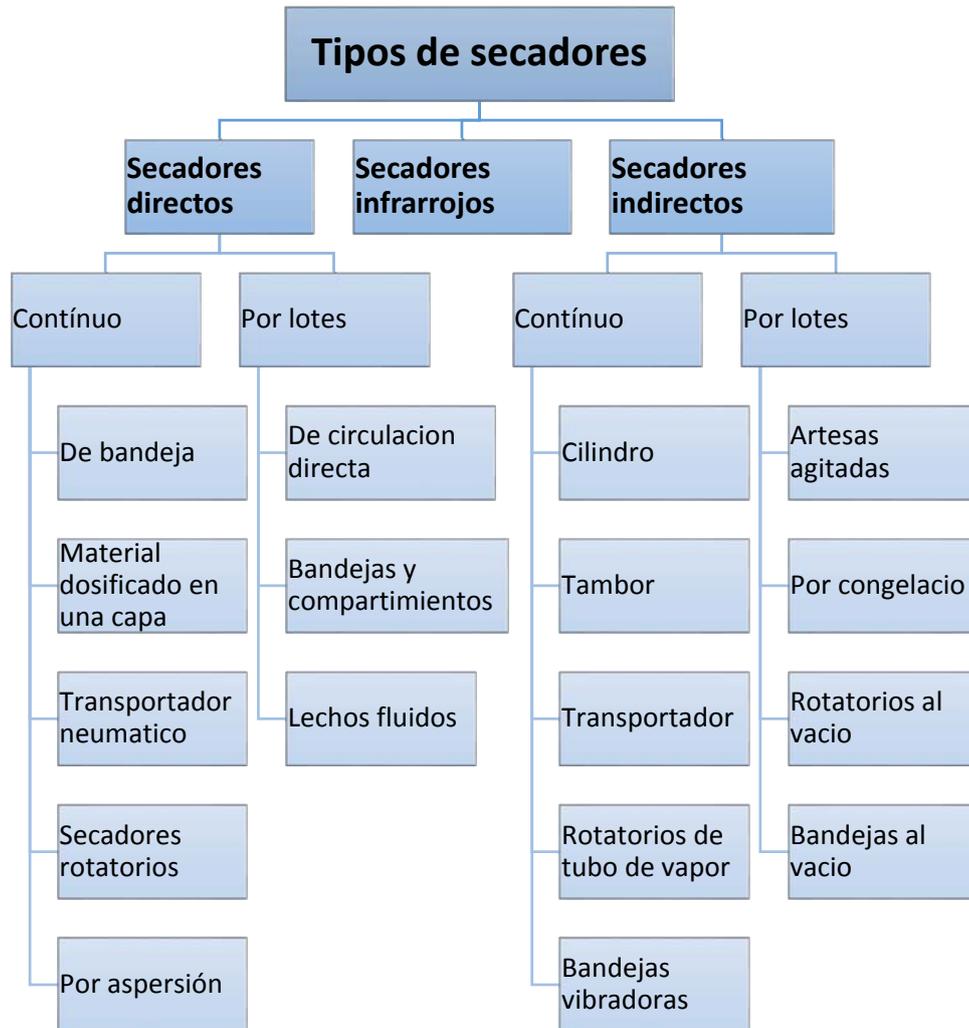


Figura 1.1 Tipos de secadores
 (Manual Ingeniero Químico, Perry, 1984)

Para seleccionar los equipos adecuados para un proceso de secado general, se debe escoger el equipo que sea más conveniente para manejar el material mojado y el producto seco, que se adapten a la continuidad del proceso como un todo y generen un producto de las propiedades físicas deseadas.

Los secadores seleccionados de esta manera se deben evaluar en forma aproximada, basándose en los datos de costo y funcionamiento. Partiendo de esta evaluación, los secadores que parezcan ser menos económicos o poco apropiados desde el punto de vista de su funcionamiento no se deberán someter a consideraciones subsecuentes.

Para los sólidos granulares presentamos en la siguiente tabla los tipos de secadores apropiados y sus características apropiadas de funcionamiento:

Tipo de secador	Sólidos granulares, cristalinos o fibrosos mayores que malla 100.
De bandejas y compartimentos. Tipo directo, operación por lotes	Apropiado para operaciones por lote. A grandes capacidades, los costos de inversión u operación son elevados. Tiempo de secado prolongado.
De túnel. Continuo, de bandeja. Tipo directo de operación continua.	Esencialmente a gran escala, secado semi-continuo en bandejas.
Rotatorio directo. Tipo directo, operación continua.	Apropiado para la mayoría de las capacidades. La abrasión de polvo o cristales reduce su utilidad.
De transportador neumático. Tipo directo de operación continua.	Apropiado para materiales que se suspenden fácilmente en una corriente de gas. Muy apropiado para grandes capacidades. Puede ser que el producto sufra cierta degradación física.
De parrilla al vacío. Tipo indirecto, operación por lotes.	Apropiado para operaciones por lotes a capacidades reducidas. Útiles para materiales sensibles al calor o fácilmente oxidables. Los disolventes se pueden recuperar.
Por congelación al vacío. Tipo indirecto, operación por lotes o continua.	Es costoso. Casi siempre se utiliza con productos farmacéuticos y relacionados, difíciles de secar por otros medios. Es aplicable a compuestos químicos finos.
De artesa. Tipo indirecto, operación por lotes.	Apropiado para lotes pequeños. Se limpia con facilidad. El material se agita durante el secado generando cierta degradación.
Rotatorio al vacío. Tipo indirecto, operación por lotes.	Útil para lotes grandes de materiales sensibles al calor o cuando se deben recuperar los disolventes. El producto se somete a cierto grado de trituración. Es probable que se necesiten colectores de polvo.
Rotatorio indirecto y transportador de tornillo. Tipo indirecto, operación continua.	Pocas pérdidas de polvo. El material no debe adherirse ni ser sensible a la temperatura.
Lechos fluidos. Por lotes continuos, directos e indirectos.	Es adecuado para cristales, gránulos y fibras cortas.
De bandejas vibratorias. Tipo indirecto operación continua.	Apropiado para materiales de movimiento libre que se pueden transportar en una bandeja vibratoria.
Infrarrojo. Operación por lotes o continua.	Apropiado sobre todo para secar la humedad superficial. No es adecuado para capas gruesas.
Dieléctrico. Operación por lotes o continuo.	Muy costoso.

Tabla 1.1 Tipo de secador según el sólido y el proceso
(Manual Ingeniero Químico, Perry, 1984)

La selección de los equipos para un proceso de secado se da por los siguientes parámetros:

- Equipos apropiados para el secado, transporte e interacción del gas con la alfalfa, como producto alimenticio.
- Funcionabilidad general del sistema: secado y separador de granos.
- Medio de calentamiento para aire de secado.
- Puntos de carga y descarga de la alfalfa.
- Bajos costos iniciales.
- Fácil operatividad, mantenimiento no muy complicado.

1.3.4 Quemadores de biomasa

El uso de biomasa, usualmente significa cualquier tipo de materia biológica que este en condición de ser quemada, con el fin de producir energía, ciertos tipos de biomasa que podemos encontrar son los siguientes: madera en astilla, leña o refinada (pellets), cascarilla de arroz, nuez, huesos de aceituna, etc.

Los sistemas de combustibles sólidos requieren de una cuidadosa integración de sus componentes para asegurarse que toda la operación funcione sin problemas, entre los cuales podemos nombrar:

- Facilidad para el almacenaje de combustible.
- Una chimenea para la expulsión de gases de combustión
- Equipos para control y desalojo de cenizas.

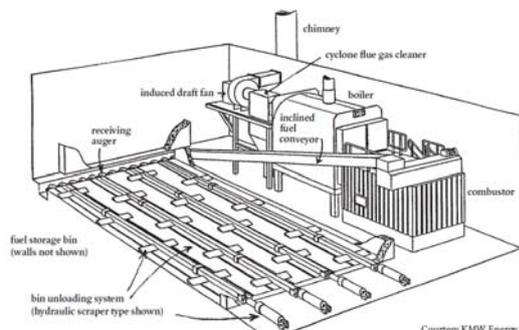


Figura 1.2 Caldera de biomasa

(Wood Chips Heating Guide, Timothy Maker, 1994)

Existen diversas ventajas al utilizar quemadores de biomasa, entre las principales (Valter & Eliseo, 2008) citamos:

- Energía limpia, emiten CO₂ neutro, ya que provienen de combustible natural.
- Energía barata, el precio de la biomasa no depende de mercados internacionales como los combustibles fósiles, además de ser mucho más bajo su costo.
- Energía segura, la biomasa, a diferencia del gas, no puede explotar.

La Bioenergía es una energía renovable, de futuro y respetuosa con el medio ambiente; su uso reduce el efecto invernadero ya que durante su combustión libera la misma cantidad de CO₂ que la absorbida por la planta durante su desarrollo.

La astilla de madera es producto de los desechos de aserraderos, esta no posee una forma regular y se puede almacenar en grandes pilas, considerando los espacios que existen entre los trozos de madera, por medio de su densidad aparente

Combustibles de madera	% H	Especie	Densidad aparente (kg/m ³ aparente)
Troncos (33 cm apilados)	15	Haya	445
		Píceas y abeto	304
Astillas	30	Haya	328
		Píceas y abeto	223
Corteza de coníferas			180
Serrín	15		160
Virutas			90
Pellets	8		620-650
Biomasa de agricultura			
Balas		Miscanthus	140
Biomasa desmenuzada	15	Miscanthus	110
Grano		Triticale	750

*kg/m³ apilado

(Manual de combustibles de Madera, Valter & Eliseo, 2008)

1.3.5 Sistemas de enfriamiento

Los sistemas de enfriamiento por convección forzada utilizan una unidad manejadora de aire frío con el cual se realiza una absorción del calor al producto a enfriar, disminuyendo su temperatura a una mayor velocidad que los que no utilizan las unidades de frío. Este enfriamiento puede realizarse en espacios confinados por lotes (batches) o es sistemas continuos de transportación como bandas, trasporte neumático, elevadores, etc.

La generación de frío puede realizarse por sistemas de compresión mecánica en el ciclo de refrigeración utilizando evaporadores tipo compactos para el enfriamiento de la corriente de aire. También se puede utilizar unidades manejadoras de aire dentro de un sistema de chillers.

La refrigeración se la emplea para remover el calor en algún sistema. Los principios aplicados en los sistemas de refrigeración tienen como base la primera y la segunda ley de la termodinámica. La primera ley indica que: “La energía no se crea ni se destruye” (Perry, 1984) y la segunda ley indica que “Ningún sistema puede recibir calor a una temperatura dada y rechazarlo o emitirlo a una temperatura superior, sin que el medio que lo rodea efectúe un trabajo en el mismo” (Perry, 1984).

1.3.6 Equipos auxiliares para el proceso.

1.3.6.1 Ventiladores centrífugos.

El ventilador centrífugo consiste en un rotor encerrado en un envolvente de forma de espiral; el aire que entra a través del ojo del rotor paralelo a la flecha del ventilador, es succionado por el rotor y arrojado contra la envolvente se descarga por la salida en ángulo recto a la flecha.

Normalmente los ventiladores son accionados por motores eléctricos de acoplamiento directo o por poleas / bandas de transmisión

Los rotores pueden tener los 3 tipos de álabes, cuyas particularidades son las siguientes:

- Álabes curvados hacia adelante, $\beta_2 > 90^\circ$.- Este tipo es poco frecuente en las bombas centrífugas; en los ventiladores se emplea a causa del bajo nivel de ruido que presentan. Para una velocidad determinada proporciona un caudal superior y dimensiones menores que las de cualquier otro tipo de ventilador, rendimiento bajo, máximo del orden de 65:75%.

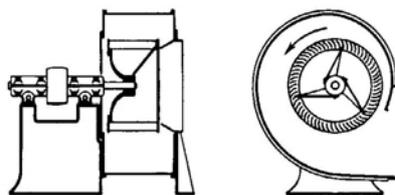


Figura 1.3 Ventilador de álabes curvados hacia adelante

(Manual Ingeniero Químico, Perry, 1984)

- Álabes de salida radial, $\beta_2 = 90^\circ$.- Tienen menor números de álabes que los anteriores; se emplean para impulsar aire o gases sucios a elevadas temperaturas, gracias a la facilidad con que son eliminados los depósitos sólidos por la fuerza centrífuga.

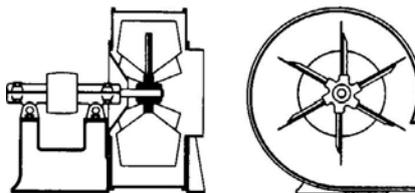


Figura 1.4 Ventilador de álabes rectos o salida radial.

(Manual Ingeniero Químico, Perry, 1984)

- Álabes curvados hacia atrás, $\beta_2 < 90^\circ$.- Es el tipo normal de ángulo de salida en las bombas centrífugas, tienen mejor rendimiento que los anteriores ya que si los antiguos álabes de chapa se reemplazan por los modernos de perfil aerodinámico, se llega a alcanzar un rendimiento del orden del 90%. Su presión y gasto másico son inferiores para una misma velocidad de rotación y números de álabes que en el primer tiempo. El nivel de ruido es bajo.

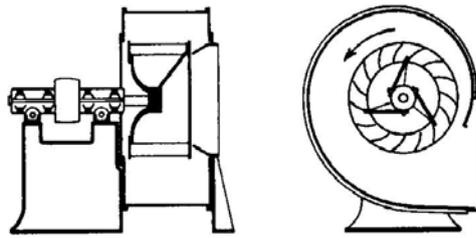


Figura 1.5 Ventilador de álabes curvados hacia atrás

(Manual Ingeniero Químico, Perry, 1984)

Para la selección de un ventilador centrífugo se debe determinar exactamente en qué condiciones funcionará, se debe conocer la curva resistente de la instalación, es decir la curva que relaciona la pérdida de carga de la instalación con el caudal que pasa por ella.

1.3.6.2 Separador Ciclónico

Este equipo se emplea generalmente cuando se desea separar partículas de diámetro superior a $5\ \mu\text{m}$. Es de gran sencillez, compacidad, fácil mantenimiento, bajo costo inicial y elevada eficacia. Utiliza la fuerza centrífuga para separar las partículas mediante impacto, existen diversos diseños dependiendo de la eficiencia requerida. Los costos de operación son mayores debido a su alta caída de presión que produce; un beneficio adicional es que pueden operar a altas temperaturas.

La pérdida de presión a través del ciclón también proporciona un parámetro de performance y este depende principalmente de la configuración del ciclón. En general, la pérdida de presión a través del ciclón colector es pequeña comparada con otros equipos colectores de polvo, pero cuando se requiere altas eficiencias de recolección aumenta significativamente la caída de presión y por ende el consumo de energía requerido. (Cooper, 2003)

Existen configuraciones de diseño para ciclones que dependen de la operatividad seleccionada: alta, mediana o baja eficiencia. Hay relaciones de todas las medidas en base al diámetro seleccionado del ciclón.

1.3.6.3 Sistemas de transportación

Una cinta transportadora es un sistema de transporte continuo, que está compuesto por una banda continua entre dos tambores y un conjunto de rodillos (Targhetta Arriola, 1969).

Las cintas transportadoras se usan principalmente para transportar materiales granulados, agrícolas e industriales, tales como cereales, carbón, minerales, etcétera, aunque también se pueden usar para transportar personas en recintos cerrados.

Las ventajas que tiene la cinta transportadora son:

- Permiten el transporte de materiales a gran distancia
- Se adaptan al terreno
- Tienen una gran capacidad de transporte
- Permiten transportar un gran variedad de materiales
- Es posible la carga y la descarga en cualquier punto del trazado
- Se puede desplazar
- No altera el producto transportado.

El empleo de bandas transportadoras es muy diverso, se lo utiliza para materiales de construcción, combustibles sólidos, fertilizantes, minerales, alimentos y productos de origen vegetal.

Las partes principales de este sistema de transporte son:

- Banda.
- Tambor motriz.
- Tambor de retorno.
- Rodillos de transporte.
- Rodillos de retorno.
- Estructura soporte.

El tipo de la banda depende de la contextura y propiedades del material a transportar, habiendo bandas lisas, rugosas, con nervios o perforadas. Esta

banda de resistir alta resistencia mecánica longitudinal, elevada resistencia al desgaste y a la estratificación por reiterados dobleces, poca elasticidad y alargamiento residual, poca higroscopicidad y alta resistencia a la humedad.

El tambor motriz consta de un tambor accionado por un motor-reductor eléctrico, generando el movimiento rotacional y convirtiéndolo en lineal a la banda.

El tambor de retorno puede adaptarse con un sistema de tensión para la banda, este elemento es el último punto de transportación del producto; generalmente son metálicos recubiertos de material que ayuda a la fricción.

Los rodillos de transporte pueden ser tipo angular o recto, creando un ángulo de reposo y un ángulo de sobrecarga según el producto a transportar. También pueden ser para impacto, por recubrimiento de caucho, especiales para el punto donde ingresa el material a la banda.

Los rodillos de retorno son rectos con secciones de recubrimiento de caucho para mejorar la fricción y el movimiento de la banda.

La estructura soporte generalmente es metálica y constituyen la base para los tambores y rodillos que soportan la banda transportadora entre el punto de alimentación y descarga del material.

Se pueden implementar elementos adicionales en el sistema de transportación como rodillos alineadores, rascadores de banda, rodillo intermedio tensor de banda, tolva de descarga, etc.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA DEL DISEÑO.

En este capítulo se procederá a determinar las dimensiones, especificaciones y características técnicas de los equipos a seleccionar para el proceso de deshidratación de alfalfa en fibras largas, previo a la etapa de empaquetamiento final por presión hidráulica.

En el análisis de cualquier proceso de deshidratación o secado convectivo por corriente de gas, los cálculos de psicrometría y termodinámica son la etapa inicial en el diseño del sistema, para poder establecer y encontrar los principales parámetros del proceso, como son: flujo de aire requerido, balance de masas, potencia térmica necesaria, temperatura inicial de secado, temperatura y humedad del producto a la salida del secador.

Con los parámetros encontrados procedemos a un análisis comparativo entre alternativas de equipos que se podrían utilizar para este proceso, creando una matriz de decisiones con 4 factores de comparación realizamos la selección del tipo de equipo para el secado con sus características operativas y sus componentes auxiliares.

Con la selección de equipos posteriormente se realizarán los cálculos correspondientes para su dimensionamiento y análisis, los cuales se basan en balances másicos y térmicos, transferencia de calor y masa, combustión, cálculos estructurales, dinámica de fluidos, selección de materiales, etc.; también en la evaluación de correlaciones y fórmulas experimentales utilizadas comúnmente en el área de diseño y construcción de estos equipos (C.M. Van't Land, 2012).

En algunos casos se encontraran los datos y características de selección de equipos en catálogos de proveedores, esto es para elementos que se pueden encontrar fácilmente en el mercado nacional.

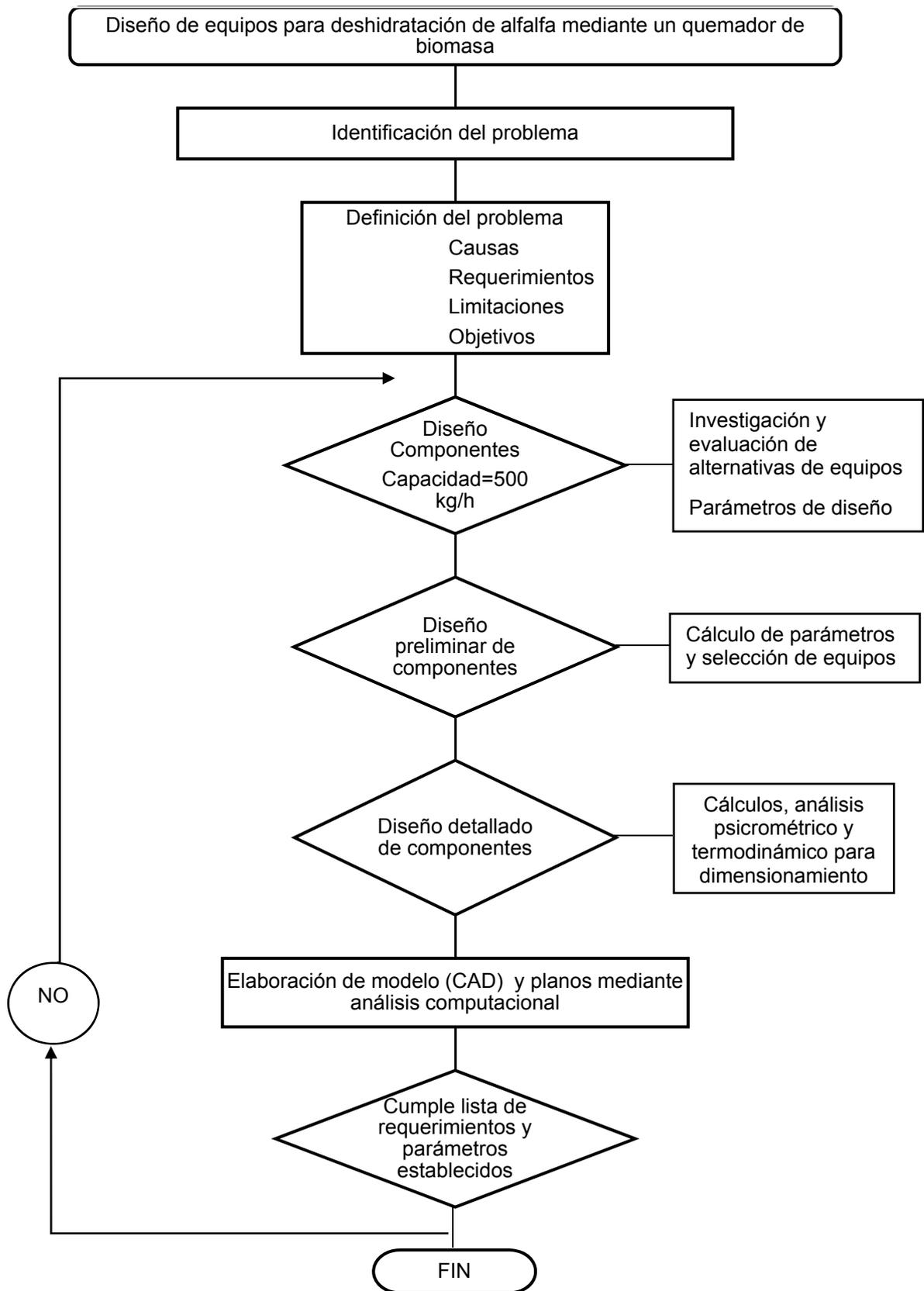


Figura 2.1 Esquema de metodología de diseño.

2.1 Cálculos Termodinámicos y psicrométricos aplicados.

En este proceso de secado convectivo para alfalfa como generalmente son estos métodos, el agua es el líquido evaporado y el aire seco (caliente) es el gas de purga, por lo que se analizarán tres puntos de operación en el diagrama psicrométrico aplicado, considerando que el sitio de instalación es el sector de Rumipamba-Salcedo ubicado en la provincia de Cotopaxi a 3.200 msnm.

Las condiciones ambientales del aire de secado representan nuestro punto inicial en la psicrometría del proceso, esto es al ingreso del quemador de biomasa. Nuestro siguiente punto es entre el quemador y el secador rotativo; y por último, el tercer punto especificado es a la salida del secador.

- 0: Ambiente y entrada al quemador
- 1: Salida del quemador y Entrada al Secador
- 2: Salida Secador.

En la figura 2.1 se muestra un resumen anual meteorológico del año 2010 provisto por el INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología) de la temperatura ambiental (bulbo seco) y la humedad relativa del sitio donde se instalarán los equipos.

Se deben fijar algunos parámetros y condiciones del proceso según factores determinantes tales como las características físicas del producto, capacidad de producción, requerimientos finales del producto, etc. Los parámetros a fijar son:

- La transferencia de calor debe ser directa entre la alfalfa y el aire caliente.
- La temperatura de secado debe ser elevada para disminuir el tiempo del proceso.
- El sistema funciona a presión constante, por lo que se trata de un proceso isobárico y a entalpía constante (consideración ideal).
- Se requiere que la máxima temperatura de la alfalfa en el secador debe ser de 70°C, para así evitar pérdidas nutricionales en el producto.

M004		RUMIPAMBA-SALCEDO											INAMHI						
MES	HELIOFANIA (Horas)	TEMPERATURA DEL AIRE A LA SOMBRA (°C)						HUMEDAD RELATIVA (%)				PUNTO DE ROCIO (°C)	TENSION DE VAPOR (hPa)	PRECIPITACION(mm)			Número de días con precipitación		
		ABSOLUTAS		MEDIAS		Mensual	Máxima día	Mínima día	Media	Máxima día	Mínima día			Mensual	Máxima en 24hrs	día			
ENERO	183.5	24.3	23	4.8	2							21.0	9.3				14.6	98	2
FEBRERO	124.1	25.0	22	6.5	11	21.2	10.6	15.4	98	6	41	28	75	10.6	12.8	27.3	10.8	6	8
MARZO	148.8	25.4	12	5.6	25	21.9	9.9	15.2	98	9	40	13	75	10.4	12.6	35.7	13.3	13	10
ABRIL	124.1	24.5	2	6.7	23	21.4	10.6	15.2	99	20	46	2	79	11.3	13.4	101.8	18.7	11	17
MAYO	148.8	24.8	29	7.4	26	21.0	10.5	15.1	98	2	36	25	77	10.5	12.8	42.6	9.3	31	10
JUNIO	121.5	21.5	21	5.8	23	19.1	9.6	13.5	99	20	52	27	80	9.9	12.2	40.0	12.0	27	16
JULIO	183.3			2.3	22	19.9	8.1	13.4					77	8.9	11.5	70.7	26.9	15	20
AGOSTO	140.8	22.2	30	2.6	18	18.5	7.6	12.6	99	30	38	30	74	7.6	10.5	12.8	2.7	6	15
SEPTIEMBRE	148.0	23.9	27	1.8	9	20.5	6.6	13.3	99	4	34	21	72	7.6	10.6	41.2	14.2	22	11
OCTUBRE	155.2	25.0	29	2.9	13	22.3	8.1	14.8	98	18	31	3	72	9.1	11.6	40.8	11.6	24	11
NOVIEMBRE	127.6	26.6	4	3.4	9	21.7	8.6	14.5	99	13	30	5	77	9.8	12.2	99.9	24.1	16	15
DICIEMBRE	127.3	23.9	10	6.0	8	20.1	8.8	14.0	99	2	44	10	80	10.2	12.5	78.3	11.3	1	25
VALOR ANUAL	1733.0			1.8		20.7	9.0	14.3					76	9.6	12.1	593.9	26.9		

Figura 2.2 Resumen Año 2010 de temperatura y humedad en Rumipamba.

(Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología).

- La temperatura del aire a la salida del secador se asume inicialmente 10°C por encima de la máxima temperatura de la alfalfa (70°C), lo cual será revisado posteriormente por factores de diseño del secador.

Con estos datos, parámetros y condiciones realizamos el cálculo correspondiente con la ayuda del software académico EES (Engineering Equation Solver, Versión: 6.883, año: 2003):

Punto 0

$P = 67,3 \text{ [Kpa]}$ Presión atmosférica – Rumipamba, provincia Cotopaxi.

$T_0 = 14,3 \text{ [°C]}$ Temperatura ambiental.

$\phi_0 = 76 \text{ [%]}$ Humedad relativa ambiental.

$w_0 = w \left[\text{AirH}_2\text{O} ; T = T_0 ; P = P_0 ; R = \frac{\phi_0}{100} \right]$ Humedad absoluta ambiental.

$h_0 = h[\text{AirH}_2\text{O} ; T = T_0 ; P = P_0 ; w = w_0]$ Entalpía en punto 0.

PUNTO 1:

$T_1 = 300 \text{ [°C]}$ Se fija la temperatura de secado.

$w_1 = w_0$ Principio de conservación de masa.

$h_1 = h[\text{AirH}_2\text{O} ; T = T_1 ; P = P_0 ; w = w_1]$ Entalpía en punto 1.

$\phi_1 = RH[\text{AirH}_2\text{O} ; T = T_1 ; P = P_0 ; h = h_1]$ Humedad relativa en punto 1.

PUNTO 2:

$T_2 = 80 \text{ [°C]}$ Fijamos una temperatura a la salida del secador

$h_2 = h_1$ Proceso isoentálpico ideal.

$\phi_2 = RH[\text{AirH}_2\text{O} ; T = T_2 ; P = P_0 ; h = h_2] \times 100$; Humedad relativa en punto 2.

$w_2 = w \left[\text{AirH}_2\text{O} ; T = T_2 ; P = P_0 ; R = \frac{\phi_2}{100} \right]$; Humedad absoluta en punto 2.

Tabla 2.1 Resultados de análisis psicrométrico.				
	$h_i \text{ [kJ/kg]}$	ω_i	$\Phi_i \text{ [%]}$	$T_i \text{ [°C]}$
[0]	43,87	0,01167	76	14,3
[1]	339	0,01167	0,01443	300
[2]	339	0,09799	19,71	79,5

(Resultados obtenidos mediante software EES)

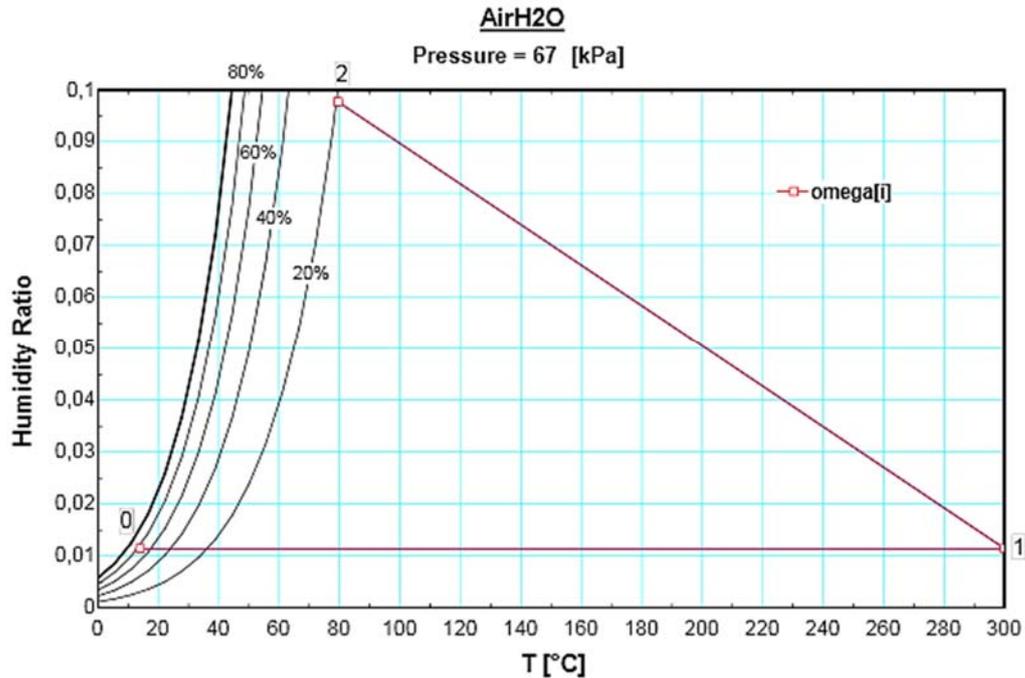


Figura 2.3 Diagrama psicrométrico de puntos.

(Resultados obtenidos mediante software EES)

Para el análisis termodinámico usaremos la capacidad de secado provista por el cliente, el cual es para un flujo de 500 kg/hr de alfalfa húmeda; con esto primero realizamos un balance de masas para determinar los flujos presentes en el proceso de transferencia de masa:

Tabla 2.2 Datos para secado de alfalfa			
Datos para proceso de secado			Valor
Flujo alfalfa húmeda al ingreso	$\dot{m}_{p;i}$	kg/hr	500
Humedad inicial de la alfalfa	$\phi_{p;i}$	%	46
Humedad final de la alfalfa	$\phi_{p,f}$	%	13
Temperatura entrada de la alfalfa	$T_{p;i}$	°C	14,3
Temperatura salida de la alfalfa	$T_{p,f}$	°C	70
Densidad de la alfalfa	ρ_p	kg/m ³	250
Calor específico de la alfalfa	$C_{p,p}$	kJ/kg-°K	1,588
Diámetro promedio de partícula	$d_{50,p}$	μm	30000
Calor específico del aire	C_{air}	kJ/kg-°K	1

Realizamos los cálculos de balance de masas:

$$\dot{m}_{sol} = \left[1 - \frac{\phi_{p,i}}{100} \right] \times \dot{m}_{p,i}$$

$$\dot{m}_{p,f} = \frac{\dot{m}_{sol}}{1 - \frac{\phi_{p,f}}{100}}$$

$$\dot{m}_{agua,i} = \dot{m}_{p,i} \times \frac{\phi_{p,i}}{100}$$

$$\dot{m}_{agua,f} = \dot{m}_{p,f} \times \frac{\phi_{p,f}}{100}$$

$$\dot{m}_{evap} = \dot{m}_{agua,i} - \dot{m}_{agua,f}$$

Tabla 2.3 Resultados para balance de masas			
Variable			Valor
Flujo alfalfa sólida	\dot{m}_{sol}	kg/hr	270
Flujo salida de alfalfa	$\dot{m}_{p,f}$	kg/hr	310,3
Cantidad de agua al ingreso	$\dot{m}_{agua,i}$	kg/hr	230
Cantidad de agua a la salida	$\dot{m}_{agua,f}$	kg/hr	40,34
Flujo de agua evaporada	\dot{m}_{evap}	kg/hr	189,7

Con los valores máxicos encontrados en el balance de masa, procedemos a calcular los flujos de calor a transferir en el proceso de secado por la corriente de aire; esta transferencia de energía consta de 3 partes:

1. La evaporación del agua y el calentamiento del vapor.
2. El calentamiento del producto sólido.
3. El calentamiento del agua remanente en el producto.

Calor para evaporación del agua y el calentamiento del vapor de agua:

$$\dot{Q}_1 = \dot{m}_{evap} \times [h_{w;fg} + Cp_{vap} \times T_2 - Cp_{agua} \times T_{p,i}]$$

Donde:

$$Cp_{agua} = Cp[Water ; T = 0 ; P = P_0] \quad ; \text{ Calor específico del agua.}$$

$$Cp_{vap} = Cp[Steam ; T = 0 ; x = 1] \quad ; \text{ Calor específico vapor de agua.}$$

$$h_{w;fg} = 2500 \left[\frac{KJ}{Kg} \right] \quad ; \text{ Calor latente evaporización del agua}$$

Calentamiento de la alfalfa sólida:

$$\dot{Q}_2 = \dot{m}_{sol} \times C_{p_p} [T_2 - T_{p,i}]$$

Calentamiento del agua remanente en el producto:

$$\dot{Q}_3 = \dot{m}_{agua,f} \times C_{p_{agua}} \times [T_2 - T_{p,i}]$$

Por lo que el flujo de calor total es:

$$\dot{Q}_{tot} = \dot{Q}_1 + \dot{Q}_2 + \dot{Q}_3$$

El calor necesario para el proceso debe ser mayor por 2 razones, debido a que sólo una parte del incremento de temperatura del flujo de aire se utiliza para el secado y debido a que existen pérdidas de calor.

El flujo de calor total necesario para el secado puede ser calculado:

$$\dot{Q}_{tot;2} = \dot{Q}_{tot} \times \left[\frac{T_1 - T_0}{T_1 - T_2} \right] \times f$$

Donde f es un factor de diseño que depende del tipo de secador.

El flujo de aire para secado sería:

$$\dot{m}_{air} = \frac{\dot{Q}_{tot;2}}{C_{p_{air}} [T_1 - T_0]}$$

Tabla 2.4 Resultados para flujos de calor		
Variable	Unidad	Valor
\dot{Q}_1	<i>kW</i>	133,3
\dot{Q}_2	<i>kW</i>	6,634
\dot{Q}_3	<i>kW</i>	2,448
\dot{Q}_{tot}	<i>kW</i>	142,4

2.2 Selección de equipos y características de operatividad.

Para el proceso de deshidratación o secado de alfalfa en fibras largas, con una capacidad de 500 kg/h, los equipos son seleccionados en base a las siguientes condiciones:

- Obtener una humedad de la alfalfa menor al 15% sin alterar las propiedades nutricionales ni de forma del producto.
- La capacidad de secado es mediana, no es baja como para usar equipos no continuos, ni tan alta para la aplicación de sistemas complejos ni sofisticados.
- El proceso de secado es de tipo convectivo.
- El equipo de secado debe cumplir con los parámetros normales de tiempo de residencia del gas, tiempo de residencia del producto, consumos de potencias, relación de aspecto, etc.; comunes para cada tipo de secador.
- El flujo de las fibras de alfalfa serán en sentido paralelo al aire de secado, ayudando a la transportación del producto.
- Asumiendo que existirá un porcentaje de producto de contextura menor y fina, este puede ser arrastrado por la corriente de aire de secado, por lo que debe existir un equipo recolector de sólidos a la salida del secador (comúnmente un ciclón) y este separador debe conectarse en su descarga, de producto colectado, a la línea de despacho.
- El ventilador debe contener una válvula reguladora de flujo (tipo “dámper”) para regular el flujo de secado a la caída de presión real del sistema.
- El combustible a usar en el quemador deberá ser a partir de biomasa (astillas de madera) debido a su abundancia en el sector donde se implementará el proyecto.

- Las fibras largas de alfalfa necesitan de un sistema de enfriamiento a la salida del secador, para evitar de esta forma daños en la prensa para su proceso de empaquetado.

Con los parámetros propuestos para nuestro sistema de secado continuo de la alfalfa se proponen 3 tipos de secadores con el fin de escoger mediante el análisis de una matriz de decisión la opción más rentable. Los tipos de secadores a utilizar se detallan a continuación:

Tipos de secadores

1. Secador rotativo.
2. Secador por lechos fluidos
3. Secador por bandas vibratorias

Los criterios de evaluación para la selección de la mejor alternativa para el correcto desarrollo del proyecto son las siguientes:

- Costo inicial
- Consumo energético
- Costo de operación y mantenimiento
- Tamaño

De esta forma se proceden a analizar los criterios para cada tipo de secador a seleccionar

Tabla 2.5 Matriz de decisiones				
Alternativas	Costo inicial	Consumo energético	Costo de operación y mantenimiento	Tamaño
1 Secador Rotatorio	Medio	Bajo	Bajo	Alto
2 Lechos Fluidos	Medio	Alto	Medio	Medio
3 Bandas vibratorias	Alto	Medio	Alto	Alto

Mediante el análisis realizado a la matriz de decisiones se escoge la opción del secador rotatorio, a pesar de que el mismo posee un costo inicial medio, los puntos a su favor son su bajo consumo energético y el bajo que posee.

Los equipos auxiliares para el funcionamiento del secador se detallan a continuación:

Tabla 2.6 Equipos auxiliares para el sistema de secado de alfalfa	
Equipo	Función
Quemador de biomasa	Proveer la energía necesaria para el proceso de secado, trabajara con astillas de madera.
Separador ciclónico	Retener las partículas no combustionadas, o impurezas en el aire.
Ventilador centrífugo	Genera la corriente de aire para el secado, que ingresa desde el quemador de biomasa a través de tiro inducido (presión negativa).
Bandas transportadoras	Transportar la alfalfa para su ingreso al secador, y a la salida del mismo.
Sistema de enfriamiento	Reducir la temperatura de salida de la alfalfa para su posterior empaquetado

2.3 Cálculos y dimensionamiento de secador rotativo.

El secador seleccionado es de tipo rotatorio de calentamiento directo con elevadores internos que aseguran una correcta distribución de la transferencia de calor y masa.

Se considera la geometría del producto a secar, al ser alfalfa en fibras largas se decide por un secador de simple paso, para evitar atascamientos del producto.

Con los datos previamente obtenidos procedemos a evaluar factores que involucran este tipo de equipos, como el factor NTU para asegurarnos que las temperaturas son las correctas según el rango normal de este índice, que para los secadores rotatorios va desde 1.5 a 2,5 (C.M. Van't Land, 2012).

$$N_t = \ln \left[\frac{T_1 - T_w}{T_2 - T_w} \right]$$

Donde T_w es la temperatura de pared aproximadamente igual a la Temperatura de saturación del aire a la entrada del secador:

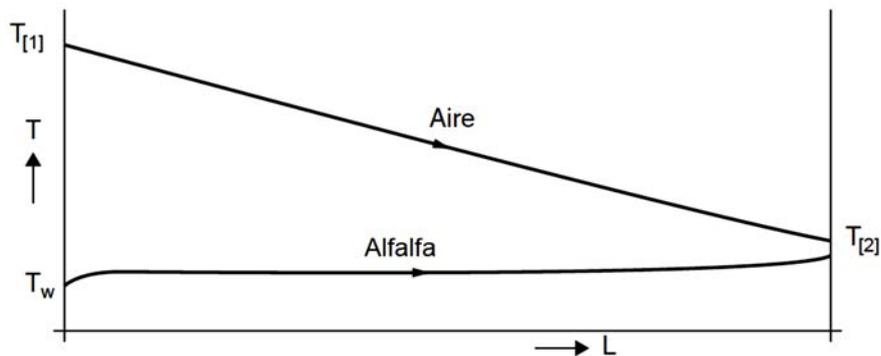


Figura 2.4 Perfiles de temperatura para el secado de alfalfa

(Drying in the Process Industry, C.M. Van't Land, 2012)

$$T_w = T_{air;Sat} \quad ; \quad T_{air;Sat} = T[AirH_2O ; h = h_1 ; P = P_0 ; R = 1]$$

Evaluando obtenemos $N_t = 2,023$; que si está dentro del rango.

Para encontrar flujo total de calor necesario corregido, aplicamos el factor correspondiente a secadores rotatorios f el cual es 1,25:

$$\dot{Q}_{tot;2} = \dot{Q}_{tot} \times \left[\frac{T_1 - T_0}{T_1 - T_2} \right] \times f$$

$$\dot{Q}_{tot;2} = 239,2 \text{ kW}$$

El flujo másico total desde la cámara de combustión es

$$\dot{m}_{air,0} = \frac{\dot{Q}_{tot;2}}{C_{p_{air}} [T_1 - T_0]}$$

$$\dot{m}_{air,0} = 2994 \text{ kg/h}$$

$$R_{A;0} = \frac{355}{273 + T_0} = \frac{355}{273 + 14} = 1,24 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$AF_0 = \frac{\dot{m}_{air,0}}{R_{A;0}} = 2414,5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Seleccionamos la velocidad del aire de secado, considerando la sección tubular del secador sin producto. Esa velocidad se escoge considerando el posible arrastre del sólido por la corriente de aire en este caso para un sólido no esférico como lo es la alfalfa en fibras largas, de igual forma se procede a encontrar un diámetro equivalente para considerarlo como esférico (Longitud 60 cm, espesor 3 mm):

$$\frac{\pi}{6} \times D_e^3 = 3^2 \times \pi \times 600$$

$$D_e \approx 30 \text{ mm} \text{ ó } 30.000 \mu\text{m}$$

Lo cual es relativamente alta para llegar a tener inconvenientes de arrastre (ver tabla comparativa en APÉNDICE B); por lo que la velocidad seleccionada será dentro del rango recomendado para secadores rotatorios entre 1 y 2,5 m/s. Considerando que vamos a estimar una baja caída de presión en todo el sistema la velocidad del aire seleccionada en el secador es:

$$vel = 1,2 \text{ m/s}$$

Con este valor realizamos los cálculos respectivos para encontrar el diámetro del secador en el área del flujo:

$$G_0 = vel \times \rho_{air,0} = 3524 \text{ kg}/m^2.h$$

$$A_{flujo} = \frac{\dot{m}_{air,0}}{G_0} = 0,8496 \text{ m}^2$$

$$D = \sqrt{\left[A_{flujo} \times \frac{4}{\pi} \right]}$$

Con esto el resultado del diámetro es:

$$D = 1,04 \text{ mts}$$

Para el cálculo de la longitud del secador utilizamos la correlación del coeficiente volumétrico de transferencia de calor, con coeficientes experimentales $n = 0,67$; $K = 3,5$, recomendados por la AICE (American Institute of Chemical Engineers, 2006):

$$(U.a) = K \times \frac{G^n}{D} = 1213 \text{ kJ}/h.m^3.K$$

$$\Delta T_m = \frac{T_1 - T_2}{\ln \left[\frac{T_1 - T_w}{T_2 - T_w} \right]}$$

$$Vol = \frac{\dot{Q}_{tot;2} \times \left| \frac{3600 \text{ kJ/h}}{\text{kJ/s}} \right|}{(U.a) \times \Delta T_m} = 6,53 \text{ m}^3$$

$$L = \frac{Vol}{A_{flujo}} = 7,69 \text{ mts}$$

La relación de aspecto la calculamos como "ratio"

$$ratio = \frac{L}{D} = 7,39 ; \text{ se encuentra en el rango de 5 a 8 recomendado}$$

Consumo potencia de giro, con una eficiencia global $\eta = 0,5$

$$Pot_{rot} = 0,3 \times \frac{\pi}{4} \times D^2 \times \frac{L}{0,5} \approx 4 \text{ kW}$$

Tiempo de residencia, Flujo Paralelo

$$\tau = \frac{0,23 L}{S \times N_{rot}^{0,9} \times D} - \frac{2 \times B \times L \times \dot{m}_{air,0}}{\dot{m}_{p,f}} ; \quad B = 5 \times \bar{d}_p^{-0,5}$$

$$\tau = 35,96 \text{ min.}$$

Seleccionamos una velocidad de rotación $N_{rot} = 5$ [RPM] y una mínima pendiente de inclinación $S = 0,01$; para calcular la fracción de llenado en el secador:

$$Vol_{solid} = \tau \left| 60 \frac{s}{min} \right| \times \frac{\dot{m}_{p,f}}{\rho_p}$$

$$Fraccion = \frac{Vol_{solid}}{\pi \times \frac{D^2}{4} \times L} \times 100 = 11,4\%$$

La fracción de llenado del producto se encuentra dentro del rango 10-20% recomendado para secadores rotatorios.

Resumiendo, las especificaciones del secador rotatorio serían (Perry, 1984):

- Diámetro interior de tambor: 1,04 mts.
- Longitud de tambor: 7,69 mts.
- Potencia de rotación necesaria: 4 kW
- Numero de aletas elevadoras internas: $2,7 \times D$ (D en pies) = 9 aletas, alto $D/9 = 12$ cm, tipo helicoidales.

La transmisión del movimiento giratorio en el secador rotatorio será por medio de un motor asíncrono, eléctrico trifásico, el cual contara con una potencia de 4kW (5 hp) y una velocidad nominal de giro de 1750 rpm. Para la selección de los mecanismos de transmisión de potencia haremos uso del catálogo de Martin (APENDICE A) (Martin, 2015).

La primera reducción será del tipo poleas y bandas, lo cual ocasionara una reducción en la velocidad de giro del motor con una relación de 1,37. De tal forma que:

- Polea en motor: Ø4"; 2 canales tipo B.
- Polea en reductor: Ø5, 5"; 2 canales tipo B.

$$i_1 = \frac{5,5''}{4''} = 1,37 = \frac{W_1}{W_2} = \frac{1750 \text{ rpm}}{W_2}$$

$$W_2 = 1273 \text{ rpm}$$

De la relación anterior conocemos que la velocidad en la polea conducida es 1273 rpm. Esta velocidad será disminuida mediante el uso de un reductor de velocidades del tipo lineal, el mismo que tiene una reducción de 20:1.

$$i = 20 = \frac{W_2}{W_3} = \frac{1273 \text{ rpm}}{W_3}$$

$$W_3 = 63,65 \text{ rpm}$$

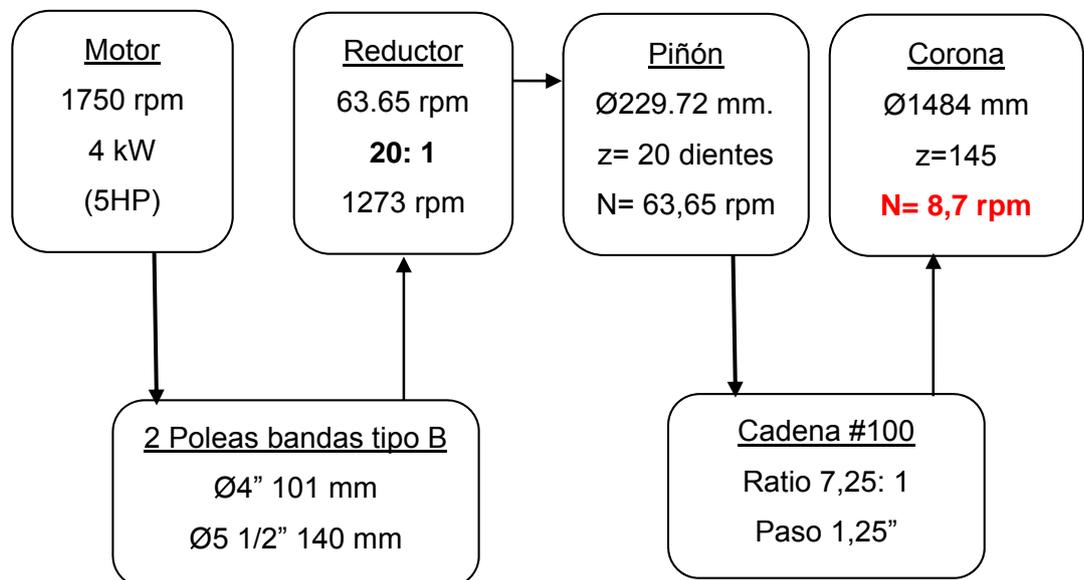
Con lo cual se obtiene una velocidad de salida de 63,65rpm. En el eje de salida va un piñón de 20 dientes para cadena #100, la misma que tiene un paso de 1 ¼", el cual transmite movimiento rotacional a una corona dentada de 145 dientes.

$$i = \frac{Z_4}{Z_3} = \frac{145 \text{ dientes}}{21 \text{ dientes}} = 7,25 = \frac{W_3}{W_4}$$

$$W_4 = 8,7 \text{ rpm}$$

La cual está sujeta al tambor del secador produciendo el giro de este y obteniendo una velocidad de 8,7 rpm nominal. Al grupo motriz se le incorporará un variador de frecuencia, el mismo controlará la velocidad del motor eléctrico, esto con el fin de controlar la rotación del tambor, haciendo que esta oscile entre 9 y 3 rpm (se fijará a @5 rpm según cálculo realizado) (Martin, 2015).

Se muestra un esquema del sistema motriz instalado.



Partes del secador rotatorio son de acero al carbono ASTM A36: tambor, elevadores internos, cabezales de ingreso y descarga de producto, cintas de apoyo, corona dentada. Los soportes axiales y radiales son fabricados por barras redondas de acero de transmisión SAE1018. En los planos anexos se encontrarán los detalles de espesores para fabricación y medidas generales.

Tambor rotatorio va soportado por medio de 2 cintas de apoyo que giran sobre 4 rodillos a su vez soportados sobre 8 chumaceras de piso, de diámetro 2”.



Figura 2.5 Cintas de apoyo radial

(Leal & Salame, 2016)

Los soportes axiales van en la cinta de apoyo mayormente separada de la corona dentada, evitando que la dinámica rotacional del tambor produzca desplazamiento del mismo.



Figura 2.6 Soportes axiales

(Leal & Salame, 2016)

Todo el conjunto del secador rotatorio va montado sobre un chasis portante fabricado de perfiles laminados de acero al carbono soldados por proceso GMAW. En la parte inferior lleva placas de anclaje al piso generalmente para pernos de expansión.

El cabezal de carga va conectado por un ducto de unión con la salida del quemador de biomasa, también posee una conexión superior tipo bridable para la entrada del producto hacia el secador rotatorio. Se instala un sello tipo laberinto entre el cabezal de carga y el tambor rotatorio.

El cabezal de descarga es de sección rectangular, lleva una tolva inferior para la descarga del producto sobre la banda transportadora hacia el túnel de enfriamiento. En la parte superior lleva una conexión bridable para la salida de la corriente de aire hacia el ciclón colector de partículas arrastradas.

El secador va aislado exteriormente por mantas de lana mineral o de vidrio, en espesor 4" para considerar una mínima pérdida de calor al ambiente. Aislante va forrado por medio de láminas de acero inoxidable espesor 0,8 mm empernadas a refuerzos radiales de secador.

La operación del secador rotatorio es a través de un panel eléctrico adosado al equipo, lleva pulsadores de arranque, paro y emergencia; a su vez se instala un variador de frecuencia para el motor del sistema de giro del tambor, esto para adaptar prácticamente la velocidad de rotación al valor de diseño, ya que en el mismo no se consideran factores adicionales como momentos de inercia, factor de fricción, eficacia de la transmisión y reducción de velocidades.

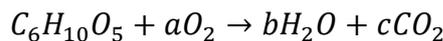
2.4 Cálculos y dimensionamiento de quemador de biomasa.

El quemador o generador de aire caliente, necesario para el funcionamiento del secador será por combustión de biomasa, usando como medio de combustible astillas de madera.

Para el diseño del quemador es importante saber cómo se realiza la combustión de la madera, para esto se realizara el análisis estequiométrico.

Al ser el combustible de origen vegetal, este posee porcentajes elevados de carbono, hidrogeno, oxigeno, y en menor proporción de nitrógeno. Debido a estas consideraciones las astillas de madera serán modeladas como Celulosa ($C_6H_{10}O_5$)

La ecuación para combustión obtenida es la siguiente:



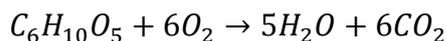
Para hallar los coeficientes, es necesario balancear la ecuación, de tal forma que

$$C : 6 = c$$

$$H : 10 = 2b$$

$$O : 5 + 2a = b + 2c$$

Resolviendo obtendremos la ecuación balanceada:



De los datos previamente obtenidos sabemos que el calor que debe suministrar el quemador es el siguiente:

$$\dot{Q}_{tot;2} = 239,2 \text{ kW} = 239,2 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} \times \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} = 861120 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

Conocemos además que el poder calorífico de la astilla de madera es:

$$PCI_{am} = 10258 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Dividiendo los dos coeficientes, obtendremos el flujo de combustible necesario para la combustión.

$$\dot{m}_f = \frac{\dot{Q}_{tot;2}}{PCI_{am}} = 83,94 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Como el peso molecular de la celulosa $C_6H_{10}O_5$ y del Oxígeno (O_2) es 162 y 32 $\frac{KJ}{Kmol}$ respectivamente, se obtendrá el flujo de oxígeno de la siguiente relación:

$$\frac{6 \times 32}{162} \times 83,94 = 99,48 \frac{kg}{h}$$

Para la obtención del flujo de vapor de agua en el aire a la entrada y salida es necesario recordar la humedad absoluta en el punto inicial y relacionando:

$$\omega_0 = 0,01167 \frac{kg \text{ agua}}{kg \text{ aire}}$$

$$0,01167 \times \left(99,48 \times \frac{100\%}{22,2\% (O_2)} \right) = 5,22 \frac{kg}{h}$$

Tabla 2.7 Combustión estequiométrica de astillas de madera $\left[\frac{kg}{h} \right]$		
	Ingreso	Salida
Combustible		
$C_6H_{10}O_5$	83,94	0
Aire Seco		
Oxígeno	99,48	0
Nitrógeno	348,19	348,19
Vapor de agua		
En aire	5,22	5,22
Por Combustión	0	46,63
Dióxido de Carbono	0	136,79
	536,86	536,86

El consumo volumétrico de combustible para el quemador de astilla de madera ($\rho_{am} = 250 \text{ kg/m}^3$):

$$\dot{V}_f = \frac{\dot{m}_f}{\rho_{am}} = \frac{83,94}{223}$$

$$\dot{V}_f = 0,376 \frac{m^3}{h} ; \text{ De astilla de madera.}$$

El flujo de aire secundario total será igual a la diferencia entre el flujo de aire total y el flujo de aire necesario para la combustión, para el cálculo del valor del flujo seco y el flujo húmedo se requerirá el análisis de la tabla psicrométrica. El exceso de aire se lo considera como ingreso del aire al secador y este se lo aproxima al 10% del flujo total en la cámara de combustión (Land C. V., 2012).

$$\text{Ingreso de aire} : 0,1 \times \dot{m}_{\text{air},0} \approx 299,3 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Tabla 2.8 Flujos de aire seco y vapor de agua presentes en el proceso			
Flujo del proceso	Aire Seco	Vapor de agua	Total
Combustión	484,98	51,85	536,83
Aire Secundario	2427,91	28,33	2456,24
Ingreso de aire	295,85	3,45	299,30
Evaporación	-	189,70	189,70
	3208,74	273,33	3482,07

La capacidad nominal térmica del quemador de biomasa deberá ser mayor a $\dot{Q}_{tot;2}$ debido a factores como el arranque en frío, pérdidas térmicas no previstas o condiciones ambientales críticas. Por lo que se dará un margen de aproximadamente 25% mayor, por lo que la capacidad nominal del quemador será:

$$\dot{Q}_{am} = 1,25 \times \dot{Q}_{tot;2} \approx 300 \text{ kW}$$

Por lo que el consumo real nominal de combustible sería:

$$\dot{V}_{f;nom} = 0,47 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} ; \text{ De astilla de madera.}$$

Las partes del quemador son:

- Tolva y sin fin para alimentación de la astilla de madera.
- Cámara de combustión (hogar) con parrilla fija/semimóvil.
- Intercambiador de calor tubular.
- Cámara de mezcla para aire de combustión y secundario.
- Ventilador de tiro forzado (auxiliar).

- Ductos internos para flujo de aire de combustión.
- Cuerpo envolvente con refractario interior, puertas de inspección, ventanillas regulables para ingreso de aire y conexión de salida al quemador.
- Bandejas inferiores para eliminación manual de cenizas.

La tolva del quemador será calculada para la operación nominal de 2 horas, por lo que:

$$Vol_{tolva} = tiempo \times \dot{V}_{f,nom}$$

$$Vol_{tolva} = 0,94 m^3$$

Las medidas generales serán de la tolva serán de 1,3 x 1,2 m y alto 1,4 m. Esta llevará en su descarga una válvula rotativa de seguridad para llamas en retroceso.

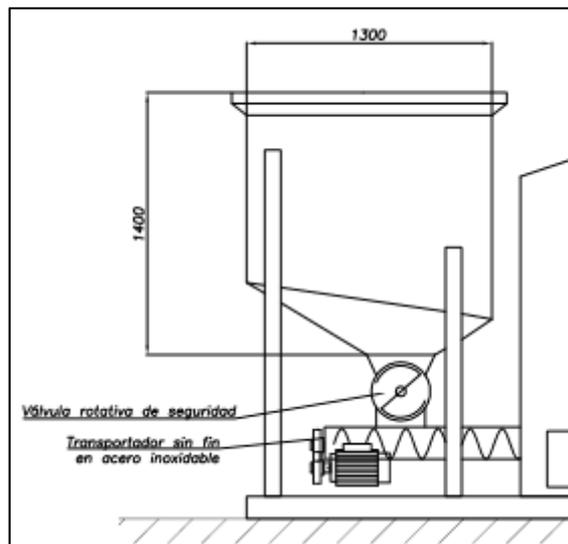


Figura 2.7 Tolva para biocombustible de quemador

(Leal & Salame, 2016)

El combustible se descarga por medio de una válvula rotativa con cámara interna de seguridad para evitar que posibles llamas en retroceso suban a la tolva.

El transportador sin fin ubicado en la parte inferior de la tolva, introduce la astilla de madera en la parrilla del quemador, este transportador debe ser fabricado en acero inoxidable para soportar las altas temperaturas en la cámara de combustión.

La cámara de combustión consta de la entrada del combustible por el sin fin de la tolva, parrilla, refractario, entradas para aire primario de combustión, sistema de encendido eléctrico por medio de electrodos y transformador de ignición, detector/control de llama, puerta de limpieza e inspección.

La parrilla del quemador medirá 1 x 1,2 m de largo por ancho, con un espesor de 7,5 cm (alto) deberá ser de hierro fundido, para soportar las altas temperaturas de la combustión; para hacerla semimóvil se adapta una línea central abatible para la descarga de cenizas acumuladas en el proceso:

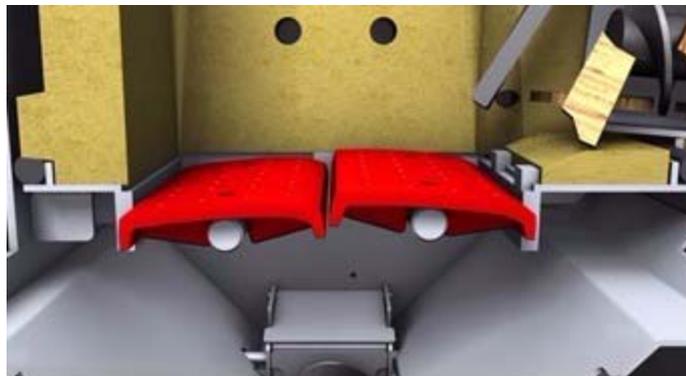


Figura 2.8 Parrilla de quemador

El intercambiador de calor tubular (banco de tubos, aire vs aire) de 2 pases, es diseñado para los siguientes objetivos:

- Precalentar los flujos de aire primario y una fracción del aire secundario.
- Bajar la temperatura en los productos de combustión, para facilitar los 300°C en la cámara de mezcla.
- Eliminar totalmente los productos no combustionados en el flujo de aire, por medio de turbuladores interiores y mediante su sistema de limpieza se recolectará estos elementos en la bandeja de cenizas inferior.

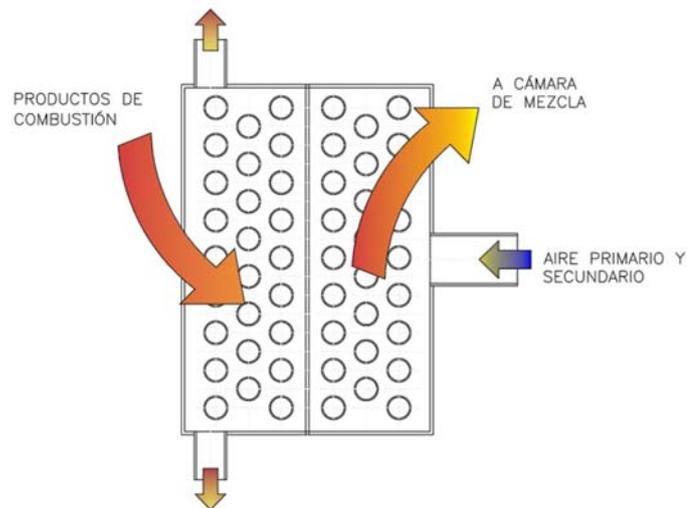


Figura 2.9 Intercambiador de calor en quemador

(Leal & Salame, 2016)

El cálculo de la caída de presión en el intercambiador de calor se puede considerar como flujo externo en intercambiador de calor compacto para el aire primario, y como flujo interno para los productos de combustión.

El número de tubos por pase es de 26, con diámetro interior de 6 cm y largo 1 metro (se considera 2 m. al ser de 2 pases el intercambiador de calor), y a una temperatura media de $T_m = 600^\circ\text{C}$ el valor aproximado de $\rho = 0,39 \text{ kg/m}^3$ y $\mu=398,10 \text{ E-}07$; esto crea un Reynolds interno de (Incropera, 1999):

$$Re = \frac{4 \times \dot{m}_{air,0}}{\pi \times d_{int} \times \mu_m \times N_{tub}} \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}$$

$$Re = 17051$$

$$f = 0,316 \times Re^{-1/4} = 0,027$$

$$\Delta p_{int} = f \times \frac{\rho \times v_{tub}^2}{2 \times d_{int}} \times L_{tub}$$

$$v_{tub} = \frac{\dot{m}_{air,0}}{\rho_h \times A_{tub} \times N_{tub}} \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}$$

$$v_{tub} = \frac{2994}{0,39 \times \pi \times 0,102^2 / 4 \times 26 \times 3600} = 29 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\Delta p_{int} = 0,027 \times \frac{0,39 \times 29^2}{2 \times 0,06} \times 2 \approx 150 Pa$$

Asumiendo que el Δp_{ext} puede llegar a ser igual a Δp_{int} y siendo el mismo flujo generado el que pasa por las 2 partes; por lo tanto la caída de presión en el intercambiador sería:

$$\Delta p_{HX} = 300 Pa$$

Finalmente asumiremos que las demás pérdidas pueden llegar a ser igual a las del intercambiador de calor. La caída de presión del quemador de astilla de madera sería:

$$\Delta p_{quem} = 600 Pa$$

La cámara de mezcla ayuda a equilibrar la temperatura del aire a la salida del quemador, por medio del ingreso de aire fresco y la obstrucción del aire de combustión se puede regular un correcto proceso de quemado. Los ingresos de aire son a través de ventanillas graduables "dampers" que se regulan principalmente en el encendido en frío del quemador.

El ventilador de tiro forzado se ajusta en la corriente de aire creada por el ventilador principal del secador que se encuentra aguas abajo del proceso. Este ayuda a vencer la inercia en el encendido y a controles operativos de enfriamiento interno como protección de los materiales. Este ventilador está conectado directamente al flujo externo del intercambiador de calor para posteriormente pasar por los ductos circulantes en las paredes del quemador hacia la cámara de combustión.

El equipo en el exterior va aislado térmicamente por medio de lana mineral de roca y láminas de acero galvanizado en frío con sujeción empernable. Las puertas de inspección se encuentran protegidas internamente por concreto refractario y estas permitirán la revisión periódica de la parrilla, el refractario de la cámara de combustión y el sistema de encendido.

Las bandejas inferiores permiten la evacuación diaria de las cenizas acumuladas en el inferior como también las que se desprenden por el método de limpieza de los tubos en el intercambiador de calor.

La operación del quemador de biomasa es a través de un panel eléctrico de control, donde se revisan parámetros de temperatura de llama y a la salida de los gases caliente al secador. Se implementa un encendido eléctrico para el inicio de la combustión, a través de un transformador y electrodo de ignición. Una vez creada la llama inicial se detecta a través de una fotocelda luminosa activando el ventilador de tiro forzado del quemador y el ventilador centrífugo principal para el aire primario de combustión.

Con la llama estabilizada se regulan las compuertas de la cámara de mezcla logrando la temperatura de secado registrada en el control electrónico del panel (300°C).

En los planos anexos encontramos detalles generales del quemador para astilla de madera descrito.

2.5 Cálculos y dimensionamiento de separador ciclónico.

El separador ciclónico es diseñado con el fin de recolectar partículas sólidas arrastradas por la corriente de aire a la salida del secador rotatorio. Las fibras de alfalfa tienen su geometría no esférica por lo que se analizó su diámetro equivalente y el mismo era muy elevado para ser suspendido, sin embargo al ser una planta, la misma también posee elementos menores desprendidos del tallo y aglomerados térreos (agrarios) que si se pueden recolectar en el separador.

Para el cálculo del ciclón colector encontramos el flujo de aire seco y del vapor de agua a la salida del secador:

$$\dot{m}_{\text{air},2} = 3482,07 - 273,33 = 3208,74 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

$$R_{A,2} = \frac{355}{273 + T_2} = \frac{355}{273 + 80} = 1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$DA_2 = \frac{\dot{m}_{\text{air},2}}{R_{A,2}} = 3208,74 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Vapor de agua saliendo del secador es 273,3 kg/h, por lo que el flujo volumétrico puede ser calculado por:

$$R_W = \frac{220}{273 + T_2} = \frac{220}{273 + 80} = 0,62 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$WA = \frac{273,3}{R_W} = 440,3 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$AF_2 = 3208,74 + 440,3 = 3649 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Los datos de operación para el cálculo y dimensionamiento del ciclón serían:

Tabla 2.9 Datos para ciclón colector			
Datos para proceso			Valor
Flujo de aire nominal	$\dot{m}_{\text{air},2}$	m^3/h	3649
Temperatura de operación	T_c	$^{\circ}\text{C}$	50
Presión ambiental	P_0	kPa	67,3
Densidad de la alfalfa	ρ_p	kg/m^3	250
Diámetro promedio de partícula	$d_{50,p}$	Mm	30000
Densidad del aire @ 80 °C	$\rho_{\text{air},80}$	kg/m^3	0,66

El valor del diámetro cilíndrico del ciclón es el parámetro que variamos hasta encontrar el resultado esperado para la caída de presión, el consumo de potencia y sobre todo la curva de eficiencia de recolección.

Después de varias pruebas asumimos el valor de “D” para el diámetro del cuerpo del ciclón, este es el dato de entrada para obtener todas las medidas:

$$D_c = 0,7 \text{ m}$$

El ciclón a diseñar será del tipo convencional, para trabajos a mediana caída de presión, las medidas del ciclón serán calculadas con las siguientes relaciones (Swift, 1969)

$$\frac{H}{D_c} = 0.5 \quad \frac{W}{D_c} = 0.25 \quad \frac{D_e}{D_c} = 0.5 \quad \frac{S}{D_c} = 0.6$$

$$\frac{L_b}{D_c} = 1.75 \quad \frac{L_c}{D_c} = 2 \quad \frac{D_d}{D_c} = 0.4$$

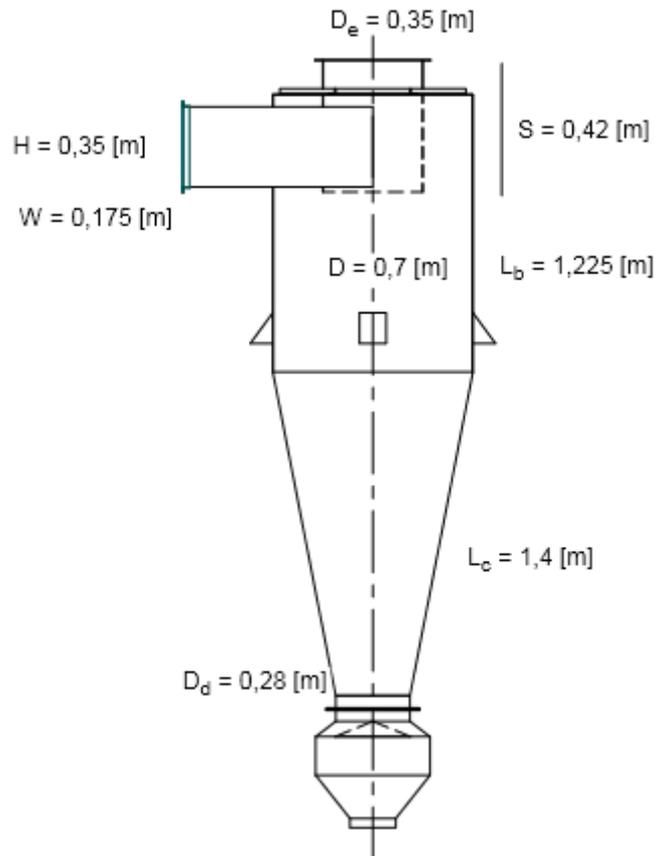


Figura 2.10 Medidas del ciclón colector convencional Swift.

(Leal & Salame, 2016)

El elemento que se muestra en la parte inferior del ciclón es un eliminador de turbulencia, muy útil en la práctica.

Diámetro de partícula colectada al 50% de eficiencia

$$D_{p:c} = \left[\frac{9 \cdot \mu_g \cdot W}{2 \cdot \pi \cdot N_e \cdot vel_i \cdot (\rho_p - \rho_g)} \right]^{0.5}$$

Donde:

$$N_e = \frac{1}{H} \cdot \left[L_b + \frac{L_c}{2} \right]$$

Número Efectivo Revoluciones N_e

$$vel_i = \frac{\dot{V}}{W \cdot H}$$

Velocidad de entrada

$$vel_t = \frac{d_p^2 \cdot (\rho_p - \rho_g) \cdot vel_i^2}{18 \cdot \mu_g \cdot R}$$

Velocidad terminal de sedimentación

$$\Delta t = \frac{W}{vel_t}$$

Delta t es el tiempo de residencia de gas

$$R = \frac{D}{2}$$

Radio del cuerpo del ciclón

Definimos la constante k que depende de la configuración del ciclón, $12 < k < 18$; $k=16$

Calculamos la caída de presión y potencia consumida

$$\Delta P = \frac{1}{2} \cdot \rho_g \cdot vel_i^2 \cdot H_v$$

Caída de presión en pascal

$$H_v = k \cdot \frac{W \cdot H}{D_e^2}$$

$$\Delta P_{in} = \Delta P \cdot \left| 0.004015 \cdot \frac{inH_2O}{Pa} \right|$$

Caída de presión en in H₂O

$$Potencia = \dot{V} \cdot \Delta P \cdot \left| 0.001341 \cdot \frac{hp}{W} \right|$$

Potencia perdida

La eficiencia global del ciclón separador se calcula mediante

$$\eta_{global} = \frac{1}{1 + \left[\frac{D_{p:c}}{d_p} \right]^2}$$

Con lo cual realizamos un gráfico mediante el programa EES para analizar el comportamiento de recolección para varios diámetros equivalentes de partículas d_p para 3 diámetros diferentes de ciclón; como se muestra en la Figura 2.7.

También se detalla la caída de presión y consumo de potencia, datos teóricos que al momento de utilizar en la práctica deben ser mayores.

En el plano anexo del ciclón colector, se indica el espesor la plancha y material de fabricación.

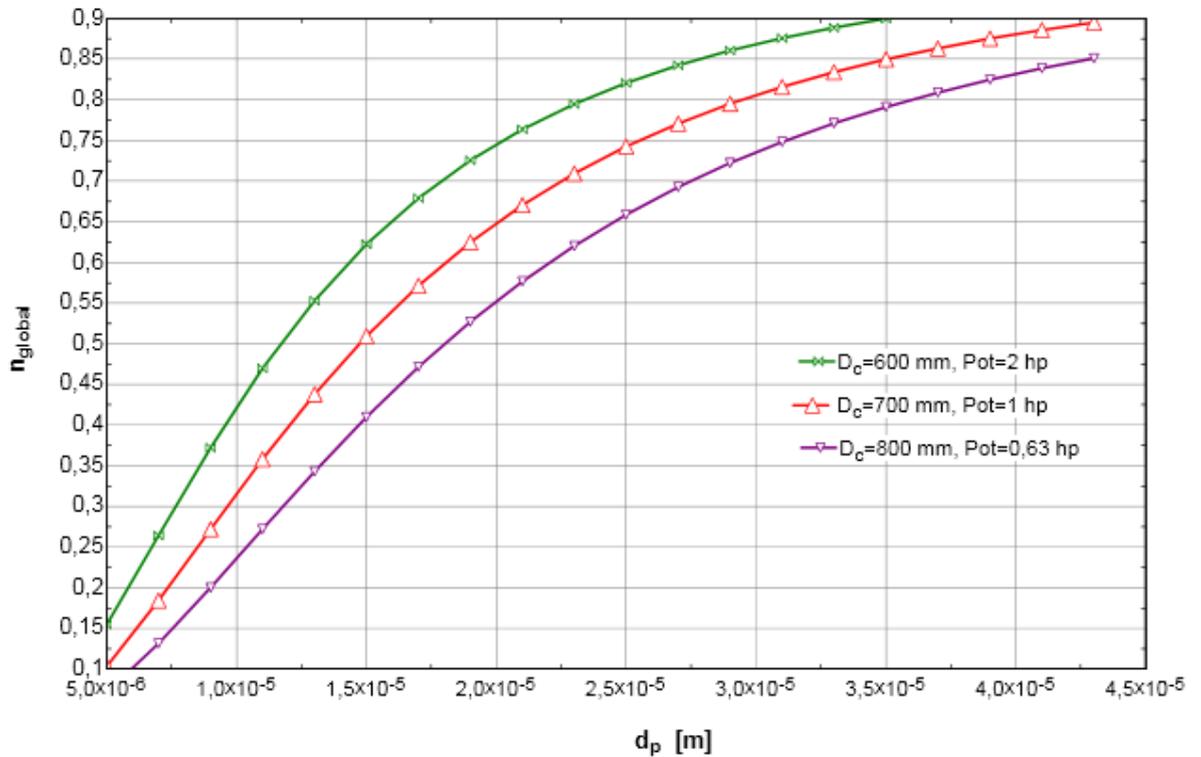


Figura 2.11 Curvas de recolección de partículas a diámetros d_p para 3 diferentes diámetros del ciclón.

Al seleccionar el diámetro cilíndrico del ciclón $D_c=700$ mm, los resultados son:

$$\Delta P = 794,8 Pa$$

$$\Delta P_{in} = 3,19 \text{ inH}_2\text{O}$$

$$Potencia = 1,08 hp$$

$$Eficiencia \text{ óptima de recolección } > 70\% : d_p > 22 \mu m$$

2.6 Cálculos y selección de ventiladores.

Los ventiladores centrífugos son muy comerciales industrialmente, la fabricación no depende de muchos esfuerzos y los tamaños son casi estándares para las mismas características deseadas.

El ventilador seleccionado será de rotor con álabes curvados hacia atrás, con la dirección de salida a 90° para el aire. Llevará transmisión por bandas y poleas desde motor al eje del ventilador, con el sistema de templado de banda y protector.

Para los cálculos del ventilador se encontrará la potencia de funcionamiento, estimando la eficiencia global y una caída de presión total, la cual deberá ser verificada posteriormente (Land C. M., 2012).

Asumimos un valor de eficiencia global “ $\eta=50\%$ ” que involucra la eficiencia eléctrica, de ventilación y del motor, para poder determinar la magnitud del equipo y aproximar los resultados finales que serán analizados posteriormente.

Los perfiles aerodinámicos y rendimiento de ventilador, no serán necesarios encontrarlos ya que se utilizará una tabla para seleccionar el tamaño adecuado del ventilador.

El cálculo de la potencia en la sección de entrada al quemador es:

$$AF_0 = 2414,5 \text{ m}^3/\text{h} ; (\text{ó también } 1421 \text{ CFM})$$

$$P_{G0} = \frac{AF_0 \times \Delta P_{quem}}{3600 \times 1000 \times \eta}$$

$$P_{G0} = 0,8 \text{ kW}$$

El cálculo de la potencia a la salida del secador es:

$$AF_2 = 3649 \text{ m}^3/\text{h} ; (\text{ó también } 2148 \text{ CFM})$$

$$P_{G2} = \frac{AF_2 \times \Delta P_{ciclon}}{3600 \times 1000 \times \eta}$$

$$P_{G2} = 1,6 \text{ kW}$$

La potencia total, necesaria para el ventilador será:

$$P_{vent} = P_{G0} + P_{G2}$$

$$P_{vent} = 2,4 \text{ kW} = 3,2 \text{ HP}$$

Comercialmente en Ecuador los motores más comunes que se encuentran en el mercado, en relación al resultado obtenido, son de 2, 3, 5 y 7.5 HP; por lo que lo recomendable para el ventilador sería uno de 5 HP.

Se selecciona el tamaño del ventilador centrífugo que coincide con nuestros parámetros, utilizando el catálogo de la empresa New York Blower (ver APÉNDICE C).

El tamaño y modelo 223 K, muestra los siguientes resultados:

- Potencia motor: 5 HP.
- Velocidad del rotor: 1800 RPM
- Flujo nominal: 2950 CFM @ 6 in H₂O, condiciones 30°C, 1 atm

Las medidas correspondientes al modelo seleccionado son:

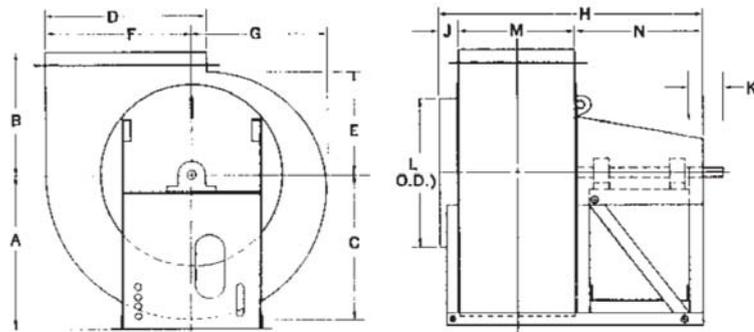


Figura 2.12 Esquema de ventilador centrífugo

(New York Blower)

Tabla 2.10 Dimensiones de ventilador centrífugo									
A	648	F	600	L	622	R	289	a	533
B	432	G	480	M	429	S	518	b	730
C	572	H	1165	N	660	T	276	c	590
D	632	J	79	O	1160	V	248	d	425
E	365	K	100	Q	260	W	298	Eje	49
Medidas en milímetros									

(New York Blower)

2.7 Cálculos y dimensionamiento de banda transportadora.

El ingreso del producto a la sección de carga en el secador rotatorio se la realiza por medio de una banda transportadora, de configuración inclinada con una tolva de recepción para alfalfa.

Las medidas generales y cálculos para las bandas transportadoras de alimentación y banda de descarga son:

Banda transportadora de alimentación al secador:

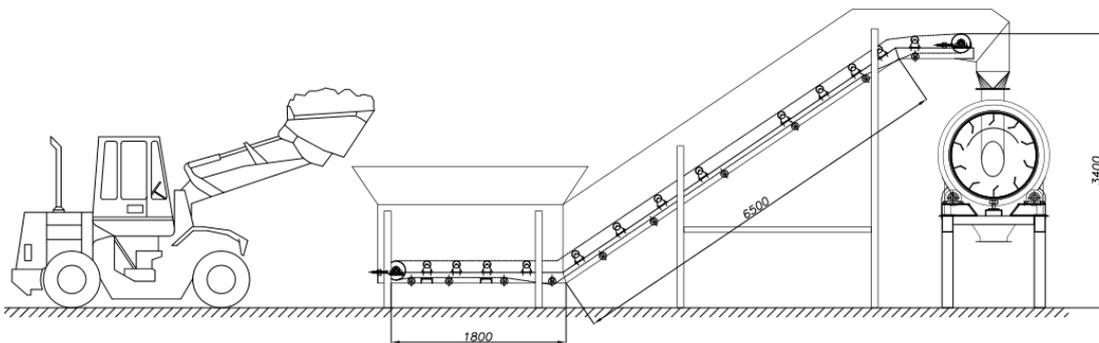


Figura 2.13 Esquema de banda transportadora de alimentación

(Leal & Salame, 2016)

$$L_{recta} = 2,5 \text{ mts}; \quad L_{incl} = 6,5 \text{ mts}, \quad \text{Angulo} = 25^\circ, \quad \text{Ancho} = 0,5 \text{ mts}$$

El flujo volumétrico de la alfalfa en este punto es:

$$\dot{V}_{alf,in} = \frac{500 \text{ kg/h}}{223 \text{ kg/m}^3} = 2,24 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

El ancho de banda transportadora a utilizar es de 500 mm y se utilizarán rodillos rectos para el desplazamiento a una velocidad lineal de 1,5 m/s.

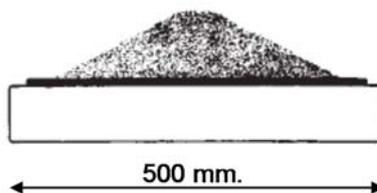


Figura 2.14 Rodillos de banda transportadora

El cálculo de la potencia necesaria para la transportación es la suma de las potencias absorbidas por el desplazamiento de producto, el desplazamiento de la banda y la elevación del producto.

$$N_{total} = N_1 + N_2 + N_3$$

Los datos para los cálculos de potencias son:

Capacidad =	0,5 Ton/h
Longitud =	9 m
Inclinación =	25 °
V banda =	2,5 m/s
f banda =	0,035
C_1 =	4,5
Ancho banda =	20 "
Densidad banda =	12 kg/m ²

El coeficiente C₁ se obtiene del siguiente gráfico:

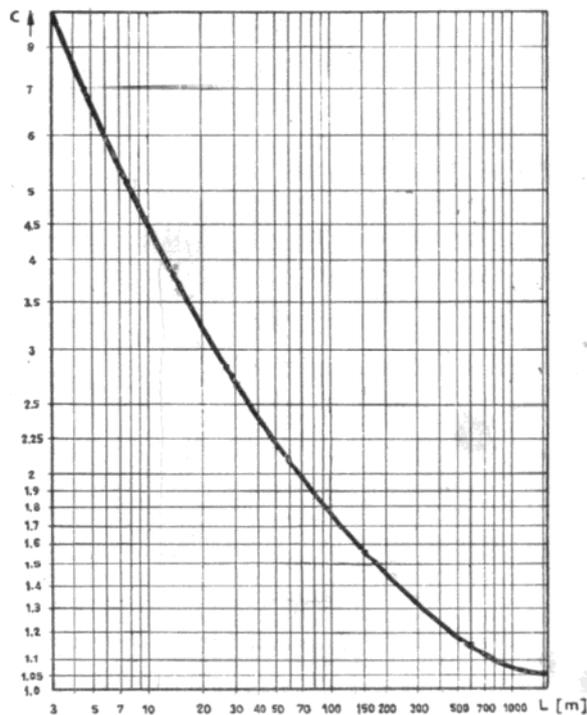


Figura 2.15 Coeficiente C₁ para bandas transportadoras

(Transporte y almacenamiento de materia prima, Targhetta, 1969)

Los valores N_1, N_2, N_3 son calculados de la siguiente forma:

$$H = Long \times \text{seno} \left(Incl \times \frac{2\pi}{360} \right) = 3,8 \text{ m.}$$

$$P_m = Cap \times 1000 \times \frac{Long}{V_b \times 3600} + (Ancho \times 0,0254 \times Long \times Dens_b) = 55,36 \text{ kg}$$

$$N_1 = Cap \times \frac{H}{270} = 0,01 \text{ hp}$$

$$N_2 = f_{banda} \times C_1 \times Cap \times \frac{Long}{270} = 0,003 \text{ hp}$$

$$N_3 = 0,06 \times f_{banda} \times C_1 \times 60 \times \frac{P_m}{270} = 0,29 \text{ hp}$$

$$N_{total} = 0,3 \text{ hp}$$

Los tambores motrices y de retorno serán del siguiente diámetro.

$$\omega = \frac{3600 \text{ rpm}}{20 \text{ (rel reductor)}} \times \frac{2\pi}{60 \text{ sg}} = 18,85 \text{ sg}^{-1}$$

$$Diametro = 2 \times \frac{2,5 \text{ m/s}}{18,85 \text{ s}^{-1}} = 265 \text{ mm.}$$

Banda transportara para descarga y enfriamiento de alfalfa:

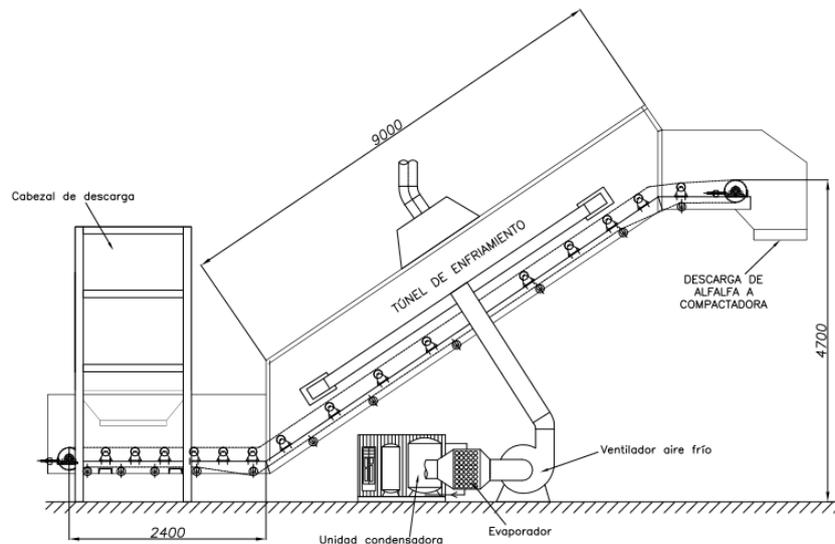


Figura 2.14 Esquema de banda para descarga y enfriamiento de alfalfa

(Leal & Salame, 2016)

$$L_{recta} = 3 \text{ mts}; L_{incl} = 9 \text{ mts}, \text{ Angulo} = 25^\circ, \text{ Ancho} = 0,5 \text{ mts}$$

Los valores son:

Capacidad =	0,4 Ton/h
Longitud =	12 m
Inclinación =	25 °
V banda =	2,5 m/s
f banda =	0,035
C_1 =	4
Ancho banda =	20 "
Densidad banda =	12 kg/m ²

Los resultados son:

$$H = 5,07 \text{ m}; P_m = 73,69 \text{ kg}; N_1 = 0,01 \text{ hp}; N_2 = 0,002 \text{ hp}; N_3 = 0,34 \text{ hp}$$

$$N_{total} = 0,35 \text{ hp}; \text{ Diámetro} = 265 \text{ mm.}$$

Las características técnicas de las bandas transportadoras son:

- Para las 2 bandas se utilizarán moto-reductores eléctricos de 1 hp con velocidad de salida de 180 rpm.
- Bastidor o chasis fabricado de perfiles laminados en caliente, de acero al carbono, electro-soldados por proceso GMAW.
- La densidad de la banda es de 12 kg/m², esto da un espesor de 6 mm.

2.8 Cálculos y dimensionamiento de sistema de enfriamiento.

La temperatura de la alfalfa a la salida del secador rotatorio se encuentra en unos 70°C por lo que se utiliza un sistema de enfriamiento tipo túnel, incorporando una banda transportadora inclinada, desde el cabezal de descarga hasta un punto elevado donde se alimentará a la prensa hidráulica de empaçado.

La temperatura adecuada para el empaçado puede ser la temperatura ambiental promedio, que para el sector de Rumipamba es de 14°C, pero en este caso lo fijaremos como una temperatura para empaqué $T_{emp} = 25^\circ\text{C}$ lo cual sería suficiente.

El cálculo térmico de la capacidad de enfriamiento está dado por:

$$\dot{Q}_{enf} = \dot{m}_{alf,sec} \times Cp_{alf} \times (T_{alf,sec} - T_{emp})$$

$$\dot{Q}_{enf} = \frac{310,3}{3600} \times 1,588 \times (80 - 25) = 6,16 \text{ kW}$$

La transferencia de calor en el túnel de enfriamiento estaría dada por convección forzada con aire a una velocidad de 25 m/s en las medidas de la banda transportadora seleccionada, por lo que calculamos el coeficiente convectivo que se generaría en el interior:

$$Re_L = \frac{v_{enf} \times \rho_{a,enf} \times L_{enf}}{\mu_{a,enf}}$$

$$Nu = 0,0308 \times Re_L^{0,8} \times Pr^{0,33}$$

Donde las propiedades del aire v_{enf} , $\rho_{a,enf}$, $\mu_{a,enf}$, k_{enf} son a la temperatura filmica:

$$T_{film} = \frac{\bar{T}_{alf} + T_{enf}}{2}$$

$$\bar{T}_{alf} = \frac{T_{alf,sal} + T_{emp}}{2}$$

$$h_{enf} = Nu \times \frac{k_{enf}}{L_{enf}}$$

Por transferencia de calor:

$$\dot{Q}_{enf} = h_{enf} \times A_{enf} \times (\bar{T}_{alf} - T_{enf})$$

Realizando las iteraciones necesarias encontramos la temperatura del aire necesaria para el enfriamiento de la alfalfa en el área determinada:

$$T_{enf} \approx 4^{\circ}\text{C}$$

Con un coeficiente convectivo de transferencia de calor en:

$$h_{enf} = 29,87 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Para llegar a esa temperatura de enfriamiento no se puede hacer directamente con la temperatura ambiental, se utiliza una unidad de refrigeración por compresión mecánica compuesta por una unidad condensadora, válvula de expansión y evaporador compacto. Asumiendo un factor de aportación de calor por paredes y por calor latente en 15%, la capacidad de enfriamiento del equipo de refrigeración deberá ser:

$$\begin{aligned} Pot_{enf} &= 1,15 \times \dot{Q}_{enf} \\ Pot_{enf} &\approx 7 \text{ kW} \approx 2 \text{ TonRef} \end{aligned}$$

El flujo de aire necesario para el enfriamiento, que pasa por el túnel de medidas 0,5 x 0,22 m, es:

$$\begin{aligned} \dot{Vol}_{enf} &= v_{enf} \times A_{tunel} \\ \dot{Vol}_{enf} &= 25 \times (0,5 \times 0,22) \\ \dot{Vol}_{enf} &= 2,75 \frac{m^3}{s} \approx 5800 \text{ CFM} \end{aligned}$$

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS.

Se procedió a analizar los resultados obtenidos en la metodología de diseño, realizada para cada uno de los equipos especificados en el proceso de deshidratación de alfalfa. Con el flujo de 500 kg/h determinado, se dimensionaron los equipos y se encontraron las características técnicas que son evaluados por los siguientes puntos:

- Materiales y procesos de fabricación.
- Costos de fabricación por mano de obra y materiales.
- Análisis de resultados y factibilidad técnica.

Para desarrollar los puntos indicados se revisó la cadena del proceso propuesto, contemplando las principales especificaciones que regulan la selección y cálculos por cada equipo, con las asunciones fijadas por métodos de diseños conocidos o por referencias bibliográficas investigadas.

La cadena del proceso comienza por el punto de recepción del producto, con las condiciones proporcionadas en la definición del problema se buscan posteriormente los equipos indicados para la deshidratación del producto, utilizando la alternativa del quemador de biomasa como generador del aire caliente para la etapa del secado; considerando este punto como una innovación en el sector industrial del país y ambientalmente amigable.

Se identificaron los principales materiales para la fabricación de los equipos y el proceso de manufactura utilizado, con lo cual se determinó los costos por mano de obra y por materiales.

3.1 Materiales y procesos de fabricación.

Los equipos diseñados para el proceso de deshidratación de alfalfa se pueden fabricar en talleres locales sin inconvenientes para la provisión de materia prima, así como la fácil adquisición de los componentes operativos necesarios como motores eléctricos, piñones, reductores de velocidad, poleas, bandas, elementos eléctricos de control y fuerza, etc.

Los materiales y accesorios utilizados cumplen las siguientes normas y estándares:

- ASTM (American Society for Testing and Material).
- AISI (American Iron and Steel Institute).
- AWS (American Welding Society)
- ASME (American Society Mechanical Engineering).
- IEE (Institution of Electrical Engineers).

Los procesos de manufactura a realizarse son por trabajos en frío y caliente, entre los principales tenemos:

- Soldadura por electrodo revestido, SMAW.
- Soldadura por atmosfera de gas inerte, GMAW.
- Corte por mezcla oxígeno-propano.
- Corte por plasma con aire comprimido.
- Rolado en frío.
- Plegado / doblado en frío.

Los trabajos de fabricación para los equipos son generalmente por tareas de armado, proceso de soldado, limpieza y pintado, pruebas de funcionamiento.

Tabla 3.1 Materiales y procesos principales de fabricación por equipos.	
Equipos. Partes	Materiales Procesos
Tambor rotatorio:	
Cilindro (cigarro). Elevadores internos. Cintas de apoyo. Bastidor.	Planchas: acero al carbono ASTM A36 Soldadura: electrodo revestido E7018, alambre para GMAW ER70S6. Rolado en frío, plegado en frío, corte, soldadura, pintado anticorrosivo exterior
Aislamiento	Material: lana mineral de roca
Forro de aislamiento	Material: acero inoxidable AISIS 304 2B
Rollers	Acero de transmisión SAE1018
Quemador de biomasa	
Parilla de combustión	Hierro fundido
Cuerpo, intercambiador de calor, estructura.	Acero al carbono
Aislamiento interior	Concreto refractario resistente a 1500°C
Aislamiento exterior	Lana mineral de roca, espesor 4", Forro por medio de láminas de acero galvanizado en frío.
Ciclón colector	
Cuerpo y soportes	Acero al carbono ASTM A36
Ventilador centrífugo	
Carcasa, base Rotor	Acero al carbono ASTM A36
Eje, chumaceras, manzana, poleas	Acero de transmisión SAE1018
Bandas transportadora alimentación	
Chasis, soportes, refuerzos	Material: ASTM A36 Soldadura: electrodo revestido E7018, alambre para GMAW ER70S6.
Banda transportadora	Caucho neopreno con lona
Rodillos	Acero al carbono
Banda transportadora de descarga con túnel de enfriamiento	
Chasis, soportes, refuerzos	Material: ASTM A36 Soldadura: electrodo revestido E7018, alambre para GMAW ER70S6.
Banda transportadora	Caucho neopreno con lona
Rodillos	Acero al carbono

3.2 Análisis de costos.

Esta sección contempla el análisis de costos para la fabricación de los equipos seleccionados en el proceso de deshidratación de alfalfa, dividiéndolos en costos por mano de obra y costos por materiales de fabricación.

En los costos de mano de obra se investigó el precio por día promedio de maestros armadores, soldadores y ayudantes en el mercado de la construcción metalmecánica, considerando todos los costos legales por aportaciones al IESS y beneficios por contrato, se determinan los promedios para cada equipo, según su complejidad constructiva.

Tabla 3.2 Costos por mano de obra de fabricación				
Equipo	Cantidad obreros	Costo por día	Días de fabricación	Costo mano de obra
Quemador de biomasa	4	\$ 40,00	35	\$ 5.600,00
Secador rotatorio	4	\$ 35,00	55	\$ 7.700,00
Banda transportadora (ingreso)	2	\$ 30,00	20	\$ 1.200,00
Banda transportadora (descarga)	2	\$ 30,00	22	\$ 1.320,00
Sistema de enfriamiento	2	\$ 35,00	18	\$ 1.260,00
Separador de solidos	2	\$ 30,00	8	\$ 480,00
Ventilador centrifugo	3	\$ 35,00	15	\$ 1.575,00
SUBTOTAL.....				\$ 19.135,00

Tabla 3.3 Costos por mano de obra de instalación y puesta en marcha				
Descripción	Cantidad obreros	Costo por día	Días	Costo mano de obra
Transporte de equipos y puesta en sitio	3	\$ 50,00	2	\$ 400,00
Instalación de ductos, chimenea y accesorios de interconexión entre equipos	3	\$ 50,00	5	\$ 750,00
Instalaciones eléctricas de control y fuerza	2	\$ 50,00	6	\$ 600,00
Logotipos y señaléticas de operación y seguridad	2	\$ 50,00	2	\$ 200,00
SUBTOTAL.....				\$ 1.950,00

Tabla 3.4 Costos por materiales en secador rotatorio

Descripción	Cant.	Costo Unitario (\$)	Costo Total (\$)
Planchones A36 1220x3000 e=5	6,5	\$ 360,00	\$ 2.340,00
Planchones A36 1220x4000 e=4 mm	2,5	\$ 275,00	\$ 687,50
Planchas Acero Inox. 304 1220x2440 e=1mm	9	\$ 75,00	\$ 675,00
Planchas A36 1220x2440 e=4 mm	5	\$ 123,00	\$ 615,00
Ángulos acero A36; 1" x 1/8" Largo: 6 mts	8	\$ 9,00	\$ 72,00
Rollo lana de vidrio 30 metros espesor 2"	2	\$ 180,00	\$ 360,00
Viga UPN 150	2	\$ 140,00	\$ 280,00
Plancha A36 e= 12 mm	1	\$ 150,00	\$ 150,00
Corona dentada 145 dientes 1,48 mts diám. para cadena # 100	1	\$ 1.800,00	\$ 800,00
Piñón 20 dientes 0,2 mts diámetro, para cadena #100	1	\$ 250,00	\$ 250,00
Motor 5 HP trifásico 220/440	1	\$ 1.500,00	\$ 1.500,00
Reductor de velocidades 5 HP 20:1	1	\$ 2.400,00	\$ 2.400,00
Caja de cadena #100 largo 6 mts	1	\$ 650,00	\$ 650,00
Viga UPN 160	4	\$ 170,00	\$ 680,00
Rodillos 250 mm	4	\$ 200,00	\$ 800,00
Juego de rodillos axiales	1	\$ 350,00	\$ 350,00
Chumaceras de piso 1 1/2"	8	\$ 54,00	\$ 432,00
Fabricación de sello entre cigarro y cabezales	1	\$ 200,00	\$ 200,00
Kg de soldadura acero al carbono /gases / electrodos etc.	70	\$ 4,00	\$ 280,00
Materiales varios y consumibles (discos, gratas, pintura, pernos, etc.)	1	\$ 400,00	\$ 400,00
SUBTOTAL.....			\$ 14.921,50

Tabla 3.5 Costos por materiales en 2 bandas transportadoras

Descripción	Cant.	Costo Unit. (\$)	Costo total (\$)
Rollers 15"	36	\$ 45,00	\$ 1620,00
Rodillos principales	4	\$ 120,00	\$ 480,00
Motor reductor 2 hp	2	\$ 1.200,00	\$ 2.400,00
Juego de transmisión	2	\$ 200,00	\$ 400,00
Vigas UPN 80	4	\$ 90,00	\$ 360,00
Planchas acero A36 2 mm	8	\$ 50,00	\$ 400,00
Metros de banda transportadora 8 mm 14"	26	\$ 25,00	\$ 650,00
Varios: gases, discos, gratas, boquillas, EPP, pernos, etc.	1	\$ 300,00	\$ 300,00
SUBTOTAL.....			\$ 6.640,00

Tabla 3.6 Costos por materiales en sistema de enfriamiento

Descripción	Cantidad	Costo unit. (\$)	Costo total (\$)
Unidad condensadora CMT-36	1	\$ 2.600,00	\$ 2.600,00
Válvula de expansión 25 toneladas, 30 F temperatura ambiente.	1	\$ 100,00	\$ 100,00
Lote de accesorios ref. (filtros, visores, válvulas, tuberías)	1	\$ 400,00	\$ 400,00
Panel, contactores, relés, termostatos, caja, instalación, luces	1	\$ 400,00	\$ 400,00
Instalación de refrigeración	1	\$ 400,00	\$ 400,00
Botellas de R22 (30 lb)	2	\$ 50,00	\$ 50,00
Termostato bulbo de mercurio (5 C)	1	\$ 100,00	\$ 100,00
Tubos $\Phi 3/8$ " acero inoxidable gauge 18	40	\$ 26,00	\$ 1.040,00
Ángulos 3"x 1/4" negros	1	\$ 21,00	\$ 21,00
Viga UPN 80	1	\$ 90,00	\$ 90,00
Planchas de acero A36 e=2 mm.	3	\$ 50,00	\$ 150,00
Planchas de acero A36 e=1 mm.	3	\$ 40,00	\$ 120,00
Termómetro digital Johnson	1	\$ 96,00	\$ 96,00
Ventilador centrífugo size 15	1	\$ 3.500,00	\$ 3.500,00
Varios: gases, discos, gratas, boquillas, EPP, pernos, quitamiedos	1	\$ 2.600,00	\$ 2.600,00
SUBTOTAL.....			\$ 9317,00

Tabla 3.7 Costos por materiales en transportador sinfín

Descripción	Cantidad	Costo unit. (\$)	Costo total (\$)
Plancha 1220 x 2440 e= 3 mm	1	\$ 80,00	\$ 80,00
Tubo 1 1/4" cedula 40	1	\$ 45,00	\$ 45,00
Mts eje de transmisión 2"	0,6	\$ 52,00	\$ 31,20
Chumaceras de pared 1 1/2" heavy duty	2	\$ 40,00	\$ 80,00
Motor reductor con transmisión piñón cadena 0,5 hp	1	\$ 500,00	\$ 500,00
Varios: gases, discos, gratas, boquillas, EPP, pernos, quitamiedos	1	\$ 100,00	\$ 100,00
SUBTOTAL.....			\$ 836,20

Tabla 3.8 Costos por materiales en ciclón colector

Descripción	Cantidad	Costo unit (\$)	Costo total (\$)
Plancha acero A36; e=6mm de 1220x2440mm	0,25	\$ 178,34	\$ 44,58
Plancha acero inoxidable AISI 304, e=1,5mm	3	\$ 195,55	\$ 586,65
Tubo cuadrado 60x3mm	2	\$ 95,15	\$ 190,30
Tubo cuadrado 100x3mm	1	\$ 250,78	\$ 250,78
SUBTOTAL.....			\$ 1072,31

Tabla 3.9 Costos por materiales en quemador de biomasa			
Descripción	Cantidad	Costo unit (\$)	Costo total (\$)
Plancha acero A36; e=6mm 1220x2440mm	4	\$ 178,34	\$ 713,36
Plancha acero A36, e=10 mm	1,5	\$ 246,76	\$ 370,14
Air damper	4	\$ 400,00	\$ 1.600,00
Sacos de Concrex 1500	8	\$ 25,00	\$ 200,00
Tubo acero al carbono, alta temperatura diám 2 ½ "	13	\$ 72,33	\$ 940,29
Parrilla hierro fundido 1200 x 1000 mm	1	\$ 1.368,56	\$ 1.368,56
Rollo lana de vidrio 30 metros espesor 2"	1	\$ 180,00	\$ 180,00
Plancha de acero inoxidable e=3 mm	0,5	\$ 325,00	\$ 162,50
Plancha de acero galvanizado e= 1,2 mm	6	\$ 80,00	\$ 480,00
Plancha de acero A36 1220 x 2440 e=3mm	2	\$ 81,39	\$ 162,78
Sistema eléctrico, encendido por electrodos	1	\$ 1.200,00	\$ 1.200,00
Sistema de detección de llamas	1	\$ 1.600,00	\$ 1.600,00
PLC,control de temperatura y llama	1	\$ 475,00	\$ 475,00
Ventilador centrifugo size 12 (TRANE)	1	\$ 1.000,00	\$ 1.000,00
SUBTOTAL.....			\$ 8.852,63

El costo aproximado del desarrollo del proyecto, incluyendo el valor de los materiales a usar y el costo aproximado por la mano de obra es de \$ 62.724,64.

3.3 Análisis de resultados y factibilidad técnica.

Los resultados obtenidos en el capítulo anterior serán analizados basándonos en los objetivos planteados al inicio del proyecto, así también como en la factibilidad técnica que estos tengan para un posible desarrollo del mismo.

Uno de los parámetros necesarios para el correcto desarrollo del proyecto, es el obtener a la salida del secador rotatorio, fibras largas de alfalfa que posean un contenido de agua menor al 15%. Mediante los estudios y cálculos realizados se determinó los parámetros de diseño necesarios, como las dimensiones del secador rotatorio ($D = 1.04 \text{ m}$, $L = 7,69 \text{ m}$), velocidad nominal de rotación (5 RPM), consumo de potencia requerida para rotación del secador ($P_{ot_{rot}} = 4 \text{ kW}$), velocidad de ingreso de aire ($v = 1,2 \text{ m/s}$), así como el tiempo de residencia $\tau = 35,96 \text{ min}$ del producto dentro del secador, sin que este pierda sus propiedades nutricionales.

Se determinó la mínima potencia calorífica necesaria a suministrar en el sistema ($\dot{Q}_{tot;2} = 239,2 \text{ kW}$) con el fin de obtener una reducción de la humedad en la alfalfa, estos parámetros son necesarios para obtener un producto final con una humedad del 13%, suficiente para su correcto almacenamiento (Garcia & Ayerbe, 2004).

Otro componente fundamental para el desarrollo del proyecto fue el quemador de biomasa, el mismo debía suministrar nominalmente una potencia de 239,2 kW, pero debido a factores no previstos, como condiciones ambientales o pérdidas térmicas no previstas, al mismo se le dio margen aproximado del 25%, de esta forma la capacidad necesaria a suministrar por el quemador será de 300 kW, además el consumo de astillas de madera necesario para el proceso será de 0,47 m³/h.

Adicional a esto se realizó un análisis estequiométrico del combustible a utilizar ($C_6H_{10}O_5$), esto con el fin de obtener la relación aire combustible necesaria para el proceso, esto con el fin de obtener una correcta combustión en el proceso. El quemador contara con una tolva de alimentación para el producto y un intercambiador de calor tipo tubular de dos pases, esto con el fin de bajar la temperatura en los productos de combustión, para facilitar los 300°C en la cámara de mezcla (Garcia & Ayerbe, 2004).

CAPITULO 4

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.

4.1 Conclusiones.

Se proceden a realizar las conclusiones en base a: los resultados obtenidos de la investigación del producto, los resultados obtenidos del diseño y la construcción de los equipos para el secado de fibras largas de alfalfa:

- Mediante al análisis realizado se pudo determinar la factibilidad de usar un quemador de biomásas en el proceso de deshidratación de alfalfa, el mismo que será capaz de suministrar el flujo de calor necesario hasta lograr obtener una humedad de la alfalfa del 13%. Adicional a esto se realizaron cálculos estequiométricos, para conocer la relación existente entre el flujo de ingreso de aire y el flujo de ingreso de combustible para de esta forma obtener una buena combustión de la astilla de madera. Se realizó el diseño del intercambiador de calor necesario para el proceso, así como el cálculo de la potencia del ventilador necesario para el ingreso de aire. Posterior a esto se procedió a elaborar un plano de las partes representativas del quemador.
- La temperatura de ingreso al secador rotatorio es de 300 °C, y la temperatura a las salida es de 80°C, esto garantizara que el producto lograra disminuir el porcentaje de agua requerido, además que el mismo no tendrá pérdidas nutricionales debido a las altas variaciones de temperatura.
- El secador de calentamiento directo, tipo rotatorio, es uno de los más apropiados para el proceso, los resultados obtenidos lo confirman ya que se encuentran dentro de lo esperado, principalmente el tiempo de residencia $\tau = 35,96$ minutos, se encuentra dentro del rango permisible para este equipo (20-45 min).

- Este tipo de secado convectivo, mejora el proceso de secado convencional de forraje, de esta forma se obtiene un forraje de mejor calidad para su almacenaje, y en menor tiempo, adicional se reduce la cantidad de personal necesario para el desarrollo de este proceso
- Al contar los equipos con un sistema de separación de sólidos, se evita ocasionar contaminación al ambiente por partículas arrastradas por la corriente de aire, producto de la combustión.

4.2 Recomendaciones.

- El combustible a utilizar fue astillas de madera, el mismo que posee un poder calorífico aproximado de $10258 \frac{kJ}{kg}$, con el fin de lograr aumentar su poder calorífico, y de esta manera disminuir el consumo de combustible, se recomienda mantener la humedad de las astillas por debajo del 50% y en la medida de lo posible secarlos por debajo del 20% para así aumentar su poder calorífico.
- Se recomienda utilizar un margen del 25% extra en la capacidad nominal calculada de las potencias de los motores, este margen se da con el fin de obtener un correcto funcionamiento de los equipos así existan pequeñas pérdidas existentes en el sistema.
- Para la construcción de los elementos del sistema fue necesario realizar una selección de los materiales a utilizar, basándonos en las propiedades que los mismos poseen, se recomienda utilizar como base para la construcción materiales que se puedan encontrar con facilidad en el mercado ecuatoriano.

BIBLIOGRAFÍA

- C.M. Van't Land. (2012). Drying in the process industry. In C. V. Land, *Drying in the process industry* (p. 106). Hoboken: Wiley.
- Cooper, C. D. (2003). Air Pollution Control. In C. D. Cooper, *Air Pollution Control* (pp. 126-139). Florida.
- Garcia, F. J., & Ayerbe, C. (2004). Maquinaria para el deshidratado industrial de la alfalfa. *Vida Rural*, 72-75.
- Hu Yuegao, D. C. (2010, Diciembre 5). *Food and Agriculture Organization*. Retrieved from www.fao.org
- Incropera, F. (1999). Fundamentos de transferencia de calor. In F. Incropera, *Fundamentos de transferencia de calor* (pp. 359-365). México: Pearson.
- Ing. Felipe Alba. (2010). *Unidad Educativa Agronómico Salesiano*. Retrieved from <http://www.agronomicosalesianopaute.edu.ec/des/modulos>
- Land, C. M. (2012). Drying in the process Industry. In C. M. Land, *Drying in the process Industry* (pp. 64-65;). Wiley.
- Land, C. V. (2012). In C. V. Land, *Drying in the process industry* (pp. 111-116). Florida.
- Maker, T. M. (1994). *Wood-Chip Heating Systems*. Washington DC.
- Martin. (2015, Noviembre 25). *Martin Sprocket & Gear, Inc*. Retrieved from Martin Sprocket & Gear: <http://www.martinsprocket.com/support/literature-media/catalog/power-transmission-catalog>
- Ministerio de agricultura. (2011). Retrieved from <http://www.agricultura.gob.ec/>
- Mujumdar, A. S. (2014). *Handbook of industrial Drying*. CRC press.
- ORG, F. (n.d.). *www.fao.org*. Retrieved from FAO.
- Perry, R. (1984). Manual del Ingeniero Químico Tomo III. In R. Perry, *Manual del Ingeniero Químico Tomo III*. McGRAW-HILL.
- Swift. (1969). In C. D. Cooper, *Air Pollution Control* (pp. 126-139). Florida.
- Targhetta Arriola, L. (1969). Transporte y almacenamiento de materias primas en la industria básica Tomo II. In *Transporte y almacenamiento de materias primas en la industria básica* (p. 662). Madrid: Blume.
- Ugarriza, S. (2009). Terminología comercial agropecuaria. In *Tercoma* (p. 19). Salta: EUCASA.
- Valter, F., & Eliseo, A. (2008). *Manual de combustibles de madera*. Valladolid: AVEBIOM.

APÉNDICE A

SISTEMA MOTRIZ

Tablas selección de poleas

B Stock Drive Selection



Speed Ratio	Sheave Combination		DriveN Speeds and HP Per Belt									Nominal Center Distance And Arc-Length Correction Factors					
			3500 RPM DriveR			1750 RPM DriveR			1160 RPM DriveR			B/BX Belt Length Designation					
	DriveR P.D.	DriveN P.D.	DriveN RPM	HP Per Belt B	HP Per Belt BX	DriveN RPM	HP Per Belt B	HP Per Belt BX	DriveN RPM	HP Per Belt B	HP Per Belt BX	35	38	42	46	51	60
1.33	4.2	5.6	2625	4.97	8.72	1312	3.99	5.63	870	3.08	4.11	10.7	12.2	14.2	16.2	18.7	23.2
1.33	4.8	6.4	2625	7.44	11.50	1312	5.63	7.36	870	4.26	5.33	9.6	11.1	13.1	15.1	17.6	22.1
1.33	6.0	8.0	2625	11.57	16.40	1313	8.77	10.69	870	6.54	7.71	—	—	10.9	12.9	15.4	19.9
1.34	6.4	8.6	2605	12.70	17.84	1302	9.78	11.77	863	7.29	8.49	—	—	10.1	12.1	14.6	19.1
1.34	7.0	9.4	2606	14.10	19.76	1303	11.24	13.34	864	8.38	9.64	—	—	—	11.0	13.5	18.0
ARC-LENGTH CORRECTION FACTOR												0.75	0.78	0.80	0.83	0.85	0.89
1.35	3.4	4.6	2587	1.35	4.75	1293	1.73	3.28	857	1.48	2.46	12.1	13.6	15.6	17.6	20.1	24.6
1.35	4.0	5.4	2593	4.13	7.78	1296	3.44	5.06	859	2.69	3.71	11.0	12.5	14.5	16.5	19.0	23.5
1.35	4.6	6.2	2597	6.68	10.63	1298	5.11	6.80	861	3.88	4.94	9.9	11.4	13.4	15.4	17.9	22.4
1.35	5.2	7.0	2600	8.98	13.26	1300	6.72	8.50	862	5.04	6.14	8.8	10.3	12.3	14.3	16.8	21.3
1.36	4.4	6.0	2567	5.88	9.71	1283	4.57	6.24	851	3.49	4.54	10.2	11.7	13.7	15.7	18.2	22.7
ARC-LENGTH CORRECTION FACTOR												0.76	0.78	0.80	0.83	0.85	0.89
1.36	5.0	6.8	2574	8.26	12.42	1287	6.20	7.95	853	4.66	5.75	9.1	10.6	12.6	14.6	17.1	21.6
1.37	3.8	5.2	2558	3.26	6.82	1279	2.89	4.49	848	2.30	3.31	11.3	12.8	14.8	16.8	19.3	23.8
1.37	4.8	6.6	2545	7.51	11.56	1273	5.67	7.39	844	4.28	5.35	9.4	10.9	12.9	14.9	17.4	21.9
1.37	5.4	7.4	2554	9.71	14.12	1277	7.26	9.08	846	5.43	6.55	8.3	9.8	11.8	13.8	16.3	20.8
1.38	4.2	5.8	2534	5.06	8.79	1267	4.03	5.67	840	3.11	4.14	10.5	12.0	14.0	16.0	18.5	23.0
ARC-LENGTH CORRECTION FACTOR												0.75	0.77	0.80	0.82	0.85	0.89
1.38	5.8	8.0	2537	11.04	15.72	1269	8.30	10.18	841	6.19	7.34	—	9.0	11.0	13.0	15.5	20.0
1.38	6.8	9.4	2532	13.74	19.20	1266	10.79	12.85	839	8.04	9.28	—	—	—	11.1	13.6	18.1
1.38	8.0	11.0	+	+	+	1273	13.57	15.88	844	10.18	11.53	—	—	—	—	11.4	15.9
1.39	3.6	5.0	2520	2.37	5.83	1260	2.34	3.90	835	1.91	2.90	11.6	13.1	15.1	17.1	19.6	24.1
1.39	4.6	6.4	2516	6.74	10.68	1258	5.14	6.83	834	3.90	4.95	9.7	11.2	13.2	15.2	17.7	22.2
ARC-LENGTH CORRECTION FACTOR												0.76	0.78	0.80	0.83	0.85	0.89
1.39	6.2	8.6	2523	12.24	17.21	1262	9.32	11.27	836	6.95	8.13	—	—	10.2	12.2	14.7	19.2
1.40	4.0	5.6	2500	4.21	7.85	1250	3.48	5.10	829	2.72	3.73	10.8	12.3	14.3	16.3	18.8	23.3
1.40	5.0	7.0	2500	8.32	12.47	1250	6.23	7.98	829	4.68	5.76	8.9	10.4	12.4	14.4	16.9	21.5
1.41	3.4	4.8	2479	1.44	4.83	1240	1.78	3.32	822	1.51	2.49	11.9	13.4	15.4	17.4	19.9	24.4
1.41	4.4	6.2	2484	5.95	9.78	1242	4.60	6.27	823	3.51	4.56	10.0	11.5	13.5	15.5	18.1	22.6

Tablas de especificaciones de piñones para cadena #100



Sprocket
Diameters

No. 100
1 1/4" Pitch

ROLLER CHAIN SPROCKET DIAMETERS

No. Teeth	Pitch Diameter	Outside Diameter	Caliper Diameter	No. Teeth	Pitch Diameter	Outside Diameter	Caliper Diameter	No. Teeth	Pitch Diameter	Outside Diameter	Caliper Diameter
5	2.126	2.470	1.273	71	28.259	28.981	27.502	136	54.118	54.853	53.368
6	2.500	2.915	1.750	72	28.658	29.380	27.908	137	54.515	55.251	53.762
7	2.881	3.345	2.059	73	29.055	29.778	28.298	138	54.914	55.649	54.164
8	3.266	3.768	2.516	74	29.453	30.176	28.703	139	55.311	56.048	54.558
9	3.655	4.185	2.849	75	29.850	30.574	29.094	140	55.709	56.445	54.959
10	4.045	4.598	3.295	76	30.248	30.973	29.498	141	56.106	56.843	55.353
11	4.438	5.008	3.639	77	30.646	31.370	29.890	142	56.505	57.241	55.755
12	4.830	5.415	4.080	78	31.044	31.769	30.294	143	56.903	57.639	56.149
13	5.224	5.821	4.435	79	31.441	32.166	30.685	144	57.300	58.036	56.550
14	5.618	6.226	4.868	80	31.839	32.565	31.089	145	57.698	58.435	56.945
15	6.013	6.630	5.229	81	32.238	32.963	31.481	146	58.096	58.833	57.346
16	6.408	7.034	5.658	82	32.635	33.361	31.885	147	58.494	59.230	57.741
17	6.803	7.436	6.024	83	33.033	33.759	32.277	148	58.891	59.629	58.141
18	7.199	7.839	6.449	84	33.430	34.158	32.680	149	59.290	60.026	58.536
19	7.595	8.241	6.819	85	33.828	34.555	33.072	150	59.688	60.425	58.938
20	7.990	8.643	7.240	86	34.226	34.953	33.476	151	60.085	60.823	59.332
21	8.388	9.044	7.613	87	34.624	35.351	33.868	152	60.483	61.220	59.733
22	8.784	9.444	8.034	88	35.024	35.749	34.384	153	60.881	61.619	60.128
23	9.180	9.845	8.409	89	35.419	36.148	34.664	154	61.279	62.016	60.529
24	9.576	10.245	8.827	90	35.818	36.545	35.068	155	61.676	62.414	60.924
25	9.974	10.645	9.204	91	36.215	36.944	35.460	156	62.075	62.813	61.325
26	10.370	11.045	9.620	92	36.613	37.341	35.863	157	62.473	63.210	61.719
27	10.768	11.445	9.999	93	37.010	37.740	36.255	158	62.870	63.608	62.120
28	11.164	11.844	10.414	94	37.409	38.138	36.659	159	63.269	64.006	62.515
29	11.561	12.244	10.781	95	37.806	38.536	37.054	160	63.666	64.404	62.916

Tablas de potencia soportada por distintos piñones a distintas revoluciones

1 1/4" Pitch No. 100

No. of Teeth Small Sprocket	REVOLUTIONS PER MINUTE — SMALL SPROCKET																									
	10	25	50	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600			
11	0.81	1.85	3.45	6.44	12.0	17.3	22.4	27.4	32.3	37.1	42.0	46.8	51.6	56.4	61.2	66.0	70.8	75.6	80.4	85.2	90.0	94.8	99.6	104.4		
12	0.89	2.03	3.79	7.08	13.2	19.0	24.6	30.1	35.5	40.8	46.2	51.6	56.9	62.3	67.6	72.9	78.2	83.5	88.8	94.1	99.4	104.7	110.0	115.3		
13	0.97	2.22	4.13	7.72	14.4	20.7	26.9	32.8	38.7	44.5	50.4	56.3	62.1	68.0	73.8	79.6	85.4	91.2	97.0	102.8	108.6	114.4	120.2	126.0		
14	1.05	2.40	4.48	8.36	15.6	22.5	29.1	35.6	41.9	48.2	54.5	60.8	67.1	73.4	79.7	86.0	92.3	98.6	104.9	111.2	117.5	123.8	130.1	136.4		
15	1.13	2.59	4.83	9.01	16.8	24.2	31.4	38.3	45.2	51.9	58.7	65.5	72.3	79.1	85.9	92.7	99.5	106.3	113.1	119.9	126.7	133.5	140.3	147.1		
16	1.22	2.77	5.17	9.66	18.0	26.0	33.6	41.1	48.4	55.6	62.9	70.2	77.5	84.8	92.1	99.4	106.7	114.0	121.3	128.6	135.9	143.2	150.5	157.8		
17	1.30	2.96	5.52	10.3	19.2	27.7	35.9	43.9	51.7	59.4	67.2	75.0	82.8	90.6	98.4	106.2	114.0	121.8	129.6	137.4	145.2	153.0	160.8	168.6		
18	1.38	3.15	5.88	11.0	20.5	29.5	38.2	46.7	55.0	63.2	71.5	79.8	88.1	96.4	104.7	113.0	121.3	129.6	137.9	146.2	154.5	162.8	171.1	179.4		
19	1.46	3.34	6.23	11.6	21.7	31.2	40.5	49.5	58.3	67.0	75.8	84.6	93.4	102.2	111.0	119.8	128.6	137.4	146.2	155.0	163.8	172.6	181.4	190.2		
20	1.55	3.53	6.58	12.3	22.9	33.0	42.8	52.3	61.6	70.8	79.8	88.8	97.8	106.8	115.8	124.8	133.8	142.8	151.8	160.8	169.8	178.8	187.8	196.8		
21	1.63	3.72	6.94	13.0	24.2	34.8	45.1	55.1	65.0	74.6	84.2	93.8	103.4	113.0	122.6	132.2	141.8	151.4	161.0	170.6	180.2	189.8	199.4	209.0		
22	1.71	3.91	7.30	13.6	25.4	36.6	47.4	58.0	68.3	78.5	88.5	98.5	108.5	118.5	128.5	138.5	148.5	158.5	168.5	178.5	188.5	198.5	208.5	218.5		
23	1.80	4.10	7.66	14.3	26.7	38.4	49.8	60.8	71.7	82.3	92.8	103.3	113.8	124.3	134.8	145.3	155.8	166.3	176.8	187.3	197.8	208.3	218.8	229.3		
24	1.88	4.30	8.02	15.0	27.9	40.2	52.1	63.7	75.0	86.2	97.2	108.2	119.2	130.2	141.2	152.2	163.2	174.2	185.2	196.2	207.2	218.2	229.2	240.2		
25	1.97	4.49	8.38	15.6	29.2	42.0	54.4	66.8	78.4	90.1	102	114	126	138	150	162	174	186	198	210	222	234	246	258		
26	2.05	4.68	8.74	16.3	30.4	43.8	56.8	69.4	81.8	94.0	106	118	130	142	154	166	178	190	202	214	226	238	250	262		
28	2.22	5.07	9.47	17.7	33.0	47.5	61.5	75.2	88.6	102	115	129	142	155	168	181	194	207	220	233	246	259	272	285		
30	2.40	5.47	10.2	19.0	35.5	51.2	66.3	81.0	95.5	110	124	138	152	166	180	194	208	222	236	250	264	278	292	306		
32	2.57	5.86	10.9	20.4	38.1	54.9	71.1	86.9	102	118	133	148	163	178	193	208	223	238	253	268	283	298	313	328		
35	2.83	6.46	12.0	22.5	42.0	60.4	78.3	95.7	113	130	146	163	180	197	214	231	248	265	282	299	316	333	350	367		
40	3.27	7.46	13.9	26.0	48.5	69.8	90.4	111	130	150	169	188	207	226	245	264	283	302	321	340	359	378	397	416		
45	3.71	8.47	15.8	29.5	55.0	79.3	103	126	148	170	192	213	234	255	276	297	318	339	360	381	402	423	444	465		
Lubrication	Type A			Type B									Type C													

Type A Manual Lubrication
Type B Bath or Disc Lubrication
Type C Oil Stream Lubrication

Multiple Strand Factors

No. Strands	Strand Factor
1	1.0
2	1.9
3	2.8
4	3.7

APÉNDICE B

Propiedades de partículas

Distintas velocidades de partículas esféricas en el aire

Table 4.1 Terminal Velocities of Spherical Particles in Air

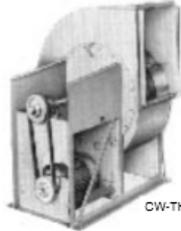
Diameter (μm)	$\Delta\rho = (\rho_S - \rho_F) \text{ (kg}\cdot\text{m}^{-3}\text{)}$					
	1000			2000		
	15°C	90°C	205°C	15°C	90°C	205°C
50	0.074	0.062	0.052	0.14	0.12	0.10
100	0.25	0.22	0.19	0.46	0.41	0.37
250	0.91	0.87	0.83	1.51	1.48	1.43
500	1.98	2.01	1.99	3.17	3.20	3.26
600	2.39	2.43	2.46	3.78	3.84	3.94
700	2.79	2.87	2.91	4.33	4.51	4.70
800	3.14	3.23	3.35	4.85	5.07	5.27
900	3.48	3.66	3.79	5.42	5.64	5.91
1000	3.84	4.00	4.21	5.97	6.19	6.50
1250	4.73	4.91	5.12	7.10	7.53	7.86
1500	5.37	5.76	5.98	7.78	8.65	9.40
2000	6.71	7.18	7.71	9.72	10.6	11.7
2500	7.71	8.45	9.20	11.3	12.5	13.7
3000	8.75	9.56	10.5	14.8	14.0	15.5
5000	11.6	13.1	14.6	16.7	18.6	21.2

APÉNDICE C

Selección de ventiladores

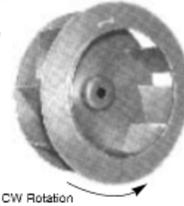
Tabla para selección de ventiladores

nyb New York General Purpose Blowers



BACKWARD CURVE - BELT DRIVE - SINGLE INLET - ARRANGEMENT 10

- FULL AMCA CLASS II CONSTRUCTION—**
Rugged heavy gauge steel construction for dependable, trouble free heavy duty service.
- AIRSTREAM TEMPERATURES TO 650°F—**
Heat slingers for temperature > 200°F
Sizes 12 and 15 require PLR wheel > 200°F
- CHOICE OF TWO WHEEL DESIGNS — BOTH STOCKED**
Acoustafoil-airfoil blade is quieter and more efficient for relatively clean air
PLR-flat BC blade for particulate laden air.
- STABLE PERFORMANCE FOR VAV SYSTEMS—**
Acoustafoil wheel yields stable pressure curve from wide open to completely closed off.
- Motors are standard ODP**
See p.10 for special motors



CW Rotation

SEE P.33 FOR BLOWER DIMENSIONS

Performance data exhibited are for the acoustafoil wheel and depict typical maximum CFM at designated motor HP. Complete AMCA certified data are available. PLR wheel performance will be different, especially for higher S.P. and corresponding low CFM. Both AcF and PLR models are stocked.

Acoustafoil Model No.	HP	SINGLE PHASE				THREE PHASE		@ 2" S.P.		Model AcF Approx. CFM								
		1 Speed		2 Speed		1 Speed	2 Speed	Blower RPM	O.V. FPM	Static Pressure (inches water)								
		S	M	T	R*			1/2	1	1 1/2	2	2 1/2	3	4	5	6	8	
123	E	3/4	X	X	-	-	2500	1800	2230	1930	1740	1520	1275	1030	(697)	(687)	(687)	(687)
	F	1	X	-	X	-	2800	2200	2550	2250	2060	1870	1600	1380	950			
	G	1 1/2	X	-	X	-	3250	2700	2920	2690	2540	2340	2190	2000	1610	1200	765	
	H	2	X	-	X	-	3600	3200	2923	2923	2920	2710	2520	2370	2040	1700	1350	
	K	3	X	-	X	-	3900	3400	3400	3400	3400	3233	2923	2923	2923	2810	2395	2100
									MAX. Speed - 4900 RPM									
183	F	1	X	X	X	X	1940	1800	3340	2900	3050	2300	1900	1500	(1031)	(1031)	(1031)	(1031)
	G	1 1/2	X	-	X	X	2220	2300	3850	3580	3200	2930	2610	2390	1600			
	H	2	X	-	X	X	2480	2700	4350	3920	3750	3400	3130	2900	2420	1850		
	J	3	X	-	X	X	2860	3300	4385	4385	4385	4280	3930	3770	3300	2840	2000	1000
	K	5	X	-	X	-	2986	3400	4385	4385	4385	4385	4385	4385	4280	3700	2900	
									MAX. Speed - 3800 RPM									
183	G	1 1/2	X	-	X	X	1550	1800	4990	4570	4150	3480	2850	2115	(1535)	(1535)	(1535)	(1535)
	H	2	X	-	X	X	1720	2200	5620	5280	4800	4225	3790	3100	1900			
	J	3	X	-	X	X	2000	2500	6500	6100	5690	5320	4960	4560	3900	2420	1500	
	K	5	X	-	X	-	2352	3400	6527	6527	6527	6527	6527	6200	5450	4730	3840	2000
	L	7 1/2	X	-	X	-	-	3400	6527	6527	6527	6527	6527	6500	5800	4400	3000	
									MAX. Speed - 3005 RPM									
223	H	2	X	-	X	X	1250	1700	8950	8300	5600	4700	3900	2850	(2279)	(2279)	(2279)	(2279)
	J	3	X	-	X	X	1500	2300	8500	7890	7000	6500	5600	4800	3280			
	K	5	X	-	X	X	1800	3000	9689	9650	9100	8500	7900	7350	5900	4580	3250	
	L	7 1/2	X	-	X	X	2012	3400	9689	9689	9689	9689	9689	9400	8300	7000	6200	3200
	M	10	-	-	X	-	-	3400	9689	9689	9689	9689	9689	9689	9689	9100	8100	5880
									MAX. Speed - 2570 RPM									
273	J	3	X	-	X	X	1000	1800	10850	9500	8700	7100	6000	4300	(3351)	(3351)	(3351)	(3351)
	K	5	-	-	X	X	1220	2500	13000	12000	11000	10400	9500	8400	3900	3355		
	L	7 1/2	-	-	X	X	1420	3100	14245	14245	13700	12800	11900	11000	9500	7000	4800	
	M	10	-	-	X	-	1563	3400	14245	14245	14245	14245	14245	13400	12000	10400	8200	4180
	N	15	-	-	X	-	-	3400	14245	14245	14245	14245	14245	14245	14200	12500	9150	
									MAX. Speed - 2010 RPM									
303	K	5	-	-	X	X	1020	2200	15000	14000	12700	11200	10000	8400	4750	(4135)	(4135)	(4135)
	M	10	-	-	X	-	1180	2800	17600	18400	15000	14000	13000	12000	9400	6300	4200	
	N	15	-	-	X	-	1345	3300	17600	17600	16900	15700	14800	13000	10000	7200		
	P	20	-	-	X	-	1397	3400	17600	17600	17600	17600	17600	16600	14800	13000	7700	
	W	25	-	-	X	-	-	3400	17600	17600	17600	17600	17600	17600	17600	16200	12200	
									MAX. Speed - 1805 RPM									
333	L	7 1/2	-	-	X	X	1000	2500	19000	18000	17000	15800	14000	12700	9700	5500	(5007)	(5007)
	M	10	-	-	X	-	1120	3000	21900	21000	19800	18000	17200	16000	13000	9200	6200	
	N	15	-	-	X	-	1270	3400	21900	21900	21900	21900	21900	20050	18000	15400	12200	6260
	P	20	-	-	X	-	-	3400	21900	21900	21900	21900	21900	21300	21900	19000	17000	11200
	W	25	-	-	X	-	-	3400	21900	21900	21900	21900	21900	21900	21900	20500	16000	
									MAX. Speed - 1650 RPM									

*2 speed - 1 winding See page 10 for special motors and motor controls. (X) Available models

ACCESSORIES

AcF Model	Drive Cover	Set of Vib. Pads	Disch. Shutter	Access Door	Drain	Chem. Resist. Coating*	Spark Resist.†		Disc. Switch	Heat Slinger	Bare Wt.
							B	C			
123	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	145
153	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	195
183	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	300
223	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	425
273	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	645
303	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	720
333	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	940

See page 32 for blower dimensions. Solid PVC and FRP blowers pp. 36 and 37. *Blower coatings p.38. †See p. 29 for description (X) Available accessories

AMCA Spark Resist Options

TYPE B: Blower equipped with Aluminum wheel and shaft ring. (Not suitable for abrasive or 200°F plus. Use Type C.)

TYPE C: Blower equipped with non-ferrous inlet cone, non-ferrous rubbing blocks, and ring at housing opening thru which shaft passes.

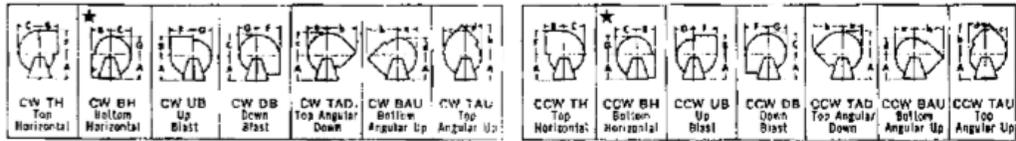
See p. 29 for AMCA spark resist. options.

SEE P. 33 FOR AVAILABLE DISCHARGE POSITIONS

nyb New York General Purpose Blower

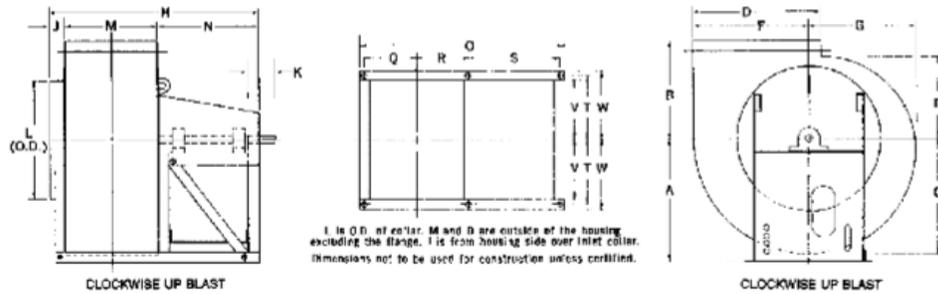
BACKWARD CURVE - BELT DRIVE - SINGLE INLET - ARRANGEMENT 10

AVAILABLE FAN DISCHARGES - VIEWED FROM DRIVE SIDE



* Sizes 22 through 36 may require removal of base angle and housing brace on outlet side to convert to Bottom Horizontal discharge in the field. Sizes 30 and 36 with flanged outlet require a 1 1/2-inch minimum shim on Bottom Horizontal discharge.

NEW YORK GEN. PURPOSE BLOWER - CLASS 2 -ARR. 10 - PLR WHEEL AND ACOUSTAFOLIO WHEEL



DIMENSIONS (INCHES)

Model	OUTLET				INLET								OUTLET			
	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	O	Q	
12	15 1/2	10	12 1/2	13 1/4	7 1/2	13	10 1/2	31 1/2	2 1/2	2 1/2	13 1/2	9 1/2	19 1/2	31 1/2	6 1/2	
15	17 1/2	12	15 1/2	16 1/4	9 1/2	15 1/2	12 1/2	36 1/2	3 1/2	3	16 1/2	11 1/2	21 1/2	35 1/2	7 1/2	
18	21 1/4	14	18 1/2	20 1/4	11 1/2	19 1/2	15 1/2	38 1/2	3 1/2	3 1/2	20	13 1/2	21 1/2	38 1/2	8 1/2	
22	25 1/4	17	22 1/2	24 1/4	14 1/2	23 1/2	18 1/2	45 1/2	3 1/2	4	24 1/2	16 1/2	26 1/2	45 1/2	10 1/2	
27	32 1/4	20 1/2	27 1/4	30 1/4	17 1/2	28 1/2	22 1/2	51 1/2	4 1/2	5	30	20 1/2	26 1/2	50 1/2	12 1/2	
30	32 1/4	22 1/2	30 1/2	33 1/4	19 1/2	31 1/2	25 1/2	53 1/2	4 1/2	5 1/2	33	22 1/2	26 1/2	52 1/2	13 1/2	
33	39 1/4	24 1/2	33 1/2	36 1/4	21 1/2	35	28	58 1/2	4 1/2	6	36 1/2	24 1/2	29 1/2	58	14 1/2	

Model	R	S	T	V	W	a	b	c	d	Shaft		Base holes	Bare fan weight*	Maximum motor frame**	
										Dia.	Keyway			Open	TE
12	6 1/2	16 1/2	7 1/2	6 1/2	8	11 1/2	16 1/2	12 1/2	9 1/4	1 1/2	3/8 x 3/8	3/8	145	184T	184T
15	7 1/2	18 1/2	8 1/2	8	9 1/2	14 1/2	19 1/2	15 1/2	11 1/2	1 1/2	3/8 x 3/8	3/8	195	215T	215T
18	9 1/2	17 1/2	9 1/2	8 1/4	10 1/4	17 1/2	23 1/2	19 1/2	13 1/2	1 1/2	3/8 x 3/8	3/8	300	215T	215T
22	11 1/2	20 1/2	10 1/2	9 1/4	11 1/4	21	28 1/2	23 1/4	16 1/2	1 1/2	1/2 x 1/4	3/8	425	256T	254T
27	13 1/2	20 1/2	13 1/2	11 1/4	14 1/4	25 1/2	34 1/2	28 1/4	20 1/2	1 1/2	1/2 x 1/4	3/8	645	284T	254T
30	14 1/2	20 1/2	13 1/2	11 1/4	14 1/4	28 1/4	38 1/2	31 1/2	22 1/2	1 1/2	1/2 x 1/4	3/8	720	284T	254T
33	15 1/2	23 1/2	16	14	17	31 1/2	42 1/2	34 1/2	25 1/4	2 1/2	1/2 x 1/4	3/8	940	324T	286T

*Approximate shipping weight in lbs. **These maxima can be exceeded on most model sizes... with special assembly techniques. Tolerance: ± 1/16". Model no. is approx. wheel dia.

PHONE: (781) 393-4456
1-800-937-4326
FAX: (781) 393-4581

CATALOG #37
www.centralfan.com

CENTRAL FAN CO., INC.
3890 MYSTIC VALLEY PKWY.
MEDFORD, MA 02155

APÉNDICE D

Composición de alfalfa deshidratada

CALIDAD Y SEGURIDAD ALIMENTARIA CERTIFICADA. TRAZABILIDAD GARANTIZADA.



**NUEVO
PRODUCTO
21 PACAS EN 1**
35 kg. x 21 = 735 kg.

ALFALFA FORRAJE FIBRA LARGA

Calidad extra 1^a

Masa de forraje fibra larga, de color hoja o verde oscuro, hojas enteras y tronco troceado largo, de textura uniforme y esponjosa.

21 pacas pequeñas componen una grande. Comodidad en el transporte y manejo fácil. Las pacas pequeñas son atadas con cuerda, y el conjunto de las 21 con alambre recocido de 3.70 mm.

La longitud de la fibra de aproximadamente 10 cm estimula la masticación y asegura el buen funcionamiento mecánico de la rumia.

COMPOSICIÓN DE LAS PACAS

	Calidad extra 1 ^a
Proteína bruta sobre materia seca	> 17%
Fibra bruta sobre materia seca ADF	< 30%
Humedad	< 12%
Cenizas brutas s.m.s.	< 10%
Calidad del forraje RFV	> 140

CONSUMO RECOMENDADO

ALIMENTACIÓN DIRECTA: para ganado vacuno de leche y carne, caprino, ovino y camellos.

Ideal para incrementar la producción de leche.

Tamaño de las pacas: 0,80 m x 0,30 m x 0,38 m
Peso: 35 kg. aprox. x 21 pacas = 735 kg. aprox.



Todos los productos están identificados con una etiqueta

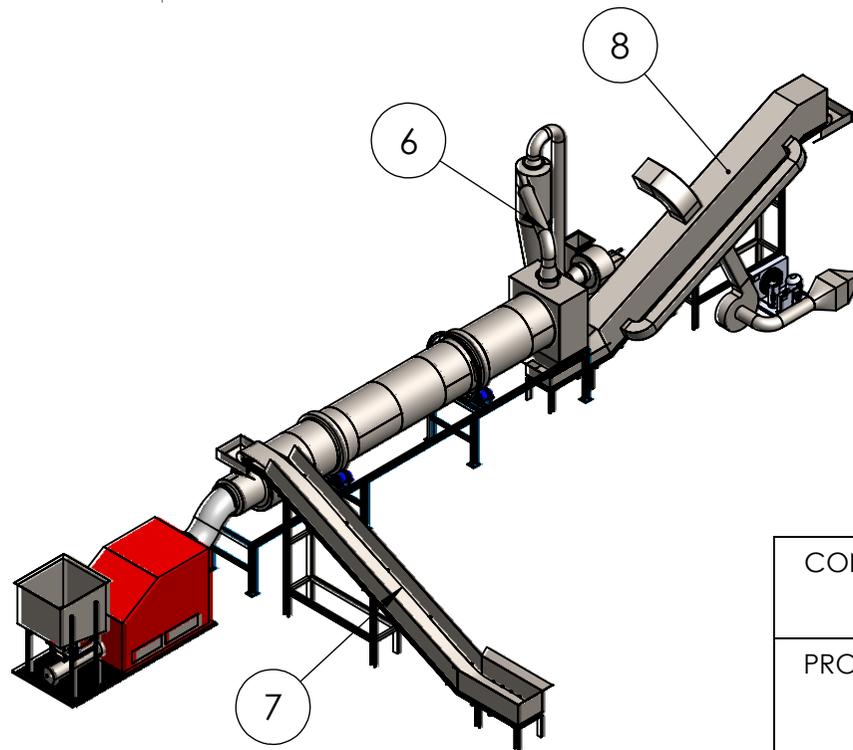
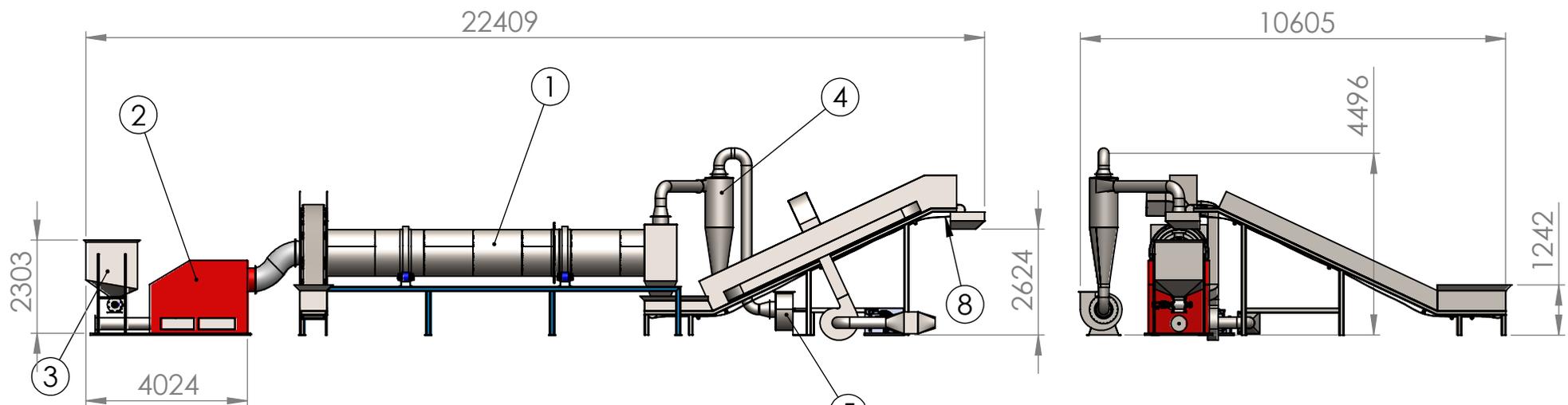


Tamaño real del producto a la venta

Trazabilidad de la fibra al cliente



ALFALFA & FORRAJES



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Elevadores	1
2	Quemador biomasa	1
3	Tolva y válvula rotativa	1
4	Ciclon	1
5	Ventilador	1
6	Ductos	1
7	Banda de alimentacion	1
8	Banda de descarga con tunel de enfriamiento	1

CONTIENE:

ESQUEMA GENERAL DE EQUIPOS (VISTAS ISOMETRICAS)

PROYECTO DE GRADUACIÓN:

EQUIPOS PARA DESHIDRATACIÓN DE 500 KG/H DE ALFALFA, MEDIANTE QUEMADOR DE BIOMASA

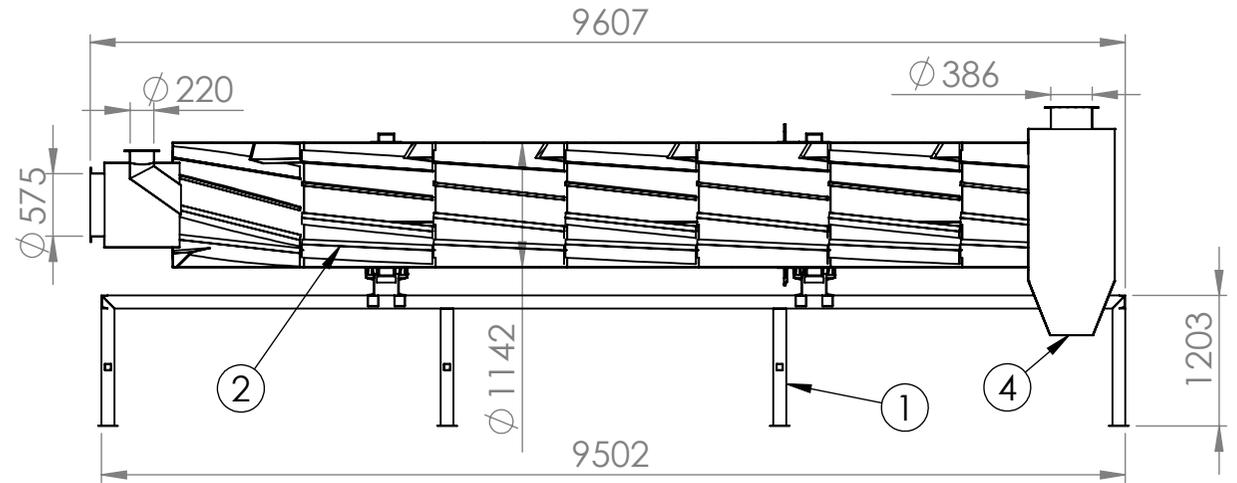
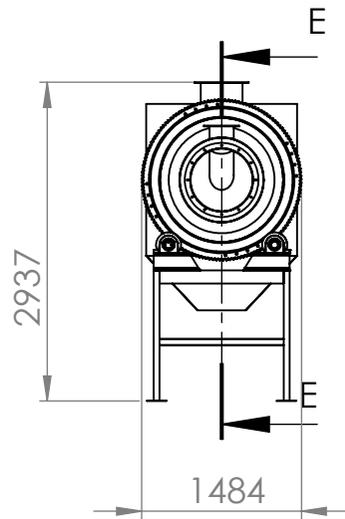
FIMCP-ESPOL



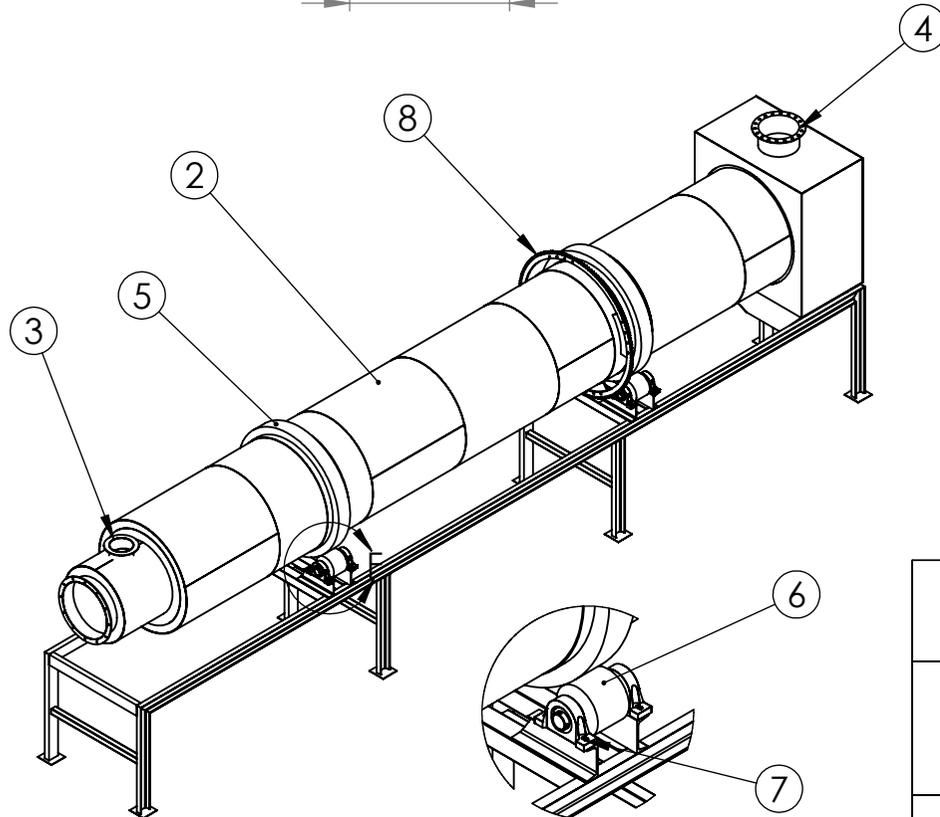
ESCALA: 1-150
CANTIDAD: 1
PLANO#: 1

DISEÑADO POR:
LUIS LEAL / MARIO SALAME
REVISADO POR:
VICENTE ADUM M.Sc





SECCIÓN E-E
ESCALA 1 : 70



DETALLE F
ESCALA 1 : 30

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Tambor	1
2	Elevadores	63
3	Cabezal de entrada	1
4	Cabezal de salida	1
5	Cintas de apoyo	2
6	Rollers	4
7	Chumacera	8
8	Corona dentada	1
9	Bastidor	1

CONTIENE:

ESQUEMA DE SECADOR ROTATORIO

PROYECTO DE GRADUACIÓN:

EQUIPOS PARA DESHIDRATACIÓN DE 500 KG/H DE ALFALFA, MEDIANTE QUEMADOR DE BIOMASA

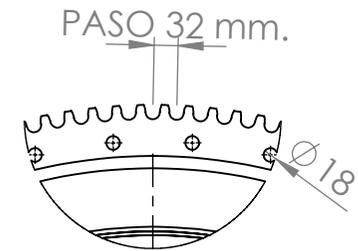
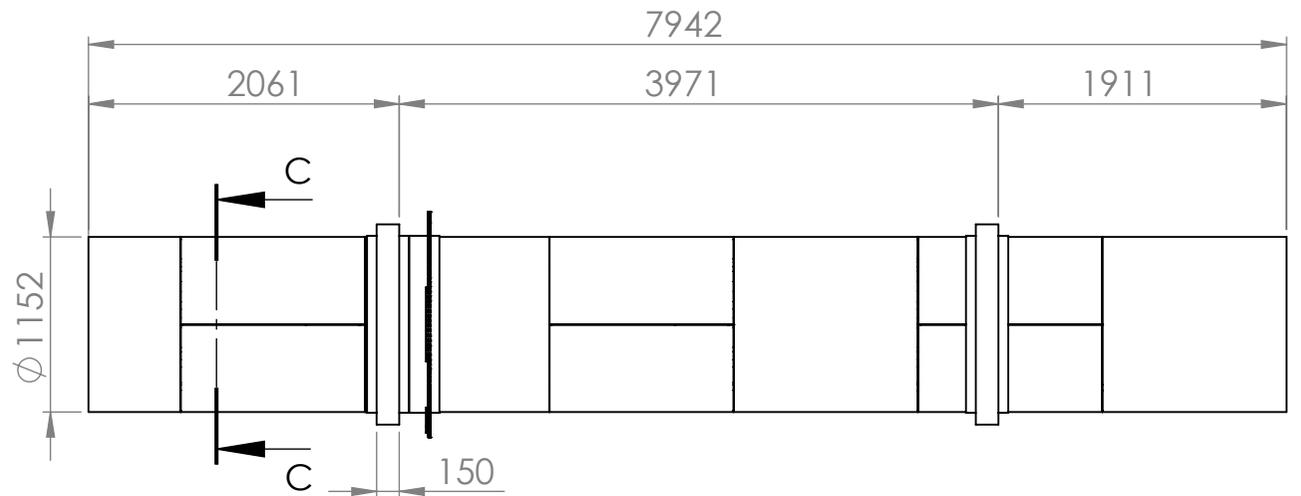
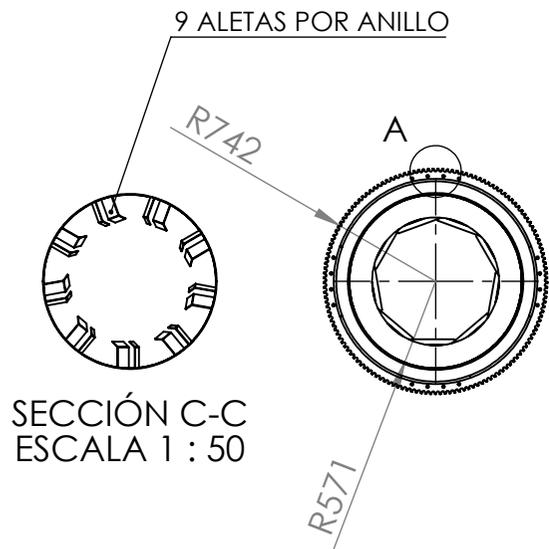
FIMCP-ESPOL



ESCALA: 1-150
CANTIDAD: 1
PLANO#: 2

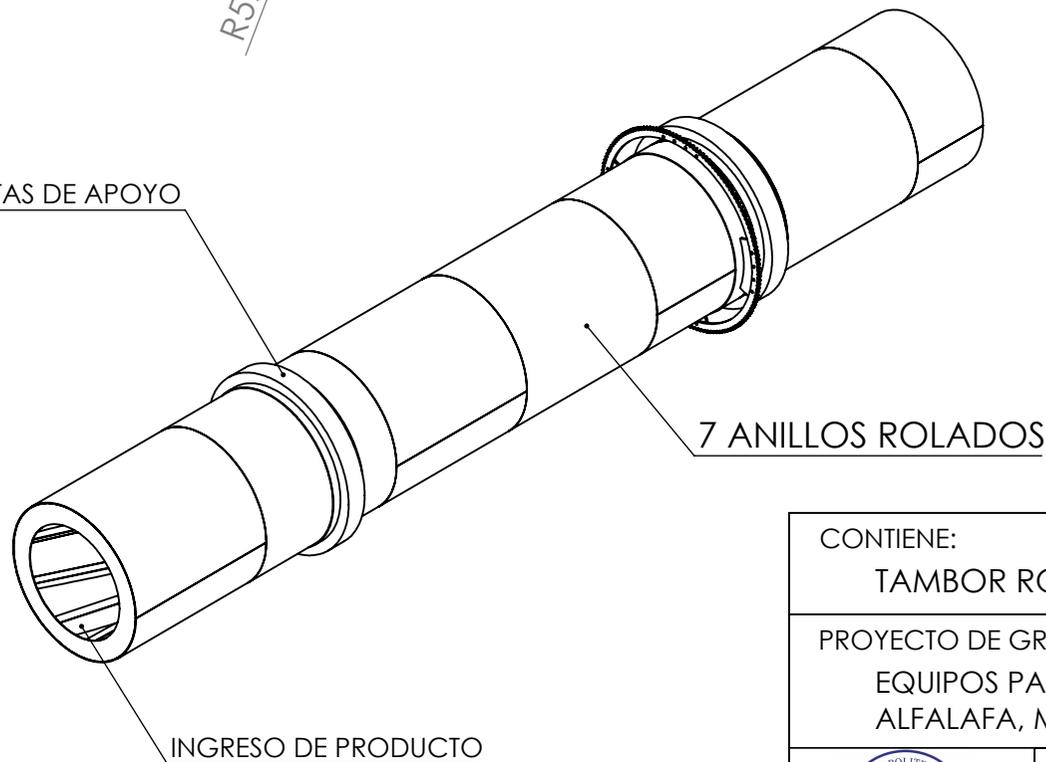
DISEÑADO POR:
LUIS LEAL / MARIO SALAME
REVISADO POR:
VICENTE ADUM M.Sc





DETALLE A
ESCALA 1 : 10

2 CINTAS DE APOYO



CONTIENE:
TAMBOR ROTATORIO

PROYECTO DE GRADUACIÓN:
EQUIPOS PARA DESHIDRATACIÓN DE 500 KG/H DE
ALFALFA, MEDIANTE QUEMADOR DE BIOMASA

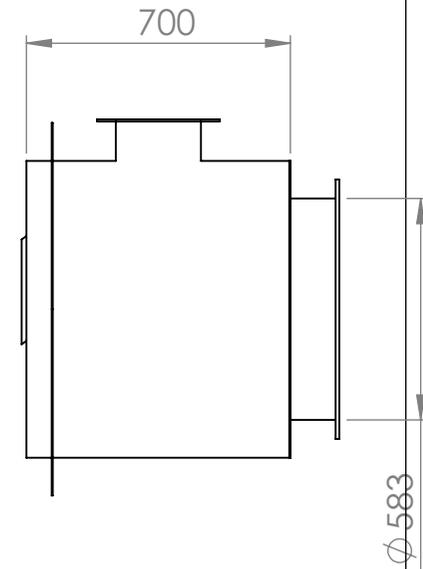
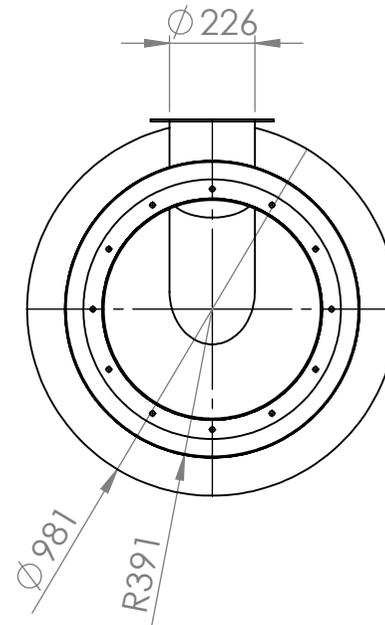
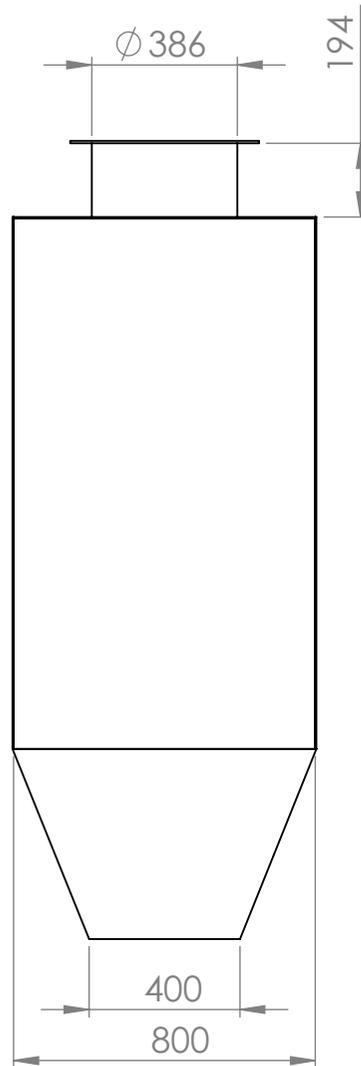
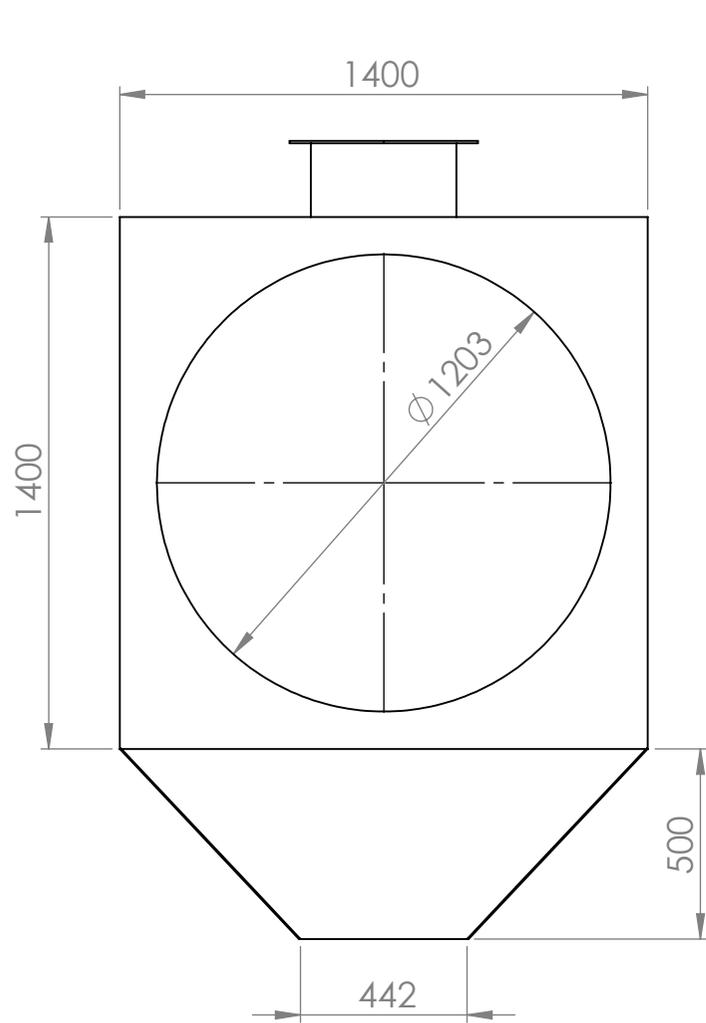
FIMCP-ESPOL



ESCALA: 1-150
CANTIDAD: 1
PLANO#: 3

DISEÑADO POR:
LUIS LEAL / MARIO SALAME
REVISADO POR:
VICENTE ADUM M.Sc





MATERIAL: ACERO ASTM A36
 ESPESOR: 4 MM.
 CANTIDAD: 1
 PRODUCTO A MANEJAR: ALFALFA
 TIPO DE SELLO: LABERINTO Y FIBRA.

CONTIENE:

CABEZALES DE ENTRADA Y SALIDA

PROYECTO DE GRADUACIÓN:

EQUIPOS PARA DESHIDRATACIÓN DE 500 KG/H DE ALFALFA, MEDIANTE QUEMADOR DE BIOMASA

FIMCP-ESPOL



ESCALA: 1-20

CANTIDAD: 1

PLANO#: 4

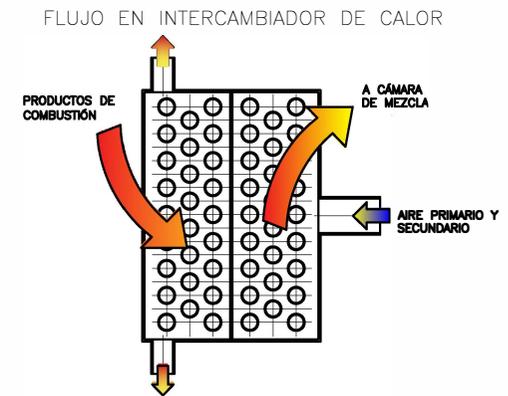
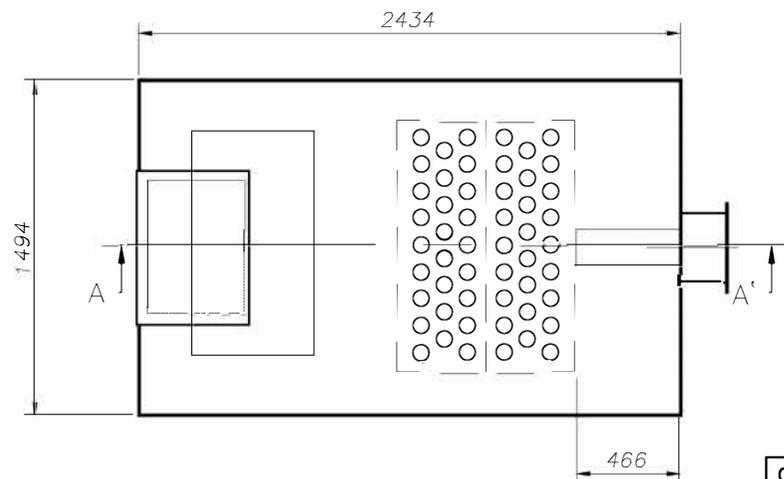
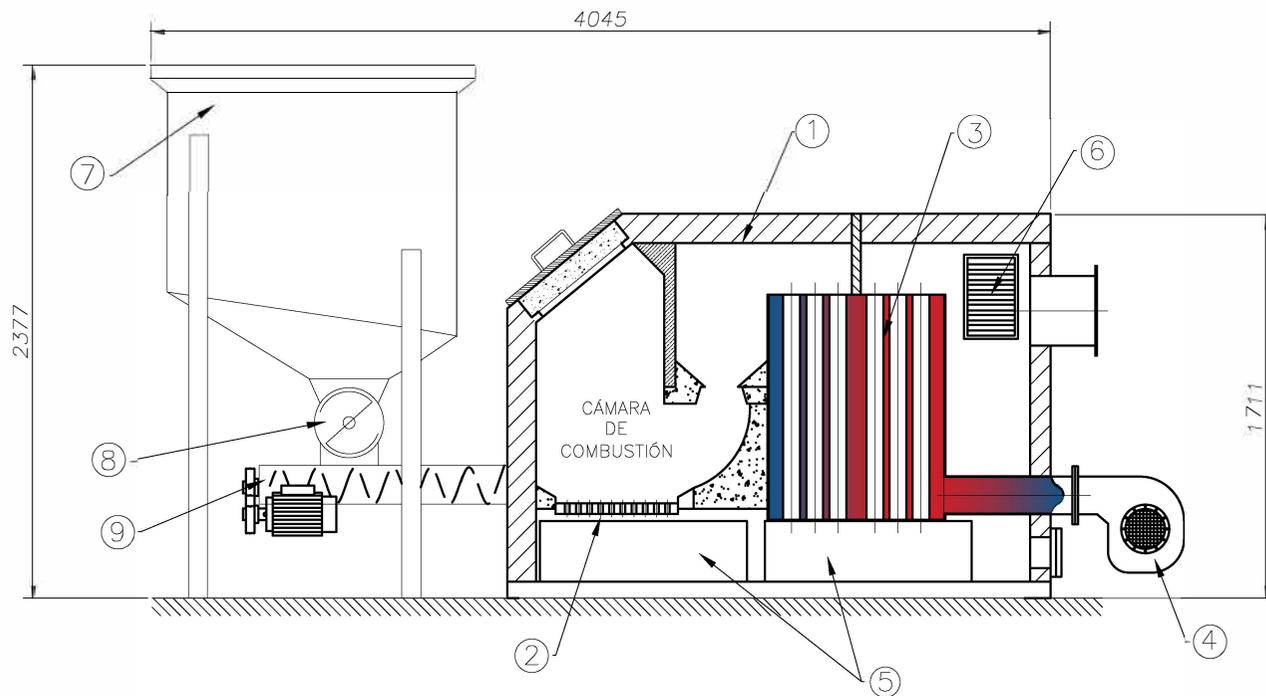
DISEÑADO POR:

LUIS LEAL / MARIO SALAME

REVISADO POR:

VICENTE ADUM M.Sc

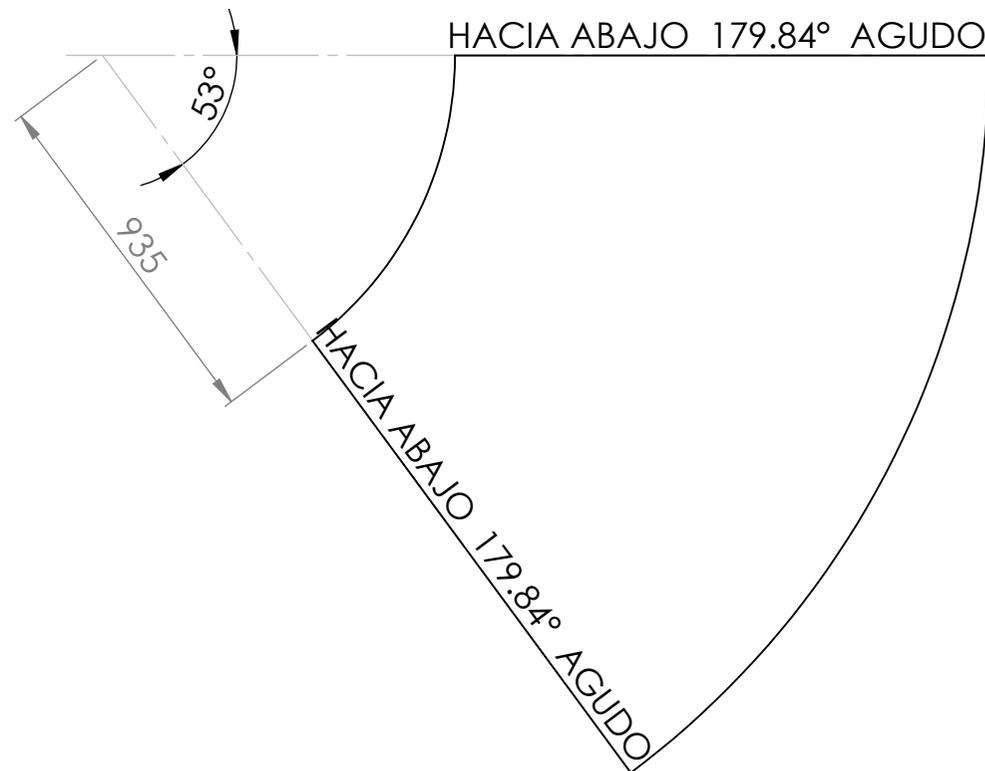
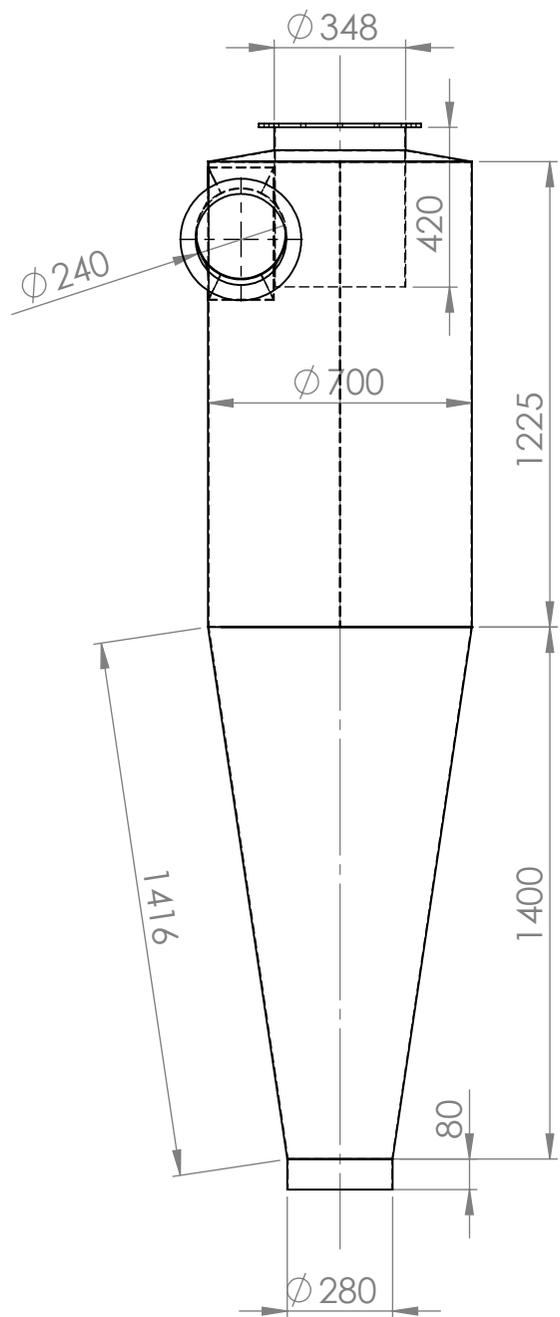




ITEM	DESCRIPCIÓN
1	CUERPO DE QUEMADOR
2	PARRILLA
3	INTERCAMBIADOR DE CALOR
4	VENTILADOR
5	BANDEJAS PARA CENIZAS
6	ENTRADAS DE AIRE
7	TOLVA PARA ASTILLA DE MADERA
8	VÁLVULA ROTATIVA DE SEGURIDAD
9	TRANSPORTADOR SIN FIN

NOTA:
 • MEDIDAS EN MILÍMETROS
 • ESQUEMA CON MEDIDAS REFERENCIALES NO VÁLIDO PARA CONSTRUCCIÓN FINAL

CONTIENE: QUEMADOR DE ASTILLA DE MADERA 300 KW		FIMCP-ESPOL
PROYECTO DE GRADUACIÓN: EQUIPOS PARA DESHIDRATACIÓN DE ALFALFA EN FIBRAS LARGAS		
	ESCALA:	DISEÑADO POR: MARIO SALAME/LUIS LEAL
	CANTIDAD: 1	REVISADO POR: VICENTE ADUM M.Sc
PLANO # 5		



MATERIAL: ACERO ASTM A36
 ESPESOR: 2 MM.
 CANTIDAD: 1
 DISEÑO: TIPO CONVENCIONAL

CONTIENE:
 CICLÓN COLECTOR

PROYECTO DE GRADUACIÓN:
 EQUIPOS PARA DESHIDRATACIÓN DE 500 KG/H DE
 ALFALFA, MEDIANTE QUEMADOR DE BIOMASA

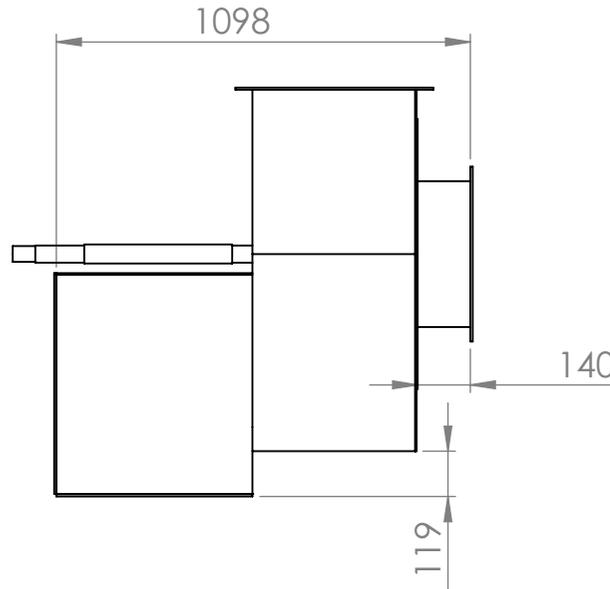
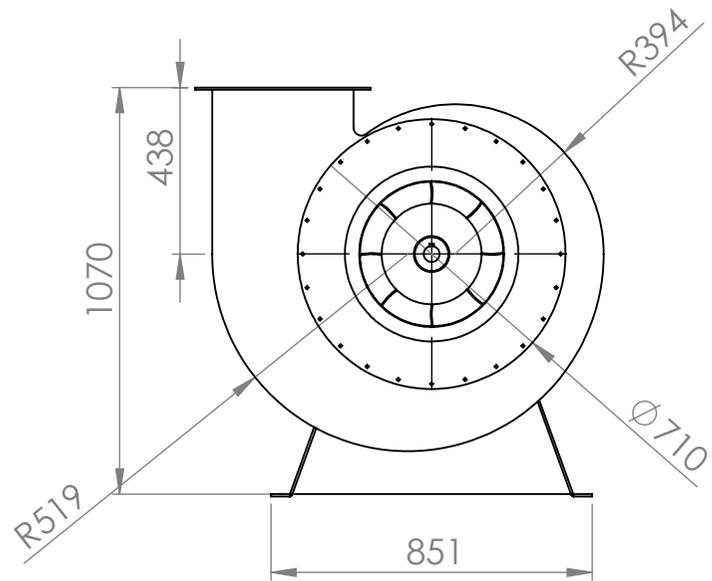
FIMCP-ESPOL



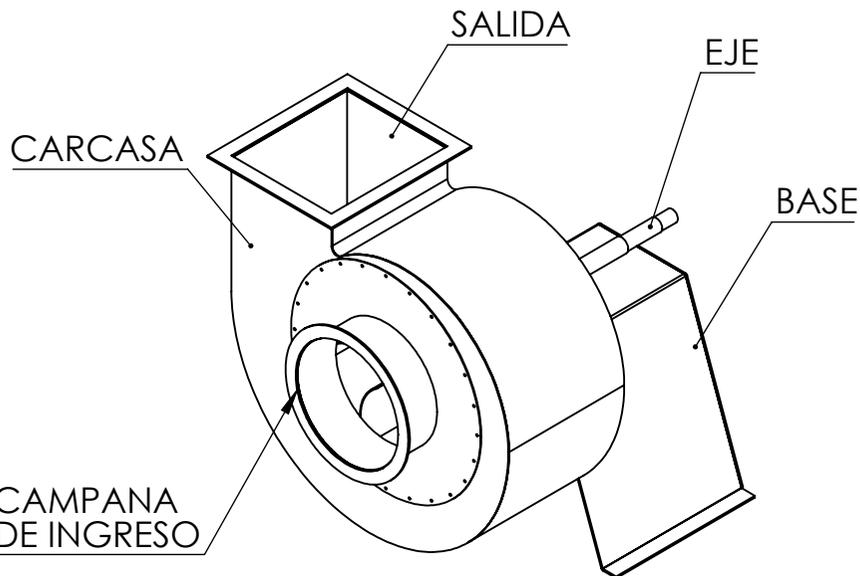
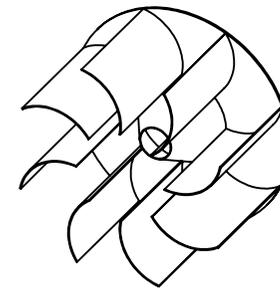
ESCALA: 1-20
 CANTIDAD: 1
 PLANO#: 6

DISEÑADO POR:
 LUIS LEAL / MARIO SALAME
 REVISADO POR:
 VICENTE ADUM M.SC





ROTOR CON ÁLABES CURVEADOS HACIA ATRÁS



MATERIAL: ACERO ASTM A36
 ESPESOR: 2 MM.
 CANTIDAD: 1
 DISEÑO: TIPO CONVENCIONAL

CONTIENE:
 VENTILADOR CENTRÍFUGO

PROYECTO DE GRADUACIÓN:
 EQUIPOS PARA DESHIDRATACIÓN DE 500 KG/H DE ALFALFA, MEDIANTE QUEMADOR DE BIOMASA

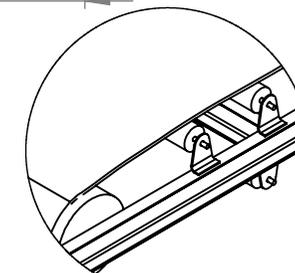
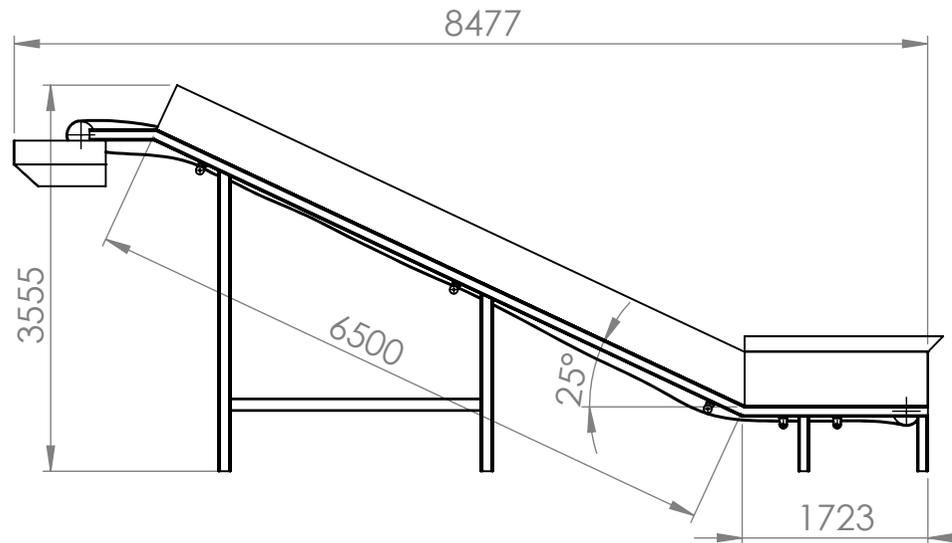
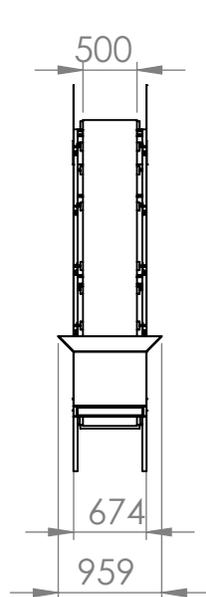
FIMCP-ESPOL



ESCALA: 1-20
 CANTIDAD: 1
 PLANO#: 7

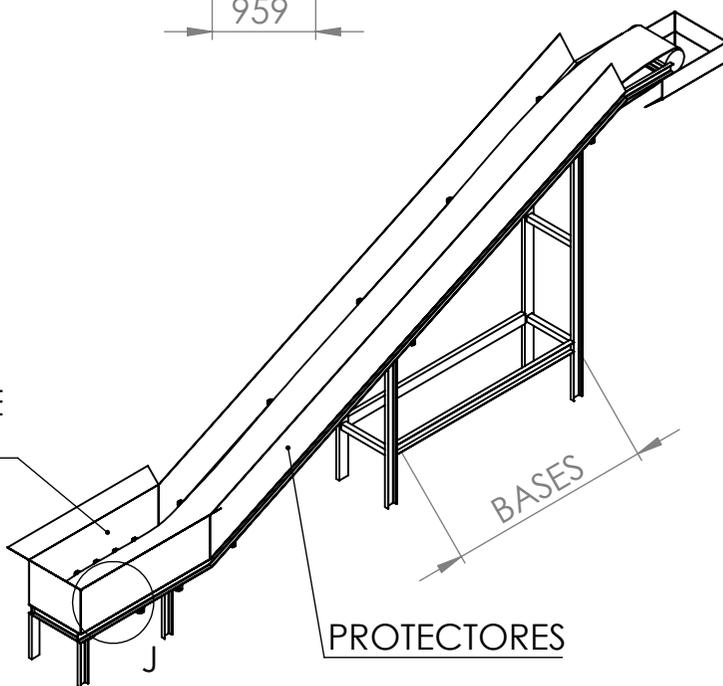
DISEÑADO POR:
 LUIS LEAL / MARIO SALAME
 REVISADO POR:
 VICENTE ADUM M.Sc





DETALLE J
ESCALA 1 : 20

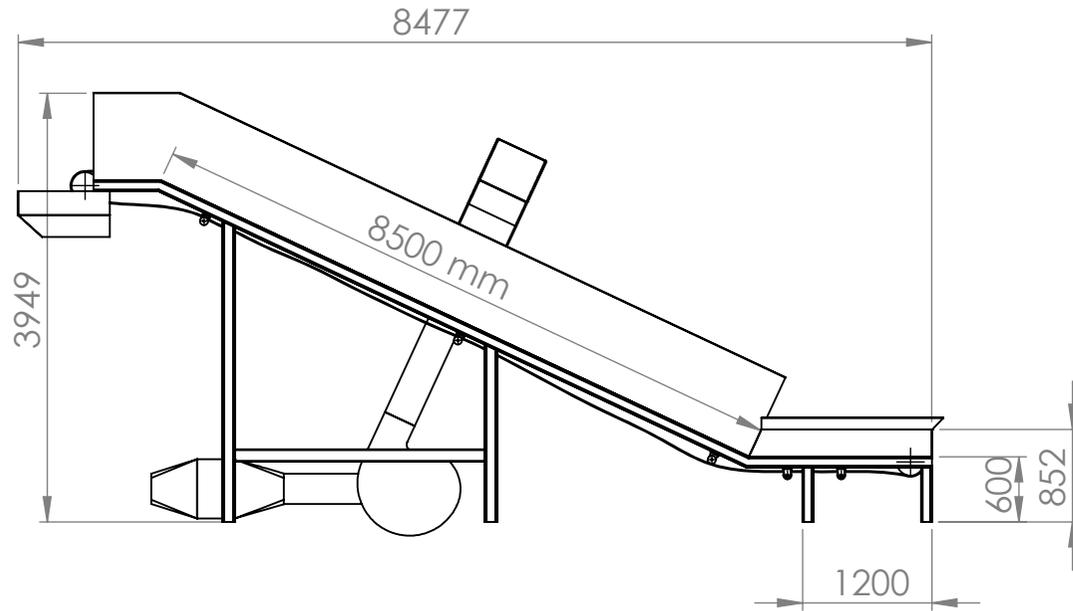
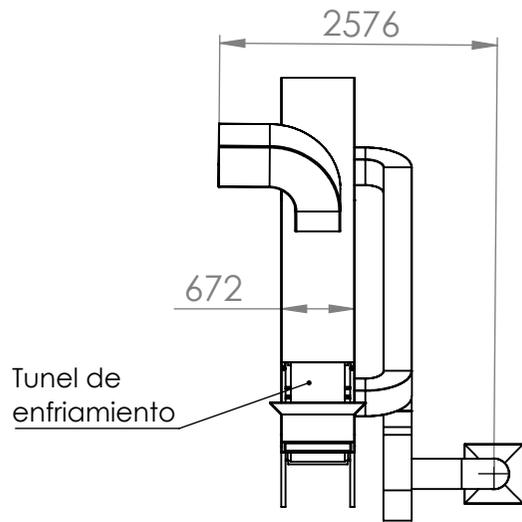
PUNTO DE CARGA



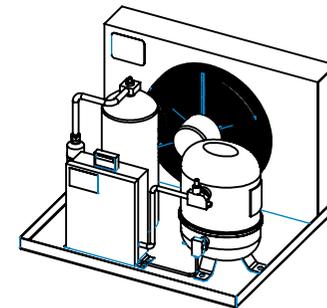
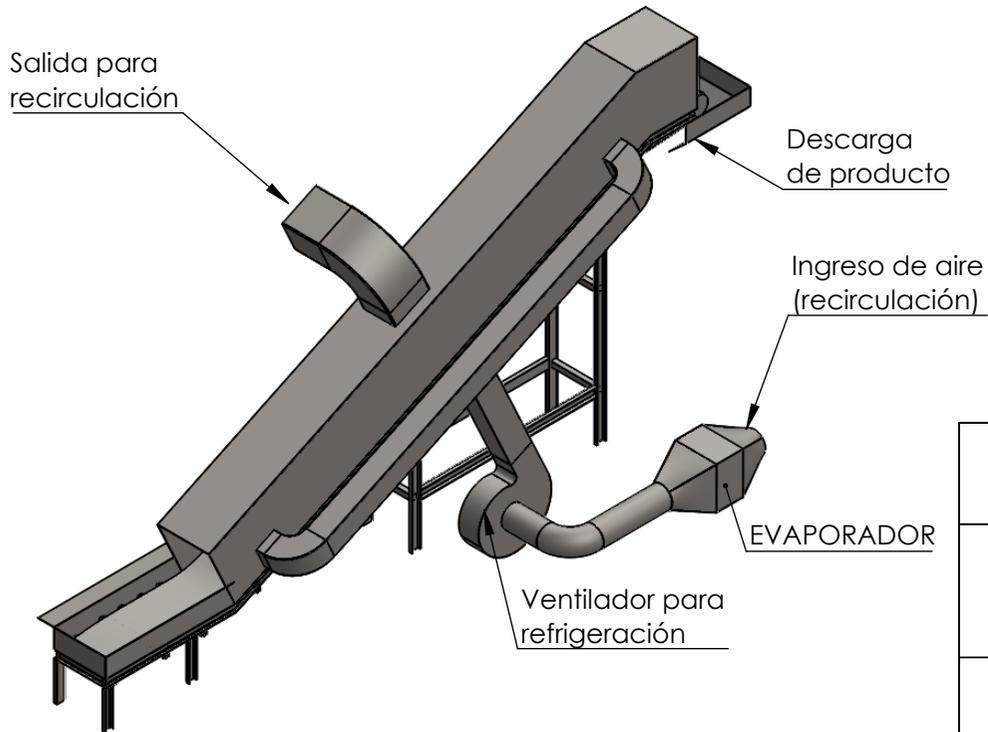
MATERIAL: ACERO ASTM A36
 ESPESOR: 2 MM.
 CANTIDAD: 1
 DISEÑO: TIPO CONVENCIONAL

CONTIENE: BANDA TRANSPORTADORA DE ALIMENTACIÓN		
PROYECTO DE GRADUACIÓN: EQUIPOS PARA DESHIDRATACIÓN DE 500 KG/H DE ALFALFA, MEDIANTE QUEMADOR DE BIOMASA		FIMCP-ESPOL
	ESCALA: 1-20 CANTIDAD: 1 PLANO#: 8	DISEÑADO POR: LUIS LEAL / MARIO SALAME REVISADO POR: VICENTE ADUM M.Sc





UNIDAD CONDENSADORA 3 TON REF



CONTIENE:

BANDA TRANSPORTADORA DE DESCARGA CON TUNEL DE ENFRIAMIENTO

PROYECTO DE GRADUACIÓN:

EQUIPOS PARA DESHIDRATACIÓN DE 500 KG/H DE ALFALFA, MEDIANTE QUEMADOR DE BIOMASA

FIMCP-ESPOL



ESCALA: 1-20

CANTIDAD: 1

PLANO#: 9

DISEÑADO POR:

LUIS LEAL / MARIO SALAME

REVISADO POR:

VICENTE ADUM M.Sc

