



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO

FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

CARRERA INGENIERÍA MECÁNICA

Proyecto de investigación previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

Título:

“DISEÑO DE UN HORNO POR COMBUSTIÓN DE BIOMASA (CASCARILLA DE ARROZ) Y DEL SECADOR PARA LA GRAMÍNEA”

Autores:

Berrus Magallón Javier Isaac

Moreira Sánchez Héctor Rolando

Director de proyecto de investigación:

Ing. Johnn Andrés García Coral MSc.

Quevedo – Los Ríos – Ecuador

2017

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Nosotros, Berrus Magallón Javier Isaac y Moreira Sánchez Héctor Rolando, declaramos que la investigación aquí detallada es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

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

BERRUS MAGALLÓN JAVIER

C.I.: 120614954-2

AUTOR

MOREIRA SÁNCHEZ HÉCTOR

C.I.: 120620119-4

AUTOR

CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN



El suscrito, **ING. GARCÍA CORAL JOHN ANDRÉS. MSc**, Docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que los **Sres. BERRUS MAGALLÓN JAVIER ISAAC y MOREIRA SÁNCHEZ HÉCTOR ROLANDO**, realizaron el Proyecto de Investigación de grado titulado “**DISEÑO DE UN HORNO POR COMBUSTIÓN DE BIOMASA (CASCARILLA DE ARROZ) Y DEL SECADOR PARA LA GRAMÍNEA**”, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto.

.....

Ing. García Coral Johnn Andrés. MSc

DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

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



ING. GARCÍA CORAL JOHNN ANDRÉS. MSc. en calidad de director de proyecto de Investigación titulada “**DISEÑO DE UN HORNO POR COMBUSTIÓN DE BIOMASA (CASCARILLA DE ARROZ) Y DEL SECADOR PARA LA GRAMÍNEA**”, me permito manifestar a usted y por intermedio al Consejo Académico de Facultad lo siguiente: Que, los estudiantes BERRUS MAGALLÓN JAVIER ISAAC y MOREIRA SÁNCHEZ HÉCTOR ROLANDO, egresados de la Facultad Ciencias de la Ingeniería, han cumplido con las correcciones pertinentes, e ingresado su Proyecto de Investigación al sistema URKUND, tengo a bien certificar la siguiente información sobre el informe del sistema anti plagio con un porcentaje de 5%.

Documento	TESIS JAVIER HECTOR-06-12-2017.docx (D33849232)
Presentado	2017-12-15 09:01 (-05:00)
Presentado por	janeira1@espe.edu.ec
Recibido	janeira1.espe@analysis.orkund.com
Mensaje	Mostrar el mensaje completo

5% de estas 34 páginas, se componen de texto presente en 7 fuentes.

Ing. García Coral Johnn Andrés. MSc.

DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

CERTIFICACIÓN DE APROBACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

TÍTULO:

DISEÑO DE UN HORNO POR COMBUSTIÓN DE BIOMASA (CASCARILLA DE ARROZ) Y DEL SECADOR PARA LA GRAMÍNEA

Presentado al Consejo Académico como requisito previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

Aprobado por:

Ing. Luis Gabriel Pico Saltos MSc

Presidente del Tribunal

Ing. Jorge Luis Guadalupe Almeida MSc.

Miembro del Tribunal

Ing. Espinosa Delgado Luis Felipe MSc

Miembro del Tribunal

QUEVEDO – LOS RIOS – ECUADOR

AÑO - 2017

AGRADECIMIENTO

Mediante el presente trabajo de investigación por sobre todo agradezco a Dios por ser lumbrera en mi camino; por cuidarme y guiarme en el camino del bien, por darme unos padres que me aman y me apoyan incondicionalmente.

A mis padres y familia por cuidar y estar pendientes de mi formación; enseñándome a no rendirme ante nada y siempre perseverar atreves de sus sabios consejos, demostrando su amor corrigiendo mis faltas y celebrando mis triunfos al alcanzar mis objetivos.

Al Ingeniero Johnn Andrés García Coral, por brindarme su apoyo, aconsejarme, orientándome y guiarme en el trayecto del trabajo de investigación.

A mis amigos que de alguna y otra manera me brindaron su apoyo en el transcurso de mi carrera académica.

A la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, a la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y en especial a la carrera de Ingeniería Mecánica y a todos y cada uno de los docentes que estuvieron presentes y aportaron con sus conocimientos y contribuyeron en la buena formación recibida durante tiempo de estudio.

Berrus Magallón Javier I.

DEDICATORIA

El presente proyecto de investigación se lo dedico a Dios, a mis padres y mi familia quienes fueron ellos que me apoyaron y guiaron en el transcurso de mi carrera a alcanzar un propósito y una meta que la veía incansable; pero gracias a ellos lo he podido conseguir, por sus consejos que me ayudaron a encaminarme en el camino correcto, por animarme cuando estaba confundido lo que me ayudo a seguir adelante, por su cariño y amistad lo que me ayudo a ser una mejor persona y poder cumplir mi proposito.

Berrus Magallón Javier I.

AGRADECIMIENTO

En primera instancia me gustaría agradecerle a Dios por bendecirme para llegar hasta donde he llegado, porque ha hecho realidad este sueño tan anhelado.

A mis padres por su sacrificio y esfuerzo, por apoyarme todo el tiempo en mi etapa de formación, y a toda mi familia que siempre han estado pendiente de mí quienes me han infundado siempre a perseverar ante cualquier obstáculo dándome el valor para salir adelante.

A mi director de proyecto de investigación, Ing. Johnn Andrés García Coral. MSc., por su esfuerzo y dedicación, quien con sus conocimientos, su experiencia y su motivación ha logrado que termine mis estudios con éxito.

A la Universidad Técnica Estatal De Quevedo, Facultad de Ciencias de la Ingeniería por darme la oportunidad de estudiar en la prestigiosa Carrera de Ingeniería Mecánica la cual se empeñan en la formación de profesionales idóneos en el campo de Ingeniería Mecánica.

También me gustaría agradecer a todos los docentes que me impartieron las diferentes unidades de aprendizaje a lo largo de mis estudios universitarios; gracias por su apoyo ofrecido, por su tiempo compartido y por impulsar el desarrollo de mi formación profesional.

Moreira Sánchez Héctor R.

DEDICATORIA

La presente obra se la dedico principalmente a dios y a mis padres por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad; muchos de los logros se los debo a ustedes, en los que incluyo este. Me formaron con reglas y ciertas libertades, pero al final de cuentas, me motivaron con constancia para alcanzar mis anhelos. A mis hermanos y demás familiares en general por el apoyo que siempre me brindaron día a día en el transcurso de cada año de mi formación Universitaria.

Moreira Sánchez Héctor R.

RESUMEN

El presente trabajo investigativo se centra en el diseño de un horno por combustión de biomasa (cascarilla de arroz) y del secador para la gramínea. Este equipo permite utilizar la energía que se obtiene de la cascarilla de arroz que es un residuo agrícola que cuenta con un poder calorífico apropiado y suficiente para ser aprovechado en el proceso de secado de la del arroz.

Para el diseño de la máquina, la investigación comprende un análisis que permite determinar el tipo de secador según el volumen a secar y en consecuencia se obtiene la demanda energética de la máquina. Esta energía demandada será cubierta por la capacidad de entrega de energía en forma de calor a partir de la combustión de la cascarilla de arroz.

Además, este proyecto de manera significativa presenta una ventaja en primer lugar al reducir de forma alguna el impacto ambiental debido a que la cascarilla en muchos casos es desechada. Así entonces se le da un valor agregado a este residuo que al ser utilizado para este fin lleva consigo un ahorro económico.

Palabras claves: Diseño, horno, combustión, biomasa, secado, arroz.

ABSTRACT

This research work focuses on the design of an oven by combustion of biomass (rice husk) and dryer for grain. This equipment allows to use the energy that is obtained from the rice husk that is an agricultural residue that has an adequate calorific power and sufficient to be used in the process of drying the rice.

For the design of the machine, the research comprises an analysis that allows to determine the type of dryer according to the volume to dry and consequently you get the energy demand of the machine. This demand for energy will be covered by the capacity of delivery of energy in the form of heat from the combustion of the rice husk

In addition, this project significantly presents an advantage in the first place by reducing in any way the environmental impact because the husk in many cases is discarded. Thus, it is given an added value to this waste, when used for this purpose, carries with it an economic saving.

Key words: Design, kiln, combustion, biomass, drying, rice.

ÍNDICE

ABSTRACT	xi
CÓDIGO DUBLIN	xxii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	2
CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.1 Problema de investigación.....	3
1.1.1 Planteamiento del problema	3
1.1.2 Diagnóstico.....	3
1.1.3 Pronóstico	4
1.1.4 Formulación del problema.....	4
1.1.5 Sistematización del problema.....	4
1.2 Objetivos.....	5
1.2.1 Objetivo General.....	5
1.2.2 Objetivos Específicos	5
1.2.3 Justificación	6
CAPÍTULO II.....	7
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN	7
2.1 Marco Conceptual.....	8
2.1.1 Arroz.....	8
2.1.2 Diseño Mecánico	8
2.1.3 Selección de materiales	8
2.1.4 Horno	9
2.1.5 Combustión.....	9
2.1.6 Biomasa	9
2.1.7 Secado de granos	9
2.2 Marco referencial.....	10
2.2.1 Producción de arroz en Ecuador	10
2.2.2 Estructura del grano de arroz.....	10
2.2.3 Características fisicoquímicas de la cascarilla de arroz.....	12
2.2.4 Propiedades de la cascarilla de arroz.....	12
2.2.5 Poder calorífico de la cascarilla de arroz.....	13
2.3 Diseño Mecánico	13

2.3.1 Fases de diseño mecánico.....	14
2.4 Horno	14
2.4.1 Hornos para combustibles sólidos	15
2.4.2 Hornos para combustibles en polvo	16
2.4.3 Partes principales de los hornos.....	16
2.4.4 Quemador	17
2.4.5 Sección radiante.....	17
2.4.6 Sección de convección	17
2.4.7 Sección de blindaje (SHIELD)	17
2.4.8 Dámper	17
2.4.9 Chimenea.....	18
2.4.10 Sistemas de alimentación de biomasa a las cámaras de combustión.....	18
2.5 Materiales refractarios	18
2.5.1 Clasificación de los materiales refractarios	19
2.6 Materiales aislantes.....	20
2.6.1 Fibrosos	21
2.6.2 Celular	21
2.6.3 Granular	21
2.7 Metales	22
2.8 Combustión.....	22
2.8.1 Estequiometría de las combustiones.....	23
2.8.2 Combustión completa	23
2.8.3 Combustión incompleta.....	24
2.8.4 Combustión estequiométrica	24
2.9 Biomasa	24
2.9.1 Fuentes de biomasa para fines energéticos.....	25
2.10 Secado de granos	26
2.10.1 Humedad relativa del proceso	27
2.10.2 La variación de la humedad relativa.....	27
2.10.3 Humedad relativa (\emptyset)	28
2.10.4 Humedad absoluta	28
2.10.5 Temperatura del punto de rocío.....	29
2.10.6 Temperatura de bulbo seco y bulbo húmedo.....	29
2.10.7 Calor total del aire para secado.....	29
2.11 Transferencia de calor	31

2.11.1	Conducción.....	31
2.11.2	Convección	31
2.11.3	Radiación	32
2.12	Contenido de humedad inicial y final del producto.....	32
2.12.1	Tipos de humedad.....	33
2.13	Métodos del secado de granos	34
2.13.1	Secado natural.....	34
2.14	Secado en patios.	35
2.15	Tipos de secadora [6] [32]	37
2.15.1	Secadora de flujo continuo	38
2.15.2	Las secadoras de flujo mixto	39
2.15.3	Las secadoras de flujo cruzado	40
2.15.4	Secadoras de persianas	41
2.15.5	Secadoras de flujo contracorriente.	42
2.15.6	Secadora de flujo concurrente	43
2.15.7	Secadoras por cascada	44
2.15.8	Secadoras horizontales	45
2.15.9	Secadoras en tandas	48
2.15.10	Secadoras en tandas con recirculación	48
2.15.11	Silos secadores.....	49
2.16	Consideraciones para el secado del producto [32]	49
2.17	Normas	50
CAPÍTULO III		51
METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN.....		51
3.1	Localización.....	52
3.2	Tipos de investigación	53
3.2.1	Investigación descriptiva	53
3.2.2	Investigación documental	53
3.3	Métodos de investigación	53
3.3.1	Método bibliográfico	53
3.3.2	Método analítico	54
3.3.3	Método inductivo.....	54
3.3.4	Método deductivo	54
3.4	Fuentes de recopilación de información	54
3.5	Diseño de la investigación.....	54

3.5.1 No experimental	55
3.6 Instrumento de investigación.....	55
3.6.1 Análisis de documentos	55
3.7 Tratamiento de los datos.....	55
3.8 Materiales	55
3.9 Equipos	56
CAPÍTULO IV	57
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	57
4.1 Resultados.....	58
4.2 Flujo de proceso del diseño	58
4.3 Selección del secador.....	59
4.4 Criterios de diseño	62
4.5 Diagrama de balance de masa y energía.....	62
4.6 Diseño del horno – secador	63
4.6.1 Volumen del producto a secar	64
4.6.2 Altura del secador.....	64
4.6.3 Modulo	66
4.6.4 Tolva de ingreso del grano	67
4.6.5 Módulo de distribución del grano al ingreso del secador.....	68
4.6.6 Masa de agua a retirar del arroz durante el proceso de secado.....	68
4.6.7 Calor necesario para evaporar el agua.....	69
4.6.8 Velocidad necesaria de ventilación en el secador	70
4.6.9 Diseño de las bandejas.....	72
4.6.10 Selección del tipo de bandeja	72
4.6.11 Calculo de carga estática	73
4.6.12 Análisis de carga.....	75
4.6.13 Calculo de espesor.....	78
4.6.14 Selección del tipo de material aislante.	83
4.7 Diseño de la estructura del secador	83
4.8 Diseño del horno.....	86
4.8.1 Calor desarrollado por la cascarilla de arroz	86
4.8.2 Masa de cascarilla de arroz necesaria.....	87
4.8.3 Volumen de Horno	88
4.8.4 Cantidad de aire necesario para la combustión	89
4.8.5 Dimensionamiento del horno.....	91

4.8.6 Temperatura en el horno.....	92
4.8.7 Cálculo de cilindro del horno	95
4.9 Tabla de resultados	96
4.10 Análisis Económico.....	97
4.10.1 Rentabilidad del proyecto.....	97
4.10.2 Costos	99
4.10.3 Cálculo del VAN Y TIR.....	100
CAPÍTULO V	102
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	102
4.11 Conclusiones.....	103
4.12 Recomendaciones	104
CAPÍTULO VI.....	106
BIBLIOGRAFÍA	106
CAPÍTULO VII.....	110
ANEXOS	110

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 : Porcentajes de distribución de producción de arroz.....	10
Tabla 2: Propiedades de la cascarilla de arroz.....	12
Tabla 3: Poder calorífico de maderas y residuos agrícolas	13
Tabla 4: Selección de secadora.....	61
Tabla 5: Criterio de diseño	62
Tabla 6: Resumen de los resultados del análisis de la estructura	86
Tabla 7: Resultados	96
Tabla 8 : Costos de materiales.....	99
Tabla 9: Mano de obra y equipos	99
Tabla 10: Otros costos	100
Tabla 11: Costo total	100
Tabla 12: Ingresos	100
Tabla 13: Egresos	100
Tabla 14: Flujo de efectivos	101

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Humedad relativa.....	27
Ecuación 2. Humedad relativa.....	27
Ecuación 3. Humedad específica del aire.....	28
Ecuación 4. Humedad específica del aire.....	28
Ecuación 5. Calor total del aire húmedo.....	30
Ecuación 6. Calor sensible.....	30
Ecuación 7. Calor latente.....	30
Ecuación 8. Entalpía de aire seco por masa de aire.....	30
Ecuación 9. Entalpía de vapor de agua por masa de agua.....	30
Ecuación 10. Flujo de calor por conducción.....	31
Ecuación 11. Flujo de calor por convección.....	31
Ecuación 12. Porcentaje de humedad en base seca.....	32
Ecuación 13. Porcentaje de humedad en base húmeda.....	33
Ecuación 14. Masa total del producto.....	33
Ecuación 15. Porcentaje de humedad libre.....	33
Ecuación 16. Porcentaje de humedad de equilibrio.....	33
Ecuación 17. Volumen.....	64
Ecuación 18. Altura.....	64
Ecuación 19. Volumen de la tolva.....	67
Ecuación 20. Masa de agua.....	69
Ecuación 21. Calor necesario para evaporar el % de agua del sistema.....	69
Ecuación 22. Flujo másico de aire para el secado.....	70
Ecuación 23. Velocidad del aire.....	71
Ecuación 24. Volumen.....	74
Ecuación 25. Carga distribuida de masa del grano.....	75
Ecuación 27. Método de Tresca.....	78
Ecuación 28. Esfuerzo en x.....	79
Ecuación 29. Esfuerzo de corte.....	79
Ecuación 30. Calor necesario.....	86
Ecuación 31. Masa de cascarilla.....	87
Ecuación 32. Tiempo de consumo de la biomasa.....	88
Ecuación 33. Balance de masa.....	89
Ecuación 34. Relación entre la masa del aire y la masa del combustible.....	90
Ecuación 35. Masa de aire para la combustión.....	90
Ecuación 36. Flujo másico del aire.....	91
Ecuación 37. Velocidad volumétrica.....	91
Ecuación 36. Área del cilindro.....	92
Ecuación 37. Diámetro del cilindro.....	92
Ecuación 38. Resistencia equivalente.....	93
Ecuación 39. Resistencia de convección del aire.....	93
Ecuación 40. Resistencia de conducción de la pared del horno.....	94
Ecuación 41. Flujo de calor.....	94
Ecuación 42. Esfuerzo.....	95
Ecuación 43. Esfuerzo de diseño.....	96

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Figura 1: Estructura del grano de arroz	11
Figura 2: Fases de diseño mecánico reconociendo las múltiples retroalimentaciones e iteraciones	14
Figura 3: Horno de leña, tipo de fuego directo	15
Figura 4: Horno para combustibles en polvo	16
Figura 5: Tipos de alimentación de biomasa	18
Figura 6: Triángulo de la combustión	22
Figura 7: Etapas entre la producción de granos y el almacenamiento	26
Figura 8: Diversas formas de secado natural	35
Figura 9: Patio para el secado de grano	36
Figura 10: Secador solar rotatorio	36
Figura 11: Esquema del secador tipo torre	39
Figura 12: Esquema de una secadora de flujo continuo, de caballetes	40
Figura 13: Esquema de una secadora de flujo continuo, de columnas	41
Figura 14: Cuerpo principal de secadora de persianas	42
Figura 15: Silo secador de flujo contracorriente (secado combinado)	43
Figura 16: Esquema de secadora de flujos concurrentes, de tres atapas de secado y	44
Figura 17: Secador de cascada	45
Figura 18: Sección transversal de secadora horizontal de columnas	46
Figura 19: Esquema de secadora horizontal de lecho fijo, plano doble	47
Figura 20: Secadora horizontal de lecho fluido	47
Figura 21: Secadora en tandas con recirculación, noria elevadora y periodo de reposo	48
Figura 22: Secado en flujos contrarios, en silos	49
Figura 23: Diagrama de balance de masa y energía del horno (vista lateral)	62
Figura 24: Diagrama de balance de masa y energía del secador (vista lateral)	62
Figura 25: Diseño del horno - secador	63
Figura 26: Circulación de aire a través del grano	66
Figura 27: Módulo ensamblado	67
Figura 28: Tolva De Ingreso	68
Figura 29: módulo de distribución	68
Figura 30: Ventilador	71
Figura 31: Bandeja	72
Figura 32: Distribución de las bandejas	72
Figura 33: Masa de grano sobre la bandeja	73
Figura 34: Distribución de carga sobre el ala de la bandeja	75
Figura 35: Plano- Angulo de incidencia del grano sobre la bandeja	76
Figura 36: Diagrama de esfuerzo cortante	77
Figura 37: Diagrama de momento	78
Figura 38: Restricción fija de la bandeja para realizar el análisis	81
Figura 39: Aplicación de la fuerza que incide en las alas de la bandeja central	81
Figura 40: Desplazamiento estático de la bandeja central	82
Figura 41: Factor de seguridad de la bandeja	82
Figura 42: Restricción fija de la estructura para realizar el análisis	83

Figura 43: Aplicación de las cargas que va a soportar la estructura.....	84
Figura 44: Tensión de Von Mises	84
Figura 45: Desplazamiento	85
Figura 46: Coeficiente de seguridad.....	85
Figura 47: Blower 2”	91
Figura 48: Generación de aire	92
Figura 49: Red térmica del sistema	93

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: catálogo de ventiladores helicoidales hct.....	111
Anexo 2: Acero ASTM A36.....	112
Anexo 3: Paneles De Aislacion Termica.....	113
Anexo 4. Caracteristicas Del Blower	114
Anexo 5: Caracteristicas Tecnicas Del Acero Inoxidable	115

GLOSARIO

SÍMBOLO	DENOMINACIÓN	UNIDAD
\emptyset	Humedad relativa	%
\emptyset_a	Flujo de aire por unidad de tiempo	kg/s
\emptyset_c	Diámetro del cilindro	m
σ_a	Esfuerzo cilindro	N/mm ²
σ_d	Esfuerzo de diseño	MPa
σ_x	Esfuerzo en x	N/m ²
τ_{xy}	Esfuerzo cortante	N/m ²
ρ	Densidad del aire	kg/m ³
ρ_c	Densidad de la cascarilla	kg/m ³
ω	Humedad específica del aire	kg. Vapor de agua /kg. Aire seco
A_c	Área de corte	m ²
A_{cil}	Área del cilindro	m ²
A_T	Área de la superficie de transferencia de calor	m ²
$b * a$	Área de impacto	m ²
C_p	Coefficiente calorífico del aire	kJ/kg ^o K
C_{pa}	Calor específico del aire	kJ/kg ^o C
C_{pv}	Calor específico del vapor de agua	kJ/kg ^o C
dT/dx	Gradiente de temperatura en la dirección x	^o C/m
h	Altura	m
H_a	Columna de arroz	m
h_1	Valor de entalpía del aire a temperatura ambiente	kJ/kg
h_2	Valor de entalpía de aire caliente	kJ/kg
h_a	Entalpía de aire seco por masa de aire	kJ/kg
h_c	Coefficiente de transferencia de calor por convección	W/m ² . ^o C
h_v	Entalpía de vapor de agua por masa de agua	kJ/kg
I	Momento de inercia	m ⁴
k	Conducción térmica del material	W/m ² °k
L	Longitud de la bandeja	m
L_c	Longitud del área transversal del cilindro	m
L_p	Longitud de la parrilla	m
m	Masa total sobre la bandeja	kg
\dot{m}	Flujo másico del aire para el secado	kg/s
\dot{m}_a	Masa de aire para la combustión	kg
m_a	Masa de agua del producto en	kg
M_a	Flujo másico de aire para el secado	kg/s
m_c	Masa de cascarilla	kg
m_{H_2O}	Masa de agua	kg/h
m_s	Masa seca del producto	kg
m_t	Masa total del producto	kg
M_v	Cantidad de vapor de agua	kg
M_f	Momento flector	Nm
M_g	Cantidad de vapor de agua en condiciones de saturación	kg
n	Factor de seguridad	

p	Presión total	N/m^2
P	Peso total	kg
P_b	Presión parcial de vapor de agua	Pa
P_c	Poder calorífico	KJ/kg
P_g	Presión de saturación del agua en condiciones de saturación	Pa
p_v	Presión parcial de vapor de agua	N/m^2
Q	Calor necesario par evaporar el % de agua del sistema	kW
Q_a	Velocidad dela aire	m^3/s
\dot{q}_c	Flujo de calor por convección	W/s
q_{ev}	Calor de evaporación del agua	kJ/kg
\dot{q}_k	Flujo de calor por conducción	W
q_1	Carga distribuida de masa del grano	N/m
\dot{q}_L	Calor latente	kW
\dot{q}_S	Calor sensible	kW
Q_t	Calor total del aire húmedo	kW
r_1	Radio interno del tubo	mm
r_2	Radio interno del tubo	mm
$R_{a/c}$	Relación aire combustible	
$R_{Conv\ aire}$	Resistencia de convección del aire	$^{\circ}K/w$
$R_{Con\ gas}$	Resistencia de convección del gas generado en el horno	$^{\circ}K/w$
$R_{Conv\ prd}$	Resistencia de conducción de la pared del horno	$^{\circ}K/w$
S_y	Límite elástico	MPa
t	Tiempo de consumo	h
T_1	Temperatura ambiente	$^{\circ}C$
T_2	Temperatura de secado	$^{\circ}C$
t_c	Espesor del cilindro	mm
r	Radio cilindro	mm
T_d	Temperatura de bulbo seco	$^{\circ}C$
T_s	Temperatura de la superficie	$^{\circ}C$
T_{∞}	Temperatura del ambiente o entorno	$^{\circ}C$
$T_{\infty 1}$	Temperatura del horno	$^{\circ}C$
$T_{\infty 2}$	Temperatura del aire caliente	$^{\circ}C$
V	Volumen	m^3
v_a	Velocidad volumétrica del aire para la combustión	Kg/s
V_r	Volumen horno	m^3
V_{tolva}	Volumen tolva	m^3
X_{bh}	Porcentaje de humedad en base húmeda	%
X_{bs}	Porcentaje de humedad en base seca	%
X_{eq}	Humedad de equilibrio	%
X_F	Porcentaje de humedad libre	%

CÓDIGO DUBLIN

Título	“DISEÑO DE UN HORNO POR COMBUSTIÓN DE BIOMASA (CASCARILLA DE ARROZ) Y DEL SECADOR PARA LA GRAMÍNEA”
Autores	Berrus Magallón Javier Isaac Moreira Sánchez Héctor Rolando
Palabras claves	Diseño, horno, combustión, biomasa, secado, arroz.
F. publicación	
Editorial	Quevedo: UTEQ, 2017
Resumen	<p>Resumen. – El presente trabajo investigativo se centra en el diseño de un horno por combustión de biomasa (cascarilla de arroz) y del secador para la gramínea. Este equipo permite utilizar la energía que se obtiene de la cascarilla de arroz que es un residuo agrícola que cuenta con un poder calorífico apropiado y suficiente para ser aprovechado en el proceso de secado de la del arroz.</p> <p>Para el diseño de la máquina, la investigación comprende un análisis que permite determinar el tipo de secador según el volumen a secar y en consecuencia se obtiene la demanda energética de la máquina. Esta energía demandada será cubierta por la capacidad de entrega de energía en forma de calor a partir de la combustión de la cascarilla de arroz.</p> <p>Además, este proyecto de manera significativa presenta una ventaja en primer lugar al reducir de forma alguna el impacto ambiental debido a que la cascarilla en muchos casos es desechada. Así entonces se le da un valor agregado a este residuo que al ser utilizado para este fin lleva consigo un ahorro económico.</p>

Abstract.- This research work focuses on the design of an oven by combustion of biomass (rice husk) and dryer for grain. This equipment allows to use the energy that is obtained from the rice husk that is an agricultural residue that has an adequate calorific power and sufficient to be used in the process of drying the rice.

For the design of the machine, the research comprises an analysis that allows to determine the type of dryer according to the volume to dry and consequently you get the energy demand of the machine. This demand for energy will be covered by the capacity of delivery of energy in the form of heat from the combustion of the rice husk

In addition, this project significantly presents an advantage in the first place by reducing in any way the environmental impact because the husk in many cases is discarded. Thus, it is given an added value to this waste, when used for this purpose, carries with it an economic saving.

Descripción	
URI	

INTRODUCCIÓN

En la actualidad la búsqueda de nuevas fuentes de energías que suplan a energías de origen fósil ha venido en aumento, puesto a la preocupación que se ha generado debido a los niveles de contaminación que se produce con la utilización de fuentes de energías con origen fósil. Para gran parte de la población mundial, las formas más familiares de energía renovable son las que provienen del sol y del viento. Sin embargo, existen otras fuentes como la biomasa.

Al hablar de biomasa se refiere a toda la materia orgánica que proviene de árboles, plantas y desechos de animales que pueden ser convertidos en energía o las provenientes de la agricultura como leña, carbón de leño, nueces de macadamia, cascarilla de arroz entre otras.

Por este motivo el presente proyecto de investigación se enfoca en determinar un valor agregado y un uso que se le puede dar a la cascarilla de arroz, a través de su poder energético, dado que en el Ecuador se desarrolla a gran escala el cultivo de arroz ocupando la tercera parte los cultivos transitorios a nivel nacional.

La producción se lleva a cabo en mayor porcentaje en la zona costera del Ecuador, especialmente en las provincias del Guayas y Los Ríos, enfocándose en la provincia de Los Ríos, misma que se ha desarrollado en base al consumo interno, en todos los cantones de esta provincia el nivel de producción del arroz se ha mantenido desde el 2007 hasta la actualidad, con un total de 452.492 toneladas, lo cual evidencia la importancia de este cultivo en esta zona.

Estudios realizados han demostrado que se puede obtener energía a partir del poder energético de la cascarilla del arroz, transformando esta energía en calor, puede ser utilizado en el proceso de secado del arroz u otros granos. Además, se estima que por cada tonelada de arroz en el proceso se deja como residuo 200 kg de cascarilla.

Por tanto, el trabajo de investigación se centra en el diseño de un horno para combustión de biomasa (cascarilla de arroz). La cascarilla será tratada dentro de un horno de combustión de biomasa para la obtención de calor, y utilizada en el proceso de secado de arroz dentro de una cámara de secado.

CAPÍTULO I
CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Problema de investigación

1.1.1 Planteamiento del problema

Actualmente en la provincia de Los Ríos se desarrolla un alto porcentaje de producción de arroz a nivel nacional, en el proceso de producción del mismo este deja como residuo la cascarilla, según datos estadísticos se tiene como resultado que por cada tonelada que se produce de arroz deja como residuo en el proceso 200kg de cascarilla.

La cascarilla del arroz es un tejido vegetal constituido por celulosa y sílice, propiedades que permite utilizarlo como combustible, pero a pesar de poseer un alto poder calorífico depende del grado de humedad que presente.

En la actualidad el uso de la biomasa con fines energéticos ha venido en alza, esto debido a la búsqueda de nuevas fuentes de energías amigables con el ambiente.

Según datos el 35% de la cascarilla de arroz se emplea en la industria florícola y en los criaderos de animales y el resto es quemado dentro de las plantas de pilado, arrojada en bordes de carreteras, arrojada en los ríos y esteros o perdidas por efecto del viento [1]. En otras palabras, es desaprovechado un recurso energético de gran potencial.

1.1.2 Diagnóstico

El residuo que deja el proceso de obtención del arroz como producto final para consumo (cascarilla de arroz) no es aprovechado, esto debido a la falta de conocimientos sobre cómo utilizar el poder calorífico de este, en el proceso de secado del arroz u otros granos en la provincia de Los Ríos y el país.

1.1.3 Pronóstico

Al diseñar un horno de combustión de biomasa y una máquina secadora de arroz que funcione a partir de la cascarilla de arroz, se estará aprovechando este recurso energético y se estará beneficiando al sector agroindustrial a adoptar nuevas tecnologías.

1.1.4 Formulación del problema

¿Qué beneficios genera el diseño de un secador de arroz y un horno de combustión de biomasa (cascarilla de arroz) en el secado del grano de arroz?

1.1.5 Sistematización del problema

La investigación se enfoca en el diseño de una máquina secadora de arroz, esta máquina funciona con el calor que entrega un horno de combustión de biomasa, el mismo que también será diseñado para la combustión de cascarilla de arroz.

¿Qué normas se deben tener en cuenta para realizar el diseño de una máquina secadora de arroz?

¿Qué normas se deben considerar en el diseño de un horno de combustión de biomasa (cascarilla de arroz)?

¿Quiénes se beneficiarán de los resultados de esta investigación?

¿Qué tipos de materiales se utilizan para fabricar máquinas que van destinadas al proceso de secado de granos y bajo qué especificaciones técnicas se construyen?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Diseñar un horno por combustión de biomasa (cascarilla de arroz) y del secador para la gramínea.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Diseñar una máquina secadora de arroz a partir del calor que se obtiene del horno por combustión de la biomasa cascarilla de arroz.
- Diseñar un horno de combustión de biomasa para la conversión del poder energético de la cascarilla de arroz a calor.
- Determinar el ahorro económico de la biomasa de la cascarilla de arroz versus otras fuentes de energías empleadas para la obtención de calor en el proceso de secado del arroz.

1.2.3 Justificación

Este proyecto tiene como fin dar un valor agregado y uso que se puede dar a la cascarilla de arroz, a través de su poder energético, puesto que en la actualidad dicho recurso es desperdiciado y no es aprovechado, este residuo será tratado dentro de un horno para la combustión de biomasa para la obtención de calor, y empleado posteriormente en el proceso de secado del arroz en una cámara secadora que utilizará y aprovechará el calor.

Además, como ya es de conocimiento el uso de la biomasa con fines energéticos ha venido en alza, debido a la búsqueda de nuevas fuentes de energía amigables con el ambiente, con el fin de disminuir el impacto ambiental que ocasiona la mano del hombre.

Con el mismo estudio se está presentando una alternativa de energía que se puede utilizar en el proceso de secado de arroz u otros granos en remplazo de energías de origen fósil.

En el Ecuador, especialmente la provincia de Los Ríos se desarrolla una elevada producción de arroz, y cascarilla del mismo, hace posible un estudio que tenga como fin aprovechar este recurso. El presente proyecto de investigación no solo proporciona una alternativa energética, sino también una alternativa económica ya que esta fuente de energía es un residuo y no constituye costo alguno. Adicional con este estudio, se ayudaría a la repotenciación del sector agroindustrial al adoptar nuevas tecnologías.

De esta manera se contribuye con el cambio de la matriz energética y productiva, con los objetivos del Plan Nacional del Buen Vivir para la región 5 a la que pertenecemos.

CAPÍTULO II
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

1.3 Marco Conceptual

1.3.1 Arroz

Es el grano que produce el vegetal oryza sativa, este es un cereal que es considerado como alimento básico en algunas culturas gastronómicas, en especial la cocina del continente asiático y Latinoamérica. Además es el segundo cereal más sembrado por los agricultores a nivel mundial para su producción, ya que es considerado como uno de los alimentos sustanciales en la nutrición de todos los seres humanos. [2]

1.3.2 Diseño Mecánico

Los ingenieros mecánicos se relacionan con la obtención y el proceso de energía, además del abastecimiento de los medios de producción, equipos de transportes y un innumerable conjunto de técnicas para la automatización. Las bases para su capacidad son extensas, así como su noción. Entre las bases se encuentran la mecánica de fluidos, mecánica de sólidos, la transferencia que se genera entre el calor y masa, los procesos de fabricación, la teoría eléctrica y la información [3]. El diseño en ingeniería mecánica abarca todas las áreas que forman esta disciplina las cuales son fundamentales para la creación de los planos que se necesitarán para la elaboración y ensamble de estructuras, máquinas, herramientas y los procesos que desarrollen las funciones deseadas. [4]

1.3.3 Selección de materiales

La selección de un material es una de las decisiones más relevantes que el diseñador debe considerar para la construcción de las distintas piezas de una máquina o elemento estructural [3]. El material que es escogido debe cumplir con los requerimientos de diseño a partir del trabajo que ejercerá cada uno de los componentes o piezas. Este aspecto está directamente ligado a las características físicas y mecánicas del material. [5]

1.3.4 Horno

Aquí se genera la quema del combustible, pasando la energía del carburante de química a térmica. Las dimensiones y características del horno dependen del tipo y capacidad liberación de energía del combustible. La cual está en función del tipo de horno, del dimensionamiento, temperatura de la flama, del excedente de aire y la turbulencia. En general se estima que la tasa de liberación de energía varía entre (1000,000 a 50.000 Kcal/h.m³). [6]

1.3.5 Combustión

La ignición es un conjunto de reacciones de oxidación con desprendimiento de calor, entre: el combustible, puede ser este un sólido, un líquido o un gas y el comburente, Oxígeno. Al instante de la reacción de ignición se genera una llama la cual es una masa gaseosa candente que emite calor y luz. [7]

1.3.6 Biomasa

En el contenido energético, se ha denominado el termino BIOMASA a una fuente de energía que es basada en la utilización de biocombustibles de tipo renovable. La energía de biomasa, es procedente del uso de elementos orgánicos la cual es formada en procesos orgánicos, característica que permite denominarla como energía de tipo renovable. Se puede considerar que es energía solar captada y acumulada en forma de materia orgánica de las vegetaciones a través de la fotosíntesis. [8]

1.3.7 Secado de granos

La desecación es un proceso en el cual se reduce el contenido de humedad de la gramínea, hasta un porcentaje de rocío que sea considerado seguro para su acopio. De acuerdo a su propiedad (temperatura, velocidad del flujo etc.) dependerá de la velocidad del secado así el secado del grano, se puede definir que es un proceso en el que hay un cambio simultaneo de calor y masa, entre la gramínea y el flujo de aire calentado que es utilizado para el secado [6] [9]

1.4 Marco referencial

1.4.1 Producción de arroz en Ecuador

El arroz es cultivado en gran parte del país, de esta la mayor parte se localiza en la región cinco. Se estima que para el año el 2015 el área sembrada fue de 358,582.6 hectáreas. Del total, en el periodo comprendido desde el mes de enero hasta abril se sembraron 153,450.0, en el segundo periodo 180,385.9 y en el tercero 24,746.hectareas. [10]

Tabla 1 : Porcentajes de distribución de producción de arroz en el ecuador

Provincias	Primer Periodo [%]	Segundo Periodo [%]	Tercer Periodo [%]
Guayas	57,3	73,1	80,4
Los Ríos	36,8	23,7	19,1
Loja	10	-	-
Manabí	3,6	3,2	0,5
El Oro	1,3	-	-

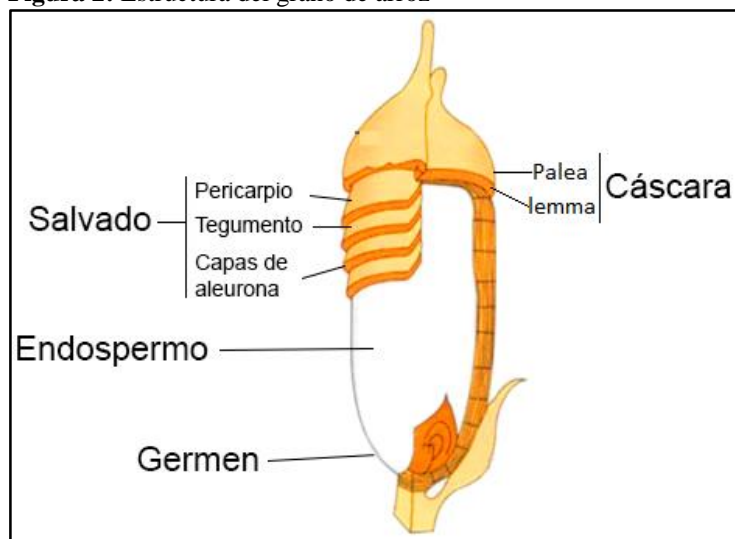
Fuente: BCE [2017]

1.4.2 Estructura del grano de arroz

El grano está constituido por la cáscara o pericarpio que es formada por la lemma y la palea que contienen otras estructuras asociadas al salvado. La cáscara contiene entre 20 y 22 % del peso del grano cuando ha sido recién recolectado. Las diferentes clases de arroz se las clasifican según sus características físicas. [11]

En la **Figura 1** se representa la morfología y composición del grano de arroz.

Figura 2: Estructura del grano de arroz



Fuente: <http://www.officialteamlift.com> [2017]

Elaborado por: Autores

Salvado: Está formado por un conjunto de capas y su función es proteger al grano, el pericarpio tegumento y las capas de aleurona, las cuales se encuentran debajo de la cáscara estos son diferentes en su forma estructural y funcionamiento

Germen: Es la parte reproductiva de la semilla, es el embrión el que germina para dar lugar a un nuevo vegetal.

Endospermo: Este representa el fragmento más significativo del grano en volumen y peso, contiene nutrientes que son esenciales y los utiliza en el florecimiento de las semillas.

Cáscara: Es la que protege el grano la cual está compuesta de palea y lemma. Contiene altas cantidades de silicio lo que limita usarlo como materia prima orgánica. Contiene además bajos contenidos de nutriente. La cascara es utilizada en las industrias esto debido a las propiedades de aislamiento, alto porcentaje de minerales orgánicos y una excelente conductividad térmica. [11]

1.4.3 Características fisicoquímicas de la cascarilla de arroz

Su propiedad energética está dada por las características químicas y físicas se genera la inflamación e ignición conductividad térmica, temperatura y potencia calórica. El salvado de arroz posee una gran variedad de características fisicoquímicas las cuales son, el poder calorífico, el contenido de humedad, y la estructura química de la cascarilla, las características que contiene son fundamentales por ser objeto de estudio para la producción y funcionamiento de horno aplicados para ignición de este subproducto. [12]

1.4.4 Propiedades de la cascarilla de arroz

La **Tabla 2** muestra las propiedades de la cascarilla de arroz como son, el análisis último, análisis próximo determinado según la norma ASTM E870-82 y el análisis último de los componentes. [13]

Análisis ultimo (elemental) de la cascarilla de arroz

En la **Tabla 2** se muestra el análisis último de la cascarilla de arroz. Estas características son las más trascendentales, además de que son utilizadas para los cálculos de volúmenes de gases, aire y entalpia en el proceso de combustión. [12]

Tabla 2: Propiedades de la cascarilla de arroz

Análisis próximo [%]		Análisis Ultimo [%]		Análisis de los componentes [%]	
Volátiles	59	Carbón	39.6	Celulosa	34.4
Humedad	7.4	Oxigeno	37.52	Hemicelulosa	29.3
Cenizas	19.3	Silicio	15.21	Lignina	19.2
		Hidrogeno	4.67	Cenizas	17.1
		Nitrógeno	1.83		
		Azufre	0.4		

Fuente: Williams,p. Nugrasnad, N. [2000]

1.4.5 Poder calorífico de la cascarilla de arroz

El poder calorífico está directamente relacionado con el porcentaje de humedad que tenga ya que al existir un alto contenido de humedad, reduce la eficiencia de la biomasa en el tiempo, cuando se genera la combustión utilizando, gran parte del calor que libera para evaporar el agua y no es aprovechada en la deflación química del material. [12]

Tabla 3: Poder calorífico de maderas y residuos agrícolas

COMBUSTIBLE	PODER CALORÍFICO MEDIO KJ/KG
Bagazo húmedo	10500
Bagazo seco	19200
Cascara de Cacahuate	17800
Cascarilla de arroz	13800
Celulosa	16500
Corteza escurrida	5900
Cosetas de caña	4600
Madera seca	19000
Madera verde	14400
Paja seca de trigo	12500
Paja seca de cebada	13400
Serrín húmedo	8400
Viruta seca	13400
	P.C SUPERIOR KJ/KG
Cáscara de almendras	36800
Cáscara de nueces	32000
Cáscara de arroz	15300
Cáscara de pipa de girasol	17500
Cáscara de trigo	15800
Corteza de pino	20400
Corcho	20930
Orujillo de aceituna	17900
Orujo de uva	19126

Fuente: Yunus Cengel [2015]

1.5 Diseño Mecánico

Es el proceso donde se aplica principios científicos y técnicas con el objetivo de detallar un proceso, un dispositivo o un sistema [14]. Y esta es una tarea principal de la ingeniería mecánica, encargada de idear un componente, conjunto, máquina o estructura en base a

flama, de la turbulencia y del exceso de aire. La tasa de liberación de energía fluctúa entre 120 y 550 kW/m³. [6]

En cuanto a la naturaleza de los combustibles, los hornos se clasifican en:

- Hornos para combustión de sólidos.
- Hornos para combustible sólido pulverizado.
- Hornos para combustible líquido.
- Hornos para combustible gaseoso.

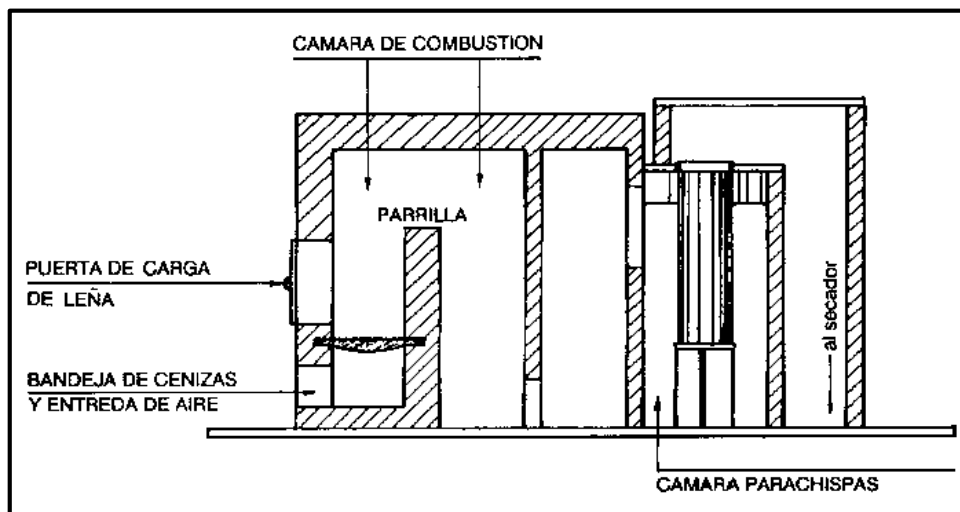
1.6.1 Hornos para combustibles sólidos

Horno de fuego directo

En este tipo de horno al quemar la leña en tronco se presentan problemas de mezcla entre el combustible y el flujo de aire. Esta deficiencia se logra prevenir con el trozado de la leña y aumentando la turbulencia, con este se eleva el coste de trabajo.

El esquema de **Figura 4** la muestra un tipo de horno diseñado para combustionar leña trozada. Deben estar diseñada con una puerta para la carga por cada de leña. [6]

Figura 5: Horno de leña, tipo de fuego directo



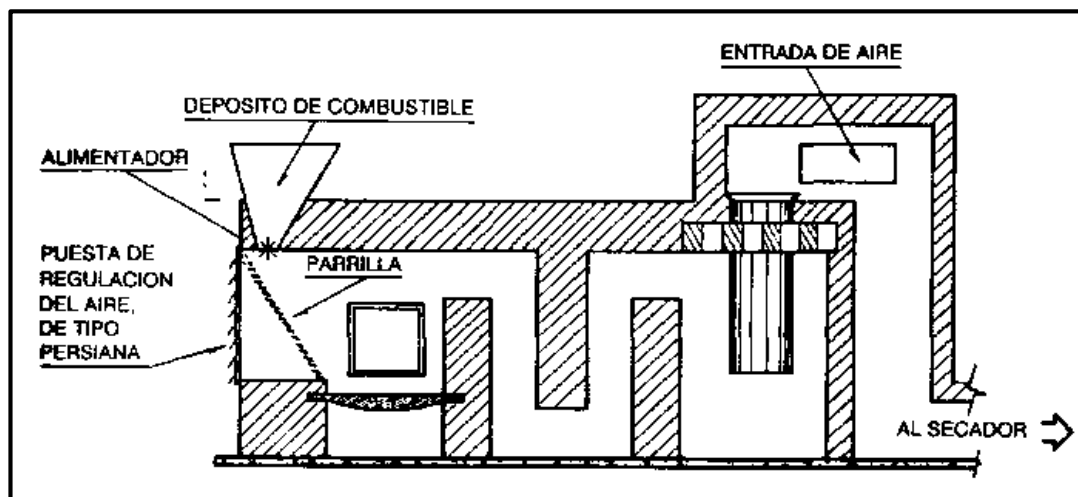
Fuente: Secado de granos a altas temperaturas [1991]

1.6.2 Hornos para combustibles en polvo

Este tipo de hornos tiene como característica el presentar una mayor velocidad de reacción. Esto como consecuencia del tamaño de las partículas del combustible.

Los combustibles en polvo son quemados por suspensión, y un exceso del 15 al 20% en el aire, lo que genera una elevada temperatura de la flama. De estos el tipo más simple es el de parrilla inclinada, **Figura 6** que consta de un eje giratorio con ranuras para su alimentación. El cálculo de rotación del eje y el tamaño de las ranuras son en función del volumen del combustible. Estos producen una tasa de liberación de energía entre (100.000 a 200.00 kcal/h.m³). [6]

Figura 7: Horno para combustibles en polvo



Fuente: secado de granos a altas temperaturas [1991]

1.6.3 Partes principales de los hornos

Desde el punto térmico son las siguientes

- Quemador
- Sección radiante
- Sección de convección
- Cubierta de producción
- Dámper
- Chimenea

1.6.4 Quemador

Este equipo introduce en simultaneo una cantidad de aire y combustible al horno, con los parámetros de velocidad y concentración deseada para mantener una mezcla ideal para generar la combustión. [16]

1.6.5 Sección radiante

Es la parte del horno donde la transferencia del calor se genera por medio de la conducción y la radiación en un porcentaje de 20 y 80% equitativamente debido a que los tubos están expuestos al calor de la flama. [17]

1.6.6 Sección de convección

Está constituida por una serie de tubos, encargadas de absorber el calor de los vapores que se generan por la combustión. Este calor que es transferido de los gases a las tuberías es principalmente por convección. [17]

1.6.7 Sección de blindaje (SHIELD)

Se denomina así a las primeras filas de las tuberías que se sitúan en el área de convección de la zona de choque (SHOCK) en la cual los tubos no contienen aletas, y recibe la misma cantidad de calor en ambos módulos. [17]

1.6.8 Dámper

Es la encargada de regular el caudal de ingreso de aire hacia la cámara de combustión, así como de los gases de combustión expulsados por la chimenea. Su principal funcionamiento es regular el tiro o diferencia de presiones dentro del horno. [16]

1.6.9 Chimenea

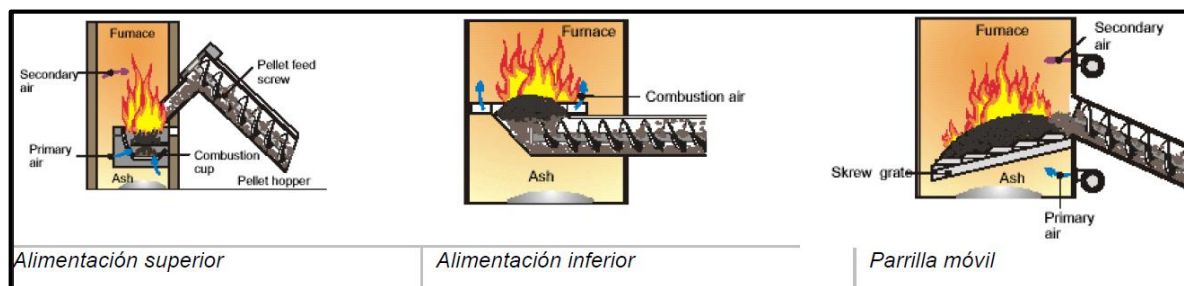
La chimenea es la que se encarga de crear suficiente succión para eliminar los gases que se generan con la combustión. Esto generalmente se puede lograr mediante condiciones de tiro natural o forzado. [18]

1.6.10 Sistemas de alimentación de biomasa a las cámaras de combustión¹

Se pueden fabricar varios tipos de alimentación de la biomasa a las cámaras de ignición integradas internamente de los hornos. Los tipos más comunes son:

- Alimentación superior con caída a un crisol
- Alimentación inferior
- Alimentación lateral y parrilla móvil

Figura 8: Tipos de alimentación de biomasa



Fuente: Sánchez [2012]

1.7 Materiales refractarios

La norma ASTM define a los refractarios, como materiales no metálicos aplicables a mecanismos de los sistemas que están expuestos a entornos de altas temperaturas [19], que proporcionan revestimientos de reactores, calderas y hornos de tratamiento térmico y de diferentes procesos que están expuestos a elevadas temperaturas [20], soportan altas temperaturas sin degradarse, fundirse, o reaccionar con otros materiales. Los materiales refractarios más comunes están compuestos de partículas de óxidos las cuales se encuentran

¹ http://www.crana.org/themed/crana/files/docs/212/172/4biomasa_cener_david_sanchez.pdf

unidas por un material refractario más fino. Este último se encarga de proporcionar la unión y es fundido durante el horneado. Algunos ladrillos refractarios tienen una porosidad aparente entre el 20% y el 25% con el propósito de conseguir un mejor aislamiento térmico, para seleccionar un material refractario hay que considerar bajo qué entornos estará expuesto. [21]

Los refractarios realizan 4 funciones básicas:

- Actúan como barrera térmica entre un medio caliente por ejemplo (metal líquido, gases de combustión, sales fundidas, escorias fundidas, y la pared del contenido del recipiente).
- Aseguran una protección física, lo que evita la erosión en las paredes por el medio caliente circundante.
- Son una barrera química protectora contra el deterioro.
- Este tipo de materiales actúan como aislamiento térmico.

1.7.1 Clasificación de los materiales refractarios

Existen varios tipos de materiales refractarios dependiendo el tipo de aplicación la ASTM [19], Smith & Hashemi [20], Askeland Fulay & Wright [21] y Callister [22] los dividen en:

Refractarios ácidos

Este tipo de materiales contienen alúmina, sílice y arcilla refractaria dándole propiedades de alta resistencia mecánica, alta refractabilidad y dureza a temperaturas cerca de sus puntos de fusión [20]. La sílice pura en ocasiones es utilizada para contener los metales que son fundidos. Además, en otros tipos de aplicaciones la sílice puede ser aglutinada con cantidades de óxidos de boro, que es fundida para producir la unión de la cerámica. Si es agregada una pequeña cantidad de alúmina a la sílice, el material refractario que contenga un micro-constituyente eutéctico de bajo punto de fundición no es adecuado para aplicaciones refractarias a temperaturas que están sobre 1600 °C, temperatura que con frecuencia es necesaria para la fabricación de aceros. Aunque cuando se le agrega grandes cantidades de alúmina, la microestructura contiene crecientes de mulita, $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ que tiene una elevada temperatura de fusión. [21]

Refractarios básicos

Algunos materiales refractarios se basan en el óxido de magnesio MgO (periclasa o magnesita). El MgO puro además puede contener cromo calcio y hierro [22], sus características son las siguientes: un punto de fusión alto, buena capacidad refractaria y una buena resistencia al ataque de los entornos básicos que suelen encontrarse en los entornos de fabricación de hornos [21]

Refractarios neutros

Este tipo de refractarios son químicamente neutros y estables tanto ácidos como los básicos, contiene la cromita y la cromita-magnesita, lo que les permite ser utilizado en flujos de altas temperaturas además se encargan de separar los refractarios básicos de los ácidos para evitar que se ataquen entre sí. [19] [21]

Refractarios especiales

Este es un cuarto grupo que se les denomina refractarios especiales son materiales nuevos y muy caros, por su proceso de fabricación y son utilizados en varias aplicaciones refractarias el carbono o grafito, exclusivamente cuando no hay oxígeno [21]. Pertenecen a este grupo de materiales refractarios la sílice, magnesita, y zirconia (ZrO_2), el berilio (BeO), así como una diversidad de nitruros, carburos y boruros es aplicable para elementos de calentamiento, como un material de crisol y en los componentes internos de hornos. [22]

1.8 Materiales aislantes

Es aquel material que evita la pérdida o ganancia de calor debido a que posee una baja conductividad térmica. Esto se consigue atrapando aire o algún otro tipo de gas dentro de pequeñas cavidades de un sólido además que estos tipos de material utilizan la conductividad inherente baja de un gas para inhabilitar el flujo del calor cuya característica se la obtiene mediante la combinación de mecanismos de flujo de calor, como los gases son fluidos el

calor también por convección natural dentro de las bolsas de aire y por radiación entre las paredes solidas del recinto. [23]

Los diferentes tipos de materiales aislantes se clasifican en las tres siguientes categorías:

1.8.1 Fibrosos

Estos materiales consisten en partículas de pequeños diámetros de filamentos con una baja densidad y con diámetro pequeño que se puede ver en espacios como “relleno suelto” formados en bloques, tableros o mantas, estos tipos de materiales tienen una porosidad muy elevada noventa por ciento. La lana mineral es un material fibroso que se utiliza en aplicaciones que estén a temperaturas por debajo de los 700°C. Para el aislamiento térmico de mecanismos que se encuentren a temperaturas entre 700 y 1700°C se puede utilizar fibras refractarias tales como la alúmina (Al_2O_3) o la sílice (SiO_2). [23]

1.8.2 Celular

Los aislantes celulares son materiales de celdas que pueden estar cerradas o abiertas o que pueden tener forma de tableros flexibles, rígidos o extendidos. Sin embargo, también pueden ser espumados o pulverizados en donde se los desea aplicar para lograr las formas geométricas que se desean. Este aislamiento posee una baja densidad, baja capacidad calorífica y resistencia a la corrosión relativamente buena de este tipo tenemos como por ejemplo la espuma de poliuretano y poliestireno expandido. [23]

1.8.3 Granular

Este tipo de aislamiento consiste en pequeñas partículas de materiales inorgánicos aglomerados en forma prefabricadas o utilizadas como polvo. Como por ejemplo el polvo de perlita y sílice diatomáceo. [23]

1.9 Metales

Los aceros laminados y las fundiciones grises son las más utilizadas en ciertas partes del horno, se utilizan este tipo de materiales en:

- Bastidores
- Parantes
- Puertas
- Ventanas

1.10 Combustión

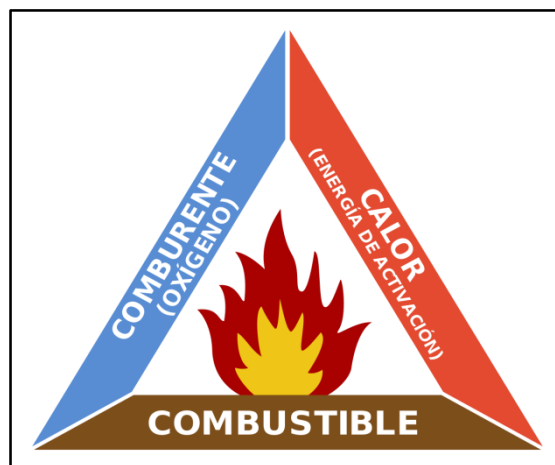
La combustión es un proceso de oxidación rápida que contiene la presencia de una flama haciéndola diferente de otros procesos de oxidación rápida por darse el sustento de una llama la cual estará estable.

Para que se produzca la combustión deben de coexistir 3 factores:

- Combustible
- Comburente
- Energía de activación

Estos tres elementos son los que representan el denominado triángulo de la ignición, en el que si faltan algunos de los vértices la deflagración no puede llevarse a cabo.

Figura 9: Triángulo de la combustión



Fuente: <http://www.tecnologiavulcano.com>

El comburente es el oxígeno, por esta razón en la práctica el aire es utilizado como el comburente, por estar compuesto por 79% de Nitrógeno (N_2) y 21% de (O_2); solo cuando hay cosas especiales se utilizan las que están enriquecidas de oxígeno e inclusive oxígeno puro (por ejemplo, en el proceso de soldadura).

En los quemadores habitualmente la energía de activación es obtenida por medio una chispa eléctrica entre gases en los hornos y los electrodos en las calderas. La mayor cantidad del combustible, sean sólidos, líquidos o gases están compuestos básicamente, por Hidrógeno (H) y Carbono (C); también aparte de los compuestos especialmente otros la humedad (H_2O), Cenizas o azufre (S) etc. [7]

1.10.1 Estequiometría de las combustiones

La estequiometría de la combustión es la que se encarga de las reacciones volumétricas y másicas entre los productos y reactivos. Y los aspectos que se determinan especialmente son los siguientes:

- Aire necesario para la combustión.
- Productos de la combustión y su composición.

Para pronosticar estos totales, es justo referirse a un proceso ideal, mismo que depende de parámetros básicos, como lo es la naturaleza del combustible. Para la consideración del proceso ideal se suponen los tipos de ignición que se puedan dar. [7]

1.10.2 Combustión completa

Para la generación de una combustión completa es necesario que todos los componentes elementos o químicos C, H, S, O, que están presente en el combustible se transformen el Hidrogeno en agua, el Carbono pase a ser dióxido de Carbono el Azufre en dióxido de Azufre y el Oxígeno en oxidante. [24] Este tipo de ignición, es la que provoca la oxidación de los componentes que constituyen el combustible principalmente en los hidrocarburos:

Oxígeno = participará como oxidante

Nitrógeno = N_2

Azufre = SO_2

Carbono = CO_2

Hidrogeno = H_2O

El nitrógeno es considerado como masa inerte, si bien en altas temperaturas de los humus se consiguen producirse óxidos de nitrógeno en proporciones mínimas (de 0,1%). [7]

1.10.3 Combustión incompleta

Se produce cuando los componentes que contiene el combustible no alcanzan el grado máximo de oxidación totalmente, produciendo la aparición de sustancias del combustible en los humus de la reacción de los gases. [7]

1.10.4 Combustión estequiométrica

Es la combustión completa la cual está formada con oxígeno que es suministrado en estricta cantidad para generar una combustión ideal; es decir, que en la combustión, el aire empleado es el necesario para obtener la cantidad de oxígeno que corresponde a la oxidación completa los elementos del carburante. [7] [24]

1.11 Biomasa

La biomasa es aquella materia orgánica que puede ser de origen animal o vegetal que puede ser aprovechada, por su contenido energético resulta de la fotosíntesis en las plantas, este nombre es dado al proceso de conversión a energía química y acumulación de la energía lumínica del sol (ATP) utilizada posteriormente para la transformación el agua (H_2O) y del óxido de carbono (CO_2) se rompen liberando oxígeno (O_2). [25]

1.11.1 Fuentes de biomasa para fines energéticos

Biomasa natural

Esta producida espontáneamente en las tierras que no se cultivan (tierras forestales). No es muy adecuado el empleo de este tipo de biomasa para el aprovechamiento energético masivo, debido al riesgo de deforestación que conllevaría si no se realiza con precauciones. [25] [26]

Biomasa residual o industrial

Esta se regenera con cualquier tipo de proceso en el que se consuma biomasa. Utilizar este tipo de biomasa con fines energéticos y de reducción de los costes de producción debido a que se encuentran cargados en los productos principales. [25]

Biomasa residual agrícola y residuos de poda [25]

Resulta de paja (centeno, cebada. Trigo, arroz, etc.), del junco del girasol y el maíz, se genera de la poda, se obtiene de cultivos leñosos.

La biomasa vegetal se puede clasificar en:

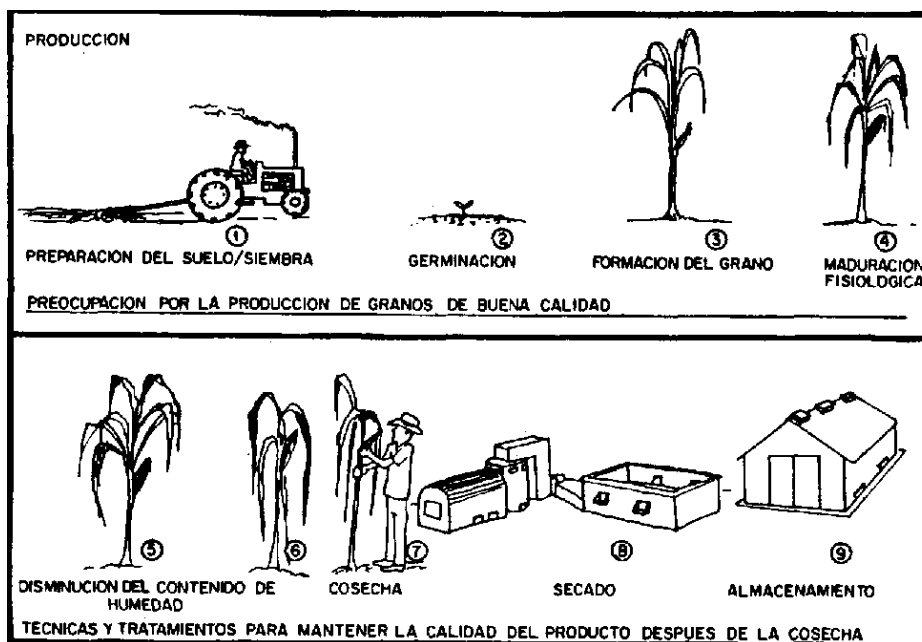
Biomasa lignocelulosa: Esta se encuentra presente en forma de bloque en estructura de la pared celular de la planta, en estas predominan las celulosas de emicelulosa, holocelulosa y lignina.

Biomasa energética: esta incluye los materiales que son de origen biológico, los cuales no se pueden emplear con fines alimenticios, en los países industrializados representa y abarca el 14% de las necesidades energéticas, el 3% de energía primaria con excepción de países nórdicos europeos, siendo su utilización destinada para producción y generación de calor en centrales avanzadas.

1.12 Secado de granos

El secado de grano se puede definir como el proceso en el que hay intercambio de masa y calor, entre los granos y el aire del ambiente. En los casos generales, es definido como la operación unitaria encargada de la disminución del contenido de humedad de un determinado producto, hasta alcanzar un nivel considerado seguro para su acopio, el secado es realizado con la finalidad de impedir germinación de la semilla, disminuir el contenido de humedad para impedir la evolución de hongos y así evitar las reacciones de deterioro. Se puede definir el secado como un método que es realizado de forma universal, para acondicionar los granos por medio de la exclusión del agua, a un nivel que permita su equilibrio con el aire del ambiente, para preservar su aspecto, sus propiedades de alimentación, la calidad nutritiva y la viabilidad de la semilla. [27]

Figura 10: Etapas entre la producción de granos y el almacenamiento



Fuente: Ciro Arias [1993]

Para los métodos tradicionales de la producción de granos de los pequeños agricultores, hay considerables pérdidas antes y durante su almacenamiento. Las pérdidas fundamentalmente se producen por no secar de forma adecuada el grano, la mayoría de los cultivadores secan su producto en el campo, expuestos al aire libre y sujeto al ataque de insectos.

Durante el secado de los granos hay presente dos fenómenos

- La transferencia de la masa en forma de vapor y humedad interna del grano al aire.

- La transferencia de calor para evaporar fluidos. Calor que es cedido por el aire al grano causando un desequilibrio entre las humedades del ambiente y del grano.

La humedad siempre va a realizar su transferencia mientras exista un desequilibrio entre el grano y su humedad y la humedad relativa del aire de secado. Para que se produzca el secado, es necesario que la humedad relativa del aire se encuentre por debajo de la humedad del equilibrio del grano que se está secando. [27]

1.12.1 Humedad relativa del proceso

Se define a la humedad relativa como la cantidad de vapor que contiene el aire seco a una determinada temperatura sobre la que poseería si estuviese saturado [28]. En el aire la cantidad de humedad tiene un efecto en las condiciones de comodidad que ofrece un entorno; a esto, el grado de comodidad depende de la cantidad de humedad presente en el aire (m_v), en relación con la cantidad máxima de humedad que puede presentarse y contener (m_g), se conoce a la interacción de dos cantidades. [24]

$$\phi = \left(\frac{m_v}{m_g} \right) \quad \text{Ec. (1) [24]}$$

$$\phi = \left(\frac{p_v}{p_d} \right) \quad \text{Ec. (2) [24]}$$

Donde:

ϕ : Humedad relativa [%]

m_v : Cantidad de vapor de agua [kg]

m_g : Cantidad de vapor de agua en condiciones de saturación [kg]

p_b : Presión parcial de vapor de agua en [Pa]

p_g : Presión de saturación del agua en condiciones de saturación [Pa]

1.12.2 La variación de la humedad relativa

Esta varía de 0 para aire seco y 1 para aire saturado, varía con la temperatura, a pesar que su humedad específica sea constante. [24]

1.12.3 Humedad relativa (ϕ)

Es la cantidad de vapor que contiene una masa de aire seco a una cierta temperatura sobre el cual tendría a la misma temperatura si estuviese saturado, se puede expresar en forma porcentual. La razón por la cual siempre se refiere a la masa de aire seco, es que, en todos los procesos de calentamiento, enfriamiento, humificación, des humidificación, etc. La cantidad de aire seco no varía es decir es constante. [28]

1.12.4 Humedad absoluta

Se conoce como la relación entre el vapor de agua y aire seco que hay en el aire húmedo [28]. La cantidad de vapor de agua en el aire puede determinarse de distintas maneras, lo más lógico sea precisar directamente el vapor de agua circundante en la del aire seco, a la que se denomina unidad absoluta o específica (ω). [24]

$$\omega = \left(\frac{\frac{p_v}{R_v}}{\frac{p_a}{R_a}} \right) = 0,62 \frac{p_v}{p_a} \quad \text{Ec. (3) [24]}$$

o

$$\omega = \frac{0,622 p_v}{p - p_v} \quad \text{Ec. (4) [24]}$$

Donde:

ω : Humedad específica del aire [kg. Vapor de agua /kg. Aire seco]

p : Presión total [N/m²]

p_v : Presión parcial de vapor de agua [N/m²]

1.12.5 Temperatura del punto de rocío.

La temperatura con la que el aire se satura cuando se enfría es conocido como punto de rocío, esto a una temperatura menor se empieza a condensar el vapor de agua contenido en el aire.

1.12.6 Temperatura de bulbo seco y bulbo húmedo

El termómetro de bulbo húmedo es un simple termómetro de mercurio rodeado con una tela, algodón o esponja en la superficie en su parte inferior (bulbo) empapada de agua y colocada en una corriente de aire: se lo hace girar al extremo de un hilo, o se ubica frente a un ventilador, durante la lectura el termómetro debe permanecer y estar húmedo. Después de algunos segundos de exposición de corriente, el líquido alcanza la temperatura del bulbo húmedo que es la que marca el termómetro. El fenómeno de vaporación es relativamente simple, pero interviene en varios mecanismos que complican el análisis. [28]

1.12.7 Calor total del aire para secado

Es donde tenemos un proceso de transferencia de masa que es la evaporación en sí, ya que el agua pasa de la zona del bulbo a la masa de aire. Podemos decir que el vapor de agua pasa desde una zona inmediata al bulbo de pequeño volumen, que llamamos película donde el aire se encuentra prácticamente estancado, hacia la masa de aire en movimiento. En la película se puede suponer que el aire está saturado de humedad. La fuerza impulsora de esta transferencia de masa que es producto de la diferencia de presiones de vapor entre la película y la presión parcial del vapor de aire. En la película el aire saturado, la presión parcial de vapor es igual a la presión de vapor del agua a la temperatura de la película que consideramos igual a la que marca el termómetro de bulbo uno. Existirá una resistencia a la transferencia de masa que dependerá del espesor de la película. [28]

También tenemos un fenómeno de transporte de calor que ocurre en forma simultánea desde el seno del aire que está a mayor temperatura hacia el bulbo que está más frío. Aquí tenemos una analogía entre ambos fenómenos de transporte, porque la mayor resistencia al intercambio de calor la ofrece la película, siendo la fuerza impulsora la diferencia entre la película y el aire. La resistencia de la película depende de varios factores propios del sistema, tales como la conductividad térmica del aire, y velocidad del mismo etc.

Es la entalpia total, que es resultado de la suma de calor latente cuando un cuerpo sufre un cambio de fase liberando energía y el calor sensible que es la energía asociada con un cambio de temperatura, cuando un cuerpo recibe o sede sin producir un cambio de fase; es decir: [28]

$$Q_t = q_s + q_l \quad \text{Ec. (5) [28]}$$

$$q_s = m_a * h_a \quad \text{Ec. (6) [28]}$$

$$q_l = m_a * (W_w + h_v) \quad \text{Ec. (7) [28]}$$

Donde:

Q_t : Calor total del aire húmedo en [KW]

q_s : Calor sensible [KW]

q_l : Calor latente [KW]

m_a : Masa del aire por unidad de tiempo [kg/s]

h_a : Entalpía de aire seco por masa de aire [KJ/kg]

h_v : Entalpia de vapor de agua por masa de agua [KJ/kg]

Para el cálculo de entalpia se toma como referencia 0°C:

$$h_a = C_{pa} * T_d \quad \text{Ec. (8) [28]}$$

$$h_v = h_{fg} + C_{pv} * T_d \quad \text{Ec. (9) [28]}$$

Donde:

C_{pa} : Calor especifico del aire [KJ/kg°C]

C_{pv} : Calor especifico del vapor de agua [KJ/kg.°C]

h_{fg} : Calor latente de vaporización de agua [KJ/kg]

T_d : Temperatura de bulbo seco [°C]

1.13 Transferencia de calor

Con el proceso de transferencia de calor se produce la transmisión de calor para evaporar el líquido y la transferencia se producirá mediante 3 mecanismos: conducción, convección y radiación.

1.13.1 Conducción

Es donde se produce la transferencia de energía entre partículas, la cual es generada por las interacciones entre ellas, pasando las partículas más energéticas hacia la menos energética que están de forma adyacente. Este tipo de transferencia de calor se puede generar a través de un medio sólido, líquido o gaseoso. [29]

El flujo de calor por conducción se lo puede determinar mediante la siguiente expresión:

$$\dot{q}_k = -KA \left[\frac{dT}{dx} \right] \quad \text{Ec. (10) [29]}$$

Donde:

\dot{q}_k : Flujo de calor por conducción [W]

A: Área de la superficie de transferencia de calor [m²]

dT/dx : Gradiente de temperatura en la dirección x [°C/m]

k: Conducción térmica del material

1.13.2 Convección

Es la transmisión de energía entre una superficie sólida y un fluido contiguo en movimiento y está relacionado con los efectos combinados de la conducción y el movimiento del fluido, el flujo de calor se lo determina mediante la siguiente expresión: [29]

$$\dot{q}_c = h_c A (T_s - T_\infty) \quad \text{Ec. (11) [29]}$$

Donde:

\dot{q}_c : Flujo de calor por convección

h_c : Coeficiente de transferencia de calor por convección [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$]

A: Área de la superficie de transferencia de calor [m^2]

T_s : Temperatura de la superficie [$^\circ\text{C}$]

T_∞ : Temperatura del ambiente o entorno [$^\circ\text{C}$]

1.13.3 Radiación

Es la transmisión de energía, la cual es generada por las ondas electromagnéticas o fotones. Generalmente el calor por radiación puede ser despreciado cuando la temperatura de trabajo se encuentra bajo 600°C , pues su valor no es significativo. [30]

1.14 Contenido de humedad inicial y final del producto

Humedad en base seca, se usa para realizar cálculos científicos que representa el porcentaje de la materia seca, su expresión matemática es la siguiente:

$$X_{bs} = \frac{m_a}{m_s} * 100 \quad \text{Ec. (12) [31]}$$

Donde:

X_{bs} : Porcentaje de humedad en base seca

m_a : Masa de agua del producto en [Kg]

m_s : Masa seca del producto [Kg]

Humedad en base, este método es el más usado en la comercialización de los granos y se mide como un porcentaje total de la muestra, matemáticamente se expresa de la siguiente manera:

$$X_{bh} = \frac{m_a}{m_s} * 100 \quad \text{Ec. (13) [31]}$$

$$m_t = m_s + m_a \quad \text{Ec. (14) [31]}$$

Donde:

X_{bh} : Porcentaje de humedad en base húmeda

m_t : Masa total del producto

1.14.1 Tipos de humedad

Humedad libre

Es la cantidad de humedad que un producto puede perder en contacto con aire en condiciones dadas y constantes hasta alcanzar un estado de equilibrio; pero esta depende de la humedad relativa del aire y la humedad del sólido. Está expresada entre la diferencia de la humedad del sólido y la humedad del equilibrio.

$$X_F = X_{bs} - X_{eq} \quad \text{Ec. (15) [31]}$$

Donde:

X_F : Porcentaje de humedad libre

X_{bs} : Porcentaje de humedad en base seca

X_{eq} : Porcentaje de humedad de equilibrio

La humedad de equilibrio (X_{eq})

Es el estado o procesos en la cual el producto y el aire no entrega ni absorbe humedad, su fórmula se obtiene del despeje de la ecuación 16.

$$X_{eq} = X_{bs} - X_F \quad \text{Ec. (16) [27]}$$

La humedad retenida

Es el equilibrio del producto que está en contacto con el aire saturado (humedad relativa 100%).

Humedad no retenida

Es la humedad en exceso del producto, en relación al contenido de rocío de equilibrio cuando el material está en contacto con el aire saturado.

1.15 Métodos del secado de granos

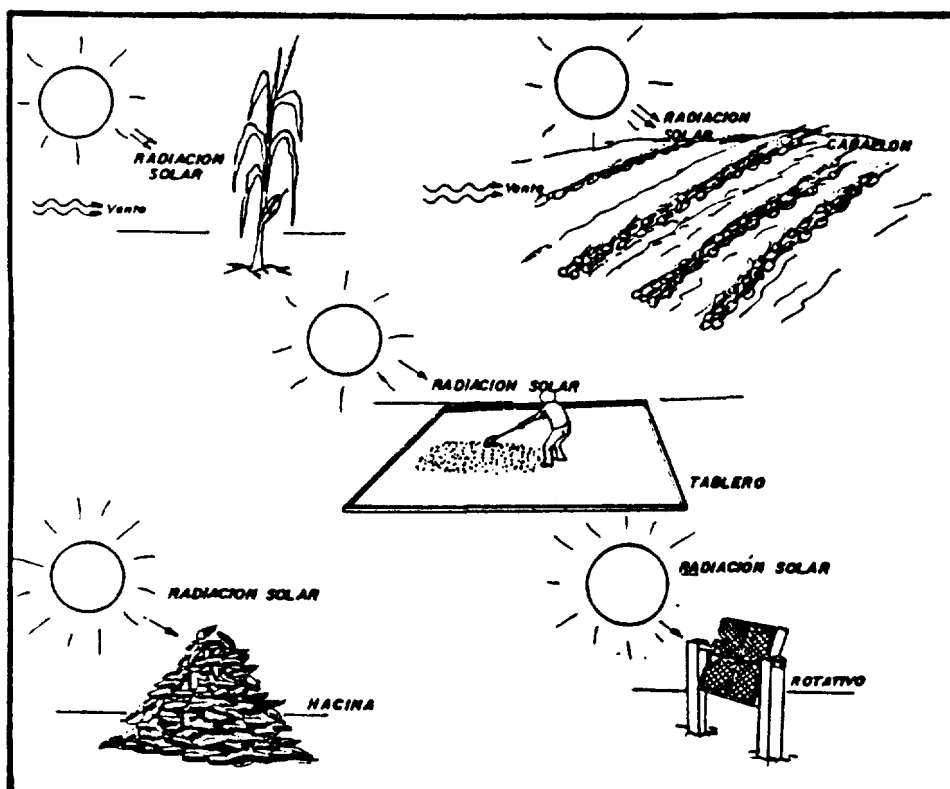
El análisis de los métodos de secado es un factor elemental para determinar los componentes necesarios para un determinado sistema de manejo de gramínea con la finalidad de aplicar técnicas mejoradas, factibles y eficaces, pero las técnicas de secado para productos agrícolas están limitadas, en su mayoría usan una combinación del movimiento natural de aire del ambiente y la radiación solar (secado natural). Los métodos de secados artificiales gestionan las variables de humedad y temperatura, dependiendo de los requerimientos de cada gramínea a secar.

El secado artificial del grano está dividido de forma general en dos clases primordiales: en la que el grano es secado por intermedio de un flujo continuo y en el que la gramínea es secada por lotes. Pero este depende de la economía, clima y bajo qué circunstancias serán empleadas. [27] [9]

1.15.1 Secado natural

Este secado se realiza por medio del movimiento del aire que es provocado por el viento donde el contenido de la evaporación de la humedad depende por influencia directa de la energía solar y el potencial del secado del aire.

Figura 11: Diversas formas de secado natural



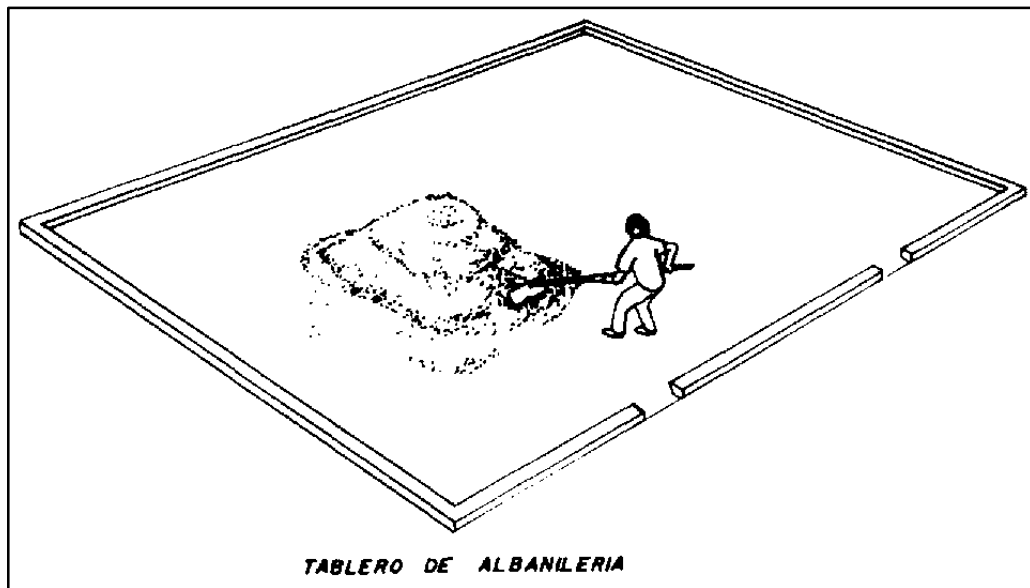
Fuente: Ciro Arias [1993]

El tiempo de secado natural del grano depende de las condiciones de humedad, maduración, limpieza, temperatura y el medio ambiente como la intensidad solar, también se debe considerar la humedad y velocidad del aire. Normalmente el secado oscila desde algunas horas, pero puede durar hasta dos días dependiendo de las circunstancias del ambiente y depende del porcentaje de humedad que contenga el grano. [27]

1.16 Secado en patios.

Este tipo de secado de manera natural que radica en espaciar el producto por el suelo, regándolo en capas de 10 cm de espesor, para que el secado sea uniforme hay que realizar una mezcla frecuente del producto. Por la acción de la energía del sol y del viento es realizado este proceso de secado. Los patios de secado son construidos en superficies planas los cuales pueden ser construidos de diferentes tipos de pisos como por ejemplo hormigón, ladrillo o tierra compactada ubicados en lugares soleados. [27]

Figura 12: Patio para el secado de grano

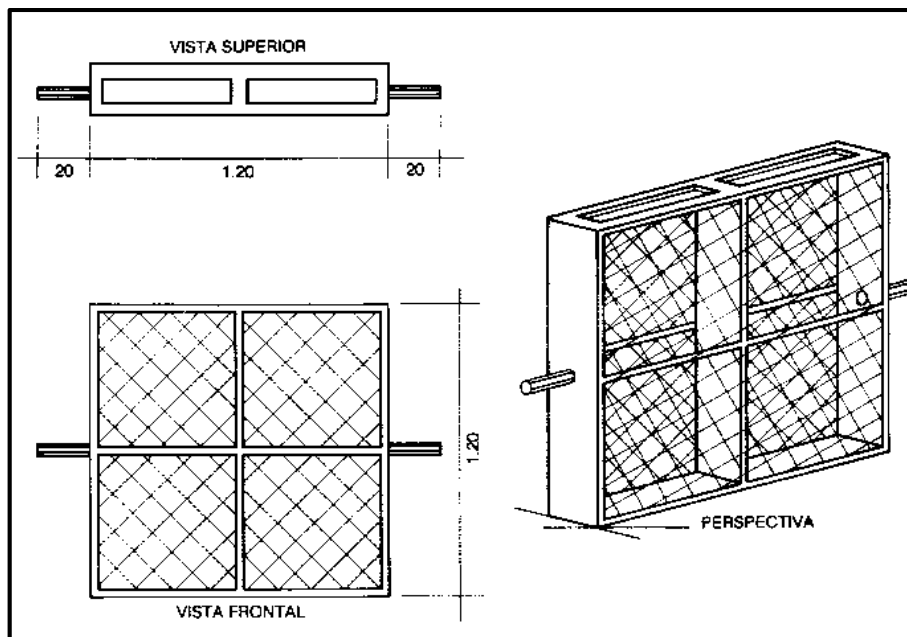


Fuente: Ciro Arias [1993]

a. Secado solar rotatorio

Este proceso es similar al secado en patios, la diferencia es que este tipo de secador es más eficiente porque aprovecha más la energía del sol y la acción del viento, permitiendo reducir las horas del secado. [27]

Figura 13: Secador solar rotatorio



Fuente: Ciro Arias [1993]

b. Secado artificial

Existen dos métodos que se pueden realizar para el secado artificial de los granos:

Secado a bajas temperaturas: con este proceso se obtiene un producto de buena calidad cuando se lo realiza de una forma adecuada, se lo realiza con el aire natural o incrementando la temperatura sobre la temperatura del ambiente (1-5°C) lo que permite establecerlo como proceso de gran eficiencia térmica. [9] [27]

Secado a altas temperaturas: este tipo de secado es empleado donde hay una demanda diaria de producción donde se necesita secar grandes volúmenes de granos, por lo menos a unos 10°C y pueden llegar hasta una temperatura 250°C, sin afectar la calidad de la gramínea, en este proceso los flujos específicos del aire son superiores a los casos anteriores, permite una velocidad de secado más eficiente. [9] [31]

1.17 Tipos de secadora [6] [32]

Las secadoras de granos se catalogan de acuerdo al proceso que se emplea para su funcionamiento.

Máquinas de procesos continuos: En donde el producto se agrega sin interrupción al equipo del secado obteniendo el grano seco en un régimen continuo.

Máquinas de procesos por lotes: En este tipo de secadora, el producto que se desea secar se lo introduce en el equipo terminando el periodo de secado en un tiempo establecido.

Según este criterio, las maquinas secadoras de grano se clasifican en:

A. Secadoras de flujo continuo

- Verticales (tipo torre)
 - De flujo cruzado (columnas)
 - De flujo mixto (de caballetes)
 - De persianas
 - De flujo concurrente
 - De flujo contracorriente

- De cascada
- Horizontales
 - De flujo mixto
 - De flujo cruzado (de columnas hexagonales)
 - De lecho plano
 - Fijo
 - Fluido

B. Secadoras en tandas

- De flujos cruzados
- Estáticas con recirculación

C. Silos secadores.

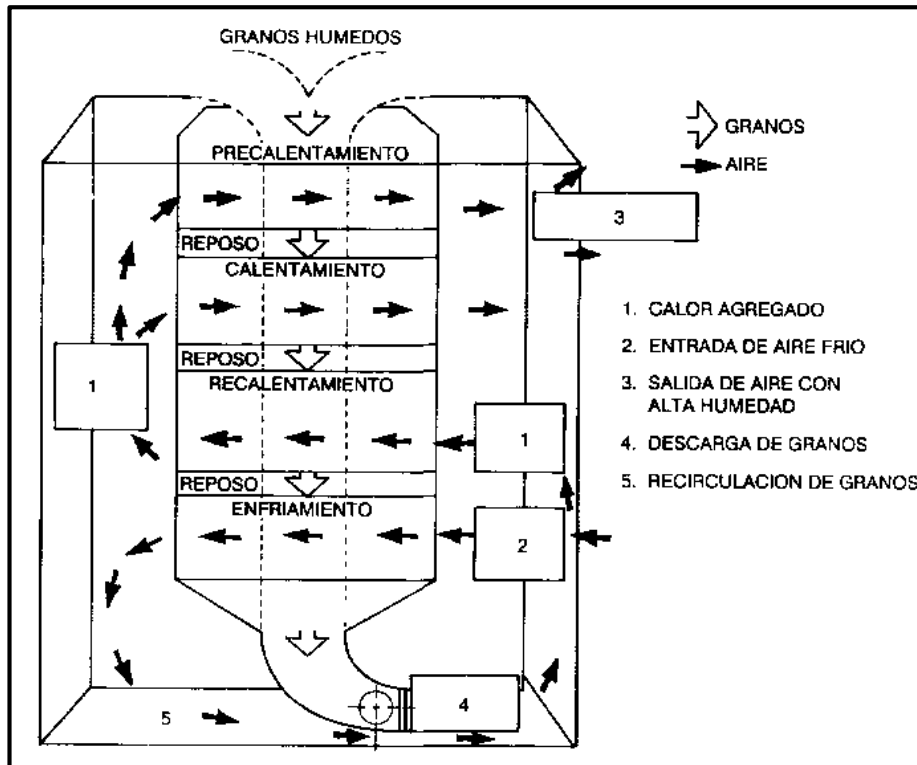
- De flujo cruzado
- De flujo contracorriente

1.17.1 Secadora de flujo continuo

En este clase de secadora el grano húmedo es suministrado en forma continua o intermitente por un extremo y el grano seco sale por el otro extremo opuesto, manteniendo de esta forma dosificadas continuamente las secciones de enfriado y secado, donde las operaciones de enfriamiento y secado se realizan de forma simultánea y permanente. [32]

Los secadores verticales “tipo torre” son caracterizadas por el recorrido que realiza el grano como de arriba hacia abajo.

Figura 14: Esquema del secador tipo torre



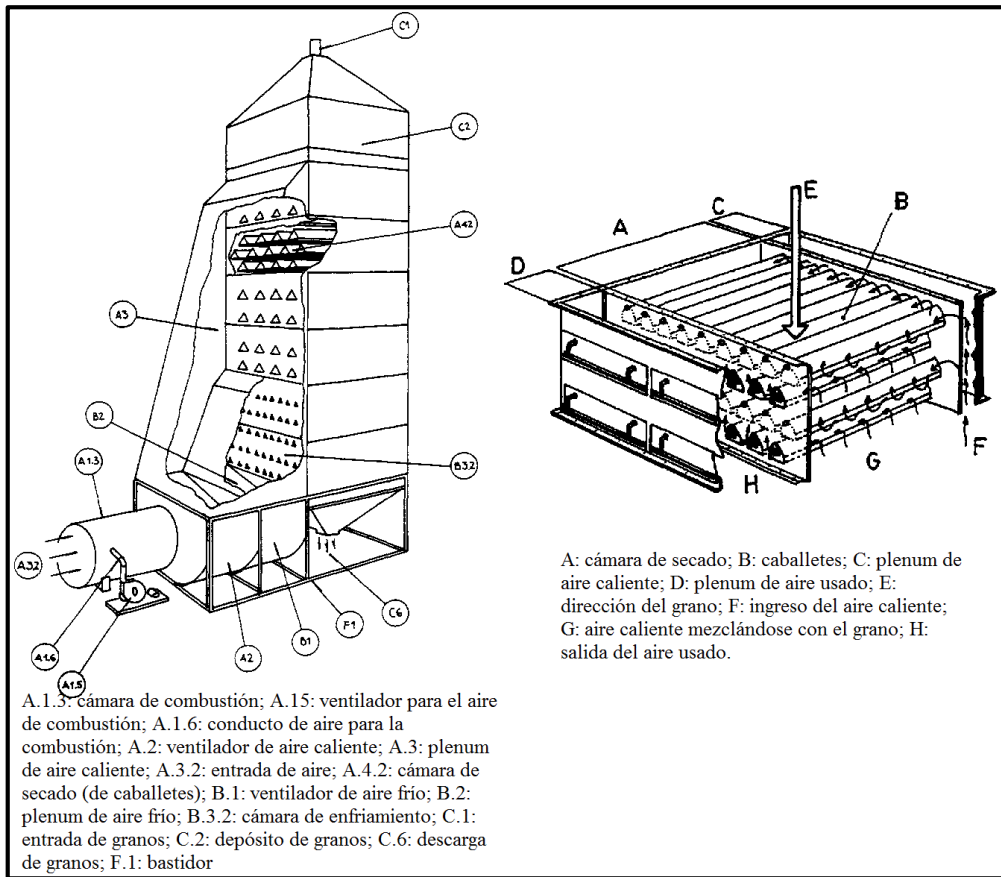
Fuente: Doc. FAO [1996]

Estas se clasifican de acuerdo al tipo de flujo que realizan las operaciones de secado:

1.17.2 Las secadoras de flujo mixto

Son conocidas también como “caballete” sus elementos principales, en donde se realiza el enfriamiento y secado es un conjunto de V invertida [32], instaladas en filas cruzadas o alternadas en el interior del cuerpo del secador. Por estas canaletas circula el aire frío o caliente. [6]

Figura 15: Esquema de una secadora de flujo continuo, de caballetes

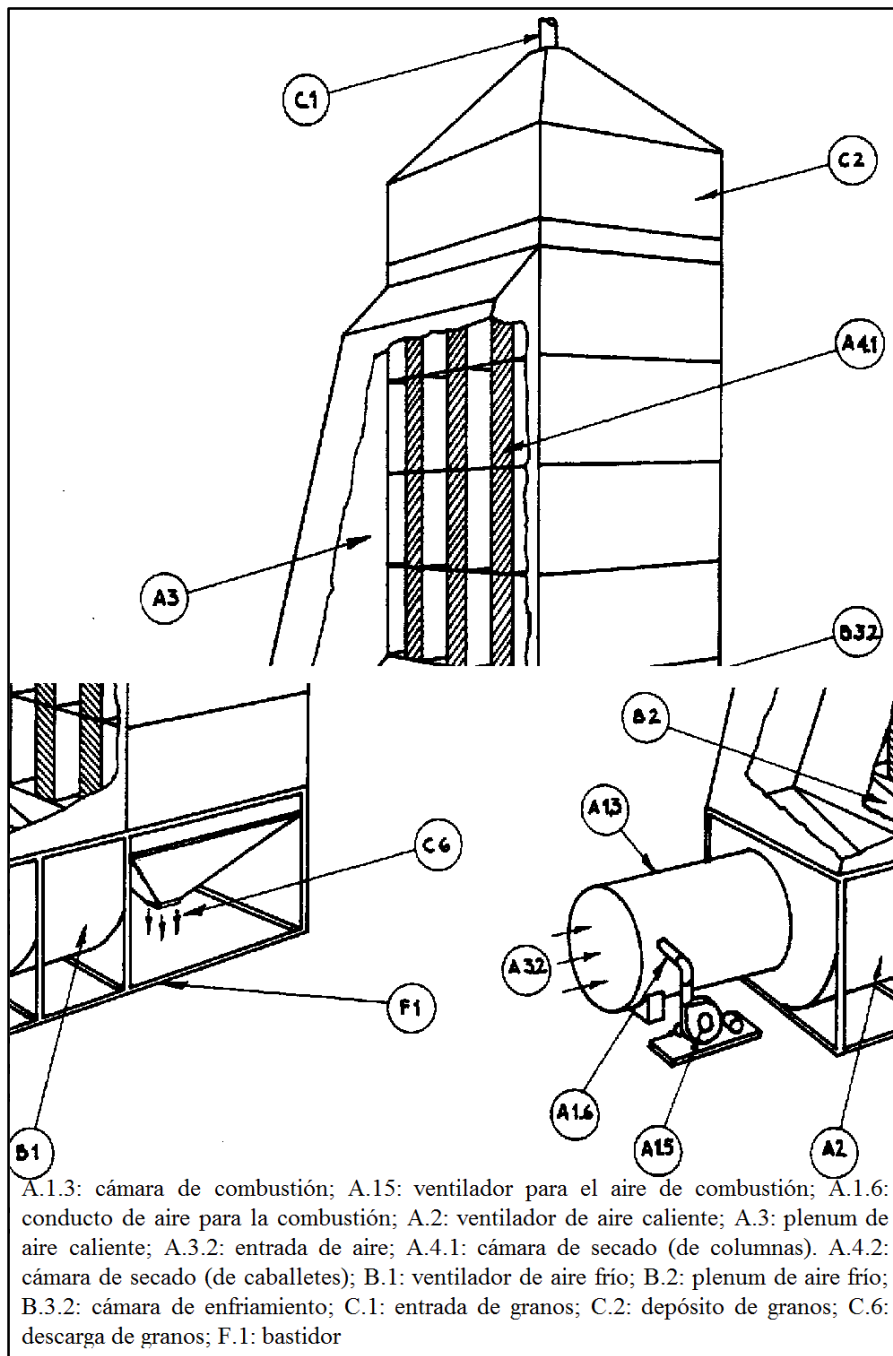


Fuente: Doc. De Dios [1996]

1.17.3 Las secadoras de flujo cruzado

Estas también son conocidas como “columnas”, contienen conductos rectos en donde el grano transita por gravedad, las cuales están hechas por paredes de planchas perforadas, permitiendo el paso del aire frío o caliente para que atravesase a una capa de granos de forma cruzada al espesor de la columna. [6] [32]

Figura 16: Esquema de una secadora de flujo continuo, de columnas



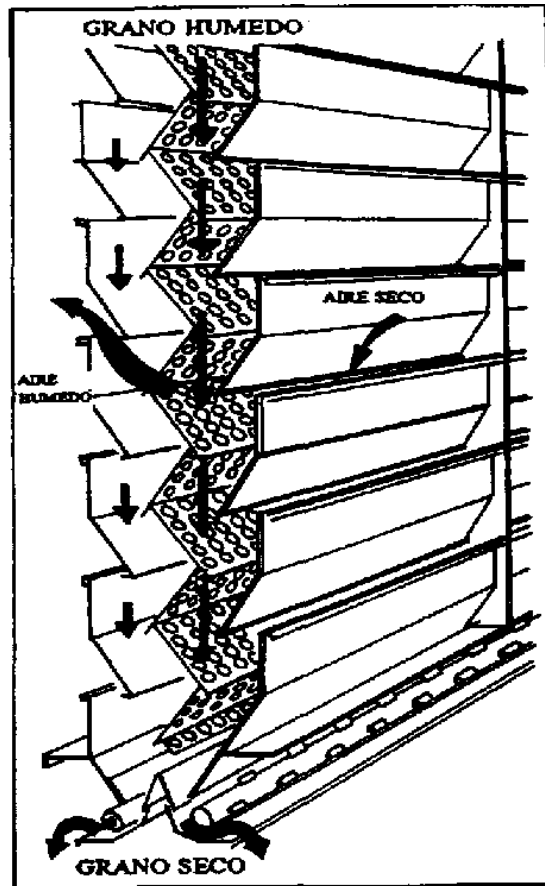
Fuente: Doc. De Dios [1996]

1.17.4 Secadoras de persianas

Su estructura principal está constituida por tres tabiques orientados en forma vertical como se ilustra en la **Figura 2**, el tabique intermedio en zig-zag con perforaciones y los extremos de sus dos caras abiertas. Para obtener un secado homogéneo, el sistema

permite que los granos que se encuentran situados en el costado por donde es ingresado el aire calentado, tenga un descenso más rápido que el grano opuesto. [32]

Figura 17: Cuerpo principal de secadora de persianas

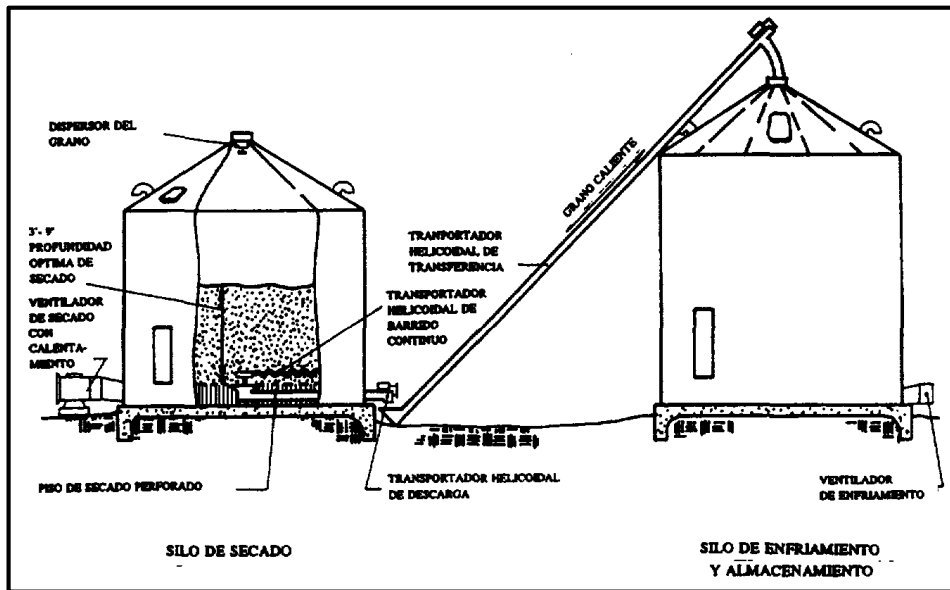


Fuente: Doc. De Dios [1996]

1.17.5 Secadoras de flujo contracorriente.

En este tipo de secadora, el aire de secado fluye hacia arriba y el grano en sentido contrario. Su forma pertenece al granero de secado que es representado en la Figura 18. Este tipo puede trabajar todo en caliente y utilizan un tornillo sin fin instalado en el fondo que se encarga de extraer los granos secos hacia otro silo que efectúa el proceso de enfriamiento haciéndolo de secado combinado. Su funcionamiento es más saturado, el cual almacena la humedad a una máxima carga. [6] [32]

Figura 18: Silo secador de flujo contracorriente (secado combinado)

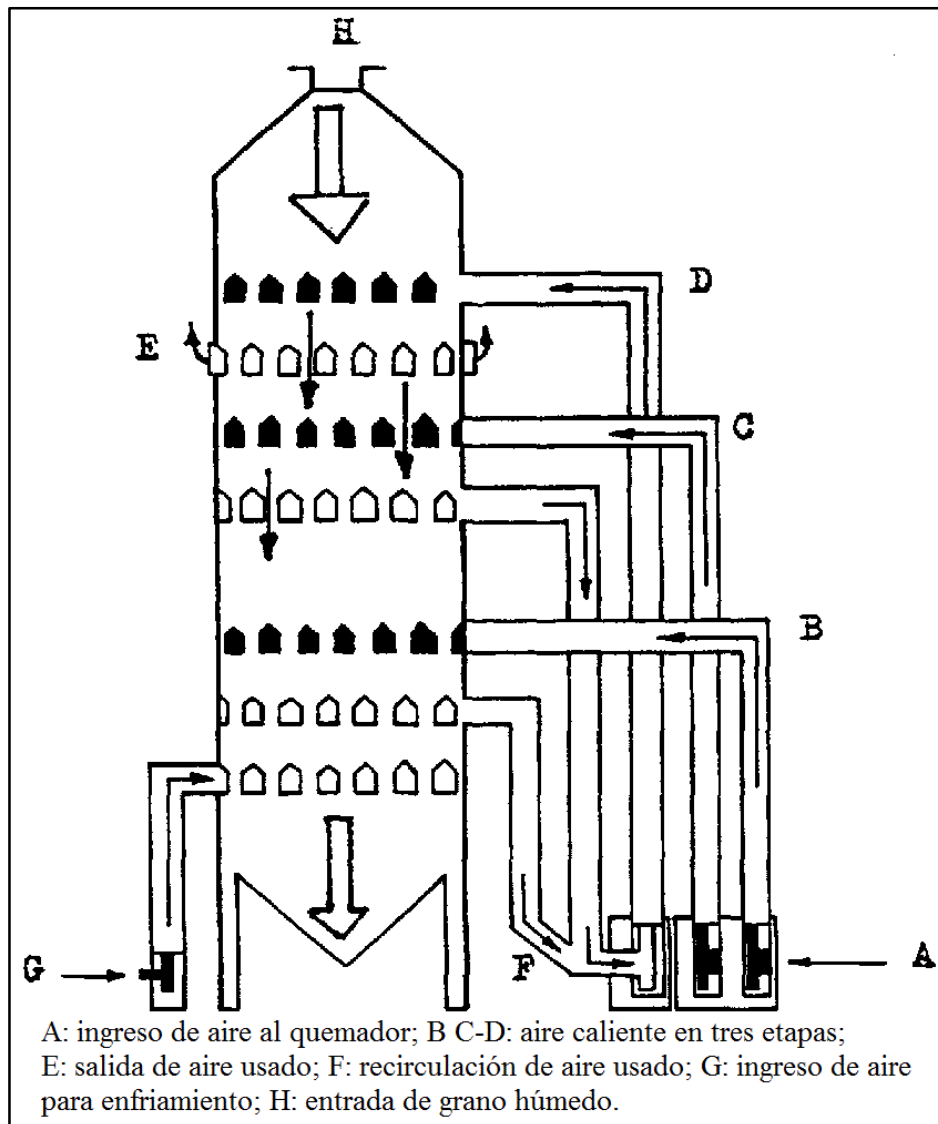


Fuente: Doc. De Dios [1996]

1.17.6 Secadora de flujo concurrente

En este tipo de secador el aire de secado y el grano circula en la misma dirección y sentido, en la parte superior se generan altas tasas de evaporación, cuando el aire tiene contacto con el grano más húmedo, se genera una rápida reducción de la temperatura inicial del aire [31]. En este tipo de diseño se han realizado estudios comprobando que tiene el consumo específico de la energía que varía entre 850 y 900 kcal por kg de agua evaporada, siendo esta una buena eficiencia térmica. Lo que le da como ventaja al ser utilizado a altas temperaturas de aire sin sobrecalentar la gramínea. [32]

Figura 19: Esquema de secadora de flujos concurrentes, de tres etapas de secado y enfriado por flujo contracorriente.

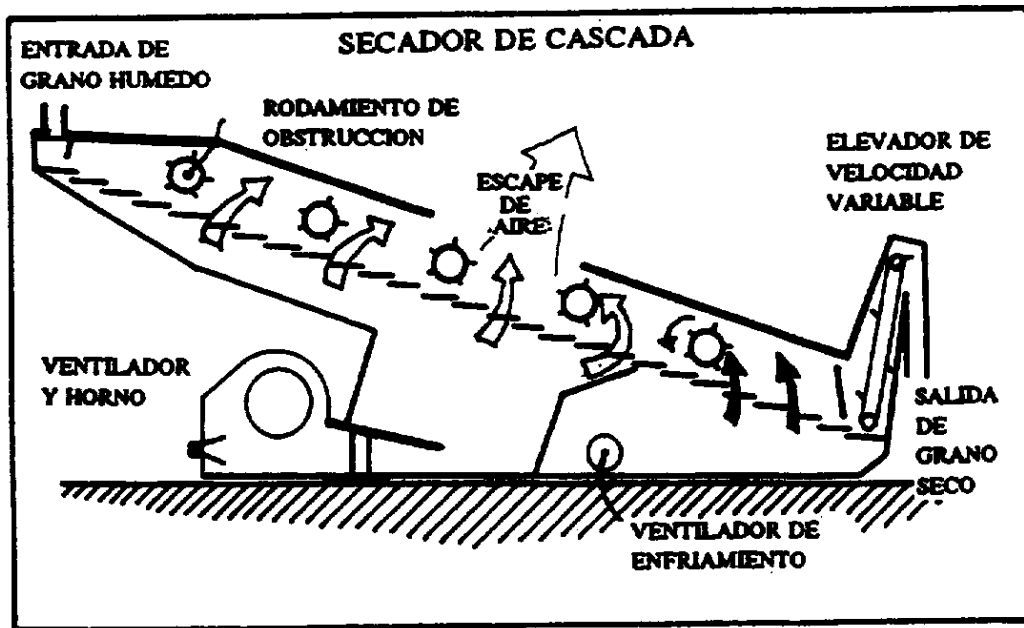


Fuente: Doc. Carlos De Dios [1996]

1.17.7 Secadoras por cascada

Están fabricadas por uno o más platos inclinados, donde el aire es atravesado por las persianas donde los granos descenden en forma de cascada continua [32]. El aire que circula por las persianas además de cumplir con sus dos funciones principales, el secado y enfriado del grano realiza la limpieza de impurezas. [33]

Figura 20: Secador de cascada



Fuente: Doc. Carlos De Dios [1996]

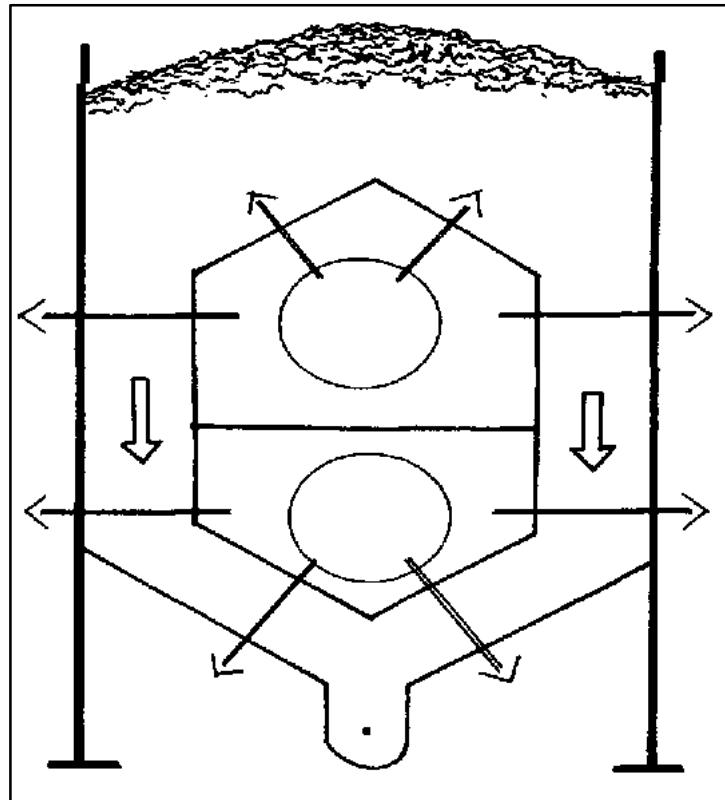
1.17.8 Secadoras horizontales

Este tipo de secadores se clasifican en dos tipos:

Secadores horizontales de columnas hexagonales

En estas se puede realizar la seca-aireación reduciendo el tiempo de enfriamiento dentro del secador, el grano es desplazado de arriba hacia abajo, por unas columnas o venas que se encuentran rodeadas por un flujo de aire, permitiendo mejorar la eficiencia y capacidad de secado, para tener un buen rendimiento solo es necesario acortar el tiempo de calentamiento lo que permite conseguir un grano con porcentaje de humedad de 16 o 18%. [32] [33]

Figura 21: Sección transversal de secadora horizontal de columnas hexagonales



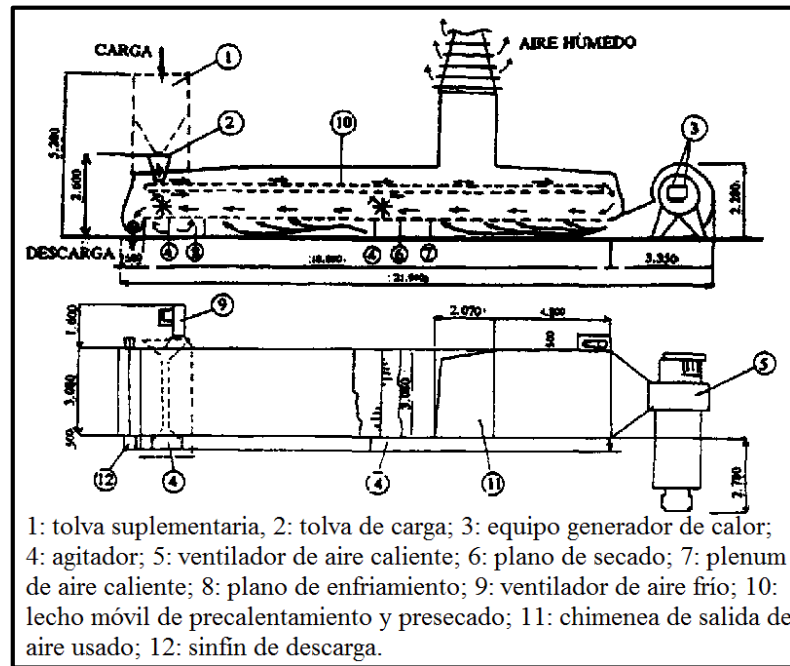
Fuente: Doc. De Dios [1996]

Secadoras horizontales planas

En este tipo de secadoras se localizan en posición plana sus componentes que producen el secado y la refrigeración. De esta clase de máquinas secadoras hay dos tipos de estas secadoras:

- **Lecho fijo:** tienen una cámara de secado plana, con una superficie de unos 30-50 m² en este tipo de secadoras el grano es removido de forma constante por un agitador que, y es movido por un piso móvil hacia el extremo de salida. [32] [33]

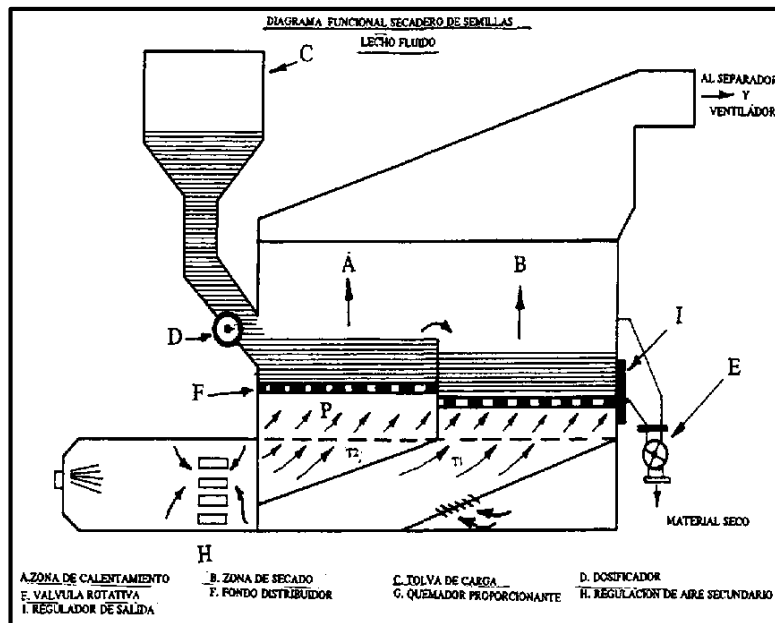
Figura 22: Esquema de secadora horizontal de lecho fijo, plano doble



Fuente: Doc. Carlos De Dios [1996]

- **Lecho fluido:** este tipo de secadora se diferencia porque se suministra elevados caudales de aire caliente con el objetivo de poner en suspensión la capa de granos, lo que permite reducir las horas de secado siendo este de forma uniforme.

Figura 23: Secadora horizontal de lecho fluido



Fuente: Doc. Carlos De Dios [1996]

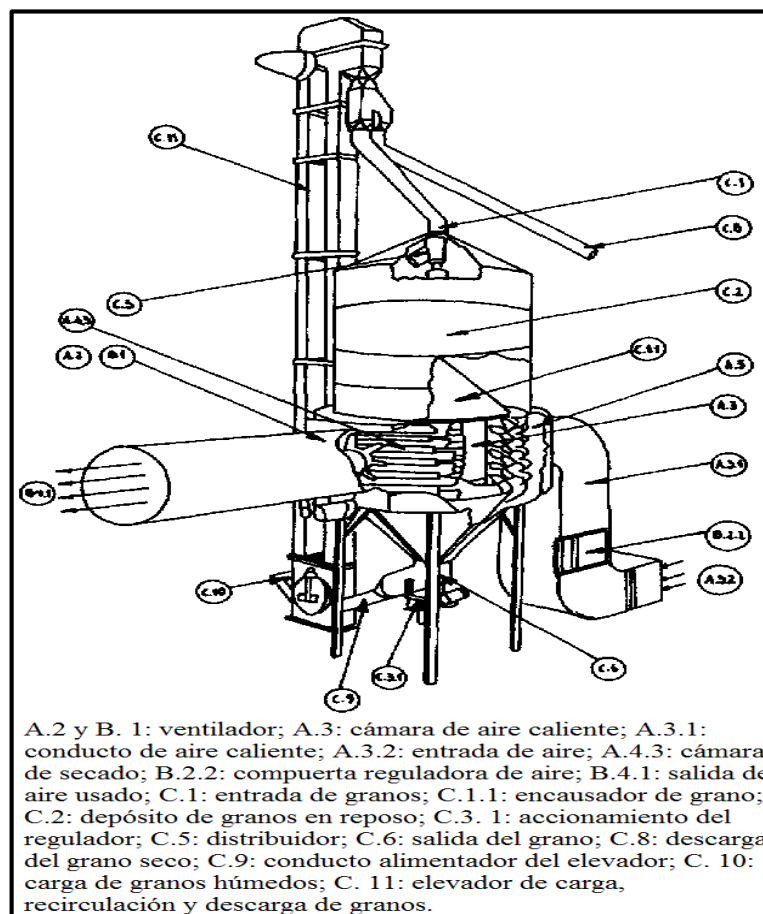
1.17.9 Secadoras en tandas

Este sistema de secado consiste en abastecer la secadora con su capacidad establecida, en donde se realiza el secado manteniendo el grano hasta que esté seco y refrigerado en la misma secadora. Posteriormente, el grano se extrae y se vuelve a suministrar con otra tanda la secadora para otro ciclo de secado. [32] [33]

1.17.10 Secadoras en tandas con recirculación

En este tipo de secadoras, la recámara de secado es convencional, que pueden ser diseñadas para su elaboración de caballete o columna, donde el grano es suministrado en varias dosis en la secadora, con ayuda de un elevador de una rosca vertical o cangilones, para permitir periodos de reposo, lo que permite favorecer una templada parcial de la gramínea. [32] [33]

Figura 24: Secadora en tandas con recirculación, noria elevadora y periodo de reposo

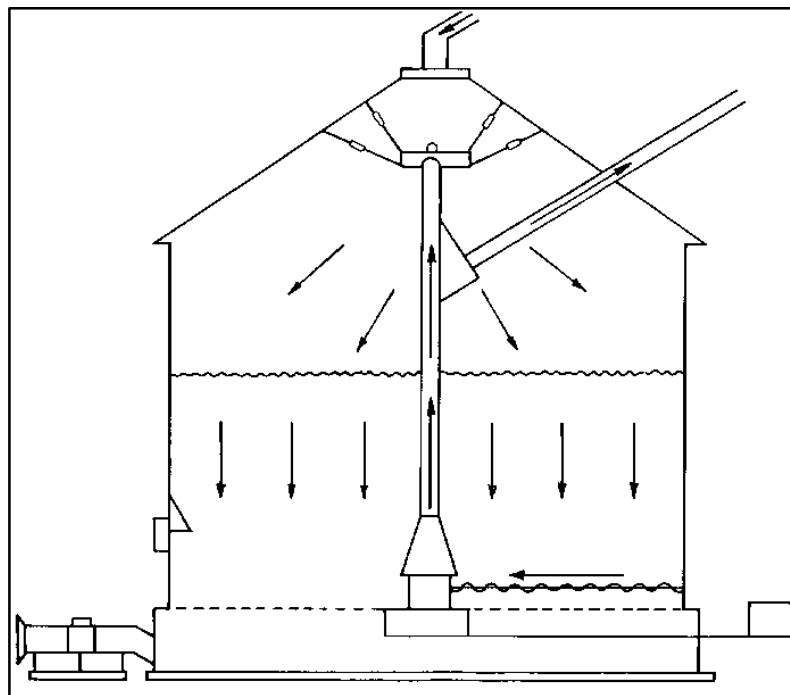


Fuente: Doc. IRAM

1.17.11 Silos secadores

Al realizar el secado con este tipo de sistema el cual trabaja a contra flujo, donde los granos que están secos se pasan a otro silo por medio de un tornillo sin fin que gira a una velocidad lenta ubicado en el fondo perforado [32] permite adquirir una buena calidad de desecación de los granos [32]. El proceso de secado se caracteriza por la utilización de aire de baja temperatura o natural lo que permite obtener una buena calidad del producto. [33]

Figura 25: Secado en flujos contrarios, en silos



Fuente: Doc. FAO

1.18 Consideraciones para el secado del producto [32]

Se consideran dos consideraciones esenciales en el proceso de secado, el calor que se necesita para la evaporación de la humedad del grano y el flujo de aire preciso para trasladar la humedad que es evaporada, la cual genera la vaporización del rocío desde la superficie al aire que está circundante y provoca la migración de la humedad de un grano hacia su superficie.

1.19 Normas

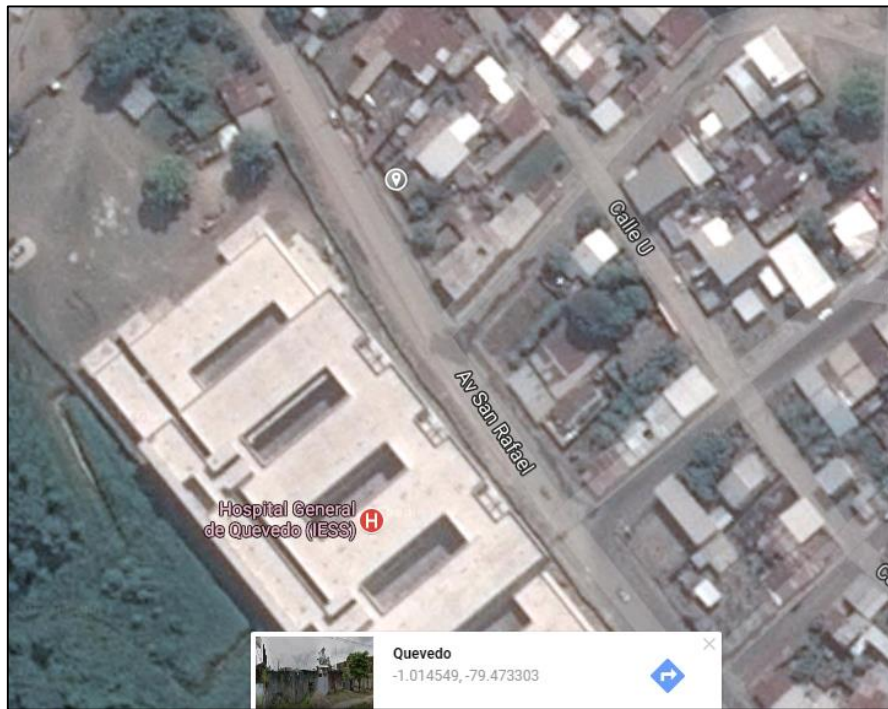
Las normas son una parte importante de nuestra sociedad para medir o juzgar la capacidad, cantidad, contenido, alcance, valor y calidad para este caso del diseño. La Organización Internacional de Estándares (ISO) es una de las entidades encargadas de emitir las normas de diseño en todo el mundo. Bajo este soporte son organizaciones representativas de muchos países para los EEUU, el Instituto Nacional Americano de Estándares (ANSI), entre las organizaciones que coordina la ANSI se tiene las ACI, ASME AISC, AISI, OSHA² entre otras. [34]

² ACI: American Concrete Institute; SAME: American Society of Mechanical Engineers; ASTM: American Society for Testing and Materials; AISC: American Institute of Steel Construcción; AISI: American Iron and Steel Institute; OSHA: Ocupacional Safety and Health Administración.

CAPÍTULO III
METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN

1.20 Localización

El desarrollo del presente proyecto de investigación se lo lleva a cabo en la empresa MADE (Maquinarias Agrícolas Del Ecuador), ubicada en la Cdla. San Rafael, perteneciente a la ciudad de Quevedo, provincia de Los Ríos.



1.21 Tipos de investigación

1.21.1 Investigación descriptiva

La investigación del proyecto se centró en la información y tomada como referencia de un secador de granos.

1.21.2 Investigación documental

Este tipo de investigación fue utilizada en el presente proyecto, para la recopilación de información de tipo documental es decir tomada de libros, revista, artículos científicos entre otras, referentes al tema de diseño de hornos y secadores de granos, que ayudó y sirvió en el desarrollo del proyecto en todas las etapas del diseño.

1.22 Métodos de investigación

Para la realización del presente proyecto de investigación se utilizarán los siguientes métodos:

1.22.1 Método bibliográfico

Por medio de consultas en libros, revistas y artículos científicos, se determina e investiga información necesaria para el reconocimiento del poder calorífico que se puede obtener de la cascarilla de arroz, las diferentes formas de obtención y transformación de energía procedente de la biomasa, funcionamiento de una secadora de arroz entre otros puntos.

1.22.2 Método analítico

De los datos obtenidos de fuentes se utiliza este método para estimar el poder calorífico que se puede obtener de la cascarilla de arroz para ser empleado en el proceso de secado de granos, además ese método sirve para realizar los cálculos e interpretarlos en el diseño y simulación del funcionamiento del horno por combustión de biomasa y el secador en el proceso de secado de arroz.

1.22.3 Método inductivo

Este método se lo utiliza para entender el funcionamiento en conjunto de las partes que conforman la máquina secadora de granos y del horno por combustión de biomasa.

1.22.4 Método deductivo

Este método se lo emplea en la interpretación y entendimiento del funcionamiento de las partes que componen la máquina secadora de granos y del horno por combustión de biomasa.

1.23 Fuentes de recopilación de información

Para la obtención de información necesaria en el desarrollo de esta investigación se utilizaron fuentes primarias y secundarias, tales como artículos científicos, libros y mediante la observación del proceso, entre otros.

1.24 Diseño de la investigación

1.24.1 No experimental

El desarrollo de esta investigación, por efecto de diseño y seguridad se realiza la simulación estática de la estructura y bandejas, con el fin de verificar y pronosticar el correcto trabajo de los componentes del secador de arroz, bajo las normas de consideración de diseño.

1.25 Instrumento de investigación

1.25.1 Análisis de documentos

Se emplea este tipo de análisis para sintetizar y evaluar el funcionamiento de las máquinas secadoras de arroz, permitiendo determinar los componentes más idóneos a emplear en el diseño del secador de arroz y el horno por combustión de biomasa.

1.26 Tratamiento de los datos

El tratamiento de datos se lo realizó en forma comparativa entre los resultados obtenidos en la simulación de datos en el programa Excel.

1.27 Materiales

- Remas de papel A4
- Hojas tamaño A3
- CD-EW
- Libros
- Internet
- Anillados
- Bolígrafos
- Carpetas
- Empastados
- Excel

1.28 Equipos

- Computadoras
- Impresoras
- Celulares
- Flash memory
- Calculadora

CAPÍTULO IV
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

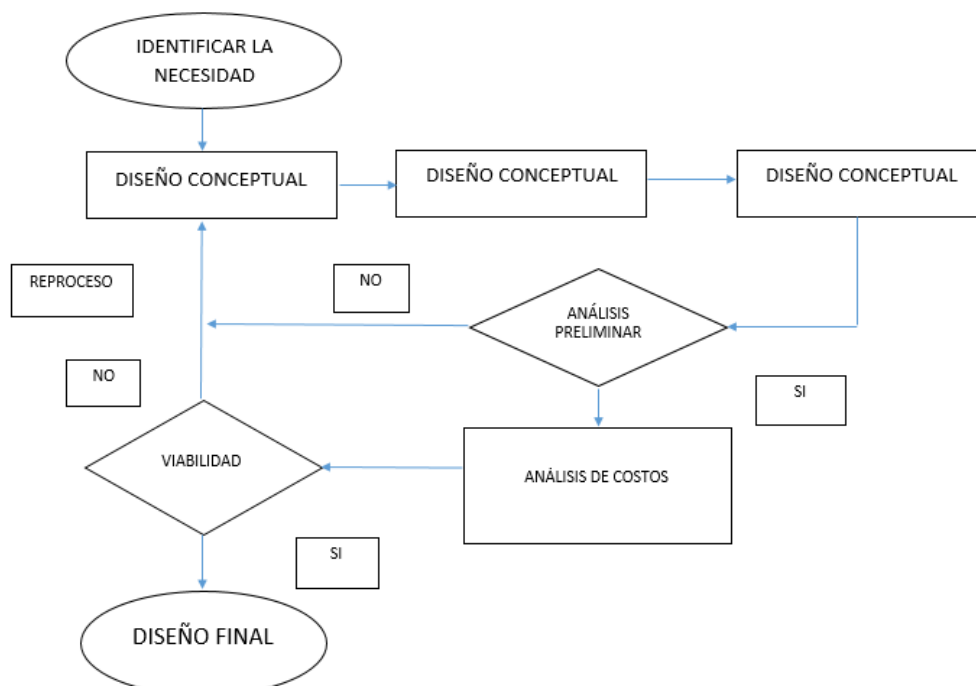
1.29 Resultados

La finalidad de este capítulo es detallar cada uno de los resultados obtenidos en el proceso de investigación, realizado para el diseño de un horno de combustión de cascarilla de arroz (biomasa) y el diseño de un secador para el secado del grano de arroz, aplicable directamente en el sector agroindustrial, siendo un ítem adicional para solucionar los problemas que afronta la zona cinco.

La cascarilla de arroz posee un poder energético que es poco aprovechable para la industria, donde los procesos de secado agroindustrial son realizados mediante el uso de otras fuentes de energía, generalmente los derivados del petróleo a un costo considerable, que influye en el costo general del proceso de elaboración y tratamiento de la materia prima, producida en el agro.

Mediante el análisis mecánico de los procesos y el uso de normas vigentes para el diseño como la ASTM, se calcula dimensiona y se seleccionan elementos que componen el horno y el secador de arroz, considerando los parámetros necesarios para el correcto funcionamiento, como la temperatura, presión, caudal de aire, costos entre otros.

1.30 Flujo de proceso del diseño



1.31 Selección del secador

Para el diseño del secador de arroz se tendrán en cuenta tres tipos básicos de secador: [32]

- Secadoras de Caballetes
- Secadoras de Columnas
- Secadora tipo torre mixta [Caballete- Columnas]

Secadora de flujo mixto o Caballete

La **Figura 26 A** muestra las características de una secadora de flujo mixto o también llamada de caballetes. El grano en el interior de la secadora fluye a través de los caballetes horizontales. Estos caballetes constituyen conductos de entradas y salidas alternadas de aire de la secadora.

Ventajas:

- Aceptable calidad de secado.
- El grano circula por diferentes vías.
- Rotación del grano sobre sí mismo.

Desventaja

- No hay una uniformidad de aire en tramos de caballete.
- Las paredes laterales exteriores de la maquina están en contacto con el grano.
- No uniformidad de aire.
- El costo de fabricación de las secadoras de caballetes es usualmente superior al de otros tipos de secadoras.

Secadora flujo cruzado o de columnas

La **Figura 26 B**, es un esquema de una secadora continua convencional de flujo cruzado. El grano fluye por gravedad desde la tolva del grano húmedo hacia la zona de secado, que consiste en una o varias columnas de grano construidas con placas perforada. El aire caliente es forzado en las columnas a pasar perpendicularmente a través del grano.

Ventajas

- Reduce la emisión de partículas.
- Bajo nivel de ruido
- Menor consumo de energía por tonelada

Desventaja

- El grano recorre el mismo camino en su descenso.
- Poca uniformidad de secado.
- No hay rotación del grano sobre sí mismo.
- Las chapas perforadas de las columnas en contacto con el grano se van tapando con suciedad.

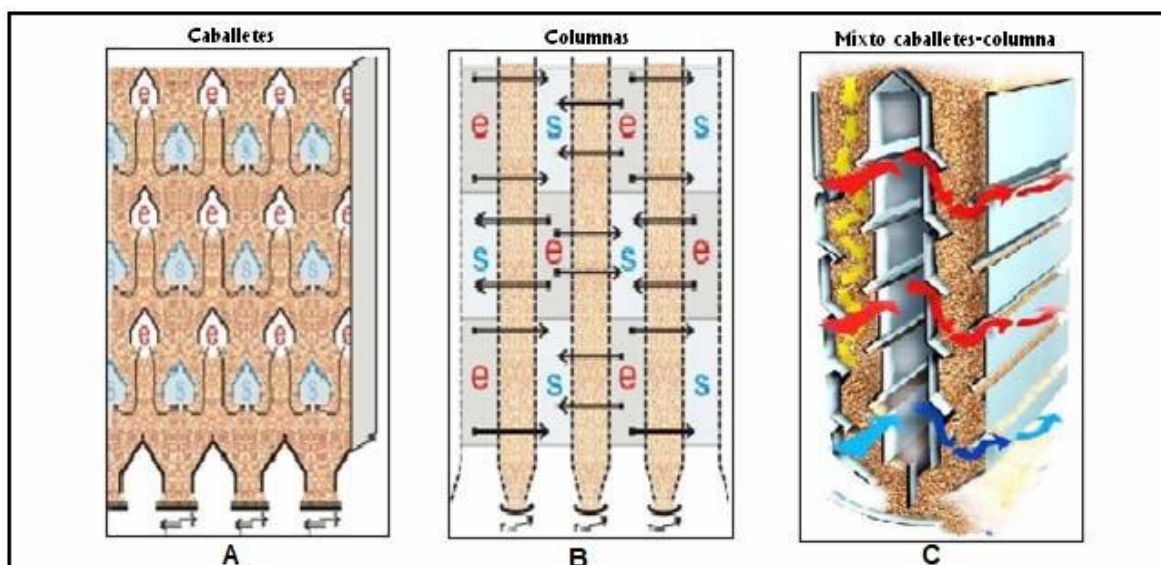
Secadora de sistema mixto [Caballete- Columnas]

Es la combinación de una secadora de flujo cruzado con una de caballetes. Como podemos observar en la **Figura 26 C**, el grano desciende en zig-zag rotando sobre sí mismo de progresiva siendo rodeado por una corriente de aire que fluye en su mismo sentido y cruzándolo.

Las características distintivas de este sistema de secado son:

- Rotación del grano sobre sí mismo en los medios caballetes.
- El grano recorre iguales caminos en su descenso.
- Con el sistema de descarga bien ajustado el tiempo de residencia es el mismo.
- Secado uniforme.
- Las paredes laterales exteriores de la maquina no están en contacto con el grano, por lo que no condensan con el frío exterior. (Menos suciedad).
- El grano fluye de forma uniforme en su período de descenso y luego tiene un tempering o reposo sin ser atravesado por el aire y esto en toda la altura del equipo.

Figura 26: Sistema de secadoras: A. secadora de flujo mixto o caballetes, B. secadora de flujo cruzado o de columna, C. secadora mixta de caballetes-columna.



Fuente: Mauricio Heindenreich [2010]

Según la base teórica para su selección se toma en cuenta su capacidad de secado, facilidad de retiro del grano. Construcción de la máquina, diseño de sus elementos, principio de funcionamiento complejidad en el ingreso del grano, temperatura de secado, flujo de aire dentro del secador, salida de humedad, montaje, desmontaje, costo y eficiencia de la máquina, los cuales son valorados en una escala del 1 a 4, considerando 1 regular - 2 bueno - 3 muy bueno - 4 excelente.

Tabla 4: Selección de secadora

	Tipo torre (persianas)	Caballetes	horizontales
Capacidad	4	3	3
Retiro de grano	4	3	4
Construcción	3	3	3
Diseño mecánico	4	3	3
Funcionamiento	3	3	3
Ingreso de grano	3	3	3
Temp. de secado	4	4	3
Flujo de aire	4	3	3
Salida de humedad	4	4	2
Montaje y desmontaje	3	3	3
Costo de la maquina	3	3	2
Eficiencia	3	3	2
Puntaje	42	38	34

Fuente: Autores [2017]

De acuerdo al análisis de la tabla de ponderación se selecciona para el proceso de investigación el secador de tipo torre (persianas), el cual obtuvo la mayor calificación en la con una valoración de 42/48 puntos, considerándose idónea para el proceso de secado de la gramínea debido a su diseño de las columnas de flujo mixto ya que este tipo de secadoras permiten obtener la más alta calidad de secado al menor costo.

1.32 Criterios de diseño

Para el diseño del horno de cascarilla de arroz y del secador se debe tomar en cuenta el uso de parámetros, que aseguren el correcto dimensionamiento de los elementos y funcionamiento de la máquina, para lo cual se tiene:

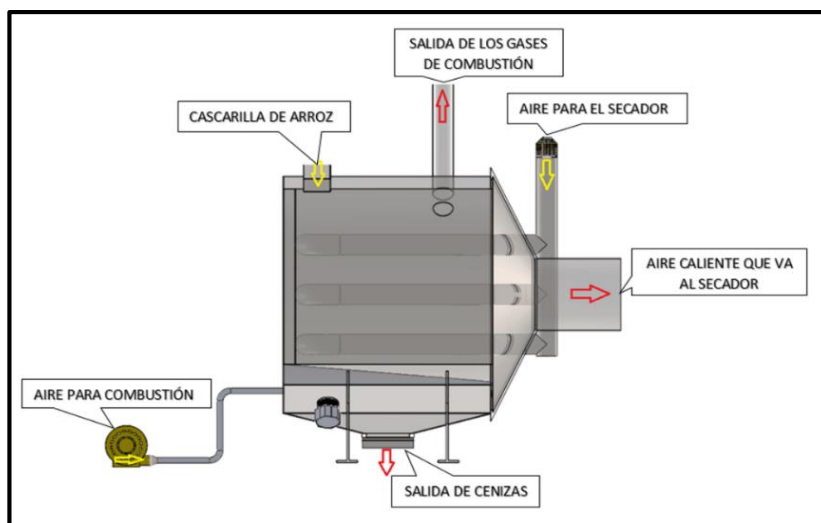
Tabla 5: Criterio de diseño

	Horno	Secador
Tipo	Combustión	Torre – contraflujo
Alimentación	Cascarilla de arroz	Aire caliente – arroz (contraflujo)
Producción	-	Secar 1 Tn de grano (arroz) / h
Dimensión	Variable	Variable
Humedad de entrada	-	17%
Humedad de salida	-	13%

Fuente: Autores [2017]

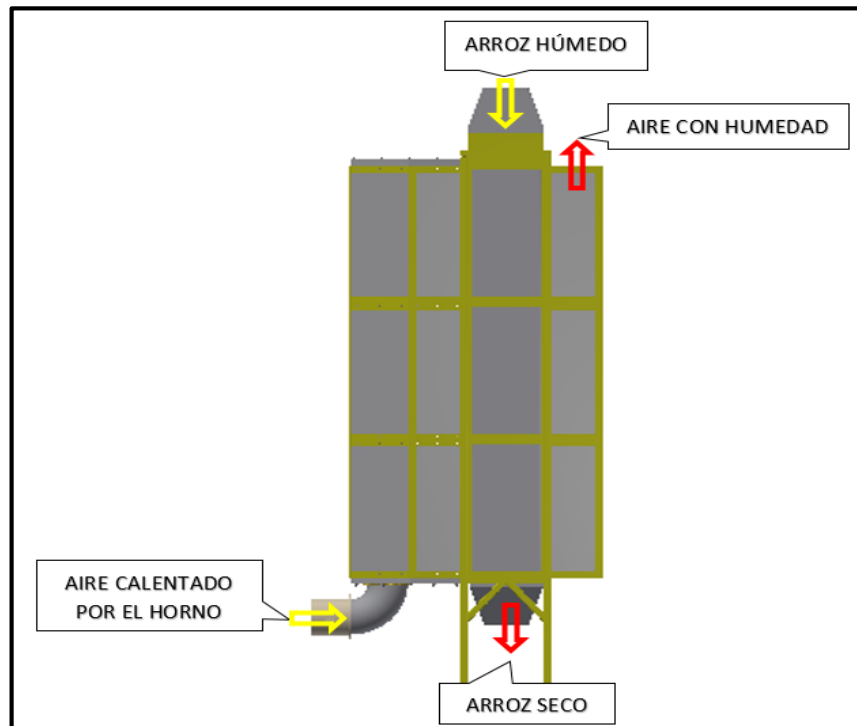
1.33 Diagrama de balance de masa y energía

Figura 27: Diagrama de balance de masa y energía del horno (vista lateral)



Fuente: Autores [20117]

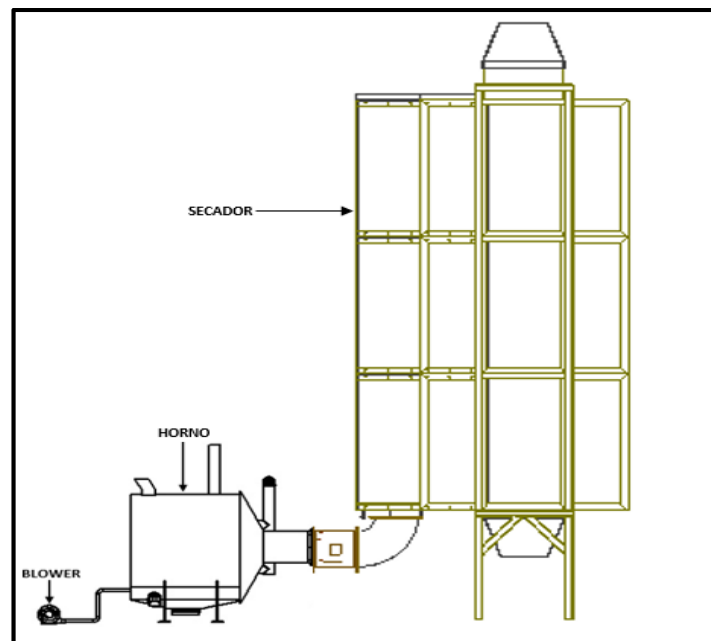
Figura 28: Diagrama de balance de masa y energía del secador (vista lateral)



Fuente: Autores [2017]

Diseño del horno – secador

Figura 29: Diseño del horno - secador



Fuente: Autores [2017]

1.33.1 Volumen del producto a secar

La función del secador es ser utilizado por el mediano agricultor para lo cual se estableció una capacidad de secado de una tn/h, donde según la FAO³ el grano debe permanecer 30 minutos en el secador, por lo cual la capacidad de entrada del grano debe ser de 0,5 tn de arroz, siendo su densidad 585kg/m³, para lo cual se obtiene:

$$V = \frac{m}{\rho} \quad \text{Ec. (17)}$$

Donde:

V: Volumen

m: masa

ρ : densidad

$$V = \frac{0.5tn \frac{1000kg}{1tn}}{585 \frac{kg}{m^3}}$$

$$V = 0.855m^3$$

El volumen de la masa de arroz a secar es de 0.855 m³, el cual tendrá un proceso de secado de 30 min, para retirar la humedad del grano mediante el flujo de aire a altas temperaturas.

1.33.2 Altura del secador.

Según investigaciones en EEUU, el promedio de espesor de las secciones de secado en las secadoras de granos es de 30 cm a 50 cm para capacidades de entre 1 a 3 tn/h, para lo cual se escoge un promedio 40 cm.

$$h = \frac{V}{A} \quad \text{Ec. (18)}$$

³ <http://www.fao.org/docrep/x5028s/X5028S0E.HTM>

Donde,

h = altura

A = área

V = volumen

l_1 =

l_2 =

Se establece un ancho de 10 cm por sección, que es la distancia mínima a la que debe de estar las bandejas en cada una de las secciones de la secadora, por lo cual al ser cinco secciones el valor total es 60 cm. [32]

$$h = \frac{0.855m^3}{l_1 * l_2}$$

$$h = \frac{0.855m^3}{0.5m * 0.6m}$$

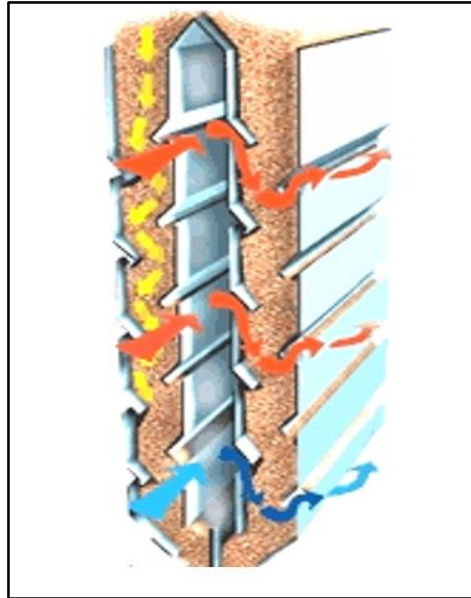
$$h = \frac{0.855m^3}{0.3m^2}$$

$$h = 2,85m$$

Entonces, la altura del cuerpo modular del secador debe de ser de 2,85 m, considerando que el valor seleccionado de profundidad y ancho es mayor ya que el diseño de este tipo de secadoras están formados por 3 tabiques verticales como se observa en la Figura 30, los cuales conforman en módulo, además se aprecia la circulación del aire a través del grano las flechas amarillas indican el flujo del arroz, en color rojo la entrada de aire de secado que ingresa por el conducto intermedio que permite distribuir de forma adecuada el flujo de aire caliente dentro del secador, y en color azul se visualiza la salida del aire con humedad, que

es extraída de la gramínea que sale por medio de dos conductos extremos uno de cada lado que tiene cada tabique.

Figura 30: Circulación de aire a través del grano

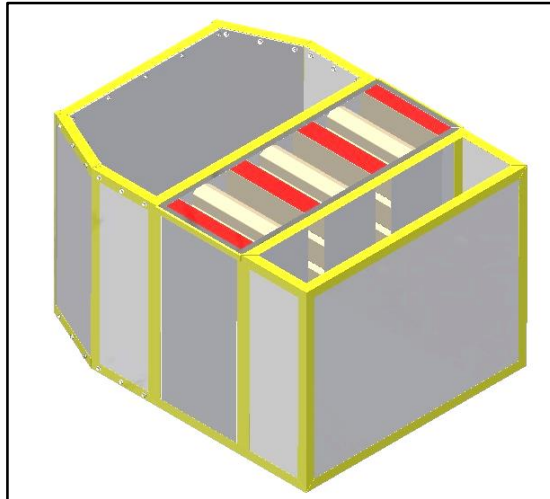


Fuente: Ingeniería Mega [2017]

1.33.3 Modulo

Por criterio de diseño se establece dividir el cuerpo modular en tres partes dando como resultado una altura de 0,95 m, pero este se lo dimensiona a 1 m de altura. Además, que cada módulo está conformado con 9 tabiques y tiene chasis propio, lo que permite ensamblar los módulos en la fábrica, permitiendo disminuir el tiempo de ensamble del secador donde ira a operar, ya que estos serán montados modulo sobre modulo.

Figura 31: Módulo ensamblado



Fuente: Autores [2017]

1.33.4 Tolva de ingreso del grano

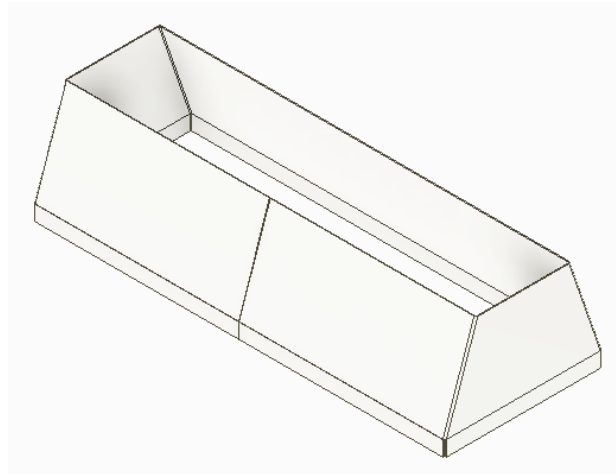
La tolva es el elemento mediante el cual ingresa el grano al secador de manera regulada, mismo que debe disponer una inclinación acorde al proceso de abastecimiento, y el espacio útil a utilizar es 15% del volumen total, entonces tomando el 15% de la masa del grano para determinar el volumen a regular, se tiene:

$$v_{tolva} = m * 15\% \quad \text{Ec. (19)}$$

$$1000kg * 15\% = 150kg / 585kg/m^3 = 0,26m^3$$

Ya que el área de la sección transversal de secado es $0,2m^2$ ($0,4m * 0,5m$) se utiliza el software Solidworks para determinar el dimensionamiento idóneo para el diseño de la tolva basado en los parámetros expuestos.

Figura 32: Tolva De Ingreso

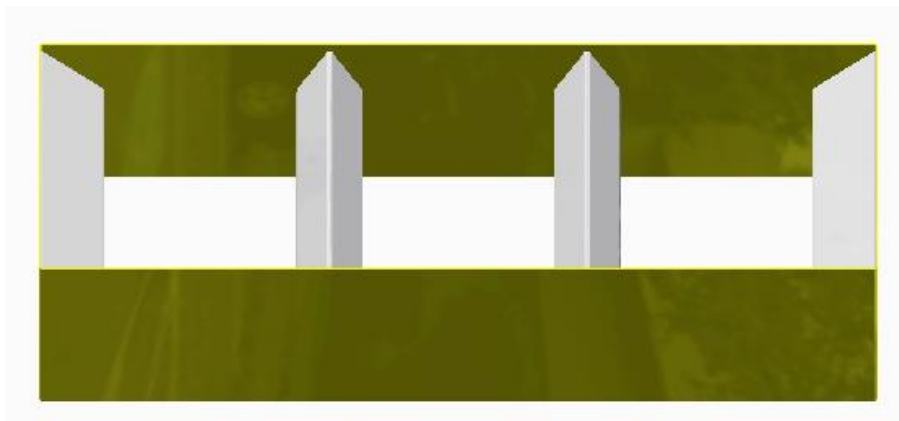


Fuente: Autores [2017]

1.33.5 Módulo de distribución del grano al ingreso del secador

El secador posee 6 secciones de secado, donde ingresa el arroz y el aire caliente, 3 secciones intermedias y dos laterales para permitir la evacuación del aire frío, el cual es regulado mediante el diseño de un módulo con bandejas intermedias a 30° [32] de inclinación.

Figura 33: módulo de distribución



Fuente: Autores [2017]

1.33.6 Masa de agua a retirar del arroz durante el proceso de secado.

El grano a secar en el Ecuador posee una humedad entre el 18% - 15%, para el cual se toma un valor de entrada del 17%, necesitando retirar un total de 4% de masa de agua. Para ello se plantea la siguiente ecuación.

$$m_{H_2O} = m_t * \% \text{ de humedad} \quad \text{Ec. (20) [24]}$$

Donde:

m_{H_2O} : masa de agua

$$m_{H_2O} = 1000kg * 17\%$$

$$m_{H_2O} = 170 \text{ kg}$$

El contenido total de masa de agua que posee 1 tn de arroz a ingresar en el secador es de 170 kg, del cual se desea evaporar el 4% para que el arroz quede en óptimas condiciones de secado, cuyo valor es:

$$m_{H_2O} = 1000kg * 4\%$$

$$m_{H_2O} = 40 \text{ kg}$$

Entonces, en el proceso de secado se debe sustraer de la masa del grano un total de 40 kg, que corresponde al 4% de humedad de la gramínea.

1.33.7 Calor necesario para evaporar el agua

Es el valor de energía necesaria para evaporar la cantidad de agua del grano durante el proceso de secado (4%), adicional, indica la cantidad de calor que debe generar el horno para enviar hacia el secador mediante el uso de un ventilador.

$$Q = m_{h_2o} * q_{ev} \quad \text{Ec. (21) [24]}$$

Donde:

Q : calor necesario par evaporar el % de agua del sistema

m_{H_2O} : masa de agua

q_{ev} : calor de evaporación del agua [24]

$$Q = 40 \frac{kg}{h} * \frac{2250kj}{kg}$$

$$Q = 90000Kj/h$$

$$Q = 25KW$$

El valor de qev (calor de evaporación del agua) indica que flujo de calor se necesita para evaporar el agua del grano, obteniendo como resultado que para producir el porcentaje de humedad del grano al 13% se necesita un flujo de calor de 25Kw generado en el horno de combustión de cascarilla de arroz.

1.33.8 Velocidad necesaria de ventilación en el secador

El secador cuenta con un ventilador en su sistema, a la entrada para extraer el calor del horno e inducirlo hacia el secador por toda la sección de secado, cuyo flujo para su selección se calcula a continuación:

$$\dot{m}_a = \frac{Q}{(h_2 - h_1)} \quad \text{Ec. (22) [24]}$$

Donde.

\dot{m}_a : Flujo másico de aire para el secado

h_1 : Valor de entalpia del aire a temperatura ambiente

h_2 : Valor de entalpía de aire caliente

Q : Calor necesario para evaporar el % del agua del sistema

$$\dot{m}_a = \frac{25kj/s}{(121,22 - 77,41)kJ/kg}$$

$$\dot{m}_a = 0,57 \frac{kg}{s}$$

Entonces, el flujo másico de aire necesario para evaporar el 4% de humedad del grano es de 0,57kg/s, el cual será inducido por el ventilador.

Donde:

$$Q_a = \frac{\dot{m}_a}{\rho} \quad \text{Ec. (23) [24]}$$

Q_a : Velocidad de la aire

\dot{m}_a : Flujo másico del aire para el secado

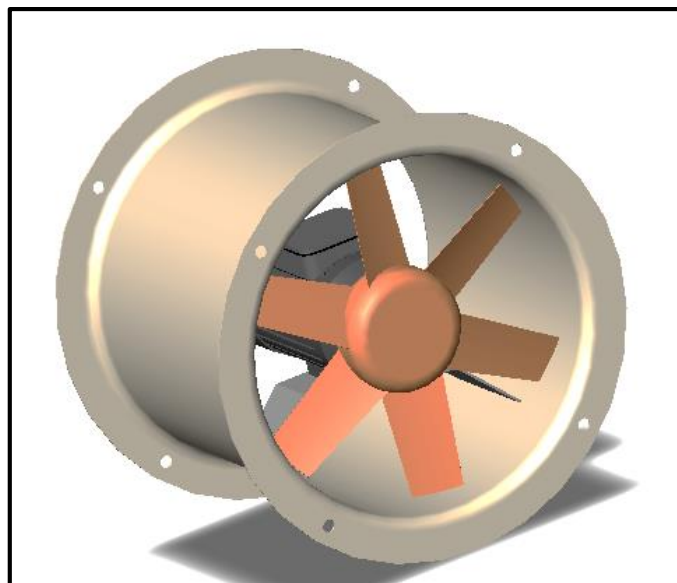
ρ : Densidad del aire

$$Q_a = \frac{0,57 \frac{kg}{s}}{1kg/m^3}$$

$$Q_a = 0,57 \frac{m^3}{s}$$

Para lo cual se selecciona un ventilador para tipo industrial helicoidal del catálogo **SODECA** HCT con una capacidad de generación de caudal máximo de $2300 \frac{m^3}{h}$, lo que es igual a $0,62 \frac{m^3}{s}$ siendo un valor cercano al necesitado. **Ver ANEXO 1**

Figura 34: Ventilador



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

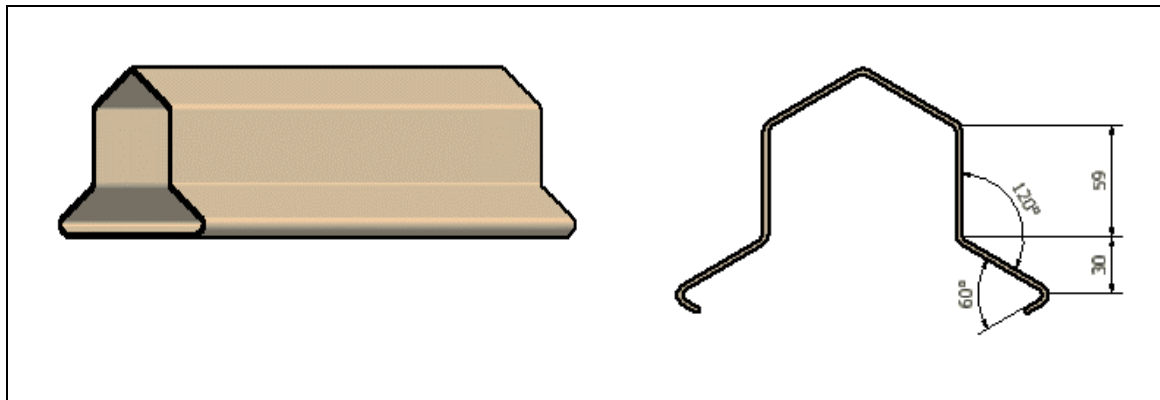
1.33.9 Diseño de las bandejas

Para el diseño de las bandejas se toman en consideración varios parámetros, entre ellos una inclinación de 30° [32] y 36 niveles de bandejas donde cae el grano. Para el cálculo del esfuerzo del material derivando el análisis unitariamente se considera el peso del arroz en la tolva distribuido en una columna total de arroz que incide directamente sobre la bandeja.

1.33.10 Selección del tipo de bandeja

El tipo de bandeja mayormente usado en la secadora torre (contra flujo) son escalonadas, con una leve inclinación que permite el deslizamiento del arroz por el secador, separadas a una distancia de 10 cm que permite la correcta extracción de la humedad del grano, de manera uniforme, adicional entre las funciones de las bandejas esta regular el paso moderado del arroz a través de cada sección, el cual se dimensiona de la siguiente manera:

Figura 35: Bandeja

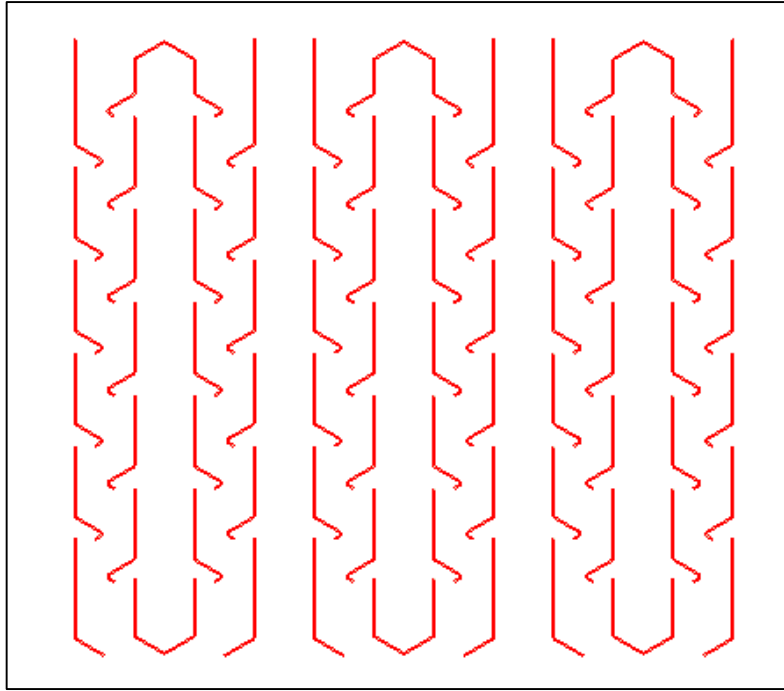


Fuente: Autores [2017]

Se observa una distribución lineal sobre el área de la bandeja proporcionada por el peso del arroz en cada módulo, una a continuación de otra formando una pared que impide el paso del grano hacia las otras secciones donde circula el flujo de aire:

Figura 36: Distribución de las bandejas⁴

⁴ Metodología del Diseño Aplicada a la obtención de maquinaria agrícola

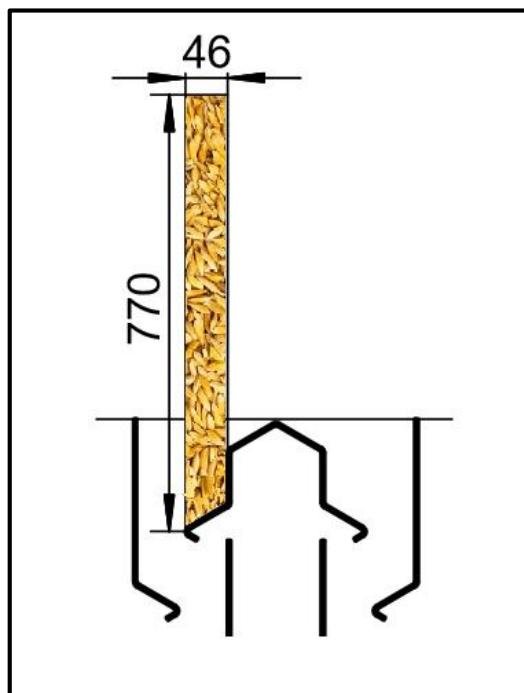


Fuente: °8 Congreso Iberoamericano De Ingeniería Mecánica.

1.33.11 Calculo de carga estática

Se considera un análisis estático, considerando el peso total de la masa de arroz sobre el área de la bandeja.

Figura 37: Masa de grano sobre la bandeja



Fuente: Autores [2017]

$$V = (b * a) * h \quad \text{Ec. (24)}$$

Donde:

V: volumen

(b * a): área de impacto

H: columna de arroz (m)

$$V = \left(0,5m * \frac{0,046}{\text{sen } 60^\circ} m \right) * 0,77m$$

$$V = (0,046m^2) * 0,77m$$

$$V = 0,03542 m^3$$

El volumen de flujo másico que incide sobre cada bandeja en el caso más crítico del sistema es de 0,03542 m³ lo que corresponde al volumen contenido desde el inicio de la tolva de ingreso hasta la primera sección de bandejas donde inicia el proceso de secado del arroz.

Entonces, mediante el uso del volumen y la densidad del arroz (Ecuación 18), se obtiene la carga total sobre la bandeja en el caso más crítico.

$$m = \rho * V$$

Donde:

$$\rho = \text{densidad del arroz} \left(585 \frac{kg}{m^3} \right)$$

m= masa total sobre la bandeja

V= volumen

$$m = 585 \frac{kg}{m^3} * 0,0354m^3$$

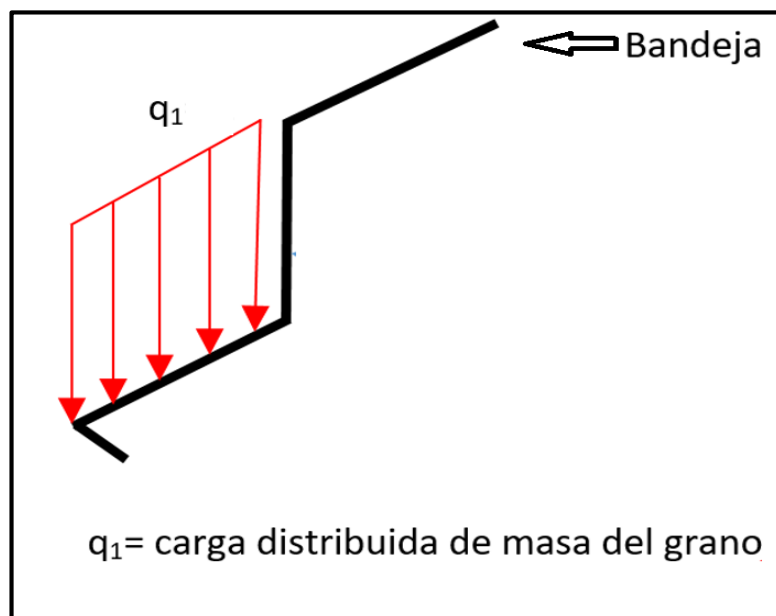
$$m = 20,72kg$$

La carga total distribuida de manera lineal sobre la bandeja es de 20,72 kg, que equivale al peso total sobre el elemento en Kgf (kilogramos fuerza), valor que permite determinar el índice de esfuerzo que soporta el elemento, siendo necesario para determinar su espesor mínimo.

1.33.12 Análisis de carga

El peso sobre la bandeja representada q_1 (carga lineal sobre el área de impacto), misma que se distribuye uniformemente sobre toda su longitud, y que incide de manera perpendicular sobre el elemento.

Figura 38: Distribución de carga sobre el ala de la bandeja



Fuente: Autores [2017]

Para lo cual se plantea la siguiente ecuación:

$$q_1 = \frac{P}{L} \quad \text{Ec. (25) [3]}$$

Donde:

q_l : carga distribuida de masa del grano

P: peso total

L: longitud de la bandeja

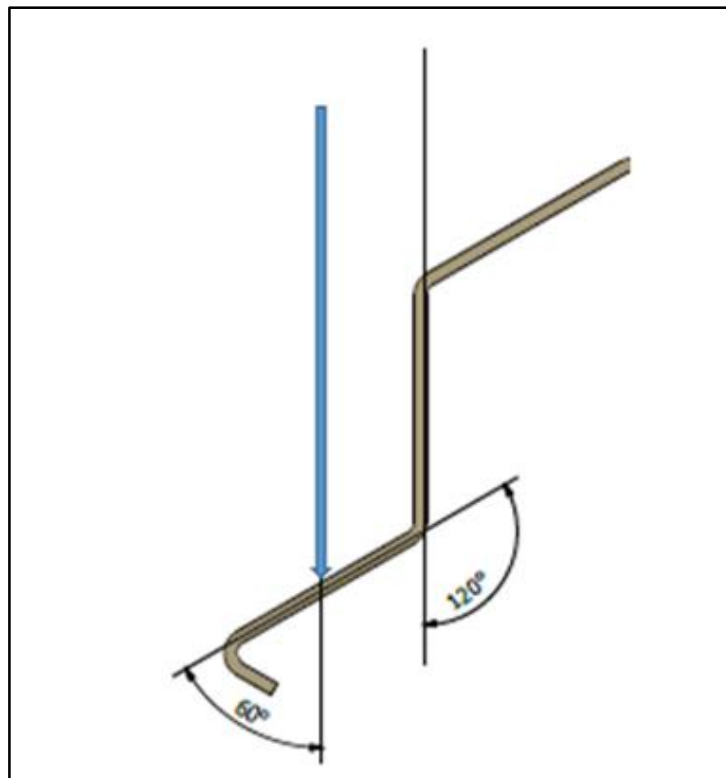
$$q_l = \frac{20,72 * 9,8N}{0,5m}$$

$$q_l = 406,112 \frac{N}{m}$$

Entonces, la carga lineal distribuida por toda la bandeja en su área de impacto es de $406,112 \frac{N}{m}$, considerando que el ancho de la bandeja es de $0,046m$.

Usando el método de ángulo interno y externo se obtiene el ángulo de incidencia del grano sobre la plancha de la bandeja.

Figura 39: Plano- Angulo de incidencia del grano sobre la bandeja



Fuente: Autores [2017]

Entonces

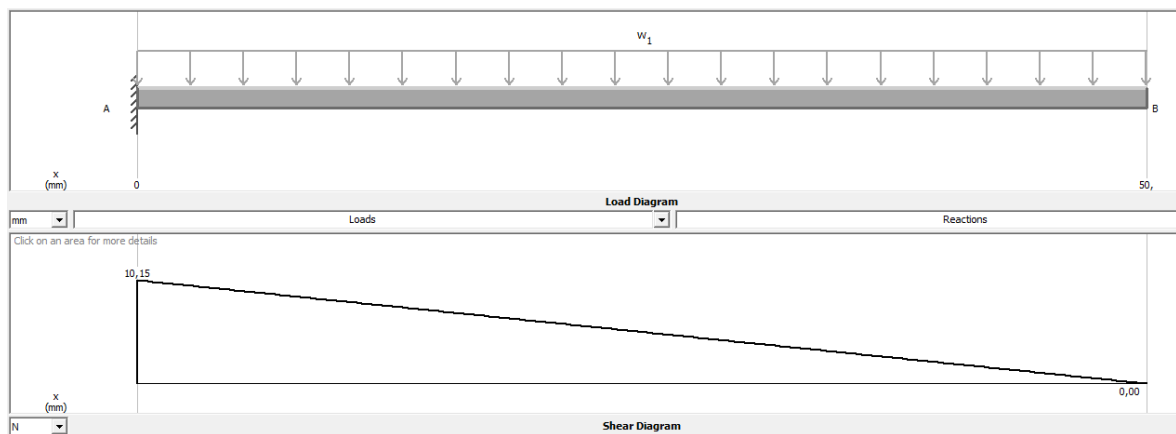
$$406,112 \frac{N}{m} \cos 60$$

$$q_l = 203,056 \frac{N}{m}$$

Debido al ángulo de inclinación observado en la Figura 39 se calcula el valor de la carga lineal q_l sobre la bandeja, ya que esta inclinación incide sobre el valor de la carga reduciéndola a $203,056 \frac{N}{m}$.

Mediante el uso del software MDsolid se realiza el análisis estático sobre la bandeja, debido al peso de la masa de arroz para determinar los valores y graficas de momento y esfuerzo cortante. El método grafico permite girar el plano de análisis sin incidir sobre los resultados, para un mejor análisis didáctico del sistema, para el cual se gira el plano un valor de 30° situándose de manera horizontal el área de impacto sobre el plano x.

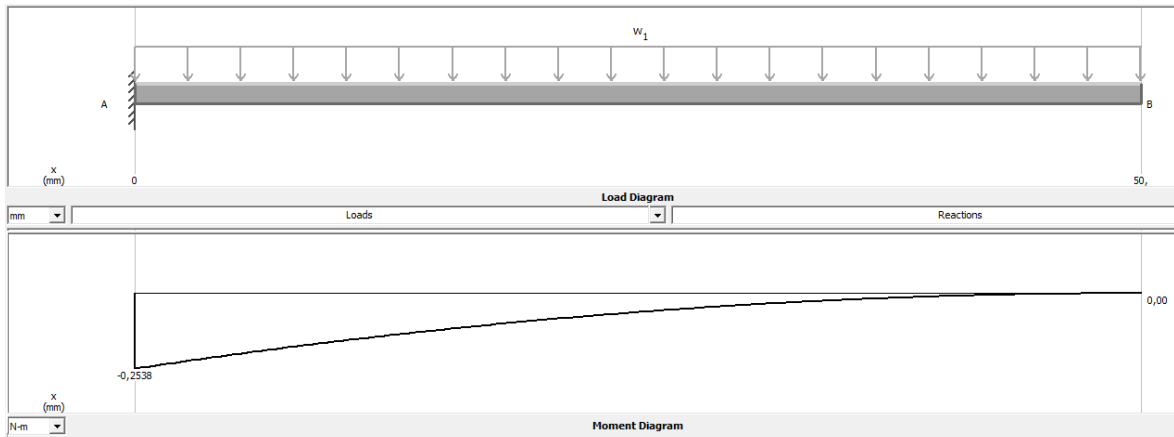
Figura 40: Diagrama de esfuerzo cortante



Fuente: Autores [2017]

El valor del esfuerzo cortante máximo que soporta la bandeja en el sistema es de 10,15 N, correspondiente a la carga de la columna de arroz. El elemento se validó como un sistema empotrado debido a que el elemento de sujeción utilizado es la soldadura en sus extremos.

Figura 41: Diagrama de momento



Fuente: Autores [2017]

El valor del momento máximo que soporta la bandeja en el sistema es de 0,2538 Nm correspondiente a la carga por la columna de arroz.

1.33.13 Calculo de espesor.

El espesor mínimo de la plancha a utilizar se calcula mediante método de Tresca del libro de **Shigley**, que establece la siguiente ecuación:

$$\sqrt{\sigma_x^2 + 4\tau_{xy}^2} = \frac{S_y}{n} \quad \text{Ec. (26) [3]}$$

Donde:

σ_x : Esfuerzo en x

τ_{xy} : Esfuerzo de corte

s_y : limite elástico

n: factor de seguridad (2)

El esfuerzo se obtiene de la siguiente ecuación:

$$\sigma_x = \frac{M_f * c}{I} \quad \text{Ec. (27) [3]}$$

Donde:

M_f = momento flector

$$c = \frac{t}{2}$$

$$I = \text{inercia} = \frac{1}{12} * l * t^3$$

σ_x = esfuerzo en x

$$\sigma_x = \frac{0,2538Nm * \frac{t}{2}m}{\frac{1}{12} * 0,5m * t^3m^3}$$

$$\sigma_x = \frac{3,0456 N}{t^2 m^2}$$

El esfuerzo cortante se obtiene se obtiene de la siguiente ecuación

$$\tau_{xy} = \frac{F}{A_c} \quad \text{Ec. (28) [3]}$$

Donde:

τ_{xy} = esfuerzo de corte

F = fuerza de corte

A_c = Area de corte

$$\tau_{xy} = \frac{10,15N}{0,5t}$$

$$\tau_{xy} = \frac{20,3 N}{t m^2}$$

Remplazándolo la ecuación 28 y 29 en la ecuación 27 se obtiene:

$$\sqrt{\sigma_x^2 + 4\tau_{xy}^2} = \frac{S_y}{n}$$

Se selecciona el acero ASTM A36, por su bajo costo y facilidad de encontrar en el mercado, se especifica como dato de diseño para el Acero un límite elástico s_y de 250 MPa **Ver ANEXO 2**

$$\sqrt{\left(\frac{3,0456}{t^2}\right)^2 + 4\left(\frac{20,3}{t}\right)^2} = \frac{250 * 10^6}{2}$$

$$\left(\sqrt{\left(\frac{3,0456}{t^2}\right)^2 + 4\left(\frac{20,3}{t}\right)^2}\right)^2 = \left(\frac{250 * 10^6}{2}\right)^2$$

$$\left(\frac{3,0456}{t^2}\right)^2 + 4\left(\frac{20,3}{t}\right)^2 = 1,5625 * 10^{16}$$

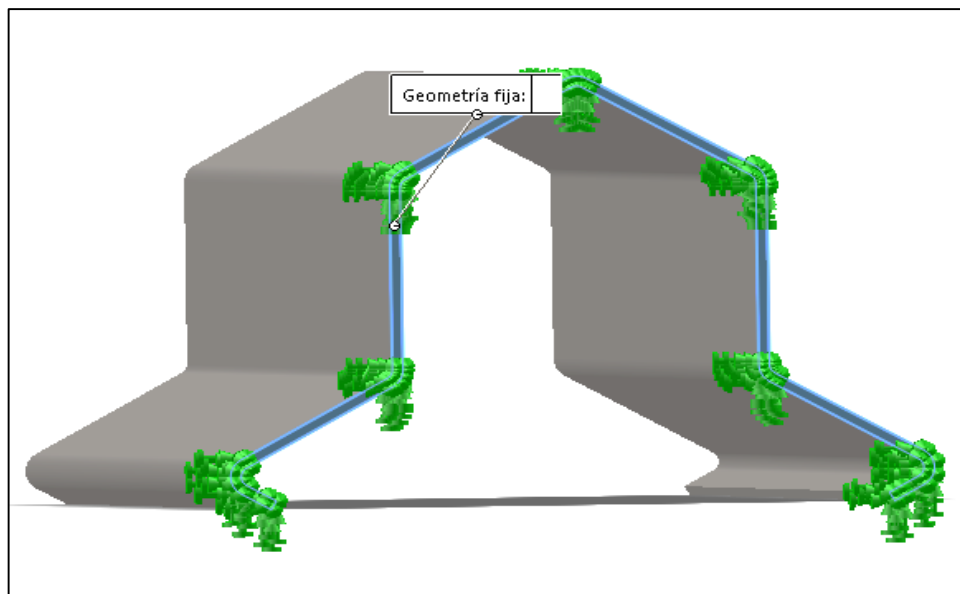
$$\frac{9,2757 * 10^8}{t^4} + \frac{1,6484 * 10^3}{t^2} = 1,5625 * 10^{16}$$

$$1,5625 * 10^{16} - 1,6484 * 10^3 t^2 - 9,2757 * 10^{16} t^4 = 0$$

Resolviendo la ecuación se obtiene un valor $t=0,0156\text{mm}$, por efecto de diseño y seguridad se plantea el uso de un espesor de 3mm para las bandejas, por lo cual se recurre al software SolidWorks para validar el análisis mecánico del material, utilizando el complemento SolidWorks Simulation.

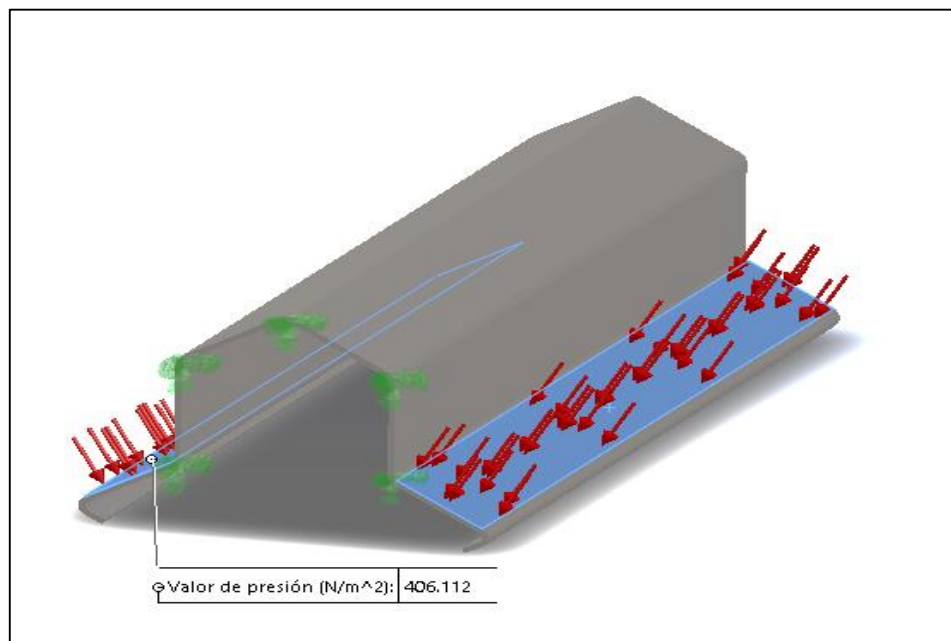
Asignación de restricciones de la bandeja central para realizar el análisis estático.

Figura 42: Restricción fija de la bandeja para realizar el análisis



Fuente: Autores [2017]

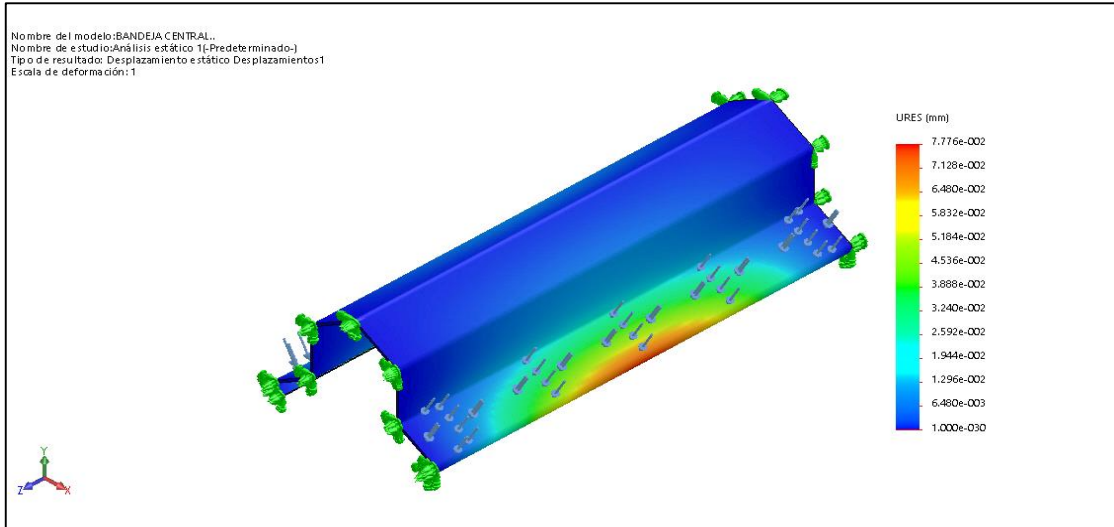
Figura 43: Aplicación de la fuerza que incide en las alas de la bandeja central



Fuente: Autores [2017]

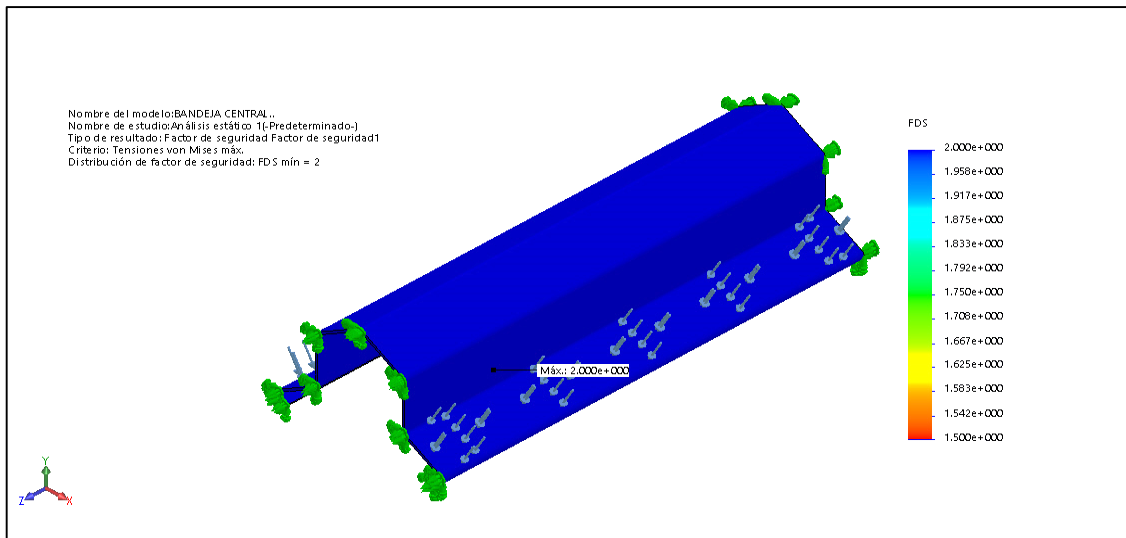
Resultado del análisis

Figura 44: Desplazamiento estático de la bandeja central



Fuente: Autores [2017]

Figura 45: Factor de seguridad de la bandeja



Fuente: Autores [2017]

De acuerdo a los resultados obtenidos del análisis en SolidWorks se aprecia que el diseño de la bandeja soporta el esfuerzo ejercido por la masa de arroz, teniendo mayor incidencia sobre la sección media del elemento, y como resultado un índice de seguridad superior a la unidad.

1.33.14 Selección del tipo de material aislante.

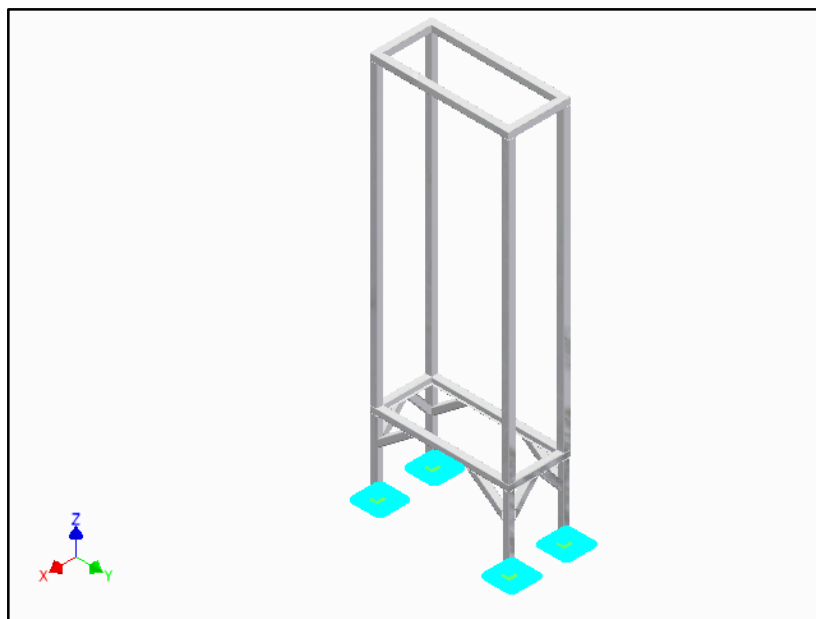
En las secadoras hay pérdidas de temperatura debido a la circulación del flujo de aire sobre el secador y su contacto con las paredes a temperatura ambiente siendo necesario utilizar un material aislante que disminuya la pérdida de energía con espesor entre 30 a 60 mm,⁵ para disminuir estas pérdidas de calor se seleccionan paneles de aislación térmica con núcleo Poliuretano PUR con un espesor de 50 mm de catálogo **VILLALBA** los cuales se ensamblan en toda la cámara de aire caliente⁶. **Ver ANEXO 3**

1.34 Diseño de la estructura del secador

Para el diseño de la estructura se consideran tubos de acero estructural cuadrado de calidad ASTM A-36, esta estructura debe soportar el peso de todos los componentes que conforman el secador, así como el peso de la gramínea a secar dando un peso aproximado de 23355.507 N en total, a continuación, con la ayuda del programa inventor se realiza el análisis estático de la estructura, con el fin de determinar y verificar si el diseño es óptimo.

Condiciones del funcionamiento

Figura 46: Restricción fija de la estructura para realizar el análisis

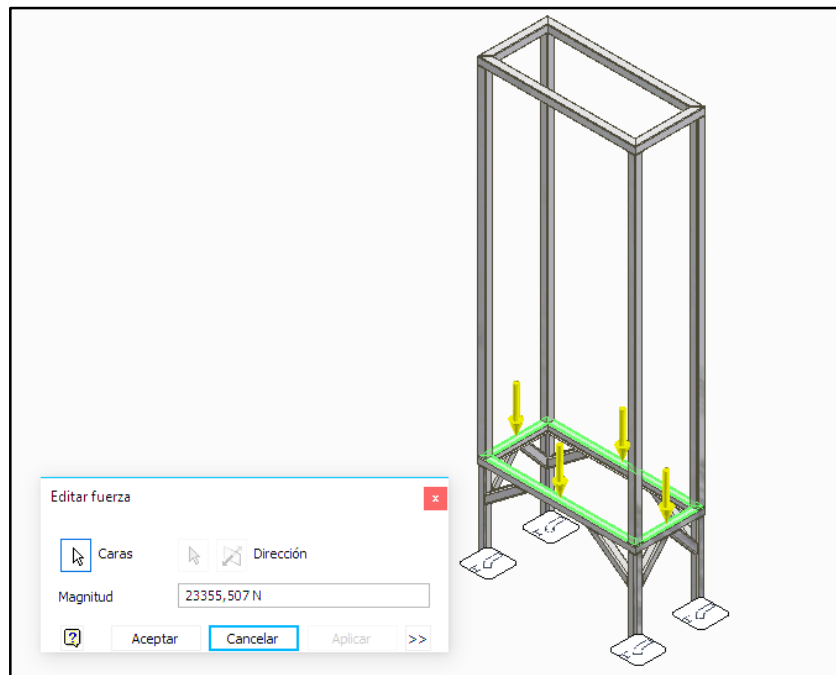


Fuente: Autores [2017]

⁵ FAO: Secado de granos y secadoras capítulo V – Optimización de Secadoras

⁶ <http://ingenieriamega.com/mega/web/contenidos/>

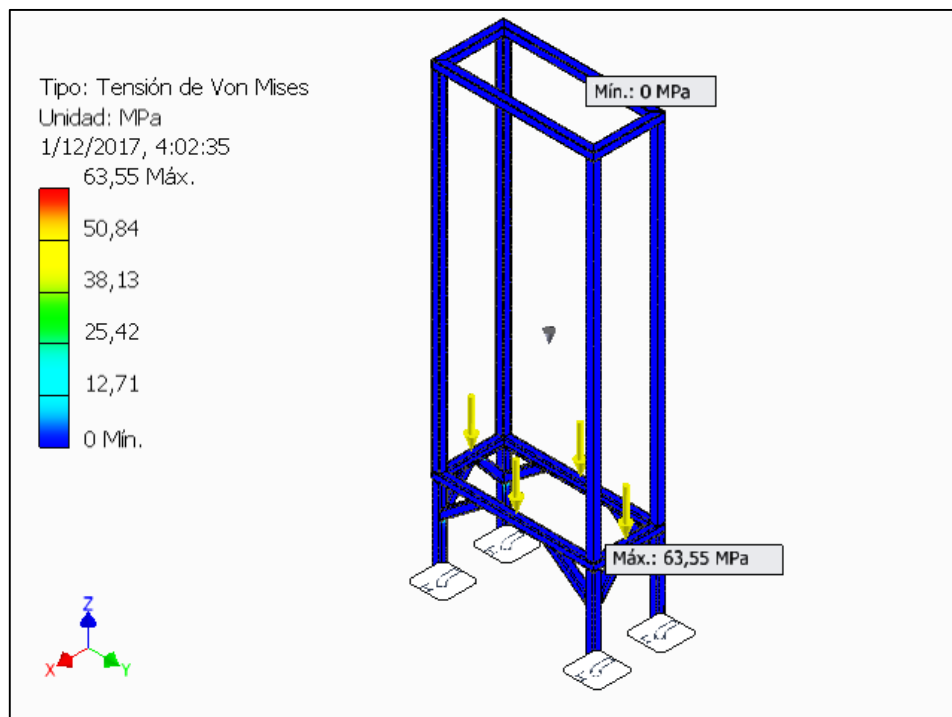
Figura 47: Aplicación de las cargas que va a soportar la estructura



Fuente: Autores [2017]

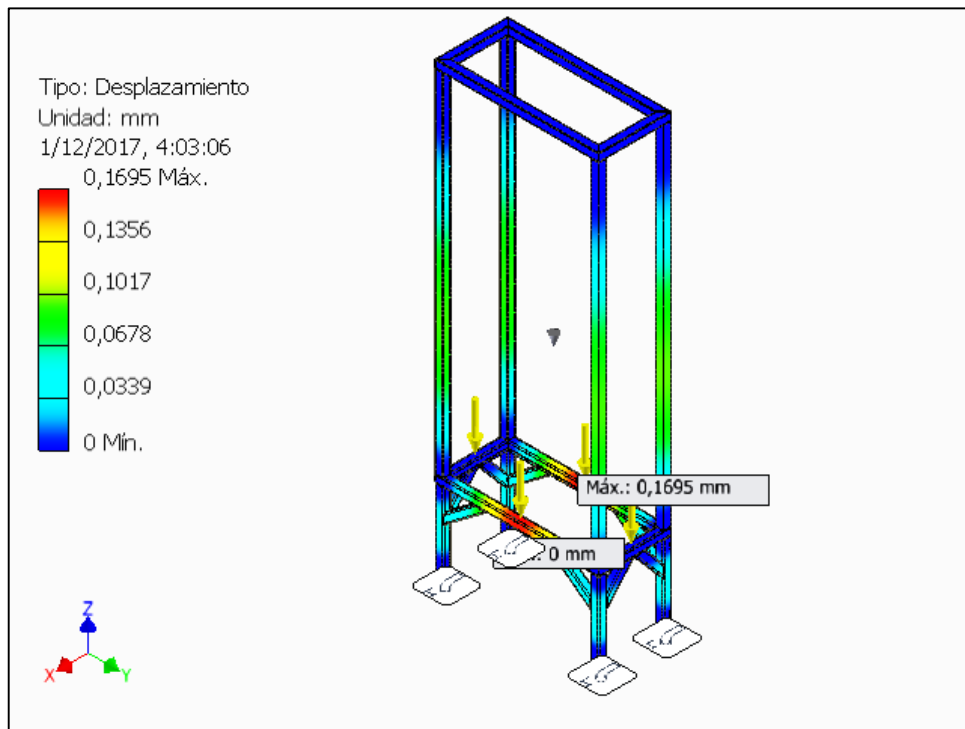
Resultados del análisis

Figura 48: Tensión de Von Mises



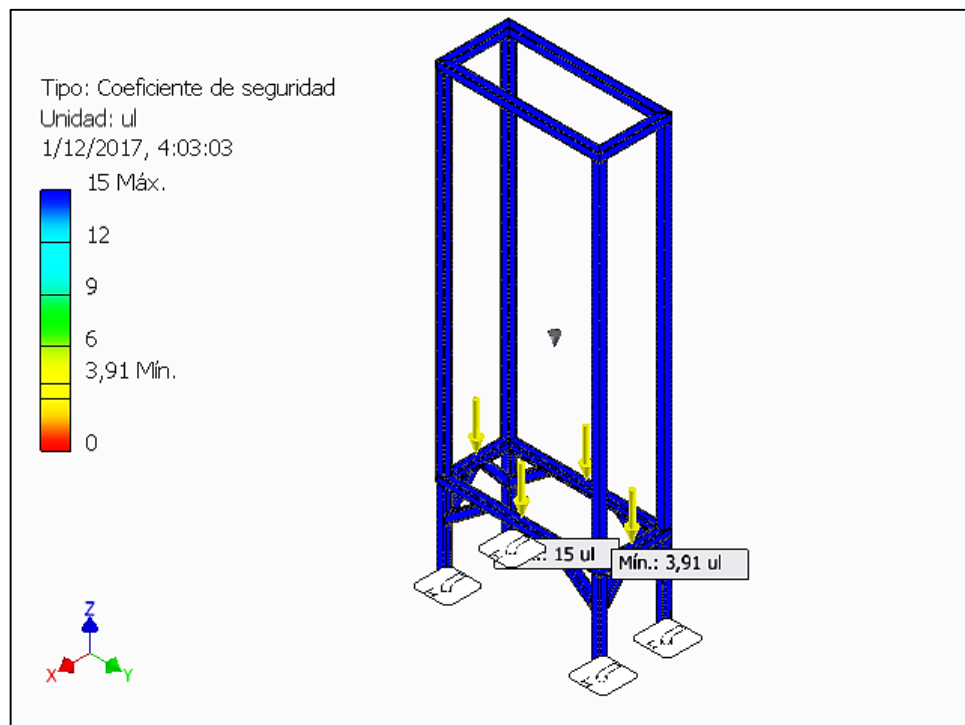
Fuente: Autores [2017]

Figura 49: Desplazamiento



Fuente: Autores [2017]

Figura 50: Coeficiente de seguridad



Fuente: Autores [2017]

Tabla 6: Resumen de los resultados del análisis de la estructura

Nombre	Mínimo	Máximo
Tensión de Von Mises	0,000354487 MPa	63,5546 MPa
Desplazamiento	0 mm	0,169499 mm
Coefficiente de seguridad	3,90569 su	15 su

Fuente: Autores [2017]

En la tabla se observa los resultados obtenidos del análisis de la estructura y se concluye que el diseño de la estructura es óptimo y soporta la carga de 23355.507 N a la cual estará sometida por la acción de cada uno de los componentes de la secadora y de la masa de arroz, dando como resultado del análisis un coeficiente de seguridad de 3,9 interpretando que el material asignado para la estructura cumple con los requerimientos de diseño.

1.35 Diseño del horno

1.35.1 Calor desarrollado por la cascarilla de arroz

La temperatura de entrada del aire al secador debe estar 43°C [32] para lograr un correcto secado del grano y su flujo másico debe ser 0,57 Kg/s (Ecuación 23) según lo calculado previamente. La ecuación 30 relaciona estos valores para obtener la potencia del quemador.

$$Q = m_a * c_p * (T_2 - T_1) \quad \text{Ec. (29) [24]}$$

Donde:

Q: calor necesario

m_a : Flujo másico de aire para el secado

c_p : coeficiente calorífico del aire (1,0061 KJ/Kg °K) a 43°C [24]

T_1 : temperatura ambiente (23°C)

T_2 : temperatura de secado

$$Q = 0,57 \frac{Kg}{s} * 1,0061 \frac{KJ}{Kg \text{ } ^\circ K} * ((43 - 23) + 273)^\circ K$$

$$Q = 0,57 \frac{Kg}{s} * 1,0061 \frac{KJ}{Kg \text{ } ^\circ K} * 293^\circ K$$

$$Q = 168,03 \frac{KJ}{s} * \frac{3600s}{1h}$$

$$Q = 604908 \frac{KJ}{h} = 168,03KW$$

El quemador debe tener una potencia de producir un total de 604908 KJ por cada hora (168,03 KW) de combustión de la cascarilla y el nivel de humedad, se toma como referencia un valor intermedio de 14550 KJ/Kg. El secador necesita un flujo de calor de 168,03KW para el cual se plantea la siguiente ecuación y determina el valor másico necesario de cascarilla a consumir:

1.35.2 Masa de cascarilla de arroz necesaria

El poder calorífico de la cascarilla de arroz es de 13800 – 15300 kJ/kg [24] el cual depende de la calidad de la cascarilla y nivel de humedad, se toma como referencia un valor intermedio de 14550 kJ/kg. El secador necesita un flujo de calor de 168,03 kW para el cual se plantea la siguiente ecuación y determinar el valor másico necesario de cascarilla a consumir por hora:

$$\dot{m}_c = \frac{Q}{P_c} \quad \text{Ec. (30) [24]}$$

Donde:

\dot{m}_c : masa de cascarilla [kg/h]

P_c : poder calorífico [kJ/kg]

Q: calor necesario [kJ/h]

$$\dot{m}_c = \frac{604903,54 \frac{KJ}{h}}{14550 \frac{KJ}{Kg}}$$

$$\dot{m}_c = 41,57 \frac{Kg}{h}$$

La cantidad de masa de cascarilla de arroz por tiempo de trabajo es de 41,57Kg.

1.35.3 Volumen de Horno

El tiempo de consumo del combustible de una hora exige un abastecimiento continuo de cascarilla de arroz durante todo el proceso para desprender el poder calorífico necesario e inducir al secador, determinando el volumen máximo del horno. Por lo consiguiente, se plantea la siguiente fórmula:

$$t = \frac{p_c * V_r}{\dot{m}} \quad \text{Ec. (31)}^7$$

Donde:

t: tiempo de consumo de la biomasa [h]

V_r : volumen horno [m³]

p_c = densidad de la cascarilla de arroz [Kg/m³]

\dot{m} : flujo másico del aire para el secado [Kg/h]

$$V_r = \frac{t * \dot{m}}{p_c}$$

$$V_r = \frac{1h * 0,57 \frac{Kg}{s} * \frac{3600s}{1h}}{110 \frac{Kg}{m^3}}$$

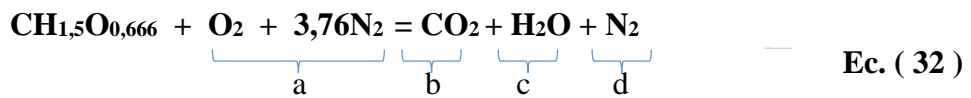
$$V_r = 18,68 m^3$$

⁷ http://www.bioenergylists.org/stovesdoc/Belonio/Belonio_gasifier.pdf

1.35.4 Cantidad de aire necesario para la combustión

Aire estequiométrico

Es la cantidad de aire necesario para combustionar la cascarilla de arroz dentro de la cámara de combustión, para ello se establece un balance de masa en el horno, donde por un lado se tiene la sustancia a combustionar en este caso la cascarilla de arroz, más el aire necesario para combustionar la biomasa y por otro lado se tiene los gases que son el resultado de la combustión.



A partir de este balance se obtiene las siguientes expresiones:

$$\text{C: } 1=b$$

$$\text{O: } 0,666+2a = 2b + c$$

$$\text{H: } 1,5 = 2c$$

$$\text{N: } 2a (3,75) =2d$$

Desarrollando las expresiones se tiene que:

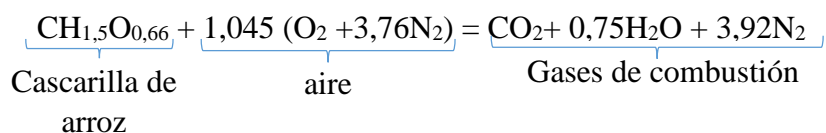
$$a = \frac{2b + 0,75 - 0,666}{2} = 1,045$$

$$b = 1$$

$$c = \frac{1,5}{2} = 0,75$$

$$d = 3,75a = 3,75 (1,045) = 3,92$$

Resueltas las expresiones se tiene como resultado el balance de masa en la cámara de combustión:



Para saber el aire que se necesita por cantidad de biomasa a combustionar se establece una relación entre la masa del aire y la masa del combustible o cascarilla en este caso.

$$R_{a/c} = \frac{m_{aire}}{m_{combustible}} \quad \text{Ec. (33)}$$

Del balance de masa se tiene los compuestos de aire y combustible y posteriormente reemplazado cada elemento por su peso molecular se tiene:

$$R_{a/c} = \frac{1,045(O_2 + 3,76N_2)}{CH_{1,5}O_{0,66}}$$

$$R_{a/c} = \frac{1,045(16(2)) + 3,76(14(2))}{(12 + 1)5 + 16(0,666)} = 4,77$$

Esto indica que por cada unidad de masa de combustible se necesita o se debe de suministrar 4,77 unidades de masa de aire para lograr la reacción de combustión.

Velocidad volumétrica del aire para el secado

Sabiendo la relación del aire respecto al combustible se determina que para el proceso de secado se requieren 41,57 kg de cascarilla teniendo la siguiente expresión:

$$m_a = R_{a/c} * m_c \quad \text{Ec. (34)}$$

Donde:

m_a : masa de aire para la combustión

$R_{a/c}$: relación aire-combustible

m_c : Cantidad de cascarilla de arroz a combustionar para el proceso de secado

$$m_a = 4,77 * 41,57kg = 198,3kg$$

Esto quiere decir que se necesitan 198,3 kg de aire para combustionar 41,57 kg de cascarilla de arroz dentro de la cámara de combustión.

Con el dato de la masa de aire requerida para combustionar la cascarilla en el proceso de secado el cual tiene una duración de 30 min se determina la velocidad de aire o flujo de aire que debe ingresar a la cámara de combustión por unidad de tiempo ϕ_a .

$$\phi_a = \frac{198,3kg}{1800s} = 0,11 \frac{kg}{s} \quad \text{Ec. (35)}$$

Sabiendo la densidad del aire ($1,23 \text{ kg/m}^3$) se determina la velocidad volumétrica del aire (v_a).

$$v_a = \frac{0,11 \frac{kg}{s}}{1,23 \frac{kg}{m^3}} = 0,48 \frac{m^3}{s} \quad \text{Ec. (36)}$$

Figura 51: Blower 2”



Fuente: es.aliexpress.com

1.35.5 Dimensionamiento del horno

El horno está compuesto por una parrilla donde se asienta la cascarilla de arroz, y unos tubos transversales (diámetro 2") que guiaran el aire caliente hacia el secador obteniendo el calor de la combustión de la cascarilla de arroz, el flujo de aire caliente se obtiene del ventilador industrial previamente seleccionado. El largo de la parrilla es de 1m y posee una cubierta circular para el cual se determina sus dimensiones.

La cámara de combustión tiene la forma cilíndrica, misma que está conectada a los tubos del intercambiador de calor y previamente calculado el volumen que ocupa la cascarilla de arroz y los tubos del intercambiador, se procede a dimensionar la cámara de combustión:

$$A_{cil} = \pi * \varnothing * l \quad \text{Ec. (37)}$$

Donde:

A_{cil} : área del cilindro

l_p : Longitud de la parrilla

\varnothing_c : Diámetro del cilindro

$$A_{cil} = \pi * \varnothing_c * l_p$$

$$\frac{V_R}{l_p} = \pi * \varnothing_c * l_p$$

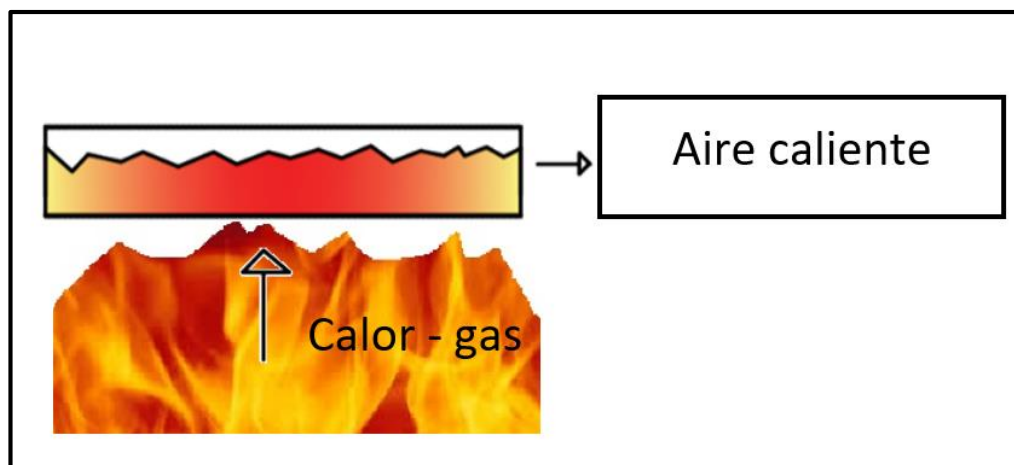
$$\varnothing_c = \frac{3,73m^3}{\pi * (1m)^2} \quad \text{Ec. (38)}$$

$$\varnothing_c = 1,19 m$$

El diámetro exterior es de 1,19 m, donde asienta la parrilla para la ceniza.

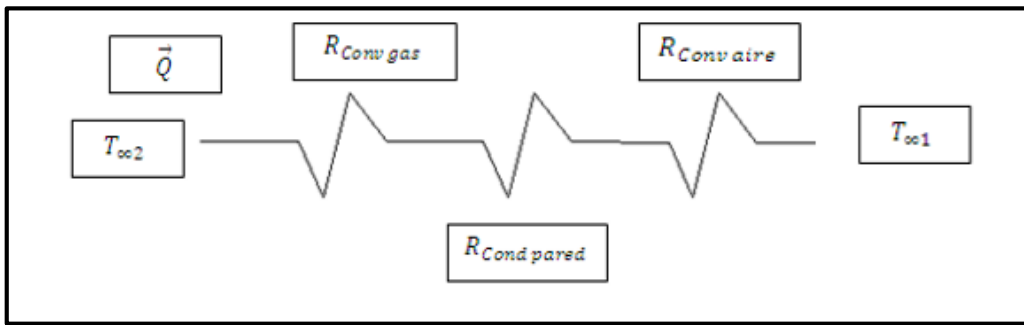
1.35.6 Temperatura en el horno

Figura 52: Generación de aire



Fuente: Autores [2017]

Figura 53: Red térmica del sistema



Fuente: Autores [2017]

Donde:

\vec{Q} : Flujo de calor

$R_{Conv\ aire}$: Resistencia de convección del aire

$R_{Conv\ pared}$: Resistencia de conducción de la pared del horno

$R_{Con\ gas}$: Resistencia de convección del gas generado en el horno

$T_{\infty 2}$: Temperatura del aire caliente

$T_{\infty 1}$: Temperatura del horno

L_c : Longitud del área transversal del cilindro

k : Coeficiente de conductividad térmica del material (acero ASTM 240 – 16,3 w/m °k) **ver**

ANEXO 5

r_2 : Radio externo del tubo

r_1 : Radio interno del tubo

h_c . Coeficiente de conductividad por convección (del aire: 11 w/m² °K ; gas 237 w/m² °k)

$$R_{equivalente} = R_{Conv\ gas} + R_{Cond\ pared} + R_{Conv\ aire} \quad \text{Ec. (39)}$$

$$R_{conv\ aire} = \frac{1}{2\pi r L h} \quad \text{Ec. (40)}$$

$$R_{CONV\ aire} = \frac{1}{2 * \pi * 0,051m * 11 \frac{W}{m^2 * ^\circ K}} = 0,2837 \frac{^\circ K}{W}$$

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

$$R_{conv\ gas} = \frac{1}{2 * \pi * 0,051m * 1m * 237 \frac{W}{m^2 * ^\circ K}} = 0,0132 \frac{^\circ K}{W}$$

$$R_{Cond\ pared} = \frac{\ln(r_2 - r_1)}{2\pi L ^\circ K} \quad \text{Ec. (41)}$$

$$R_{Cond\ pared} = \frac{\ln(0,003m)}{2\pi * 1m * 16,3 \frac{W}{m * ^\circ K}} = -0,0567 \frac{^\circ K}{W}$$

$$\vec{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{equivalente}} \quad \text{Ec. (42)}$$

$$\vec{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{Conv\ gas} - R_{Cond\ pared} + R_{Conv\ aire}}$$

$$T_{\infty 1} = \vec{Q} * (R_{conv\ gas} + R_{Cond\ pared} + R_{Conv\ aire}) T_{\infty 2}$$

$$T_{\infty 1} = \left(0,0132 \frac{^\circ K}{W} - 0,0567 \frac{^\circ K}{W} + 0,2837 \right) + (43 + 273^\circ K)$$

$$T_{\infty 1} = 6,75W \left(0,2402 \frac{^\circ K}{W} \right) + 316^\circ K$$

$$T_{\infty 1} = 371,62^\circ K - 273^\circ C$$

$$T_{\infty 1} = 44,62^\circ C$$

$$T_{\infty 1} = 44,62^\circ C * 1,3$$

$$T_{\infty 1} = 58^\circ C$$

La temperatura necesaria a desarrollar en el horno para transmitir una temperatura de 43 °C al secador es de 44,62°C, pero, debido a las pérdidas en el sistema según la FAO, son del 30%, la temperatura necesaria en el sistema es de 58,008 °C.

1.35.7 Cálculo de cilindro del horno

Para el recipiente del cilindro del horno se preseleccionó el material ASTM A167 (200MPa) ver ANEXO 5 con un espesor $t=3\text{mm}$, debido a que no existen presiones internas. Se procede a realizar un análisis estructural del cilindro partiendo de la expresión de esfuerzos para cilindros de pared delgada, que es considerado porque el espesor de la pared es menor que 1/10 del radio ($r=1192$)

$$\frac{r}{10} > t_c$$

$$\frac{1192\text{mm}}{10} > 3\text{mm}$$

$$119,2 > 3$$

Entonces se tiene la siguiente expresión.

$$\sigma_a = \frac{P_r}{2t} \quad \text{Ec. (43)}$$

Donde:

P: Presión externa

r: Radio cilindro

t_c : espesor

σ_a : Esfuerzo cilindro

$$\sigma_a = \frac{0,101 \frac{N}{\text{mm}^2} (1192\text{mm})}{2(3\text{mm})}$$

$$20,07 \frac{N}{mm^2}$$

El esfuerzo que va a soportar es cilindro debido a la presión es de 20,07 MPa.

El esfuerzo de diseño del material está dado por la siguiente expresión.

$$\sigma_d = \frac{s_y}{n} \quad \text{Ec. (44)}$$

Donde:

σ_d : Esfuerzo de diseño

s_y : Límite elástico

n= factor de diseño (2)

$$\sigma_d = \frac{200MPa}{2}$$

$$\sigma_d = 100 MPa$$

Se compara el esfuerzo de diseño con el esfuerzo al cual va a estar sometido el cilindro y se determina que el material seleccionado es apto para cumplir con las funciones de diseño.

1.36 Tabla de resultados

Tabla 7: Resultados

SECADOR TIPO TORRE DE (PERSIANAS) 1 tn/h			
PARÁMETRO	DENOMINACION	VALOR PROMEDIO	UNIDAD
Volumen de 1 tn de arroz	V	0.855	m ³
Altura del secador	h	2,85	m
Masa de agua que contiene 1 tn de arroz con un % de humedad del 17%.	m_{H_2O}	170	kg
Masa de agua ha evaporar de 1 tn de arroz hasta que contenga un 13% de humedad.	m_{H_2O}	40	kg
Calor necesario para evaporar el % de agua del sistema	Q	25	kw
Flujo másico de aire para el secado	m_a	0,57	Kg/s
velocidad del aire para el secado	Q_a	0,57	m ³ /s
		0,62	

DISEÑO DE LAS BANDEJAS			
PARÁMETRO	DENOMINACION	VALOR PROMEDIO	UNIDAD
Volumen que incide sobre la bandeja en el caso más crítico	V	0,03542	m ³
Masa total dentro de la bandeja distribuida de forma lineal	m	20,72	kg
Carga distribuida de la masa del grano	q _l	203,056	N/m
Esfuerzo cortante máximo		10,15	N
Momento máximo que soporta la bandeja		0,2538	N.m
Espesor	t	0,0156	mm
3			
HORNO DE COMBUSTIÓN BIOMASA (CASCARILLA DE AROZ)			
PARÁMETRO	DENOMINACION	VALOR PROMEDIO	UNIDAD
Potencia del quemador	Q	168,03	KW
Masa de cascarilla	m _c	41,57	Kg/h
Volumen de necesario de cascarilla de arroz	V _r	18,65	m ³
Volumen de biomasa acumulado para la combustión	V _r	3,73	m ³
Flujo del aire para la combustión	Ø _a	0,11	Kg/s
Diámetro de la cámara de combustión	Ø	1,19	m

Fuente: Autores [2017]

1.37 Análisis Económico.

Se detalla los costos necesarios para la fabricación del sistema de secado de arroz, que consta de un horno de cascarilla de arroz y de un secador tipo torre de granos de arroz, en el cual se plantea los diferentes rublos de inversión catalogados en tres secciones, materia prima que es el costo que tienen los materiales utilizados en la construcción de los equipos, mano de obra que es el costo establecido para el uso del esfuerzo humano, y los costos indirectos de fabricación que corresponden a los valores generados por el diseño e ingeniería.

1.37.1 Rentabilidad del proyecto.

La viabilidad de un proyecto radica en su rentabilidad, en función de los beneficios y cumplimiento de estándares que este disponga, la investigación se ejecutó en los centros de

secado de grano, especial mente en el secado de arroz, donde la fuente de energía utilizada es la obtenida por los quemadores de GLP.

Para determinar este valor se relaciona el costo del GLP necesario para el secado del arroz que es de \$0,774433 USD por cada 1 Kg para el sector industrial⁸ se sabe que 1Kg de GLP genera una potencia 14 kW⁹ y tenemos que la necesidad energética para el secado es de 168 kW, se establece la siguiente relación:

$$\begin{array}{r} 1 \text{ kg} \quad \text{—————} \quad 14\text{kW} \\ x \quad \text{—————} \quad 168 \text{ kW} \end{array}$$

Resolviendo se obtiene $x=12$, lo cual determina que para generar 168 kW/h de energía se necesita 12 kg de GLP, lo que equivale a un costo de \$ 10,84 por proceso de secado, entonces:

$$\$ 10,84 * 8h = \$86,74/\text{día} * 5 \text{ día} = \$433 \text{ por semana}$$

Entonces el costo de GLP en un año (52 semanas):

$$52 * \$433,70 = \$22552,36 \text{ al año}$$

Se analiza el costo del biocombustible para determinar un valor económico en relación al GLP, dando un valor de 0,15 centavos de dólar el kg de cascarilla de arroz, debido a que en muchos de los casos la cascarilla es desechada, en el proceso de secado de la gramínea previamente se calculó que se necesita 41,57 kg para cubrir con la potencia requerida de 168 kW:

$$41,57\text{kg por proceso de secado} * 8h = 332,56\text{kg} * 0,15\$/\text{kg} = \$49,88 \text{ al día} * 5 \text{ días} = \$249,42 \text{ semana}$$

Por lo cual en un año el costo es (52 semanas):

$$52 * \$249,42 = \$1247,1 \text{ al año}$$

⁸ <http://www.eppetroecuador.ec>

⁹ <https://www.repsol.energy/es/conocenos/index>

\$22552,36-\$1247,1=\$9585,52 de ahorro anual

Con el uso de la cascarilla de arroz anualmente se obtiene un ahorro de \$9582,52 dólares para el secado de arroz.

1.37.2 Costos

Tabla 8 : Costos de materiales

Cantidad	Detalle	Costo U. \$	Costo Total \$
14	Plancha de Acero ASTM A36 1055X2400 3 mm	53,94	755,16
1	Plancha de Acero ASTM A36 1055X2400 6 mm	107,88	107,88
4	Plancha de Acero Inoxidable 310 1055X2400 3 mm	282,46	1129,84
1	Plancha de Acero Inoxidable 310 1055X2400 6 mm	526,30	526,30
5	Tubo Estructural Ne. Cu (3")	27,15	135,75
1	Tubo circular 2" ASTM A-500	10,38	10,38
1	Lana de vidrio	9,52	107,58
3	Tubo Ac. Inox. 304 2"x1,2m	59,10	177,34
2	Platinas (1")	8,17	16,34
10	Ang. Imp. (2x1/8)	13,83	138,30
8	Ang. Imp. (1x1/8)	6,23	49,84
1	Ventilador industrial HCT	481,84	481,84
1	Blower 2". Salida	120,00	120,00
84	Pernos M12x80	1,30	109,20
8	Pernos M10x40	0,75	6,00
29	Esparrago M12x80	1,30	37,70
12	Paneles de Aislación Térmica 50 mm	139,05	1668,60
		TOTAL	5578,05

Fuente: Autores [2017]

Tabla 9: Mano de obra y equipos

Cantidad	Detalle	Costo U. \$	Costo Total \$
2	Soldador (día de trabajo)	45,45	454,55
2	Ayudante (día de trabajo)	133,60	336,36
1	Maquinaria de montaje	280,00	280,00
			1070,91

Fuente: Autores [2017]

Tabla 10: Otros costos

Cantidad	Detalle	Costo U. \$	Costo Total \$
20	Alquiler de maquinaria	8,00	160,00
25	Ayudante	16,00	400,00
			560,00

Fuente: Autores [2017]

Tabla 11: Costo total

COSTO TOTAL	
Subtotal (Materia prima + Mano de obra + C.I.F.)	\$7.208,96
Otros (provisional)	\$360,45
Ingeniería de diseño 10%	\$720,90
IVA 12%	\$908,33
TOTAL	\$9.198,63

Fuente: Autores [2017]

1.37.3 Cálculo del VAN Y TIR

Tabla 12: Ingresos

INGRESOS					
AÑO	1	2	3	4	5
Ahorro	\$ 9582,52	\$ 10061,65	\$ 10564,73	\$ 11092,97	\$ 11647,62

Fuente: Autores [2017]

Tabla 13: Egresos

EGRESOS					
AÑO	1	2	3	4	5
Consumo de energía eléctrica	\$218,73	\$218,73	\$218,73	\$218,73	\$218,73
Operador	\$500,00	\$500,00	\$500,00	\$500,00	\$500,00
Mantenimiento	\$380,00	\$380,00	\$380,00	\$380,00	\$380,00
Depreciación (5 años)	\$1839,73	\$1839,73	\$1839,73	\$1839,73	\$1839,73
Otros	\$240,00	\$240,00	\$240,00	\$240,00	\$240,00
TOTAL	\$7214,46	\$7214,46	\$7214,46	\$7214,46	\$7214,46

Fuente: Autores [2017]

Tabla 14: Flujo de efectivos

FLUJO DE EFECTIVOS					
AÑO	1	2	3	4	5
	\$	\$	\$	\$	\$
Valor	2748,07	3227,19	3730,27	4258,51	4813,16

Fuente: Autores [2017]

Tomado un total de 5 años de vida útil del proyecto y una tasa de interés de 0.10 o el 10%

Se realiza el cálculo del VAN y TIR.

$$VAN = \$4.242,31$$

$$TIR = 26\%$$

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1.38 Conclusiones.

- Se concluye que para el diseño de un sistema horno-secador que realice la función de secado de la gramínea de arroz, se deben de considerar diversos factores y estándares de calidad de secado emitidos por la Organización de la Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), como son la temperatura ideal de secado, tiempo que la gramínea debe de permanecer dentro del secador, el % de humedad recomendado para el almacenamiento de granos entre otras consideraciones.
- El tipo de secador idóneo para secar arroz a través del calor obtenido de la ignición de la cascarilla de arroz es de tipo torre (persianas) de contraflujo el cual permite obtener una buena calidad de secado en un menor tiempo, esto es debido a que se considera una buena distribución de las bandejas que conforman los módulos de secado, por lo cual con la ayuda del software SOLIDWORKS se diseñó y seleccionó el material adecuado dependiendo del tipo de funcionamiento que tendrán a cada uno de sus elementos que lo conforman.
- En base a los requerimientos energéticos del secador de 168 kW que es lo necesario para secar la gramínea hasta el % de la humedad del 13 %, se diseñó el horno apropiado para la combustión de biomasa (cascarilla de arroz) la cual contiene características esenciales para ser utilizada como combustible, esto debido a su poder calorífico de 14550 kJ/kg y entregar la potencia requerida al secador, dimensionando el volumen de la cámara de combustión a 18,65m³ en base a la cantidad de biomasa requerida de 41,57 Kg, la cual ingresará de manera dosificada a 0,023 Kg/s.
- Al utilizar la cascarilla de arroz como combustible en hornos de biomasa para secar gramínea de arroz en una secadora tipo torre (de persianas) con una capacidad de una tonelada, se tiene un costo anual de \$1247,01 y al utilizar quemadores que utilizan como fuente de energía para su funcionamiento gas licuado de petróleo (GLP) el cual representa un costo anual de \$2252,36, entonces se determinó el ahorro anual que se

obtiene al emplear biomasa como combustible en el secado de gramínea dando un valor de \$9585,52 el cual representa una ganancia en términos financieros y un beneficio en términos económicos, por ser una fuente de energía de menor costo en comparación con combustibles de residuos fósiles.

1.39 Recomendaciones

- Existen organizaciones que se encargan de señalar la calidad a cumplir en la gramínea, por tal motivo se recomienda para el diseño de un secador, tener en consideración estos estándares de calidad con el fin de asegurar un diseño que cumpla con parámetros idóneos en el proceso de secado de la gramínea de arroz.
- El porcentaje de humedad a quitar en gramínea está relacionado con el uso posterior que se le dé, en la selección del tipo de secador se recomienda tener en cuenta los parámetros de secado conociendo este factor, adicionalmente el volumen de gramínea a secar influye en la selección debido a que cada tipo de secador está diseñado para cumplir con parámetros específicos de secado.
- La cantidad de combustible a quemar en un horno de combustión está ligada a la necesidad energética en el secador, con ello se recomienda conocer dicho factor para el posterior diseño de un horno de combustión destinado a entregar energía en forma de calor para el proceso de sacado de la gramínea y con ello poder determinar correctamente la cantidad de combustible, adicionando que este afectará en la dimensión de la cámara de combustión y por ende en las dimensiones entre otras características en el horno de combustión.
- Se recomienda el diseño de máquinas y equipos que aprovechen la biomasa de origen residual como fuente de energía en el secado de la gramínea u otros, puesto que estos no

generan un gasto alguno en su obtención en comparación con otras de fuentes de energía que generan gastos elevados en su obtención.

CAPÍTULO VI
BIBLIOGRAFÍA

- [1] L. A. Allauca Pincay, H. E. Amen Loor y J. P. Lung Alvarez, «USO DE SILICE EN HORNOS DE ALTO DESEMPEÑO,» 2009.
- [2] K. F. Kiple y K. C. Ornelas, *The cambridge World History of food*, 2000.
- [3] R. G. Budynas y J. K. Nisbett, *Shigley's Mechanical Engineering Design*, 10 ed., New York: McGraw-Hill Education, 2015.
- [4] A. S. Hall, A. R. Holowenko y H. G. Laughlin, *Teoria y Problemas de Diseño de Maquinas*, McGRAW-HILL, 1971.
- [5] C. R. Romeva, *Selección de materiales en el diseño de máquinas*, 2008.
- [6] V. A. Dalpasquele, D. A. Marques Pereira, R. Sinicio y D. Oliveira Filho, «Organizacion de las Naciones Unidas para la Agricultura y la alimentacion,» 1991. [En línea]. Available: <http://www.fao.org/docrep/x5059S/x5059S00.htm#Contents>.
- [7] R. G. S. José, *TEORIA DE LA COMBUSTION*, 2001.
- [8] INER, «Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables,» 2014. [En línea]. Available: <http://www.iner.gob.ec/biomasa/>.
- [9] V. A. Dalpasquale, D. Queiroz, J. A. Marques Pereira y R. Sinico, «Organizacion de las naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentacion,» 1991. [En línea]. Available: <http://www.fao.org/docrep/x5058s/x5058S00.htm#Contents>.
- [10] B. C. D. E. R. D. C. S. AGROPECUARIO, «Banco Central del Ecuador,» 2017. [En línea]. Available: <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/PublicacionesNotas/Catalogo/Encuestas/Co yuntura/Integradas/etc201604.pdf>.
- [11] J. E. O. Machado, *Características Fisico Mecánica y Análisis de Calidad de Granos*, Bogota, 2001.
- [12] A. Valverde G, B. Sarrial I y J. P. Monteagudo Y, «ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LA CASCARILLA DE ARROZ,» *Scientia et Technica*, p. 6, 2007.
- [13] L. Tipanluisa, G. Moreno, J. Guasumba, S. Celi y J. Molina, «Estudio experimental de la combustión de la cascarilla de arroz en una cámara de lecho fijo,» *Revista de la Facultad de Ciencias Químicas*, p. 7, 2014.
- [14] R. L. Norton, *Diseño de Maquinaria*, 4ta ed., 2009.
- [15] R. Avilés y J. I. Cuadrado, *Informe sobre los estudios y la profesión de ingeniería mecánica*, 2011.
- [16] I. A. d. p. y. d. gas, *Seguimiento Energetico de hornos de proceso*, 2015.

- [17] S. M. Walas, Chemical Process Equipment, Selection and Design, Massachusetts: Howard Brenner, 1990.
- [18] A. P. Blasetti, «Metodo generalizado para predecir el funcionamiento de hornos».
- [19] ASTM, Standard Terminology Relating to Refractories C 71.
- [20] W. F. Smith y J. Hashemi, Fundamentos de la Ciencia e Ingenieria de Mteriales, 4ta ed., 2006.
- [21] D. R. Askeland, P. P. Fulay y W. J. Wright, Ciencia e Ingeniería de Materiales, 6 ed., Cengage Learning Editores, S.A., 2012.
- [22] W. D. Callister, Materials Science and Engineerring, 2007.
- [23] F. Kreith, R. M. Manglik y M. S. Bohn, Principles of Heat Transfer, 7 ed., vol. 7, 2011.
- [24] C. Yunus A. y B. Michael A., Termodinamica, 8va ed., México, 2015.
- [25] P. M. PE, Biomasa Residual Vegetal: Tecnologías de transformación y estado actual, 2014.
- [26] A. R. Salvador, «Aprovechamiento de la biomasa como fuente de energía alternativa a los combustibles fósiles,» 2010.
- [27] A. Ciro , «Organizacion de las Naciones Unidas Para la Alimentacion Y la Agricultura,» 1993. [En línea]. Available: <http://www.fao.org/docrep/X5027S/x5027S00.htm#Contents>.
- [28] J. A. Rodrigez, Introducción a la Termodinámica con algunas Aplicaciones a la Ing, México, 1990.
- [29] J. P. Incropera y D. P. De itt, FUNDAMENTOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR, 4ta ed., México, 1999.
- [30] D. Kunii y O. Levenspiel, Fluidization Engineering, 4ta Edition ed., Florida: R. Krieger Publihing Company INC, 1987.
- [31] R. M. C, Principales Procesos y Sistemas de Acondicionamiento y Almacenaje de Granos.
- [32] C. A. d. Dios, «Organizacion de las naciones unidas para la agricultura y la ganaderia,» 1996. [En línea]. Available: <http://www.fao.org/docrep/x5028s/X5028S00.HTM>.
- [33] Á. J. Gordillo Rivero y J. G. Moreno, Labores culturales y recolección de los cultivos ecológicos, 2015.

[34] L. Georinna y L. Hatcher, INTRODUCTION TO STANDARDS AND SPECIFICATIONS FOR DESIGN.

CAPÍTULO VII

ANEXOS

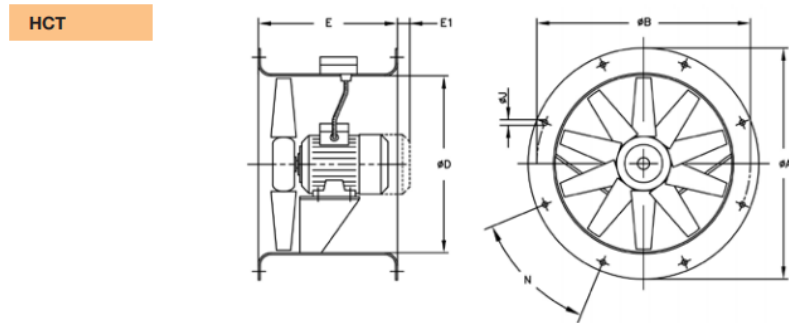
ANEXO 1: CATÁLOGO DE VENTILADORES HELICOIDALES HCT

60Hz

Características técnicas

Modelo	Velocidad (r/min)	Intensidad máx admisible (A)			Potencia instalada (kW)	Caudal máximo (m³/h)	Nivel presión sonora dB(A)	Peso aprox. (Kg) HCH
		230V	400V	690V				
HCT 25-2T	2670	0,64	0,37		0,09	1950	64	7
HCT 25-2M	2760	0,79			0,09	1950	64	7
HCT 25-4T	1320	0,65	0,38		0,09	1000	50	7
HCT 25-4M	1380	0,65			0,10	1000	50	7
HCT 31-2T	2750	1,21	0,70		0,18	2300	70	8

Dimensiones mm



Modelo	ØA	ØB	ØD	E	E1	ØJ	N
HCT-25	310	280	240	230	10	10	4x90°
HCT-31	350	320	280	270	-	10	4x90°
HCT-35	425	395	355	280	-	10	8x45°
HCT-40	490	450	410	320	-	12	8x45°
HCT-45	540	500	460	360	-	12	8x45°
HCT-50	600	560	514	360	-	12	12x30°
HCT-56	660	620	560	400	-	12	12x30°
HCT-63	730	690	640	430	-	12	12x30°
HCT-71	810	770	710	500	-	12	16x22°30'

Fuente: SODECA [2017]

ANEXO 2: ACERO ASTM A36

ASME/ASTM A36



Acero al carbono estructural de acuerdo al estándar ASME/ASTM A36/A 36M

Este grado se utiliza principalmente pernado, atornillado, o soldados en la construcción de puentes y edificios, y para propósitos estructurales en general.

Composición química acero A36

	Hasta 3/4 in.	Sobre 3/4 in. hasta 1-1/2 in.	Sobre 1-1/2 in. Hasta 2-1/2 in.	Sobre 2-1/2 hasta 4 in.	Sobre 4 in.
Carbono	0.25	0.25	0.26	0.27	0.29
Manganeso	--	.80/1.20	.85/1.20	.85/1.20	.85/1.20
Fósforo	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Azufre	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Silicio	.40 max	.40 max	.15/.40	.15/.40	.15/.40
Cobre min % cuando se especifica de acero de cobre	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

* Nota: Por cada reducción de 0,01% por debajo del máximo especificado de carbono, un aumento del 0,06% de manganeso por encima de la cantidad máxima prevista será permitido, hasta el máximo de 1,35%.

Propiedades mecánicas acero A36

Resistencia a la tracción:	58,000 - 80,000 psi [400-550 MPa]
Min. Punto de fluencia:	36,000 psi [250 MPa]
Elongación en 8":	20% min
Elongación en 2":	23% min

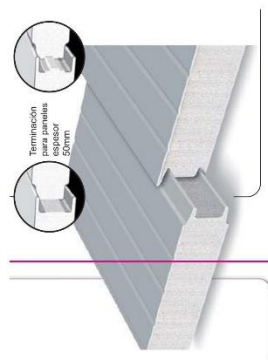
ANEXO 3: PANELES DE AISLACIÓN TÉRMICA



Guía
Productos
Lana de Roca • PUR • PIR

ndido,
strucciones

<p>PANELES NÚCLEO LANA DE ROCA LDR FireProof</p> <ul style="list-style-type: none"> Alta capacidad de resistencia al fuego. Óptima aislación acústica. Material no combustible. Densidad aparente: 100 [kg/m³] +/- 15% según norma NCh 1071 OF84 1ª Edición) 	<p>PANELES NÚCLEO LANA DE ROCA LDR FireProof</p> <ul style="list-style-type: none"> Terminación cara superior: liso, arquitectónico o frisado (dos tipos). Trascara de acero liso o frisado Espesores: 50, 80, 100 y 150 mm Ancho útil: 1150 mm
<p>PANELES NÚCLEO PUR ThermoProof</p> <ul style="list-style-type: none"> Alta capacidad de aislación térmica. Material autoextinguible. Densidad nominal: 40 [kg/m³] +/- 2 [kg/m³] 	<p>PANELES NÚCLEO PUR ThermoProof</p> <ul style="list-style-type: none"> Terminación cara superior: liso, arquitectónico o frisado (dos tipos). Trascara de acero liso o frisado Espesores: 30, 50, 80, 100 y 150 mm Ancho útil: 1150 mm
<p>PANELES NÚCLEO PIR ThermoFire</p> <ul style="list-style-type: none"> Alta capacidad de aislación térmica. Aumenta en comparación con el PUR su capacidad de resistencia al fuego. Material autoextinguible. Densidad nominal: 40 [kg/m³] +/- 2 [kg/m³] 	<p>PANELES NÚCLEO PIR ThermoFire</p> <ul style="list-style-type: none"> Terminación cara superior: liso, arquitectónico o frisado (dos tipos). Trascara de acero liso o frisado Espesores: 30, 50, 80, 100 y 150 mm Ancho útil: 1150 mm
<p>PANELES NÚCLEO POLIESTIRENO EXPANDIDO POL o EPS</p> <ul style="list-style-type: none"> Óptima aislación térmica. Material autoextinguible. Densidades disponibles: 20 ó 15 [kg/m³] 	<p>PANELES NÚCLEO POLIESTIRENO EXPANDIDO POL o EPS</p> <ul style="list-style-type: none"> Terminación cara superior: liso, arquitectónico o frisado (dos tipos). Trascara de acero liso o frisado Espesores: 50, 75, 100, 120, 150, 200 y 250 mm Ancho útil: 1150 mm



Aplicaciones / Usos Recomendados

PANEL	USO RECOMENDADO		
	Cubierta	Revestimiento Lateral Exterior	Revestimiento Interior (Muro y/o Cielo)
ThermoProof / ThermoFire PT-40 y PT-60 (núcleo PUR)	•	•	•
FireProof PT-40 y PT-60 (núcleo Lana de Roca LDR)	•	•	•
FriegoProof PT-40 y PT-60 (núcleo POL)	•	•	•
ThermoProof / ThermoFire Wall (núcleo PUR)	•	•	•
FireProof Wall (núcleo Lana de Roca LDR)	•	•	•
FriegoProof Wall (núcleo POL)	•	•	•

Nota: El uso de cada panel depende de la estructura de apoyo, sobre la cual se instala. Consultar por soluciones particulares con nuestra área técnica.

Tabla Comparativa Propiedades Núcleos Aislantes

PROPIEDAD	PUR	PIR	LDR	POL
Tipo de Celada	Cerrada o Rígida	Cerrada o Rígida Capilaridad	Celada de alta	Cerrada Rígida
Temperatura de Degradación [°C]	600	600	250	80 - 90
Temperatura Máxima de Exposición Continua [°C]	110	150 - 160	450	80
Temperatura Máxima de Exposición Temporal [°C]	140	180	750	100
Estabilidad Dimensional [°C]	-40 a 90	-40 a 120	800	-40 a 80
Permeabilidad Núcleo	Impermeable	Impermeable	Permeable	Permeable al vapor. Impermeable al agua.
Conductividad Térmica [W/mK] a 20°C	0,025	0,026 - 0,029	0,039	Para POL de 20 kg/m³ : 0,038 Panel 50 mm : 0,70 Panel 75 mm : 0,46 Panel 100 mm : 0,35 Panel 120 mm : 0,28 Panel 150 mm : 0,23 Panel 200 mm : 0,175
Transmitancia Térmica [W/m² °C]	Panel espesor 50 mm : 0,465	Panel espesor 50 mm : 0,465	60 mm : 0,65 100 mm : 0,39	

Nota: Transmitancia térmica de materiales de aislamiento: norma NCh 885. Casos de uso del producto. Para datos asociados a otros espesores de panel, consultar con área técnica.

Tabla Peso Propio Paneles

FireProof Núcleo Lana de Roca	ThermoProof Núcleo PUR	ThermoFire Núcleo PIR	FriegoProof Núcleo POL
<p>FireProof 40</p> <p>ESPESES (mm) : 50, 80, 100, 150</p> <p>PESO PROPIO (kg/m²) : 14,26; 15,26; 17,26; 19,26; 24,26</p>	<p>ThermoProof 40</p> <p>ESPESES (mm) : 30, 50, 80, 100, 150</p> <p>PESO PROPIO (kg/m²) : 9,94; 10,74; 11,94; 12,74</p>	<p>ThermoFire 40</p> <p>ESPESES (mm) : 30, 50, 80, 100, 150</p> <p>PESO PROPIO (kg/m²) : 9,97; 9,77; 10,97; 11,77; 13,77</p>	<p>FriegoProof 40</p> <p>ESPESES (mm) : 50, 75, 100, 120, 150, 200, 250</p> <p>PESO PROPIO (kg/m²) : 9,56; 10,06; 10,56; 10,96; 11,56; 12,56; 13,56</p>
<p>FireProof 60</p> <p>ESPESES (mm) : 50, 80, 100, 150</p> <p>PESO PROPIO (kg/m²) : 15,43; 16,43; 18,43; 20,43; 25,43</p>	<p>ThermoProof 60</p> <p>ESPESES (mm) : 30, 50, 80, 100, 150</p> <p>PESO PROPIO (kg/m²) : 10,68; 11,48; 12,68; 13,48</p>	<p>ThermoFire 60</p> <p>ESPESES (mm) : 30, 50, 80, 100, 150</p> <p>PESO PROPIO (kg/m²) : 8,97; 9,77; 10,97; 11,77; 13,77</p>	<p>FriegoProof 60</p> <p>ESPESES (mm) : 50, 75, 100, 120, 150, 200, 250</p> <p>PESO PROPIO (kg/m²) : 10,16; 10,66; 11,16; 11,56; 12,16; 13,16; 14,16</p>
<p>FireProof Wall</p> <p>ESPESES (mm) : 50, 80, 100, 150</p> <p>PESO PROPIO (kg/m²) : 12,77; 13,77; 15,77; 17,77; 22,77</p>	<p>ThermoProof Wall</p> <p>ESPESES (mm) : 30, 50, 80, 100, 150</p> <p>PESO PROPIO (kg/m²) : 8,97; 9,77; 10,97; 11,77; 13,77</p>	<p>ThermoFire Wall</p> <p>ESPESES (mm) : 30, 50, 80, 100, 150</p> <p>PESO PROPIO (kg/m²) : 8,97; 9,77; 10,97; 11,77; 13,77</p>	<p>FriegoProof Wall</p> <p>ESPESES (mm) : 50, 75, 100, 120, 150, 200, 250</p> <p>PESO PROPIO (kg/m²) : 8,77; 9,27; 9,77; 10,17; 10,77; 11,77; 12,77</p>
<p>FireProof Pro</p> <p>ESPESES (mm) : 50, 80, 100, 150</p> <p>PESO PROPIO (kg/m²) : 10,13; 11,33</p>	<p>ThermoProof Pro</p> <p>ESPESES (mm) : 30, 50, 80</p> <p>PESO PROPIO (kg/m²) : 8,97; 9,77; 10,97; 11,77; 13,77</p>	<p>ThermoFire Pro</p> <p>ESPESES (mm) : 30, 50, 80</p> <p>PESO PROPIO (kg/m²) : 8,97; 9,77; 10,97; 11,77; 13,77</p>	<p>FriegoProof Pro</p> <p>ESPESES (mm) : 50, 75, 100, 120, 150, 200, 250</p> <p>PESO PROPIO (kg/m²) : 9,13; 9,63; 10,13; 10,53; 11,13; 12,13; 13,13</p>

Nota: Para los núcleos se consideró: Poliestireno expandido de 20 [kg/m³], Poliuretano PIR de 40 [kg/m³], Poliuretano PIR de 40 [kg/m³], Poliuretano PIR de 40 [kg/m³], Poliuretano PIR de 40 [kg/m³], Poliuretano PIR de 40 [kg/m³].

ANEXO 4. CARACTERÍSTICAS DEL BLOWER

Tipo centrífugo ventilador de CA

TaiZHou JIAYI Electronic & Machinery Co., Ltd



铝壳鼓风机2"



铝壳鼓风机3"



中压风机



鼓风机

Introducción de rendimiento

La serie CZR es un ventilador de CA centrífugo accionado por un motor eléctrico de funcionamiento monofásico, y la serie CZT es un ventilador de CA centrífugo accionado por un motor eléctrico trifásico de CA asíncrono. Se caracterizan por su gran flujo de aire, fuerte presión del viento, bajo consumo de energía, baja temperatura y apariencia elegante, que son ampliamente utilizados para el soporte de combustión, soplado y enfriamiento en familias, comedores, calderas pequeñas, hornos de hierro, y otros lugares

离心式交流鼓风机主要参数

The main technical parameters

机号 machine (NO)	转速 rotation speed (r/min)	功率 power (W)	风量 volume flow (m ³ /h)	全压 total pressure (Pa)
CZR-33	2800	0.04	0.6	135
CZR-38	2800	0.06	1.1	180
CZR-42	2800	0.08	1.7	260
CZR-45	2800	0.10	2	300
CZR-48	2800	0.12	2.5	380
CZR-52	2800	0.15	3.2	490
CZR-60	2800	0.18	4.5	540
CZR/CZT-68	2800/2850	0.25	6.5	680
CZR/CZT-75	2800/2850	0.37	8.5	785
CZR/CZT-80	2800/2850	0.55	10	885
CZR/CZT-90	2800/2850	0.75	14	1000
CZR/CZT-105	2800/2850	1.1	20	1080
CZT-110	2850	1.5	23	1100
CZT-113	2850	1.7	25	1120
CZT-120	2850	2.2	32	1180
CZT-135	2850	3.5	50	1370

Fuente: <http://www.zjiayi.cn/en/product.aspx?id=6>

ANEXO 5: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ACERO INOXIDABLE

TABLA DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ACERO INOXIDABLE		Acero al Cromo Níquel				Acero refractario								
		304	304 L	321	309	310	310 S							
DESIGNACIÓN	TIPO ASTM (AISI)													
	COMPOSICIÓN QUÍMICA	C% 0,08 Máx. Min% 2,00 Máx. S% 1,00 Máx. Cr% 18,0020,00 Ni% 8,0010,50				C% 0,08 Máx. Min% 2,00 Máx. S% 1,00 Máx. Cr% 17,0019,00 Ni% 9,0012,00 Ti%>5xC%0,07				C% 0,25 Máx. Min% 2,00 Máx. S% 1,50 Máx. Cr% 24,0026,00 Ni% 19,0022,00				
	PESO ESPECÍFICO (g/cm ³)	7,9				7,9				7,9				
	MÓDULO DE ELASTICIDAD (N/mm ²)	193.000				193.000				200.000				
	ESTRUCTURA	AUSTENÍTICO				AUSTENÍTICO				AUSTENÍTICO				
	CALOR ESPECÍFICO A 20C (J/Kg K)	500				500				500				
	CONDUCTIBILIDAD TÉRMICA (W/m K)	16 21				16 21,5				12,5 17,5				
	PROPIEDADES FÍSICAS	INTERVALO DE FUSIÓN (C)	13981454				13981427				13981454			
		PERMEABILIDAD TÉRMICA EN ESTADO SOLUBLE RECOCIDO	AMAGNÉTICO 1,008				AMAGNÉTICO 1,008				AMAGNÉTICO 1,008			
		CAPACIDAD DE RESISTENCIA ELÉCTRICA A 20C (μΩ.m)	0,72				0,72				0,76			
		17,30 17,80 18,40 18,80				16,74 17,10 18,54 19,26				14,9 16,7 17,3 18,-				
PROPIEDADES ELÉCTRICAS		13981454				13981427				13981454				
		AMAGNÉTICO 1,008				AMAGNÉTICO 1,008				AMAGNÉTICO 1,008				
		0,72				0,72				0,79				