

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

DISEÑO DE UNA SECADORA DE MALANGA

DE 2000 Kg/h DE CAPACIDAD

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO

MECÁNICO

SAMUEL ELÍAS ZAMBRANO PILATUÑA

samuelzambrano_1983@hotmail.com

DIRECTOR: ING. JAIME VARGAS

jvargas@epn.edu.ec

Quito, AGOSTO 2012

DECLARACIÓN

Yo, **SAMUEL ELÍAS ZAMBRANO PILATUÑA**, declaro bajo juramento, que el proyecto “**DISEÑO DE UNA SECADORA DE MALANGA DE 2000 Kg/h DE CAPACIDAD**” fue realizado bajo mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que he consultado de las fuentes bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mi derecho de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

SAMUEL ELÍAS ZAMBRANO PILATUÑA

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico fue desarrollado por el señor **SAMUEL ELÍAS ZAMBRANO PILATUÑA** bajo nuestra supervisión.

Ing. Jaime Vargas

DIRECTOR DEL PROYECTO

Ing. Orwield Guerrero

COLABORADOR

Ing. Jorge Escobar

COLABORADOR

AGRADECIMIENTO

A mi padre de los cielos, que me dio la tenacidad y la fortaleza para seguir adelante.

A mis padres por ser el pilar fundamental de mi vida, y el apoyo incondicional en todo momento. A mis hermanos, tíos, que me ayudaron en ciertos momentos de mi vida.

A los Ingenieros Jaime Vargas, Orwield Guerrero, Jorge Escobar y Juan Carlos Flores por su asesoramiento profesional para despejarme las dudas referentes al presente proyecto.

A mis compañeros de aula, que me brindaron su apoyo.

Samuel Zambrano

DEDICATORIA

*A mis padres Gonzalo y Cecilia, por ser un
apoyo incondicional.*

A mi princesa Gema, por ser mi inspiración.

A toda mi familia, por sus consejos.

Samuel Zambrano

ÍNDICE

DECLARACIÓN	I
CERTIFICACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTO.....	III
DEDICATORIA.....	IV
CAPITULO 1	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 MALANGA.....	2
1.2.1 CARACTERÍSTICAS DE LA MALANGA.....	4
1.2.2 SISTEMÁTICA.....	4
1.2.2.1 Porte.....	4
1.2.2.2 Estructura.....	4
1.2.2.3 Condiciones climáticas y de suelo.....	5
1.2.2.4 Valor nutricional.....	6
1.2.3 UTILIZACIÓN	7
1.2.4 MANEJO DE CULTIVO	8
1.2.4.1 Riego.....	8
1.2.4.2 Enfermedades causadas por hongos en la malanga	8

1.2.4.3	Como prevenir el daño ocasionado por estos patógenos.	9
1.2.4.4	Rendimiento.	9
1.2.4.5	Temporadas de cultivo	9
1.2.5	PRODUCCIÓN	10
1.2.5.1	Principales países productores.....	10
1.2.5.2	Principales países exportadores.....	11
1.2.5.3	Principales países consumidores	11
1.3	SECADO.....	12
1.3.1	PROCESO DE SECADO DE TUBÉRCULOS	12
1.3.2	ESTUDIO DEL SECADO DE ALIMENTOS.....	13
1.3.2.1	Parámetros de secado.	13
1.3.2.1.1	Transferencia de Calor.....	14
1.3.2.1.2	Equilibrio Vapor-líquido	14
1.3.2.1.3	Atmosfera de secado	15
1.3.2.1.4	Condiciones del aire ambiente	16
1.3.2.1.5	Características físicas del tubérculo.....	16
1.3.2.1.6	Naturaleza de la humedad	19
1.3.2.2	Velocidad de secado	21
1.3.2.2.1	Velocidad de secado por convección	22
1.3.2.2.2	Velocidad de secado por conducción.....	22

1.3.2.2.3	Velocidad de secado por radiación	23
1.3.2.3	Curvas Fundamentales del secado	23
1.4	MÉTODOS DE SECADO	23
1.4.1	Secado Natural	24
1.4.1.1	Secado natural sobre el suelo	24
1.4.1.2	Secado natural en bandejas o tendales.....	25
1.4.2	Secado artificial	26
1.4.2.1	Secado tipo horno	26
1.4.2.2	Secadores continuos de bandas	27
1.5	ELEMENTOS PRINCIPALES DE UNA SECADORA DE MALANGA	29
1.5.1	ESTRUCTURA PRINCIPAL.....	29
1.5.2	SISTEMA MOTRIZ	30
1.5.3	CÁMARA DE SECADO	30
1.5.4	BANDA TRANSPORTADORA.....	31
1.5.5	SISTEMA DE CALENTAMIENTO	31
CAPITULO 2	.....	33
ESTUDIO Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DEL PROTOTIPO	.....	33
2.1	INTRODUCCIÓN.....	33
2.2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	33
2.3	PARÁMETROS FUNCIONALES.....	34

2.4	PARÁMETROS DE DISEÑO.....	35
2.4.1	CAPACIDAD DE SECADO	35
2.4.2	TEMPERATURA DE TRABAJO.....	35
2.4.3	ESPACIO FÍSICO (ALTURA, ANCHO, LARGO).....	36
2.4.4	PESO DEL PROTOTIPO.....	36
2.4.5	MECANISMO BANDA TRANSPORTADORA	36
2.4.6	SISTEMA DE APORTACIÓN DE CALOR Y FLUJO DE AIRE	36
2.4.7	COSTO.....	36
2.5	ESTUDIO Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS	37
2.5.1	ANÁLISIS FUNCIONAL	37
2.5.1.1	Definición de análisis funcional.....	37
2.5.2	EVALUACIÓN DE SISTEMAS	38
2.5.2.1	Extraer la humedad del producto.....	38
2.5.2.1.1	Extracción mediante barras y ventiladores radiales.	38
2.5.2.1.2	Generador de aire caliente.....	39
2.5.2.1.3	Evaluación y selección de alternativas.....	40
2.5.2.2	Transportar el producto por la cámara de secado	44
2.5.2.2.1	Banda transportadora lisa	44
2.5.2.2.2	Banda transportadora de rodillos	45
2.5.2.2.3	Evaluación y selección de alternativas.....	46

2.5.2.3	Accionar la banda transportadora.....	49
2.5.2.3.1	Motorreductor.....	49
2.5.2.3.2	Motor eléctrico con banda y poleas.....	50
2.5.2.3.3	Mecanismo mediante cadena y catalina.	51
2.5.2.3.4	Evaluación y selección de alternativas.....	52
CAPITULO 3	.....	56
DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS MECÁNICOS	.....	56
3.1	INTRODUCCIÓN.....	56
3.2	DISEÑO DEL SISTEMA DE BANDA TRANSPORTADORA	56
3.2.1	DISTANCIA ENTRE RODILLOS.....	57
3.2.2	DIÁMETRO RODILLOS.....	57
3.2.3	DIMENSIONES DE LA BANDA TRANSPORTADORA	58
3.2.4	VELOCIDAD LINEAL.....	59
3.2.5	TIEMPO DE SECADO	59
3.3	DISEÑO DE LA CÁMARA DE SECADO.....	60
3.3.1	DETERMINACIÓN DE LA GEOMETRÍA DE LA CÁMARA	60
3.3.2	SELECCIÓN DE MATERIALES.....	60
3.3.3	SISTEMA DE CALENTAMIENTO	60
3.3.3.1	Estudio Psicrométrico del lugar	62
3.3.3.2	Cantidad de agua a evaporar	63

3.3.3.3	Cantidad de aire seco para evaporar el agua del producto.....	64
3.3.3.4	Calor para la evaporación del agua contenida en el producto.	68
3.3.3.4.1	Calor sensible del agua superficial.....	68
3.3.3.4.2	Calor latente de vaporización del agua.	68
3.3.3.4.3	Eficiencia térmica global.	69
3.3.3.4.4	Calor suministrado.	69
3.3.3.5	Velocidad de secado constante.....	69
3.3.3.6	Coefficiente de Transferencia por convección de la cámara.....	70
3.3.4	AISLAMIENTO TÉRMICO Y PÉRDIDAS DE CALOR.....	71
3.3.4.1	Área de Transferencia de Calor de la cámara.....	73
3.3.4.2	Resistencias térmicas en el sistema de aislamiento.....	74
3.3.4.2.1	Resistencia por convección dentro de la cámara:.....	74
3.3.4.2.2	Resistencia por convección del ambiente:.....	74
3.3.4.2.3	Coefficiente de Transferencia por convección ambiente.....	75
3.3.4.2.4	Resistencia por conducción del acero galvanizado:.....	78
3.3.4.2.5	Resistencia por conducción del aislamiento de poliuretano: .	78
3.3.4.2.6	Resistencia por conducción de la chapa metálica:.....	79
3.3.4.2.7	Resistencia total.....	79
3.3.4.3	Pérdidas de calor por aislamiento térmico:.....	80
3.3.4.4	Pérdidas de calor a la entrada y salida del producto.	82

3.3.5	BALANCE ENERGÉTICO.....	83
3.3.6	GENERADOR DE AIRE CALIENTE	84
3.4	SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE COMBUSTIBLE GLP	85
3.4.1	TANQUE DE ALMACENAMIENTO.....	85
3.4.2	CONSUMO DE COMBUSTIBLE.....	86
3.4.3	SELECCIÓN DE LA TUBERÍA	87
3.4.4	SELECCIÓN DEL REGULADOR DE PRESIÓN	88
3.5	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA	89
3.6	DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS MECÁNICOS	90
3.6.1	POTENCIA DE ACCIONAMIENTO.....	91
3.6.1.1	Potencia necesaria para mover la banda descargada	91
3.6.1.2	Potencia para vencer las resistencias de rozamiento	92
3.6.1.3	Potencia necesaria para elevar la carga.....	93
3.6.1.4	Potencia total Necesaria.....	93
3.6.1.5	Selección del Motorreductor	94
3.6.1.6	Potencia efectiva del motor	94
3.6.2	DISEÑO DE EJES	95
3.6.2.1	Fuerza de accionamiento tambor motriz.....	95
3.6.2.2	Tensiones de entrada y salida.....	96
3.6.2.3	Diseño estático.....	96

3.6.2.3.1	Reacciones en los apoyos del eje	97
3.6.2.3.2	Diagramas de fuerzas cortantes y momentos flectores	99
3.6.2.3.3	Diámetro mínimo.....	101
3.6.3	CÁLCULO DE LENGÜETAS	103
3.6.3.1	Falla por corte	103
3.6.3.2	Falla por aplastamiento	104
3.6.4	SELECCIÓN CADENA, PIÑÓN Y CATALINA.....	105
3.6.4.1	Selección de la Cadena de rodillos	105
3.6.4.2	Selección Piñón y Catalina	106
3.6.5	SELECCIÓN DE RODILLOS	107
3.6.6	PESO DE LA BANDA TRANSPORTADORA.....	108
3.6.6.1	Numero de rodillos.	108
3.6.6.2	Peso total de rodillos	108
3.6.6.3	Peso total de la cadena de rodillos	109
3.6.6.4	Peso de la malanga.....	109
3.6.6.5	Peso total de la banda.....	110
3.6.7	SELECCIÓN DE RODAMIENTOS Y SOPORTES	110
3.6.7.1	Fuerza radial	111
3.6.7.2	Carga Dinámica equivalente	111
3.6.7.3	Factor de velocidad	112

3.6.7.4	Factor de esfuerzos dinámicos	112
3.6.7.5	Vida Nominal en rpm y en horas	112
3.6.8	SOLDADURA DE LA SECADORA	114
3.6.8.1	Soldadura de la estructura y de la cámara de secado	114
CAPITULO 4	.....	115
CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE	.....	115
4.1	INTRODUCCIÓN	115
4.2	REQUERIMIENTOS	115
4.2.1	MATERIALES	116
4.2.2	MANO DE OBRA	117
4.2.3	MÁQUINAS HERRAMIENTAS Y EQUIPOS	117
4.3	PROCESO CONSTRUCTIVO.....	118
4.3.1	CONSTRUCCIÓN.....	119
4.3.1.1	Diagrama de flujo construcción	119
4.3.2	MONTAJE	121
CAPITULO 5	.....	124
COSTOS DE LA MÁQUINA	.....	124
5.1	INTRODUCCIÓN	124
5.2	COSTOS DIRECTOS	124
5.2.1	MATERIALES Y EQUIPOS.....	124

5.2.2	ELEMENTOS MECÁNICOS	125
5.2.3	COSTOS DE FABRICACIÓN MAQUINADO Y MONTAJE.....	126
5.2.4	COSTOS DE AISLAMIENTO TÉRMICO DE LA CÁMARA	126
5.2.5	COSTO DEL SISTEMA DE GLP.....	127
5.2.6	COSTOS DE DISEÑO	128
5.2.7	TOTAL COSTOS DIRECTOS.....	128
5.3	COSTOS INDIRECTOS.....	128
5.3.1	MATERIALES CONSUMIBLES	129
5.3.2	TRANSPORTE Y VARIOS.....	129
5.3.3	TOTAL COSTOS INDIRECTOS	129
5.4	COSTO TOTAL DE LA MÁQUINA.....	130
CAPITULO 6		131
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		131
6.1	CONCLUSIONES	131
6.2	RECOMENDACIONES	133

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura. 1.1 Secadora de malanga mediante convección forzada.	28
Figura. 1.2 Estructura principal.	29
Figura. 1.3 Sistema motriz (motorreductor).	30
Figura. 1.4 Cámara de secado.	30
Figura. 1.5 Banda transportadora.	31
Figura. 1.6 Sistema de calentamiento.	32
Figura. 2.1 Extracción mediante barras conductoras y ventiladores.	39
Figura. 2.2 Calentadores de aire.	40
Figura. 2.3 Banda transportadora lisa	44
Figura. 2.4 Banda de rodillos	45
Figura. 2.5 Motorreductor coaxial.	49
Figura. 2.6 Mecanismo Motor eléctrico con banda y poleas.	50
Figura. 2.7 Mecanismo mediante cadena y catalina.	51
Figura. 3.1 Esquema de banda transportadora para secado de malanga.	57
Figura. 3.2 Ilustración del proceso de secado de malanga.	61
Figura. 3.3 Proceso Psicrométrico de secado de la malanga.	65
Figura. 3.4 Composición de la pared de la cámara y diagrama de resistencias. ..	72
Figura. 3.5 Esquema de las dimensiones de las paredes del secador.	73
Figura. 3.6 Esquema del balance energético de la cámara de secado.	83

Figura. 3.7 Cargas aplicadas en la estructura.	89
Figura. 3.8 Simulación del factor de seguridad.....	90
Figura. 3.9 Esquema de la configuración geométrica del eje (a)	97
Figura. 3.10 Diagrama de cuerpo libre del eje (a)	97
Figura. 3.11 Fuerza cortante y momento flector del eje (a) en el plano(x-y).	99
Figura. 3.12 Fuerza cortante y momento flector del eje (a) en el plano(x-z).	100
Figura. 3.13 Diagrama de momentos en el espacio del eje (a).....	100
Figura. 3.14 Dimensiones de la lengüeta.	103
Figura. 3.15 Esquema soldadura a tope chapa metálica.	114
Figura. 3.16 Junta a filete en ángulos y chapa metálica.	114
Figura. 4.1 Diagrama de flujo montaje de la máquina	123

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Comparación del contenido alimenticio del cormo de la malanga.	7
Tabla 1.2 Comparación del contenido alimenticio de las hojas de malanga.	7
Tabla 1.3 Principales países productores de malanga (x1000T).	10
Tabla 1.4 Principales países exportadores de malanga (x1000T).	11
Tabla 1.5 Principales países consumidores de malanga (x1000T).	11
Tabla 2.1 Evaluación de cada criterio.	41
Tabla 2.2 Evaluación de alternativas respecto a la calidad de secado.	42
Tabla 2.3 Evaluación de alternativas respecto al costo del equipo.	42
Tabla 2.4 Evaluación de alternativas respecto al costo de operación.	42
Tabla 2.5 Evaluación de alternativas respecto a la sencillez del mecanismo.	43
Tabla 2.6 Evaluación de alternativas respecto a la fiabilidad.	43
Tabla 2.7 Tabla de conclusiones para el sistema de calentamiento.	43
Tabla 2.8 Evaluación de cada criterio.	46
Tabla 2.9 Evaluación de alternativas respecto al costo de operación.	47
Tabla 2.10 Evaluación de alternativas respecto al costo del equipo.	47
Tabla 2.11 Evaluación de alternativas respecto a la sencillez del mecanismo.	47
Tabla 2.12 Evaluación de alternativas respecto a la fiabilidad.	48
Tabla 2.13 Evaluación de alternativas respecto a la adaptabilidad.	48
Tabla 2.14 Tabla de conclusiones para el sistema de banda transportadora.	48

Tabla 2.15 Evaluación de cada criterio.	52
Tabla 2.16 Evaluación de alternativas respecto al costo de operación.....	53
Tabla 2.17 Evaluación de alternativas respecto al costo del equipo.	53
Tabla 2.18 Evaluación de alternativas respecto a la sencillez del mecanismo.	53
Tabla 2.19 Evaluación de alternativas respecto a la fiabilidad.....	54
Tabla 2.20 Evaluación de alternativas respecto a la adaptabilidad.....	54
Tabla 2.21 Conclusiones para el accionamiento de la banda transportadora.	54
Tabla 2.22 Conclusiones de selección de los sistemas de la cámara de secado.	55
Tabla 3.1 Parámetros psicrométricos de Santo Domingo de los Colorados.	62
Tabla 3.2 Datos de humedad en base húmeda obtenidos en el DECAB.....	63
Tabla 3.3 Presión atmosférica en función de la altura	67
Tabla 3.4 Pérdidas de calor en función del espesor del aislante.	81
Tabla 3.5 Características técnicas generador de aire caliente.	84
Tabla 3.6 Características técnicas tanque de almacenamiento GLP.....	86
Tabla 3.7 Características técnicas regulador de presión REGO.....	88
Tabla 3.8 Características del motorreductor para la potencia de accionamiento.	94
Tabla 3.9 Resultantes de apoyos, momentos, torque y diámetros calculados.	102
Tabla 3.10 Dimensiones de lengüetas.	105
Tabla 3.11 Dimensiones de la cadena de rodillos.	106
Tabla 3.12 Características del piñón.	107

Tabla 3.13 Características de la catalina.....	107
Tabla 3.14 Característica del rodillo	108
Tabla 3.15 Valores para los rodamientos de bolas.....	113
Tabla 4.1 Materia prima.	116
Tabla 4.2 Equipo requerido en la fabricación y montaje.	117
Tabla 4.3 Simbología diagrama de flujo para la fabricación.	120
Tabla 4.4 Operaciones mecánicas para la construcción de la secadora.	120
Tabla 4.5 Actividades que se realizan en el montaje.....	122
Tabla 5.1 Costo de materiales.	125
Tabla 5.2 Costo de elementos mecánicos.....	125
Tabla 5.3 Costo de maquinado.	126
Tabla 5.4 Costo de aislamiento térmico de la cámara.	126
Tabla 5.5 Costos del sistema de GLP.	127
Tabla 5.6 Costos de diseño.....	128
Tabla 5.7 Total costos directos.	128
Tabla 5.8 Costo materiales consumibles.....	129
Tabla 5.9 Total costos indirectos.....	129
Tabla 5.10 Costo Total de la máquina.....	130

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Carta psicrometrica a 500 msnm.....	137
Anexo 2 Informe de resultados de análisis.....	138
Anexo 3 Propiedades del aire a la presion de una atmosfera.....	139
Anexo 4 Catálogo generador de aire caliente JETFIRE.	140
Anexo 5 Capacidad de vaporización del GLP.	141
Anexo 6 Capacidad de vaporización de tanques de GLP con 20% de llenado...	142
Anexo 7 Dimensión de la tubería seleccionada.	143
Anexo 8 Selección del regulador REGO.	144
Anexo 9 Valores de coeficiente “C” para la banda transportadora.	145
Anexo 10 Selección del motorreductor.....	146
Anexo 11 Acero para ejes AISI 4340.	147
Anexo 12 Selección lengüetas.	148
Anexo 13 Acero para lengüetas AISI 1045.....	149
Anexo 14 Factores de corrección de dientes (SHIGLEY).....	150
Anexo 15 Catálogo cadena de rodillos.....	151
Anexo 16 Catálogo catalina Ivan Bohman.....	152
Anexo 17 Catálogo Rolac para rodillos de la banda.	153
Anexo 18 Selección rodamiento rígido de bolas.....	154
Anexo 19 Diagrama de flujo construcción de los diverso elementos.	155

Anexo 20 Cotización aislamiento de poliuretano.	156
Anexo 21 Hojas de procesos	157
Anexo 22 Planos.....	166

SIMBOLOGÍA

a :	Ancho de la cámara [m]
A_t :	Área de Transferencia de Calor de la cámara [m^2]
A_s :	Área de secado [m^2]
C :	Coefficiente según la longitud de transporte
$d_{min,m}$:	Diámetro mínimo malanga [m]
d_{rod} :	Diámetro rodillos [m]
$d_{max,m}$:	Diámetro máximo malanga [m]
E_b :	Potencia emisiva superficial [W/m^2]
\dot{E}_{ent} :	Energía que entra al sistema [W]
\dot{E}_{sale} :	Energía que sale del sistema [W]
e_{ac} :	Espesor de la chapa metálica [m]
e_{pol} :	Espesor de la capa de aislamiento de polímero [m]
G_g :	Peso por metro lineal de banda [Kg/m]
G_s :	Peso de partes giratorias de los rodillos [Kg/m]
h :	Altura de la cámara [m]
h_c :	Coefficiente de transferencia por convección de la cámara [$W/m^2 \cdot K$]
h_{amb} :	Coefficiente de transferencia por convección del ambiente [$W/m^2 \cdot K$]
h_1 :	Entalpia del aire a la temperatura ambiente [KJ/Kg]

h_2 :	Entalpia del aire después del calentamiento $[KJ/Kg]$
H_{fg} :	Calor latente de vaporización $[KJ/Kg]$
K_T :	Constante para porcentaje de volumen líquido en el recipiente
K_{ac} :	Conductividad térmica de la chapa metálica $[W/m \cdot K]$
K'_H :	Coefficiente de secado de diferencia de humedades $[g/s \cdot m^2]$
k :	Coefficiente de Transferencia de Calor por conducción $[W/m \cdot K]$
K_{pol} :	Coefficiente de Transferencia por conducción $[W/m \cdot K]$
L :	Longitud de la cámara $[m]$
L_{bt} :	Longitud de la banda transportadora $[m]$
l_{er} :	Distancia entre rodillos $[m]$
\dot{M} :	Capacidad de secado $[Kg/h]$
$\Delta \dot{m}_w$:	Flujo másico de agua a evaporar $[Kg/h]$
$\Delta \dot{m}_{wi}$:	Masa de agua extraída de los granos en condiciones ideales $[Kg]$
m_a :	Masa de aire seco $[Kg]$
\dot{m}_a :	Flujo másico de aire seco $[Kg/h]$
m_s :	Masa seca del producto $[Kg]$
m_v :	Masa de vapor $[Kg]$
m_w :	Masa de agua contenida en el producto $[Kg]$
N_1 :	Potencia necesaria para mover la banda descargada $[CV]$

N_2 :	Potencia necesaria para vencer las resistencias de rozamiento [CV]
N_3 :	Potencia necesaria para elevar la carga [CV]
N_t :	Potencia total necesaria [CV]
H :	Altura de carga [m]
P :	Paso de la cadena [m]
P'_{cad} :	Peso cadena de rodillos por metro [Kg/m]
$P_{T,cad}$:	Peso total cadena de rodillos [Kg]
P_{mal} :	Peso de la malanga en la banda [Kg]
$P_{piñ}$:	Peso del piñón [Kg]
P_{cat} :	Peso de la catalina [Kg]
P_{ejes} :	Peso de los ejes [Kg]
P_{rod} :	Peso del rodillo [Kg]
$P_{T,rod}$:	Peso total de los rodillos [Kg]
$P_{Tot,b}$:	Peso total de la banda [Kg]
P_{ef} :	Potencia efectiva del motor [KW]
p_v :	Presión de vapor [KPa]
p_a :	Presión de aire seco [KPa]
p :	Presión atmosférica [KPa]
Q_a :	Calor usado en la evaporación [W]

Q'_a :	Calor suministrado [W]
Q_p :	Pérdidas de calor por las paredes [W]
Q_f :	Calor aportado por el combustible [W]
Q_l :	Pérdidas de calor entrada y salida [W]
R :	Velocidad de secado [<i>Kg. de vapor/s Kg. de aire seco</i>]
R_c :	Velocidad de secado en periodo constante [<i>Kg/s · m²</i>]
$R_{conv,cam}$:	Resistencia térmica por convección de la cámara [K/W]
$R_{conv,amb}$:	Resistencia térmica por convección del ambiente [K/W]
$R_{cond,pol}$:	Resistencia térmica por conducción del poliuretano [K/W]
$R_{cond,ac}$:	Resistencia térmica por conducción del acero [K/W]
R_{tot} :	Resistencia total de la pared de la cámara [K/W]
T_3 :	Temperatura del aire después del secado [°C]
T_a :	Temperatura de la superficie acero galvanizado-cámara [°C]
T_{alr} :	Temperatura de los alrededores [K]
T_b :	Temperatura acero galvanizado-aislante [°C]
T_c :	Temperatura aislante-chapa metálica [°C]
T_d :	Temperatura superficie exterior chapa metálica [°C]
T_s :	Temperatura de secado [°C]
T_∞ :	Temperatura ambiente [°C]

T_h :	Temperatura de bulbo húmedo[°C]
T_m :	Temperatura de la malanga[°C]
t :	Tiempo de secado [s]
t_c :	Tiempo de secado en el periodo de velocidad constante [s]
\dot{V}_a :	Volumen de aire seco [m^3/h]
V_{bt} :	Velocidad lineal de la banda transportadora[m/s]
w :	Humedad absoluta [$Kg_{agua}/Kg_{aire seco}$]
w_2 :	Contenido de agua al final del calentamiento [$Kg_{agua}/Kg_{aire seco}$]
w_3 :	Contenido de agua al final de la humidificación [$Kg_{agua}/Kg_{aire seco}$]
w_4 :	Contenido de agua de saturación del aire [$Kg_{agua}/Kg_{aire seco}$]
Δw :	Incremento de humedad absoluta [$Kg. de vapor /Kg. de aire seco$]
X :	Humedad en base seca
X_s :	Humedad inicial en el sólido
X_c :	Humedad critica en el sólido
X_1 :	Humedad en base seca antes del proceso de secado
X_2 :	Humedad en base seca después del proceso de secado
X_E :	Humedad de equilibrio del producto
X_L :	Humedad libre
ΔX :	Variación de la humedad del producto en base seca

X_h :	Contenido de humedad en base húmeda
X_{h1} :	Humedad en base húmeda del producto antes del secado
X_{h2} :	Humedad en base húmeda del producto posterior al secado
z :	Espesor de secado [m]
$\#rod$:	Número total de rodillos de la banda

SIMBOLOGÍA GRIEGA

α :	Difusividad térmica [m^2/s]
β :	Angulo de inclinación de la cámara[°]
δ :	Densidad del sólido [Kg/m^3]
\emptyset :	Humedad relativa
ε :	Angulo de envoltura de la banda [°]
ϵ :	Emisividad

RESUMEN

El presente trabajo desarrolla el diseño de un secador de malanga para medianos productores y exportadores en la provincia de Santo Domingo de los Colorados.

El proyecto involucra el diseño energético de la cámara de secado y el diseño mecánico de los componentes, materiales y estructura.

En el diseño energético, se estudia los mecanismos de Transferencia de Calor y de masa dentro de la cámara así como las pérdidas de calor.

En el diseño mecánico, se realiza el análisis de los componentes que conforman la máquina, tales como: estructura metálica, elementos mecánicos y equipos.

El contenido de este texto es desglosado de la siguiente manera:

CAPITULO I. Características de la malanga, estudio del secado y clasificación de secadoras.

CAPITULO II. Estudio de las alternativas para el secador y selección de la mejor alternativa.

CAPITULO III. Diseño térmico de la cámara de secado y diseño mecánico de los componentes de la secadora.

CAPITULO IV. Análisis de cada una de las etapas del proceso constructivo.

CAPITULO V. Análisis de los costos de los elementos, equipos así como de los procesos y mano de obra involucrada.

CAPITULO VI. Conclusiones y recomendaciones del proyecto.

PRESENTACIÓN

El Ecuador es un país con una gran diversidad de climas, por lo cual posee una amplia variedad de productos agrícolas entre los que se encuentra la malanga, el cual no se aprovecha correctamente, es por ello que se pretende mejorar las condiciones actuales con las que se procesa la malanga.

El secado de la malanga se lo realiza de manera artesanal dependiendo de las condiciones climáticas. El secador de malanga permite minimizar el tiempo ocupado durante el secado y una mejor manipulación del producto.

La principal necesidad que surge para el desarrollo de este proyecto es disminuir el tiempo que se ocupa para la obtención de un producto seco evitando así la proliferación de microorganismos que lo perjudiquen.

Hay que mencionar que la máquina permite minimizar la intervención de la mano del hombre, solo se requiere un operador que controle ciertos parámetros del proceso.

El procesamiento del tubérculo se da en varias etapas: lavado, secado, clasificado y empacado. El proyecto que se desarrolla es el complemento de **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA LAVADORA DE MALANGA DE 2000 KG/H DE CAPACIDAD”** por lo que algunos de los parámetros ya se encuentran establecidos.

Los materiales, equipos, y elementos que forman parte del **“SECADOR DE MALANGA”** se los puede adquirir en el mercado nacional facilitando de esta manera su construcción.

CAPITULO 1

MARCO TEÓRICO

1.1 INTRODUCCIÓN

Para lograr un desarrollo sostenible en el país, es necesaria la implementación de nuevos e innovadores proyectos de desarrollo. Los productos agroindustriales son una excelente alternativa debido a la gran variedad de estos, su alto grado de consumo y por sus características organolépticas. El país posee las características climáticas y geográficas que favorecen el desarrollo de estos productos, sin embargo lamentablemente estas condiciones son desaprovechadas debido a la falta de tecnificación.

En el Ecuador, el cultivo de malanga se ha venido desarrollando desde hace unos quince años, las condiciones climáticas de algunas regiones del país son idóneas para su cultivo.

Existen algunas industrias dedicadas al procesamiento y exportación de este producto, algunas de las cuales no tienen las condiciones ideales para un mejor desarrollo, empleando procedimientos antiguos o tradicionales para su elaboración.

El desarrollo de proyectos vinculados a esta actividad permite mejorar las condiciones en el procesamiento de la malanga.

1.2 MALANGA¹

La malanga es considerada una de las especies de raíces y tubérculos con gran potencial en las zonas tropicales. Los cormos, denominación botánica del tallo subterráneo, se utilizan para la alimentación humana, animal y para diferentes usos industriales.

Forma parte de la dieta diaria de millones de personas alrededor del mundo, originalmente en África, Asia, Oceanía, y debido sobre todo a la fuerte inmigración a occidente recientemente en América y Europa.

A continuación, los nombres para denominar a este cultivo en algunos países:

Estados Unidos:	Dasheen, Eddoe
Venezuela:	Ocumo, Danchi
Rep. Dominicana:	Yautía
Perú:	Pituca, Calusa, uncucha
Colombia:	Malangay, Bore, Mafafa
Cuba:	Malanga, Guagui
China:	Ya
Brasil :	Mangarito, mangareto
Japón:	Imo
Puerto Rico, Trinidad:	Tobago Yautía, tania

¹<http://portal.veracruz.gob.mx/pls/portal/>

México:	macal
Honduras:	quiscamote
Costa Rica:	tiquisque
Panamá:	otó
Bolivia:	gualuza
Ecuador:	malanga, sango

El cultivo de la malanga en el país se presenta en forma comercial en la zona de Santo Domingo de los Colorados y sus alrededores desde el año de 1995, sin embargo, hay referencias de la existencia de este producto en décadas anteriores en la provincia de El Oro con el nombre de sango. Las perspectivas de inversión de este cultivo ha sido estimulada por los buenos precios y la demanda permanente en los mercados internacionales de Estados Unidos, Costa Rica y Puerto Rico, debido especialmente en el primero, a la presencia de población emigrante originaria de países centroamericanos y de la zona del caribe.

Existen algunas regiones que cuentan con las condiciones adecuadas para explotación y cultivo de malanga en Ecuador, lo que lo hace un producto con alto potencial para su implantación en el país. En la actualidad en las zonas productoras del Ecuador como Santo Domingo de los Colorados y sus alrededores (vía a Quevedo, vía Chone y vía Esmeraldas), la malanga es un producto no consumido ni comercializado en el país, toda la producción se destina a la exportación y esto debido a la falta de información sobre sus usos, con un

desconocimiento de su bondades nutricionales superiores al resto del grupo de tubérculos y raíces.

1.2.1 CARACTERÍSTICAS DE LA MALANGA²

1.2.2 SISTEMÁTICA

Clase: Angiospermae

Familia: Aráceas

Género: Xanthosoma

1.2.2.1 Porte

Alcanzan una altura de 1-3 metros, sin tallo aéreo. El tallo central es elipsoidal, conocido como corno y rico en carbohidratos (18-30% en base fresca).

1.2.2.2 Estructura

La malanga está compuesta principalmente por el corno central y hojas.

Corno

Es un tallo engrosado subterráneo, de base hinchada y crecimiento vertical del corno central se desarrollan cornos laterales recubiertos con escamas fibrosas. El color de la pulpa por lo general es blanco, pero también se presentan clones coloreados hasta llegar al violáceo. Según el clon, la forma varía de cilíndrica hasta casi esférica y el tipo de ramificación desde simple a muy ramificada.

² <http://portal.veracruz.gob.mx/pls/portal/>

Presenta marcas transversales que son las cicatrices de la hoja con frecuencia con fibras y está cubierta por una capa corchosa delgada y suelta.



Foto 1 Cormos secos de malanga.

Fuente: Propia

Hojas

Son por lo general de forma peltada. Aparecen arrolladas por la base, las nuevas hojas salen enrolladas de entre los peciolo de las ya formadas y las laterales más viejas se marchitan y secan. Es característica distintiva la presencia de líneas longitudinales amarillas o rosadas y de manchas o puntos rojizos a violáceo.

1.2.2.3 Condiciones climáticas y de suelo

Altitud

Se adapta desde el nivel del mar hasta 1500 msnm.

Precipitación

Requiere de regímenes de lluvia altas (1800-2500 mm) y bien distribuidas, cuando existe insuficiente humedad en el suelo, las hojas se tornan amarillentas y se marchitan.

Temperatura

Debe haber temperaturas promedio no inferiores a 20°C, siendo la óptima entre 25°C - 30°C. Las temperaturas menores de 18°C detienen el crecimiento y se interrumpe la fotosíntesis.

Fotoperiodo

El mejor desarrollo se alcanza con periodos de 11-12 horas luz. La luz influye sobre algunos aspectos morfológicos como el número de hojas y cormos, así como la altura de la planta.

Tipo de suelo

Las plantas se adaptan más a aquéllos profundos, fértiles, con suficiente materia orgánica y bien drenada. Deben evitarse los suelos con alto contenido de arcilla o arena. El pH óptimo debe ser entre 5.5-6.5, aunque puede adaptarse a suelos de 4.5-7.5. También puede desarrollarse en terrenos húmedos. El cultivo muestra problemas en suelos arenosos o pesados y mal drenados, así como en suelos rocosos y pedregosos ya que deforma el corno y se dificulta la cosecha.

Existen variedades que crecen bajo el agua (cultivos bajo inundación), en tanto que otras prefieren los suelos bien drenados (cultivos secos).

1.2.2.4 Valor nutricional

La composición química de los cormos es alta en nutrientes disponibles, carbohidratos y proteína, además de ser altamente digestivo, por lo que se le considera un excelente alimento. Se consumen cocidos y como harina para diversos usos como frituras.

En las Tablas 1.1 y 1.2 se muestran las concentraciones de nutrimentos, en 100 g de porción comestible en base fresca, de la malanga y la espinaca de agua y se compara con otras hortalizas y tubérculos.

Tabla 1.1 Comparación del contenido alimenticio del cormo de la malanga.

Alimento	Kcal	Proteínas (g)	Carbohidratos (g)
Malanga	8,5	2,5	19,1
Camote	103	1,0	14,0
Papa	76	1,6	17,5
Yuca	121	1,0	28,2

Fuente: Álvarez, A.M.C., 1997

Tabla 1.2 Comparación del contenido alimenticio de las hojas de malanga.

Alimento	Proteínas (g)	Calcio (mg)	Vitamina C (mg)	Vitamina A (U.L.)
Malanga	4.4	268	142	29385
Espinaca	2.9	66	40	1067
Acelga	2.9	62	6	1335

Fuente: <http://www.sica.gov.ec/agronegocios/productos/>

1.2.3 UTILIZACIÓN

La malanga tiene utilización muy variada; los cormelos se consumen cocidos, fritos, o como harina para algunos usos. Es utilizado como sustituto de la papa en sopas o estofados. Tiene un contenido de almidón superior al de la yuca. Las hojas verdes de algunos ecotipos de malanga, con bajo contenido de oxalatos pueden consumirse cocinados como una hortaliza.

1.2.4 MANEJO DE CULTIVO

El periodo normal de la plantación de malanga es a inicio de la estación de lluvias en cultivo seco; sin embargo, si se dispone de riego apropiado, este puede prolongarse todo el año. Los cultivos bajo inundación también pueden efectuarse en la época que sea más conveniente. Un indicio de que la plantación esta lista para la cosecha es que las hojas se ponen amarillas y el suelo comienza a cuartearse. La madurez se produce entre los 9-12 meses, pero la recolección puede hacerse en forma paulatina, de acuerdo a las exigencias del mercado.

1.2.4.1 Riego

Se debe suministrar riego a la plantación para suplir las necesidades hídricas hasta que se establezca la temporada de lluvia. El riego más adecuado es por gravedad.

1.2.4.2 Enfermedades causadas por hongos en la malanga

El cultivo de la malanga es afectado por muchas enfermedades fungosas cuya distribución geográfica e importancia económica varía considerablemente. El comportamiento de las enfermedades causadas por hongos patógenos es versátil y va a depender de los factores agroecológicos, ya que la proliferación de éstos es estimulada por condiciones de humedad en la noche, por el rocío, altas temperaturas, sol brillante y esporas diseminadas por el viento. Entre las enfermedades más comunes que afectan a la malanga se citan:

- Manchas foliares por *Leptosphaerulina trifoli* (Rostrup) Petrak.
- Manchas foliares por *Corynespora cassicola* (Berk and M.A. Curtis) Wei

- Manchas foliares por *Cladosporium colocasiae* Sawada.
- Manchas concéntricas de la hoja por *Colletotrichum gloeosporioides* Penz.
- Pudrición del tubérculo causada por el agente *Sclerotium rolfsi* Sacc.

1.2.4.3 Como prevenir el daño ocasionado por estos patógenos.

- Realizar una buena preparación del suelo.
- Efectuar la plantación en suelos profundos con buen drenaje.
- Dejar de plantar malanga durante tres años en áreas donde haya habido incidencia del mal seco.
- Evitar las siembras en suelos muy arcillosos.
- Utilizar semilla sana, que no provenga de campos donde se haya presentado la enfermedad, rotación de cultivos.
- Realizar aplicaciones a la semilla y al suelo con *Trichoderma* spp.

1.2.4.4 Rendimiento.

El rendimiento por hectárea sembrada de malanga es de entre 10-18 toneladas métricas aproximadamente. Una hectárea tiene como producción promedio de 300 a 400 cajas de 40 libras Premium, alrededor de 150-200 cajas de segunda calidad y el equivalente de 50-80 cajas de rechazo.

1.2.4.5 Temporadas de cultivo

Generalmente, el cultivo del tubérculo comienza en octubre y dura un promedio de 12 meses comenzando la cosecha en el octavo mes hasta el decimosexto. Se recomienda la rotación de cultivo, es decir, no sembrar el mismo producto inmediatamente después de cosecharlo, sino sembrar géneros diferentes.

1.2.5 PRODUCCIÓN

Los lugares en el Ecuador que cumplen con las condiciones climáticas para su cultivo y en los cuales se está produciendo son: Santo Domingo, Patricia Pilar, La Unión, Nuevo Israel, El Esfuerzo, Puerto Limón, Luz de América, Puerto Quito, La Concordia.

La producción de malanga en el país está destinada a la exportación, a excepción de un 15%, el cual no cumple con los mínimos requerimientos de calidad. Debido a que el mercado local es inexistente, es utilizado como alimento de ganado vacuno, caballar y caprino, en forma de harina luego de secada la malanga.

1.2.5.1 Principales países productores

En la Tabla 1.3 se observa que los principales países productores de malanga se encuentran en el continente africano, esto es debido a que son estos países que mejores condiciones presentan para el cultivo, estando en primer lugar Nigeria, con un 65% de la producción mundial.

Tabla 1.3 Principales países productores de malanga (x1000T).

Pos.	País	2004	2005	2006	2007	2008
1	Nigeria	31776	34000	36720	31136	35017
2	Costa de Marfil	4996	5160	5569	5842	6933
3	Ghana	3892	3923	4288	4376	4895
4	Benín	2257	2084	2240	1922	2527
5	Togo	636	585	621	618	638

Fuente: <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>

1.2.5.2 Principales países exportadores

En la Tabla 1.4 se observa que los países exportadores se encuentran en Centroamérica y Sudamérica exceptuando Ghana. El mayor país exportador es del último año registrado es Panamá, el país ha incrementado su exportación vertiginosamente, con una exportación mundial aproximada del 30%.

Tabla 1.4 Principales países exportadores de malanga (x1000T).

Pos.	País	2004	2005	2006	2007	2008
1	Panamá	2,39	12,31	12,01	4,11	24,58
2	Costa Rica	-	-	16,42	24,51	18,14
3	Ghana	13,04	15,62	15,87	21,32	14,67
4	Jamaica	10,41	6,31	7,54	9,66	7,63
5	Brasil	8,96	7,40	6,03	5,32	5,19

Fuente: <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>

1.2.5.3 Principales países consumidores

El primer gran mercado que se debe tomar en cuenta es el de los Estado Unidos, con un consumo de más del 50% del consumo mundial (Ver Tabla 1.5).

Tabla 1.5 Principales países consumidores de malanga (x1000T).

Pos.	País	2004	2005	2006	2007	2008
1	Estados Unidos	32,73	32,21	35,56	34,85	32,94
2	Mali	2,27	3,54	4,44	6,02	12,70
3	Níger	1,58	1,67	0,71	1,39	1,96
4	Portugal	0,04	0,12	0,146	0,25	0,27
5	Brasil	-	-	-	0,06	0,07

Fuente: <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>

1.3 SECADO³

El secado es un método de conservación de alimentos que consiste en extraer el agua, lo que inhibe la proliferación de microorganismos y dificulta la putrefacción.

El secado de alimentos mediante el sol y el viento para evitar su deterioro ha sido practicado desde la antigüedad. El agua suele eliminarse por evaporación (secado al aire, al sol, ahumado o al viento) pero, en el caso de la liofilización, los alimentos se congelan en primer lugar y luego se elimina el agua por sublimación.

1.3.1 PROCESO DE SECADO DE TUBÉRCULOS⁴

Los tubérculos tienen un alto contenido de humedad. La conservación de casi todos los productos procesados de tubérculos depende de la reducción de humedad a un nivel que prevenga el crecimiento de microorganismos. El secado es un método muy simple, común y barato para extraer la humedad de los tubérculos, y extiende su periodo de almacenado o traslado.

Para secar un producto se requiere transferir la humedad hacia el aire que lo rodea. Tanto la cantidad (flujo de aire) como el contenido de humedad (humedad relativa) del aire, así como la naturaleza propia del producto, son factores que influyen en la velocidad de secado.

La velocidad del flujo de aire es más importante que la temperatura, pero en áreas con alta humedad relativa puede ser necesario calentar el aire para disminuir su humedad a nivel que le permita absorber cantidades significativas de agua. En

³<http://es.wikipedia.org/wiki/Secado>

⁴Procesamiento de tubérculos/ Intermediate Technology Development Group; United Nations Development Fund for women; Lima: ITDG, 1998 pp. 5-8

general, el aire con una humedad relativa de 75% o más no tiene la capacidad de secar el producto, excepto en la etapa inicial, cuando la raíz está muy húmeda. El área superficial del alimento expuesta al aire también es muy importante.

Una vez eliminada la humedad superficial, se inicia una segunda etapa de secado en la cual se elimina el agua del interior del producto. El periodo de esta segunda etapa depende de la velocidad a la cual la humedad pasa a través del tejido hasta la superficie, donde se evapora al pasar el aire.

El paso del agua hacia el exterior es un proceso lento, por lo que demora más que la primera etapa. La velocidad de secado depende del contenido de humedad y de la temperatura, más que del flujo del aire.

1.3.2 ESTUDIO DEL SECADO DE ALIMENTOS

El secado es un proceso en donde se reduce la humedad del producto, hasta que sea permitido almacenarlo durante un periodo largo en condiciones ambientales ordinarias, sin que pierda sus propiedades nutricionales y organolépticas.

Las condiciones óptimas de temperatura y humedad relativa así como la correcta elección de mecanismos y fuente de energía mejoran el proceso de secado.

1.3.2.1 Parámetros de secado.

Según las condiciones, las variables para cada caso son diferentes, muchas de estas interactúan entre sí durante todo el proceso. Estos parámetros están involucrados con los siguientes tópicos:

- Transferencia de Calor.
- Equilibrio vapor-líquido.

- Atmosfera de secado.
- Condiciones del aire ambiente.
- Características físicas del tubérculo.

1.3.2.1.1 Transferencia de Calor⁵

Para secar un sólido se producen dos procesos fundamentales y paralelos:

- Transmisión del calor para evaporar el líquido.
- Transferencia de masa en humedad interna y líquido evaporado.

La Transferencia de Calor se produce predominantemente por conducción (secadores indirectos en los cuales el material se seca a través de una pared) y por convección (utilizados en secadores directos donde el material es secado por una corriente de aire que pasa a través de el sobre el material), aunque es cierto que en todos los secadores se transfiere calor por radiación, este mecanismo no es el predominante en todos los casos.

1.3.2.1.2 Equilibrio Vapor-líquido⁶

Hay algunas maneras de expresar el sistema aire-agua, esto quiere decir, la cantidad de agua presente en un sólido. Pero para ello es necesario conocer el contenido de vapor de agua en el aire circundante. Las gráficas psicrométricas son una relación definida de equilibrio en un sistema aire-agua.

⁵INCROPERA F., DE WITT D.; Fundamentos de Transferencia de Calor; Pearson Education; IV Ed; México; 1999; pp. 2-11

⁶ YUNUS A. CENGEL; Termodinámica; VI Ed; McGraw-Hill; México; 2009; pp.14-21

1.3.2.1.3 Atmosfera de secado

Para el análisis y diseño de la cámara de secado hay que tomar en cuenta los siguientes parámetros:

- Temperatura de secado.
- Presión estática y flujo de aire.
- Humedad inicial del producto.
- Flujo del producto dentro del secador.

Temperatura de secado⁷

La temperatura del aire de secado es el parámetro de mayor flexibilidad en un sistema a altas temperaturas e influye significativamente en la tasa y la eficiencia de secado y en la calidad del producto final. Un aumento de dicha temperatura significa un menor consumo de energía por unidad de agua evaporada. En cambio, las temperaturas de secado más elevadas pueden causar daños térmicos más acentuados en el producto tales como manchas. Para el caso de la malanga, la temperatura debe estar entre los 70 y 80°C.

Humedad inicial del producto

El contenido de humedad inicial también influye en la tasa de secado. Cuanto más elevado sea el contenido de humedad de un producto, mayor es la cantidad de agua evaporada por unidad de energía.

⁷<http://www.fao.org/docrep/x5059S/x5059S02.htm>

Flujo del producto dentro del secador

La velocidad con la que el material pasa por el secador, denominado con mayor frecuencia flujo de masa o tiempo de residencia del producto en el secador influye en la tasa de secado, la eficiencia del proceso y la calidad final del producto. Si el flujo de masa aumenta, el producto final es, en general, de mejor calidad. Por otra parte, hay un aumento del consumo de energía específica. El manejo adecuado de la velocidad del producto tiene importancia fundamental en el secado.

1.3.2.1.4 Condiciones del aire ambiente

A la temperatura y la humedad relativa del aire ambiente, muchas veces no se les da importancia para el secado a altas temperaturas. Estos parámetros tienen poca influencia sobre la tasa de secado; en cambio, determinan la cantidad de energía necesaria para alcanzar la temperatura de secado.

1.3.2.1.5 Características físicas del tubérculo⁸

A continuación se desglosan las características del producto a procesar como son:

- Contenido de humedad en el producto.
- Calor latente de vaporización.
- Temperatura admisible de secado.

⁸NONHEBEL, G; El Secado de sólidos en la Industria Química; Editorial Reverté S.A.; España; 2002; pp. 13-59

Contenido de humedad en el producto

Para expresar la cantidad de agua que contiene el sólido a secar, es conveniente definir ciertos parámetros como: el contenido de humedad en base seca y el contenido de humedad en base húmeda. Par ello se considera que el sólido húmedo está formada por una parte completamente seca llamada masa seca más una cierta cantidad de agua.

Contenido de humedad en base húmeda

Definido como la cantidad de agua que contiene el sólido húmedo.

$$X_h = \frac{m_w}{m_w + m_s} \quad 1-1$$

Dónde:

X_h : Contenido de humedad en base húmeda [fracción]

m_w : Masa de agua contenida en el producto [Kg]

m_s : Masa seca del material [kg]

Contenido de humedad en base seca

Es la relación expresada en porcentaje entre la cantidad de agua al sólido seco:

$$X = \frac{m_w}{m_s} \cdot 100\% \quad 1-2$$

Dónde:

X : Humedad del material en base seca [fracción]

Relacionando las ecuaciones 1-1 y 1-2 se obtiene una relación entre la humedad en base seca y en base húmeda dada por:

$$X_h = \frac{X}{X+1} \quad 1-3$$

Humedad en equilibrio

Cuando una sustancia se expone al aire no saturado comienza a evaporarse o condensarse agua en él, hasta que las presiones parciales del vapor contenido en el aire y del líquido contenido en el sólido se igualen. El sólido y el aire están en equilibrio, definiendo como humedad en equilibrio.

Humedad libre

Humedad que puede perder un producto al estar expuesto a suficiente aire a condiciones estables, expresado como la diferencia entre la humedad en base seca y la humedad en equilibrio.

$$X_L = X - X_E \quad 1-4$$

Dónde:

X_L : Humedad libre

X_E : Humedad en equilibrio

Humedad ligada

Cantidad mínima de humedad para considerar al sólido como higroscópico.

Humedad desligada

Humedad que contiene una sustancia que ejerce una presión de vapor similar a la del líquido puro a la misma temperatura.

Humedad crítica (X_c)

Punto en el que termina la humedad ligada y empieza la humedad desligada.

1.3.2.1.6 Naturaleza de la humedad

Casi siempre la humedad contenida en cualquier producto se presenta como agua, según sea la naturaleza entre la humedad y la masa seca se distinguen:

Líquido contenido en el producto

En el producto existe cierta cantidad de líquido que forma parte de estos y que está bien diferenciada como son:

- Líquido adherente o absorbente.
- Líquido impregnado o capilar.
- Líquido bajo tensión osmótica.

Líquido adherente o absorbente

Una parte del agua en el producto, está estrechamente vinculada con la sustancia absorbente. Se compone de una capa mono-molecular ligada a determinados agrupamientos moleculares. La tensión superficial del líquido adherente o absorbente corresponde a su valor de saturación para cada temperatura.

Líquido impregnado o capilar

Es agua que se puede mantener libremente en los espacios correspondientes a los poros del producto gracias a fuerzas capilares. Esta cantidad se conoce como agua de impregnación. Denominada también agua libre o absorbida, tiene las mismas propiedades que en estado natural. La presencia en el producto lo inhabilita para el almacenamiento, puede favorecer el desarrollo de hongos y bacterias. El líquido se evapora fácilmente en el secado.

Líquido bajo tensión osmótica

Los granos contienen además agua líquida bajo tensión osmótica. Es líquido solvente que retiene diferentes sustancias en las células del material. Permite las reacciones químicas en consecuencia el desarrollo de enzimas y demás hongos.

Calor latente de vaporización del agua contenida en el tubérculo⁹

El calor latente de vaporización es la energía necesaria para realizar un cambio de fase y se define como una medida de la cantidad de energía para secar un determinado material y permite dimensionar la capacidad de la fuente de energía.

Se han desarrollado un sin número de modelos matemáticos que permiten dimensionar el calor latente de vaporización presente en el producto, uno de estos está dado por:

$$H_{fg} = (606 - 0,507 \cdot T) \cdot [1 + 4,35 \cdot e^{-28,25 \cdot X}] \quad 1-5$$

Dónde:

H_{fg} : Calor latente de vaporización del agua contenida en el sólido. [KJ/Kg]

T : Temperatura del producto. [°C]

Temperatura admisible del producto

Esta variable depende del tipo de producto a tratar, se determina la temperatura admisible del producto, por ser un valor particular de cada producto. Para el caso particular de la malanga esta temperatura no debe exceder los 35°C, porque podría ocasionar daños en el producto.

⁹<http://www.utp.edu.co/php/revistas/ScientiaEtTechnica/docsFTP/151220127-132.pdf>

1.3.2.2 Velocidad de secado¹⁰

En el proceso de secado se asume que toda el agua extraída de los granos pasa a formar parte del aire de secado, entonces, el balance de masa es expresado de la siguiente manera:

$$\Delta m_w = m_a \Delta w = m_s \Delta X \quad 1-6$$

Dónde:

Δm_w : Masa de agua a evaporar [Kg]

m_a : Masa de aire seco [Kg]

m_s : Masa seca del producto [Kg]

Δw : Incremento de humedad absoluta [Kg. de vapor / Kg. de aire seco]

ΔX : Variación de la humedad del producto en base seca

La velocidad de secado se expresa como la variación de la humedad en base seca del producto por unida del tiempo.

$$R = \frac{\dot{m}_w}{m_s} = \frac{\Delta X}{t} \quad 1-7$$

Dónde:

\dot{m}_w : Tasa de cambio de la masa de agua extraída de los granos [Kg/s]

R : Velocidad de secado por unidad de tiempo [Kg. de vapor / Kg. de aire seco]

t : Tiempo [s]

¹⁰NONHEBEL, G; El Secado de sólidos en la Industria Química; Editorial Reverté S.A.; España; 2002; pp. 13-59

1.3.2.2.1 Velocidad de secado por convección

La energía necesaria para secar el producto es suministrado solamente por el calor sensible del gas de secado, mientras el líquido se disminuye evaporando la corriente de gas, puede formularse un equilibrio dinámico entre la velocidad de suministro de calor y la velocidad de eliminación de líquido de la siguiente manera:

$$\frac{dR}{dt} = \frac{h_c \cdot A_s \cdot (T_s - T_m)}{H_{fg}} \quad 1-8$$

Dónde:

h_c : Coeficiente de Transferencia de Calor por convección [$W / m^2 K$]

A_s : Área de Transferencia de Calor por convección [m^2]

T_m : Temperatura de la malanga. [$^{\circ}C$]

T_s : Temperatura de secado. [$^{\circ}C$]

H_{fg} : Calor latente de vaporización. [KJ / Kg]

1.3.2.2.2 Velocidad de secado por conducción

En el secado por conducción, el sólido húmedo se calienta a través de una pared, de manera que el líquido se evapora y sale de la instalación en forma de vapor. Los secadores operan frecuentemente a presión reducida, lo cual sirve para reducir la temperatura de ebullición del líquido, y aumentar así la diferencia de temperatura entre el medio calefactor y el sólido. La velocidad de secado depende del aporte de calor al material, dada por la ecuación 1-9:

$$\frac{dW}{dt} = \frac{10^3}{\lambda} \cdot \frac{dQ}{dt} \quad 1-9$$

Dónde:

Q : Flujo de calor [W]

1.3.2.2.3 Velocidad de secado por radiación

Generalmente la Transferencia de Calor por radiación solo presenta una mínima mejora de la Transferencia de Calor por convección o conducción.

1.3.2.3 Curvas Fundamentales del secado

La representación gráfica de la velocidad de secado frente a la humedad del producto o frente al tiempo se denomina curva de secado y dependen del tipo de producto a tratar. Este parámetro no es el mismo durante todo el proceso, es decir, que la eliminación de agua se realiza en una serie de etapas en las que la velocidad de secado es diferente. Generalmente la forma de las curvas es complicada y deben obtenerse experimentalmente. Desde el punto de vista teórico pueden realizarse algunos cálculos aproximados en alguna de las etapas anteriormente mencionadas.

1.4 MÉTODOS DE SECADO

Los métodos existentes para el secado de tubérculos varían desde los sistemas tradicionales básicos, que consiste en aprovechar la radiación solar, o un secado artificial mediante el empleo de secadoras mecánicas haciendo pasar una corriente de aire seco y caliente por la masa del tubérculo. Esta sección cubre los métodos y equipos utilizados según su grado de sofisticación, costos, tiempos de

secado y capacidad. A pesar de que estos métodos representan la variedad de tecnologías disponibles, no ha sido muy utilizado para el secado de tubérculos.

En muchas zonas de América del sur, y en varias partes del mundo, una parte importante de la producción de tubérculos se seca en forma primitiva. El uso de esta técnica acarrea elevadas pérdidas de producción, puesto que el tubérculo queda expuesto durante lapsos prolongados a condiciones adversas y a la acción de depredadores

1.4.1 Secado Natural

Originalmente no existía la preocupación por almacenar los productos y disminuir la humedad de los mismos, se realizaban en el campo propiamente dicho. El secado se realizaba de acuerdo a las condiciones ambientales del lugar, principalmente por la radiación solar incidente y el viento.

En los países en desarrollo se explica el uso del secado natural, realizado hasta alcanzar el grado de humedad ideal para el almacenamiento, porque los agricultores, en su mayoría, desconocen las técnicas más modernas.

1.4.1.1 Secado natural sobre el suelo

En este método de secado el producto es esparcido en un área amplia sobre el suelo en el cual aprovechando la radiación se disminuye la humedad superficial.

Características:

- No requiere de infraestructura.
- Solo se necesita un área limpia sobre el suelo.
- Bajo costo.

- El tiempo de secado depende de las condiciones climáticas.
- La capacidad de secado depende del área disponible.

1.4.1.2 Secado natural en bandejas o tendales

El secado natural en tendales es un procedimiento en el cual el producto se esparce sobre una base con una ligera inclinación para facilitar el secado.

El intercambio de energía y humedad, entre el aire y el producto, queda limitado casi exclusivamente a la superficie de la capa de producto, por lo que es necesario revolver el tubérculo periódicamente.

El viento lleva la humedad perdida por el producto, a la capa de aire ubicada inmediatamente sobre él. Dos factores fundamentales para el secado de productos agrícolas son: temperatura y humedad relativa del aire ambiente, pues el aire posee una capacidad máxima para evaporar humedad.

La radiación solar genera energía térmica que provoca el calentamiento del producto y el movimiento acelerado de la humedad, el flujo se da desde el interior hacia la superficie del producto, facilitando el secado.

El uso de tendales para el secado está muy extendido en el país y alrededor del mundo, por las facilidades que presenta para su construcción y funcionamiento, sin dejar a un lado su bajo costo inicial.

El método requiere de la construcción de bandejas, su tamaño puede variar de acuerdo a la capacidad que se requiera.

Características

- De fácil construcción.

- Las bandejas facilitan la transportación.
- Bajo costo.
- El tiempo de secado depende de las condiciones climáticas (mayor que el secado tradicional).
- La capacidad de secado depende del tamaño y número de tendales disponibles.

1.4.2 Secado artificial

Los secadores artificiales son aquellos que utilizan madera, bagazo, GLP y otros derivados del petróleo como combustible. La Transferencia de Calor se realiza por medio de conducción y convección principalmente. Se realiza la convección en forma natural y forzada. Generalmente el proceso de secado se realiza en un recinto cerrado.

1.4.2.1 Secado tipo horno

Hay dos diseños de secadoras simples a leña. En el primero, conocido como secadora “Brook”, se sostiene una gran bandeja sobre una base rectangular de ladrillos de adobe que tiene orificios de entrada de aire o los costados. Por debajo de la bandeja pasa un tubo a través del cual fluye el aire caliente desde una hoguera a una chimenea. El aire que entra por los orificios de ventilación de los costados se calienta al pasar por el tubo caliente. La secadora “McDowell” es similar, salvo que tiene un toldo transparente que permite usar el secado solar cuando sea apropiado.

1.4.2.2 Secadores continuos de bandas¹¹

Abarca los secadores en los cuales el material se procesa sobre una banda continua. Habitualmente el transportador es horizontal y está constituido por una banda, el producto es secado por soplado de gas caliente a través de la misma.

En consecuencia, hay muchos tipos de equipos de construcción y principios operativos distintos; sin embargo, en todos hay un hecho común que consiste en el movimiento relativamente lento del material mediante un transportador. Estos equipos tienen una acción suave sobre el material, estos comprenden:

Secador con circulación a través de la banda perforada.

En el cual el material húmedo en forma de partículas es alimentado a una banda perforada, la cual circula a lo largo de una cámara de secado donde se sopla aire caliente que atraviesa la banda y el material.

Secador de banda por convección.

La banda transportadora no está perforada y el aire caliente es soplado sobre el material o en algunos casos hacia abajo, saliendo entonces por los costados.

Secador en banda por conducción.

En el cual la banda sin perforar pasa sobre una superficie caliente de manera que el material se calienta por conducción a través de la banda, la operación se realiza normalmente en el vacío, puesto que a presión atmosférica el secador de banda por convección es más conveniente y de mayor rendimiento.

¹¹NONHEBEL, G; El Secado de sólidos en la Industria Química; Editorial Reverté S.A.; España; 2002; pp. 131-182

Secadores continuos de bandeja.

Los cuales se pueden aplicar los principios de cualquiera de los secadores de banda antes descritos por sustitución de bandejas colocadas sobre una cinta transportadora, de cadena o listones. En la práctica el uso de bandejas ofrece la posibilidad de una construcción más compacta (y por ello más económica) de secadores con circulación total.

Túnel de secado mediante convección forzada

El secado de malanga mediante convección forzada consiste en que el tubérculo pasa por un túnel que se encuentra a una temperatura elevada (60°C - 80°C) por el que pasa un flujo de aire, el tubérculo pasa a través del túnel mediante un mecanismo de banda transportadora, que lo lleva del proceso de lavado al proceso de selección. El mecanismo para elevar la temperatura y paso de flujo de analiza posteriormente. (Ver figura. 1.1)

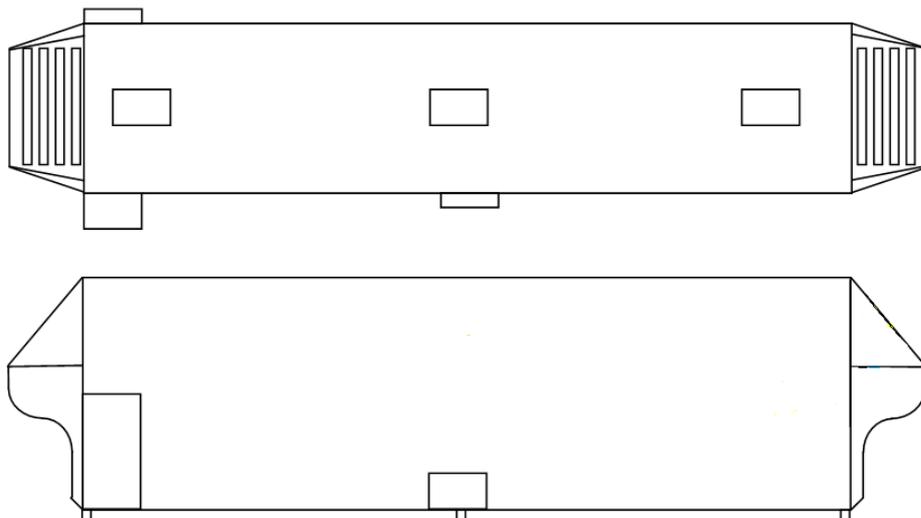


Figura. 1.1 Secadora de malanga mediante convección forzada.

Fuente: Propia.

1.5 ELEMENTOS PRINCIPALES DE UNA SECADORA DE MALANGA

La secadora de malanga que se va a desarrollar presenta los siguientes elementos:

- Estructura principal.
- Sistema motriz.
- Cámara de secado.
- Banda transportadora.
- Sistema de calentamiento.

1.5.1 ESTRUCTURA PRINCIPAL

Estructura metálica conformada por perfiles de acero de bajo carbono, ángulos y platinas soldadas mediante proceso SMAW, su función es soportar los demás componentes, su tamaño va en función de los requerimientos de secado y de ergonomía. (Ver figura 1.2)



Figura. 1.2 Estructura principal.

Fuente: Propia

1.5.2 SISTEMA MOTRIZ

Permite generar movimiento hacia la banda transportadora, sus requerimientos de velocidad y potencia se estudia en capítulos posteriores. (Ver figura 1.3)



Figura. 1.3 Sistema motriz (motorreductor).

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

1.5.3 CÁMARA DE SECADO

Es el recinto cerrado donde se da lugar la Transferencia de Calor y masa para el proceso de secado de la malanga. Debe estar herméticamente cerrado exceptuando la entrada y salida del producto, las paredes deben ser aisladas todo esto para evitar en lo posible las pérdidas de calor. (Ver figura 1.4)

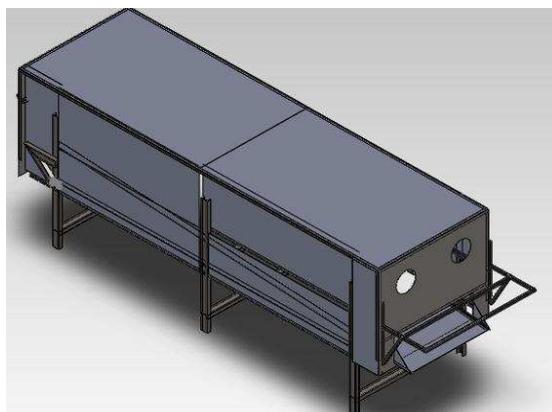


Figura. 1.4 Cámara de secado.

Fuente: Propia

1.5.4 BANDA TRANSPORTADORA

El producto que viene del proceso de lavado y con cierta humedad ingresa a la cámara, es transportada mediante una banda hasta la salida de la cámara, en el proceso se extrae la humedad superficial. (Ver figura 1.5)

Las características de la banda deben ser:

- Traslado correcto del producto.
- Elementos de contacto apropiados para el producto.
- Permitir el intercambio de calor.
- Mayor área de contacto aire/producto

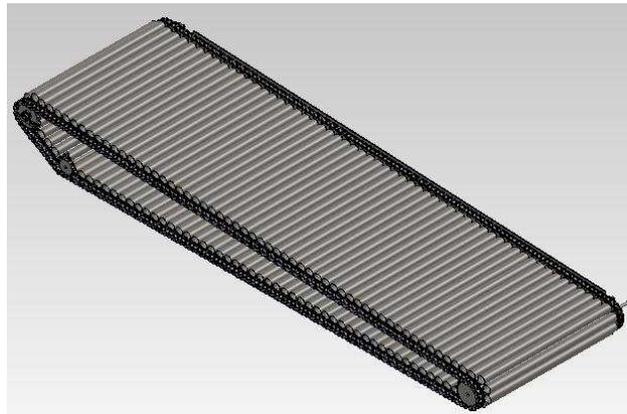


Figura. 1.5 Banda transportadora.

Fuente: Propia

1.5.5 SISTEMA DE CALENTAMIENTO

Es el encargado de aportar la energía térmica necesaria para que se produzca la Transferencia de Calor y de masa dentro de la cámara, sus características deben ser:

- Permitir una mayor eficiencia.
- Bajo consumo energético.
- Adecuado para el producto.

Con estas características se puede tener sistemas eléctricos y de GLP.

En la figura 1.6 se observa un sistema de calentamiento mediante generadores de aire caliente

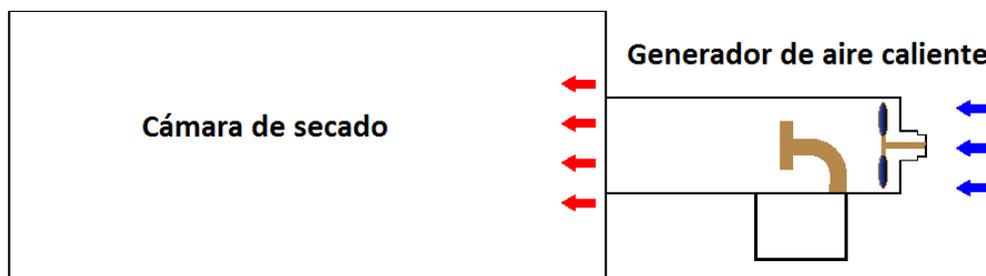


Figura. 1.6 Sistema de calentamiento.

Fuente: Propia.

CAPITULO 2

ESTUDIO Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DEL PROTOTIPO

2.1 INTRODUCCIÓN

El diseño de una secadora de malanga pretende satisfacer los requerimientos para la elaboración de un producto de mejores características organolépticas para su posterior exportación. El prototipo se diseña tomando como referencia la localidad de Santo Domingo de los Colorados, lugar en donde se produce el producto.

En el presente capítulo se desarrollan los parámetros funcionales y de diseño del prototipo de la máquina secadora de malanga, y con esto realizar el estudio correspondiente de las alternativas que cumplan con los requisitos técnicos, ambientales y económicos para su correcto funcionamiento.

2.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad, los productores y exportadores de malanga realizan el secado de la malanga mediante métodos naturales, reduciendo el volumen de producción (tiempos mayores de secado), el proceso es discontinuo. De aquí surge la necesidad de diseñar un prototipo que permita mejorar los tiempos de secado, y que se lleve a cabo de forma sistémica y programada.

De lo anteriormente expuesto, la etapa de secado no garantiza una producción eficiente, una manipulación correcta y un secado homogéneo.

2.3 PARÁMETROS FUNCIONALES

Para la elaboración del diseño de la máquina se deben tomar en cuenta aspectos fundamentales referentes a la manipulación del producto, partes de elementos que eviten la formación de corrosión y otros aspectos que puedan ocasionar problemas posteriores.

Los requerimientos principales que la máquina debe cumplir son:

- El secado a efectuarse es superficial.
- Sistema de calentamiento y de flujo de aire para la cámara de secado.
- Versátil, adaptable a diferentes procesos de secado de otros productos.
- Mayor velocidad de secado.
- Funcionamiento semiautomático, operado por una persona.
- Facilidad de mantenimiento de las partes componentes de la máquina.
- Rapidez en el cambio de los componentes averiados reduciendo los tiempos de paro innecesario.
- El material a estar en contacto con el producto debe ser el adecuado para evitar corrosión, puede ser acero o algún polímero.

2.4 PARÁMETROS DE DISEÑO

Para la determinación de los parámetros de diseño de la máquina secadora se consideran las siguientes necesidades: requerimientos y condiciones de trabajo a la que va a estar sometida; los parámetros son los siguientes.

- Capacidad de secado.
- Temperatura de trabajo.
- Espacio físico (altura, ancho, largo).
- Peso del prototipo.
- Mecanismo banda transportadora.
- Sistema aportación de calor y flujo de aire.
- Costo.

2.4.1 CAPACIDAD DE SECADO

La capacidad de secado se ha establecido en 2000 (Kg/h), que es la cantidad de malanga proveniente del proceso de lavado, proyecto de titulación elaborado anteriormente.

2.4.2 TEMPERATURA DE TRABAJO

Es una de las variables más importantes del proceso de secado, y que su valor influye en la velocidad de secado y los costos del mismo. Se recomienda que el valor esté entre los 70 y 80°C, por efectos de cálculo y diseño se adopta un valor promedio de 75°C. También se debe considerar el aislamiento debido a esta temperatura de trabajo.

2.4.3 ESPACIO FÍSICO (ALTURA, ANCHO, LARGO)

Para las dimensiones del prototipo, se diseña en base a la capacidad de secado requerida, a las dimensiones de la máquina lavadora ya establecidas y a los requerimientos de espacio. Las dimensiones aproximadas son: largo 5000 mm, ancho 1400 mm y altura 1800mm.

2.4.4 PESO DEL PROTOTIPO.

El peso total de la estructura se determina por los materiales utilizados en la construcción del prototipo y puede estar entre los 10000 kg y 15000 kg.

2.4.5 MECANISMO BANDA TRANSPORTADORA

Para el mecanismo de banda transportadora se toma en consideración, el contacto con el producto y su implicación en la eficiencia de secado de la cámara, los costos relacionados con materiales y construcción.

2.4.6 SISTEMA DE APORTACIÓN DE CALOR Y FLUJO DE AIRE

El sistema de aportación de calor conjuntamente con el sistema de flujo de aire permite las condiciones óptimas de secado dentro de la cámara, la elección combinada de los sistemas es reflejada en la eficiencia y costo del proceso.

2.4.7 COSTO

No se tiene antecedentes en el país de la construcción de este tipo de maquinaria, sin embargo existe secadoras para aplicaciones similares construidas

en otros países, por lo tanto se estima que el costo máximo para la construcción es de 12000 USD.

2.5 ESTUDIO Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

El estudio de las alternativas en el diseño, es la actividad que convierte una idea, sugerida por una necesidad del mercado, en un conjunto de especificaciones. Cuando el diseño se lleva a cabo sin tomar en cuenta estas fases aparecen numerosos problemas en la etapa de prueba y en el de producción y por lo tanto en el costo, por ello la importancia del diseño conceptual de una máquina que mejore la productividad en la obtención de un producto.

2.5.1 ANÁLISIS FUNCIONAL

2.5.1.1 Definición de análisis funcional

Análisis estudiado por el ingeniero estadounidense Lawrence D. Miles, consiste en separar los sistemas o mecanismos para poder estudiarlas independientemente y que la solución obtenida mejore el producto a un menor costo.

Para poner en práctica esta herramienta de diseño, se establecen los parámetros que involucran al producto.

Las funciones primarias tienen que ver con las razones por las que el cliente compra el producto. Las funciones secundarias tienen que ver con que las funciones primarias se cumplan satisfactoriamente.

2.5.2 EVALUACIÓN DE SISTEMAS

De acuerdo al análisis funcional se separan los módulos mediante sistemas de los cuales se realiza el estudio para determinar la que mejor condiciones presente.

Los sistemas que se estudian se basan en las siguientes necesidades:

- Extraer la humedad del producto.
- Transportar el producto por la cámara de secado.
- Accionar la banda transportadora.

2.5.2.1 Extraer la humedad del producto.

El proceso de extracción de la humedad se lo puede realizar mediante varios tipos de dispositivos y mecanismos de Transferencia de Calor las cuales se exponen a continuación. Por ser un producto agrícola se usa como combustible GLP debido a sus características.

Alternativa 1: Extracción mediante barras conductoras y ventiladores radiales.

Alternativa 2: Generador de aire Caliente.

2.5.2.1.1 Extracción mediante barras y ventiladores radiales.

En la extracción, se utiliza como fuente de energía GLP, barras conductoras y una serie de ventiladores, quemadores calientan las barras de cobre las que aportan el calor necesario para el calentamiento de la cámara, los ventiladores aportan un coeficiente de Transferencia de Calor por convección necesaria para la extracción de la humedad del producto, la disposición de las barras es horizontal. (Ver figura 2.1)

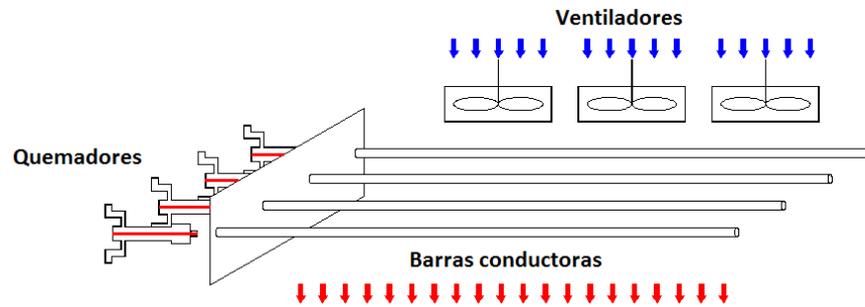


Figura. 2.1 Extracción mediante barras conductoras y ventiladores.

Fuente: Propia

Ventajas

- Combustión limpia.
- Secado homogéneo.
- Autónomo.

Desventajas

- Mantenimiento especializado.
- Sistema compuesto por varios componentes.
- Baja eficiencia.
- Control lento del proceso.
- Sistema cuidadoso de seguridad.

2.5.2.1.2 Generador de aire caliente.

Consiste en un equipo compacto formado por un quemador y un ventilador integrados en su carcasa (Ver figura 2.2), los parámetros de flujo de aire y de combustible se regulan mediante válvulas.



Figura. 2.2 Calentadores de aire.

Fuente: Propia

Ventajas

- Sistema compacto.
- Buen control de variables.
- Mayor eficiencia.
- Fácil mantenimiento.
- Fácil instalación y operación.

Desventajas

- Costo de inversión alta.
- Bajo stock en el país.
- Bajo stock de repuestos.

2.5.2.1.3 Evaluación y selección de alternativas.

Con el fin de determinar aquel sistema que resulte más conveniente, se emplea al método de criterios ponderados.

Se listan a continuación los criterios de valoración más determinantes en el sistema de extracción de la humedad del producto:

- Calidad de secado (rapidez, eficiencia).
- Costo del equipo.
- Costo de operación y mantenimiento.
- Mecanismo de funcionamiento sencillo, para permitir que el mantenimiento y la construcción puedan ejecutarse fácilmente.
- Alta fiabilidad de los componentes, para evitar paros imprevistos.

La evaluación de los criterios se detalla en la Tabla 2.1:

Tabla 2.1 Evaluación de cada criterio.

	Calidad secado	Costo equipo	Costo operación	Mecanismo sencillo	Fiabilidad	$\Sigma+1$	Ponderación
Calidad secado	-	1	0,5	0,5	0,5	3,5	0,23
Costo equipo	0	-	0	0,5	0,5	2,0	0,13
Costo operación	0,5	1	-	1	1	4,5	0,30
Mecanismo sencillo	0,5	0,5	0	-	0,5	2,5	0,17
Fiabilidad	0,5	0,5	0	0,5	-	2,5	0,17
						15	1
Costo operación> Calidad secado> Fiabilidad> Mecanismo sencillo>Costo equipo							

Fuente: Propia

En las tablas 2.2, 2.3, 2.4, 2.5 y 2.6 se evalúan cada una de los sistemas con respecto a cada criterio.

Tabla 2.2 Evaluación de alternativas respecto a la calidad de secado.

Calidad de secado	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1	-	0	1,0	0,33
Alternativa 2	1	-	2,0	0,67
			3	1
Alternativa 2 > Alternativa 1				

Fuente: Propia

Tabla 2.3 Evaluación de alternativas respecto al costo del equipo.

Costo equipo	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1	-	1	2	0,67
Alternativa 2	0	-	1	0,33
			3	1
Alternativa 2 > Alternativa 1				

Fuente: Propia.

Tabla 2.4 Evaluación de alternativas respecto al costo de operación.

Costo operación	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1	-	0	1	0,33
Alternativa 2	1	-	2	0,67
			3	1
Alternativa 1 > Alternativa 2				

Fuente: Propia

Tabla 2.5 Evaluación de alternativas respecto a la sencillez del mecanismo.

Mecanismo sencillo	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1	-	0	1	0,33
Alternativa 2	1	-	2	0,67
			3	1
Alternativa 1= Alternativa 2				

Fuente: Propia

Tabla 2.6 Evaluación de alternativas respecto a la fiabilidad.

Fiabilidad	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1	-	0	1	0,33
Alternativa 2	1	-	2	0,66
			3	1
Alternativa 1> Alternativa 2				

Fuente: Propia

Las conclusiones de los criterios para el sistema de calentamiento se detallan en la Tabla 2.7:

Tabla 2.7 Tabla de conclusiones para el sistema de calentamiento.

Conclusiones	Calidad secado	Costo del equipo	Costo operación	Mecanismo sencillo	Fiabilidad	Σ	Prioridad
Alternativa 1	0,23*0,33	0,13*0,67	0,30*0,33	0,17*0,33	0,17*0,33	0,38	1
Alternativa 2	0,23*0,67	0,13*0,33	0,30*0,67	0,17*0,67	0,17*0,67	0,62	2
Suma						0,99	1

Fuente: Propia

2.5.2.2 Transportar el producto por la cámara de secado

Debido a que la máquina se encuentra dentro de un conjunto de máquinas que engloban un proceso total, el proceso de transportación del producto se lo realiza mediante banda transportadora.

Alternativa 1: Banda transportadora lisa.

Alternativa 2: Banda transportadora de rodillos.

2.5.2.2.1 Banda transportadora lisa

Consiste en trasladar el producto mediante una banda transportadora lisa el cual es accionado por un motor eléctrico y sistema de engranes o mediante un moto reductor como se observa en la figura 2.3.

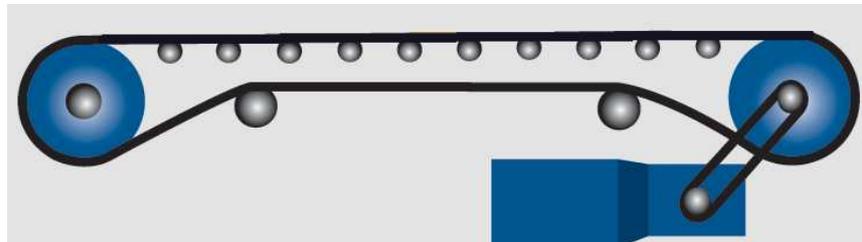


Figura. 2.3 Banda transportadora lisa

Fuente: www.elprado.co.cr

Ventajas

- Fácil construcción.
- Menor costo.
- Mecanismo sencillo.

Desventajas

- Menor vida útil.
- Menor eficiencia en el secado.
- El producto no queda fijo durante el traslado.
- Requiere de limpieza continua (diaria).

2.5.2.2.2 Banda transportadora de rodillos

El accionamiento del mecanismo es similar al anterior tomando en cuenta que la banda está formada por una serie de rodillos entre los cuales el producto es transportado, estos rodillos están acoplados a una cadena. (Ver figura 2.4)



Figura. 2.4 Banda de rodillos

Fuente: Propia

Ventajas

- El producto queda fijo entre los rodillos.
- La acumulación de residuos es mínima.
- Mayor eficiencia en el secado.

Desventajas

- Mecanismo complejo.

- Mayor costo.
- Mayor cuidado en el mantenimiento.

2.5.2.2.3 Evaluación y selección de alternativas.

Con el fin de determinar aquel sistema que resulte más conveniente, se emplea al método de criterios ponderados.

Se listan a continuación los criterios de valoración más determinantes:

- Costo de operación.
- Costo del equipo.
- Sencillez del mecanismo de funcionamiento, para permitir que el mantenimiento y la construcción puedan ejecutarse fácilmente.
- Fiabilidad de los componentes, para evitar paros imprevistos.
- Adaptabilidad para otras aplicaciones.

La evaluación de los criterios se detalla en la Tabla 2.8:

Tabla 2.8 Evaluación de cada criterio.

	Costo de operación	Costo del equipo	Sencillez mecanismo	Fiabilidad	Adaptabilidad	$\Sigma+1$	Ponderación
Costo de operación	-	1	1	1	0,5	4,5	0,30
Costo del equipo	0	-	0,5	0,5	0	2	0,13
Sencillez mecanismo	0	0,5	-	0,5	0,5	2,5	0,17
Fiabilidad	0	0,5	0,5	-	0,5	2,5	0,17
Adaptabilidad	0,5	1	0,5	0,5	-	3,5	0,23
					Suma	21	1
Costo de operación>Adaptabilidad>Sencillez mecanismo=Fiabilidad>Costo del equipo.							

Fuente: Propia

En las Tablas 2.9, 2.10, 2.11, 2.12 y 2.13 se evalúan cada una de los sistemas con respecto a los criterios.

Tabla 2.9 Evaluación de alternativas respecto al costo de operación.

Costo de operación	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1	-	0,5	1,5	0,50
Alternativa 2	0,5	-	1,5	0,50
			3	1
Alternativa 1 = Alternativa 2				

Fuente: Propia

Tabla 2.10 Evaluación de alternativas respecto al costo del equipo.

Costo del equipo	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1	-	0,5	1,5	0,50
Alternativa 2	0,5	-	1,5	0,50
			3	1
Alternativa 1 > Alternativa 2				

Fuente: Propia

Tabla 2.11 Evaluación de alternativas respecto a la sencillez del mecanismo.

Sencillez mecanismo	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1	-	1	2	0,66
Alternativa 2	0	-	1	0,33
			3	1
Alternativa 1 > Alternativa 2				

Fuente: Propia

Tabla 2.12 Evaluación de alternativas respecto a la fiabilidad.

Fiabilidad	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1	-	0	1	0,33
Alternativa 2	1	-	2	0,66
			3	1
Alternativa 1 = Alternativa 2				

Fuente: Propia

Tabla 2.13 Evaluación de alternativas respecto a la adaptabilidad.

Adaptabilidad	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1	-	0	1	0,33
Alternativa 2	1	-	2	0,66
			3	1
Alternativa 2 > Alternativa 1				

Fuente: Propia

Las conclusiones de los criterios para el sistema de banda transportadora se detallan en la Tabla 2.14:

Tabla 2.14 Tabla de conclusiones para el sistema de banda transportadora.

Conclusiones	Costo de operación	Costo del equipo	Sencillez mecanismo	Fiabilidad	Adaptabilidad	Σ	Prioridad
Alternativa 1	0,30*0,50	0,13*0,50	0,17*0,66	0,17*0,33	0,23*0,33	0,46	2
Alternativa 2	0,30*0,50	0,13*0,50	0,17*0,33	0,17*0,66	0,23*0,66	0,54	1

Fuente: Propia

2.5.2.3 Accionar la banda transportadora.

Una vez establecidas las soluciones para cada sistema, se continúa con la determinación del principio de accionamiento del mecanismo de la banda transportadora. Se estudian tres alternativas:

Alternativa 1: Motorreductor.

Alternativa 2: Mecanismo mediante banda y poleas.

Alternativa 3: Mecanismo mediante cadena y catalina.

2.5.2.3.1 Motorreductor.

Elemento compuesto por un motor eléctrico y un reductor de velocidad apropiado para el accionamiento de toda clase de máquinas y aparatos de uso industrial, requeridos para transmitir potencia y obtener una velocidad de salida requerida para cierta aplicación. (Ver figura 2.5)

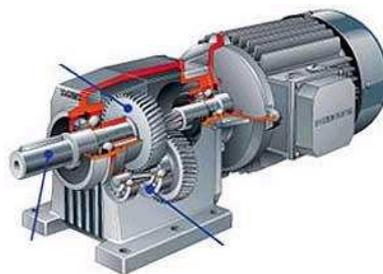


Figura. 2.5 Motorreductor coaxial

Fuente: <http://www.bastan.es/pagproductos/reductores.htm>

Ventajas

- Regularidad en potencia y velocidad.
- Eficiencia en la transmisión de potencia.

- Bajo costo de mantenimiento.
- Menor espacio requerido.
- Menor tiempo de instalación.

Desventajas

- Mecanismo costoso.
- Poco stock en el mercado nacional.

2.5.2.3.2 Motor eléctrico con banda y poleas.

Mecanismo compuesto por un motor eléctrico y un sistema de bandas y poleas para la reducción de las revoluciones a la salida del motor. (Ver figura 2.6)



Figura. 2.6 Mecanismo Motor eléctrico con banda y poleas.

Fuente: <http://www.tecnweb.com.ar/Apuntes/Máquinas.htm>

Ventajas

- Bajo costo.
- Gran variedad en la elección de componentes.

Desventajas

- Relación de velocidad no constante.
- Grado de peligrosidad con los componentes (elementos descubiertos).

- Requiere de un mantenimiento más minucioso.
- Mayor espacio requerido.
- Mayor tiempo de instalación.

2.5.2.3.3 Mecanismo mediante cadena y catalina.

Mecanismo compuesto por un motor eléctrico y un sistema de cadena y catalina para la reducción de las revoluciones a la salida del motor. (Ver figura 2.7)

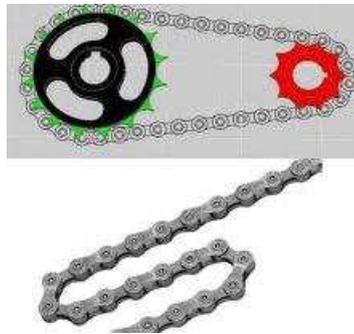


Figura. 2.7 Mecanismo mediante cadena y catalina.

Fuente: <http://4-racing.wikispaces.com/Dise%C3%B1o+del+Carro>

Ventajas

- Bajo costo.
- Gran variedad en la elección de componentes.
- Relación de velocidad constante.

Desventajas

- Grado de peligrosidad con los componentes (elementos descubiertos).
- Mayor espacio requerido.
- Mecanismo complejo.

2.5.2.3.4 Evaluación y selección de alternativas

Con el fin de determinar aquel sistema que resulte más conveniente, se emplea al método de criterios ponderados.

Se listan a continuación los criterios de valoración más determinantes:

- Costo del equipo.
- Sencillez del mecanismo.
- Fiabilidad de los componentes, para evitar paros imprevistos.
- Costo de Mantenimiento.
- Seguridad de operación.

La evaluación de los criterios se detalla en la Tabla 2.15:

Tabla 2.15 Evaluación de cada criterio.

	Costo del equipo	Sencillez mecanismo	Fiabilidad	Costo mantenimiento	Seguridad operación	$\Sigma+1$	Ponderación
Costo del equipo	-	1	1	1	1	5	0,33
Sencillez mecanismo	0	-	0	1	0,5	2,5	0,17
Fiabilidad	0	1	-	0,5	0,5	3,0	0,20
Costo Mantenimiento	0	0	0,5	-	0,5	2	0,13
Seguridad operación	0	0,5	0,5	0,5	-	2,5	0,17
					Suma	15	1
Costo equipo>Fiabilidad>Sencillez mecanismo=Seguridad operación>Costo mantenimiento.							

Fuente: Propia

En las Tablas 2.16, 2.17, 2.18, 2.19 y 2.20 se evalúan cada una de las alternativas con respecto a los criterios.

Tabla 2.16 Evaluación de alternativas respecto al costo de operación.

Costo del equipo	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1	-	0	0	1	0,17
Alternativa 2	1	-	1	3	0,50
Alternativa 3	1	0	-	2	0,33
				Suma	6
					1
Alternativa 2 > Alternativa 3 > Alternativa 1					

Fuente: Propia

Tabla 2.17 Evaluación de alternativas respecto al costo del equipo.

Sencillez Mecanismo	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1	-	1	1	3	0,50
Alternativa 2	0	-	1	2	0,33
Alternativa 3	0	0	-	1	0,17
				Suma	6
					1
Alternativa 1 > Alternativa 2 > Alternativa 3					

Fuente: Propia

Tabla 2.18 Evaluación de alternativas respecto a la sencillez del mecanismo.

Fiabilidad	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1	-	1	1	3	0,50
Alternativa 2	0	-	0,5	1,5	0,25
Alternativa 3	0	0,5	-	1,5	0,25
				Suma	6
					1
Alternativa 1 > Alternativa 2 = Alternativa 3					

Fuente: Propia

Tabla 2.19 Evaluación de alternativas respecto a la fiabilidad.

Costo Mantenimiento	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1	-	1	1	3	0,50
Alternativa 2	0	-	1	2	0,33
Alternativa 3	0	0	-	1	0,17
			Suma	6	1
Alternativa 1 > Alternativa 2 > Alternativa 3					

Fuente: Propia

Tabla 2.20 Evaluación de alternativas respecto a la adaptabilidad.

Seguridad operación	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1	-	1	1	3	0,50
Alternativa 2	0	-	0,5	1,5	0,25
Alternativa 3	0	0,5	-	1,5	0,25
			Suma	6	1
Alternativa 1 > Alternativa 2 > Alternativa 3					

Fuente: Propia

Las conclusiones de los criterios para el accionamiento de la banda transportadora se detallan en la Tabla 2.21:

Tabla 2.21 Conclusiones para el accionamiento de la banda transportadora.

Conclusiones	Costo del equipo	Sencillez mecanismo	Fiabilidad	Costo Mantenimiento	Seguridad operación	Σ	Prioridad
Alternativa 1	0,33*0,17	0,17*0,50	0,20*0,50	0,13*0,50	0,17*0,50	0,39	1
Alternativa 2	0,33*0,50	0,17*0,33	0,20*0,25	0,13*0,33	0,17*0,25	0,36	2
Alternativa 3	0,33*0,33	0,17*0,17	0,20*0,25	0,13*0,17	0,17*0,25	0,25	3

Fuente: Propia

En la Tabla 2.22 se resume cada uno de los sistemas y la mejor alternativa para cada una de ellas.

Tabla 2.22 Conclusiones de selección de los sistemas de la cámara de secado.

SISTEMA	SELECCIÓN
Extracción de humedad del producto	Calentadores de aire.
Transporte del producto	Banda transportadora de rodillos.
Accionamiento banda transportadora	Motorreductor.

Fuente: Propia

CAPITULO 3

DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS MECÁNICOS

3.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo, se detalla la selección y cálculo los elementos y sistemas que constituyen la máquina, tomando en cuenta que cada uno de ellos son importantes para un óptimo rendimiento, vida útil, y que no alteren el correcto funcionamiento del proceso productivo, deben ser diseñados con criterios de economía, funcionalidad, durabilidad y rendimiento.

Para el diseño de la máquina secadora, se toma como punto de partida el diseño de la banda transportadora, ya que está relacionada directamente con la capacidad de producción, de aquí se diseñan los otros sistemas como: sistema térmico, estructura, etc.

3.2 DISEÑO DEL SISTEMA DE BANDA TRANSPORTADORA

De acuerdo a los resultados obtenidos en la selección de la banda transportadora, en el que se obtuvo una banda compuesta por rodillos, en medio de los cuales se transporta el producto.

Los cálculos y dimensiones van en función de la producción de secado requerida y del tamaño de la malanga para exportación. Se requiere una capacidad de secado de 2000KG/H.

El tamaño promedio del producto es de 250 mm de largo y 80 mm de diámetro, el diámetro mínimo es de 60 mm, con un peso promedio de 0,75 Kg, con estos datos se procede a dimensionar la banda transportadora.

Hay que tomar en cuenta que los valores obtenidos son referenciales y que pueden ser modificados tomando en cuenta los elementos o dispositivos que se encuentran en el mercado.

La banda tiene la configuración de acuerdo a la figura 3.1:

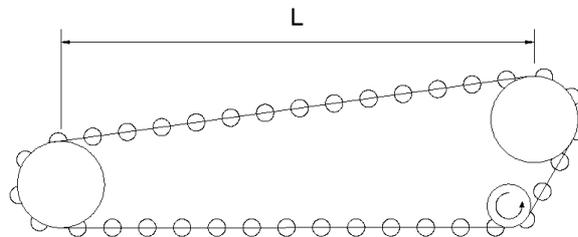


Figura. 3.1 Esquema de banda transportadora para secado de malanga.

Fuente: Propia

3.2.1 DISTANCIA ENTRE RODILLOS

Para evitar que el producto caiga debido a la distancia entre los rodillos, esta medida debe ser igual o menor al diámetro mínimo del producto, por lo que su medida debe ser menor a 60 mm. Se toma un valor de 55 mm.

3.2.2 DIÁMETRO RODILLOS

Para el dimensionamiento de los rodillos hay que tomar en cuenta un diámetro máximo de la malanga de 120 mm (ecuación 3-1):

$$d_{rod} = d_{max,m} - l_{er} \quad 3-1$$

Dónde:

$d_{max,m}$: Diámetro máximo malanga.

Por lo tanto:

$$d_{rod} = 65 \text{ mm}$$

3.2.3 DIMENSIONES DE LA BANDA TRANSPORTADORA

Se requiere obtener una capacidad de secado de 2000 Kg/h, el producto debe estar en la cámara de secado por el tiempo necesario para el secado superficial, se recomienda que la temperatura de secado se encuentre en los 75°C.

Ancho

Parámetro vinculado al proyecto “Lavadora de Malanga” cuyo valor es de 1500 mm aproximadamente, pero puede haber pequeñas variaciones de acuerdo a condiciones de la cámara de secado.

Largo

Se puede obtener un largo óptimo a partir de otras variables o parámetros, sin embargo mediante la experiencia en la construcción de otros secadores se obtiene un valor de 4000 mm. Hay que tomar en cuenta que el valor queda fijo y es importante en la obtención de los parámetros de la cámara de secado.

Número de rodillos

Va en función del diámetro de los mismos, del espacio entre rodillos, de la disposición y dimensiones de las catalinas que generan el movimiento, y del

tamaño del producto que se quiere transportar, aunque se estima que estén alrededor de 70 a 80.

3.2.4 VELOCIDAD LINEAL

Una vez establecidas las dimensiones de la banda transportadora, se puede determinar la velocidad lineal del mecanismo, sabiendo que la capacidad de producción es de 2000 Kg/h, se determina la cantidad del producto mediante la ecuación 3-2:

$$V_{bt} = \frac{\dot{M}}{w_{mal}} * \frac{l_{er}}{mal_{er}} \quad 3-2$$

En cada par de rodillos pueden colocarse 3 unidades, por lo que:

$$V_{bt} = \frac{2000[Kg/h]}{0,75[Kg]} * \frac{0,127[m]}{3}$$

$$V_{bt} = 0.0314[m/s]$$

El valor puede ser modificado de acuerdo a diferentes condiciones técnicas o de producción, está basado de acuerdo a la capacidad de diseño.

3.2.5 TIEMPO DE SECADO

El tiempo de secado se lo obtiene mediante la ecuación 3-3:

$$t_c = \frac{L}{V_{bt}} \quad 3-3$$

Dónde:

L : Longitud de la banda transportadora

V_{bt} : Velocidad de la banda transportadora

Por lo tanto:

$$t_c = 127,56 \text{ [s]}$$

3.3 DISEÑO DE LA CÁMARA DE SECADO

3.3.1 DETERMINACIÓN DE LA GEOMETRÍA DE LA CÁMARA

Para facilitar el proceso de construcción, la cámara se diseña en forma prismática de acuerdo a consideraciones ya establecidas.

3.3.2 SELECCIÓN DE MATERIALES

La selección de materiales está regida por las siguientes consideraciones.

- Baja conductividad térmica de los materiales aislantes para evitar pérdidas.
- Los materiales y equipos a utilizarse deben ser de fácil adquisición en el país y que sus costos sean relativamente bajos.

Para el revestimiento exterior se utiliza planchas de acero, su aislamiento se da en la parte interior utilizando poliuretano inyectado con una chapa de acero galvanizado.

3.3.3 SISTEMA DE CALENTAMIENTO

El sistema de secado consta de un sistema combinado de GLP y ventiladores, el cual aporta energía térmica y cinética necesaria para la Transferencia de Calor.

En la figura 3.2 se ilustra el proceso de secado donde se registran los parámetros involucrados. La cantidad de aire para el proceso se encuentra tabulado en la

carta psicrométrica a 500 msnm, la que más se aproxima al cantón de Santo Domingo (Ver Anexo1).

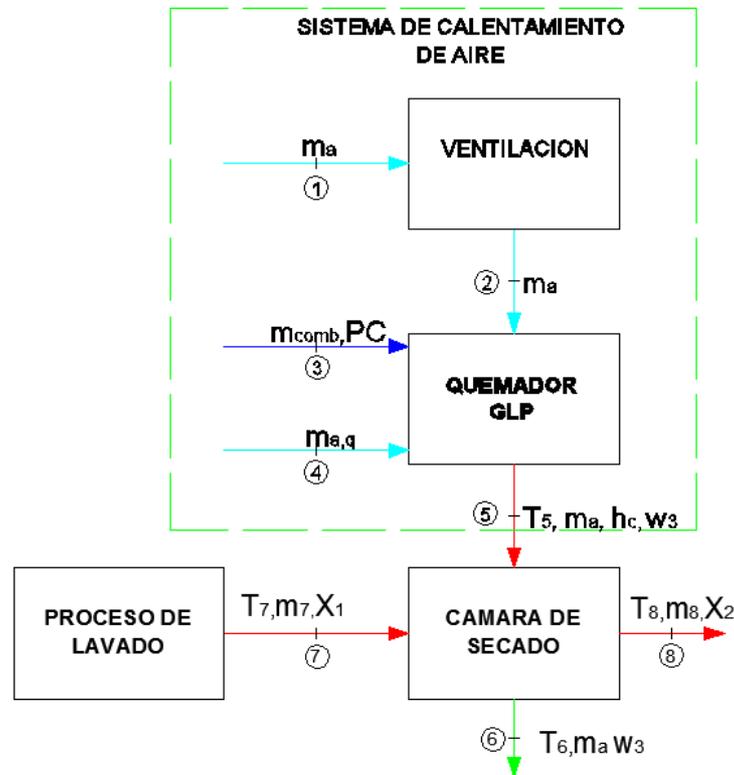


Figura. 3.2 Ilustración del proceso de secado de malanga

Fuente: Propia

A continuación se detallan los puntos del esquema de la figura 3.2:

1. Entrada al generador de aire frío.
2. Aumento de la energía cinética del aire.
3. Entrada de combustible (GLP) al quemador.
4. Entrada de aire para el proceso de combustión.
5. El quemador calienta el aire, el resultado es un aumento de temperatura.
6. El aire pasa por el producto, disminuye su temperatura y aumenta su humedad.

7. El producto viene del proceso de lavado con una temperatura y humedad.
8. El producto sale de la cámara de secado con una humedad menor.

La temperatura y humedad relativa cambian debido al contacto con el producto, lo mismo pasa con el producto entre los puntos 7 y 8, en el cual el producto aumenta su temperatura (no debe ser mayor a 32°C - 35°C) y al mismo tiempo disminuye su humedad (cantidad de agua) que es el objetivo del secador.

3.3.3.1 Estudio Psicrométrico del lugar

Para el dimensionamiento de la máquina secadora, se debe partir de los parámetros técnicos y ambientales del lugar donde va a funcionar para su mejor diseño siendo la ciudad de Santo Domingo el lugar donde se desarrolla el proyecto. (Ver Tabla 3.1)

Tabla 3.1 Parámetros psicrométricos de Santo Domingo de los Colorados.

Parámetro	Símbolo	Cantidad	Unidades
Altura		655	msnm
Temperatura de bulbo seco	T	22,05	°C
Temperatura de bulbo húmedo	T_h	20	°C
Humedad Relativa ambiente	ϕ_1	85,2	
Temperatura de aire caliente	T_s	75	°C
Presión del ambiente a 655 msnm	$P_{@655msnm}$	93,46	[KPa]

Fuente: Propia

3.3.3.2 Cantidad de agua a evaporar

Se parte del hecho de cuál es la cantidad de calor que se debe aportar a la cámara de secado para un proceso óptimo, por lo tanto se debe conocer la cantidad de agua del producto que debemos evaporar.

Los datos experimentales se determinaron mediante una muestra analizada en el DECAB (Departamento de Ciencia de Alimentos y Biotecnología). Estos datos fueron realizados en base húmeda (X_h) en los estados siguientes (Ver Anexo 2):

- Humedad del producto a la entrada de la cámara, posterior al proceso de lavado.
- Humedad del producto a la salida de la cámara de secado.

Los datos obtenidos se muestran en la Tabla 3.2:

Tabla 3.2 Datos de humedad en base húmeda obtenidos en el DECAB.

Muestra	Condición	Humedad en base húmeda	Unidades
Muestra 1	Seca	62,58	%
Muestra 2	Húmeda	66,20	[g/100 g]

Fuente: Departamento de Ciencia de los Alimentos y Biotecnología

Hay que tomar en cuenta que la humedad final que debe tener el producto es inferior a la que se obtiene en el proceso de secado, esto se debe a que la temperatura de la malanga a la salida de la cámara ($\approx 32-35^\circ\text{C}$) y la humedad del aire ambiente permiten que la cantidad de agua que todavía se encuentra en el producto sea absorbida por el ambiente para alcanzar el equilibrio termodinámico,

por lo que para los cálculos se toma como humedad final de la cámara un valor de 63 % en base húmeda.

3.3.3.3 Cantidad de aire seco para evaporar el agua del producto¹²

La pérdida de agua que experimenta el producto debe ser compensado por el aumento de la humedad del aire seco que debe circular por la cámara.

Flujo másico de aire.

El valor de la cantidad de aire necesaria para evaporar el agua se obtiene de la ecuación 3-4.

$$\dot{m}_a = \Delta \dot{m}_w \cdot \frac{(X_1 - X_2)}{(w_3 - w_2)} \quad 3-4$$

Dónde:

\dot{m}_a : Flujo másico de aire seco [Kg/h]

$\Delta \dot{m}_w$: Masa de agua extraída de los granos [Kg/s]

w_2 : Contenido de agua al final del calentamiento = 0,030 [Kg_{agua}/Kg_{aire seco}]

w_3 : Contenido de agua al final de la humidificación = 0,015 [Kg_{agua}/Kg_{aire seco}]

X_1 : Humedad en base seca de la malanga antes del proceso de secado.

X_2 : Humedad en base seca de la malanga después del proceso de secado.

Los valores de humedad absoluta de los puntos 2 y 3 esquematizados en la figura 3.3 se obtienen de la carta psicrométrica a 500 msnm (Ver Anexo 1).

¹² ASHRAE HANDBOOK 1999; APPLICATIONS; SI Edition; 27.2

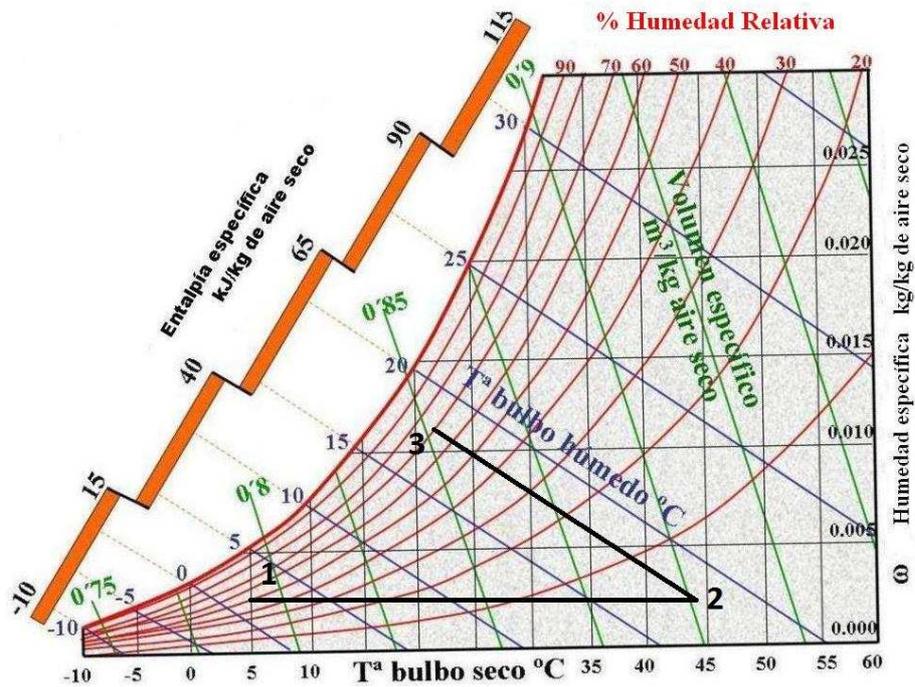


Figura. 3.3 Proceso Psicrométrico de secado de la malanga.

Fuente: <http://ocw.upm.es/>

Los valores obtenidos en el DECAB fueron realizados en base húmeda del producto, por lo que el valor de la humedad en base seca viene dado por la ecuación 3-5:

$$X = \frac{X_h}{1-X_h} \quad 3-5$$

Por lo tanto:

$$X_1 = 1,96$$

$$X_2 = 1,70$$

La cantidad de agua del producto a la entrada y salida de la cámara se calcula de acuerdo a la ecuación 3-6.

$$X_{h1} = \frac{m_{w1}}{m_{w1}+m_s} \quad ; \quad X_{h2} = \frac{m_{w2}}{m_{w2}+m_s} \quad 3-6$$

Hay que tomar en cuenta que la masa seca del producto es invariable en los dos puntos y que la suma de la masa húmeda y masa seca es la masa total del producto (ecuación 3-7).

$$M = m_{w1} + m_s \quad 3-7$$

Despejando m_w en las dos ecuaciones en función de la masa total y de las humedades se obtiene:

$$m_{w1} = M \cdot X_{h1} \quad ; \quad m_{w2} = M \frac{(1 - X_{h1})X_{h2}}{1 - X_{h1}}$$

La diferencia entre estas dos ecuaciones es el valor de la masa de agua a evaporarse en el proceso de secado, la ecuación se realiza en función del tiempo (ecuación 3-8).

$$\Delta \dot{m}_w = \dot{M} \left[X_{h1} - \frac{(1 - X_{h1})X_{h2}}{1 - X_{h1}} \right] \quad 3-8$$

Tomando los datos de la Tabla 3-2 y la capacidad de la máquina, el valor de agua a evaporar es igual a:

$$\Delta \dot{m}_w = 64 [Kg/h]$$

Con estos valores se obtiene el flujo másico de aire seco para evaporar el agua dentro de la cámara.

Por lo tanto:

$$\dot{m}_a = 1091,74 [Kg/h]$$

Flujo volumétrico de aire

El flujo volumétrico de aire necesario está dado por la ecuación 3-9:

$$\dot{V}_a = \frac{\dot{m}_a \cdot R \cdot T}{P} \quad 3-9$$

Dónde:

\dot{V}_a : Flujo volumétrico de aire seco [m^3/h]

R : Contante universal de los gases: $0,287 \left[\frac{KPa \cdot m^3}{Kg \cdot K} \right]$

T_s : Temperatura de secado [K]

$P_{@655msnm}$: Presión del ambiente a 655 msnm: $93,46[KPa]$

El valor de presión se obtuvo mediante interpolación de los datos obtenidos de la tabla de presiones atmosféricas a diferentes alturas.

Tabla 3.3 Presión atmosférica en función de la altura

Altura [msnm]	Presión Atmosférica [psia]	Presión Atmosférica [Kpa]
500	13,8	
655	13,55	93,46
1000	13	

FUENTE: Cartas Psicrométricas; Ing. Miguel Ortega; Ing. Adrián Peña; EPN.

Por lo tanto el flujo volumétrico es:

$$\dot{V}_a = \frac{2688,89 [Kg/h] \cdot 0,287 \left[\frac{KPa \cdot m^3}{Kg \cdot K} \right] \cdot 343 [K]}{93,46 [Kpa]}$$

$$\dot{V}_a = 1166,69 [m^3/h]$$

3.3.3.4 Calor para la evaporación del agua contenida en el producto.¹³

La energía necesaria para la evaporación del producto involucra:

- Calor sensible del agua superficial.
- Calor latente de vaporización del agua.

3.3.3.4.1 Calor sensible del agua superficial.

Se considera que el agua superficial de producto se comporta como agua líquida libre, su valor viene dado por la ecuación 3-10:

$$Q_{s,H2O} = \Delta\dot{m}_w \cdot c_{p,H2O} \cdot (T_{mal} - T_h) \quad 3-10$$

Dónde:

$c_{p,H2O}$: Calor específico del agua:

Por lo tanto:

$$Q_{s,H2O} = 3213,31 [KJ/h]$$

3.3.3.4.2 Calor latente de vaporización del agua.

El calor necesario para el cambio de fase viene dado por la ecuación 3-11:

$$Q_{vap} = \Delta\dot{m}_w \cdot H_{fg} \quad 3-11$$

Dónde:

H_{fg} : Calor latente de vaporización.

$$Q_{vap} = 154304 [KJ/h]$$

¹³ ASHRAE HANDBOOK; HVAC APPLICATIONS; SI EDITION;1999

Con estos valores se halla el valor total del calor que se debe aportar a la cámara para el proceso de extracción de la humedad (ecuación 3-12).

$$Q'_a = Q_{s,H_2O} + Q_{vap} \quad 3-12$$

$$Q'_a = 157517,31 \text{ [KJ/h]}$$

3.3.3.4.3 Eficiencia térmica global.¹⁴

Para el caso del secador, la eficiencia térmica viene dado por la ecuación 3-13:

$$n_t = \frac{\text{Calor usado en la evaporación}}{\text{calor suministrado}} = \frac{Q'_a}{Q_a} = \left(\frac{T_s - T_3}{T_s - T_\infty} \right) \quad 3-13$$

3.3.3.4.4 Calor suministrado.

El valor de Q_a es igual a:

$$Q_a = Q'_a \cdot \left(\frac{T_s - T_3}{T_s - T_\infty} \right)^{-1}$$

$$Q_a = 200345,99 \text{ [KJ/h]}$$

3.3.3.5 Velocidad de secado constante

El mecanismo de secado a velocidad constante está dado por la evaporación desde una superficie líquida y la presencia del sólido no afecta el mecanismo. La velocidad de secado viene dado por la ecuación 3-14:

$$R_c = \frac{m_s \cdot (X_{h1} - X_{h2})}{A_s \cdot t_c} \quad 3-14$$

Dónde:

m_s : Masa seca del producto = 1021,15 [Kg]

¹⁴ <http://www.bdigital.unal.edu.co/1025/1/erickgermanyanzah..pdf>

X_{h1} : Humedad en base húmeda antes del secado = 0,662

X_{h2} : Humedad en base húmeda del producto posterior al secado = 0,63

A_s : Área de secado del producto = 40[m²]

t_c : Tiempo de secado = 3600[s]

Por lo tanto:

$$R_c = 1,81 \cdot 10^{-3} [Kg/s \cdot m^2]$$

3.3.3.6 Coeficiente de Transferencia por convección de la cámara

El cálculo del coeficiente de Transferencia de Calor por convección es importante en el análisis térmico de la cámara de secado.

El valor del coeficiente se puede determinar de acuerdo a la ecuación 3-15:

$$h_c = \frac{R_c \cdot H_{fg}}{(T_s - T_m)} \quad \mathbf{3-15}$$

Dónde:

H_{fg} : Calor latente de vaporización agua.

T_s : Temperatura de secado = 75[°C]

T_m : Temperatura de la malanga = 32[°C]

R_c : Velocidad de secado constante = 1,81 · 10⁻³ [Kg/s · m²]

Por lo tanto:

$$h_c = 101,74 \left[\frac{W}{m^2 K} \right]$$

3.3.4 AISLAMIENTO TÉRMICO Y PÉRDIDAS DE CALOR

Es importante en el diseño y operación del secador y que determina el costo del mismo. El espesor y material a usarse deben ser los adecuados, consiguiendo disminuir las pérdidas de calor al mínimo para su óptima operación.

Se debe tomar en cuenta que los espesores encontrados tanto para el aislamiento como para la chapa metálica no eliminan la Transferencia de Calor hacia el ambiente, lo que permite es reducir al máximo las pérdidas, para la elección hay que considerar los costos y factibilidad de instalación y espacio requerido.

El espesor adecuado se establece tomando en cuenta las siguientes consideraciones.

- Flujo de calor unidireccional (perpendicular a la pared) en estado estable.
- Flujo de calor por convección en estado estable, entre la pared exterior y el aire.
- Se considera que la temperatura ambiente es de 22 °C.
- Los efectos por radiación no se toman en cuenta debido a que no son muy influyentes en el diseño.

En el siguiente esquema se puede visualizar como está compuesta la pared de la cámara de secado (Ver figura 3.4).

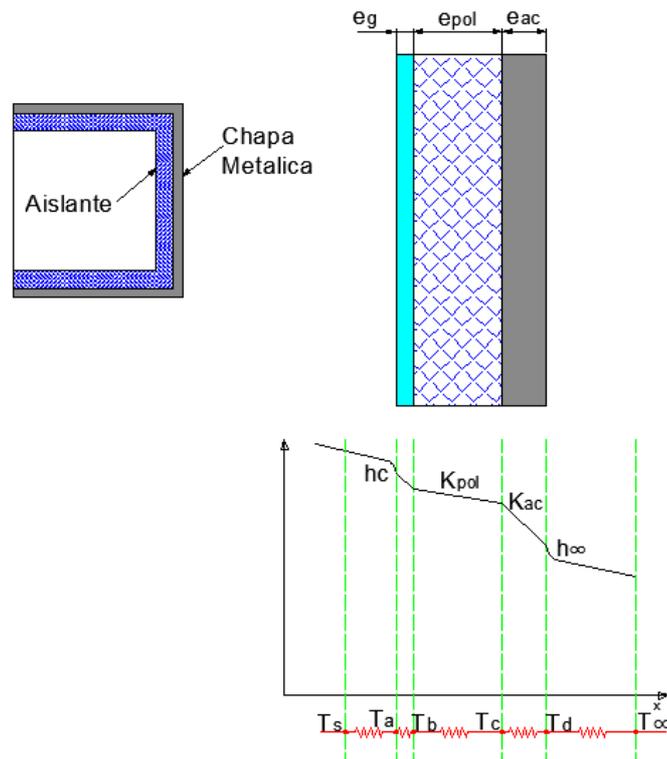


Figura. 3.4 Composición de la pared de la cámara y diagrama de resistencias.

Fuente: Propia

Para el cálculo de las pérdidas de calor en la pared compuesta, se analiza mediante el método de resistencias térmicas con pared plana, tanto por convección como por conducción.

Antes de proceder al cálculo de las resistencias térmicas se debe tomar en cuenta algunas variables involucradas en los cálculos los cuales son:

- Área de Transferencia de Calor de la cámara
- Coeficiente de Transferencia de Calor por convección de la cámara
- Coeficiente de Transferencia de Calor por convección del ambiente

3.3.4.1 Área de Transferencia de Calor de la cámara

Las paredes involucradas en la Transferencia de Calor con las condiciones propuestas son únicamente las paredes laterales, superior y la entrada y salida del producto, el piso no se toma en cuenta ya que aquí tiene una temperatura menor. En la figura 3.5 se pueden visualizar las dimensiones de las paredes del secador.

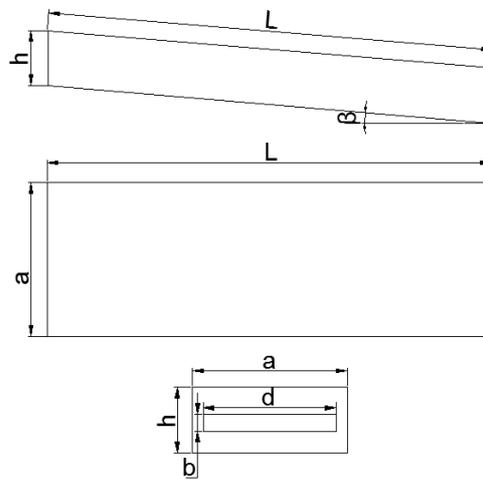


Figura. 3.5 Esquema de las dimensiones de las paredes del secador.

Fuente: Propia.

El área está dada por la ecuación 3-16:

$$A_t = 2 \cdot L \cdot \cos(\beta) \cdot h + [a \cdot h - b \cdot d] + 2 \cdot a \cdot L \quad 3-16$$

Dónde:

L : Longitud de la cámara = 4 [m]

h : Altura de la cámara = 0,6 [m]

a : Ancho de la cámara = 1,5 [m]

b : Altura entrada del producto = 0,15 [m]

c : Altura salida del producto = 0,25 [m]

d : Ancho de entrada producto = 1,2 [m]

β : Angulo de inclinación de la cámara = 5 [°]

Por lo tanto:

$$A_t = 18,99 [m^2]$$

3.3.4.2 Resistencias térmicas en el sistema de aislamiento

De acuerdo a las ecuaciones 3-17 y 3-18, las resistencias térmicas de la pared compuesta son:

3.3.4.2.1 Resistencia por convección dentro de la cámara:

$$R_{conv,cam} = \frac{1}{h_c \cdot A_t} \quad 3-17$$

Dónde:

h_c : Coeficiente de Transferencia por convección de la cámara = 101,74 [W/m^2K]

A_t : Área de Transferencia de Calor de la cámara = 12,1[m²]

Por lo tanto:

$$R_{conv,cam} = 5,18 \cdot 10^{-4} [K/W]$$

3.3.4.2.2 Resistencia por convección del ambiente:

$$R_{conv,amb} = \frac{1}{h_{amb} \cdot A_t} \quad 3-18$$

Dónde:

h_{amb} : Coeficiente de Transferencia de Calor por convección del ambiente:

3.3.4.2.3 Coeficiente de Transferencia por convección ambiente¹⁵

En el caso del coeficiente de Transferencia de Calor del ambiente, se debe considerar que se encuentra como convección libre. Bajo este principio, las correlaciones permiten determinar su valor, obteniéndose mediante las ecuaciones 3-19 y 3-20.

$$h_{amb} = 1.42 \cdot (\Delta T/L)^{\frac{1}{3}} \quad 10^4 < G_r P_r < 10^9 \quad [W/m^2K] \quad 3-19$$

$$h_{amb} = 1.31 \cdot (\Delta T)^{\frac{1}{3}} \quad 10^9 < G_r P_r < 10^{13} \quad [W/m^2K] \quad 3-20$$

Dónde:

G_r : Numero de Grashof.

P_r : Numero de Prandtl.

Numero de Grashof

Se lo evalúa de acuerdo a la ecuación 3-21:

$$G_r = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_d - T_\infty) \cdot L^3}{\nu^2} \quad 3-21$$

Dónde:

g : Aceleración de la gravedad $9,81[m^2/s]$

β : Coeficiente de expansión térmica $[1/K]$

¹⁵ CENGEL Y; Transferencia de Calor; 2da Ed; Mc Graw Hill; México; 2004; pp. 466-479.

L : Longitud de la pared = 4[m]

ν : Viscosidad cinemática [m²/s]

Para la determinación de los números de Grashof y de Prandtl y de las propiedades del aire se determina primero con la temperatura de película (ecuación 3-22).

$$T_f = \frac{T_d + T_\infty}{2} \quad 3-22$$

Dónde:

T_d : Temperatura superficie exterior chapa metálica [°C]

T_∞ : Temperatura ambiente [°C]

Se debe realizar un proceso iterativo para la temperatura de película, se asume una temperatura exterior $T_d = 34^\circ\text{C}$, por lo que:

$$T_f = 28^\circ\text{C}$$

Las propiedades del aire a la temperatura de película se observan en el Anexo 3:

$$\nu = 1,59 \cdot 10^{-5} [\text{m}^2/\text{s}]$$

$$Pr = 0,7288$$

Coefficiente de expansión térmica

El valor del coeficiente de expansión térmica β para el aire es el recíproco de la temperatura de película absoluta (ecuación 3-23):

$$\beta = \frac{1}{T_f} \quad 3-23$$

$$\beta = 3,32 \cdot 10^{-3} [1/\text{K}]$$

Con los valores obtenidos, se determina el número de Grashof.

$$G_r = 9,91 \cdot 10^{10}$$

Por lo tanto el valor de $G_r P_r$ es:

$$G_r P_r = 7,22 \cdot 10^{10}$$

Con este valor, el coeficiente de calor por convección del ambiente se rige por ecuación 3-24:

$$h_{amb} = 1.31 \cdot (\Delta T)^{\frac{1}{3}} \quad \mathbf{3-24}$$

Por lo tanto:

$$h_{amb} = 2,99 [W/m^2 \cdot K]$$

Una vez determinado este valor, se debe comprobar si el valor asumido para T_4 , de lo contrario se debe ubicar un valor más próximo para que el valor de h_{amb} sea el más adecuado.

Tomando en cuenta que las pérdidas de calor por aislamiento es igual al calor entre cada intervalo de temperaturas (ecuación 3-25).¹⁶

$$Q_p = U \cdot A \cdot (T_s - T_\infty) = h_{amb} \cdot A_t (T_d - T_\infty) \quad \mathbf{3-25}$$

Despejando el valor de T_4 se obtiene:

$$T_d = T_\infty + \frac{Q_p}{h_{amb} \cdot A_t}$$

¹⁶INCROPERA F., DE WITT D.; Fundamentos de Transferencia de Calor; IV Ed; Pearson Education; México; pp. 77

Por lo tanto:

$$T_d = 33,94[^\circ\text{C}]$$

El valor de la temperatura obtenido de la superficie externa de la chapa metálica es admisible para que el operario no sufra algún tipo de lesión por quemadura.

3.3.4.2.4 Resistencia por conducción del acero galvanizado:

El valor del coeficiente de Transferencia de Calor por conducción se puede tomar como el de la chapa metálica de acuerdo a la ecuación 3-26.

$$R_{cond,g} = \frac{e_g}{K_{ac} \cdot A_t} \quad 3-26$$

Dónde:

e_g : Espesor del acero galvanizado

K_{ac} : Coeficiente de Transferencia de Calor del acero [$W/m \cdot K$]

A_t : Área de Transferencia de Calor [m^2]

Por lo tanto:

$$R_{cond,g} = 1,42 \cdot 10^{-6} [K/W]$$

3.3.4.2.5 Resistencia por conducción del aislamiento de poliuretano:

El valor de la resistencia térmica por conducción del aislante y de la chapa metálica se encuentra en función del espesor del material de acuerdo a la ecuación 3-27:

$$R_{cond,pol} = \frac{L_{pol}}{K_{pol} \cdot A_t} \quad 3-27$$

Dónde:

L_{pol} : Espesor de la capa de aislamiento de polímero [m]

K_{pol} : Coeficiente de Transferencia por conducción del aislamiento [$W/m \cdot K$]

Por lo tanto:

$$R_{cond,pol} = 2,393 \cdot e_{pol} [K/W]$$

3.3.4.2.6 Resistencia por conducción de la chapa metálica:

$$R_{cond,ac} = \frac{e_{ac}}{K_{ac} \cdot A_t} \quad 3-28$$

Dónde:

e_{ac} : Espesor de la chapa metálica [m]

K_{ac} : Conductividad térmica de la chapa metálica [$W/m \cdot K$]

Por lo tanto:

$$R_{cond,ac} = 4,06 \cdot 10^{-6} [K/W]$$

3.3.4.2.7 Resistencia total

La resistencia total dentro de la cámara de secado viene dado por la ecuación 3-29.

$$R_{tot} = R_{conv,cam} + R_{cond,g} + R_{cond,pol} + R_{cond,pol} + R_{cond,ac} + R_{conv,amb} \quad 3-29$$

Por lo tanto:

$$R_{tot} = 0,0181 + 2,393 \cdot e_{pol} [K/W]$$

3.3.4.3 Pérdidas de calor por aislamiento térmico:

El aislamiento térmico permite reducir las pérdidas de calor hacia el ambiente, la optimización del diseño está en encontrar un espesor adecuado tomando en cuenta los siguientes factores:

- Costo aislante.
- Volumen de la cámara.
- Pérdidas de calor.

Tomando en cuenta estos parámetros se realiza el análisis del espesor del aislante.

Las pérdidas de calor en el sistema se hallan de acuerdo a la ecuación 3-30:

$$Q_p = \frac{T_s - T_\infty}{R_{tot}} \quad \text{3-30}$$

Por lo tanto:

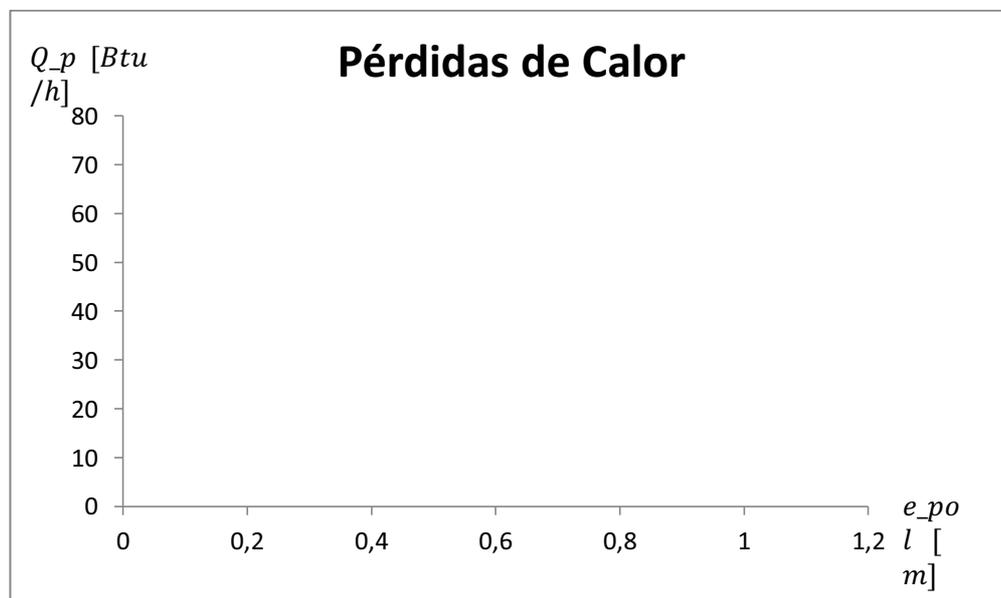
$$Q_p = \frac{53}{0,0181 + 2,393 \cdot e_{pol}} [W]$$

En el siguiente cuadro se analiza las pérdidas de calor por las paredes en función del espesor.

Tabla 3.4 Pérdidas de calor en función del espesor del aislante.

Espesor	Pérdidas de calor		
e_{pol}	Q_p		
[m]	[W]	[KJ/h]	[Btu/h]
0	2931,63	10553,88	10005,57
0,005	1764,02	6350,46	6020,54
0,01	1261,56	4541,62	4305,67
0,015	981,88	3534,79	3351,14
0,02	803,71	2893,36	2743,04
0,025	680,27	2448,96	2321,73
0,03	589,70	2122,90	2012,61
0,035	520,41	1873,47	1776,13
0,04	465,69	1676,48	1589,38
0,045	421,38	1516,98	1438,17
0,05	384,78	1385,19	1313,23

Fuente: Propia

**Gráfica. 3.1** Pérdidas de calor en función del espesor.

Fuente: Propia

Como se puede analizar en la Gráfica 3.1, las pérdidas de calor disminuyen inversamente proporcional al espesor, manteniéndose casi constante a partir de los 25 [mm], por lo que es el espesor adecuado para el aislamiento. Además cabe mencionar que las pérdidas de calor por aislamiento corresponden al 0,5 % del calor que se requiere para el secado del producto y sin aislamiento las pérdidas de calor se incrementan hasta en un 4%.

3.3.4.4 Pérdidas de calor a la entrada y salida del producto.

El aire que ingresa por los calentadores de aire debe ser evacuado por la entrada y salida del producto (ecuación 3-31):

$$\dot{m}_{a,ent} = \dot{m}_{a,sal} \quad 3-31$$

El aire luego de pasar por el producto disminuye su temperatura, pero aumenta su humedad como se puede observar en la carta psicrométrica de la figura 3.3, el calor perdido se evalúa con la ecuación 3-32:

$$Q_l = \dot{m}_a \cdot c_{p,a} \cdot (T_3 - T_\infty) \quad 3-32$$

Dónde:

$c_{p,a}$: Calor específico del agua.

T_3 : Temperatura en el punto 3 (figura 3.3)

Remplazando valores nos da:

$$Q_l = 12336,69 [KJ/h]$$

3.3.5 BALANCE ENERGÉTICO

El análisis del balance energético de la cámara de secado se realiza en estado estable representado por la figura 3.6:

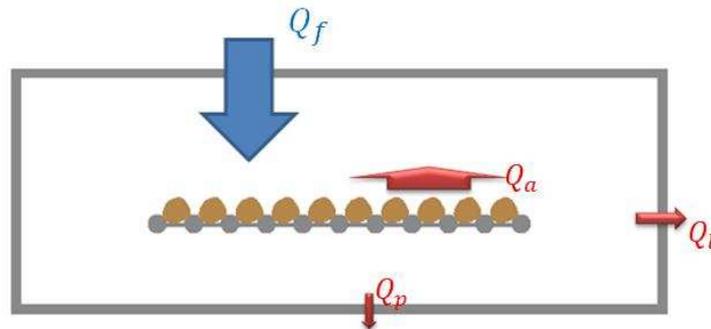


Figura. 3.6 Esquema del balance energético de la cámara de secado.

Fuente: Propia

El sistema está regido por las ecuaciones 3-33 y 3-34:

$$\dot{E}_{ent} = \dot{E}_{sale} \quad 3-33$$

$$Q_f = Q_a + Q_p + Q_l \quad 3-34$$

Dónde:

\dot{E}_{ent} : Energía que entra al sistema.

\dot{E}_{sale} : Energía que sale del sistema.

Q_f : Potencia para calentamiento de la cámara.

Q_a : Calor para extraer el agua del producto.

Q_p : Pérdidas de calor por las paredes.

Q_l : Pérdidas debido a la entrada y salida del producto.

Por lo tanto:

$$Q_f = 215131,65 \text{ [KJ/h]}$$

3.3.6 GENERADOR DE AIRE CALIENTE

Los generadores de aire caliente son equipos compactos que están diseñados para proveer una fuente de calor instantánea y flujo de aire simultáneamente, se selecciona tomando en cuenta los requerimientos de calor y flujo de aire calculados (Ver Anexo 4), algunas de las características del generador se pueden visualizar en la tabla 3.5:

Tabla 3.5 Características técnicas generador de aire caliente.

CARACTERÍSTICA	VALOR
Marca	JETFIRE
Modelo	J33A
Calor producido	139 [KJ/h]
Flujo de aire	850[m ³ /h]
Peso	16,4 [Kg]
Consumo Gas	1,8-2,75 [Kg/h]

Fuente: Catálogo JETFIRE.

Hay que tomar en cuenta que los valores descrito son de un generador, en el presente proyecto se diseña con dos generadores permitiendo un flujo de aire y de calor homogéneo.

3.4 SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE COMBUSTIBLE GLP

El generador de aire caliente suministra el calor necesario para el proceso de secado, el GLP es el combustible con el que el generador lo suministra, por lo que a continuación se analiza cada uno de los componentes del sistema.

3.4.1 TANQUE DE ALMACENAMIENTO¹⁷

La capacidad mínima del tanque de almacenamiento viene en función de la capacidad de vaporización del GLP. Su valor se obtiene de la ecuación 3.35:

$$C_{vap} = D_T \cdot L_T \cdot K_T \quad 3-35$$

Dónde:

C_{vap} : Capacidad de vaporización del GLP.

D_T : Diámetro del tanque.

L_T : Longitud del tanque.

K_T : Constante para porcentaje de volumen líquido en el recipiente.

Los valores de K_T y las correcciones para las diferentes temperaturas se encuentran en el Anexo 5. Los valores de diámetro y la longitud del tanque se encuentran en el Anexo 6.

$$C_{vap@20^{\circ}C} = 4339912,47[KJ/h]$$

¹⁷ Manual de Servicio para el Instalador Gas-LP. REGO pp. 7

La capacidad de vaporización es suficiente para abastecer al generador de aire caliente.

Las características del tanque son las siguientes:

Tabla 3.6 Características técnicas tanque de almacenamiento GLP.

CARACTERÍSTICA	VALOR
Marca	Trinity Industries
Capacidad	0,45 [m^3]
Longitud	1671,6[mm]
Diámetro	609,6 [mm]

Fuente: Catálogo Trinity Industries.

3.4.2 CONSUMO DE COMBUSTIBLE¹⁸

El consumo de combustible viene dado por la ecuación 3.36.

$$Q_m = \frac{Q'_f}{H_i} \quad 3-36$$

Dónde:

Q_m : Caudal másico de combustible GLP. [Kg/h]

Q'_f : Potencia de calentamiento de la cámara.

H_i : Poder calórico inferior.= 45612[KJ/Kg]

Por lo tanto:

$$Q_m = 5,55 [Kg/h]$$

¹⁸ Manual de Instalación de GLP CEPSA

Este es el valor de caudal que se encuentra en el intervalo de consumo del generador de aire caliente.

Con el valor de consumo y con la capacidad del tanque de almacenamiento, se calcula el periodo para cada carga de GLP por parte del distribuidor. Si la cámara de secado se mantiene operando 8 horas diarias, el periodo para cada carga se establece de acuerdo a la ecuación 3-37.

$$\Delta t_{carga} = \frac{C_T \cdot \rho_{GLP@20^\circ C}}{Q_m \cdot t_j} \quad \mathbf{3-37}$$

Dónde:

C_T : Capacidad del tanque de combustible [m^3]

ρ_{GLP} : Densidad del GLP líquido @ 20°C. 506 [Kg/m^3]

t_j : Tiempo de la jornada diaria de trabajo. [h]

Se tiene:

$$\Delta t_{carga} = 5,12 \text{ [dias]}$$

La carga de combustible se la debe realizar una vez por semana bajo las condiciones propuestas.

3.4.3 SELECCIÓN DE LA TUBERÍA¹⁹

Una vez establecido la carga total de combustible que se requiere y elegido el tanque de almacenamiento de GLP, se procede a la selección de la tubería.

¹⁹ Manual de Servicio para el Instalador Gas-LP. REGO pp. 15-25

Para instalaciones industriales se debe realizar una conexión con tuberías normalizadas y válvulas de alivio. La distancia mínima entre el tanque y el punto de ignición debe ser mínimo de 3[m].

Se debe considerar que la tubería no tiene una trayectoria rectilínea entre el tanque y el punto de ignición, por lo que se considera una longitud de tubería de 6[m].

Con los valores de longitud de tubería y capacidad máxima de tubería en [Btu/h] y de acuerdo al Anexo 7, se selecciona una tubería de acero debido a que es una instalación industrial.

$$\phi_{tub} = 3/4 [in]$$

3.4.4 SELECCIÓN DEL REGULADOR DE PRESIÓN²⁰

La selección del regulador va en función de la carga y de la presión de descarga mínima, en este caso se selecciona el regulador de segunda etapa Serie LV4403B con las siguientes características. (Ver Anexo 8)

Tabla 3.7 Características técnicas regulador de presión REGO.

CARACTERÍSTICAS	VALOR
Marca	REGO
Modelo	LV4403B66
Conexión de entrada y salida	3/4 [in]
Presión de descarga	11" C. A.

Fuente: Catálogo L-102-SV REGO

²⁰Catálogo L-102-SV REGO

3.5 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

Es el elemento que soporta los elementos mecánicos, equipos, el producto, así como su propio peso. Las dimensiones ya han sido determinadas con anterioridad: Altura 1,8 m, Largo 4 m, Ancho 1,5 m.

La estructura es construida con perfil en U y con perfiles en L; sus dimensiones se determinan mediante un estudio de elementos finitos usando como herramienta computacional simulación mediante SOLID WORKS con las siguientes condiciones:

- El material de los perfiles es acero estructural A-36.
- La carga máxima que soporta la estructura es 580 [Kg].

En la figura 3.7 se visualiza las cargas aplicadas sobre la estructura.

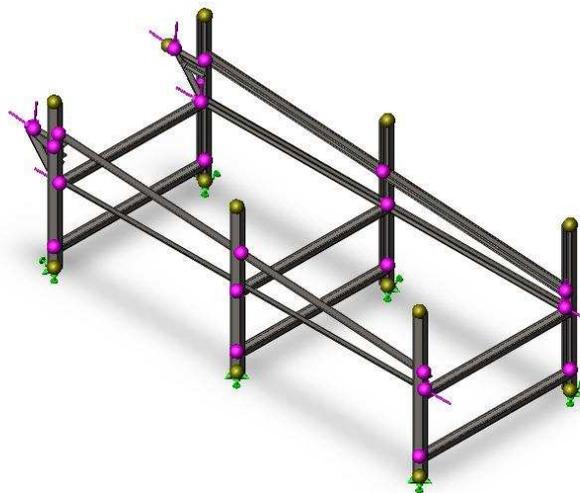


Figura. 3.7 Cargas aplicadas en la estructura.

Fuente: Simulación Solid Works.

Las cargas son aplicadas en los soportes de la banda mediante cargas puntuales sobre las chumaceras.

En la figura 3.8 se muestra el resultado del factor de seguridad de la estructura.

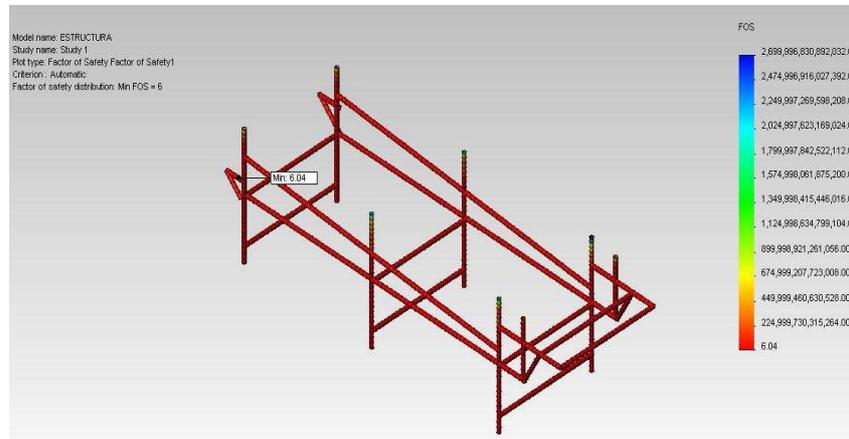


Figura. 3.8 Simulación del factor de seguridad.

Fuente: Simulación Solid Works.

Una vez efectuado la simulación de la estructura con varios tamaños de perfiles hasta encontrar el más óptimo, considerando el factor de seguridad y el material, obteniéndose los siguientes perfiles:

- Perfiles en U: 80x40x4
- Perfiles en L: 50x50x4
- Perfiles en L: 30X30X2
- Perfiles en L: 25x25x3
- Tubo cuadrado: 30X30X3

3.6 DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS MECÁNICOS

Para proceder con el diseño y selección de elementos mecánicos, se debe partir con el cálculo del accionamiento de la máquina, para posteriormente seguir con los demás componentes.

3.6.1 POTENCIA DE ACCIONAMIENTO²¹

Se refiere al cálculo de la potencia del motor que se requiere para la aplicación, se calcula desglosándola en cuatro componentes:

3.6.1.1 Potencia necesaria para mover la banda descargada

Depende del peso de las partes móviles, el coeficiente de fricción de apoyo, la inclinación y la velocidad de la banda, viene dado por la ecuación 3-38:

$$N_1 = \frac{C \cdot f_r \cdot L \cdot v}{75} (2 * G_g * \cos(\delta) + G_s) [CV] \quad 3-38$$

Dónde:

C : Coeficiente según la longitud de transporte = 7.6 (Ver Anexo 9)

f_r : Coeficiente de rozamiento en los rodillos = 0,2²²

L : Longitud del transporte = 4[m]

v : Velocidad de la banda = 0,0302[m/seg]

G_g : Peso por metro lineal de banda [Kg/m]

G_s : Peso de partes giratorias de los rodillos ramal superior [Kg/m]

Peso por metro lineal de banda

El peso por metro lineal incluye el par de cadenas y el número de rodillos por metro, viene dado por la ecuación 3-39:

$$G_g = \frac{P}{m} = 2 \cdot P_{cad} + \frac{P_{rod}}{3P} \quad 3-39$$

²¹<http://www.kauman.com/>

²² http://html.rincondelvago.com/mecanica_fundamentos-de-la-cadena.html

Dónde:

P_{cad} : Peso cadena de rodillos por metro = 3,8[Kg/m]

P_{rod} : Peso de los rodillos= 3,9 [Kg]

P : Paso de la cadena= 0,03175 [m]

$$G_g = 41,45[Kg/m]$$

Peso de partes giratorias de los rodillos

El peso de los elementos que conforman el sistema de banda además de la cadena y los rodillos, son las catarinas, lengüetas y rodamientos, el valor del peso por metro se estima en:

$$G_s = 3[Kg/m]$$

Por lo tanto:

$$N_1 = 0,22 [CV]$$

3.6.1.2 Potencia para vencer las resistencias de rozamiento

Depende de los mismos factores del apartado anterior, con la diferencia de que sólo se considera el peso de la carga a transportar. Su valor en [CV], viene dado por la ecuación 3-40:

$$N_2 = \frac{C \cdot f \cdot L \cdot \dot{M} \cdot \cos(\beta)}{270} [CV] \quad \mathbf{3-40}$$

Dónde:

\dot{M} : Capacidad de secado= 2 [Tn]

β : Ángulo de inclinación de la cámara = 5°

Por lo tanto:

$$N_2 = 0,045 [CV]$$

3.6.1.3 Potencia necesaria para elevar la carga

Depende de la cantidad de material a transportar, la velocidad y la altura. La propia banda no se considera, ya que compensa la parte ascendente con la descendente, en este caso la altura es negativa ya que el material desciende y viene dado por la ecuación 3-41:

$$N_3 = \pm \frac{\dot{M} \cdot H}{270} \quad \mathbf{3-41}$$

Dónde:

H : Altura de carga[m]

Altura de carga

La altura de carga viene dada por la ecuación 3-42:

$$H = L * \text{Sen}(\delta) \quad \mathbf{3-42}$$

$$H = 0,349 [m]$$

Por lo tanto:

$$N_3 = -0,003 [CV]$$

3.6.1.4 Potencia total Necesaria

La potencia total necesaria es la suma de las potencias parciales, su valor está dado por la ecuación 3-43:

$$N_t = N_1 + N_2 + N_3 \quad \mathbf{3-43}$$

$$N_t = 0,260 [CV]$$

3.6.1.5 Selección del Motorreductor

Con el fin de obtener una velocidad de salida entre $4 - 5 [rpm]$, velocidad requerida para el secado, se emplea un motorreductor de las siguientes características descritas en la Tabla 3.8:

Tabla 3.8 Características del motorreductor para la potencia de accionamiento.

Marca	SITI		
Distribuidora	Maquinaria Henriques		
Modelo	P71+ MOT 80/3		
	Simb.	Valor	Unidades
Potencia Nominal	P_{nom}	0,25	KW
Rendimiento motorreductor	RD	0,89	
Revoluciones de entrada	$N1$	1400	rpm
Revoluciones de salida	$N2$	5,1	rpm

Fuente: Catálogo SITI

El catálogo de selección del motorreductor se encuentra en el Anexo 10.

3.6.1.6 Potencia efectiva del motor

Un motorreductor viene con su potencia nominal, aunque debido a diferentes factores, este valor disminuye. La potencia que el equipo requiere se denomina potencia efectiva y viene dado por la ecuación 3-44:

$$P_{ef} = Rd \cdot P_{nom} \quad 3-44$$

Dónde:

Rd : Rendimiento Motorreductor = 0,89

P_{nom} : Potencia Nominal motorreductor= 0,25[KW]

Por lo tanto:

$$P_{ef} = 0,223 \text{ [KW]}$$

El motorreductor cumple con las prestaciones requeridas para el movimiento de la banda transportadora.

3.6.2 DISEÑO DE EJES

El diseño del eje motriz se calcula con la teoría para el diseño estático ya que la velocidad de funcionamiento es baja, esto hace que un diseño dinámico sea innecesario.

3.6.2.1 Fuerza de accionamiento tambor motriz²³

La potencia de accionamiento ha de traducirse en una fuerza de accionamiento sobre el tambor motriz. Esta fuerza de accionamiento se produce por la diferencia entre las tensiones de entrada y salida de la banda, la fuerza y la potencia están relacionadas por la ecuación 3-45.

$$F = \frac{75 \cdot P_{ef}}{v} \quad \text{3-45}$$

Dónde:

P_{ef} : Potencia efectiva del motor= 0,260[CV]

V_{bt} : Velocidad lineal de la banda transportadora= 0,0314[m/s]

Por lo tanto:

²³<http://www.kauman.com/>

$$F = 721,08 [Kg]$$

3.6.2.2 Tensiones de entrada y salida

Las tensiones de entrada y salida están relacionadas por la fórmula de Eytelwein-Euler mediante las ecuaciones 3-46 y 3-47.

$$T_1 = F \left(1 + \frac{1}{e^{\mu \cdot \varepsilon} - 1} \right) \quad 3-46$$

$$T_2 = F \left(\frac{1}{e^{\mu \cdot \varepsilon} - 1} \right) \quad 3-47$$

Dónde:

μ : Coeficiente de rozamiento

ε : Angulo de envoltura de la banda

Por lo tanto:

$$T_1 = 1110,93 [Kg]$$

$$T_2 = 389,85 [Kg]$$

3.6.2.3 Diseño estático.

En el sistema de banda transportadora existen tres ejes en los cuales se analiza mediante el diseño estático. Se toma el eje (a) (eje para el accionamiento motriz) como ejemplo de cálculo. El esquema del eje se representa en la figura 3.9:

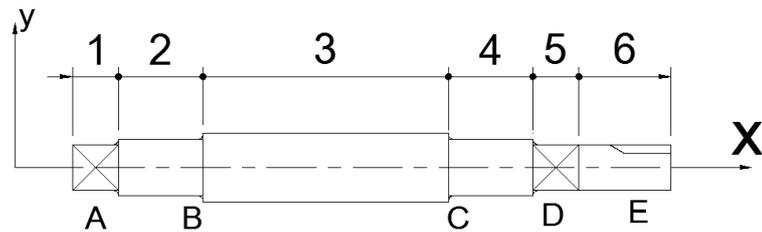


Figura. 3.9 Esquema de la configuración geométrica del eje (a)

Fuente: Propia

Para el diseño estático se obtienen los diagramas de fuerza cortante y momentos flectores del eje y con estos valores se encuentra el diámetro más adecuado. Para ello debemos partir del diagrama de cuerpo libre de eje, como se muestra en la figura 3.10:

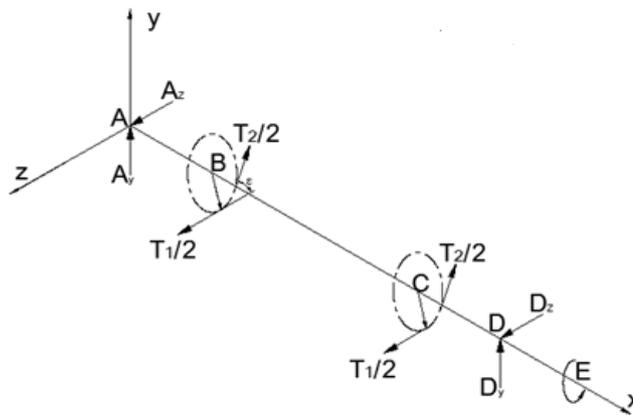


Figura. 3.10 Diagrama de cuerpo libre del eje (a)

Fuente: Propia

3.6.2.3.1 Reacciones en los apoyos del eje

De acuerdo al esquema de la figura 3.9 y al diagrama de cuerpo libre de la figura 3.10, las reacciones en los apoyos se calculan de la siguiente manera:

Realizando la sumatoria de momentos con respecto al eje (y) en el origen se obtiene:

$$+\circlearrowleft \sum My = 0$$

$$\frac{T_1}{2} \cdot a - \frac{T_2}{2} \cdot \text{Cos}(\varepsilon) \cdot a + \frac{T_1}{2} \cdot (a + b) - \frac{T_2}{2} \text{Cos}(\varepsilon) \cdot (a + b) + D_z \cdot (a + b + c) = 0$$

Despejando D_z nos da la siguiente expresión:

$$D_z = \frac{[T_2 \cdot \text{Cos}(\varepsilon) - T_1] \cdot [2 \cdot a + b]}{2 \cdot (a + b + c)}$$

$$D_z = -386,66 \text{ [Kg]}$$

Realizando la sumatoria de fuerzas en (z) se obtiene:

$$+\updownarrow \sum Fz = 0$$

$$A_z - \frac{T_2}{2} \cdot \text{Cos}(\varepsilon) + \frac{T_1}{2} - \frac{T_2}{2} \cdot \text{Cos}(\varepsilon) + \frac{T_1}{2} + D_z = 0$$

Despejando A_z y tomando el valor de D_z anteriormente calculado:

$$A_z = -T_1 + T_2 \cdot \text{Cos}(\varepsilon) - D_z$$

$$A_z = -386,66 \text{ [Kg]}$$

El mismo procedimiento se realiza para encontrar las reacciones en (y).

$$+\circlearrowleft \sum Mz = 0$$

$$\frac{T_2}{2} \cdot \text{Sen}(\varepsilon) \cdot a + \frac{T_2}{2} \text{Sen}(\varepsilon) \cdot (a + b) + D_y \cdot (a + b + c) = 0$$

$$D_y = \frac{T_2 \cdot \text{Sen}(\varepsilon) \cdot (2 \cdot a + b)}{2(a + b + c)}$$

$$D_y = -97,46 \text{ [Kg]}$$

$$+\curvearrowleft \sum F_Z = 0$$

$$A_y + \frac{T_2}{2} \cdot \text{Sen}(\varepsilon) + \frac{T_2}{2} \cdot \text{Sen}(\varepsilon) + D_y = 0$$

$$A_y = -T_2 \cdot \text{Sen}(\varepsilon) - D_y$$

$$A_y = -97,46 \text{ [Kg]}$$

3.6.2.3.2 Diagramas de fuerzas cortantes y momentos flectores

Para el análisis de fuerzas cortantes y momentos flectores se usa como herramienta de cálculo MD Solids 3.5 (se realiza la verificación de los resultados).

Se representan en las figuras 3.11 y 3.12.

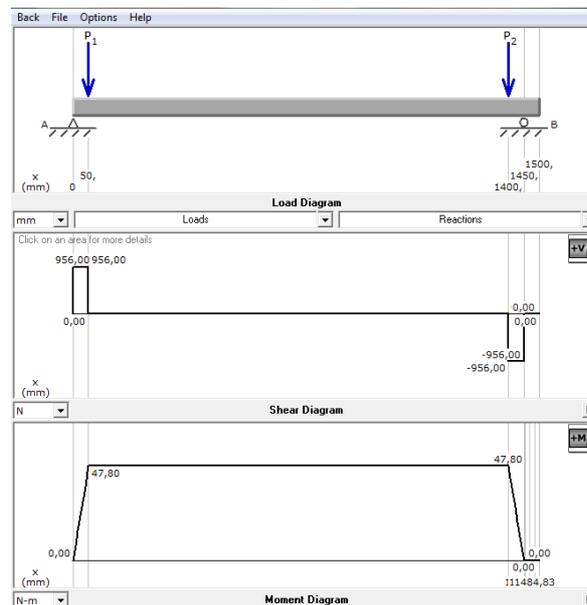


Figura. 3.11 Fuerza cortante y momento flector del eje (a) en el plano(x-y).

Fuente: Propia

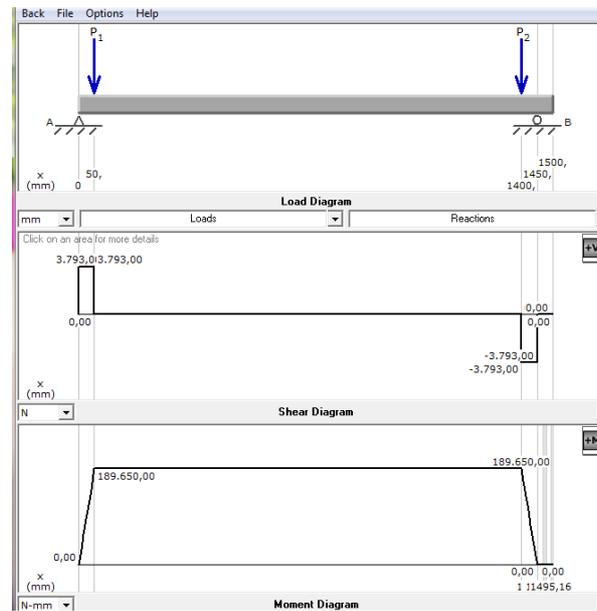


Figura. 3.12 Fuerza cortante y momento flector del eje (a) en el plano(x-z).

Fuente: Propia

Momento resultante

Las secciones críticas en el eje se encuentran ubicadas en B y C, ya que aquí se encuentran los momentos máximos de acuerdo a la figura 3.13:

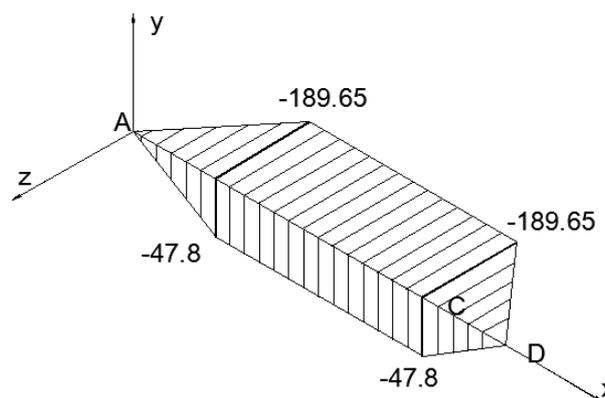


Figura. 3.13 Diagrama de momentos en el espacio del eje (a).

Fuente: Propia

Para la sección crítica el Momento es igual a: (ecuación 3-48).

$$M = \sqrt{M_z^2 + M_y^2} \quad 3-48$$

Los valores de M_y y M_z se encuentran en los diagramas de momentos flectores, sus valores son:

$$M_y = -47,8 [N \cdot m]$$

$$M_z = -189,65 [N \cdot m]$$

Por lo tanto:

$$M = 195,59 [N \cdot m]$$

3.6.2.3.3 Diámetro mínimo²⁴

El diámetro mínimo del eje (a) se rige de acuerdo a la teoría de la energía de la distorsión (ecuación 3-49).

$$d = \left[\frac{32 \cdot n}{\pi \cdot S_y} \cdot \left(M^2 + \frac{3}{4} \cdot T^2 \right)^{1/2} \right]^{1/3} \quad 3-49$$

Dónde:

n : Factor de seguridad

S_y : Limite de fluencia

M : Momento en la sección crítica

T : Torque

²⁴ SHIGLEY E; Diseño en Ingeniería Mecánica; III Ed.; Editorial Mc Graw Hill; México; 1985; pp. 730.

El material a usar es un acero para maquinaria AISI 4340 con las siguientes características (Ver Anexo 11):

$$S_y = 687 \text{ [MPa]}$$

$$S_{ut} = 883 \text{ [MPa]}$$

Por lo tanto:

$$d = 18,84 \text{ [mm]}$$

Se selecciona un eje con un diámetro de 20 [mm].

En la tabla 3.9 se presenta los resultados para los ejes del sistema de banda transportadora:

Tabla 3.9 Resultantes de apoyos, momentos, torque y diámetros calculados.

Eje	Sección	Reacciones [Kg]		Momentos [Nm]	Torque [Nm]	d calculado [mm]	d min. [mm]
		y	z				
a	A	-97,46	-386,66	39,12	199,91	11,18	15
	B			195,59	199,91	18,84	20
	C			195,59	399,83	18,84	20
	D	-97,46	-386,66	39,12	399,83	11,34	15
	E			0,00	399,83	8,39	15
b	F	-9,22	571,70	56,09	0,00	12,41	15
	G			280,45	0,00	21,23	22
	H			280,45	0,00	21,23	22
	I	-9,22	571,70	56,09	0,00	12,41	15
c	J	58,35	-444,58	43,99	0,00	11,45	15
	K			219,94	0,00	19,57	20
	L			219,94	0,00	19,57	20
	M	58,35	-444,58	43,99	0,00	11,45	15

Fuente: Propia

3.6.3 CÁLCULO DE LENGÜETAS²⁵

Se estudia en base a criterios de corte y aplastamiento.

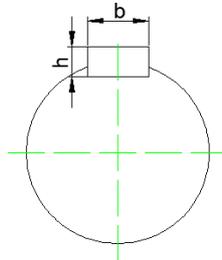


Figura. 3.14 Dimensiones de la lengüeta.

Fuente: Propia

Los valores de b y h se adoptaron en base al diámetro del eje. (Ver Anexo 12)

3.6.3.1 Falla por corte

Se analiza con la ecuación 3-50:

$$n = \frac{S_{sy}}{\tau} \quad 3-50$$

Dónde:

S_{sy} : Esfuerzo de fluencia a cortante

τ : Esfuerzo cortante

El esfuerzo de fluencia al corte y el esfuerzo cortante se evalúan con las ecuaciones 3-51 y 3-52:

$$\tau = \frac{F}{A} = \frac{F}{b \cdot l} \quad 3-51$$

²⁵ LARGURA N.; MÁQUINAS Y HERRAMIENTAS PRONTUARIO; XIII Ed.; Editorial Thomson; España; 2001; pp. 518

$$S_{sy} = 0,577 \cdot S_y \quad 3-52$$

Dónde:

a y l : Dimensiones sección transversal lengüeta

Se calcula l con las ecuaciones 3-50, 3-51 y 3-52 con el material AISI 1045.

$$l = \frac{F \cdot n_l}{0,577 \cdot S_y \cdot b}$$

$$l = 33,53 [mm]$$

Las propiedades del material se puede observar en el Anexo 13:

3.6.3.2 Falla por aplastamiento

Se analiza con las ecuaciones 3-53 y 3-54:

$$n = \frac{S_y}{\sigma} \quad 3-53$$

Dónde:

σ : Esfuerzo de flexión

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{F}{h \cdot l} \quad 3-54$$

Empleando las ecuaciones 3-50 y 3-51:

$$l = \frac{F \cdot n_l}{S_y \cdot h}$$

$$l = 19,35 [mm]$$

Se requiere seis lengüetas, una para cada catalina, los valores de las dimensiones se visualizan en la Tabla 3.10.

Tabla 3.10 Dimensiones de lengüetas.

Eje	Fuerza [Kg]	<i>b</i> [mm]	<i>h</i> [mm]	Falla por corte [mm]	Falla por aplastamiento [mm]
a	5416,15	6	6	36,11	20,84
b	7549,54	8	7	37,75	30,81
c	7909,04	8	7	41,53	27,38

Fuente: Propia

3.6.4 SELECCIÓN CADENA, PIÑÓN Y CATALINA

La cadena, piñones y catalinas son elementos constitutivos de la banda transportadora.

3.6.4.1 Selección de la Cadena de rodillos²⁶

La capacidad nominal de la cadena se rige por la ecuación 3-55:

$$H_{tab} = \frac{n_d \cdot K_s \cdot P_{ef}}{K_1 \cdot K_2} \quad \mathbf{3-55}$$

Dónde:

n_d : Factor de diseño = 1,5

K_s : Factor de servicio = 1,3

P_{ef} : Potencia efectiva = 0,26

K_1 : Factor de corrección de dientes = 0,62

K_2 : Factor de torón múltiple = 1

²⁶ Budynas R., Keith J.; Diseño en ingeniería Mecánica de SHIGLEY; 8va Edición; Mc Graw Hill; México; 2009; pp. 887-895

Los valores de los factores se encuentran en el Anexo 14.

$$H_{tab} = 1,07[hp]$$

Una vez establecida la capacidad de la cadena, se selecciona aquella que cumpla con los requerimientos establecidos (Ver Anexo 15), los cuales se detallan a continuación:

Tabla 3.11 Dimensiones de la cadena de rodillos.

Concepto	Símbolo	Valor	Unid.
Numero ANSI		100	
Paso	P	1,25	[in]
Ancho interior máximo	W_{max}	0,75	[in]
Peso promedio	P_{cad}	3,8	[Kg/m]
Diámetro rodillo	D_{rod}	0,375	[in]

Fuente: Catálogo Ivan Bohman (Cadena de rodillos)

3.6.4.2 Selección Piñón y Catalina

Las bajas velocidades permiten usar un piñón de pocos dientes así como las catalinas, se utiliza un par de piñones y dos pares de catalinas. Se selecciona en base a las dimensiones de la cadena de paso 1,5 in. Las dimensiones se detallan en las tablas 3.12 y 3.13:

Tabla 3.12 Características del piñón.

PIÑÓN			
Concepto	Símbolo	Valor	Unid.
Número de dientes	Z	11	
Diámetro primitivo	D_p	112,70	[mm]
Diámetro exterior	D_e	127,24	[mm]
Ancho diente	T	147,60	[mm]
Peso	$P_{piñon}$	2,3	[Kg]

Fuente: Catálogo Ivan Bohman.

Tabla 3.13 Características de la catalina.

CATALINA			
Concepto	Símbolo	Valor	Unid.
Numero de dientes	Z	17	
Diámetro primitivo	D_p	172,8	[mm]
Diámetro exterior	D_e	188,98	[mm]
Ancho diente	T	17,6	[mm]
Peso	$P_{catalina}$	5,3	[Kg]

Fuente: Catálogo Ivan Bohman.

3.6.5 SELECCIÓN DE RODILLOS

Los rodillos que se seleccionan son aquellos que van a transportar el producto y que constituyen la banda transportadora. No se realiza ningún análisis de esfuerzos ya que las reacciones que puedan soportar cada uno de ellos es muy inferior a lo que pueden soportar el rodillo. Se selecciona con respecto a criterios geométricos y técnicos como temperatura y medio de trabajo. En el Anexo 17 se encuentra las características, a continuación se detallan algunas de ellas:

Tabla 3.14 Característica del rodillo

CONCEPTO	VALOR
Marca	Rolac
Modelo	Tipo GS 32 D60x1,5
Diámetro rodillo	60[mm]
Diámetro eje rodillo	12 [mm]
Espesor rodillo	1,5[mm]
Carga máxima	40[Kg]
Peso	3,9[Kg]

Fuente: Catálogo Rolac.

3.6.6 PESO DE LA BANDA TRANSPORTADORA

Parámetro que involucra el peso de los rodillos, cadenas y el peso de la malanga.

3.6.6.1 Numero de rodillos.

Depende de la longitud total de la banda, bien dado por la ecuación 3-56

$$\#_{rod} = \frac{L_{bt}}{4P} \quad 3-56$$

Dónde:

L_{bt} : Longitud de la banda transportadora.

P : Paso de la cadena.

Por lo tanto:

$$\#_{rod} = 74,02 \cong 74$$

3.6.6.2 Peso total de rodillos

Influye en el peso total de la banda, viene dado por la ecuación 3-57:

$$P_{T,rod} = \#_{rod} \cdot P_{rod} \quad 3-57$$

Dónde:

P_{rod} : Peso del rodillo.

Entonces:

$$P_{T,rod} = 288,60 [Kg]$$

3.6.6.3 Peso total de la cadena de rodillos

Se usa un par de cadenas entre los extremos de los rodillos, el peso por metro se encuentra en el Anexo 16, el peso total del componente es igual a:

$$P_{T,cad} = 2 \cdot L_{bt} \cdot P_{cad} \quad 3-58$$

Dónde:

P_{cad} : Peso por metro de la cadena.

$$P_{T,cad} = 71,44 [Kg]$$

3.6.6.4 Peso de la malanga.

Su valor viene dado por la ecuación 3-59:

$$P_{mal} = \dot{M} \cdot t_c \quad 3-59$$

Dónde:

t_c : Tiempo de secado.

$$P_{mal} = 70,87 [Kg]$$

3.6.6.5 Peso total de la banda

El peso total de la banda es la suma de todos los componentes que la constituyen tales como: ejes, piñones, catalinas, cadenas, rodillos y el peso de la malanga, su valor es igual a:

$$P_{tot} = P_{mal} + P_{T,rod} + P_{T,cad} + 2 \cdot P_{piñon} + 4 \cdot P_{cat} + P_{ejes} \quad 3-60$$

Dónde:

P_{mal} : Peso de la malanga en la banda [Kg]

$P_{piñon}$: Peso del piñón [Kg]

P_{cat} : Peso de la catalina [Kg]

P_{ejes} : Peso de los ejes [Kg]

Por lo tanto:

$$P_{Tot,b} = 472,17 \text{ [Kg]}$$

3.6.7 SELECCIÓN DE RODAMIENTOS Y SOPORTES²⁷

La banda transportadora se desplaza gracias a seis rodamientos que se encuentran sobre sus tres ejes. Las fuerzas que es ejercen sobre los rodamientos son radiales por lo que se seleccionan rodamientos rígidos de bolas, ya que tienen buena capacidad para soportar cargas radiales.

Se toma los rodamientos del eje (a) como ejemplo de cálculo:

²⁷ Catálogo Rodamientos FAG pp. 31-34

3.6.7.1 Fuerza radial

Son las únicas fuerzas que se ejercen sobre los rodillos, se toma en cuenta las tensiones y el peso de la banda transportadora (ecuación 3-61).

$$F_r = \sqrt{A_y^2 + B_z^2} \quad 3-61$$

Dónde:

A_y : Reacción en y sobre el soporte A del eje (a).

A_z : Reacción en z sobre el soporte A del eje (a).

Entonces:

$$F_r = 3,91[KN]$$

3.6.7.2 Carga Dinámica equivalente

La carga dinámica equivalente $P_d[KN]$ es un valor teórico. Es una carga radial y axial (ecuación 3-62).

$$P_d = X \cdot F_r + Y \cdot F_a \quad 3-62$$

Dónde:

X : Factor radial.

Y : Factor axial.

F_a : Carga axial.

Por lo tanto:

$$P_d = 3,91 [KN]$$

3.6.7.3 Factor de velocidad

Se determina mediante las rpm a la que se va a someter el rodamiento, en este caso se toma el de menores revoluciones.

$$f_n = 1,49$$

3.6.7.4 Factor de esfuerzos dinámicos

Es un valor empírico obtenido de la experiencia ganada en aplicaciones de rodamientos iguales o semejantes. Su valor se obtiene con la ecuación 3-63:

$$f_l = \frac{C}{P_d} \cdot f_n \quad \mathbf{3-63}$$

Dónde:

C : Capacidad de carga dinámica. Ver Anexo 18.

Entonces:

$$f_l = 3,62$$

El valor obtenido para f_l es aceptable par el tipo de maquinaria a utilizarse (Maquinaria agrícola).

3.6.7.5 Vida Nominal en rpm y en horas

Determina el tiempo de operación de los rodamientos, sus ecuaciones son:

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P_d} \right)^p \quad \mathbf{3-64}$$

$$L_{h10} = \frac{L_{10} \cdot 10^6}{n \cdot 60} \quad \mathbf{3-65}$$

Dónde:

p : Exponente de vida.

n : Revoluciones de trabajo del rodamiento.

El valor de n para rodamiento de bolas es igual a 3:

Entonces:

$$L_{10} = 14,32 \cdot 10^6 [\text{rev}]$$

$$L_{h10} = 44924,07 [h]$$

En la Tabla 3.15 se muestra en resumen los valores de los soportes seleccionados.

Tabla 3.15 Valores para los rodamientos de bolas.

Rodam.	P_d	Denom.	d	D	B	C	f_l	L_{10}	L_{h10}
A	3,91	16203/15	15	40	19,1	9,5	3,62	14,32	44924,07
D	3,91	16203/15	15	40	19,1	9,5	3,62	14,32	44924,07
F	5,71	16203/15	15	40	19,1	9,5	2,48	4,60	22130,50
I	5,71	16203/15	15	40	19,1	9,5	2,48	4,60	22130,50
J	4,70	16203/15	15	40	19,1	9,5	3,01	8,28	39797,30
M	4,70	16203/15	15	40	19,1	9,5	3,01	8,28	39797,30

Fuente: Catálogo Rodamiento de bolas FAG.

3.6.8 SOLDADURA DE LA SECADORA

3.6.8.1 Soldadura de la estructura y de la cámara de secado

Para la cámara de secado se utilizan juntas a tope para las planchas de acero de 2 mm de espesor, y junta de filete para los ángulos y perfiles. Las dimensiones se determinan de acuerdo a la norma AWS D1.1, como se muestra en las figuras 3.15 y 3.16.

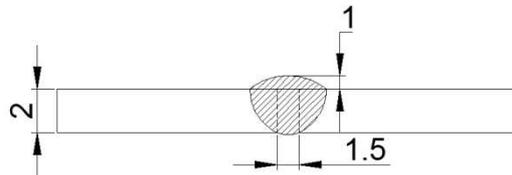


Figura. 3.15 Esquema soldadura a tope chapa metálica.

Fuente: Propia

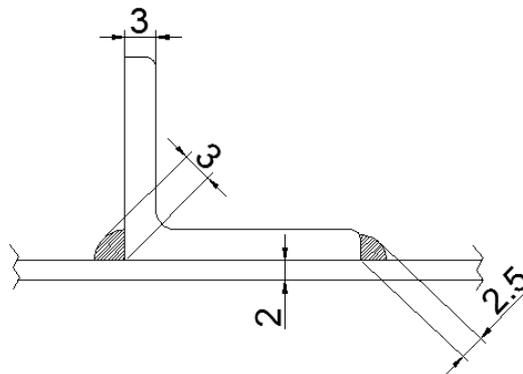


Figura. 3.16 Junta a filete en ángulos y chapa metálica.

Fuente: Propia

El proceso de soldadura empleado para la cámara de secado y la estructura es SMAW con electrodo E6011 para todos los cordones de soldadura. (Ver Plano 2835.101)

CAPITULO 4

CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE

4.1 INTRODUCCIÓN

Una vez que se desarrollaron las etapas de estudio y diseño de cada uno de los componentes y sistemas que conforman la máquina, se deben construir en el taller mecánico. Hay tener mucho cuidado en esta etapa ya que es la que determina en su mayoría los costos reales del mecanismo.

4.2 REQUERIMIENTOS

Para la construcción y montaje de los elementos que constituyen la secadora de malanga así como el de la estructura se requiere de un taller mecánico, el cual debe cumplir los siguientes requerimientos:

- Materia prima para la elaboración de los componentes.
- Personal técnico capacitado.
- Máquinas, herramientas y equipos que se utilizan en la fabricación.
- Normas básicas de seguridad.

La máquina secadora de malanga está constituida por elementos fabricados así como elementos normalizados. En el presente estudio se analiza los elementos que se deben fabricar en el taller mecánico.

También se detallan los materiales, mano de obra y equipos utilizados en el montaje.

4.2.1 MATERIALES

Los materiales que se usan en la fabricación de la máquina secadora de malanga se encuentran en la Tabla 4.1:

Tabla 4.1 Materia prima.

Denominación	Cant.
Plancha A-36 1220X2440X2	6
Perfil en U INEN 623:2000 80X40X4 (6m)	3
Perfil ángulo INEN 623:2000 20X20X2 (6m)	2
Perfil ángulo INEN 623:2000 50X50X2 (6m)	2
Perfil cuadrado ASTM A-500 30X30X2 (6m)	1
Eje AISI 4340,40mm 1,5 m	3
Generador de aire caliente JET FIRE J90A	2
Motorreductor SITI MOT 125/3	1
Rodamiento FAG 6305.2ZR	6
Chumacera piso.	6
Pernos M12X1,75X50	12
Arandela acero M12	24
Tuercas M12X1,75	12
Rodillos GS 32 60x1,5	74
Cadena de rodillos ANSI 100 (3mt)	7
Eje AISI 4340,40mm 1,5 m	3
Piñón ANSI 120 1,5 in 11 dientes.	2
Piñón ANSI 120 1,5 in 17 dientes.	4
Electrodo E6011 1/8" Kg	4
Disco de cortar FANDELI EH-100	2
Guaype	20
Lija par metal FANDELI J-86	10
Anticorrosivo Pintuco P10011-GL gris	2
Thinner	1

Fuente: Propia

En la Tabla 4.1 no constan los materiales del sistema de gas, así como del aislamiento, ya que estos servicios son contratados por empresas especializadas.

4.2.2 MANO DE OBRA

En el proceso de construcción y montaje se requiere del siguiente personal:

- Un jefe de proyecto.
- Dos soldadores.
- Un tornero.
- Un fresador.
- Cuatro obreros.

4.2.3 MÁQUINAS HERRAMIENTAS Y EQUIPOS

Para la fabricación de los diferentes elementos se requiere de los siguientes componentes:

Tabla 4.2 Equipo requerido en la fabricación y montaje.

Tipo	Elemento	Código	Cant.
MÁQUINAS- HERRAMIENTAS	Torno	M1	1
	Taladro de pedestal	M2	1
	Esmeril	M3	1
	Fresadora	M4	1
	Rectificadora	M5	1
	Dobladora	M6	1
	Limadora	M7	1

Fuente: Propia

Tabla 4.2 Equipo requerido en la fabricación y montaje. (Continuación)

EQUIPOS	Soldadora (SMAW)	E1	1
	Amoladora	E2	1
	Taladro de mano	E3	1
	Equipo oxiacetilénico	E4	1
	Equipos de seguridad	E5	1
	Equipos de pintura	E6	1
HERRAMIENTAS	Sierra	H1	2
	Lima	H2	2
	Prensa	H3	1
	Caja de herramientas varias	H4	1
	sogas(varias longitudes)	H5	4
	Estructura y Tecele	H6	1
	Herramientas de soldadura	H7	1
INSTRUMENTOS	Flexómetro	I1	2
	Calibrador	I2	2
	Nivel	I3	1
	Regla metálica	I4	1
	Escuadra	I5	1
	Compas metálico	I6	1

Fuente: Propia

4.3 PROCESO CONSTRUCTIVO

En la ejecución de la máquina hay que distinguir dos fases:

- Construcción
- Montaje

4.3.1 CONSTRUCCIÓN

En el taller mecánico se deben realizar la mayor cantidad posible de actividades, consta la fabricación de elementos mecánicos y de la estructura. Se deben seguir los siguientes pasos:

- Establecer los procesos, materiales, dimensiones y ejecución (Diseño).
- Cotización y adquisición de materiales y equipos.
- Acondicionamiento de espacio, herramientas, equipos y normas de seguridad.
- Preparar el material (medición, corte, doblado).
- Ejecutar los procesos de mecanizado.
- Posicionar, acoplar, fijar y soldar los elementos estructurales para su armado.
- Verificar sus dimensiones.

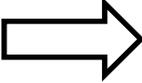
Algunos de los pasos pueden realizarse paralelamente disminuyendo el tiempo de ejecución.

4.3.1.1 Diagrama de flujo construcción

Un diagrama de flujo permite visualizar de un mejor modo la secuencia de ejecución en la fabricación de los elementos así como de la estructura.

La simbología usada en el diagrama de flujo se detalla en la Tabla 4.3:

Tabla 4.3 Simbología diagrama de flujo para la fabricación.

Actividad	Símbolo
Inicio o almacenamiento	
Operación	
Inspección	
Transporte	
Retraso o demora	
Fin del proceso	

Fuente: Propia

Para la simplificación del diagrama de flujo se definen algunos códigos para las diferentes operaciones involucradas en la fabricación. Se detallan en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4 Operaciones mecánicas para la construcción de la secadora.

Operación	Código
Medición	O1
Corte a disco	O2
Corte oxiacetilénico	O3
Doblado	O4
Amolado/esmerilado	O5
Taladrado	O6

Fuente: Propia

Tabla 4.4 Operaciones mecánicas para la construcción de la secadora

(Continuación)

Torneado	O7
Fresado	O8
Limado	O9
Rectificado	O10
Ensamble	O11
Soldadura	O12
Inspección	INS 1
Traslado	T1
Almacenado	A1

Fuente: Propia

El esquema del diagrama de flujo para las operaciones mecánicas para la construcción de la secadora de malanga se detalla en el Anexo 19.

4.3.2 MONTAJE

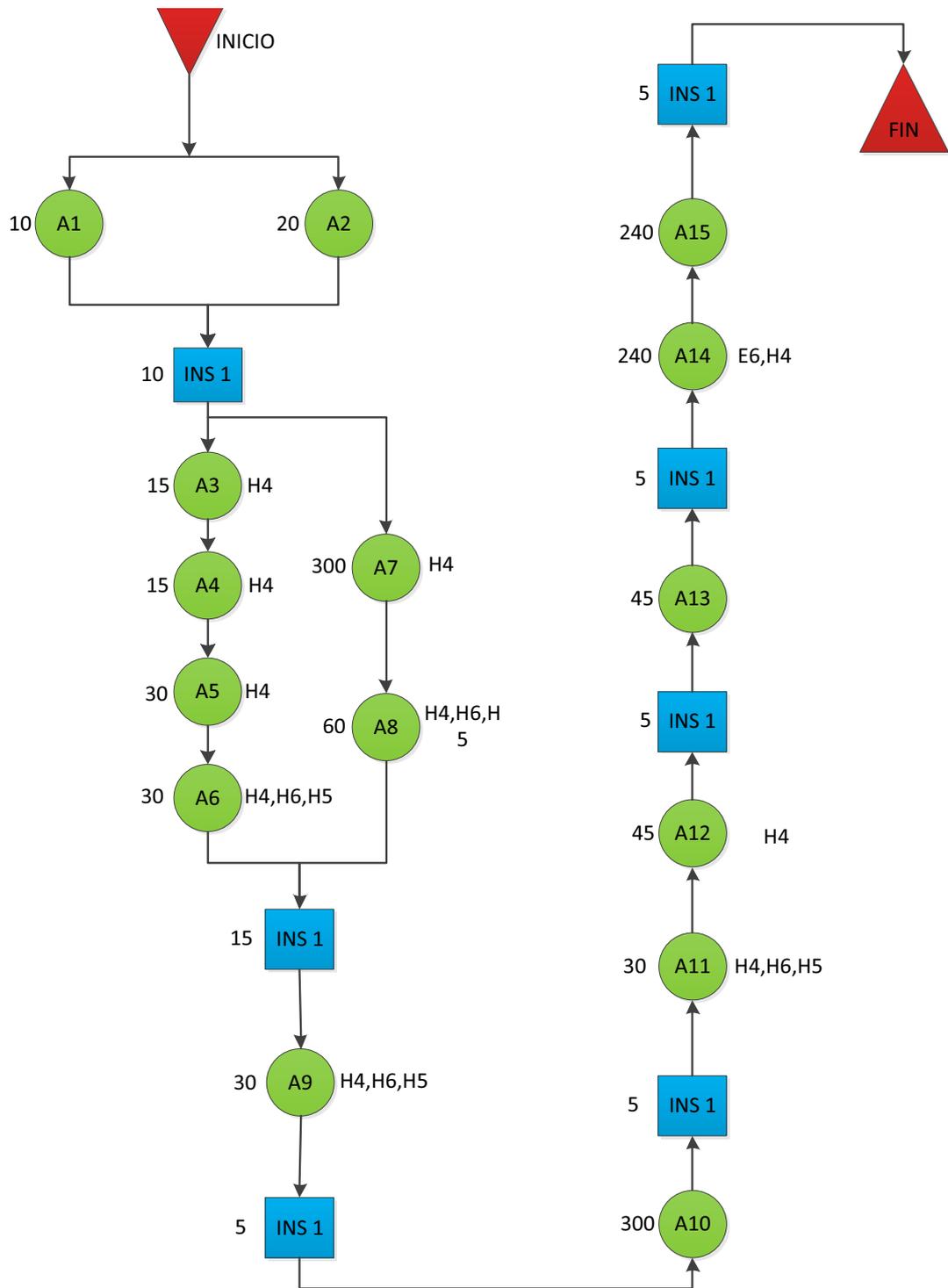
Una vez obtenida la estructura y finalizado el mecanizado de los elementos mecánicos se procede a acoplar cada uno de estos en la posición indicada, para lo cual se debe hacer un diagrama de flujo para cada una de las etapas del montaje. Primeramente hay que establecer las actividades que se deben realizar y su código, las cuales se detallan en la Tabla 4.5:

Tabla 4.5 Actividades que se realizan en el montaje

Actividad	Código
Preparación de herramientas	A1
Preparación y ordenamiento de los elementos.	A2
Instalación de Lengüetas sobre ejes	A3
Instalación de catalina sobre ejes	A4
Instalación de ejes sobre chumaceras	A5
Montaje de chumaceras sobre estructura	A6
Instalación de rodillos a la cadena	A7
Montaje de rodillos y cadena sobre catalinas	A8
Colocación del motorreductor sobre el eje	A9
Instalación del aislamiento de poliuretano	A10
Colocación y empernada de tapas	A11
Colocación de los generadores de aire caliente	A12
Instalación del sistema centralizado de GLP	A13
Pintado a la máquina	A14
Limpieza de la máquina	A15

Fuente: Propia

En la figura 4.1 se representa las etapas en el montaje de la máquina secadora de malanga.



Nota:

- Las cantidades a la izquierda es el tiempo en minutos para cada actividad
- Los códigos entre paréntesis (*) son los equipos que se usan en dicha actividad(Ver Tabla 4.2)

Figura. 4.1Diagrama de flujo montaje de la máquina

Fuente: Propia

CAPITULO 5

COSTOS DE LA MÁQUINA

5.1 INTRODUCCIÓN

El costo es uno de los parámetros más importantes en la implementación o desarrollo de un proyecto, que determina la factibilidad o no de su desarrollo o implementación, en el presente capítulo se determina los costos individuales y el costo total de la máquina secadora de malanga.

5.2 COSTOS DIRECTOS

Dentro de los costos directos se agrupan las siguientes categorías:

- Materiales y equipos.
- Elementos mecánicos.
- Costos de fabricación, maquinado y montaje.
- Costos de aislamiento térmico.
- Costos de diseño.

5.2.1 MATERIALES Y EQUIPOS

Rubro que se encuentran los perfiles, planchas, ejes, platinas así como el generador y el motorreductor.

Tabla 5.1 Costo de materiales.

Material	Proveedor	Costo unit. (USD)	Cant.	Costo tot. (USD)
Plancha A-36 1220X2440X2	DIPAC	54,87	6	329,22
Perfil en U 80X40X4	DIPAC	42,70	6	256,20
Perfil ángulo 20X20X3	DIPAC	52,80	2	105,60
Perfil ángulo 50X50X4	DIPAC	60,40	3	181,20
Perfil cuadrado 30X30X3	DIPAC	38,97	2	77,94
Perfil ángulo 30X30X3	DIPAC	35,45	6	212,70
Generador JET FIRE J33A	MAQUINARIA HENRIQUES	765,68	2	1531,36
Motorreductor SITI MOT 125/3	INGELCOM	580,00	1	580,00
Subtotal Materiales y Equipos				3274,22

Fuente: Proveedores Quito.

5.2.2 ELEMENTOS MECÁNICOS

Tabla 5.2 Costo de elementos mecánicos.

Elemento	Proveedor	Costo Unit. (USD)	Cant.	Costo Tot. (USD)
Soporte de pie P16203/15	Ivan Bohman	17,88	6	107,28
Perno M12X110X30-N	LA CASA DEL PERNO	0,48	12	5,76
Arandela de presión A12	LA CASA DEL PERNO	0,10	24	2,40
Tuercas M12X1,75	LA CASA DEL PERNO	0,45	12	5,40
Perno M6X40X18-N	LA CASA DEL PERNO	0,21	16	3,36
Tuercas M6X1,5	LA CASA DEL PERNO	0,20	16	3,20
Perno M6X16X18-N	LA CASA DEL PERNO	0,18	16	2,88
Tuercas M6X1,5	LA CASA DEL PERNO	0,18	16	2,88
Arandela de presión A6	LA CASA DEL PERNO	0,05	64	3,20
Unión rodillos- cadena	-----	0,73	150	109,50
Rodillos GS 32 60x1,5	REPRINTER	6,58	74	486,92
Cadena de rodillos ANSI 100 (3mt)	IMPORTCOM	275,83	7	1930,81
Eje AISI 4340,30mm 1,5 m	IMPORTCOM	40,18	3	120,54
Piñón ANSI 120 1,5" 11 dientes.	IMPORTCOM	49,28	2	98,56
Piñón ANSI 120 1,5" 17 dientes.	IMPORTCOM	62,39	4	249,56
Subtotal Elementos Mecánicos				3132,25

Fuente: Proveedores Quito.

5.2.3 COSTOS DE FABRICACIÓN MAQUINADO Y MONTAJE

El costo de maquinado involucra el costo de mano de obra y de alquiler de la máquina. (Ver Tabla 5.3)

Tabla 5.3 Costo de maquinado.

Maquinado	Máquina (USD/h)	Operario (USD/h)	Horas (h)	Costo tot. (USD)
Torneado	7,00	7,00	8	112,00
Fresado	8,00	7,00	2	30,00
Rectificado	7,00	7,00	1,5	21,00
Limado	7,00	7,00	1,5	21,00
Amolado y esmerilado	2,00	6,00	6	48,00
Soldadura	5,00	8,00	17	221,00
Taladrado	6,00	5,00	4	44,00
Corte material	6,00	6,00	5	60,00
Doblado	6,00	6,00	2	24,00
Montaje	3,00	6,00	32	288,00
Pintura	3,00	5,00	8	64,00
Varios	0,00	5,00	8	40,00
Subtotal Maquinado				933,00

Fuente: Propia

5.2.4 COSTOS DE AISLAMIENTO TÉRMICO DE LA CÁMARA

El aislamiento permite reducir el consumo de combustible, reduciendo así los costos de operación, para esto se contrata a una empresa que realice el trabajo de aislar la cámara, el costo por metro cuadrado se detalla en la Tabla 5.4.

Tabla 5.4 Costo de aislamiento térmico de la cámara.

Descripción	Cantidad [m ²]	Valor [USD/m ²]	Total [USD]
Aislamiento poliuretano expandido	19	50,04	950,79
Subtotal aislamiento			950,79

Fuente: PROVEATYMI CIA. LTDA.

5.2.5 COSTO DEL SISTEMA DE GLP

El secador requiere de un sistema de GLP conformado por elementos, equipos y sistemas de seguridad para garantizar un buen funcionamiento y que cumpla con las normas vigentes. En la tabla 5.5 se desglosan los valores del sistema de GLP.

Tabla 5.5 Costos del sistema de GLP.

Material	Proveedor	Costo unit. (USD)	Cant.	Costo total (USD)
Regulador 1ra etapa Rego 4403TR9	ALMACENES JÁCOME	54,88	1	54,88
Regulador de 2da etapa ReCa10Kg/hora	ALMACENES JÁCOME	54,88	1	54,88
Tanque de 0,47 m3	DISMACOM	896,00	1	896,00
Manómetro 0 - 200	DISMACON	4,50	1	4,50
Accesorios conex. Flex Tanque	DISMACON	33,60	1	33,60
Conexión tanque y reguladores		25,76	1	25,76
Tubería en acero de 3/4"	DISMACON	30,24	1	30,24
Tee acero 1 1/4"	DISMACON	1,34	1	1,34
Abrazaderas 1 1/4"	DISMACON	10,08	5	50,40
Pega puntos de solda	DISMACON	9,00	15	135,00
Pintura de tubería	DISMACON	7,84	1	7,84
Electrodos 6011	DISMACON	4,93	1	4,93
Transporte tubería		15,00	1	15,00
Lija # 100	DISMACON	0,39	1	0,39
Manguera flexible	HIVIMAR	1,99	2	3,99
Descarga a tierra	DISMACON	84,00	1	84,00
Extintores PQS 10 Libras	DISMACON	51,52	2	103,04
Señalización	DISMACON	33,60	1	33,60
Diseño y planos		56,00	1	56,00
Subtotal Sistema de GLP				1595,39

Fuente: Proveedores Quito.

5.2.6 COSTOS DE DISEÑO

Se toma en cuenta que el diseño se lo elabora en un mes.

Tabla 5.6 Costos de diseño.

Descripción	Costo(USD)
Implementos de oficina e impresiones	200,00
Honorarios Profesionales	920,00
Subtotal Diseño	1120,00

Fuente: Propia

5.2.7 TOTAL COSTOS DIRECTOS

Tabla 5.7 Total costos directos.

Rubro	Costo (USD)
Materiales y equipos	3274,22
Elementos mecánicos	3132,25
Costo de maquinado	933,00
Costo aislamiento	950,79
Costos de Diseño	1120,00
Costo sistema de GLP	1595,39
TOTAL COSTOS DIRECTOS	11005,65

Fuente: Propia

5.3 COSTOS INDIRECTOS

Se conoce como costos indirectos los servicios no recuperables con respecto a la preparación y elaboración del proyecto, tales como:

- materiales consumibles.
- Transporte y Varios.

5.3.1 MATERIALES CONSUMIBLES

Tabla 5.8 Costo materiales consumibles.

Material	Costo unitario. (USD)	Cant.	Costo total. (USD)
Electrodo E6011 1/8" Kg	7,00	4	28,00
Disco de cortar FANDELI EH-100	2,00	2	4,00
Guaype	0,20	20	4,00
Lija par metal FANDELI J-86	0,90	10	9,00
Anticorrosivo Pintuco P10011-GL gris	13,24	2	26,48
Thinner	5,00	1	5,00
Subtotal consumibles			76,48

Fuente: Propia.

5.3.2 TRANSPORTE Y VARIOS

Incluye traslado de personal, de máquinas y equipos. Se puede estimar en 300 USD.

5.3.3 TOTAL COSTOS INDIRECTOS

Tabla 5.9 Total costos indirectos.

Rubro	Costo
Materiales consumibles	76,48
Transporte y Varios	300,00
TOTAL COSTOS INDIRECTOS	376,48

Fuente: Propia

5.4 COSTO TOTAL DE LA MÁQUINA

El costo total de la máquina representa los costos directos y los costos indirectos.

Tabla 5.10 Costo Total de la máquina

Rubro	Costo
COSTOS DIRECTOS	11005,65
COSTOS INDIRECTOS	376,48
TOTAL COSTOS	11382,13

Fuente: Propia

CAPITULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

1. Se ha diseñado una máquina para el secado superficial de la malanga con una capacidad máxima de 2000 Kg/h, complemento de la máquina “Lavadora de malanga” las cuales deben trabajar simultáneamente.
2. El sistema está conformado por dos generadores de aire caliente los cuales transmiten la energía térmica hacia el producto, un sistema de banda transportadora para mover el producto desde el proceso de lavado hasta el final del secado, y la cámara de secado para evitar las pérdidas de calor y aislar al producto.
3. El proceso de secado se lo tiene que llevar a una temperatura entre los 70°C y 80°C, temperaturas mayores a esta podría ocasionar daños en el producto y transformaciones químicas.
4. Las paredes de la cámara de secado está compuesta por tres capas: chapa de acero, aislante de poliuretano, y un recubrimiento de acero galvanizado, permitiendo reducir las pérdidas de calor con un ahorro del costo de operación.
5. El tiempo de secado superficial es inferior a tres minutos, mucho menor que el que se consigue por métodos tradicionales, lo que permite una mayor cantidad de producto listo para su exportación.

6. La información referente a las condiciones climáticas de Santo Domingo de los Colorados permitió diseñar el secador de malanga el cual funciona con combustible GLP.
7. El generador de aire caliente es un equipo funcional que reemplaza a un sistema conformado por un ventilador y un quemador, el cual tiene una mayor eficiencia y es compacto. Para el caso del secador se seleccionó un generador con una mayor aportación de calor.
8. El diseño del secador es para una capacidad de 2000 Kg/h, aunque en la selección del generador se puede aumentar la cantidad de agua extraída del producto.

6.2 RECOMENDACIONES

1. Antes de comenzar el proceso de secado se debe revisar que no existan fugas en las conexiones de GLP, y que las conexiones eléctricas se encuentren en perfectas condiciones.
2. El tanque de GLP de 0,5 [m³] debe estar a una distancia prudencial de acuerdo al a Norma NFPA 58, y adoptar las normas de seguridad para este tipo de instalación.
3. Antes de comenzar un diseño de energía térmica es necesario conocer las características meteorológicas del lugar ya que su análisis depende del lugar donde se va a ubicar.
4. Se debe tener mucho cuidado con las pérdidas de calor que se pueden producir y los costos de los elementos, ya que de esto depende la sustentabilidad del proyecto.
5. La vida útil del equipo depende del mantenimiento al que sea sometido, por lo que se recomienda se realice revisiones periódicas, así como también evitar las sobre exigencia o sobrecargas.
6. Para obtener los resultados deseados de la máquina se sugiere adecuar los parámetros a los establecidos en el diseño.

REFERENCIAS

BIBLIOGRÁFICAS

- INCROPERA F., DE WITT D.; Fundamentos de Transferencia de Calor; IV Ed.; Pearson Education; México; 1999.
- CENGEL Y; Transferencia de Calor; 2da Ed; Mc Graw Hill; México; 2004
- YUNUS A. CENGEL; Termodinámica; VI Ed; McGraw-Hill; México; 2009.
- NONHEBEL, G; El Secado de sólidos en la Industria Química; Editorial Reverté S.A.; España; 2002.
- ASHRAF HANDBOOK 1999; APPLICATIONS; SI Edition
- Manual de Servicio para el Instalador Gas-LP. REGO
- Manual de Instalación de GLP CEPSA
- SHIGLEY E; Diseño en Ingeniería Mecánica; III Ed.; Editorial Mc Graw Hill; México; 1985;
- LARGURA N.; MÁQUINAS Y HERRAMIENTAS PRONTUARIO; XIII Ed.; Editorial Thomson; España.
- Budynas R., Keith J.; Diseño en ingeniería Mecánica de SHIGLEY; 8va Edición; Mc Graw Hill; México; 2009.
- Catálogo Rodamientos FAG.

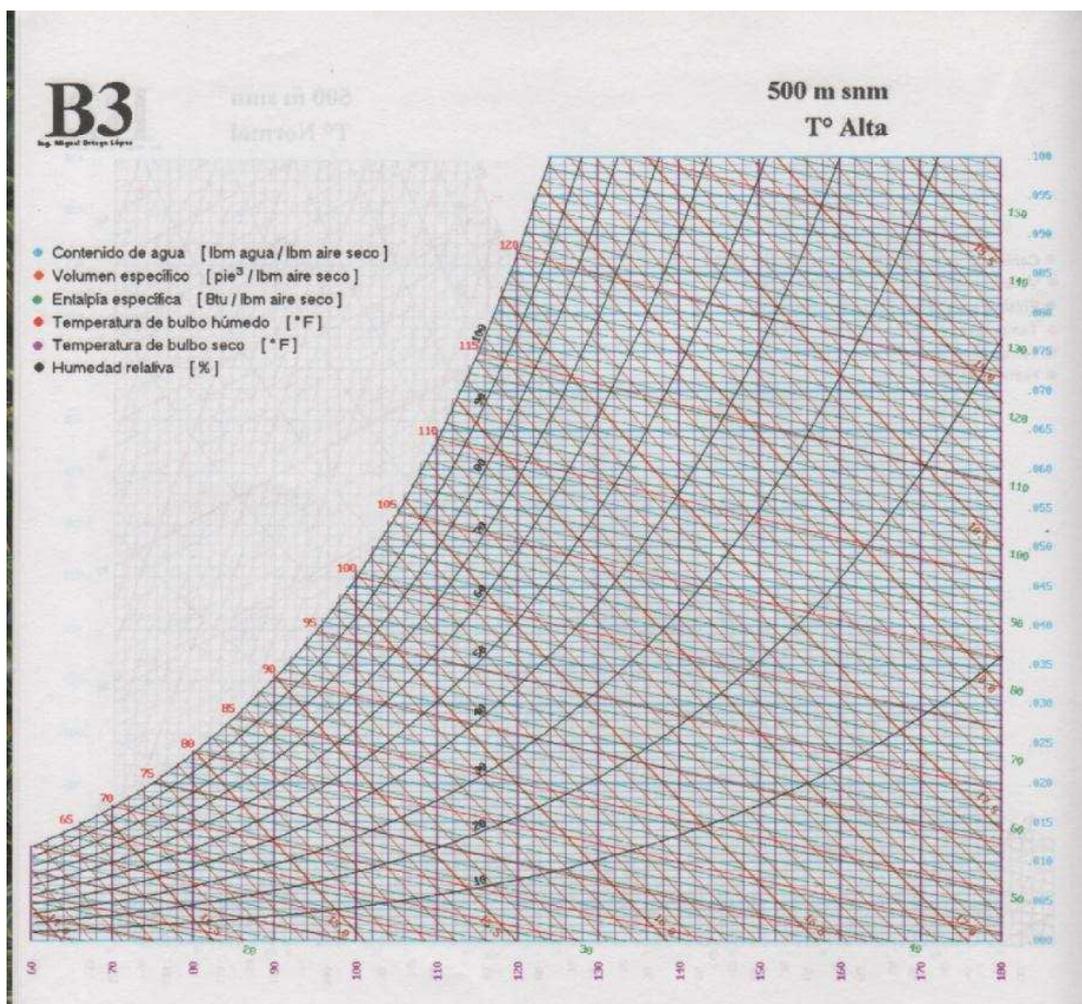
DIRECCIONES INTERNET

- <http://malanga.galeon.com/produccion.htm#Zona>
- <http://portal.veracruz.gob.mx/pls/portal/>

- <http://luisexport.com/productos.php>
- <http://www.fao.org/>
- <http://www.ingepur.cl/informacion/index.php>
- <http://www.bandasycorreasdeecuador.com/servicios.html>
- <http://www.kauman.com/>

ANEXOS

Anexo 1 Carta psicrometrica a 500 msnm.



Anexo 2 Informe de resultados de análisis



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL DEPARTAMENTO DE CIENCIA DE LOS ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA

Página 1/2

INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS O TRABAJO

Nº DE SOLICITUD DE ANÁLISIS O TRABAJO: DC-OTI0035-2011
 Fecha de entrega del informe: 01/11/2011
 Fecha de recepción de la(s) muestra(s): 28/10/2011
 Duración total de la realización del análisis o trabajo: 31/10 y 01/11/2011
 Número total de hojas del informe: 1
 Nombre de la(s) Muestra(s): **1- Malanga seca y 2- Malanga húmeda**
 Número de la(s) Muestra (s): Dos (2)

Descripción de la muestra	Código de las muestras
Malanga seca	DC-OTI0035-2011
Malanga húmeda	DC-OTI0035-2011

Laboratorio(s) o dependencias del DECAB donde se ha realizado el análisis o trabajo: **Bromatología**

Profesional responsable del análisis o trabajo: Dra. Susana Fuertes

RESULTADOS:

Muestras	Analito	Unidades	Resultados	Método	Procedimiento
Malanga seca	Humedad	%(g/100 g)	62.58	AOAC 920.151	En estufa a de vacío a 70°C y 100 mm Hg.
Malanga húmeda			66.20		

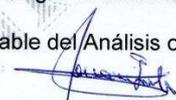
COMENTARIOS:

1.- De acuerdo con lo indicado por la Dra Irma Paredes, Encargada de Recepción de muestras y Atención al Cliente, la muestra de malanga entera con cáscara (un sola unidad) se dividió en dos partes y se procedió a realizar el análisis así:

1.1- Se tomó la humedad de la mitad de la muestra (muestra seca)

1.2 -Se sumergió la otra mitad en agua por 5 minutos y se tomó la humedad.

Responsable del Análisis o Trabajo


 Dra. Susana Fuertes
 Licencia Profesional: 86

QUEJAS Y SUGERENCIAS

El cliente puede canalizar las quejas sobre los resultados de los análisis, sobre el tiempo de entrega del informe u otro aspecto, a través del Jefe del DECAB o de la

Anexo 3 Propiedades del aire a la presión de una atmosfera.

TABLA A-15							
Propiedades del aire a la presión de 1 atm.							
Temp., T , °C	Densidad, ρ , kg/m ³	Calor específico, C_p , J/kg · °C	Conductividad térmica, k , W/m · °C	Difusividad térmica, α , m ² /s	Viscosidad dinámica, μ , kg/m · s	Viscosidad cinemática, ν , m ² /s	Número de Prandtl, Pr
150	2.866	983	0.01171	4.158×10^{-6}	8.636×10^{-6}	3.013×10^{-6}	0.7246
100	2.038	966	0.01582	8.036×10^{-6}	1.189×10^{-5}	5.837×10^{-6}	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	1.252×10^{-5}	1.474×10^{-5}	9.319×10^{-6}	0.7440
-40	1.514	1 002	0.02057	1.356×10^{-5}	1.527×10^{-5}	1.008×10^{-5}	0.7436
-30	1.451	1 004	0.02134	1.465×10^{-5}	1.579×10^{-5}	1.087×10^{-5}	0.7425
-20	1.394	1 005	0.02211	1.578×10^{-5}	1.630×10^{-5}	1.169×10^{-5}	0.7408
-10	1.341	1 006	0.02288	1.696×10^{-5}	1.680×10^{-5}	1.252×10^{-5}	0.7387
0	1.292	1 006	0.02364	1.818×10^{-5}	1.729×10^{-5}	1.338×10^{-5}	0.7362
5	1.269	1 006	0.02401	1.880×10^{-5}	1.754×10^{-5}	1.382×10^{-5}	0.7350
10	1.246	1 006	0.02439	1.944×10^{-5}	1.778×10^{-5}	1.426×10^{-5}	0.7336
15	1.225	1 007	0.02476	2.009×10^{-5}	1.802×10^{-5}	1.470×10^{-5}	0.7323
20	1.204	1 007	0.02514	2.074×10^{-5}	1.825×10^{-5}	1.516×10^{-5}	0.7309
25	1.184	1 007	0.02551	2.141×10^{-5}	1.849×10^{-5}	1.562×10^{-5}	0.7296
30	1.164	1 007	0.02588	2.208×10^{-5}	1.872×10^{-5}	1.608×10^{-5}	0.7282
35	1.145	1 007	0.02625	2.277×10^{-5}	1.895×10^{-5}	1.655×10^{-5}	0.7268
40	1.127	1 007	0.02662	2.346×10^{-5}	1.918×10^{-5}	1.702×10^{-5}	0.7255
45	1.109	1 007	0.02699	2.416×10^{-5}	1.941×10^{-5}	1.750×10^{-5}	0.7241
50	1.092	1 007	0.02735	2.487×10^{-5}	1.963×10^{-5}	1.798×10^{-5}	0.7228
60	1.059	1 007	0.02808	2.632×10^{-5}	2.008×10^{-5}	1.896×10^{-5}	0.7202
70	1.028	1 007	0.02881	2.780×10^{-5}	2.052×10^{-5}	1.995×10^{-5}	0.7177
80	0.9994	1 008	0.02953	2.931×10^{-5}	2.096×10^{-5}	2.097×10^{-5}	0.7154
90	0.9718	1 008	0.03024	3.086×10^{-5}	2.139×10^{-5}	2.201×10^{-5}	0.7132
100	0.9458	1 009	0.03095	3.243×10^{-5}	2.181×10^{-5}	2.306×10^{-5}	0.7111
120	0.8977	1 011	0.03235	3.565×10^{-5}	2.264×10^{-5}	2.522×10^{-5}	0.7073
140	0.8542	1 013	0.03374	3.898×10^{-5}	2.345×10^{-5}	2.745×10^{-5}	0.7041
160	0.8148	1 016	0.03511	4.241×10^{-5}	2.420×10^{-5}	2.975×10^{-5}	0.7014
180	0.7788	1 019	0.03646	4.593×10^{-5}	2.504×10^{-5}	3.212×10^{-5}	0.6992
200	0.7459	1 023	0.03779	4.954×10^{-5}	2.577×10^{-5}	3.455×10^{-5}	0.6974
250	0.6746	1 033	0.04104	5.890×10^{-5}	2.760×10^{-5}	4.091×10^{-5}	0.6946
300	0.6158	1 044	0.04418	6.871×10^{-5}	2.934×10^{-5}	4.765×10^{-5}	0.6935
350	0.5664	1 056	0.04721	7.892×10^{-5}	3.101×10^{-5}	5.475×10^{-5}	0.6937
400	0.5243	1 069	0.05015	8.951×10^{-5}	3.261×10^{-5}	6.219×10^{-5}	0.6948
450	0.4880	1 081	0.05298	1.004×10^{-4}	3.415×10^{-5}	6.997×10^{-5}	0.6965
500	0.4565	1 093	0.05572	1.117×10^{-4}	3.563×10^{-5}	7.806×10^{-5}	0.6986
600	0.4042	1 115	0.06093	1.352×10^{-4}	3.846×10^{-5}	9.515×10^{-5}	0.7037
700	0.3627	1 135	0.06581	1.598×10^{-4}	4.111×10^{-5}	1.133×10^{-4}	0.7092
800	0.3289	1 153	0.07037	1.855×10^{-4}	4.362×10^{-5}	1.326×10^{-4}	0.7149
900	0.3008	1 169	0.07465	2.122×10^{-4}	4.600×10^{-5}	1.529×10^{-4}	0.7206
1 000	0.2772	1 184	0.07868	2.398×10^{-4}	4.826×10^{-5}	1.741×10^{-4}	0.7260
1 500	0.1990	1 234	0.09599	3.908×10^{-4}	5.817×10^{-5}	2.922×10^{-4}	0.7478
2 000	0.1553	1 264	0.11113	5.664×10^{-4}	6.630×10^{-5}	4.270×10^{-4}	0.7539

Nota: Para los gases ideales, las propiedades C_p , k , μ y Pr son independientes de la presión. Las propiedades ρ y α a una presión P (en atm.) diferente de 1 atm se determinan al multiplicar los valores de ρ a la temperatura dada, por P y al dividir α y ν entre P .

Fuente: Datos generados por el software EES desarrollado por S. A. Klein y F. L. Alvarado. Fuentes originales: Keenan, Chao, Keyes, Gas Tables.

Anexo 4 Catálogo generador de aire caliente JETFIRE.



MODEL MODELLO MODELO		J8	J15	J25 J25A	J33 J33A	J50A	J70A	J90A	J90SA
MOTOR MOTORE MOTOR	W/A	38/0.3	45/0.35	100/0.75	100/0.75	150/1.0	150/1.0	150/1.0	750/6.1
VOIT/PHASE/HZ		220-240/1/50/60	220-240/1/50/60	220-240/1/50/60	220-240/1/50/60	220-240/1/50/60	220-240/1/50/60	220-240/1/50/60	220-240/1/50/60
THERMAL CAPACITY CALORE SVILUPPATO CALOR PRODUCIDO	Kw Btu/h Kcal/h	9.3 32000 8000	17.4 60000 15000	29 100000 25000	38 132000 33000	57 200000 50000	81 270000 70000	104 360000 90000	104 360000 90000
AIR FLOW PORTATA D'ARIA CAUDAL DE AIRE	M ³ /H	300	500	700	850	3000	3000	3000	8000
GAS CONSUMPTION CONSUMO GAS CONSUMO GAS	MN/MAX KG/H	0.66	1.25	1.5/2.1	1.8/2.75	2.9/4.1	4.0/5.8	5.5/7.5	5.5/7.5
DIMENSION DIMENSIONI DIMENSIONES	W L H mm	210 480 330	230 530 370	330 670 520	330 730 520	390 950 570	390 1050 570	390 1050 570	610 1200 838
WEIGHT PESO PESO	kg	7	8	15	16.4	28	30	30	51
ACCESSORIES ACCESSORI ACCESORIOS	std opt	1 1	1 1	1 2,3,4 (A models only)	1 2,3,4 (A models only)	1 3,4	1 3,4	1 3,4	1 3,4

THE MANUFACTURER RESERVES THE RIGHT TO MODIFY DESIGN FEATURES AND TECHNICAL DATA WITHOUT NOTICE



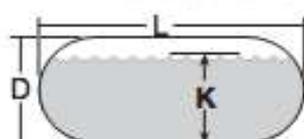
REF	DESCRIPTION
1	GAS REGULATOR & HOSE
2	2 BOTTLE MANIFOLD
3	3 BOTTLE MANIFOLD
4	ROOM THERMOSTAT WITH PLUG & CABLE 2m.

Anexo 5 Capacidad de vaporización del GLP.

Tanques de almacenamiento ASME

Determinando la capacidad de vaporización del propano

Formula guía para recipientes de almacenamiento de Gas-LP ASME



Donde

- D = Diámetro exterior en pulgadas
- L = Largo total en pulgadas
- K = Constante para porcentaje de volumen de líquido en el recipiente

Porcentaje del recipiente lleno	K es igual a	* Capacidad de vaporización del propano a 0 °F (En BTU/Hr.)
60	100	D X L X 100
50	90	D X L X 90
40	80	D X L X 80
30	70	D X L X 70
20	60	D X L X 60
10	45	D X L X 45

* Estas fórmulas permiten que la temperatura del líquido sea refrigerada a -20°F (bajo cero), lo que producirá un diferencial de temperatura de 20°F para la transferencia del calor del aire a la superficie "mojada" del recipiente y de allí al líquido. No se considera el área de espacio de vapor del recipiente/tanque; su efecto es insignificante.

Capacidades de vaporización para otras temperaturas de aire

Multiplique los resultados obtenidos con la formula anterior por uno de los factores siguientes que corresponda a la temperatura prevaleciente del aire.

Temperatura pre- valeciente del aire	Multiplicador	Temperatura pre- valeciente del aire	Multiplicador
-15°F.	0.25	+ 5°F.	1.25
-10°F.	0.50	+10°F.	1.50
-5°F.	0.75	+15°F.	1.75
0°F.	1.00	+20°F.	2.00

Anexo 6 Capacidad de vaporización de tanques de GLP con 20% de llenado.

Volumen m ³	Superficie m ²	Diámetro (mm)	Longitud (mm)	Presión de Diseño (Kg/cm ²)	Tara (Kg)	Capacidad de vaporización (0°C)Kcal/hr	Capacidad de vaporización (5°C)Kcal/hr	Capacidad de vaporización (10°C)Kcal/hr	Capacidad de vaporización (15°C)Kcal/hr	Capacidad de vaporización (20°C)Kcal/hr
0,450	3,201	609,600	1671,600	17,500	111,100	61362,198	71075,906	82921,890	93583,276	104244,661
0,570	3,964	609,600	2070,100	17,500	132,400	75990,600	88020,000	102690,000	115893,000	129096,000
0,950	5,523	800,100	2197,100	17,500	214,100	105856,538	122613,750	143049,375	161441,438	179833,500
1,200	6,879	800,100	2736,900	17,500	266,700	131864,165	152738,415	178194,818	201105,580	224016,343
1,900	8,950	950,500	2997,200	17,500	395,100	171550,281	198706,890	231824,705	261630,738	291436,772
3,800	15,841	1040,400	4846,600	17,500	784,300	303641,488	351708,288	410326,335	463082,579	515838,822
Volumen m ³	Superficie Pulg ²	Diámetro (Pulg)	Longitud (Pulg)	Presión de Diseño (Psi)	Tara (lb)	Capacidad de vaporización (0°C)BTU/hr	Capacidad de vaporización (5°C)BTU/hr	Capacidad de vaporización (10°C)BTU/hr	Capacidad de vaporización (15°C)BTU/hr	Capacidad de vaporización (20°C)BTU/hr
0,450	4962,046	24,000	65,811	250,000	244,420	245448,794	284303,622	331687,559	374333,102	416978,646
0,570	6144,970	24,000	81,500	250,000	291,280	303962,400	352080,000	410760,000	463572,000	516384,000
0,950	8560,075	31,500	86,500	250,000	471,020	423426,150	490455,000	572197,500	645765,750	719334,000
1,200	10663,178	31,500	107,752	250,000	586,740	527456,661	610953,661	712779,272	804422,321	896065,370
1,900	13872,390	37,421	118,000	250,000	869,220	686201,126	794827,559	927298,819	1046522,953	1165747,087
3,800	24553,928	40,961	190,811	250,000	1725,460	1214565,953	1406833,150	1641305,342	1852330,314	2063355,287

Datos calculados a partir de las dimensiones de tanques estacionarios de Industria Trinity.

Anexo 7 Dimensión de la tubería seleccionada.

Tabla 3 - Dimensiones de tubería de segunda etapa, primera etapa o etapa doble integral

Entrada de 11 pulgadas columna de agua con una caída de 1/2 pulgada de columna de agua
 Capacidad máxima de tubo o tubería en miles de BTU/hr de Gas-LP

Tamaño del tubo o tubería de cobre, en pulgadas	Longitud de tubo o tubería, en pies*										
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
Tubería de cobre (D.E.)	49	34	27	23	20	19	—	—	—	—	—
	110	76	61	52	46	42	38	36	33	32	
	206	141	114	97	86	78	71	67	62	59	
	348	239	192	164	146	132	120	113	105	100	
	536	368	296	253	224	203	185	174	161	154	
Tubería de hierro	291	200	161	137	122	110	102	94	87	84	
	608	418	336	297	255	231	212	198	185	175	
	1146	788	632	541	480	435	400	372	349	330	
	2353	1617	1299	1111	985	892	821	764	717	677	
	3525	2423	1946	1665	1476	1337	1230	1144	1074	1014	
	6789	4666	3747	3207	2842	2575	2389	2204	2068	1954	
	125	150	175	200	225	250	275	300	350	400	
Tubería de cobre (D.E.)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Tubería de hierro	74	67	62	58	54	51	48	46	43	40	
	155	141	129	120	113	107	101	97	89	83	
	292	265	244	227	213	201	191	182	167	156	
	600	544	500	465	437	412	392	374	344	320	
	839	815	749	697	654	618	597	560	515	479	
	1731	1589	1443	1343	1260	1190	1130	1078	992	923	

* Longitud total de tubería desde la salida de regulador hasta el aparato más lejano.

Datos calculados según NFPA # 54 y 58.

Anexo 8 Selección del regulador REGO.

Reguladores de Segunda Etapa de Baja Presión

Diseñados para reducir la presión de 5 a 20 PSIG de la primera etapa a la presión del quemador, normalmente 11" C.A. Ideales para las aplicaciones industriales y comerciales de tamaño medio, las instalaciones de múltiples cilindros y los sistemas domésticos normales.



Diseño para Montar Atrás

Se monta directamente en la tubería de la casa; elimina la necesidad de empalmes, codos y soportes. Se instala fácil y rápidamente.

Número de parte	Conexión de Entrada	Conexión de Salida	Tamaño de Orificio	Presión de Descarga de Fábrica	Rango de Ajuste	Posición del Venteo	Capacidad de Vapor de Propano BTU/ hora**
LV4403B4	1/2" NPT F.	1/2"	#28 Drill	11" C.A. a una Entrada de 10 PSIG	9" to 13" C.A.	Sobre Entrada	936,000
LV4403B4B							
LV4403B6B**							
LV4403B6B	3/4" NPT F.	3/4"	3/8"	11" C.A. a una Entrada de 10 PSIG	9" to 13" C.A.	Sobre Entrada	1,000,000
LV4403B6B*							
LV4403B6BRA***							
LV4403B6BAB****							

* Diseño para Montar Atrás
 ** Flujo máximo basado en una entrada de 10 PSIG y 9" C.A. de presión de descarga.
 *** Salida a 90°
 **** Salida a 90° con soporte de montaje incluido

Reguladores de Segunda Etapa de Baja Presión

Diseñados para reducir la presión de 5 a 20 PSIG de la primera etapa a la presión del quemador, normalmente 11" C.A. Ideales para las aplicaciones industriales y comerciales de tamaño grande, las instalaciones de múltiples cilindros y los sistemas domésticos grandes.

LV5503 Series



LV6503 Series

Número de parte	Conexión de Entrada	Conexión de Salida	Tamaño de Orificio	Presión de Descarga de Fábrica	Presión de Descarga de Fábrica	Posición del Venteo	Capacidad de Vapor de Propano BTU/ hora*
LV5503B4	1/2" NPT F.	1/2" NPT F.	1/2"	11" C.A. a una Entrada de 10 PSIG	9" - 13" C.A.	Sobre Entrada	1,600,000
LV5503B6	3/4" NPT F.						
LV5503B8		1" NPT F.	3/32"					2,300,000
LV5503B14	1 1/2" NPT F.	1 1/2" NPT F.	1"	15" C.A. a una Entrada de 15 PSIG	8 1/2" - 14" C.A.	Sobre Entrada	8,000,000
LV5503B16	2" NPT F.	2" NPT F.					9,750,000

Regulador de Segunda Etapa de Baja Presión para Galpón de Tabaco

Desarrollado especialmente para los galpones de secado en la industria del tabaco. El Regulador LV5503G4 proporciona un flujo de combustible constante y estable hasta 12 a 20 quemadores por todo el granero.



Número de parte	Conexión de Entrada	Conexión de Salida	Tamaño de Orificio	Presión de Descarga de Fábrica	Presión de Descarga de Fábrica	Posición del Venteo	Capacidad de Vapor de Propano BTU/ hora**
LV5503G4	1/2" NPT F.	1/2" NPT F.	1/2"	15" C.A. a una Entrada de 15 PSIG	8" - 16" C.A.	Sobre la Entrada	1,750,000

* Flujo máximo basado en una entrada de 15 PSIG y 12" C.A. de presión de descarga.

Anexo 9 Valores de coeficiente "C" para la banda transportadora.



Nt .- Potencia necesaria para accionar descargas intermedias ("tripper")

La *altura de elevación* del "tripper" ha de sumarse a la del transporte en los cálculos anteriores. Además, se añadirán las potencias indicadas en la siguiente tabla.

TABLA V. POTENCIA ABSORBIDA POR EL "TRIPPER" NT, EN CV		
Ancho de la Banda	"Tripper" Fijo	"Tripper" Móvil
hasta 650	1,00	1,70
de 650 a 800	1,70	2,70
de 1.000 a 1.200	2,90	4,30
de 1.200 a 1.600	4,70	6,80
de 1.600 a 2.000	6,00	8,60
de 2.000 a 2.400	7,30	10,00

$$\text{POTENCIA TOTAL NECESARIA} = N1 + N2 + N3 + Nt$$

En estas fórmulas aparece un coeficiente **C** que tiene por objeto compensar algunos efectos tales como el aumento de las resistencias por suciedad en cojinetes y rodamientos, resistencias imprevistas, etc. Sus valores se resumen en la [Tabla VI](#). Los valores son empíricos.

TABLA VI.- VALORES DEL COEFICIENTE "C" (L, LONGITUD DE TRANSPORTE, EN METROS)												
L	3	4	5	6	8	10	12,5	16	20	25	32	40
C	9	7,6	6,6	5,9	5,1	4,5	4	3,6	3,2	2,9	2,6	2,4
L	50	63	80	100	125	160	200	250	320	400	500	1000
C	2,2	2	1,85	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,05	1,05

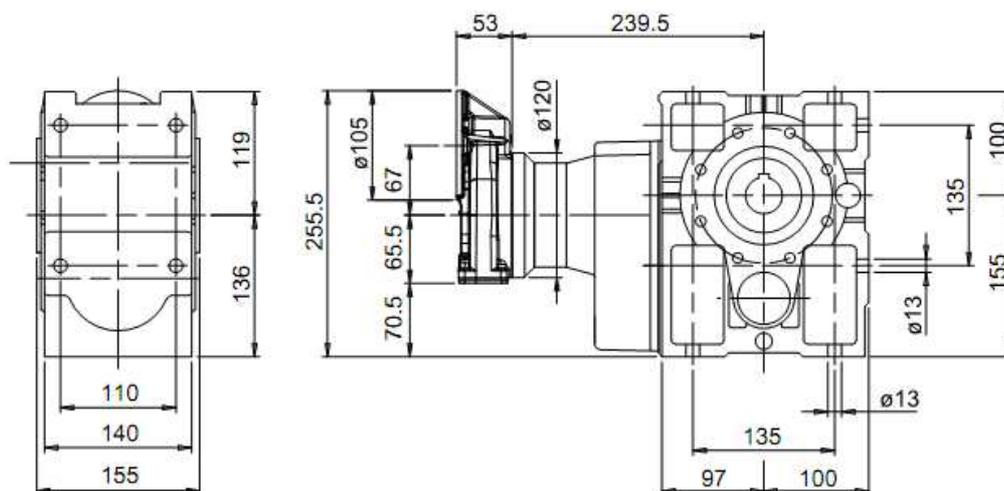


Anexo 10 Selección del motorreductor.

P 71 + MOT 80/3

Dimensioni

Overall dimensions



Prestazioni

Performances

kW ₁	n ₁	i ₁	i ₂	i _{TOT}	n ₂	M ₂	M _{2MAX}	RD	sf
0,37	1400	3,03	38,13	115,5	12,1	260	682	0,89	2,62
0,37		3,03	43,14	130,7	10,7	294	682	0,89	2,32
0,37		3,03	49,33	149,5	9,4	337	682	0,89	2,03
0,37		3,03	57,19	173,3	8,1	390	682	0,89	1,75
0,37		3,03	67,45	204,4	6,9	460	682	0,89	1,48
0,37		3,03	83,08	251,7	5,6	567	660	0,89	1,16
0,37		3,03	98,46	298,3	4,7	672	660	0,89	0,98
0,25		3,03	111,41	337,6	4,1	514	660	0,89	1,28
0,25		3,03	127,41	386,1	3,6	588	660	0,89	1,12
0,25		3,03	147,69	447,5	3,1	681	660	0,89	0,97
0,25		3,03	174,2	527,8	2,7	803	660	0,89	0,82
0,25		3,03	208,12	630,6	2,2	960	660	0,89	0,69
0,25		3,03	233,85	708,6	2,0	1078	660	0,89	0,61
0,25		3,03	262,57	795,6	1,8	1211	660	0,89	0,55

kW ₁	n ₁	i ₁	i ₂	i _{TOT}	n ₂	M ₂	M _{2MAX}	RD	sf
0,37	1400	4,04	38,13	154,0	9,1	347	682	0,89	1,97
0,37		4,04	43,14	174,3	8,0	393	682	0,89	1,74
0,37		4,04	49,33	199,3	7,0	449	682	0,89	1,52
0,37		4,04	57,19	231,0	6,1	520	682	0,89	1,31
0,25		4,04	67,45	272,5	5,1	415	682	0,89	1,64
0,25		4,04	83,08	335,6	4,2	511	660	0,89	1,29
0,25		4,04	98,46	397,8	3,5	605	660	0,89	1,09
0,25		4,04	111,41	450,1	3,1	685	660	0,89	0,96
0,25		4,04	127,41	514,7	2,7	783	660	0,89	0,84
0,25		4,04	147,69	596,7	2,3	908	660	0,89	0,73
0,25	4,04	174,2	703,8	2,0	1071	660	0,89	0,62	
0,25	4,04	208,12	840,8	1,7	1280	660	0,89	0,52	

Anexo 11 Acero para ejes AISI 4340.



GENERALIDADES: 705 es un acero al molibdeno más cromo y níquel. El molibdeno tiene una solubilidad limitada y es un buen formador de carburos. Ejerce un fuerte efecto sobre la templabilidad y de manera semejante al cromo, aumenta la dureza y resistencia a alta temperatura de los aceros. Menos susceptibles al fragilizado debido al revenido que los demás aceros aleados para maquinaria. Al combinarse con níquel y cromo soporta altas exigencias de resistencia y tenacidad en secciones grandes. Su contenido de níquel le da más templabilidad, lo mismo que la resistencia en caliente.

705 combina alta resistencia mecánica (la mayor del mercado) con buena tenacidad. Este acero en forma standard es suministrado bonificado, por lo que no se requeriría luego un tratamiento térmico, sin embargo, si se desea mejores propiedades, puede ser templado al aceite. Susceptible de temple por inducción y también puede someterse a tratamiento de nitrurado.

ANÁLISIS TÍPICO %

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
705	0.36	0.25	0.70	—	—	1.40	1.40	0.20
AISI 4340	0.35-0.40	0.20-0.35	0.60-0.80	0.04	0.04	1.65-2.00	0.70-0.90	0.20-0.30

EQUIVALENCIAS

AISI/SAE	4340
DIN	34CrNiMo6
W.Nr	1.6582
JIS	SNCM1
AFNOR	35NCD6

PROPIEDADES MECÁNICAS EN CONDICIÓN DE SUMINISTRO

Resistencia a la Tracción	90-110 kg/mm ²
Esfuerzo de cedencia	70 kg/mm ²
Elongación, AS	min 12%
Reducción de área, Z	min 45%
Resistencia al impacto, KU	aprox. 20 J
Dureza	270-330 HB

De acuerdo a DIN 17200 resp. SEW 550. Tolerancia DIN 1013 resp. DIN 7527 / 6

Nota: Estas propiedades se garantizan hasta Ø250 mm. Medidas mayores, favor consultarnos.

APLICACIONES:

1. Partes de gran resistencia para la industria automotriz, como:

- ejes
- cardanes
- cigüeñales
- ejes de leva
- tornillería de alta resistencia

2. Partes para la construcción de maquinaria de trabajo pesado como:

- árboles para trituradoras
- ejes de transmisión de grandes dimensiones
- engranajes de temple por llama, inducción o nitruración
- barras de torsión
- mandriles
- portaherramientas

3. Aplicaciones donde se requiere resistencia a la fatiga, como:

- En la construcción de equipo pesado para camiones, aviones, equipo militar, etc.

Anexo 12 Selección lengüetas.

Pasadores y chavetas		CHAVETAS PARALELAS SERIE NORMAL						TABLA 18 . 13						
Dimensiones en mm.								(De UNE 17.102 h1)						
		CHAVETA		CHAVETERO										
Sección b x h	Ancho b		Altura h		Chafilán b _r		Longitud l							
	Nominal	Toler. h9	Nominal	Toler. h9 y h11	Mínimo	Máximo	De...	...a						
4 x 4	4	0	4	0	0,16	0,25	8	45						
5 x 5	5	0	5	0	0,25	0,40	10	58						
6 x 6	6	0	6	0	0,25	0,40	14	70						
8 x 7	8	0	7	0	0,25	0,40	18	90						
10 x 8	10	0	8	0	0,40	0,60	28	140						
14 x 9	14	0	9	-0,090	0,40	0,60	36	180						
16 x 10	16	-0,043	10	0	0,40	0,60	45	180						
18 x 11	18	0	11	0	0,40	0,60	50	200						
20 x 12	20	0	12	0	0,40	0,80	56	220						
22 x 14	22	0	14	0	0,60	0,80	63	250						
25 x 14	25	-0,052	14	-0,110	0,60	0,80	70	280						
28 x 16	28	0	16	0	0,60	0,80	80	320						
32 x 18	32	0	18	0	0,60	0,80	90	360						
36 x 20	36	0	20	0	0,60	1,20	100	400						
40 x 22	40	-0,062	22	0	1,00	1,20	—	—						
45 x 25	45	-0,062	25	0,130	1,00	1,20	—	—						
50 x 28	50	0	28	0	1,00	1,20	—	—						
56 x 32	56	0	32	0	1,00	2,00	—	—						
63 x 32	63	0	32	0	1,60	2,00	—	—						
70 x 36	70	-0,074	36	0	1,60	2,00	—	—						
80 x 40	80	0	40	-0,160	2,50	3,00	—	—						
90 x 45	90	0	45	0	2,50	3,00	—	—						
100 x 50	100	-0,087	50	0	2,50	3,00	—	—						
Diámetro del eje d	Sección de la chaveta b x h	Ancho b, tolerancia				Profundidad				Chafilán R _r				
		Nominal	Clase de ajuste del enchavetado		Ajustado Eje y cubo p9	Eje h ₁		Cubo h ₂		Mín.	Máx.			
Libre	Normal		Nominal	Toler.		Nominal	Toler.							
Más de	hasta		Eje h9	Cubo D10	Eje N9	Cubo Js 9	Nominal	Toler.	Nominal	Toler.				
10	12	4 x 4	4	+0,030	+0,078	0	±0,015	-0,012	2,5	+0,1	1,8	+0,1	0,08	0,16
12	17	5 x 5	5	0	+0,030	-0,030	±0,015	-0,042	3	0	2,3	0	0,16	0,25
17	22	6 x 6	6	0	+0,036	+0,098	0	±0,018	3,5	0	2,8	0	0,16	0,25
22	30	8 x 7	8	+0,036	+0,098	0	±0,018	-0,015	4	0	3,3	0	0,16	0,25
30	38	10 x 8	10	0	+0,040	-0,036	±0,018	-0,051	5	0	3,3	0	0,25	0,40
38	44	12 x 8	12	0	+0,043	+0,120	0	±0,0215	5	0	3,3	0	0,25	0,40
44	50	14 x 9	14	+0,043	+0,120	0	±0,0215	-0,018	5,5	0	3,8	0	0,25	0,40
50	58	16 x 10	16	0	+0,050	-0,043	±0,0215	-0,061	6	0	4,3	0	0,25	0,40
58	65	18 x 11	18	0	+0,052	+0,149	0	±0,026	7	+0,2	4,4	+0,2	0,25	0,40
65	75	20 x 12	20	+0,052	+0,149	0	±0,026	-0,022	7,5	0	4,9	0	0,40	0,60
75	85	22 x 14	22	0	+0,065	-0,052	±0,026	-0,074	9	0	5,4	0	0,40	0,60
85	95	25 x 14	25	0	+0,085	-0,062	±0,026	-0,074	9	0	5,4	0	0,40	0,60
95	110	28 x 16	28	0	+0,087	-0,087	±0,0435	-0,074	10	0	6,4	0	0,40	0,60
110	130	32 x 18	32	0	+0,087	-0,087	±0,0435	-0,074	11	0	7,4	0	0,40	0,60
130	150	36 x 20	36	+0,062	+0,180	0	±0,031	-0,026	12	0	8,4	0	0,70	1,00
150	170	40 x 22	40	0	+0,080	-0,062	±0,031	-0,088	13	0	9,4	0	0,70	1,00
170	200	45 x 25	45	0	+0,080	-0,062	±0,031	-0,088	15	0	10,4	0	0,70	1,00
200	230	50 x 28	50	0	+0,080	-0,062	±0,031	-0,088	17	0	11,4	0	0,70	1,00
230	260	56 x 32	56	0	+0,074	+0,220	0	±0,037	20	+0,3	12,4	+0,3	0,70	1,00
260	290	63 x 32	63	+0,074	+0,220	0	±0,037	-0,032	20	0	12,4	0	1,20	1,60
290	330	70 x 36	70	0	+0,100	-0,074	±0,037	-0,106	22	0	14,4	0	1,20	1,60
330	380	80 x 40	80	0	+0,100	-0,074	±0,037	-0,106	25	0	15,4	0	2,00	2,50
380	440	90 x 45	90	+0,087	+0,260	0	±0,0435	-0,037	28	0	17,4	0	2,00	2,50
400	500	100 x 50	100	0	+0,120	-0,087	±0,0435	-0,124	31	0	19,5	0	2,00	2,50

Anexo 13 Acero para lengüetas AISI 1045.

760-AISI 1045

Acero al carbono para maquinaria



GENERALIDADES: Acero al carbono sin alea de esmerada manufactura, con buena tenacidad. Característica es su alta uniformidad y rendimiento. Puede utilizarse en condición de suministro o con tratamiento térmico de temple y revenido. Aplicable a partes relativamente simples de máquinas. Dureza de suministro aproximada: 200 HB

ANÁLISIS TÍPICO %

	C	Si	Mn	P	S
760	0.50	0.30	0.60	—	0.01
AISI 1045	0.43-0.50	—	0.50-0.90	0.040	0.050

EQUIVALENCIAS:

AISI	1045
SAE	C1045
W.Nr	1.1820

DIN	CK45
UDDEHOLM	UHR11

PROPIEDADES MECÁNICAS:

Resistencia a la Tracción	65 kg/mm ²
Esfuerzo de cedencia	32 kg/mm ²
Elongación, A5	min 10%
Reducción de área	40%
Dureza	220-235

APLICACIONES:

Componentes sencillos, como por ej:

- Pernos
- Chavetas
- Piezas de mediana resistencia para aplicación automotriz
- Ejes

TRATAMIENTO TÉRMICO:

Forjado	800-1050 °C
Normalizado	830-850 °C
Temple (agua)	770-810 °C
Temple (aceite)	790-830 °C
Revenido (herramientas de corte)	100-300 °C
Revenido de bonificación	550-650 °C

MEDIDAS EN STOCK

REDONDO

mm	APROX. PULGADAS	PESO APROX. Kg/m
150	6	67.7
175	4 1/2	81.5
125	5	96.3
150	6	139.0
170	6 11/16	176.0
180	7 1/8	190.0
190	7 1/2	227.3
200	7 7/8	250.1
220	8	326.4
250	9 7/8	383.1
305	12 1/8	576.0
350	13 5/16	756.0

Nota: Laminado en caliente

CUADRADO

mm	APROX. PULGADAS	PESO APROX. Kg/m
6x6	5/16x5/16	0.3
12x12	1/2 x 1/2	1.2
18x18	5/8x5/8	2.1
20x20	3/4x3/4	3.2
25x25	1	5.0
30x30	1 1/16x 3/16	7.2
35x35	1 3/16x 3/8	9.8
40x40	1 5/16x 3/4	12.6
45x45	1 3/4 x 1 3/4	18.3
50x50	2	25.6
60x60	2 3/8 x 2 3/8	39.3
70x70	2 7/8 x 2 7/8	59.0
80x80	3 1/2 x 3 1/2	80.2
90x90	3 9/16 x 3 9/16	105.6

Nota: 6x6-12x12: Laminado en frío
Resto: Laminado en caliente

Anexo 14 Factores de corrección de dientes (SHIGLEY).

Tabla 17-22
Factores de corrección de dientes, K_1

Número de dientes en catarina impulsora	Potencia preextremo, K_1	Potencia posextremo, K_1
11	0.62	0.52
12	0.69	0.59
13	0.75	0.67
14	0.81	0.75
15	0.87	0.83
16	0.94	0.91
17	1.00	1.00
18	1.06	1.09
19	1.13	1.18
20	1.19	1.28
N	$(N/17)^{1.25}$	$(N/17)^{1.5}$

Tabla 17-23
Factores de torones múltiples, K_2

Número de torones	K_2
1	1.0
2	1.7
3	2.5
4	3.3
5	3.9
6	4.6
8	6.0

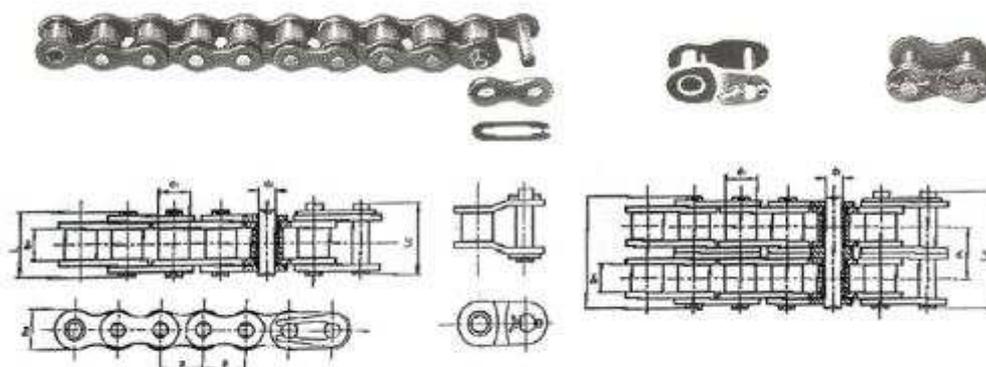
Velocidad de la catarina, rpm		Número ANSI de cadena							
		80	100	120	140	160	180	200	240
50	Tipo A	2.88	5.52	9.33	14.4	20.9	28.9	38.4	61.8
	Tipo B	5.38	10.3	17.4	26.9	39.1	54.0	71.6	115
100		7.75	14.8	25.1	38.8	56.3	77.7	103	166
150		10.0	19.2	32.5	50.3	72.9	101	134	215
200		14.5	27.7	46.8	72.4	105	145	193	310
300		18.7	35.9	60.6	93.8	136	188	249	359
400		22.9	43.9	74.1	115	166	204	222	0
600		27.0	51.7	87.3	127	141	155	169	
700		31.0	59.4	89.0	101	112	123	0	
800		35.0	63.0	72.8	82.4	91.7	101		
900		39.9	52.8	61.0	69.1	76.8	84.4		
1 000		37.7	45.0	52.1	59.0	65.6	72.1		
1 200		28.7	34.3	39.6	44.9	49.9	0		
1 400		22.7	27.2	31.5	35.6	0			
1 600		18.6	22.3	25.8	0				
1 800		15.6	18.7	21.6					
2 000		13.3	15.9	0					
2 500		9.56	0.40						

Anexo 15 Catálogo cadena de rodillos.



ROLLER CHAINS ANSI B29. 1-1975

Rollenketten DIN 8188
 Chainnes à rouleaux ISO/R606
 Cadenas de rodillos ISO/R606

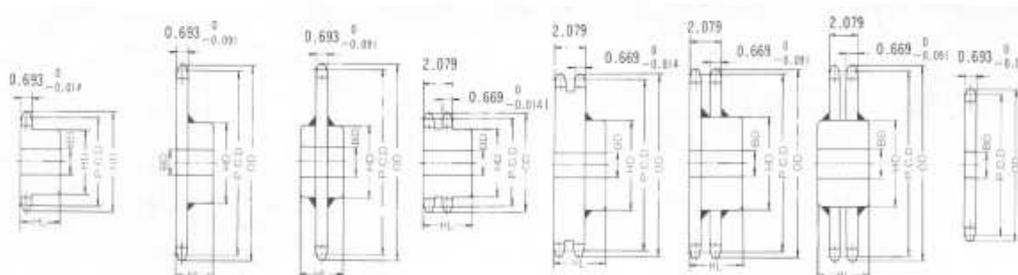


Chain		Pitch	width between inner plates		Roller diameter	Pin diameter	Pin length	Transverse pitch	Breaking load	weight							
Rollenketten		Teilung	Innere Breite		Roller-Ø	Nelson-Ø	Rollenlänge	Mittenabstand	Bruchlast	Gewicht							
Chaîne		Pas	Largeur entre plaques intérieures		Diamètre du rouleau	Longueur de l'axe	Longueur de l'axe	Entre-axes transversal	Charge de rupture	Poids							
Cadena		Peso	Ancho entre placas interiores		Diametro del rodillo	Diametro del perno	Longitud del perno	Peso transversal	Carga de ruptura	Peso							
ANSI No.	DIN ISO No.	P		W max		R max		D max		L max		C		min	min		
		in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	Lg	Kg	Lb-ft	Kg/m
25		1/4	6.35	0.125	3.18	0.130	3.30	0.091	2.31	0.339	8.60			990	450	0.09	0.14
35		5/16	9.525	0.188	4.78	0.200	5.08	0.141	3.59	0.510	12.95			2420	1100	0.22	0.33
40	08A	1/2	12.70	0.313	7.95	0.312	7.92	0.156	3.97	0.691	17.45			4290	1950	0.41	0.62
41	08B	1/2	12.70	0.351	8.38	0.306	7.77	0.141	3.59	0.567	14.40			2640	1200	0.27	0.41
50	10A	3/8	15.875	0.375	9.53	0.400	10.16	0.200	5.00	0.825	21.75			7040	3200	0.71	1.06
60	12A	3/4	19.05	0.500	12.70	0.469	11.91	0.234	5.98	0.950	26.00			9980	4400	1.01	1.50
100	20A	1 1/4	31.75	0.750	19.05	0.750	19.05	0.375	9.54	1.699	43.15			25300	11500	2.55	3.80
140	28A	1 3/4	44.45	1.000	25.40	1	25.40	0.500	12.71	2.303	58.50			45100	20500	5.10	7.60
160	32A	2	50.80	1.250	31.75	1.125	28.57	0.562	14.29	2.742	69.65			59400	27000	6.38	9.50
200	40A	2 1/2	63.50	1.500	38.10	1.562	39.67	0.781	19.85	3.368	86.30			99000	45000	11.02	16.40
25-2		3/8	9.525	0.125	3.18	0.130	3.30	0.091	2.31	0.691	16.00	0.252	8.40	1790	800	0.18	0.26
35-2		5/16	12.70	0.188	4.78	0.200	5.08	0.141	3.59	0.957	23.05	0.398	10.10	3970	1800	0.42	0.64
40-2	08A-2	1/2	12.70	0.313	7.95	0.312	7.92	0.156	3.97	1.294	30.85	0.567	14.40	7050	3200	0.80	1.20
50-2	10A-2	3/8	15.875	0.375	9.53	0.400	10.16	0.200	5.00	1.569	31.85	0.713	19.10	10700	4890	1.36	2.02
60-2	12A-2	3/4	19.05	0.500	12.70	0.469	11.91	0.234	5.98	1.967	40.70	0.898	22.80	15900	7040	2.02	3.00
80-2	16A-2	1	25.40	0.625	15.88	0.625	15.87	0.312	7.84	2.543	64.60	1.154	29.30	27300	12400	3.38	5.02
100-2	20A-2	1 1/4	31.75	0.750	19.05	0.750	19.05	0.375	9.54	3.108	78.95	1.409	35.80	41000	18000	5.12	7.64
120-2	24A-2	1 1/2	38.40	1.000	25.40	0.875	22.32	0.437	11.11	3.603	96.30	1.797	45.40	59500	27000	7.38	10.98
140-2	28A-2	1 3/4	44.45	1.000	25.40	1	25.40	0.500	12.71	4.226	107.40	1.925	48.90	80700	36000	9.30	13.92
160-2	32A-2	2	50.80	1.250	31.75	1.125	28.57	0.562	14.29	5.045	128.15	2.303	58.50	104900	47000	12.58	18.72
200-2	40A-2	2 1/2	63.50	1.500	38.10	1.562	39.67	0.781	19.85	6.217	157.90	2.819	71.60	194000	74400	21.40	31.94

Anexo 16 Catálogo catalina Ivan Bohman.



NK 100 ANSI(ASA) STANDAR SPORCKETS



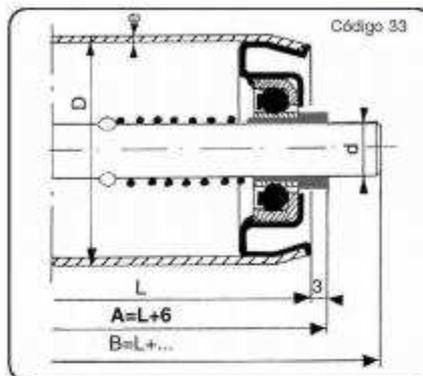
No. of Teeth	Pitch Dia. (P.C.D.)	Outside Dia. (O.D.)	SINGLE B TYPE				Approx. Weight (kg)	Material	SINGLE B TYPE				Approx. Weight (kg)	Material	No. of Teeth
			Bore (C.D.) Stock	Bore (C.D.) Max.	Hub O.D.	Hub H.L.			Bore (C.D.) Stock	Bore (C.D.) Max.	Hub O.D.	Hub H.L.			
9	3.855	4.18	0.83	1.57	2.441	1.969	1.80								9
10	4.045	4.60	0.87	1.77	2.559	1.969	1.90	0.87	1.81	2.756	3.150	3.50	0.87	1.10	10
11	4.437	5.01	0.87	2.01	2.953	1.969	2.30	0.87	2.17	3.150	3.150	4.20	0.87	1.83	11
12	4.635	5.24	0.87	2.15	3.099	1.969	2.40	1.10	2.38	3.543	3.150	5.00	0.87	1.60	12
13	5.223	5.82	0.87	2.48	3.701	1.969	3.10	1.10	2.80	3.937	3.150	6.00	0.87	1.50	13
14	5.618	6.23	0.87	2.80	3.858	1.969	3.60	1.10	2.95	4.331	3.150	7.00	0.87	2.15	14
15	6.012	6.63	0.87	2.80	3.858	1.969	4.20	1.10	3.15	4.724	3.150	7.10	0.87	2.60	15
16	6.407	7.04	0.87	2.95	4.213	1.969	4.70	1.10	3.50	5.116	3.150	7.70	0.87	2.63	16
17	6.803	7.44	0.87	2.95	4.213	1.969	5.30	1.10	3.50	5.116	3.150	6.90	0.87	3.20	17
18	7.199	7.84	0.87	2.95	4.213	1.969	5.90	1.10	3.50	5.116	3.150	9.80	0.87	3.60	18
19	7.594	8.24	1.02	2.95	4.213	1.969	6.10	1.10	3.50	5.116	3.543	12.80	1.02	4.40	19
20	7.990	8.64	1.02	2.95	4.213	1.969	6.50	1.10	3.50	5.116	3.543	13.50	1.02	4.40	20
21	8.387	9.04	1.02	2.95	4.213	1.969	7.00	1.10	3.50	5.116	3.543	14.30	1.02	4.40	21
22	8.783	9.44	1.18	3.15	4.806	2.205	7.90	1.10	3.50	5.000	3.543	15.50	1.18	5.35	22
23	9.180	9.84	1.18	3.15	4.806	2.205	8.50	1.10	3.50	5.000	3.543	16.60	1.18	5.80	23
24	9.576	10.25	1.18	3.15	4.806	2.205	8.85	1.50	3.74	5.394	3.543	17.80	1.18	6.40	24
25	9.973	10.63	1.18	3.15	4.806	2.205	9.30	1.50	3.74	5.394	3.543	19.50	1.18	6.50	25
26	10.370	11.05	1.18	3.15	4.806	2.205	9.80	1.50	3.74	5.394	3.543	19.80	1.18	7.50	26
27	10.767	11.48	1.18	3.15	4.806	2.205	10.30	1.50	3.74	5.394	3.543	21.00	1.18	8.10	27
28	11.164	11.95	1.18	3.15	4.806	2.205	10.90	1.50	3.74	5.394	3.543	22.00	1.18	8.70	28
29	11.561	12.24	1.18	3.15	4.806	2.205	11.50	1.50	3.74	5.394	3.543	22.20	1.18	9.30	29
30	11.959	12.64	1.18	3.15	4.806	2.205	12.10	1.50	3.74	5.394	3.543	24.30	1.18	10.00	30
31	12.358	13.03	1.38	3.15	4.806	2.205	13.00	1.50	3.74	5.394	3.543	27.00	1.18	10.65	31
32	12.753	13.44	1.38	3.15	4.806	2.205	13.40	1.50	3.74	5.394	3.543	27.00	1.18	11.35	32
33	13.150	13.88	1.38	3.15	4.806	2.205	14.50	1.50	3.74	5.394	3.543	30.90	1.18	12.00	33
34	13.548	14.25	1.38	3.15	4.806	2.205	16.10	1.50	3.74	5.394	3.543	30.90	1.18	12.80	34
35	13.945	14.64	1.38	3.50	5.000	2.480	16.80	1.50	3.74	5.394	3.543	32.60	1.18	13.50	35
36	14.342	15.04	1.38	3.50	5.000	2.480	17.50	1.50	3.74	5.394	3.543	36.00	1.38	14.40	36
37	14.739	15.43	1.38	3.50	5.000	2.480	18.00	1.50	3.74	5.394	3.543	36.00	1.38	15.10	37
38	15.137	15.83	1.38	3.50	5.000	2.480	18.90	1.50	3.74	5.394	3.543	38.00	1.38	16.00	38
39	15.534	16.22	1.38	3.50	5.000	2.480	20.00	1.50	4.08	5.394	3.543	40.70	1.38	16.80	39
40	15.932	16.63	1.38	3.50	5.000	2.480	20.40	1.50	4.08	5.394	3.543	40.70	1.38	17.70	40
41	16.330	17.05	1.38	3.50	5.000	2.480	21.50	1.50	4.08	5.787	3.937	45.00	1.38	18.60	41
42	16.727	17.44	1.38	3.50	5.000	2.480	22.60	1.50	4.08	5.787	3.937	45.00	1.38	19.50	42
43	17.124	17.83	1.38	3.50	5.000	2.480	23.50	1.50	4.08	5.787	3.937	45.00	1.38	20.50	43
44	17.522	18.23	1.38	3.50	5.000	2.480	24.00	1.50	4.08	5.787	3.937	49.30	1.38	21.45	44
45	17.920	18.63	1.38	3.50	5.000	2.480	24.70	1.50	4.08	5.787	3.937	49.30	1.38	22.40	45
46	18.318	19.02	1.38	3.50	5.000	2.480	27.50	1.50	4.08	5.787	3.937	53.00	1.50	25.60	46
47	18.716	19.41	1.50	3.50	5.000	2.480	30.00	1.50	4.08	5.787	3.937	58.00	1.50	27.70	47
48	19.112	19.82	1.50	4.08	5.790	3.150	37.40	1.50	4.08	5.787	3.937	63.00	1.50	32.30	48
49	19.509	20.23	1.50	4.08	5.790	3.150	44.30	1.50	4.08	5.787	4.921	68.30	1.50	39.80	49
50	19.907	20.63	1.50	4.08	5.790	3.150	53.00	1.50	4.08	5.787	4.921	68.30	1.50	46.80	50
51	20.304	21.04	1.50	4.08	5.790	3.150	53.00	1.50	4.08	5.787	4.921	68.30	1.50	46.80	51
52	20.701	21.45	1.50	4.08	5.790	3.150	53.00	1.50	4.08	5.787	4.921	68.30	1.50	46.80	52
53	21.098	21.86	1.50	4.08	5.790	3.150	53.00	1.50	4.08	5.787	4.921	68.30	1.50	46.80	53
54	21.495	22.27	1.50	4.08	5.790	3.150	53.00	1.50	4.08	5.787	4.921	68.30	1.50	46.80	54
55	21.892	22.68	1.50	4.08	5.790	3.150	53.00	1.50	4.08	5.787	4.921	68.30	1.50	46.80	55
56	22.289	23.09	1.50	4.08	5.790	3.150	53.00	1.50	4.08	5.787	4.921	68.30	1.50	46.80	56
57	22.686	23.50	1.50	4.08	5.790	3.150	53.00	1.50	4.08	5.787	4.921	68.30	1.50	46.80	57
58	23.083	23.91	1.50	4.08	5.790	3.150	53.00	1.50	4.08	5.787	4.921	68.30	1.50	46.80	58
59	23.480	24.32	1.50	4.08	5.790	3.150	53.00	1.50	4.08	5.787	4.921	68.30	1.50	46.80	59
60	23.877	24.73	1.50	4.08	5.790	3.150	53.00	1.50	4.08	5.787	4.921	68.30	1.50	46.80	60
61	24.274	25.14	1.50	4.08	5.790	3.150	53.00	1.50	4.08	5.787	4.921	68.30	1.50	46.80	61
62	24.671	25.55	1.50	4.08	5.790	3.150	53.00	1.50	4.08	5.787	4.921	68.30	1.50	46.80	62
63	25.068	25.96	1.50	4.08	5.790	3.150	53.00	1.50	4.08	5.787	4.921	68.30	1.50	46.80	63
64	25.465	26.37	1.50	4.08	5.790	3.150	53.00	1.50	4.08	5.787	4.921	68.30	1.50	46.80	64
65	25.862	26.78	1.50	4.08	5.790	3.150	53.00	1.50	4.08	5.787	4.921	68.30	1.50	46.80	65
66	26.259	27.19	1.50	4.08	5.790	3.150	53.00	1.50	4.08	5.787	4.921	68.30	1.50	46.80	66
67	26.656	27.60	1.50	4.08	5.790	3.150	53.00	1.50	4.08	5.787	4.921	68.30	1.50	46.80	67
68	27.053	28.01	1.50	4.08	5.790	3.150	53.00	1.50	4.08	5.787	4.921	68.30	1.50	46.80	68
69	27.450	28.42	1.50	4.08	5.790	3.150	53.00	1.50	4.08	5.787	4.921	68.30	1.50	46.80	69
70	27.847	28.83	1.50	4.08	5.790	3.150	53.00	1.50	4.08	5.787	4.921	68.30	1.50	46.80	70
71	28.244	29.24	1.50	4.08	5.790	3.150	53.00	1.50	4.08	5.787	4.921	68.30	1.50	46.80	71
72	28.641	29.65	1.50	4.08	5.790	3.150	53.00	1.50	4.08	5.787	4.921	68.30	1.50	46.80	72
73	29.038	30.06	1.50	4.08	5.790	3.150	53.00	1.50	4.08	5.787	4.921	68.30	1.50	46.80	73
74	29.435	30.47	1.50	4.08	5.790	3.150	53.00	1.50	4.08	5.787	4.921	68.30	1.50	46.80	74
75	29.832	30.88	1.50	4.08	5.790	3.150	53.00	1.50	4.08	5.787	4.921	68.30	1.50	46.80	75

Anexo 17 Catálogo Rolac para rodillos de la banda.

Rodillo de gravedad tipo GS 32

COMBINACION TUBO / EJE		
d	D	
	*50 x 1,5	60 x 1,5
12	X	X
14	X	X

* posibilidad de tubo reforzado Ø 50x2,9
Materiales / Revestimientos: página 8 - 9



DESCRIPCION:

Cabezales de polipropileno azul, con doble hilera de bolas, jaula y anillo interior de nylon
 Tipo **VGMA**: con bolas de acero; 50 PVC únicamente
 Tipo **VGMX**: con bolas de ac. Inox., 50x1,5 y 50 PVC } Y muelles en ac. Inox.

Longitud L mínima posible: 44 mm

NOTA: Posibilidad de montaje con rodamientos 608 Z, ZZ, RS, 2RS.
 De acero o ac. Inox. (Rodillos tipo **VN22**: código 34)

UTILIZACION: Funcionamiento silencioso – Cargas aisladas más pesadas que en los tipos **P/EB...** : Gravedad, almacenamiento dinámico

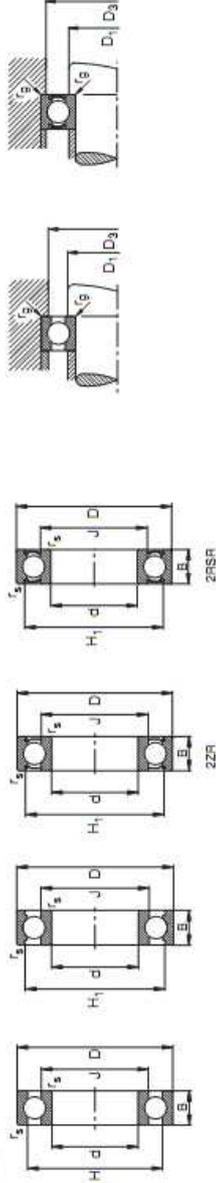
-20°C < T < + 60 °C

Medio agroalimentario y otras industrias con exigencia de higiene

Cargas máximas admisibles (Kg) / Peso (Kg) / L máximas aconsejadas																	
D	d	L	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500
			50x1,5	12	100	100	100	100	75	68	56	48	42	38	35	32	29	27	25
14	120	120		120	120	95	85	70	60	53	48	44	40	37	34	32	
60x1,5	12	120	120	120	120	95	85	70	60	53	48	44	40	37	34	32	
	14	150	150	150	150	95	87	84	74	67	62	55	51	47	44	40	

Anexo 18 Selección rodamiento rígido de bolas.

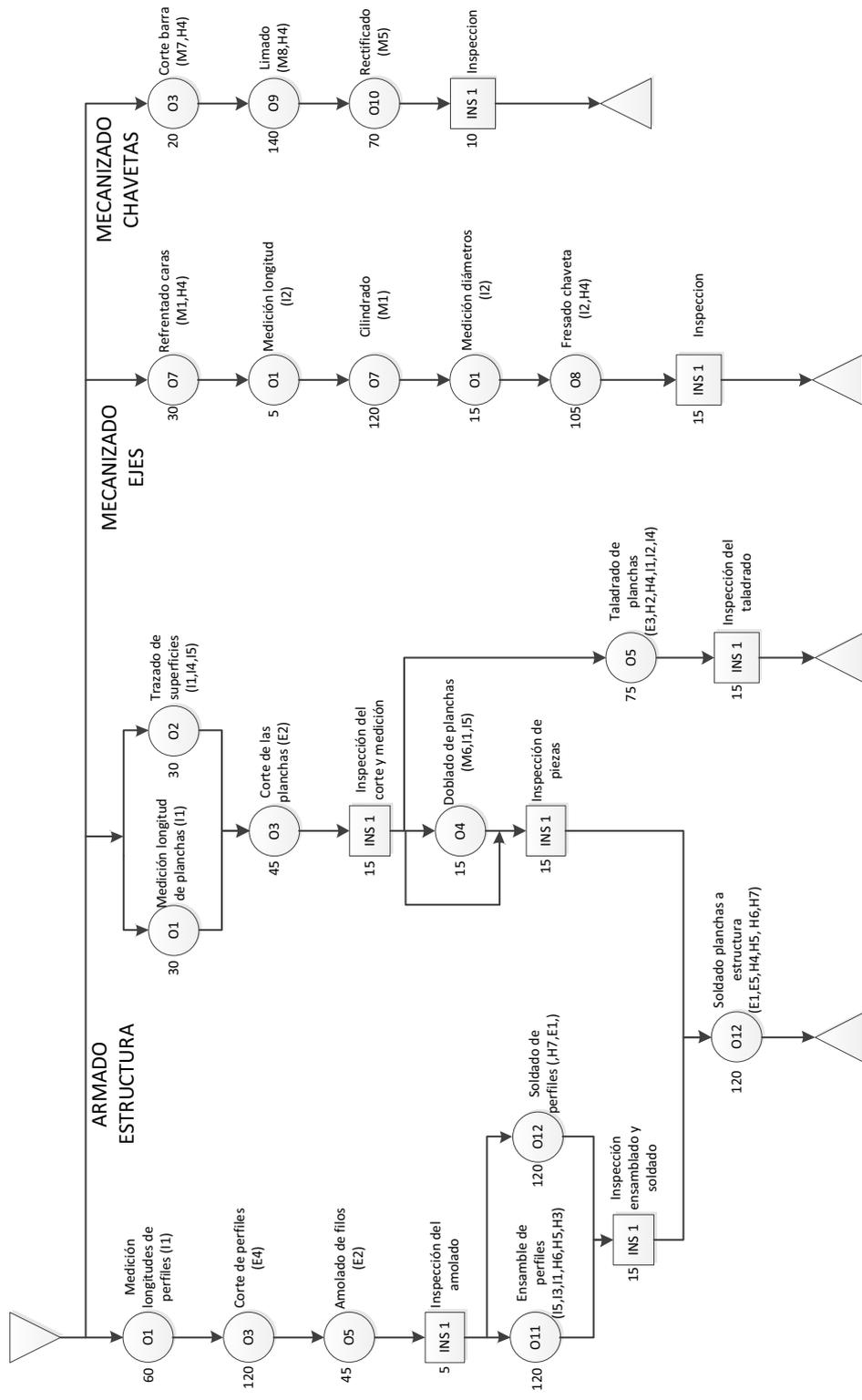
Rodamientos FAG rígidos de bolas de una hilera



Los rodamientos pueden alcanzar una duración de vida limitada, si C_{90} / P_{90} , ver Pág.41.

Eje	Dimensiones				Peso m kg	Capacidad de carga		Velocidad límite min ⁻¹	Velocidad de referencia	Denominación abreviada	Medidas auxiliares					
	d mm	D mm	B mm	f_s mm		C_{90} kN	est. C_2				D_1 mm	D_2 mm	f_{max}			
20	20	47	14	1	12,7	6,55	18000	18000	6204	25,6	41,4	1				
	20	47	14	1	12,7	6,55	18000	18000	6204 W203B	25,6	41,4	1				
	20	47	14	1	12,7	6,55	18000	18000	6204 ZFR	25,6	41,4	1				
	20	47	14	1	12,7	6,55	18000	18000	6204 ZFR	25,6	41,4	1				
	20	47	14	1	12,7	6,55	18000	18000	6204 ZFR	25,6	41,4	1				
	20	47	14	1	12,7	6,55	18000	18000	6204 ZFR	25,6	41,4	1				
	20	47	14	1	12,7	6,55	18000	18000	6204 ZFR	25,6	41,4	1				
	20	47	14	1	12,7	6,55	18000	18000	6204 ZFR	25,6	41,4	1				
	20	47	14	1	12,7	6,55	18000	18000	6204 ZFR	25,6	41,4	1				
	20	47	14	1	12,7	6,55	18000	18000	6204 ZFR	25,6	41,4	1				
	20	47	14	1	12,7	6,55	18000	18000	6204 ZFR	25,6	41,4	1				
	20	47	14	1	12,7	6,55	18000	18000	6204 ZFR	25,6	41,4	1				
25	25	52	15	1,1	16,1	7,8	34000	34000	6304	27	45	1				
	25	52	15	1,1	16,1	7,8	34000	34000	6304 W203B	27	45	1				
	25	52	15	1,1	16,1	7,8	34000	34000	6304 ZFR	27	45	1				
	25	52	15	1,1	16,1	7,8	34000	34000	6304 ZFR	27	45	1				
	25	52	15	1,1	16,1	7,8	34000	34000	6304 ZFR	27	45	1				
	25	52	15	1,1	16,1	7,8	34000	34000	6304 ZFR	27	45	1				
	25	52	15	1,1	16,1	7,8	34000	34000	6304 ZFR	27	45	1				
	25	52	15	1,1	16,1	7,8	34000	34000	6304 ZFR	27	45	1				
	25	52	15	1,1	16,1	7,8	34000	34000	6304 ZFR	27	45	1				
	25	52	15	1,1	16,1	7,8	34000	34000	6304 ZFR	27	45	1				
	25	52	15	1,1	16,1	7,8	34000	34000	6304 ZFR	27	45	1				
	25	52	15	1,1	16,1	7,8	34000	34000	6304 ZFR	27	45	1				
25	25	47	0,8	0,3	32,7	41,1	32,2	0,055	7,2	4,85	18000	18000	16005	27	45	0,3
	25	47	0,8	0,3	42,5	42,5	32	0,082	10	5,35	38000	38000	6005	28,2	43,8	0,8
	25	47	0,8	0,3	42,5	42,5	32	0,082	10	5,35	17000	17000	S8005 W203B	28,2	43,8	0,8
	25	47	0,8	0,3	42,5	42,5	32	0,082	10	5,35	17000	17000	6005 ZFR	28,2	43,8	0,8
	25	47	0,8	0,3	42,5	42,5	32	0,082	10	5,35	17000	17000	6005 ZFR	28,2	43,8	0,8
	25	47	0,8	0,3	42,5	42,5	32	0,082	10	5,35	17000	17000	6005 ZFR	28,2	43,8	0,8
	25	47	0,8	0,3	42,5	42,5	32	0,082	10	5,35	17000	17000	6005 ZFR	28,2	43,8	0,8
	25	47	0,8	0,3	42,5	42,5	32	0,082	10	5,35	17000	17000	6005 ZFR	28,2	43,8	0,8
	25	47	0,8	0,3	42,5	42,5	32	0,082	10	5,35	17000	17000	6005 ZFR	28,2	43,8	0,8
	25	47	0,8	0,3	42,5	42,5	32	0,082	10	5,35	17000	17000	6005 ZFR	28,2	43,8	0,8
	25	47	0,8	0,3	42,5	42,5	32	0,082	10	5,35	17000	17000	6005 ZFR	28,2	43,8	0,8
	25	47	0,8	0,3	42,5	42,5	32	0,082	10	5,35	17000	17000	6005 ZFR	28,2	43,8	0,8
25	25	52	1,5	1	43,8	45,4	33,5	0,128	14	7,8	7000	7000	6205	30,8	48,4	1
	25	52	1,5	1	43,8	45,4	33,5	0,128	14	7,8	7000	7000	S8205 W203B	30,8	48,4	1
	25	52	1,5	1	43,8	45,4	33,5	0,128	14	7,8	7000	7000	6205 ZFR	30,8	48,4	1
	25	52	1,5	1	43,8	45,4	33,5	0,128	14	7,8	7000	7000	6205 ZFR	30,8	48,4	1
	25	52	1,5	1	43,8	45,4	33,5	0,128	14	7,8	7000	7000	6205 ZFR	30,8	48,4	1
	25	52	1,5	1	43,8	45,4	33,5	0,128	14	7,8	7000	7000	6205 ZFR	30,8	48,4	1
	25	52	1,5	1	43,8	45,4	33,5	0,128	14	7,8	7000	7000	6205 ZFR	30,8	48,4	1
	25	52	1,5	1	43,8	45,4	33,5	0,128	14	7,8	7000	7000	6205 ZFR	30,8	48,4	1
	25	52	1,5	1	43,8	45,4	33,5	0,128	14	7,8	7000	7000	6205 ZFR	30,8	48,4	1
	25	52	1,5	1	43,8	45,4	33,5	0,128	14	7,8	7000	7000	6205 ZFR	30,8	48,4	1
	25	52	1,5	1	43,8	45,4	33,5	0,128	14	7,8	7000	7000	6205 ZFR	30,8	48,4	1
	25	52	1,5	1	43,8	45,4	33,5	0,128	14	7,8	7000	7000	6205 ZFR	30,8	48,4	1
25	25	62	1,7	1,1	50,2	52,5	36,4	0,234	22,4	11,4	8000	8000	6305	32	55	1
	25	62	1,7	1,1	50,2	52,5	36,4	0,234	22,4	11,4	8000	8000	S8305 W203B	32	55	1
	25	62	1,7	1,1	50,2	52,5	36,4	0,234	22,4	11,4	8000	8000	6305 ZFR	32	55	1
	25	62	1,7	1,1	50,2	52,5	36,4	0,234	22,4	11,4	8000	8000	6305 ZFR	32	55	1
	25	62	1,7	1,1	50,2	52,5	36,4	0,234	22,4	11,4	8000	8000	6305 ZFR	32	55	1
	25	62	1,7	1,1	50,2	52,5	36,4	0,234	22,4	11,4	8000	8000	6305 ZFR	32	55	1
	25	62	1,7	1,1	50,2	52,5	36,4	0,234	22,4	11,4	8000	8000	6305 ZFR	32	55	1
	25	62	1,7	1,1	50,2	52,5	36,4	0,234	22,4	11,4	8000	8000	6305 ZFR	32	55	1
	25	62	1,7	1,1	50,2	52,5	36,4	0,234	22,4	11,4	8000	8000	6305 ZFR	32	55	1
	25	62	1,7	1,1	50,2	52,5	36,4	0,234	22,4	11,4	8000	8000	6305 ZFR	32	55	1
	25	62	1,7	1,1	50,2	52,5	36,4	0,234	22,4	11,4	8000	8000	6305 ZFR	32	55	1
	25	62	1,7	1,1	50,2	52,5	36,4	0,234	22,4	11,4	8000	8000	6305 ZFR	32	55	1
25	25	62	2,4	1,1	50,2	52,5	36,4	0,232	22,4	11,4	7000	7000	62305 ZFR	32	55	1
	25	62	2,4	1,1	50,2	52,5	36,4	0,232	22,4	11,4	7000	7000	62305 ZFR	32	55	1
25	25	62	2,1	1,5	63,1	65,1	45,4	0,65	38	19,3	14000	14000	6405	38	69	1,5
	25	62	2,1	1,5	63,1	65,1	45,4	0,65	38	19,3	14000	14000	6405	38	69	1,5

Anexo 19 Diagrama de flujo construcción de los diverso elementos.



Nota:

- Las cantidades a la izquierda es el tiempo en minutos para cada actividad
- Los códigos que se encuentran entre paréntesis (*) son los equipos que se usan en dicha actividad(Ver Tabla 4.2)

Anexo 20 Cotización aislamiento de poliuretano.



PROVEATYMI CIA. LTDA.
 RUC: 1792264200001
 TELEF: (02) 2334038
 DIREC: Sangolquí, Barrio: El Carmen, tras FV

Quito, 20 de Noviembre de 2011

Señor:

Samuel Zambrano

Presente

REF.: PLACAS PARA AISLAMIENTO TÉRMICO EN POLIURETANO EXPANDIDO

Estimado Sr.

Por medio del presente documento presento la cotización de diseño y suministro de placas para aislamiento térmico con poliuretano expandido.

1.- ESPECIFICACIONES GENERALES

La placa de aislamiento de poliuretano rígido tiene un volumen equivalente a $0.0627 \text{ [m}^3\text{]}$, el poliuretano expandido de 25 [mm] de espesor, coeficiente de conductividad 0.024 [W/m-K] , densidad aparente de $40 \text{ [kg/m}^3\text{]}$.

3.- CANTIDADES Y COSTOS

Costo de material, mano de obra, prefabricación y montaje de aislamiento térmico.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR [USD]	TOTAL [USD]
1	Aislamiento poliuretano expandido	19.00 m2	44,68	848,92
			SUBTOTAL	848,92
			IVA 12 %	101,87
			TOTAL	950,79

4.- OBSERVACIONES

4.1. El pago se realizará 50% con orden de compra, 50% contra entrega de trabajo terminado

4.2. Garantía de 6 meses en materiales una vez adquiridos los mismos

4.3. Tiempo de entrega de 3 días salvo imprevistos de transportación.

Esperando que esta cotización sea de su aceptación, cualquier duda o consulta, solicito me haga saber en el menor tiempo posible con el objeto de realizar cualquier aclaración de manera inmediata.

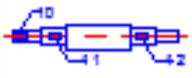
Muy Atentamente,

 SANTIAGO CRIOLLO
 COORDINADOR DE PROYECTOS

Quito: Autp. Sangolquí-Amaguaña km 4 1/2, Telefax: (02) 2334038 Celular 099206018 /
 Guayaquil: Ciudadela el Recreo. Celular: 095427294 / 093237469
 Email: servicio.atymi@gmail.com
 Página Web www.atymi.com

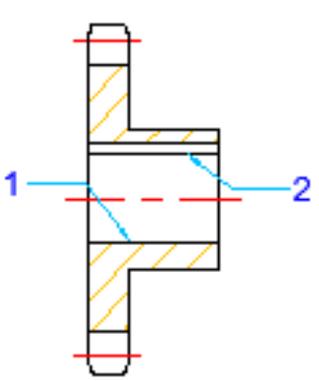
Anexo 21 Hojas de procesos

HOJA DE PROCESOS									
NOMBRE DE LA UNIDAD: EJE A						TIEMPO DE DURACIÓN	218 [min]		
POS	CANTIDAD	MATERIAL	DIMENSIONES EN BRUTO		OBSERVACIÓN				
5	1	AIISI 4340	Ø26X1500						
FASE	SUB. FASE	N°	OPERACIONES	CROQUIS	n	UTILES		t. est.	
					r. p.m.	Trabajo	Trabajo	min.	
TORNO	10	11	Puesta a punto		420	CRE	CAL	2	
		12	Refrentar en 1					7	
		13	Agujero de centro 1					4	
	20	21	Puesta a punto		420	CRE	CAL	2	
		22	Refrentar en 2					7	
		23	Agujero de centro 2					4	
	30		31	Puesta a punto		420	CAR	CAL	2
			32	Tomear Ø25,04 en 3					15
			33	Afinar Ø25 en 3					10
			34	Tomear Ø20,05 en 4					15
			35	Afinar Ø20 en 4					10
			36	Tornear Ø15,05 en 5					15
	40		37	Afinar Ø15 en 5	10				
			41	Chafanar 2x45° en 6	3				
			42	Puesta a punto	2				
			43	Tomear Ø20,05 en 7	15				
			44	Afinar Ø20 en 7	10				
			45	Tornear Ø15,05 en 8	15				
			46	Afinar Ø15 en 8	10				
			47	Tornear Ø13,05 en 9	15				
			48	Afinar Ø13 en 9	10				
			49	Tornear Ø11,05 en 10	15				

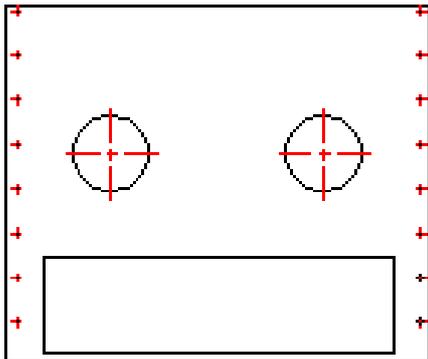
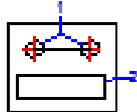
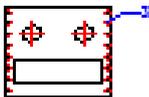
TORNO		48	Chafanar 2x45° en 9		420	CRE	CAL	5
FRESA	10	11	Puesta a punto		350	FV8	CAL	10
		12	Mandrinar en 10		350	FV6	CAL	5
		13	Mandrinar en 11		350	FV6	CAL	10
		14	Mandrinar en 12		350	FV6	CAL	5
<u>CÓDIGO DE ÚTILES</u> CAR.-Cuchilla de acero rápido CRE.-Cuchilla de referentar BC.-Broca de centros CAL.-Calibrador FV8.-Fresa de vástago Ø8 FV6.-Fresa de vástago Ø6					FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA			
					E.P.N.			

HOJA DE PROCESOS									
NOMBRE DE LA UNIDAD: EJE B Y C						TEMPO DE DURACIÓN		180 [min]	
POS	CANTIDAD	MATERIAL	DIMENSIONES EN BRUTO		OBSERVACIÓN				
5	2	AISI 4340	Ø26 X 1500						
FASE	SUB. FASE	N°	OPERACIONES	CROQUIS	n	D.T.L.S		L. est.	
					r. p. m.	Trabajo	Trabajo		
TORNO	10	11	Puesta a punto		420	CRE	CAL	2	
		12	Refrentar en 1					7	
		13	Agujero de centro 1					4	
	20	21	Puesta a punto		420	CRE	CAL	2	
		22	Refrentar en 2					7	
		23	Agujero de centro 2					4	
	30		31	Puesta a punto		420	CAR	CAL	2
			32	Tomear Ø25,04 en 3					15
			33	Afinar Ø25 en 3					10
			34	Tomear Ø22,04 en 4					15
			35	Afinar Ø22 en 4					10
			36	Tomear Ø15,06 en 5					15
	40		41	Puesta a punto		420	CAR	CAL	2
42			Tomear Ø20,04 en 7	15					
43			Afinar Ø20 en 7	10					
44			Tomear Ø15,04 en 8	15					
45			Afinar Ø15 en 8	10					
46			Chafanar 2x45° en 9	3					

FRESA	10	11	Puesta a punto		350	FV8	CAL	10
		12	Mandrinar en 10					5
		13	Mandrinar en 11					5
<u>CÓDIGO DE ÚTILES</u> CAR.-Cuchilla de acero rápido CRE.-Cuchilla de referencia r BC.-Broca de centros CAL.-Calibrador FV8.-Fresa de vástago Ø8					FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA			
					E.P.N.			

HOJA DE PROCESOS									
NOMBRE DE LA UNIDAD: CATALINA A						TIEMPO DE DURACIÓN		39 [min]	
POS	CANTIDAD	MATERIAL	DIMENSIONES EN BRUTO		OBSERVACIÓN				
2	6	AISI 1018	—						
									
FASE	SUB. FASE	N°	OPERACIONES	CROQUIS	n	DILES		L. est.	
					r. p.m.	Trabajo	Trabajo	min.	
TORNO	10	11	Puesta a punto		420	CARI	CAL	2	
		12	Tornear internamente Ø15 en 1					20	
FRESA			Puesta a punto Mortajar en 2		420	MR	CAL	2 15	
<u>CÓDIGO DE ÚTILES.</u> CAL.-Calibrador CARI.-Cuchilla de acero rápido de interiores MR.-Mortajador					FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA E.P.N.				

HOJA DE PROCESOS									
NOMBRE DE LA UNIDAD: FUERTA ENTRADA							62 [min]		
POS	CANTIDAD	MATERIAL	DIMENSIONES EN BRUTO	OBSERVACIÓN					
2	1	A-36	1406X1220X2 [mm]						
FASE	SUB FASE	N°	OPERACIONES	CROQUIS	n	ÚTILES		Leat.	
					r. p. m.	Trabajo	Trabajo	min.	
AJUSTAJE	10	11	Cortar según detalle del plano adjunto			CZ	FX	30	
		12	Perforar 16 agujeros pasantes Ø 8 según plano adjuntos			BR8	FX	32	
CÓDIGO DE ÚTILES CZ.-Cizalla FX.-Flexometro BR8.-Broca Ø8					FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA E.P.N.				

HOJA DE PROCESOS									
NOMBRE DE LA UNIDAD: PUERTA SALIDA								77 [min]	
POS.	CANTIDAD	MATERIAL	DIMENSIONES EN BRUTO		OBSERVACIÓN				
2	1	A-36	1406X3200X2 [mm]						
									
FASE	SUB FASE	N°	OPERACIONES	CROQUIS	n	ÚTILES		L. est.	
					r. p.m.	Trabajo	Trabajo	min.	
AJUSTAJE	10	11	Cortar según detalle del plano adjunto			CZ	FX	45	
		12	Perforar 16 agujeros pasantes Ø 8 según plano adjuntos			BR8	FX	32	
<u>CÓDIGO DE ÚTILES.</u> CZ.-Cizalla FX.-Flexometro BR8.-Broca Ø8					FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA				
					E.P.N.				

HOJA DE PROCESOS									
NOMBRE DE LA UNIDAD: BANDEJA SALIDA						TIEMPO DE DURACIÓN		30 [min]	
POS	CANTIDAD	MATERIAL	DIMENSIONES EN BRUTO		OBSERVACIÓN				
2	1	A-36	528X1150X3 [mm]						
FASE	SUB. FASE	N°	OPERACIONES	CROQUIS	n	ÚTILES		t. est.	
					r. p.m.	Trabajo	Trabajo	min.	
AJUSTAJE	10	11	Plegar en 1 según detalle de plano			DB	FX	15	
		12	Plegar en según plano adjunto			BR8	FX	15	
<u>CÓDIGO DE ÚTILES</u> DB.-Dobladora FX.-Flexómetro					FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA				
					E.P.N.				

Anexo 22 Planos