



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL
Campus Arturo Ruiz Mora
Santo Domingo

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERIA ELECTROMECAÁNICA Y AUTOMATIZACIÓN

Tesis de grado previa a la obtención del título de:
INGENIERO ELECTROMECAÁNICO, MENCIÓN EN AUTOMATIZACIÓN
INDUSTRIAL

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE SECADOR
ROTATIVO DE CACAO PARA LA UTE SANTO DOMINGO 2009

Autor:

VINICIO OSWALDO RAMÍREZ CARRILLO

Director de Tesis

ING. CARLOS CENTENO

Santo Domingo – Ecuador
Septiembre, 2011

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE SECADOR ROTATIVO
DE CACAO PARA LA UTE SANTO DOMINGO 2009**

Ing. Carlos Centeno
DIRECTOR DE TESIS.

APROBADO

Ing. Nilo Ortega.
DIRECTOR DE ESCUELA

Ing. Holger Jami.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL.

Ing. Holger Zapata
MIEMBRO DEL TRIBUNAL.

Santo domingo.de..... 2011

Institución: UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL
CAMPUS “Arturo Ruiz Mora”
Santo Domingo

Tema: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE
SECADOR ROTATIVO DE CACAO PARA LA UTE SANTO
DOMINGO 2009

Director de tesis: Ing. Carlos Centeno

Fecha: Septiembre, 2011

Del contenido del presente documento se responsabiliza el autor

Vinicio Oswaldo Ramírez Carrillo
CI. 1721313599

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL
Campus Arturo Ruiz Mora
Santo Domingo

INFORME DE DIRECTOR DE TESIS

Ingeniera
Katuska Rosero Msc.
DIRECTORA ACADÉMICA
UTE CAMPUS ARTURO RUIZ MORA DOMINGO
Presente,

De mis consideraciones:

Mediante el presente tengo a bien informar que el presente trabajo bajo el tema: “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE SECADOR ROTATIVO DE CACAO PARA LA UTE SANTO DOMINGO 2009**” propuesto por el sr. **VINICIO OSWALDO RAMÍREZ CARRILLO**, doy fe que ha sido elaborado bajo mi supervisión y control, luego de haber sido concluido el tratamiento de los contenidos se encuentra en condiciones de ser defendido.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes.

Atentamente

Ing. Carlos Centeno
DIRECTOR DE TESIS

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mis padres, por el amor, la constancia, la perseverancia y confianza que han depositado en mí, por el esfuerzo diario que dieron por ver la culminación de la carrera de ingeniería electromecánica.

A mi familia Carrillo, y a mi familia Ramírez, por todo el apoyo incondicional que me brindaron en el transcurso del estudio universitario, por el ejemplo profesional que me dieron, los buenos consejos y valores para triunfar en la vida.

A mis amigos compañeros.

AGRADECIMIENTO

A mi dios todo poderoso, que me ha guiado en cada paso que doy en el transcurso de mi vida, mi testigo del esfuerzo diario que he dado para cumplir este proyecto.

Mis más sinceros agradecimiento a la familia Ortega Ramírez, por la acogida que me supieron brindar en su hogar en todo el transcurso de la carrera de ingeniería electromecánica.

Agradezco a los ingenieros docentes de la carrera de ingeniería electromecánica que comparten su conocimiento técnico y experiencias en el ámbito laboral, reforzando así mis conocimientos para ponerlos en la práctica.

A mis amigos y compañeros por la buena amistad.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
Certificado del tribunal	ii
Informe del director de tesis	iv
Dedicatoria	v
Agradecimientos.	vi
Índice General	vii
Índice de tablas	xiv
Índice de figuras	xv
Resumen ejecutivo	xvii

INTRODUCCION

1.1 Antecedentes	1
1.1.1.- Antecedentes históricos	1
1.1.2.- Antecedentes científicos	3
1.1.3.- Antecedentes prácticos	3
1.1.4.- Importancia del estudio	4
1.1.5.- Situación actual del tema de investigación	4
1.2.- Limitaciones de estudio	5
1.3.- Alcance del trabajo	5
1.4.- Objeto de estudio	6
1.5.- Objetivos	6
1.5.1.- Objetivo general	6
1.5.2.- Objetivo específico	6
1.6.- Justificación	6
1.7.- Hipótesis o idea a defender	7
1.8.- Método de estudio	7
a) Método aplicado	7
b) Método adaptativa	8

c) Método correlacional	8
1.9.- Técnicas de estudio	8
a) Observación	8
b) Modelación	9
1.10.- Población y muestra	9

CAPITULO II

MARCO DE REFERENCIA

2.1.- Secado del cacao	10
2.1.1.- Secado natural	10
2.1.2.- Secado artificial	11
2.2.- Tipos de secadores	11
2.2.1.- Secador de tambor	11
2.2.2.- Secador túnel	12
2.2.3.- Secador banda	13
2.2.4.- Horno secador	14
2.2.5.- Secadora Samoa	14
2.3.- Determinación del contenido de humedad	15
2.3.1.- Método manual base húmeda	15
2.3.2.- Método base seca	16
2.3.3.- Medidor de humedad electrónico	17
2.4.- Transferencia de calor	18
2.4.1.- Calor	18
2.4.1.1.- Capacidad calorífica	18
2.4.1.2.- Calor específico	19
2.4.1.3.- Calor sensible	19
2.4.1.4.- Calor latente	20
2.4.2.- Transferencia de calor por convección	20
a) Convección natural	21
b) Convección forzada	21
2.4.3.- Transferencia de calor por conducción	21

a) Conductividad térmica	22
2.4.4.-Transferencia de calor por radiación	22
2.4.5.- Aislamiento térmico	23
a) Lana de vidrio	23
b) Lana mineral	24
2.5.- Propiedades Mecánicas	24
2.5.1.- Esfuerzo	24
2.5.1.1.- Esfuerzo normal máximo	25
2.5.1.2.- Esfuerzo cortante máximo	25
2.5.2.- Tensión	25
2.5.3.- Compresión	26
2.5.4.- Torsión	27
2.5.5.- Flexión	28
2.5.6.- Factor de seguridad	29
2.5.7.- Deformación por fallas de fatiga	30
2.5.8.- Resistencia a la fatiga	30
2.6.- Elementos Dinámicos	31
2.6.1.- Rodamientos	31
2.6.2.- Transmisión por cadena	31
2.6.3.- Piñones	32
2.6.3.1.- Chavetero	32
2.6.4.- Resistencias eléctricas	32
2.6.5.- Motor reductor	33
2.6.5.- Ajustes y tolerancia	34

CAPITULO III

PARAMETROS DE DISEÑO PARA EL SECADOR

3.1.- Tipo de secador de cacao	35
3.2.- Análisis del grano de cacao	35
3.3.- Especificación del metal perforado	36

3.3.1.- Distribución de agujeros	36
3.3.2.- Diámetro de los agujeros	36
3.3.3.- Distancia entre centros	37
3.3.4.- Espesor o grosor del metal perforado	37
3.3.5.- Porcentaje del área abierta	38
3.4.- Densidad de las almendras de cacao	38
a) Cacao en baba	38
b) Cacao fermentado	38
c) Cacao seco	38
3.5.- Calidad de las almendras de cacao	39
3.6.- Temperatura y tiempo de secado	40
3.7.- Porcentaje de humedad del cacao	40
3.7.1.- Humedad inicial del cacao	40
3.7.2.- Humedad final del cacao	41
3.8.- Muestreo	41
3.8.1.- Muestreo para determinar la humedad del cacao	41
3.9.- Velocidad de flujo de aire para el secado	42

CAPITULO IV

CALCULOS DEL PROTOTIPO SECADOR DE CACAO

4.1.- Tamaño del prototipo secador de cacao	43
4.1.1.- Capacidad de la maquina	44
4.1.2.-Capacidad de trabajo del secador rotativo	45
4.2.- Cálculo para la determinación del contenido de agua del cacao	47
4.2.1.- Cálculo del calor específico del cacao	48
TRANSFERENCIA DE CALOR	
4.3.- Cálculo del calor total del cacao	49
4.3.1.- Calor absorbido por el cacao	49
4.3.2.- Cálculo de calor sensible	50
4.3.3.- Cálculo de calor latente	50

4.4.- Cálculo de las pérdidas de calor por conducción	51
4.4.1.- Calor absorbido en la pared frontal y posterior del secador	52
4.4.2.- Calor absorbido en las paredes laterales	53
4.4.3.- Calor que absorbe la pared inferior	53
4.5.- Cálculo de pérdidas por convección	54
4.5.1.- Cálculo por pérdidas por convección en el interior del secador	54
4.5.2.- Cálculo del coeficiente de transferencia de calor por convección	55
4.5.3.- Cálculo del número de nusset	55
4.5.4.-Cálculo del modulo de Grashof	56
4.5.5.- Cálculo por pérdidas por convección en el exterior del secador	58
4.6.- Calor real de la secadora de cacao	59
DISEÑO MECANICO	
4.7.- Diseño de la malla perforada	61
4.8.- Calculo del diámetro del eje	61
4.8.1.- Peso del material y del producto a secar	61
4.8.2.- Cálculo del torque	62
4.8.3.- Calculo de la potencia del motor	63
4.8.3.1.- Momento torsor	64
4.8.4.- Diagramas de fuerzas	64
4.8.6.- Diseño del eje a falla estática	65
4.8.6.1.- Cálculo del esfuerzo de flexión y torsión	65
4.8.6.2.- Calculo del esfuerzo de torsión	66
4.8.6.3.- Determinación del coeficiente de seguridad	66
4.8.6.4.- Teoría del Esfuerzo cortante máximo	66
4.8.7.- Diseño a fatiga	67
4.8.8.- Criterio de Von Mises	68
4.8.9.- Limite de resistencia a la fatiga del eje del tambor	68
• K_a Factor de acabado de superficies	68
• Factor de tamaño k_b	69
• Factor de carga k_c	69
• Factor de temperatura k_d	69
• Factor de concentración de esfuerzos k_e	70

4.8.10.- Factor de seguridad del eje a fatiga mecánica	70
4.8.11.- Diagrama de Soderberg	71
4.9.- Cálculo estructural	72
4.9.1.- Diseño de columna.	75

CAPITULO V

SELECCIÓN DE MATERIALES

5.1.- Determinación de velocidad de giro del tambor	78
5.2.- Comprobación del espesor del tambor	78
5.3.- Selección de ruedas dentadas	80
5.4.- Selección de cadena	81
5.4.1.- Longitud de la cadena	82
5.5.- Selección de chaveta	82
5.5.1.- Comprobación a cortadura	83
5.5.2.- Comprobación al aplastamiento	83
5.6.- Selección de rodamiento	84
5.6.1.- Carga dinámica equivalente	84
5.7.- Cálculos del sistema eléctrico	86
5.7.1.- Cálculo de la potencia del motor eléctrico	86
5.8.- Selección del motor para el secador	87
5.9.- Selección de la fuente de calor	87
5.10.- Cálculo de las protecciones	87
5.11.- Diagrama unifilar de los equipos eléctricos	88
5.12.- Selección del calibre del conductor de alimentación	89

CAPITULO VI

CONSTRUCCIÓN DE LA MAQUINA

6.1.- Modelado en 3D	90
6.2.- Construcción del cilindro	91
6.3.- Construcción de la estructura	93
6.3.- Construcción del aislamiento térmico	94
6.4.- Construcción del sistema eléctrico	96
a) Cilindro	96
b) Controlador de temperatura	96
c) Resistencias	97
d) Soplador blower	98
e) Horometro	98

CAPITULO VII

MANUAL DE FUNCIONAMIENTO

7.1.- Especificaciones técnicas del secador de cacao	99
7.1.1.- Sistema eléctrico	99
7.1.2.- Maquina Secadora de Cacao	99
7.2.- Operación del secador	100
7.3.- Precaución	101
7.4.- Mantenimiento de limpieza	101
7.5.- Protocolo de pruebas de secado.	102
7.5.1.- Primer ensayo de secado	102
7.5.2.- Segundo ensayo de secado	103
7.5.3.- Tercer ensayo de secado	104
7.6.- Tabulación de datos	105
7.6.- Mantenimiento electromecánico	105
7.6.2.- Lubricación de cadena	106

CAPITULO VIII
ANALISIS ECONOMICO

8.1.- Detalle de precios	107
8.2.- Consumo de energía de los componentes eléctricos	107
8.3.- Costo de energía por hora	108
8.4.- Análisis de costo por secar en cada parada	109
8.4.1.- Costo fijo	109
8.4.1.- Punto de equilibrio	110
8.5.- Costos de construcción de la maquina secadora de cacao	111
8.5.1.- Costos directos de fabricación	111
8.5.2.- Costos indirectos de fabricación	113
8.5.3.- Mano de obra en la construcción	114
8.5.4.- Costos totales del proyecto	115

CAPITULO IX
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9.1.- Conclusiones	116
9.2.- Recomendaciones	118
BIBLIOGRAFIA	119

INDICE DE TABLAS

Tabla: 3-1. Tamaño de las almendra de cacao	35
Tabla: 3-2 Densidad de las almendra de cacao	38
Tabla: 3-3 Porcentajes de humedad en baba	40
Tabla: 7-1 Cambios realizados en el secador	103
Tabla: 7-2 Tabulación Pruebas de secado	105

Tabla: 8-1 Consumo de energía los equipos eléctricos	108
Tabla: 8-2 Costo fijo	109
Tabla: 8-3 Costos directos de fabricación	112
Tabla: 8-4 Costos indirectos de fabricación	114
Tabla: 8-5 Costo por mano de obra	114
Tabla: 8-6 Costo total del proyecto	115

INDICE DE FIGURAS

Figura: 2-1. Secador rotatorio	12
Figura: 2-2. Secador túnel	13
Figura: 2-3. Secador banda	14
Figura: 2-4. Secador Samoa	15
Figura: 2-5. Horno	16
Figura: 2-6. Medidor de humedad	18
Figura: 2-7. Lana de vidrio	23
Figura: 2-8. Tensión mecánica	26
Figura: 2-9. Compresión	27
Figura: 2-10. Torsión	28
Figura: 2-11. Flexión	29
Figura: 2-12. Coeficiente de seguridad	30
Figura: 2-13. Ajustes y Tolerancias	34
Figura: 3-1 Distribución de los agujeros	36
Figura: 3-2 Diámetro de los agujeros	37
Figura: 3-3 Distancia entre centros	37
Figura: 3-4 Espesor del metal perforado	38
Figura: 4-1. Balance de masa	47
Figura: 4-2. Diagrama de cuerpo libre	65
Figura: 4-3. Estructura del secador	72
Figura: 4-4. Diagrama del pórtico	73
Figura 4-5. Diagrama de momentos y reacciones	73
Figura: 4-6. Diagrama de momentos	75

Figura: 5-1. Cilindro de pared delgada	79
Figura: 5-2 Diagrama unifilar	89
Figura: 6-1. Esquema en 3D del secador	90
Figura: 6-2. Cortes de la lámina perforada	91
Figura: 6-3 Rolado lamina perforada de 2mm	92
Figura: 6-4 Compuerta de carga	92
Figura: 6-5 Compuerta de descarga	93
Figura: 6-6 Construcción de la estructura	94
Figura: 6-7 Aislamiento térmico	95
Figura: 6-8 Construcción de armazón	95
Figura: 6-9 Construcción del aislamiento térmico	96
Figura: 6-10 Controlador de temperatura	97
Figura: 6-11 Tablero de control eléctrico	98
Figura: 8-1 Grafica del punto de equilibrio	110

RESUMEN EJECUTIVO

La época actual en la que se desenvuelve la sociedad, obliga a mejorar tecnológicamente en todas las áreas a fin de optimizar los sistemas de producción y mejorar los productos semi procesados, mejor aún cuando se trata de productos que tienen que ver con el consumo humano.

La propuesta de DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE SECADOR ROTATIVO DE CACAO PARA LA UTE SANTO DOMINGO 2009, beneficiara a los estudiantes de ingeniería agroindustrial de la Universidad Tecnológica Equinoccial, Podrán realizar prácticas en las materias de Transferencia de calor y chocolate.

Servirá como modelo prototipo para los interesados en adquirir nuevas alternativas de secado artificial en los acopios, podrán satisfacer con la oferta y demanda del producto sin temor a que se dañe o pierda la calidad, reduciendo así el costo por mano de obra en la operación de secado, empleando una fuente de calor no contaminante para la salud, controlado la temperatura de forma automática en el proceso de secado, garantizando el secado uniforme gracias al volteo de las almendras obteniendo un producto óptimo de calidad, comprometiéndose con el desarrollo competitivo en el mercado internacional.

El siguiente proyecto está constituido por ocho capítulos desglosados en los diferentes temas, el capítulo uno detalla los antecedentes históricos y la metodología empleada en dicho proyecto, en el capítulo dos se hace un marco de referencia de términos con respecto a transferencia de calor, mecánica y equipos utilizados. En el capítulo tres se realiza un análisis del cacao tamaño de las almendras, humedad inicial y humedad final, en el capítulo cuarto se detalla el diseño térmico y el diseño mecánico del proyecto, La selección de elementos como motor, cadena, piñones, chumacera, y conductor se detalla en

el capítulo quinto selección de materiales, en el siguiente capítulo seis se especifica paso a paso la construcción de la maquina secadora de cacao, en el capítulo séptimo se detalla el manual de funcionamiento de la maquina secadora de cacao, en el capítulo octavo se realiza el análisis económico del proyecto, y finaliza en capitulo nueve con conclusiones y recomendaciones.

EXECUTIVE SUMMARY

The present epoch in which one lives society, obliges us to enhance technologically in all areas in order to optimize production systems and improve the processed products, even better when it comes to products that have to do with human consumption.

The proposal for the DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE SECADOR ROTATIVO DE CACAO PARA LA UTE SANTO DOMINGO 2009, benefit of engineering students of the agro-industrial Universidad Tecnológica Equinoccial, will be able to practice in the materials of heat transfer and chocolate.

Prototype will serve as a model for the concerned with alternative to acquire new-drying artificial in stockpiles, will be able to meet with the demand and supply of the product without fear that is corrupted or lost the quality, reduce the cost of labor in the drying, using a source of heat clean for health, Temperature-controlled automatically in the process of drying and ensuring the uniform drying thanks to the moldboards of almonds getting a product 54-68 of quality, engaging with the competitive development in the international market.

The following draft is composed of eight chapters broken down in the various subjects, chapter one details of the historical background and methodology of the project, in the chapter two becomes a framework of terms in relation to heat transfer, mechanical and equipment used. In chapter three, an analysis of cocoa almonds size, initial moisture content and final moisture content in the fourth chapter detailing the thermal design and mechanical design of the project, selection of items such as motor, chain, sprockets, bearings, and driver are detailed in the fifth chapter material selection, in the next chapter six specified step by step construction of the machine dryer cocoa in the seventh chapter details the operation manual of the machine drying of cocoa in the

eighth chapter is done the economic analysis of the project, and ends in chapter nine with conclusions and recommendations.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

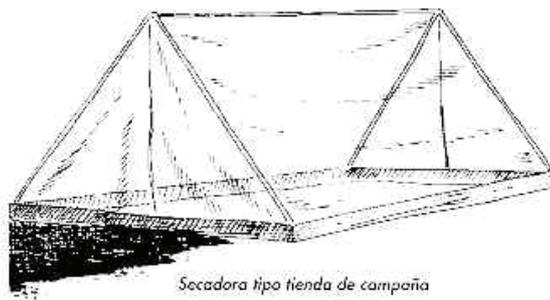
1.1.- Antecedentes.

1.1.1.- Antecedentes Históricos.

A mediados del siglo XVI en la zona de Guayaquil se producía el chocolate ya habían pequeñas plantaciones de cacao a orillas del río Guayas y se expandieron a orillas de sus afluentes el Daule y el Babahoyo, ríos arriba, lo cual originó el nombre de cacao "Arriba" en el mercado internacional, que va ligado a su denominación de origen productora del cacao arriba y reconocido mundialmente por su aroma floral, es producido exclusivamente por Ecuador.

A mediados del siglo XVII en la Real Audiencia de Quito consumían chocolate “los pobres y los ricos” pero a partir del siglo XVII existió la idea de procesar y exportar un producto semi elaborado, lo que originó que se desarrollen las industrias de procesamiento. Las mejoras en las técnicas de secado al aire libre simplemente incluyen el levantamiento de un techo para proteger el producto de la lluvia. En las regiones con bajos índices de humedad relativa, si el material se dispone adecuadamente, el producto se logrará secar en forma efectiva. El uso de una malla lo protege de la contaminación, lo que da como resultado un producto de mejor calidad.¹

¹ http://www.fao.org/inpho/content/documents/vlibrary/new_else/x5694s/x5694s07.htm



Secadora tipo tienda de campaña



Secadora provista de bandeja corrediza

El secador Samoa primero de tales secadores de que se tiene noticia es el secador de tipo Samoa, que sirve para secar copra. En este secador se coloca la copra sobre un piso perforado, bajo el cual se quema leña para calentar el aire que pasa por la masa granular por convección natural. El inconveniente de este secador es la contaminación del producto por el humo, además de los daños causados al producto por el calor, pues aquél queda directamente encima del fuego. Entre 1961 y 1963, se hicieron modificaciones al secador Samoa. Las principales adaptaciones que se realizaron fueron: a) adaptación de un intercambiador de calor; b) aumento de la altura del piso perforado en rotación con el intercambiador, para obtener mayor uniformidad en la temperatura del aire de secado e impedir el deterioro del producto por acción del calor; c) construcción de una chimenea para la eliminación de los gases de combustión; y d) construcción de las paredes del secador en adobe y se le usó en el secado de almendras. Este secador pasó, entonces, a llamarse "Brook" o de Tipo T (BROOK, 1964).²

Secador de lecho fijo o de capa estacionaria. La cámara de secado es un recipiente con fondo de plancha de metal perforado, capaz de soportar el peso del producto húmedo. El producto permanece estático en la cámara de secado, mientras que el calentado, impulsado mecánicamente por el ventilador, pasa a través de la capa de producto y reduce su contenido de humedad. Los secadores de capa fija, en la mayoría de los casos se proyectan para secar solamente una partida por día.

² <http://www.fao.org/docrep/x5059s/x5059S03.htm>

Las principales variables del sistema de secado de partidas en lecho estacionario son: espesor del lecho, contenido de humedad inicial, flujo de aire, temperatura del aire y tiempo de secado (BROOKER. 1974).

1.1.2.- Antecedentes Científicos.

El secado de cacao es el proceso de gran importancia en la cadena de producción de alimentos, ya que el contenido de humedad es, sin duda, la característica más importante para determinar si el grano corre el riesgo de deteriorarse durante el almacenamiento. El secado es el primer paso en el proceso de la elaboración del chocolate, el secado determina. En estos últimos años los exportadores han ido evolucionando el método de secado artificial, generando fuente de calor mediante la aplicación gas directo, quemadores diesel o por intercambiador de calor,

Los métodos de secado artificial son confiables ya que garantiza un óptimo secado por convección forzada en todas las 24 horas del día, ya que no estamos a expensas de los cambios climáticos, o por largos periodos lluviosos de invierno.³

1.1.3.- Antecedentes Prácticos.

La actividad de secado de cacao lo desarrollan los agricultores cacaoteros de una manera empírica sin conocer los parámetros de humedad adecuados, y son entregados a los diferentes centros de acopio e industriales donde terminan de secar el cacao para exportarlo. Los centros de acopio de cacao compran el producto con alto porcentaje de humedad; superando los ocho

³ ARIAS CIRO; Manual de manejo poscosecha de granos a nivel rural, primera edición, proyecto MAG/FAO. Pág. 79

grados de humedad y proceden a un secado adicional en tendales de cemento y a veces cuando el clima lo permite o cuando hay abundante cacao secan artificialmente en secadoras a gas que no es recomendable por países europeos. Por la contaminación del producto en el proceso de secado.

1.1.4.- Importancia del Estudio.

Considerando prolongar la durabilidad del cacao después de la cosecha y del proceso de fermentación es reduciendo el contenido de humedad a un nivel que le limite el crecimiento microbiano evitando la descomposición del producto, por la misma razón el aire caliente es usado para las operaciones de secado.

Considerando que la luz solar es indispensable para un óptimo secado de cacao, no aparece en los momentos oportunos ya sea por temporada de invierno o largos periodos lluviosos, por lo que obliga a usar otros métodos de secado, como el secado artificial, con el objetivo de reducir el porcentaje de humedad de un 55 % que se encuentra en estado de fermentación a un 7% de humedad el adecuado para exportación de la materia prima. Al no reducir el porcentaje de humedad provoca la presencia de hongos en las almendras, que hacen que pierda su calidad y se descomponga generando pérdidas económicas.

1.1.5.- Situación Actual del Tema de Investigación.

Dentro de los problemas más frecuentes de los cacaoteros que se mencionan para la realización del secado están: lo difícil que se les hace reducir el porcentaje de humedad, con respecto al tamaño de las parcelas o tendales

versus la producción. Otro problema son las lluvias, generalmente el tiempo de secado solar puede durar semanas, todo depende de las condiciones climáticas, y para realizar esta actividad de secado se necesita mayor cantidad de mano de obra para recoger el cacao en días de lluvia y evitar que se descomponga; por lo que se hace necesario la utilización de secadores artificiales, por ello se diseñará un prototipo de secador rotativo.

1.2.- Limitaciones del Estudio.

La limitación es el producto a secar para la realización de las pruebas de secado, se utilizará gran cantidad de producto a secar por tal razón se construirá un secador rotativo de cacao de 2 quintales para realizara la pruebas en un acopio de cacao. La limitación de este proyecto seria secar el cacao. Es decir reducir el porcentaje de humedad al 6% ya que en Santo domingo se caracteriza por ser húmedo, es una zona de alto contenido de humedad, ya que con la maquina construida, realizaría las pruebas y calibraciones en Santo Domingo y La concordia.

1.3.- Alcance del Trabajo.

La construcción de este modelo prototipo secador de cacao servirá como muestra para grandes y medianos productores de cacao que para incentivar a los propietarios de los centros de acopio de cacao en adquirir nuevas formas de secado con máquinas secadoras de cacao reduciendo así las perdidas en el proceso de secado cuando no haya sol y costos por mano de obra.

La construcción del prototipo secador a realizarse servirá como herramienta educativa para los estudiantes de la carrera de ingeniería agroindustrial.

1.4.- Objeto de Estudio.

El objeto de estudio es la almendra del cacao, de cualquier variedad clase o genero ya que se realizara ensayos de calibración de los parámetros de secado tiempo y temperatura.

1.5.- Objetivo

1.5.1.- Objetivo general

Diseñar y construir un prototipo de secador rotativo, de cacao para la universidad UTE Santo Domingo 2009.

1.5.2.- Objetivos específicos.

- Recopilar información de secado de cacao
- Analizar el producto a secar
- Diseñar la secadora rotativa de cacao.
- Realizar planos
- Construcción de una maquina rotativa secadora de cacao.
- Secar el cacao uniformemente y determinar la humedad.

1.6.- Justificación.

La época actual en la que se desenvuelve la sociedad, obliga a mejorar tecnológicamente en todas las áreas a fin de optimizar los sistemas de

producción y mejorar los productos semi procesados, más aún cuando se trata de productos que tienen que ver con el consumo humano.

La propuesta de diseño y construcción de un modelo prototipo de maquina rotativa secadora de cacao, beneficiara a los estudiantes de la escuela de ingeniería agroindustrial de la Universidad Tecnológica Equinoccial, en reforzar los conocimientos en temas de transferencia de calor y poner en práctica los procesos en la elaboración de chocolate.

Las personas involucradas con la comercialización del cacao que estén interesados en adquirir nuevas alternativas de secado artificial, podrán conocer un nuevo diseño de secadora rotativa en modelo prototipo, los mismos se proyectaran a la realización de máquinas similares de gran capacidad que podrán satisfacer con la oferta y demanda del producto sin temor a que se descomponga el cacao en los acopios porque cuentan con un secado artificial seguro, obteniendo un producto óptimo de calidad, empleando una fuente de calor no contaminantes en el proceso de secado.

1.7.- Hipótesis o Idea a Defender.

Promover e incentivar por el método de secado artificial a todos los centro de acopio de cacao en la zona de Santo Domingo y Quinindé.

Aportar a la Universidad Tecnológica Equinoccial con un equipo que sirva de herramienta educativa a los estudiantes de la escuela de ingeniería agroindustrial, demostrando sus conocimientos en el proceso de elaboración de chocolate.

1.8.- Métodos de estudio

- **Método aplicado:** Tiene como objetivo crear una nueva tecnología a partir de los conocimientos adquiridos ya que es una investigación basada en pruebas ajustes y calibraciones del prototipo secador rotativo de cacao.
- **Método adaptativa:** Es la adaptación del conocimiento o tecnología en la construcción del prototipo secador rotativo que se ajusta a las necesidades de secar cacao a los centros de acopio de la zona.
- **Método correlacional:** Mide el grado de asociación entre dos variables, posteriormente lo describiremos al secador de cacao con mayor exactitud y lo relacionamos con diversas variables. Por ejemplo: correlaciona con temperatura y tiempo de secado para reducir el porcentaje de humedad.

1.9.-Técnicas de estudio

Se utilizaran las siguientes técnicas de estudio:

- **Observación:** Una vez diseñada y construida la maquina se realizará los ajustes de las variables de operación del prototipo secador rotativo como temperatura y tiempo. se tomara cinco muestras de 500 g de cacao seco en cada rango de temperatura y tiempo de secado, ejemplo:
 - 1.- muestra en temperatura de 40 – 45 °C en tiempos de (7, 8, y 9) horas
 - 2.- muestra en temperatura de 45 – 50 °C en tiempos de (7, 8, y 9) horas
 - 3.- muestra en temperatura de 50 – 55 °C en tiempos de (7, 8, y 9) horas.

Para la correcta calibración y ajustes de temperatura para llegar a obtener un secado uniforme del cacao con un 6 – 7 % de humedad

- **Modelación:** Se comprobará el correcto funcionamiento del prototipo de maquina secador rotativo mediante la ayuda de un software de simulación de esfuerzos mecánicos para el eje de transmisión.

1.10.- Población y Muestra.

Se realizara pruebas de secado independiente de la clase o variedad de cacao, Se tomara muestras de cacao después del proceso de secado, en cada hora hasta establecer el tiempo óptimo de secado, observando las variables de temperatura y tiempo de secado en el prototipo secador rotativo.

CAPÍTULO II

INFORMACIÓN TEORICA

2.1 Secado del cacao.

Es el proceso durante el cual las almendras terminan de perder el exceso de humedad que contienen y están listas para ser comercializadas. Se consigue pasar de almendras con un 55% de humedad hasta almendras con un 6 - 8 %. Durante este tiempo las almendras de cacao terminan los cambios para obtener el sabor y aroma adecuados. También se producen cambios en el color, apareciendo el color típico marrón del cacao fermentado y secado correctamente.⁴

2.1.1 Secado natural.

Se entiende por secado natural aquel en que el movimiento del aire de secado se debe a la acción de los vientos, y la energía para evaporar la humedad proviene de la capacidad de secado del aire y de la incidencia directa de la energía solar.⁵

Se aprovecha la temperatura que producen los rayos solares para secar paulatinamente el cacao. Este es quizá el método más recomendable porque, al secarse lentamente, las almendras completan satisfactoriamente los cambios para lograr un buen sabor. Este secado se puede hacer en tendales, los cuales pueden construirse de infinidad de formas, tanto por su tamaño como por los materiales que se usan. Los tendales más generalizados son los de madera y

⁴ http://www.sica.gov.ec/agronegocios/est_peni/DATOS/COMPONENTE3/cacao.htm

⁵ ARIAS CIRO; Manual de manejo poscosecha de granos a nivel rural, primera edición, proyecto MAG/FAO 1993.pag, 82

de bambú, aunque los hay también de cemento y de otros materiales refractarios. El tamaño del tendal debe estar de acuerdo a las necesidades de la finca, si solamente es para cacao, entonces depende del pico más grande de la cosecha. Se estima (hay una fuerte variación por el material genético) que un metro cuadrado de tendal puede secar entre 48 y 50 kilogramos de almendras frescas, con una altitud de 5 cm. Si el sol es escaso, como en algunas localidades en algunas épocas del año es conveniente poner una capa de 3 cm aproximadamente o menos, en ese caso los 50 kilogramos de cacao húmedo necesitaran aproximadamente entre 1,5 a 1,6 metros cuadrados.⁶

2.1.2 Secado artificial.

Las secadoras artificiales dependen del calor producido por la combustión la madera, el gas, o la electricidad y que a menudo tienen ventiladores para superar las limitaciones de las secadoras solares, haciendo pasar una corriente de aire seco y caliente por la masa del cacao. Este método de secado es muy utilizado por la mayoría de los agricultores.

2.2 Tipos de secadores.

De acuerdo a la clasificación de la operación de secado encontramos los siguientes tipos de equipos

2.2.1 Secador de tambor.

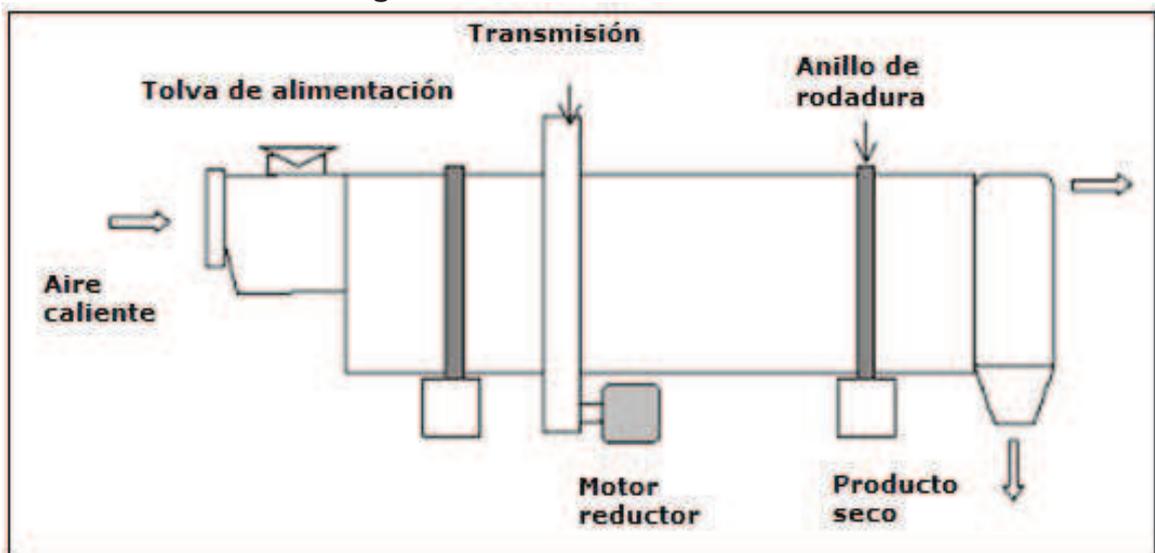
El secador rotativo consta de un tambor de doble camisa que utiliza el gas o el vapor como fuente de calentamiento. En los secadores de tambor sencillos, el vapor se condensa dentro del tambor para constituir una fuente de calor. A medida que el tambor gira, se adhiere una delgada capa del producto sobre el

⁶ <http://www.infoagro.go.cr/Agricola/tecnologia/cacao/beneficio.htm>

tambor, velocidad de rotación del tambor se ajusta para obtener el contenido deseado de humedad en Producto que una vez secado es raspado para desprenderlo del tambor por medio de una cuchilla.

El cuarto en el cual está colocado el secador debe tener una ventilación adecuada para eliminar el vapor de agua que se produce.

Figura: 2-1. Secador rotatorio



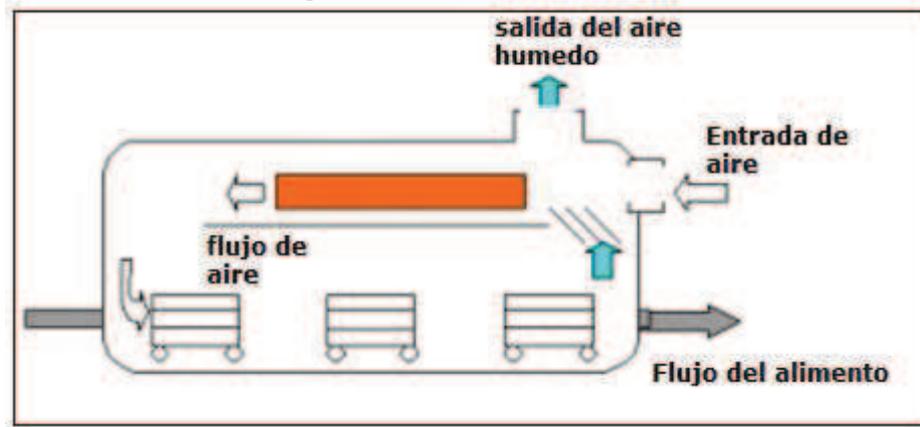
Fuente: <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/>
Elaborado por: Vinicio Ramírez/2010

2.2.2 Secador túnel.

En este secador el producto por secar se coloca en platos en el compartimiento de secado. El aire se calienta por combustión directa de un combustible, por vapor o por una bobina eléctrica. Se instalan reguladores para controlar la cantidad de aire que entra y sale del secador, regulando así la humedad dentro del secador. La cantidad a ser secada depende del diseño del mismo. Consiste en una cabina en la que hay un mecanismo de rieles que mueven carros con producto a lo largo de ella. El proceso es entonces semi continuo. Estos son los más apropiados para el secado de ciertos alimentos de consumo humano.⁷

⁷ Wiston Morales; Elaboración de pasta de cacao; ute santo domingo 2006

Figura: 2-2. Secador túnel



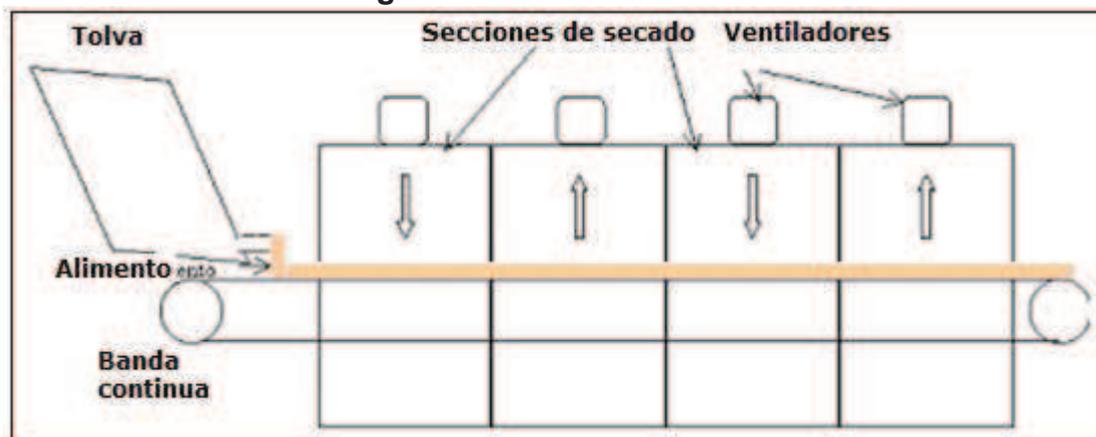
Fuente: <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/>
Elaborado por: Vinicio Ramírez /2010

2.2.3.- Secador banda.

Tiene un sistema de bandas que continuamente mueve el producto dentro del secador las bandas están reforzadas para permitir que el aire caliente fluya a través de ellas en forma de flujo cruzado. Los secadores de banda con flujos de aire paralelo y a corriente son utilizados.

La energía requerida para operar los secadores de cacao, túnel o banda se pueden estimar si se conocen las propiedades de toda la masa que fluye al entrar y salir del secador.

Figura: 2-3. Secador banda



Fuente: <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/>
Elaborado por: Vinicio Ramírez/ 2010.

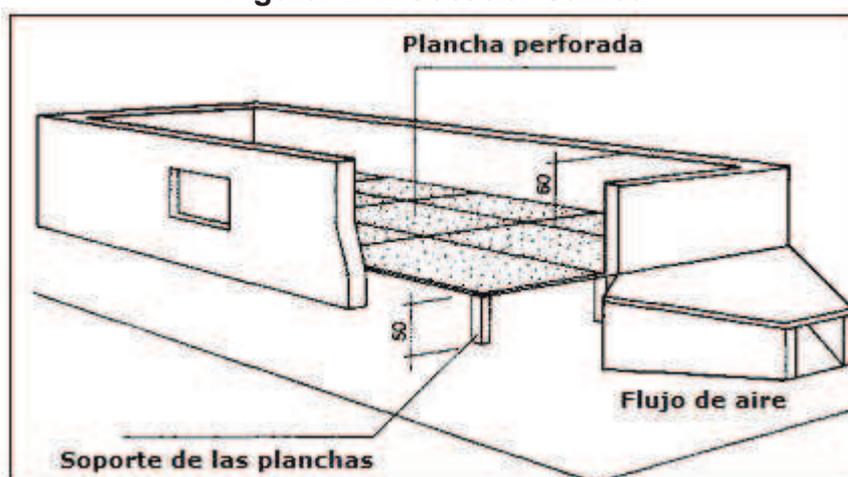
2.2.4 Horno secador.

Estos son contruidos de dos pisos por lo general. El piso de la parte superior está compuesto de tablillas juntas, sobre las cuales es rociado el alimento. El gas caliente es producido por un horno o estufa sobre el primer piso y pasa a través del producto por convección natural o con la ayuda de un ventilador. El material es volteado y agitado frecuentemente y se requiere de un tiempo relativamente largo para el secado. Los hornos secadores son usados para el secado de productos tales como tajadas de manzanas, lúpulo y ocasionalmente para patatas.

2.2.5.- Secadora Samoa.

Consiste en un tubo de metal en donde se pone la fuente de calor (leña, carbón, diesel, electricidad, etc.) sobre ella, a una distancia prudente (más de 120 cm), se coloca una plancha o plataforma perforada donde van las semillas y luego se tapa con un techo. El sistema debe ser cerrado en la parte baja para que el aire seco caliente suba y seque las almendras a su paso.

Figura: 2-4. Secador Samoa



Fuente: <http://www.fao.org>

Elaborado por: Vinicio Ramírez/2011.

2.3.- Determinación del contenido de humedad.

Los granos están constituidos por una sustancia sólida denominada materia seca, y por cierta cantidad de agua, la materia seca está formada por las proteínas, los carbohidratos las grasas, las vitaminas y las cenizas, el agua existe en la estructura orgánica de los granos, se presenta bajo distintas formas, pero para fines prácticos se considera dos tipos de agua: el agua libre que se retira fácilmente por medio del calor y el agua que retiene la materia sólida, y que solo se libera por la acción de altas temperaturas, lo que puede originar la carbonización y descomposición de la sustancia orgánica y por lo tanto la destrucción del producto.⁸

2.3.1.- Método manual base húmeda.

El procedimiento para el presente análisis pesar una cantidad de cacao en gramos de muestra del producto a evaluar, colocar en la cápsula de vidrio, luego ingresarlos al horno por un intervalo de tiempo. Pasado este tiempo la muestra es pesada para realizar el siguiente cálculo:

$$\%H = \frac{(m_o - m_f) * 100}{m_o}$$

Donde:

%H: Humedad del producto en %. 8 (base húmeda)

m_o: Peso inicial de la muestra en gramos.

m_f: peso final de la muestra en gramos.

⁸ ARIAS CIRO; Manual de manejo poscosecha de granos a nivel rural, primera edición, proyecto MAG/FAO pág. 37

Figura: 2-5. Horno



Fuente: Extractora Teobroma/2010
Elaborado por: Vinicio Ramírez/2010

Materiales y equipos

- Horno.
- Cápsulas de vidrio.
- Balanza digital de precisión.

2.3.2.- Método manual base seca.

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

$$\%H = \frac{m_w}{m_s} * 100\%$$

Donde:

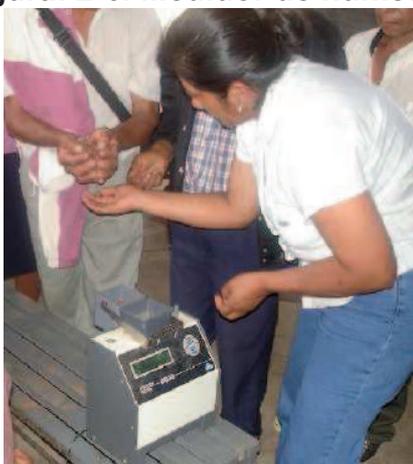
m_w = masa de agua contenida en los granos

m_s = masa seca del material

2.3.3.- Medidor de humedad electrónico.

El procedimiento para el presente análisis obtener una muestra la cual es colocada en la balanza del equipo, porque este requiere un mínimo de muestra. Una vez pesada se enciende el equipo y se espera mensaje de “verter muestra”. Una vez en el interior del equipo, se espera hasta que la lectura sea digitalizada en pantalla.⁹

Figura: 2-6. Medidor de humedad



Fuente: Referencia 8 Pág. 6
Elaborado por: Vinicio Ramírez/2010

Materiales y equipos:

- Medidor de humedad electrónico.

Cálculo:

$$\%H = \text{Lectura del medidor de humedad (\%)} \times f$$

Donde:

%H : Humedad del producto en %.

f: Factor de corrección de Lectura Peso final de la muestra en gramos

⁹ MARCELO GUTIÉRREZ SEIJAS; Manual Prácticas de control de calidad de cacao en centros de acopio; pág.6

2.4.- Transferencia de calor.

Es aquella ciencia que busca predecir la transferencia de energía que puede ocurrir entre dos cuerpos materiales, como resultado de una diferencia de temperatura, también trata de predecir la rapidez a la que se realiza este intercambio bajo ciertas condiciones específicas. La transferencia de calor puede usarse para predecir la temperatura tanto de la barra como del agua, en función del tiempo.¹⁰

Los tres modos de la transferencia de calor se la pueden realizar por convección, conducción, convección, y radiación.

2.4.1.- Calor.

El calor siempre se transfiere entre diferentes cuerpos o diferentes zonas de un mismo cuerpo que se encuentran a diferentes temperaturas y el flujo de calor siempre ocurre desde el cuerpo de mayor temperatura hacia el cuerpo de menor temperatura, ocurriendo la transferencia de calor hasta que ambos cuerpos se encuentren en equilibrio térmico.

El calor puede ser transferido por diferentes mecanismos, entre los que cabe reseñar la radiación, la conducción y la convección, aunque en la mayoría de los procesos reales todos se encuentran presentes en mayor o menor grado.

2.4.1.1.- Capacidad calorífica.

La cantidad de energía en forma de calor que se requiere para cambiar la temperatura de una masa dada de materia, no es la misma para todos los

¹⁰ J.P. HOLMAN; Transferencia de calor; pág. 17

materiales. Por ejemplo, el calor necesario para elevar la temperatura en un grado Celsius de un kilogramo de agua es 4186 J, pero el calor necesario para elevar la temperatura en 1° C de 1 kg de cobre es solo 387 J.

La capacidad calórica, C, de cualquier sustancia se define como la cantidad de calor, Q, que se requiere para elevar la temperatura de una sustancia en un grado Celsius.¹¹

A partir de esta definición, se observa que si al agregar Q unidades de calor a una sustancia le producen un cambio de temperatura ΔT , se puede escribir:

$$Q = C \Delta T$$

2.4.1.2.- Calor específico.

La cantidad de calor ΔQ absorbida o cedida por un cuerpo al calentarse o enfriarse es proporcional a la variación de temperatura ΔT y a la masa del cuerpo según la fórmula:

$$\Delta Q = cm \Delta T$$

Donde c es el calor específico del cuerpo y es una magnitud que depende del material.

2.4.1.3.- Calor sensible.

Calor sensible es aquel que recibe un cuerpo y hace que aumente su temperatura sin afectar su estructura molecular y por lo tanto su estado. En general, se ha observado experimentalmente que la cantidad de calor necesaria para calentar o enfriar un cuerpo es directamente proporcional a la masa del cuerpo y el número de grados en que cambia su temperatura. La constante de proporcionalidad recibe el nombre de calor específico. El calor sensible se puede calcular por:

¹¹ <http://www2.udec.cl/~jinzunza/fisica/cap13.pdf>

$$Q_s = m C_p (t_2 - t_1)$$

$m =$ Masa del cuerpo

$C_p =$ Es el calor específico a presión constante

$t_2 - t_1 =$ Es la temperatura final y temperatura inicial de un cuerpo.

Si el proceso se efectuara a volumen constante, entonces el calor sensible sería

$$Q_s = m C_v (t_2 - t_1)$$

C_v ; Es el calor específico a volumen constante.

2.4.1.4.- Calor latente.

El Calor de cambio de estado, es la energía requerida por una sustancia para cambiar de estado, de sólido a líquido (calor de fusión) o de líquido a gaseoso (calor de vaporización). Al cambiar de gaseoso a líquido y de líquido a sólido se libera la misma cantidad de energía.

2.4.2.- Transferencia de calor por convección.

Es el flujo de calor mediante corrientes dentro de un fluido (líquido o gaseoso). La convección es el desplazamiento de masas de algún líquido o gas. Cuando una masa de un fluido se calienta al estar en contacto con una superficie caliente, sus moléculas se separan y se dispersan, causando que la masa del fluido llegue a ser menos densa. Cuando llega a ser menos denso se desplazará hacia arriba u horizontalmente hacia una región fría, mientras que las masas menos calientes, pero más densas, del fluido descenderán o se moverán en un sentido opuesto al del movimiento de la masa más caliente (el volumen de fluido menos caliente es desplazado por el volumen más caliente). Mediante este mecanismo los volúmenes más calientes transfieren calor a los volúmenes menos calientes de ese fluido (un líquido o un gas). Para expresar el efecto total de convección, utilizamos la ley de enfriamiento de Newton:

$$q = hA (T_w - T^\infty)$$

Aquí la rapidez de transferencia de calor está relacionada con la diferencia de temperatura total entre la pared y el fluido, y el área de la superficie A . A la cantidad h se le llama coeficiente de transferencia de calor por convección.

a) Convección natural.

En la transferencia de calor por convección libre o natural en la cual un fluido es más caliente o más frío y en contacto con una superficie sólida, causa una circulación debido a las diferencias de densidades que resultan del gradiente de temperaturas en el fluido.

Convección es el flujo global de un fluido debido a agentes externos como diferencia de temperatura (convección natural), fuerzas debidas a la presión o gravedad (convección forzada). Por lo tanto es un mecanismo de transporte de los bien conocidos fenómenos de transporte (transporte calor, momento y materia).

b) Convección forzada.

En la transferencia de calor por convección forzada se provoca el flujo de un fluido sobre una superficie sólida por medio de una fuerza externa como lo es una bomba, un ventilador u otro dispositivo mecánico.

2.4.3.- Transferencia de calor por conducción.

Cuando existe una gradiente de temperatura en un cuerpo, hay una transferencia de energía de la región de alta temperatura a la de baja temperatura, decimos que la energía es transferida por conducción y que la

rapidez de transferencia de energía por unidad de área es proporcional a la gradiente normal de temperatura.

$$q = -kA \frac{\delta T}{\delta x} \text{ Ley de conducción de calor de Fourier}$$

Donde q es la rapidez de transferencia de calor $\frac{\delta T}{\delta x}$ es la gradiente de temperatura en la dirección del flujo de calor, a la constante positiva k se llama la conductividad térmica del material y el signo menos se inserta para que satisfaga la segunda principio de la termodinámica¹².

a).- Conductividad térmica.

La conductividad térmica es una propiedad física de los materiales que mide la capacidad de conducción de calor. En otras palabras la conductividad térmica es también la capacidad de una sustancia de transferir la energía cinética de sus moléculas a otras moléculas adyacentes o a sustancias con las que está en contacto. En el Sistema Internacional de Unidades la conductividad térmica se mide en $W/(K \cdot m)$. También se lo expresa en $J/(s \cdot ^\circ C \cdot m)$

La inversa de la conductividad térmica es la resistencia térmica, que es la capacidad de los materiales para oponerse al paso del calor.

2.4.4.- Transferencia de calor por radiación

En contraste de los mecanismos de conducción y de convección en donde están involucradas la transferencia de energía a través de un medio de material, la energía también se la puede transferir a regiones donde existe el vacío perfecto en este caso el mecanismo es la radiación electromagnética.

Es la transferencia de calor, en forma de energía electromagnética, por el espacio. La radiación presenta una diferencia fundamental respecto a la conducción y la convección: las sustancias que intercambian calor no tienen

¹² J.P. HOLMAN; Transferencia de calor; pág, 18.

que estar en contacto, sino que pueden estar separadas por un vacío. La radiación es un término que se aplica genéricamente a toda clase de fenómenos relacionados con ondas electromagnéticas. Algunos fenómenos de la radiación pueden describirse mediante la teoría de ondas, pero la única explicación general satisfactoria de la radiación electromagnética es la teoría cuántica.

2.4.5.- Aislamiento térmico.

Aislamiento térmico es la capacidad de los materiales para oponerse al paso del calor por conducción. Se evalúa por la resistencia térmica que tienen. La medida de la resistencia térmica o, lo que es lo mismo, de la capacidad de aislar térmicamente, se expresa, en el Sistema Internacional de Unidades (SI) en $m^2.K/W$ (metro cuadrado y kelvin por vatio). La resistencia térmica es inversamente proporcional a la conductividad térmica.¹³

c) Lana de vidrio

Un material aislante se caracteriza por el valor de su conductividad térmica; su poder aislante es tanto más elevado cuanto más pequeña es su conductividad. La lana de vidrio es un material compuesto. El fieltro, que se forma en la cadena, está constituido por fibras entrecruzadas desordenadamente, que impiden las corrientes de convección del aire. Es evidente que la conductividad térmica del fieltro será no una conductividad sólida real¹⁴

Aislamiento térmico lana de vidrio está diseñado para cuerpos cilíndricos con diámetros de 10 pulgadas en adelante y equipos que operan entre -51°C a 343°C.

¹³ http://es.wikipedia.org/wiki/Aislamiento_t%C3%A9rmico

¹⁴ <http://www.isover.net/asesoria/manuales/industria/Generalidades2.pdf>

Figura: 2-7. Lana de vidrio



Fuente: Aisla Peru S.A.C.

Elaborado por: Vinicio Ramírez/2010

d) Lana mineral.

Aislamiento térmico con lana mineral, es aplicable para equipos, tuberías y tanques cilíndricos que operan en una temperatura entre 330°C a 600°C.

2.5.- Propiedades Mecánicas.

2.5.1.- Esfuerzos.

Uno de los primeros problemas que enfrenta el ingeniero diseñador es tener la certeza de que la resistencia de la parte que se diseñe siempre sea mayor que la del esfuerzo atribuido a cualquier carga que se la puede aplicar.¹⁵

Un elemento de estado general de esfuerzo tridimensional y se muestran tres esfuerzos normales, σ_x , σ_y , y σ_z todos positivos y seis esfuerzos cortantes también positivos, el elemento esta en equilibrio estático.

¹⁵ Shigley; Diseño de ingeniería mecánica, pag, 27

2.5.1.1.- Esfuerzo normal máximo.

Los esfuerzos normales dirigidos hacia afuera del elemento se consideran positivos y son de tensión, Los esfuerzos cortantes que actúan sobre una cara positiva de un elemento son positivos.

$$\sigma = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2}$$

Indica que son iguales entre si los dos esfuerzos normales ejercitados en las direcciones de los dos esfuerzos cortantes máximos.

2.5.1.2.- Esfuerzo cortante máximo.

El esfuerzo cortante, de corte, de cizalla o de cortadura es el esfuerzo interno o resultante de las tensiones paralelas a la sección transversal de un prisma mecánico como por ejemplo una viga o un pilar. Este tipo de sollicitación formado por tensiones paralelas está directamente asociado a la tensión cortante y de manera similar los dos esfuerzos cortantes serán:

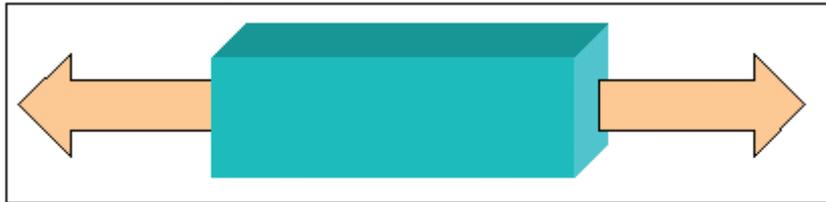
$$\sigma_1, \sigma_2 = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

2.5.2.- Tensión.

Se denomina tensión mecánica a la fuerza por unidad de área en el entorno de un punto material sobre una superficie real o imaginaria de un cuerpo, material o medio continuo.

Decimos que un elemento está sometido a un esfuerzo de tensión cuando sobre él actúan fuerzas que tienden a estirarlo. Los tensores son elementos resistentes que aguantan muy bien este tipo de esfuerzos.

Figura: 2-8. Tensión mecánica



Fuente: <http://fiq4t2.blogspot.com/2008/10/1-fuerzas-y-deformaciones.html>
Elaborado por: Vinicio Ramírez/2010

Un caso particular es el de *tensión uniaxial*, que se define en una situación en que se aplica fuerza F uniformemente distribuida sobre un área A . En ese caso la tensión mecánica uniaxial se representa por un escalar designado con la letra griega σ (sigma) y viene dada por:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

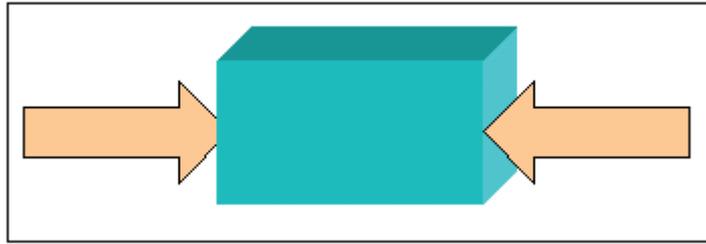
La tensión mecánica se expresa en unidades de fuerza divididas por unidades de área. El Sistema Internacional, en N/m^2 o pascales (Pa). La definición anterior se aplica tanto a fuerzas localizadas como fuerzas distribuidas, uniformemente o no, que actúan sobre una superficie.¹⁶

2.5.3.- Compresión.

Un cuerpo se encuentra sometido a compresión si las fuerzas aplicadas tienden a aplastarlo o comprimirlo. Los pilares y columnas son ejemplo de elementos diseñados para resistir esfuerzos de compresión.

¹⁶ http://es.wikipedia.org/wiki/Tensi%C3%B3n_mec%C3%A1nica

Figura 2-9. Compresión



Fuente: <http://fiq4t2.blogspot.com/2008/10/1-fuerzas-y-deformaciones.html>

Elaborado por: Vinicio Ramírez/2010

El esfuerzo de compresión es la resultante de las tensiones o presiones que existe dentro de un sólido deformable o medio continuo, caracterizada porque tiende a una reducción de volumen o un acortamiento en determinada dirección. En general, cuando se somete un material a un conjunto de fuerzas se produce tanto flexión, como cizallamiento o torsión, todos estos esfuerzos conllevan la aparición de tensiones tanto de tracción como de compresión.¹⁷

2.5.4.- Torsión.

Cualquier vector momento que sea colineal con un eje geométrico de un elemento mecánico se llama vector momento torsionante, debido a que la acción de tal carga hace que el elemento, permite una torcedura alrededor o con respecto a ese eje. Una barra sometida a tal momento se dice que está en torsión.

Un cuerpo sufre esfuerzos de torsión cuando existen fuerzas que tienden a retorcerlo. Es el caso del esfuerzo que sufre una llave al girarla dentro de la cerradura.

¹⁷ http://es.wikipedia.org/wiki/Esfuerzo_de_compresi%C3%B3n

Figura 2-10. Torsión



Fuente: <http://fiq4t2.blogspot.com/2008/10/1-fuerzas-y-deformaciones.html>
Elaborado por: Vinicio Ramírez/2010

En el caso de la barra maciza, el esfuerzo cortante vale cero en el centro y es máximo en la superficie, designando con r el radio de la superficie exterior, se tiene:

$$\tau_{max} = \frac{Tr}{J}$$

$J = \frac{\pi d^4}{32}$ Se aplica solo a secciones circulares maciza, donde d es el diámetro de la barra

$J = \frac{\pi}{32} (d_o^4 - d_i^4)$ Se aplica para una sección circular hueca donde los últimos subíndices o y i se refiere a los diámetros exterior e interior despectivamente.¹⁸

2.5.5.- Flexión.

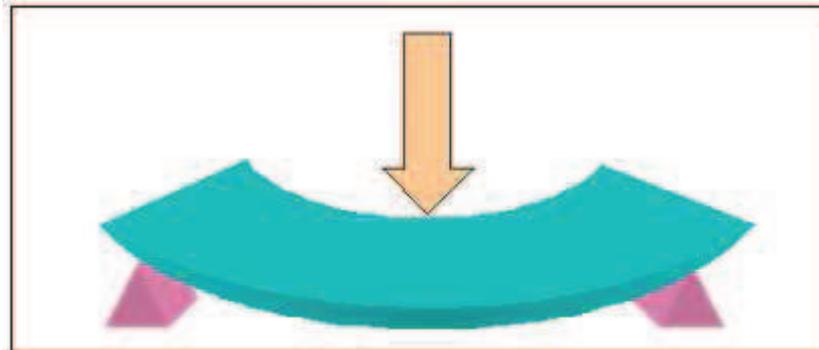
Es el tipo de deformación que presenta un elemento estructural alargado en una dirección perpendicular a su eje longitudinal. El término "alargado" se aplica cuando una dimensión es dominante frente a las otras. Un caso típico son las vigas, las que están diseñadas para trabajar, principalmente, por flexión. Igualmente, el concepto de flexión se extiende a elementos estructurales superficiales como placas o láminas.¹⁹

¹⁸ Shigley; Diseño de ingeniería mecánica, pág. 58,59

¹⁹ http://es.wikipedia.org/wiki/Flexi%C3%B3n_mec%C3%A1nica

Un elemento estará sometido a flexión cuando actúen sobre él cargas que tiendan a doblarlo. A este tipo de esfuerzo se ven sometidas las vigas de una estructura.

Figura 2-11. Flexión



Fuente: <http://fiq4t2.blogspot.com/2008/10/1-fuerzas-y-deformaciones.html>
Elaborado por: Vinicio Ramírez

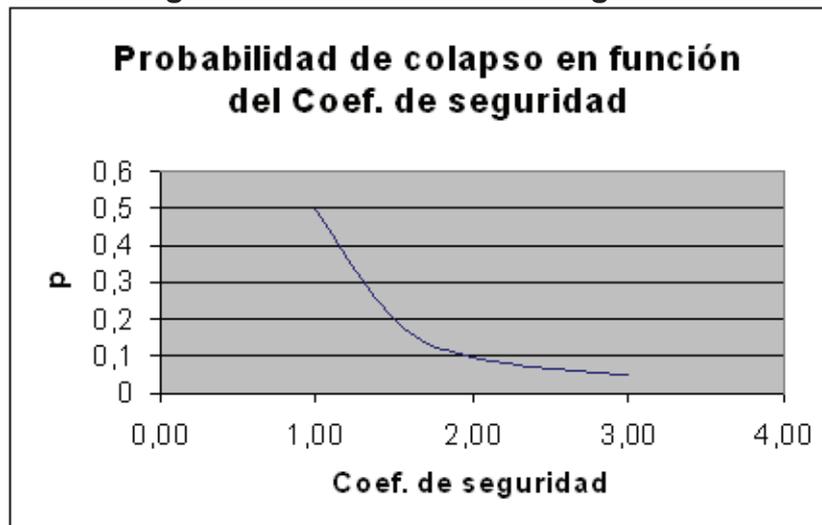
2.5.6.- Factor de seguridad.

El coeficiente de seguridad (también conocido como factor de seguridad) es el cociente entre un número que mide la capacidad máxima de un sistema dividido de los requerimientos teóricos o asumidos como usuales. En ingeniería, arquitectura y otras ciencias aplicadas es común que los cálculos de dimensionado de elementos o componentes de maquinaria, estructuras constructivas, instalaciones o dispositivos en general, incluyan un coeficiente de seguridad que garantice que en bajo desviaciones aleatorias de lo previsto exista un margen extra de prestaciones por encima de las mínimas estrictamente necesarias.²⁰

Cuanto mayor sea el coeficiente de seguridad empleado, menor será la probabilidad de ocurrencia de la catástrofe. En el ejemplo supuesto:

²⁰ http://es.wikipedia.org/wiki/Coeficiente_de_seguridad

Figura 2-12. Coeficiente de seguridad



Fuente: <http://www.albaiges.com/catastrofes/ingenieriacatastrofes.htm>
Elaborado por: Vinicio Ramirez/2010

2.5.7.- Deformación por fallas de fatiga.

La teoría más exacta propuesta hasta la fecha para explicar la dureza de la falla por fatiga se denomina a veces teoría de la duración hasta la deformación. Una falla por fatiga casi siempre da comienzo en una discontinuidad local, como una ranura, muesca, grieta u otra área de alta concentración de esfuerzo.

2.5.8.- Resistencia a la fatiga.

En el caso de un diseño preliminar para algunos analistas de fallas, se necesita un método rápido de estimación existen métodos de prueba con máquinas de viga rotativa y ensayos a tensión simple, al graficarlos puede observarse una correlación entre ambos conjuntos de resultados, la gráfica indica el límite a la fatiga varía para los aceros, desde aproximadamente 40 a 60% de la resistencia última a la tensión hasta un valor de s_{ut} cercano a 200kpi.

2.6.- Elementos Dinámico.

2.6.1.- Rodamientos.

Los rodamientos de insertos son los rodamientos de bola de ranura profunda con anchos anillos internos. Este se inserta en una cubierta como una unidad de rodamiento. Las cubiertas son principalmente en fundición o acero prensado. La unidad de rodamiento es compacta en su diseño con perfectos artefactos de sellado. Ellos se pueden alinear con una fácil operación y pueden ser convenientemente montados o desmontados.²¹

2.6.2.- Transmisión por cadena.

Este sistema consta de una cadena sin fin (cerrada) cuyos eslabones engranan con ruedas dentadas (piñones) que están unidas a los ejes de los mecanismos conductor y conducido.

Los ejes tienen que mantenerse en posición fija uno respecto a otro, por lo que suelen sujetarse mediante soportes, Para la relación de transmisión valen todas las ecuaciones deducidas para las poleas o para las ruedas dentadas, sin más que sustituir el diámetro de las poleas por el número de dientes de los piñones, así se cumple:

Donde:

$$N_1 * D_1 = N_2 * D_2$$

N_1 = velocidad de giro del piñón conductor

N_2 = velocidad de giro del piñón conducido

D_1 = N° de dientes del piñón conductor

D_2 = N° de dientes del piñón conducido

²¹ www.kml-bearing.com/.../itemcata.jsp?cat

2.6.3.- Piñones.

Dispositivo mecánico de tracción o elevación, formado por una rueda, montada en un eje, con una cuerda que rodea la circunferencia de la rueda. Tanto la polea como la rueda y el eje pueden considerarse máquinas simples que constituyen casos especiales de la palanca. Una polea fija no proporciona ninguna ventaja mecánica, es decir, ninguna ganancia en la transmisión de la fuerza: sólo cambia la dirección o el sentido de la fuerza aplicada a través de la cuerda. Sin embargo, con un sistema de poleas móviles (también llamado polipasto) sí es posible obtener una ventaja o ganancia mecánica, que matemáticamente se define como el cociente entre la fuerza de salida (carga) y la fuerza de entrada (esfuerzo). En el caso ideal la ganancia mecánica es igual al número de segmentos de cuerda que sostienen la carga que se quiere mover, excluido el segmento sobre el que se aplica la fuerza de entrada (véase la animación adjunta). El rozamiento reduce la ganancia mecánica real, y suele limitar a cuatro el número total de poleas.

2.6.3.1.- Chavetero.

Es una ranura longitudinal que se corta en un eje, para montar una cuña o chaveta que permita la transferencia de par torsional del eje al elemento transmisor de potencia o viceversa²²

2.6.4.- Resistencias eléctricas.

Cuando la corriente circula por un conductor, los electrones pierden energía al colisionar al interior del conductor, como consecuencia de esto, aumenta la temperatura; es decir, la energía eléctrica se disipa en forma de calor. Si el

²² Diseño de elementos de maquinas, Robert L. Pág. 543

conductor es muy fino, éste se calienta hasta ponerse incandescente, este efecto tiene aplicación en estufas, hornos eléctricos, ampolletas, etc.

Una de las aplicaciones más útiles de la energía eléctrica es su transformación en calor. Como el calor es una forma de energía, se mide en julios, pero existe una unidad para medir el calor: la caloría. Esta se puede transformar en julios por medio de principio de equivalencia definido por James Joule, que establece²³

$$1 \text{ julio} = 0,24 \text{ calorías}$$

Entonces, para encontrar el calor proporcionado por una corriente eléctrica, basta multiplicar la energía en joule por 0,24; es decir, el calor se puede obtener de la siguiente forma:

$$Q = P t \times 0,24 \text{ calorías}$$

2.6.5.- Motor reductor.

En todo tipo de industria siempre se requiere de equipos, cuya función es variar las r.p.m. de entrada, que por lo general son mayores de 1200, entregando a la salida un menor número de r.p.m., sin sacrificar de manera notoria la potencia. Esto se logra por medio de los reductores y motor reductores de velocidad.

Los Reductores o Motor reductores son apropiados para el accionamiento de toda clase de máquinas y aparatos de uso industrial, que necesitan reducir su velocidad en una forma segura y eficiente.²⁴

²³ <http://www.profesorenlinea.cl/fisica/ElectricidadPotenciaResist.htm>

²⁴ <http://www.monografias.com/trabajos13/reducty/reducty.shtml>

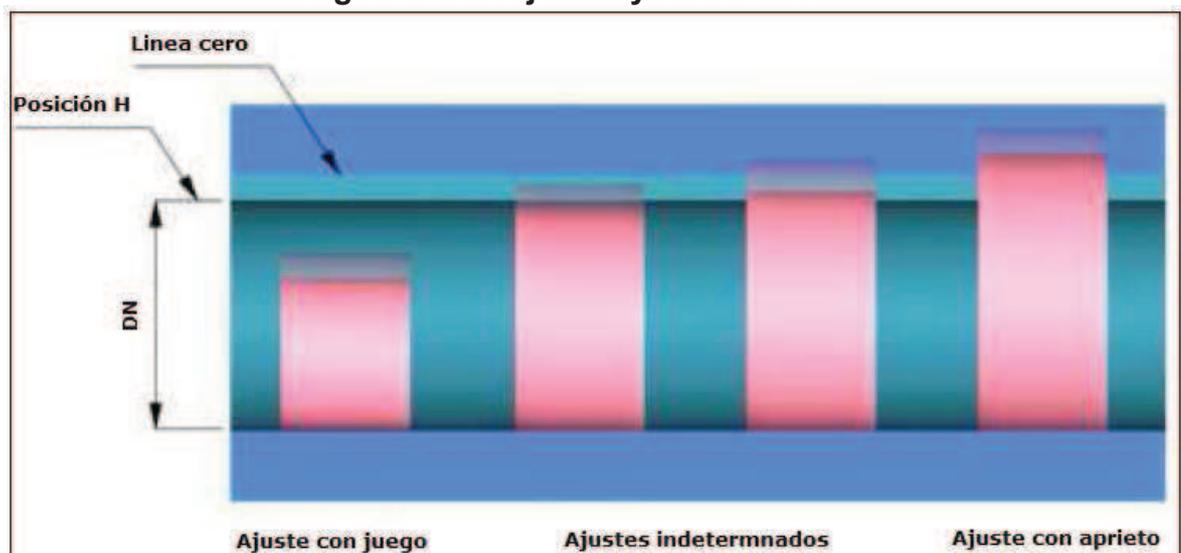
2.6.5.- Ajustes y tolerancia

Se denomina ajuste a la diferencia entre las medidas antes del montaje de dos piezas que han de acoplar.

Una letra representativa de la diferencia fundamental en valor y en signo (minúscula para eje, mayúscula para agujero), que indica la posición de la zona de tolerancia. Un número representativo de la anchura de la zona de tolerancia, El sistema ISO de tolerancias define veintiocho posiciones diferentes para las zonas de tolerancia, situadas respecto a la línea cero.

Según la zona de tolerancia de la medida interior y exterior, el ajuste puede ser:

Figura: 2-13. Ajustes y Tolerancias



Fuente: www.fing.edu.uy/iimpi/academica/grado/elemmaq/teorico/Ajustes&Tolerancias9-4.pdf
Elaborado por: Vinicio Ramírez/2010

CAPÍTULO III

ANÁLISIS DEL CACAO A SECAR

3.1.- Tipo del secador de cacao.

Para el presente proyecto se realizara la construcción de un secador de tipo rotativo ya que tiene varias ventajas como secado rápido, volteo de las almendras, homogeneidad en el secado de cacao, independencia de los factores ambientales, alto volumen de secado, menor necesidad de supervisión, facilidad y manejo de control a diferencia de las convencionales de tipo tendales o secador samoa.

La secadora rotativa de cacao a realizar estará acompañada de una carcasa de aislamiento térmico alrededor del cilindro para conservar la capacidad calorífica al interior aumentando así su rendimiento a diferencia de las rotativas comunes.

3.2.- Análisis del grano de cacao.

Se toma muestras de cacao seco de los diferentes centros de acopio las muestra son de 100g y seleccionamos la almendra de menor tamaño.

Tabla: 3-1. Tamaño de las almendra de cacao

ACOPIOS	LARGO	ANCHO	ESPEJOR
ACOPIO GARYHT	18,2mm	13mm	11mm
ACOPIO CONCORD	20mm	13mm	7,6mm
ACOPIO LA UNIÓN	21mm	12,2mm	9,5mm
ACOPIO MONTERREY	23,5mm	11,4mm	7,4mm
ACOPIO VILLEGAS	23,6mm	12,3mm	7mm
Elección menor	18,2mm	11,4mm	7mm

Fuente: Información de campo

Elaborado por: Vinicio Ramírez/2010

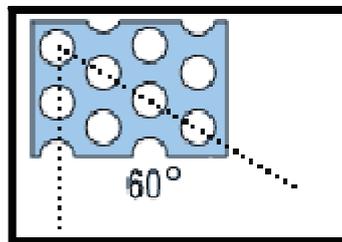
3.3.- Especificación De la lámina perforada.

Una vez analizado el tamaño promedio de las almendras más pequeñas procedemos a determinar el diámetro de las perforaciones de la malla, la separación entre centros, la distribución de los agujeros lo que corresponde a toda la plancha de acero inoxidable A-304.

3.3.1.- Distribución de los agujeros.

Es la organización de los agujeros en una lámina en filas escalonadas. La distribución será escalonada de agujeros, la dirección es normalmente paralela a la dimensión corta de la lámina. La distribución escalonada normal es de 60°. Es la opción de distribución más fuerte, más versátil y económica de todas las opciones de perforado.

Figura: 3-1 Distribución de los agujeros



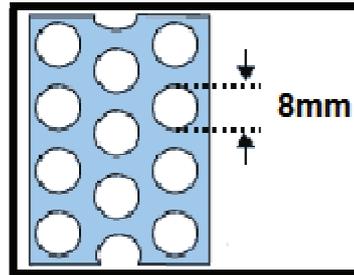
Fuente: Información de campo

Elaborado por: Vinicio Ramírez/2010

3.3.2.- Diámetro de los agujeros.

De acuerdo a la selección menor de las almendras, el diámetro de las perforaciones será de 8mm, el agujero debe ser por lo menos el doble del espesor del material. Al acercarse el diámetro del agujero al espesor del material, hay una alta probabilidad de daño de herramienta.

Figura: 3-2 Diámetro de los agujeros

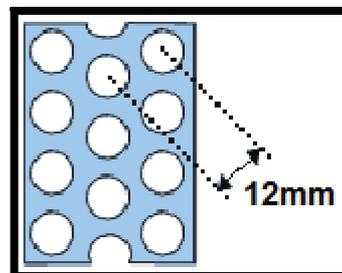


Fuente: Información de campo
Elaborado por: Vinicio Ramírez/2010

3.3.3.- Distancia entre centros.

Es la distancia desde el centro de un agujero hasta el centro del agujero más cercano en la fila adyacente, será de 12mm, La distancia entre centros es una de dos medidas de separación de perforaciones. La otra es el porcentaje de área abierta.

Figura: 3-3 Distancia entre centros

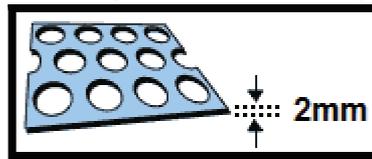


Fuente: Información de campo
Elaborado por: Vinicio Ramírez/2010

3.3.4.- Espesor o grosor del metal perforado.

Es la medida desde la parte superior de la superficie hasta la parte inferior de la superficie del material. El calibre es la medida más común, pero el espesor puede ser medido en fracciones de pulgadas o milímetros.

Figura: 3-4 Espesor del metal perforado



Fuente: Información de campo
Elaborado por: Vinicio Ramírez/2010

3.3.5.- Porcentaje del área abierta.

Las láminas perforadas contienen agujeros y material. El porcentaje de área abierta es el área total de los agujeros divididos por el área total de la lámina y es expresado como un porcentaje. En otras palabras, el porcentaje de área abierta describe cuánto de una lámina es ocupada por agujeros.

Formula: Ver anexo 2

$$\% = \frac{D^2 * 90.69}{C^2}$$
$$\% = \frac{8^2 * 90.69}{12^2} = 40.3\%$$

Es el 40% de área abierta.

3.4.- Densidad de las almendras de cacao.

Tabla: 3-2 Densidad de las almendra de cacao

ESTADO	DENSIDAD
CACAO EN BABA	620 kg/m3
CACAO FERMENTADO	775 kg/m3
CACAO SECO	635 kg/m3

Fuente: Laboratorio Extractora Teobroma
Elaborado por: Vinicio Ramírez/2010

3.5.- Calidad de las almendras de cacao

Esta norma se aplica al cacao beneficiado, es decir, el grano entero, fermentado, seco y limpio, destinado para fines de comercialización, dentro del porcentaje de defectuosos el cacao no deberá exceder del 1% de granos partidos, la calidad de las almendras después del proceso de secado por el prototipo depende en gran parte en las condiciones físicas en la que entra al secador. Se considera como grano defectuoso a los que a continuación se describen

- **Grano mohoso.** Grano que ha sufrido deterioro parcial o total en su estructura interna debido a la acción de hongos, determinado mediante prueba de corte.
- **Grano dañado por insectos.** Grano que ha sufrido deterioro en su estructura (perforaciones, picados, etc.) debido a la acción de insectos.
- **Grano vulnerado.** Grano que ha sufrido deterioro evidente en su estructura por el proceso de germinación, o por la acción mecánica durante el beneficiado.
- **Grano negro.** Es el grano que se produce por mal manejo pos cosecha o en asocio con enfermedades.
- **Grano violeta.** Grano cuyos cotiledones presentan un color violeta intenso, debido al mal manejo durante la fase de beneficio del grano.
- **Grano partido (quebrado).** Fragmento de grano entero que tiene menos del 50% del grano entero.

- **Grano seco.** Grano cuyo contenido de humedad no es mayor de 7% (cero relativo).

3.6.- Temperatura y tiempo de secado.

De acuerdo a la información recopilada la temperatura de secado de cacao no debe exceder de los 60°C, en nuestra máquina prototipo secador realizaremos los siguientes ensayos variando temperatura y tiempo de secado.

- 1.- muestra en temperatura de 45 – 50 °C en tiempos de (7, 8, y 9) horas
- 2.- muestra en temperatura de 50 – 55 °C en tiempos de (7, 8, y 9) horas
- 3.- muestra en temperatura de 55 – 60 °C en tiempos de (7, 8, y 9) horas.

3.7.- Porcentaje de humedad del producto.

3.7.1.- Humedad inicial del cacao.

La humedad inicial a la que va entrar al prototipo secador de cacao es en estado de fermentación se determina mediante un análisis de humedad en el laboratorio, escrita en la siguiente tabla.

Tabla: 3-3 Porcentajes de humedad en baba

Procedencia	Propietario	Peso inicial	Peso final	% humedad
La Concordia	Rafael Carrillo	38,65g	17,84g	53,84%

Fuente: Laboratorio Extractora Teobroma

Elaborado por: Vinicio Ramírez/2010

3.7.2.- Humedad final del cacao.

El porcentaje de humedad que exige el mercado competitivo es de 7% de humedad opimo para el almacenamiento, el instituto de investigaciones agropecuarias INIAP destaca que no debe exceder del 7% de humedad.

El porcentaje máximo de humedad del cacao beneficiado será de 7% (cero relativo), el que será determinado o ensayado de acuerdo a lo establecido en la NTE INEN 173.²⁵

3.8.- Muestreo.

Se realizara el muestreo para determinar dos variables en el proceso de secado que es para determinar el porcentaje de humedad y la calidad del estado físico de las almendras de cacao después del secado.

El procedimiento a emplearse es mezclar cuidadosamente la muestra para ensayo, obtenida según la norma INEN 177 y, mediante reducciones sucesivas, aplicando un procedimiento de cuarteo o un aparato adecuado, se obtiene una muestra representativa de 500 gramos de cacao.

3.8.1.- Muestreo para determinar la humedad del cacao.

Para determinar el porcentaje de humedad del cacao en el transcurso del proceso de secado por el prototipo, se utilizarán procedimientos que permitan la extracción periódica y continua de la muestra, y asegurarse de que introducirá en distintos sectores del cilindro con la mayor frecuencia posible y a intervalos de tiempo regulares hasta determinar el tiempo adecuado en que las almendras tengan el 7% de humedad. Mediante el uso de un cucharín adecuado a fin de asegurar la máxima representatividad del muestreo.

²⁵ <http://www.anecacao.com/descargas/normastecnicas/inen176.pdf>

3.9.- Velocidad de flujo de aire para el secado.

En el estudio realizado por el instituto autónomo de investigaciones agropecuarias se usaron las siguientes condiciones: temperatura del aire 60 °C, velocidad del aire 0.5 m/s con lo que garantiza un cacao de buena calidad y de características muy similares al obtenido con secado natural.²⁶

26

http://mail.iniapecuador.gov.ec/isis/view_detail.php?mfn=1479&qtype=search&dbinfo=TESIST&words=THEOBROMA%20

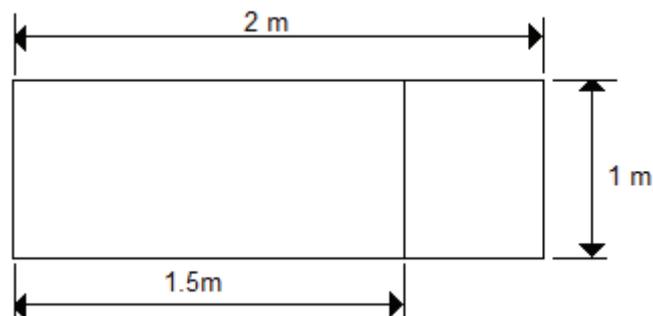
CAPÍTULO IV

DISEÑO DE LA SECADORA ROTATIVA DE CACAO

4.1.- Tamaño del prototipo secador de cacao.

El tamaño y la capacidad del prototipo secador rotativo de cacao se la calcula en base a la producción máxima esperada de cacao de cada zona productora o el ingreso de materia prima tal fuera el caso como un centro de acopio de cacao, en el caso del presente proyecto tiene la finalidad de realizar demostraciones de secado de cacao se construirá un modelo prototipo.

El tamaño del secador a construir será utilizando las medidas estándar de una plancha de acero inoxidable perforado.



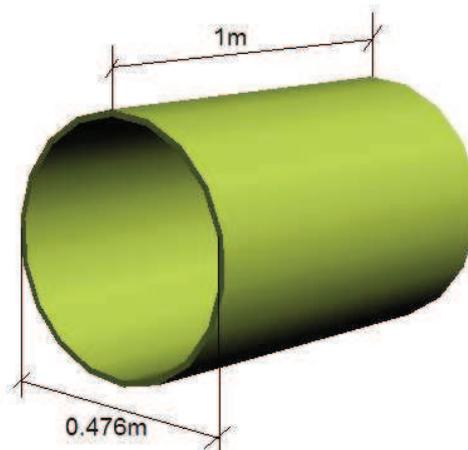
Del mismo material damos la forma de un cilindro mediante un proceso de rolación, el cual nos queda un cilindro con las siguientes medidas. Con un perímetro (P) de 1.5m

$$P = \pi d$$

$$d = \frac{P}{\pi}$$

$$d = \frac{1,5 \text{ m}}{\pi}$$

$$d = 0,476 \text{ m}$$



4.1.1.- Capacidad de la máquina.

Con el fin de reducir el porcentaje de humedad del cacao y tener un secado uniforme en todas las almendras nos valemos de la rotación del tambor y considerando la capacidad de llenado del producto.

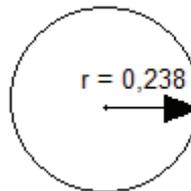
Con el objetivo de obtener el secado uniforme, es necesario saber la cantidad de cacao que entra al prototipo secador, por cada parada, y se realiza el siguiente cálculo para determinar la capacidad máxima de cacao.

- **Área de la circunferencia**

$$A = \pi r^2$$

$$A = \pi(0,238^2)$$

$$A = 0,178 \text{ m}^2$$



- **Volumen del prototipo secador de cacao**

$$V = A * L$$

$$V = 0,178 \text{ m}^2 * 1.0 \text{ m}$$

$$V = 0,178 \text{ m}^3 \text{ Volumen del cilindro}$$

- **Masa (capacidad total del prototipo secador de cacao)**

$$m = \delta * V$$

$$m = 775 \text{ kg/m}^3 * 0,178 \text{ m}^3$$

$$m = 138 \text{ kg} \text{ Capacidad total de la maquina secadora de cacao.}$$

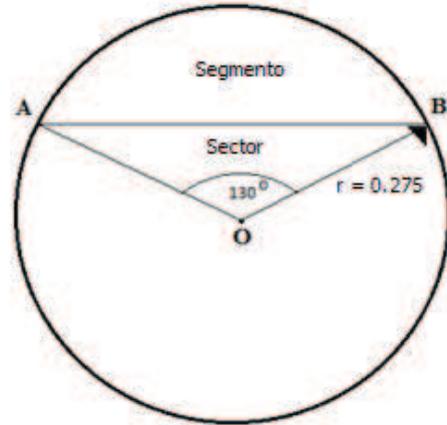
4.1.2.-Capacidad de trabajo del secador rotativo

- **Área del sector circular**

$$A = \frac{\pi * (r)^2 * 130}{360}$$

$$A = \frac{\pi * (0,238m)^2 * 130}{360}$$

$$A = 0,064 m^2$$



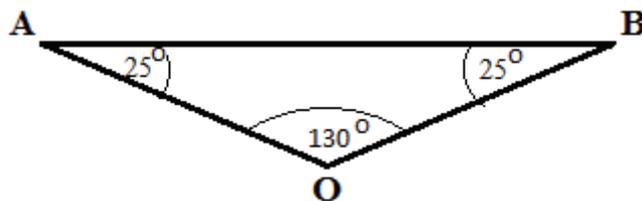
- **Área del segmento circular**

Ec. 4.1

Área del segmento circular **AB** = Área del sector circular **AOB** – Área del triángulo **AOB**

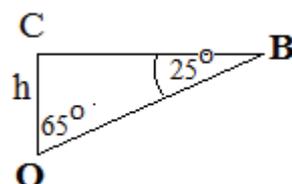
- **Área del triángulo AOB**

De la circunferencia retiramos la sección del triángulo para encontrar su respectiva área.



Altura del triángulo

$$h = 0.238m (\text{sen } 25)$$



$$h = 0.1 \text{ m}$$

Base del triángulo AOB

$$\text{Base AOB} = 2 (0.238\text{m} * \cos 25)$$

$$\text{Base AOB} = 0,43 \text{ m}$$

Con estos datos podemos calcular el área del triángulo del sector circular y determinar el área que no se llenara de cacao en el secador

$$A \text{ del triángulo} = \frac{\text{Base AOB} * h}{2}$$

$$A \text{ del triángulo} = \frac{0.43\text{m} * 0.1 \text{ m}}{2}$$

$$A \text{ del triángulo} = 0.0215\text{m}^2$$

- **Remplazando ecuación 4.1 Área del segmento circular**

$$\text{Área del segmento circular AB} = 0.064 \text{ m} - 0.0215 \text{ m}$$

$$\text{AB} = 0.0425 \text{ m}^2$$

$$\text{Área de trabajo} = \text{Área total} - \text{Área de segmento circular AB}$$

$$\text{Área de trabajo} = 0.178 \text{ m}^2 - 0.0425 \text{ m}^2$$

$$\text{Área de trabajo} = 0.135 \text{ m}^2$$

- **Volumen de trabajo del secador**

$$V = \text{Área de trabajo} * L$$

$$V = 0.135 \text{ m}^2 * 1 \text{ m}$$

$$V = 0.135 \text{ m}^3$$

- **Masa de trabajo del secador**

$$m = \delta * V$$

$$m = 775 \text{ kg/m}^3 * 0.135 \text{ m}^3$$

m = 105 kg El secador rotativo de cacao tendrá la capacidad de secar 105 kg de cacao, es el resultado en base a una lámina de acero inoxidable perforado.

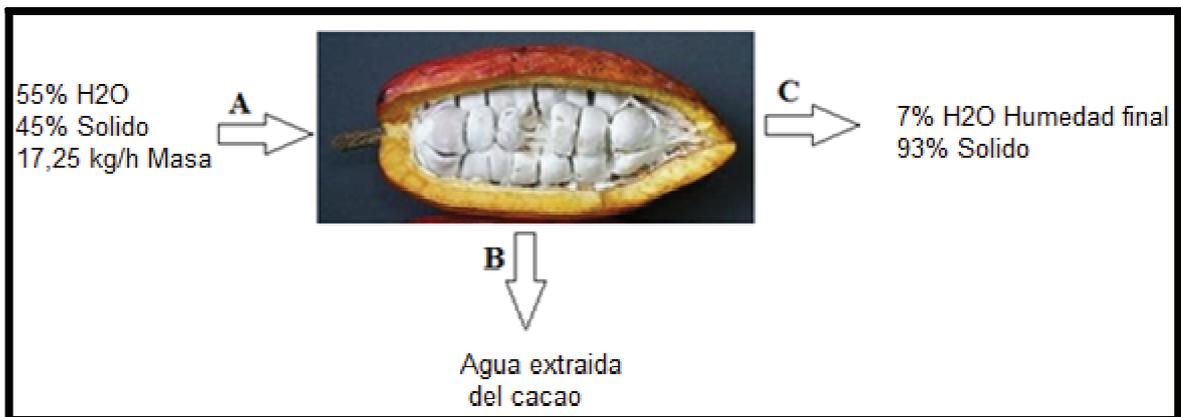
4.2.- Cálculo para la determinación del contenido de agua del cacao

El prototipo secador rotativo tiene la capacidad de secar 138 kg por cada parada, considerando un tiempo de residencia de ocho horas

Datos del cacao a ser procesado:

- 55% Humedad en estado de fermentación
- 7 % Humedad cacao seco
- 17.25 kg/h masa a secar

Figura: 4-1. Balance de masa



Fuente: Tesis Ángel tierra/2004

Elaborado por: Vinicio Ramírez/2010.

- **Cálculo de la masa que sale después del proceso de secado**

$$\mathbf{A = B + C} \quad \text{Base seca}$$

$$mA * \% \text{ Solido} = mB * \% \text{ Solido} + mC * \% \text{ Solido}$$

$$17,25 \frac{kg}{h} * 0.45 = mB * (0) + mC * 0.93$$

$$mC = \frac{17,25 \frac{kg}{h} * 0.45}{0.93}$$

$$mC = 8,34 \frac{kg}{h} \quad \text{Masa del cacao seco}$$

- **Cálculo de la cantidad de agua extraída**

Despejamos B:

$$\mathbf{B = A - C}$$

$$B = 17,25 \text{ kg/h} - 8,34 \text{ kg/h}$$

$$B = 8,91 \text{ kg/h} \quad \text{cantidad de agua extraída del cacao}$$

4.2.1.- Cálculo del calor específico del cacao

$$C_{pc} = \frac{m_{H_2O}}{m} * C_{pH_2O} + \frac{m_s}{m} * C_{ps} \quad \text{Ec. 4.1}$$

C_{pc} = calor específico del cacao

m_{H_2O} = masa del agua

m = masa total del agua

C_{pH_2O} = calor específico del agua

C_{ps} = calor específico del solido

m_s = masa del solido

Datos:

$$m_{H_2O} = 0.55 \%$$

$$m_s = 0.45 \%$$

$$C_{pH_2O} = 4.187 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

$$C_{ps} = 1.38 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C} \text{ por lo general los productos alimenticios}$$

Remplazando en la Ec.4.1

$$C_{pc} = \frac{55\%}{100} * 4.187 \frac{\text{kJ}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} + \frac{45\%}{100} * 1.38 \frac{\text{kJ}}{\text{kg } ^\circ\text{C}}$$

$$C_{pc} = 2.302 \frac{\text{kJ}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} + 0.857 \frac{\text{kJ}}{\text{kg } ^\circ\text{C}}$$

$$C_{pc} = 3.159 \frac{\text{kJ}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} \text{ Calor específico del cacao}$$

$$C_{pc} = 3.159 \frac{\text{kJ}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} \quad \text{y} \quad \mathbf{1 \text{ kcal} = 4.186 \text{ kJ}}$$

$$C_{pc} = 0.637 \frac{\text{kcal}}{\text{kg } ^\circ\text{C}} \text{ Calor específico del cacao}$$

4.3.- Cálculo del calor total del cacao.

Cantidad de calor que se requiere para elevar la temperatura a 60 °C de la maquina secadora de 138 kg por cada parada

$$QT = Qc + Qcnd + Qcnv \quad \text{Ec. 4.2}$$

$$QT = \text{Calor total}$$

$$Qc = \text{Calor absorbido por el cacao}$$

$$Qcnd = \text{Pérdidas de calor por conducción}$$

$$Qcnv = \text{Pérdidas de calor por convección}$$

4.3.1.- Calor absorbido por el cacao

La cantidad de calor que absorbe la masa de cacao está conformada por la suma de calor sensible para subir la temperatura sin que cambie su estado y de calor latente de cambio de estado de la sustancia a evaporar.

$$Q_c = Q_s + Q_l \quad \text{Ec. 4.3}$$

4.3.2.- Cálculo de calor sensible

$$Q_s = m * C_{pc} * \Delta T \quad \text{Ec. 4.4}$$

En donde:

Q_s = Calor sensible (kcal)

m = Masa de la sustancia (kg)

C_{pc} = Calor específico del cacao (Kcal/kg °C)

ΔT = Variación de temperatura (°C)

Datos:

$$m = 17,25 \text{ kg / h}$$

$$C_{pc} = 0.637 \text{ kcal/ kg}^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = (60^\circ\text{C} - 22^\circ\text{C})$$

Remplazando:

$$Q_s = 17,25 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 0,637 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * (60^\circ\text{C} - 22^\circ\text{C})$$

$$Q_s = 417,5 \frac{\text{kcal}}{\text{h}}$$

4.3.3.- Cálculo de calor latente.

$$Q_l = m * h_{fg} \quad \text{Ec. 4.5}$$

En donde:

Q_l = Calor latente (Kcal)

m = Masa de la sustancia de agua (kg)

h_{fg} = Entalpia (Kcal/kg)

Datos:

$m = 12.03 \text{ kg/h}$ (cantidad de agua extraída)

$h_{fg}(60^\circ\text{C}) = 2358,5 \text{ KJ}$ ingreso a la tabla del anexo 1 con 60°C

Remplazamos:

$$Ql = 8,19 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 2358,5 \frac{\text{KJ}}{\text{kg}}$$

$$Ql = 21014,2 \frac{\text{KJ}}{\text{h}}$$

1 kcal = 4,186 kJ

$$Ql = 5020,1 \text{ kcal/h}$$

Remplazando en la ecuación 4.3

$$Qc = 417,5 \text{ kcal/h} + 5020,1 \text{ kcal/h}$$

$$Qc = 5437,5 \text{ kcal/h}$$

1kcal = 4184 J; 1watts = 1 J/s

$$Qc = 13003,2 \text{ kcal/h} * 4184 \text{ J/Kcal} * 1\text{watts} / 1\text{J/ s} * 1\text{h} / 3600\text{s}$$

$$Qc = 6319,6 \text{ watts} \quad \text{Calor que absorbe la masa de cacao}$$

4.4.- Cálculo de las pérdidas de calor por conducción

$$Qcnd = Qa + Qb + Qc$$

Ec. 4.6

En donde:

$Qcnd =$ Perdidas de calor por conducción

$Qa =$ Calor absorbido en la pared frontal y posterior del secador

$Qb =$ Calor que absorbe en las paredes laterales

$Qc =$ Calor que absorbe en la pared inferior

4.4.1.- Calor absorbido en la pared frontal y posterior del secador

$$Q_a = \frac{k \cdot A (T_2 - T_1)}{L} \quad \text{Ec.4.7}$$

En donde:

K = Coeficiente de conducción del material

A = Área de las paredes

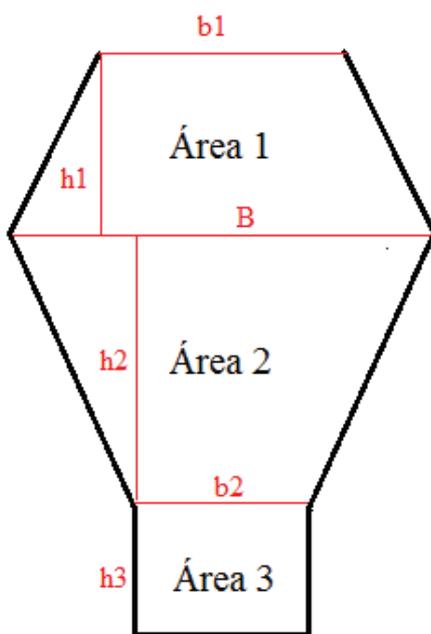
T_1 = Temperatura en la pared exterior

T_2 = Temperatura de la pared interior

L = Espesor del aislamiento

DATOS:

Área de la pared posterior y frontal del secador



$$A_1 = \frac{(B+b_1)h_1}{2}$$

$$A_1 = \frac{(0,636 + 0,28)0,30m}{2} = 0,137 \text{ m}^2$$

$$A_2 = \frac{(0,636 + 0,25m)0,45m}{2} = 0,2 \text{ m}^2$$

$$A_3 = h_3 * b_2$$

$$A_3 = 0,22 * 0,25 = 0,055 \text{ m}^2$$

Área frontal y posterior

$$A = 2 (A_1 + A_2 + A_3)$$

$$A = 2 (0,137m^2 + 0,2m^2 + 0,05m^2)$$

$$A = 0.8 \text{ m}^2$$

$$L = 0,025m$$

$$T_1 = 28 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 60 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = (60 - 28) = 32^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = 32 \text{ } ^\circ\text{C} + 273$$

$$\Delta T = 305 \text{ }^\circ K$$

Remplazamos en la ecuación 4.7:

$$Q_a = \frac{0,043 \frac{W}{m \cdot ^\circ k} * 0,8 m^2 (305^\circ K)}{0,025 m}$$

$$Q_a = 419,6 \text{ W}$$

4.4.2.- Calor absorbido en las paredes laterales

$$Q_b = \frac{k * A (T_2 - T_1)}{L} \quad \text{Ec. 4.8}$$

DATOS

Áreas laterales

$$A = 2 (b * h)$$

$$A = 2 (1,07 m^2 * 1, m^2)$$

$$A = 2,14 m^2$$

Remplazamos en la ecuación 4.8

$$Q_b = \frac{0,043 \frac{W}{m \cdot ^\circ k} * 2,14 m^2 (305^\circ K)}{0,025 m}$$

$$Q_b = 1122,6 \text{ W}$$

4.4.3.- Calor que absorbe la pared inferior

$$Q_c = \frac{k * A (T_2 - T_1)}{L} \quad \text{Ec 4.9}$$

DATOS:

Área de la pared inferior

$$A = 1, m * 0,25 m$$

$$A = 0,25 m^2$$

Remplazando en la ecuación 4.9

$$Q_c = \frac{0,043 \frac{W}{m \cdot ^\circ k} * 0,25 m^2 (305 ^\circ K)}{0,025 m}$$

$$Q_c = 131 W$$

Remplazando en la ecuación 4.6 pérdidas de calor por conducción

$$Q_{cnd} = (419,6 + 1122,6 + 131) W$$

$$Q_{cnd} = 1673,2 W \text{ (Pérdidas de calor por conducción)}$$

4.5.- Cálculo de pérdidas por convección

$$Q_{con} = Q_{v1} + Q_{v2}$$

Ec.4.10

En donde:

Q1 = pérdidas por convección en el interior del secador

Q2 = pérdidas por convección en el exterior del secador

4.5.1.- Cálculo por pérdidas por convección en el interior del secador

$$Q_{v1} = h * A (T_w - T_\infty)$$

Ec.4.11

En donde:

Q_{v1} = Pérdidas de calor por convección en el interior del secador [W]

h = Coeficiente de transferencia de calor por convección [$\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$]

A = Área de la superficie total de transferencia de calor

T_w = Temperatura del sólido.

T_∞ = Temperatura del fluido del aire

4.5.2.- Cálculo del coeficiente de transferencia de calor por convección

$$h = \frac{Nu * k}{L} \quad \text{Ec.4.12}$$

En donde:

h = Coeficiente de transferencia de calor por convección [$\frac{W}{m^2} \text{ } ^\circ\text{C}$]

L = Altura da la superficie o dimensión característica

k = Conductividad térmica del aire [$\frac{W}{m^\circ\text{C}}$]

Nu = Número de nusset [adimencional]

4.5.3.- Cálculo del número de nusset.

Calculamos el número de nusset para cilindros horizontales²⁷

$$Nu^{1/2} = 0,60 + 0.387 \left\{ \frac{Gr Pr}{\left[1 + \left(\frac{0,559}{Pr} \right)^{9/16} \right]^{16/9}} \right\}^{1/6} \quad \text{para } 10^{-5} < Gr Pr < 10^{-12}$$

Ec.4.13

En donde:

Nu = Número de Nusset

Gr = Número de Grashof

Pr = Número de Prandt

Para determinar las propiedades en los grupos adimensionales, se evalúan con la temperatura de la película donde el subíndice es f

$$T_f = \frac{T_\infty + T_w}{2} \quad \text{Ec. 4.14}$$

²⁷ Ref. 1(transferencia de calor Homam pág. 315

En donde:

T_f = Temperatura media de la película

T_∞ = Temperatura del fluido.

T_w = Temperatura del solido

Remplazó en la Ec.4.14

$$T_f = \frac{60^\circ\text{C} + 28^\circ\text{C}}{2}$$

$$T_f = 44^\circ\text{C}$$

$$T_f = 44^\circ\text{C} + 273$$

$$T_f = 317^\circ\text{k} \text{ Temperatura de la película}$$

4.5.4.-Cálculo del módulo de Grashof

$$Gr = \frac{g \beta (T_w - T_\infty) \rho^2 L^3}{\mu^2} \quad \text{Ec. 4.15}$$

En donde:

$$\beta = \frac{1}{T_f}$$

$$\beta = 0,00317$$

$$\rho = 1,177 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu = 1,983 \cdot 10^{-5} \text{ kg/m} \cdot \text{s}$$

$$k = 0,02624 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\text{Pr} = 0,78$$

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

Datos:

Altura de la superficie o de la dimensión característica del cilindro.

$$L = r + h$$

$$L = 0,238 \text{ m} + 0,1 \text{ m}$$

$$L = 0.33 \text{ m}$$

$$T_w = 60 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_\infty = 28 \text{ }^\circ\text{C}$$

Remplazo en la Ec.4.15

$$Gr = \frac{9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 0,00315 (60 - 28^\circ\text{C}) (1,177 \text{ kg/m}^3)^2 (0,33 \text{ m})^3}{(1,983 \cdot 10^{-5} \text{ kg/m} \cdot \text{s m})^2}$$

$$Gr = 106257467,7$$

Número de Nusselt remplazo en la Ec.4.13

$$Nu^{1/2} = 0,60 + 0,387 \left\{ \frac{0,708 * 106257467,7}{\left[1 + \left(\frac{0,559}{0,708} \right)^{9/16} \right]^{16/9}} \right\}^{1/6}$$

$$Nu = 51,8$$

Transferencia de Calor por convección remplazo en la Ec.4.12

$$h = \frac{51,8 * 0,02624 \frac{W}{m^\circ\text{C}}}{0,38 \text{ m}}$$

$$h = 4,11 \frac{W}{m^2^\circ\text{C}}$$

Es el coeficiente de transferencia de calor en la frontera del sólido

Perdidas de calor por convección en el interior de cilindro

$$\text{Área del cilindro: } A_{cilind} = 2\pi r (h + r)$$

$$A_{cilind} = 2\pi \cdot 0,238 (1,00 + 0,238)$$

$$A_{cilind} = 1,85 \text{ m}^2$$

$$Q_{v1} = 4.11 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{°C}} * 1.85 \text{ m}^2 (60-28\text{°C})$$

$$Q_{v1} = 243,3 \text{ W}$$

4.5.5.- Cálculo por pérdidas por convección en el exterior del secador

$$Q_{v2} = h * A (T_W - T_{\infty}) \quad \text{Ec. 4.16}$$

Donde:

Q_{v2} = Pérdidas de calor por convección en el interior del secador [W]

h = Coeficiente de transferencia de calor por convección [$\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{°C}}$]

A = Área del secador

T_W = Temperatura del sólido.

T_{∞} = Temperatura ambiente

Datos:

Para encontrar las pérdidas por convección en el exterior del secador determinamos el área total de las paredes del secador.

$$A_T = A_1 + A_2 + A_3$$

A_T = Área total de las paredes exteriores

A_1 = Área de las paredes laterales

A_2 = Área de las paredes frontal y posterior

A_3 = Área de la pared inferior

Remplazando:

$$A_T = 2.14 \text{ m}^2 + 0,8 \text{ m}^2 + 0,25 \text{ m}^2$$

$$A_T = 3,19 \text{ m}^2$$

Remplazando en la ecuación 4,16

$$Q_{v2} = 4.11 \frac{W}{m^2} \text{ } ^\circ\text{C} * 3.19 m^2 (30^\circ\text{C} - 26^\circ\text{C})$$

$$\mathbf{Q_{v2} = 52.4 W}$$

Remplazando en la ecuación 4.10 tenemos las perdidas por convección

$$Q_{cnv} = 243.3 W + 52.4 W$$

$$\mathbf{Q_{cnv} = 295.7 W}$$

Calor total del cacao remplazamos en la Ec.4.2

Cantidad de calor que se requiere para elevar la temperatura a 60 °C de la maquina secadora de 324.7 kg por cada parada

$$QT = Qc + Qcnd + Qcnv$$

$$QT = 6319.6 W + 1673.2 W + 295.7 W$$

$$\mathbf{QT = 8287.8 W}$$

4.6.- Calor real de la secadora de cacao

Determinamos el calor real del prototipo secador de cacao en base a la eficiencia del mismo.

$$Q_{\text{real}} = \frac{QT}{\eta}$$

En donde:

Q_{real} = Calor real del secador

QT = Calor total

η = Eficiencia del prototipo secador

La eficiencia del secador es del 85% de acuerdo a los cálculos realizados

$$Q_{\text{real}} = \frac{8287.8 \text{ W}}{\frac{85\%}{100}}$$

$$Q_{\text{real}} = 9750.3 \text{ W}$$

Cantidad de calor requerido por la maquina secadora de cacao para bajar el porcentaje de humedad al 7% es de 9750.3 W.

DISEÑO MECANICO

4.7.- Diseño de la malla perforada.

De acuerdo con la figura 3.1 del capítulo 3 se determinó el diámetro de las perforaciones en toda la lámina inoxidable es de 8mm, realizando una selección de las almendras de menor diámetro y sin que el cacao a secar no atraviese por las perforaciones del cilindro, caso contrario lo detallamos como perdidas.

4.8.- Calculo del diámetro del eje.

Un eje es un elemento de máquina generalmente rotatorio y a veces estacionario, Tiene montados sobre sí, elementos que transmiten energía o movimiento, tales como poleas (con correas o cadenas), engranajes, levas, volantes, El diseño sobre un eje puede ser de diferentes características, estática o dinámica, según las fuerzas que intervienen flexional, torsional, axial en cuanto al modo en que actúa la maquina secadora de cacao

4.8.1.- Peso del material y del producto a secar

- Peso de la plancha

$$m = \delta * V$$

Datos:

δ = densidad del hierro (7874 kg/ m³)

V = Volumen

$$m = 7874 \text{ kg/ m}^3 * (2,0\text{m} * 1,0\text{m}) * 0,002$$

$$m = 31,5 \text{ kg peso de la plancha perforada}$$

Peso total para el cálculo del diámetro del eje

$$P_{total} = m_{plancha} + m_{cacao}$$

$$P_{total} = 31,5 \text{ kg} + 138 \text{ kg}$$

$$P_{total} = 169,5 \text{ kg}$$

4.8.2.- Cálculo del torque.

Se determina el torque total.

$$T_T = T_{eje} + T_{cilindro} + T_{prod} \quad \text{Ec. 4.17}$$

T_T = Momento de torque total

T_{eje} = Momento de torque del eje

$T_{cilindro}$ = Momento de torque cilindro

T_{prod} = Momento de torque producto

Se calcula el momento de torque del eje

Peso del eje: 24 kg

Para eje de 2" x 1.51m ver anexo 8

$$T_{eje} = I_{eje} * w^2$$

$$T_{eje} = (m r^2) * w^2$$

$$T_{eje} = 24 \text{ kg} (0,238)^2 * (1,25 \text{ rad/s})^2$$

$$T_{eje} = 2,12 \text{ Nm}$$

Se calcula el torque del cilindro usando el momento de inercia del anillo delgado

Peso del cilindro: 31,5 kg

$$T_{cilindro} = I_{eje} * w^2$$

$$T_{cilindro} = (m r^2) * w^2$$

$$T_{cilindro} = 31,5 \text{ kg} (0,238)^2 * (1,25 \text{ rad/s})^2$$

$$T_{cilindro} = 2,78 \text{ Nm}$$

Se calcula el torque del producto usando el momento de inercia de masa de sólidos homogéneos.

Peso del producto a secar = 105 kg

$$T_{cidro} = I_{eje} * \omega^2$$

$$T_{cidro} = (m r^2) * \omega^2$$

$$T_{cidro} = 105 \text{ kg} (0,238)^2 * (1,25 \text{ rad/s})^2$$

$$T_{cidro} = 9,29 \text{ Nm}$$

Remplazamos en la ecuación anterior de momento de inercia total.

$$T_T = T_{eje} + T_{cidro} + T_{prod}$$

$$T_T = 2,12 \text{ Nm} + 2,78 \text{ Nm} + 9,29 \text{ Nm}$$

$$T_T = 14,19 \text{ Nm}$$

4.8.3.- Calculo de la potencia del motor.

$$P = T * \omega$$

$$P = 14,19 \text{ Nm} * 1,25 \text{ rad/s}$$

$$P = 17,7 \text{ W}$$

Entonces:

$n = 3$ Por sobrecarga (*Asumo*)

$$P = 17,7 * 3$$

$$P = 53 \text{ W}$$

Este valor de 53 W es la potencia de diseño para vencer la inercia de rotación del cilindro a una velocidad de 12 rpm, en la construcción del presente proyecto se utilizara un motor de 1 HP.

4.8.3.1.- Momento torsor.

$$T = \frac{P}{\omega}$$
$$T = \frac{746 \text{ W}}{1.25 \text{ rad/s}}$$
$$T = 593,5 \text{ Nm}$$

4.8.4.- Diagramas de fuerzas

Donde:

Fuerza en A = 9.8 N

Fuerza en C = 830 N

Fuerza en D = 830 N

Calculo de las reacciones en RB y RE

$$\sum F_y = 0$$

$$9.8\text{N} - RE + 830\text{N} + 830\text{N} - RB$$

$$RE = 1669.8\text{N} - RB$$

$$\sum M_E = 0$$

$$830\text{N} \cdot 0,4\text{m} + 830\text{N} \cdot 1,0\text{m} - RB \cdot 1,4\text{m} + 9.8\text{N} \cdot 1.5\text{m} = 0$$

$$RB = \frac{1176.7 \text{ Nm}}{1.4}$$

$$RB = 840.5 \text{ N}$$

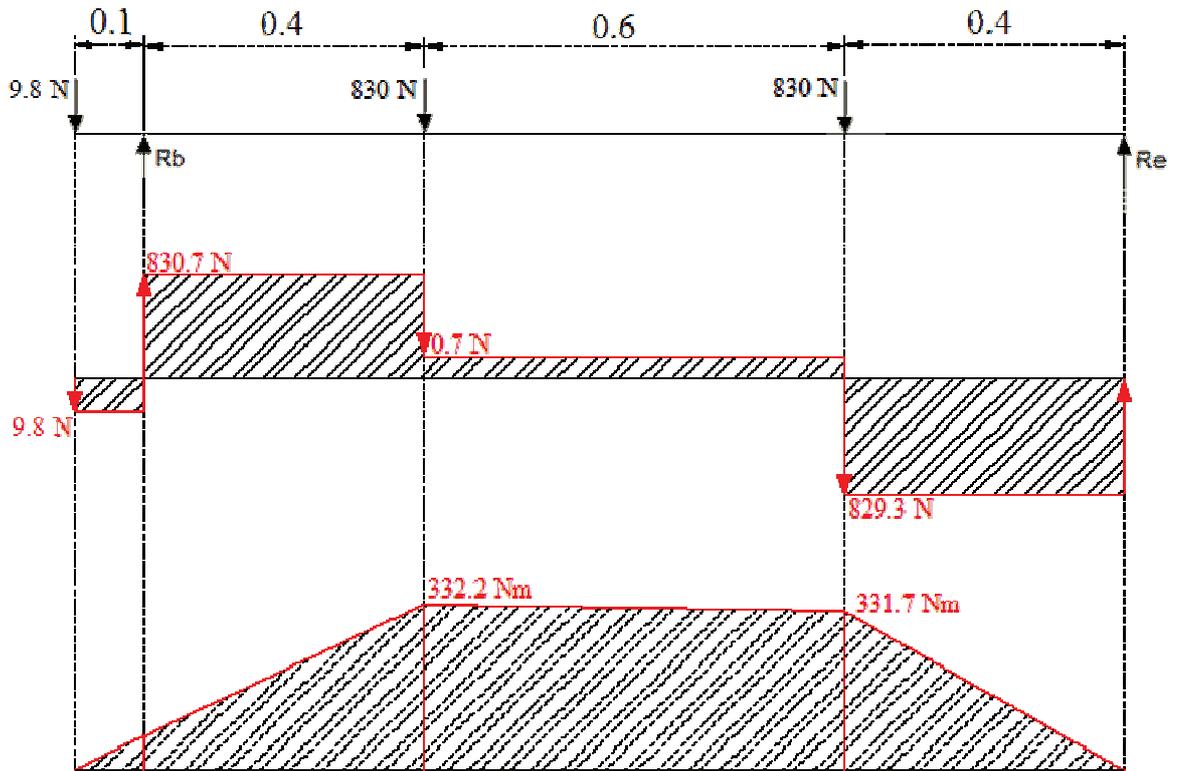
Reemplazando en la RE

$$RE = 1669.8 \text{ N} - 840,5\text{N}$$

$$RE = 829.3 \text{ N}$$

Diagrama de cuerpo libre del eje de transmisión:

Figura 4-2. Diagrama de cuerpo libre



Fuente: Vinicio Ramírez/2010.

Elaborado por: Vinicio Ramírez/2010.

4.8.6.- Diseño del eje a falla estática.

4.8.6.1.- Cálculo del esfuerzo de flexión y torsión

Datos:

$$M = 332,2 \text{ Nm}$$

$$T = 593.5 \text{ Nm}$$

$$\sigma_x = \frac{32 M}{\pi d^3} \quad \text{Ec. 4.17}$$

$$\sigma_x = \frac{3383,7}{d^3} \text{ N/m}^2$$

4.8.6.2.- Calculo del esfuerzo de torsión

$$\tau_{xy} = \frac{16 T}{\pi d^3} \quad Ec. 4.18$$

$$\tau_{xy} = \frac{16 * 593.5 Nm}{\pi d^3}$$

$$\tau_{xy} = \frac{3022,6}{d^3} N/m^2$$

4.8.6.3.- Determinación del coeficiente de seguridad.

$$\eta_s = \eta_{sx} * \eta_{sy} \quad Ec. 4.19$$

$$\eta_s = 2.55 * 1.6$$

$$\eta_s = 4.08$$

4.8.6.4.- Teoría del Esfuerzo cortante máximo.

$$\eta_s = \frac{S_y}{\sigma_{eq}} \quad Ec. 4.20$$

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_x^2 + 4 (\tau_{xy})^2}$$

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\left(\frac{3383,7}{d^3}\right)^2 + 4 \left(\frac{3022,6}{d^3}\right)^2}$$

$$\sigma_{eq} = \frac{6927.7 Nm}{d^3}$$

Reemplazo: Para encontrar el diámetro del eje a falla estática

$$\eta_s = \frac{S_y}{\sigma_{eq}} \quad Ec. 4.21$$

Datos:

σ^1 = esfuerzo (Von Mises)

S_y = Resistencia a la fluencia (ASIN 1040)

n_s = Factor de seguridad (4,08) criterio de diseño

Reemplazo en la Ec. 4.20

$$\eta^s = \frac{2900000000 \text{ N/m}^2}{\frac{6927.7 \text{ Nm}}{d^3}}$$

$$d^3 = \frac{4.08 * 6927.7 \text{ Nm}}{2900000000 \text{ Nm}^2}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{4.08 * 6927.7 \text{ Nm}}{2900000000 \text{ N/m}^2}}$$

$$d = 0,046 \text{ m}$$

$$d = 2 \text{ in Diámetro comercial}$$

4.8.7.- Diseño a fatiga

En cualquier eje rotatorio cargado por momentos estacionarios por flexión y torsión actuarán esfuerzos por flexión completamente invertida debido a la rotación del árbol, y en cuanto al esfuerzo torsional permanecerá estable.

$$\sigma_m = 0$$

$$\sigma_{xa} = \frac{32 M}{\pi d^3}$$

$$\sigma_{xa} = \frac{32 * 332,2}{\pi (0,046)^3}$$

$$\sigma_{xa} = 34763719,6 \text{ N/m}^2$$

$$\tau_{xya} = 0$$

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

$$\tau_{xym} = \frac{16 * 593.5 Nm}{\pi (0,046)^3}$$

$$\tau_{xym} = 31053984.9 N/m^2$$

4.8.8.- Criterio de Von Mises.

$$\sigma_{eqm} = \sqrt{\sigma_{xm}^2 + 3 (\tau_{xym})^2} \quad Ec. 4.21$$

$$\sigma_{eqm} = \sqrt{(0)^2 + 3 (31053984.9 N/m^2)^2}$$

$$\sigma_{eqm} = 53787079.6 N/m^2$$

4.8.9.- Limite de resistencia a la fatiga del eje del tambor.

$$S_e = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * S_e \quad Ec. 4.22$$

Donde:

$$S_e = 0.504 (s_{ut}) = 0.504 (520000000) = 262080000 N/m^2$$

k_a = Factor de superficie (maquinado)

k_b = Factor de tamaño

k_c = Factor de carga

k_d = Factor de temperatura

k_e = Factor de efectos diversos

- **Ka Factor de acabado de superficies**

El material a emplearse ANSI 1040 acero rolado en caliente

Datos del acero:

$S_y = 290$ MPa

$S_{ut} = 520$ MPa

$$ka = a Sut^b$$

Datos de la tabla 7.4: Anexo 3

$$a = 4.51 \text{ MPa}$$

$$b = -0.265$$

$$ka = 4.52 (520)^{-0.265}$$

$$ka = 0.86$$

- **Factor de tamaño kb**

Diámetro del eje 50.8mm Anexo 4

$$kb = \left(\frac{d}{7.62}\right)^{-0.1133}$$

$$kb = \left(\frac{50.8}{7.62}\right)^{-0.1133}$$

$$kb = 0.806$$

- **Factor de carga kc.**

El factor de carga actúa haciendo flexión sobre el eje por lo tanto el factor es el siguiente:

$$Kc = 1$$

- **Factor de temperatura kd.**

Es el efecto de la temperatura de operación sobre la resistencia a la tensión del acero.

Temperatura de trabajo es de 60°C observando en la tabla (ver Anexo 5) obtenemos

$$kd = \frac{S_T}{S_{RT}}$$

$$kd = 1.010$$

- **Factor de concentración de esfuerzos k_e .**

$$k_e = \frac{1}{k_f}$$

k_f = factor de reducción de la resistencia a la fatiga

$$k_f = 1 + q(kt - 1)$$

kt = Factor de concentración de esfuerzo

q = Sensibilidad a la ranura

$$\frac{D}{d} = \frac{50,8}{44,4} = 1,14$$

$$\frac{r}{d} = \frac{3}{44,4} = 0.06$$

Resultado de la tabla $kt = 1.9$ ver Anexo 6

Sensibilidad a la ranura

$q = 0.9$ ver Anexo 7

Reemplazo: $k_f = 1 + q(kt - 1)$

$$k_f = 1 + 1(1.9 - 1)$$

$$k_f = 1.9$$

Reemplazo: $k_e = \frac{1}{k_f}$

$$k_e = \frac{1}{1.9} = 0.5$$

Reemplazo en la ecuación 4.20 tenemos

$$S_e = 0.8 * 0.806 * 1 * 1.01 * 0.52 * 262080000 \text{ N/m}^2$$

$$S_e = 95409603.4 \text{ N/m}^2$$

4.8.10.- Factor de seguridad del eje a fatiga mecánica

En el caso usual de un eje sometido a flexión con inversiones y tensión constante, el esfuerzo crítico por flexión se localizará en el punto de localización de esfuerzo.

$$n = \frac{S_m}{\sigma_{eqm}} \quad \text{Ec. 4.23}$$

S_m = Resistencia media.

σ_{eqm} = Esfuerzo equivalente medio

4.8.11.- Diagrama de Soderberg.

$$S_m = \frac{S_e}{\frac{\sigma_{ax}}{\sigma_{eqm}} + \frac{S_e}{S_y}} \quad \text{Ec. 4.24}$$

Donde:

S_e = Limite de resistencia a la fatiga mecánica (95409603.4 N/m^2)

σ_{ax} = Esfuerzo de amplitud (34763719,6 N/m^2)

σ_{eqm} = Esfuerzo equivalente medio (53787079.6 N/m^2)

S_y = Resistencia máxima a la tensión

$$S_m = \frac{95409603.4 \frac{N}{m^2}}{\frac{34763719,6 \frac{N}{m^2}}{53787079.6 \frac{N}{m^2}} + \frac{95409603.4 \frac{N}{m^2}}{290000000 \frac{Nm}{m^2}}}$$

$$S_m = 97826040.38 \frac{N}{m^2}$$

Reemplazo en la Ec. 4.24

$$n = \frac{97826040.38 \frac{N}{m^2}}{53787079.6 \frac{N}{m^2}}$$

$$n = 1.8$$

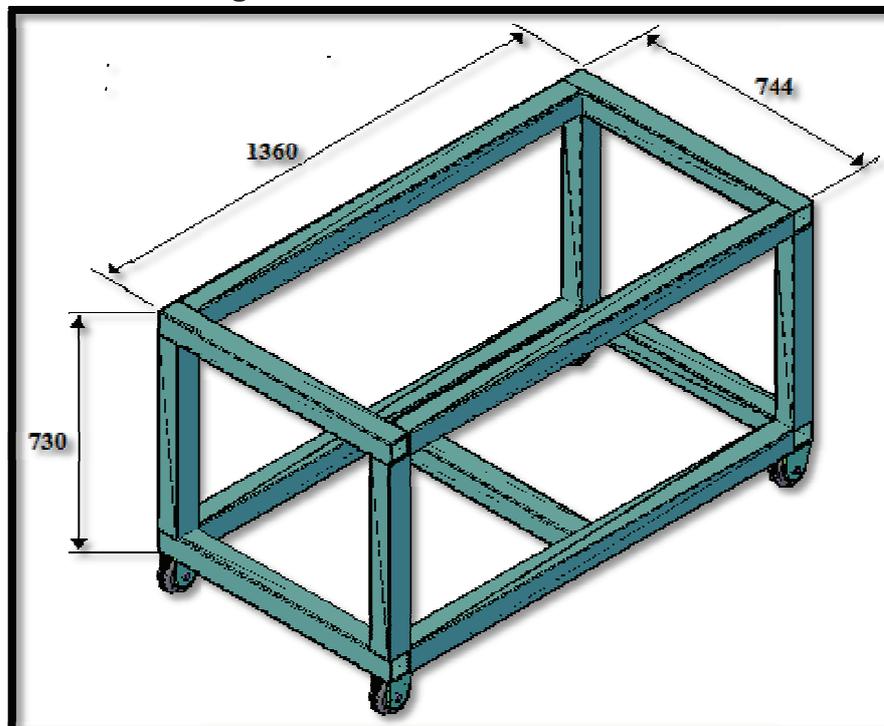
Realizando el análisis de fatiga mecánica da como resultado un factor de seguridad de 1.8 que es razonable para el uso del eje de 2 pulgadas en el tambor del prototipo secador de cacao de acuerdo al catálogo de aceros IVAN BOHMAN C.A se selecciona el eje de transmisión SAE – 1018 Acero de bajo contenido de carbono, (observar anexo 8)

4.9.- Cálculo estructural.-

Datos de inicio:

Peso del cacao máximo:	105.00 kg
Peso del eje:	23,80 kg
Peso de chumaceras:	0,92 kg
Peso de una persona:	<u>60,00 kg</u>
Masa total.	189,72 kg

Figura 4-3. Estructura del secador



Fuente: Vinicio Ramírez/2010.

Elaborado por: Vinicio Ramírez/2010.

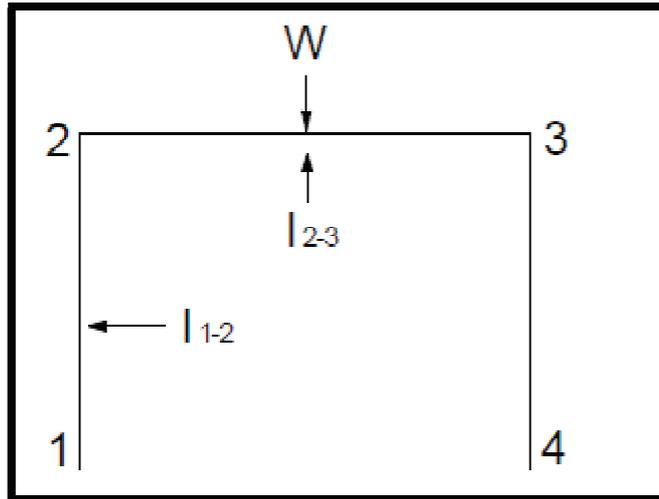
Se calcula la carga puntual

Peso:

$$W = 189,72 \text{ kg} * 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$W = 1859 \text{ N}$$

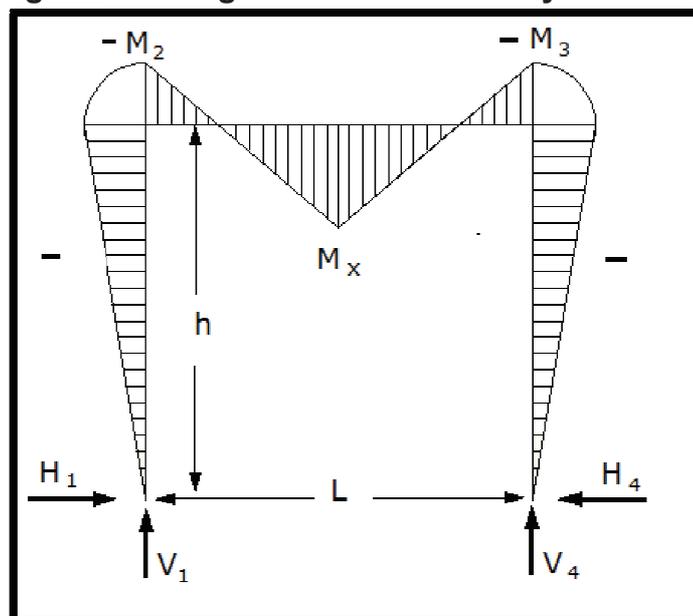
Figura 4-4. Diagrama del pórtico



Fuente: Pórticos y Arcos; Valerian Leoncotovich.

Elaborado por: Vinicio Ramírez/2010.

Figura 4-5. Diagrama de momentos y reacciones



Fuente: Vinicio Ramírez/2010.

Elaborado por: Vinicio Ramírez/2010.

Tenemos las siguientes ecuaciones.

$$M_2 = M_3 = -\frac{3 * W * L}{2 * A}$$

$$H_1 = H_4 = \frac{3 * W * L}{2 * A * h}$$

$$V_1 = V_4 = \frac{W}{2}$$

$$M_x = \frac{W_x}{2} + M_2$$

Constantes de la estructura

$$\phi = \frac{I_{1-2}}{I_{2-3}} * \frac{L}{h}$$

Como $I_{1-2} = I_{2-3}$

$$\phi = \frac{L}{h} = \frac{744 \text{ mm}}{730 \text{ mm}} = 1,09$$

$$A = 4 \left(3 + \frac{2}{\phi} \right)$$

$$A = 4 \left(3 + \frac{2}{1,09} \right)$$

$$A = 19,34$$

Reemplazando en las ecuaciones anteriores.

$$M_2 = M_3 = -\frac{3 * W * L}{2 * A} = \frac{3 * 1859 \text{ N} * 0,74 \text{ m}}{2 * 19,34} = -106,7 \text{ Nm}$$

$$H_1 = H_4 = \frac{3 * W * L}{2 * A * h} = \frac{3 * 1859 \text{ N} * 0,74 \text{ m}}{2 * 19,34 * 0,73 \text{ m}} = 146,19 \text{ N}$$

$$V_1 = V_4 = \frac{W}{2} = \frac{1859 \text{ N}}{2} = 929,5 \text{ N}$$

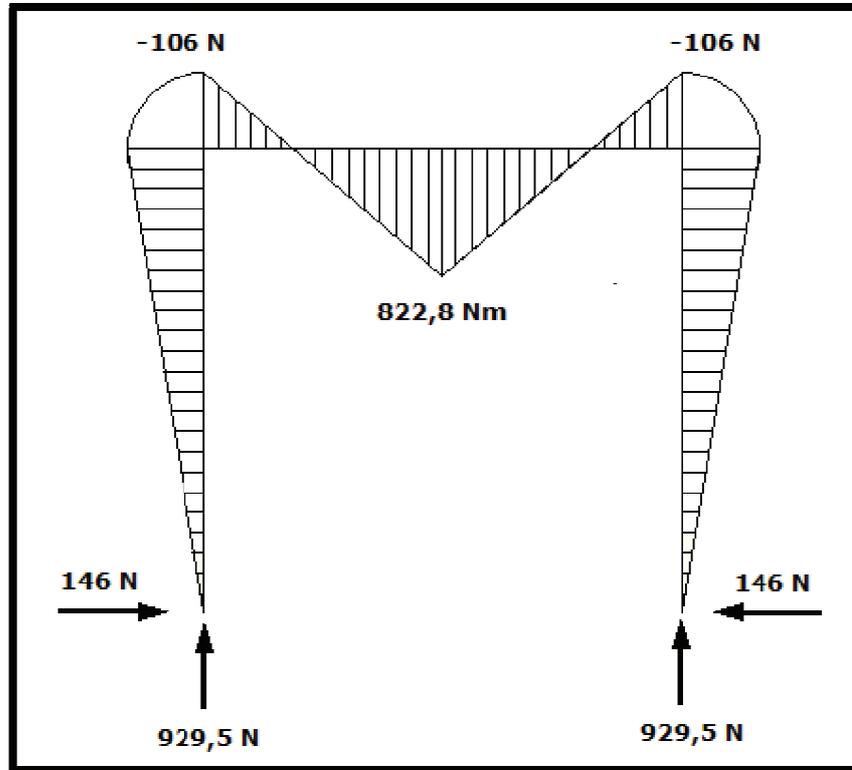
$$M_{max} = \frac{W_x}{2} + M_2$$

$$M_{max} = \frac{1859 \text{ N}}{2} - 106,7 \text{ Nm}$$

$$M_{max} = 822,8 \text{ Nm}$$

Se reemplaza los valores en el diagrama de momentos.

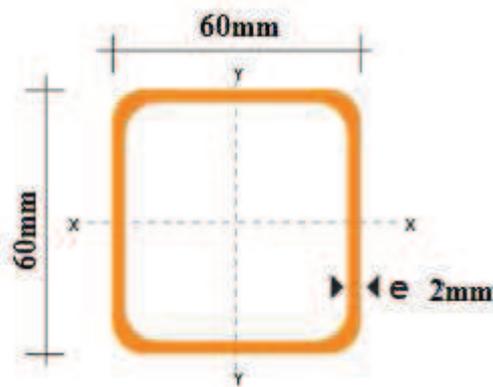
Figura: 4-6. Diagrama de momentos



Fuente: Vinicio Ramírez/2010.

Elaborado por: Vinicio Ramírez/2010.

4.9.1.- Diseño de columna.



Del catalogo DIPAC las especificaciones del tubo estructural cuadrado se encuentra en el anexo 9 tenemos los siguientes datos.

$$\text{Peso} = 3,66 \text{ kg/m}$$

$$\text{Área} = 3,74 \text{ cm}^2 = 3,74 * 10^{-4}$$

$$I = 21,26 \text{ cm}^4 = 2,126 * 10^{-7}$$

$$\dot{x} = 2,39 \text{ cm}$$

Se aplica el teorema de Steiner para calcular el momento de inercia.

$$I_z = \left[I_y + A \left(\frac{L}{2} - \dot{x} \right)^2 \right] * 2$$

$$I_z = 2,126 * 10^{-7} \text{ m}^4 + 3,74 * 10^{-4} \text{ m}^2 (0,03 - 0,0139)^2$$

$$I_z = 3,095 * 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$r = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{3,095 * 10^{-7}}{3,74 * 10^{-4}}}$$

$$r = 2,87 * 10^{-2}$$

Para verificar si el perfil escogido es el adecuado debe cumplir la siguiente ecuación.

$$\frac{\sigma_{comp}}{\sigma_{adm \ comp}} + \frac{\sigma_{flex}}{\sigma_{adm \ flex}} \leq 1$$

$$\sigma_{comp} = \frac{V}{A} = \frac{929,5 \text{ N}}{3,74 * 10^{-4}} = 2,5 * 10^6 \text{ N/m}$$

$$\sigma_{adm \ flex} = \frac{s_y}{n} ;$$

$$\text{Tenemos: } s_y = 220 * 10^8 \text{ N/m}^2$$

$$n = 2 \text{ asumido}$$

$$\sigma_{adm \ flex} = \frac{220 * 10^8 \text{ N/m}^2}{2} = 1,1 * 10^8 \text{ N/m}^2$$

$$\sigma_{adm \ comp} = \sigma_{adm \ flex} - 0,57 \left(\frac{L}{r}\right)^2$$

$$\sigma_{adm \ comp} = 1,1 * 10^8 \text{ N/m}^2 - 0,57 \left(\frac{0,74}{0,0287}\right)^2$$

$$\sigma_{adm \ comp} = \mathbf{1.09 * 10^8 \text{ N/m}^2}$$

$$\sigma_{flex} = \frac{M * C}{I_z}$$

$$\sigma_{flex} = \frac{822,8 \text{ Nm} * 0,0239 \text{ m}}{3,095 * 10^{-7}}$$

$$\sigma_{flex} = 63537705,98 \text{ N/m}^2$$

Reemplazando en la ecuación anterior tenemos.

$$\frac{\sigma_{comp}}{\sigma_{adm \ comp}} + \frac{\sigma_{flex}}{\sigma_{adm \ flex}} \leq 1$$

$$\frac{2,5 * 10^6 \text{ N/m}}{1,09 * 10^8 \text{ N/m}^2} + \frac{63537706,98 \text{ N/m}^2}{1,1 * 10^8 \text{ N/m}^2} \leq 1$$

$$\mathbf{0,6 \leq 1}$$

La columna soporta el peso del producto más una persona.

CAPÍTULO V

SELECCIÓN DE ELEMENTOS

5.1.- Determinación de velocidad de giro del tambor.

Considerando conservar la calidad del estado físico de las almendras de cacao en el proceso de secado, es recomendable que la velocidad de giro del tambor sea de muy bajo la velocidad de giro del tambor está comprendida entre 3 y 8 RPM.²⁸

Para este proyecto se utilizara 4 rpm y se puede utilizar un dispositivo variador de frecuencia para llegar a dicha velocidad o la alternativa de bajar la velocidad con piñones.

5.2.- Comprobación del espesor del tambor.

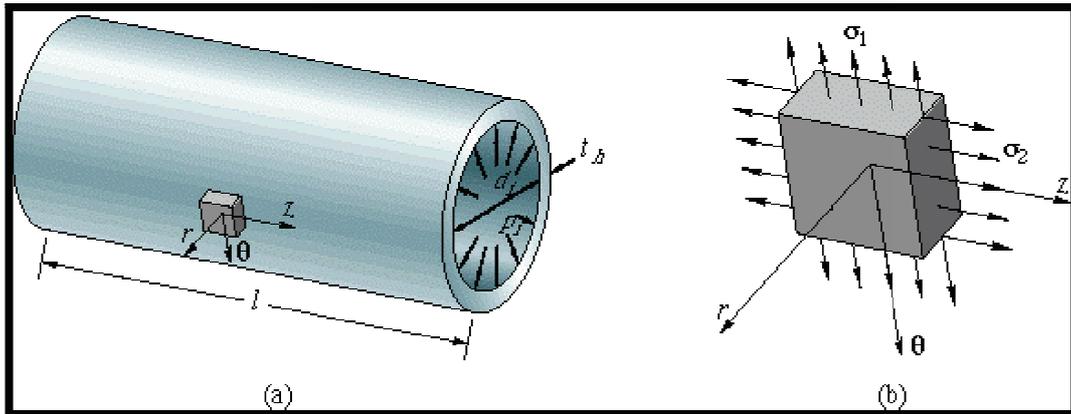
Cuando el diámetro interior de un cilindro es 40 veces más grande que su espesor se puede usar con seguridad el análisis de pared delgada.

$$\frac{d_i}{t_h} > 40$$
$$\frac{0,476m}{0,002m} > 40$$
$$238 > 40$$

Se puede usar cilindro de pared delgada.

²⁸ MUJUMDAR ARUN, S. Handbook of Industrial Drying; Marcel Dekker Inc; New York, 1995.
Pag 171 - 175

Figura: 5-1 Cilindros de pared delgada



Fuente: <http://es.scribd.com/doc/59405608/Cilindros>
 Elaborado por: Vinicio Ramírez/2010.

Se utiliza el peso del cacao para comprobación de la deformación del cilindro calculamos el esfuerzo equivalente (σ_1)

Área de la carga puntual del cilindro es:

$$A = 2 * \pi * r * h$$

$$A = 2 * \pi * 0,238 * 0,019$$

$$A = 0,028 \text{ m}^2$$

$$\sigma_1 = \frac{P}{A}$$

$$\sigma_1 = \frac{830 \text{ N}}{0,028 \text{ m}^2}$$

$$\sigma_1 = 29212,4 \text{ N/m}^2$$

La falla no ocurrirá si:

$$t_h > \frac{p_i r n_s}{S_y}$$

$$t_h > \frac{29212,4 * 0,238 \text{ m} * 3}{276000000}$$

$$t_h > 0,075 \text{ mm}$$

El espesor de la lámina es de 2mm la falla no ocurrirá porque $2\text{mm} > 0,075\text{mm}$

5.3.- Selección de ruedas dentadas.

Con el objetivo de establecer los 4 rpm, y transmitir la potencia necesaria para la operación del secador de cacao, se dispone de piñones para cadena de rodillos. Para llegar a la velocidad de 4 RPM seleccionamos el piñón de menor número de dientes.

DATOS:

$$P = 60 \text{ (3/4)}$$

$$Z_a = 11 \text{ Dientes}$$

$$N_a = 25 \text{ RPM}$$

Relación de transmisión²⁹.-

$$I = \frac{N_b}{N_a} \quad \text{Ec. 5.1}$$

$$I = \frac{25}{4} = 6.25$$

La relación es de 6 a 1 (6:1) ya que por cada vuelta que da el conducido, el conductor debe dar 6.

Modulo.-

$$m = \frac{P}{\pi}$$

$$m = \frac{19,05}{\pi} = 6$$

$$m = 6 \text{ Serie Modulos DIN 780}$$

Circunferencia primitiva de la rueda motriz.

$$\delta_a = Z_a m$$

$$\delta_a = 66 \text{ mm}$$

²⁹ HERMANN JUTZ ; Tablas Para La Industria Metalúrgica; Pág. 82

Numero de dientes del piñón conducido

$$Z_b = \frac{Z_a * N_a}{N_b}$$

$$Z_b = 68 \text{ Dientes}$$

Circunferencia primitiva

$$\delta_b = Z_b m$$

$$\delta_b = 412 \text{ mm}$$

5.4.- Selección de cadena.

El accionamiento por medio de cadena de rodillos y engranes, constituye un sólido y seguro sistema de transmisión de energía mecánica. Para obtener un resultado óptimo de transmisión de este tipo es fundamental seleccionar correctamente la cadena y engranes respectivos, como así también el montaje y lubricación adecuados

Potencia corregida:

$$P_C = 0,07 \text{ HP} * F_c \quad \text{Ec. 5.2}$$

Donde:

F_c = Factor de carga 1,3 (ver anexo 10)

Se usa un motor eléctrico con el tipo de carga fluctuante el factor de carga es 1,3

$$P_C = 0,07 \text{ HP} * 1.3$$

$$P_C = 0,09$$

Se ingresa a la tabla de potencias de cadena de una hilera (anexo 11) con 25 rpm y 11 dientes del piñón conductor. La selección de cadena es de paso 1/2"

5.4.1.- Longitud de la cadena

Para una cadena de simple hilera paso 1/2" (12,7mm) calculamos la longitud.

$$L = 2C + \frac{N + n}{2} + \frac{\left(\frac{N - n}{2 * 3.14}\right)^2}{C} \quad Ec. 5.3$$

Donde:

L = Longitud de la cadena expresada en pasos

C = Distancia entre centros expresada en pasos

N = Número de dientes de la rueda

n = Número de dientes del piñón

Datos:

C = 530 mm = (41,73 pasos)

N = 11

n = 68

Reemplazo en la ecuación 5.3

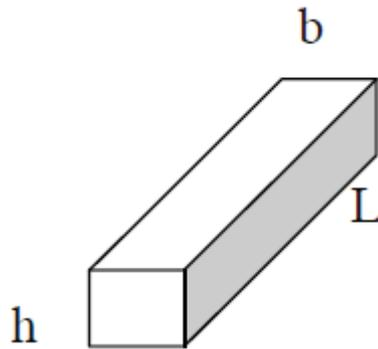
$$L = 2(41,73) + \frac{11 + 68}{2} + \frac{\left(\frac{11 - 68}{2 * 3.14}\right)^2}{41,73}$$
$$L = 130,04 \text{ pasos} * 12,7\text{mm} = 1651 \text{ mm}$$

La longitud de la cadena es 1651 mm

5.5.- Selección de chaveta.

Las chavetas se encuentran en tamaño estándar, la longitud de la chaveta va de acuerdo a la longitud disponible y a la carga torsional máxima.

De acuerdo al anexo 13 para un diámetro de eje de 2 pulgadas. Las dimensiones de la chaveta son:



Datos:

$$b = 14mm$$

$$h = 9mm$$

5.5.1.- Comprobación a cortadura.

Datos:

d = Diámetro del eje (5.08mm)

$\sigma_y = 390 N/mm^2$ (Ver anexo 14 Propiedades del material de chaveta)

M_t = Momento torsión (1193,27 Nm)

n = Factor de seguridad (3)

$$L_{mim\ CORTADURA} = \frac{M_t * 2 * n}{0.5 * \sigma_y * b * d}$$

$$L_{mim\ CORTADURA} = 32.3mm$$

5.5.2.- Comprobación al aplastamiento.

$$L_{mim\ APLASTAMIENTO} = \frac{M_t * 4 * n}{\sigma_y * h * d}$$

$$L_{mim\ APLASTAMIENTO} = 52.9\ mm$$

Finalmente podemos adoptar una medida de $L = 60\text{mm}$ para la chaveta con extremos redondeados con y dimensiones según la norma.

5.6.- Selección de rodamiento.

Muchas veces el diámetro del agujero de los rodamientos viene especificado por el diseño general de la máquina o dispositivo. Sin embargo, para determinar finalmente las demás medidas principales y el tipo de rodamiento, conviene averiguar mediante un cálculo de dimensionado, si las exigencias de vida, seguridad estática y rentabilidad quedan satisfechas. En este cálculo se hace una comparación entre la sollicitación del rodamiento y su capacidad de carga.

5.6.1.- Carga dinámica equivalente.

La carga dinámica equivalente P [kN] es un valor teórico. Es una carga radial en rodamientos radiales y una carga axial en rodamientos axiales, que es constante en magnitud y sentido.

$$P = X * Fr + Y * Fa \quad \text{Ec. 5.4}$$

Donde:

P = Carga dinámica (KN)

Fr = Carga radial

Fa = Carga axial

X = Factor radial

Y = Factor axial

Datos:

RPM = 4 rpm

Diámetro eje = 2 pulgadas

Carga = 830 N

Solución

1. Encontrar la capacidad dinámica requerida

$$C = \frac{f_L}{f_n} * P \quad \text{Ec. 5.5}$$

Donde:

C = capacidad de carga dinámica

f_L = Factor de esfuerzos dinámicos

f_n = Factor de velocidad

2. Se encuentra el factor de velocidad para un rodamiento rígido de bolas de en el anexo 15

$$\text{De 4 rpm} = f_n = 1.49$$

3. Siguiendo se encuentra el factor de esfuerzos dinámicos del anexo 16 valores de orientación para f_L

$$f_L = 2,5 \text{ para motores de tracción}$$

4. Factores radiales y axiales para el rodamiento rígido de bolas anexo 17

$$\frac{F_a}{C_o} = 0 ; e = 0,22$$

$$\frac{F_a}{F_r} = 0 < e \quad x = 1; y = 0$$

5. Reemplazando los valores en la ecuación 5.4 Carga dinámica

$$P = 1 * 830N + 0 * 0$$

$$P = 830 N$$

6. La capacidad dinámica equivalente es:

$$C = \frac{2,5}{1.49} * 830N$$

$$C = 1392.6 N$$

7. Selección del soporte y rodamiento del catalogo FAG anexo 18

Soporte = P 211

Rodamiento = P16211200

Capacidad de carga estática = 29 KN

Capacidad de carga Dinámica = 43 KN

29KN >> 1,3 KN

8. Vida del rodamiento rígido de bolas

Anexo 19,

$f_L = 8000$ horas

5.7.- Cálculos del sistema eléctrico

5.7.1.- Cálculo de la potencia del motor eléctrico

$$P = T * w$$

$$P = 14,19 \text{ Nm} * 1,25 \text{ rad/s}$$

$$P = 17,7 \text{ W}$$

Entonces:

$n = 3$ Por sobrecarga (*Asumo*)

$$P = 17,7 * 3$$

$$P = 53 \text{ W}$$

Este valor de 53 W es la potencia de diseño para vencer la inercia de rotación del cilindro a una velocidad de 12 rpm, en la construcción del presente proyecto se utilizara un motor de 1 HP.

5.8.- Selección del motor para el secador

Marca: US Motors

Potencia: 1HP

RPM: 25

Voltaje: 220

5.9.- Selección fuente de calor.

Como alternativas de calentamiento de aire se puede tener diferentes medios para la generación de calor suficiente para secar el cacao entre la más relevante y accesible para este proyecto es resistencias eléctricas, de acuerdo a la sección 4.6 Cantidad de calor requerido por la maquina secadora de cacao para bajar el porcentaje de humedad al 7% es de 9750.3 W.

Utilizaremos resistencias eléctricas para calentar el aire generado por el ventilador, se realiza el pedido de las resistencias a la empresa constructora "Resistencias KGV" la cantidad de tres resistencias tubulares de 3000W a un voltaje de 220V, el diámetro de las resistencias será de 140mm

5.10.- Cálculo de las protecciones.

Motor de 1 HP:

$$In = \frac{P}{V * \sqrt{3}}$$

$$In = \frac{1 \text{ HP} * 746}{220 * \sqrt{3}}$$

$$In = 1.9 \text{ Amp}$$

Se multiplica por 1.25 por el efecto del arranque

$$Ir = 1.9 * 1.25$$

$$Ir = 2.4 \text{ Amp}$$

Resistencias eléctricas:

$$In = \frac{P}{V \cdot \sqrt{3}}$$

$$In = \frac{9000 \text{ w}}{220 \cdot \sqrt{3}}$$

$$In = 23 \text{ Amp}$$

Multiplico por 1.25 por el dimensionamiento de la protección

$$Ir = 26 \cdot 1.25$$

$$Ir = 30 \text{ Amp}$$

Blower:

$$In = \frac{P}{V \cdot \sqrt{3}}$$

$$In = \frac{220 \text{ w}}{110}$$

$$In = 2 \text{ Amp}$$

Multiplico por 1.25 por el dimensionamiento de la protección

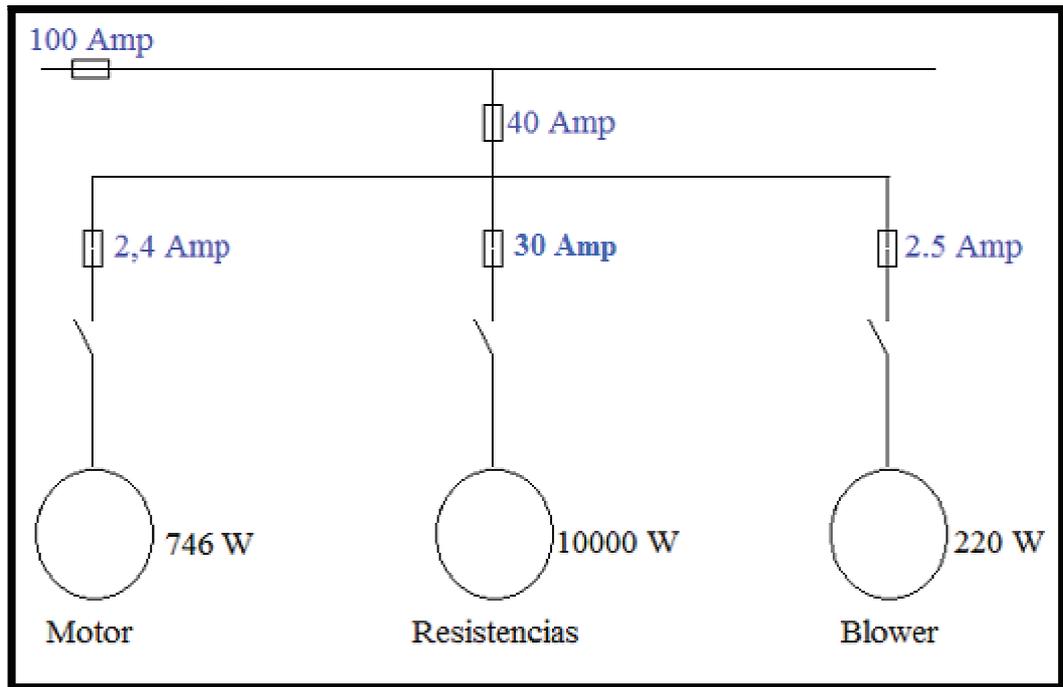
$$Ir = 2 \cdot 1.25$$

$$Ir = 2.5 \text{ Amp}$$

5.11.- Diagrama unifilar de los equipos eléctricos.

Se realiza el diagrama unifilar para determinar el amperaje de las protecciones de cada equipo y la general.

Figura: 5-2 Diagrama unifilar



Fuente: Vinicio Ramírez/2010.

Elaborado por: Vinicio Ramírez/2010.

5.12.- Selección del calibre del conductor de alimentación

El cable de alimentación es la suma de las intensidades de los equipos que da un valor de 40 amperios, se selecciona el calibre del conductor de acuerdo al amperaje y al tipo de conductor en nuestro caso utilizaremos el conductor número 8 AWG tripolar.

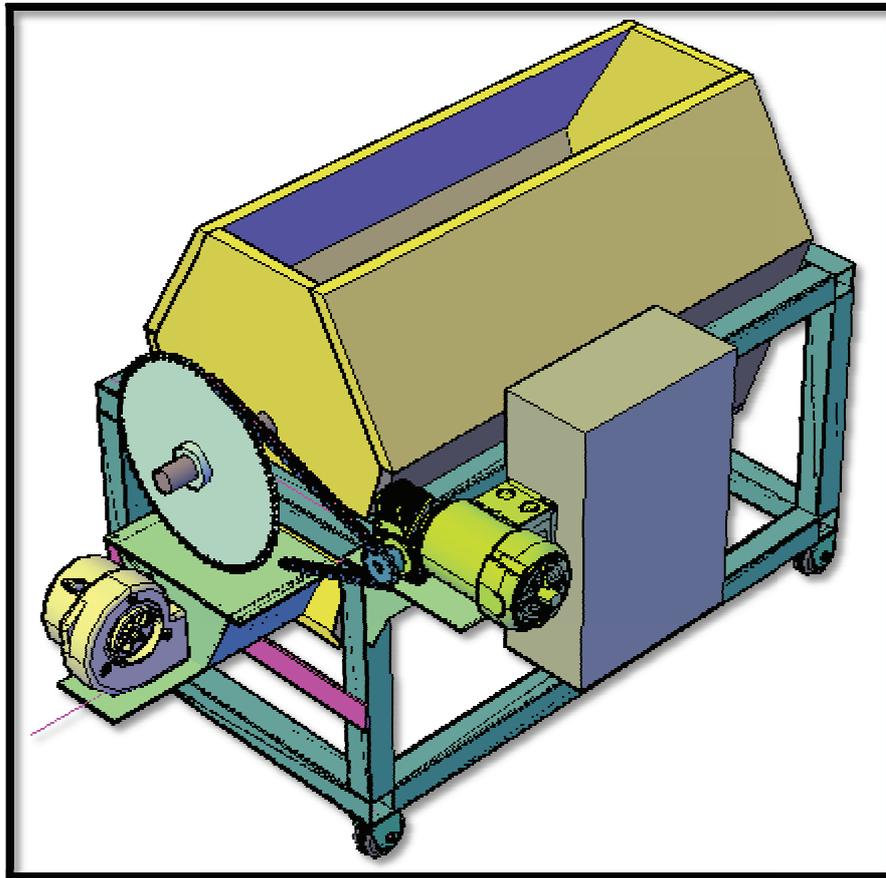
CAPÍTULO VI

CONSTRUCCIÓN DE LA MAQUINA ROTATIVA SECADORA DE CACAO

6.1.- Esquema en 3D.

Se realiza un esquema tentativo para la construcción del secador rotativo de cacao realizando el esquema en mano alzada y luego en una representación gráfica con la ayuda de programas.

Figura: 6-1. Esquema en 3D del secador



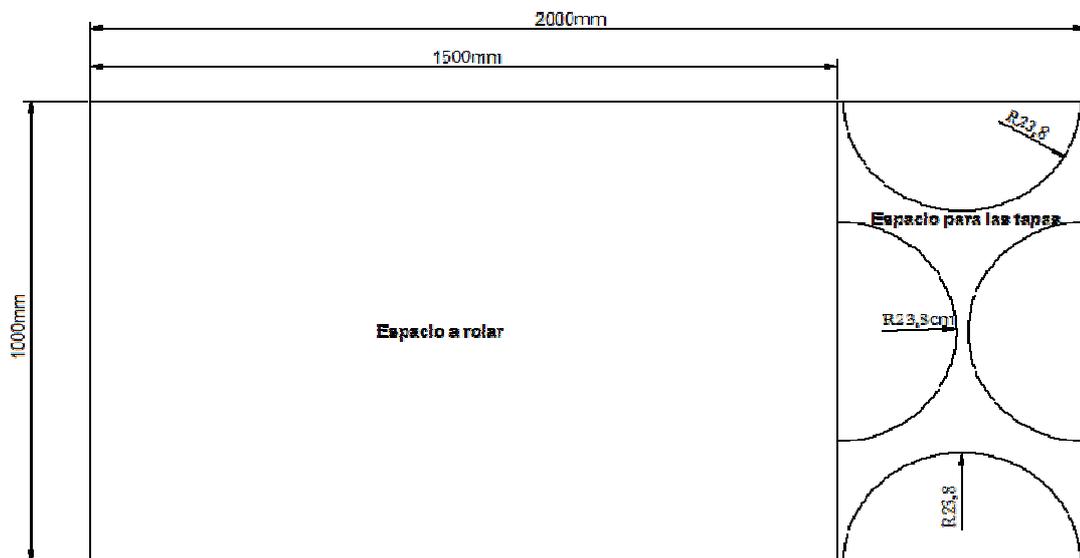
Fuente: Autocad 2010
Elaborado por: Vinicio Ramírez/ 2010

6.2.- Construcción del cilindro.

1. Se utiliza una lámina perforada de 8 de diámetro por 2 mm de espesor, la lámina tiene las siguientes medidas, 1000mm x 2000mm.

Se realiza una distribución de áreas calculando el espacio para realizar las tapas del tambor de la misma lámina de acuerdo a la siguiente gráfica.

Figura: 6-2. Cortes de la lámina perforada



Fuente: Autocad 2010
Elaborado por: Vinicio Ramírez/ 2010

Se realiza los siguientes cortes expresados en la gráfica, y se procede a rolar el espacio del tambor y los cortes de las respectivas tapas.

2. Una vez rolada la lámina perforada, se procede cortar los tubos que servirá como sujetadores del tambor al eje de transmisión.

Figura: 6-3 Rolado lamina perforada de 2mm



Fuente: Taller técnico industrial Basurto
Elaborado por: Vinicio Ramírez/2011.

3. En el tambor perforado se realiza el corte para la respectiva tapa de carga por seguridad es reforzado a los extremos para evitar el pandeo, y evitar severos cortes al operador al momento del llenado.

Figura: 6-4 Compuerta de carga



Fuente: Taller técnico industrial Basurto
Elaborado por: Vinicio Ramírez/2011.

4. Se realiza la tapa de descarga del producto, la tapa está diseñada para ser desmontada al momento de la descarga y volver a colocar para la próxima parada.

Figura: 6-5 Compuerta de descarga



Fuente: Taller técnico industrial Basurto
Elaborado por: Vinicio Ramírez/2011.

6.3.- Construcción de la estructura

Se construye una base para el soporte del tambor se utiliza tubo cuadrado de 60x60x2mm y electrodo E60-11 AGA

Figura: 6-6 Construcción de la estructura



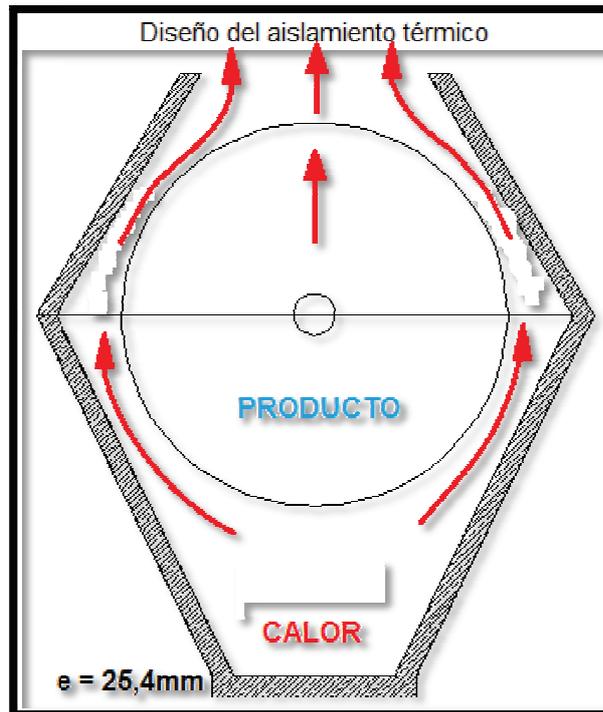
Fuente: Taller técnico industrial Basurto
Elaborado por: Vinicio Ramírez/2011.

6.3.- Construcción del aislamiento térmico.

1. **Diseño del aislamiento térmico.-** El aislamiento térmico está diseñado de tal forma para optimizar el consumo de energía calorífica, reduciendo en gran cantidad las pérdidas por convección al medio ambiente.

El diseño permite que el aire húmedo generado en el proceso de secado, salga de manera continua hacia la superficie.

Figura: 6-7 Aislamiento térmico



Fuente: Autocad 2010
Elaborado por: Vinicio Ramírez/ 2011.

2. **Construcción de la estructura del aislamiento.-** De acuerdo con los cálculos realizados el espesor del aislamiento es de 25.4 mm, por consiguiente elegimos tubo cuadrado de 25x25x2mm. Se construye de tal forma para que sea desmontable.

Figura: 6-8 Construcción de armazón



Fuente: Taller técnico industrial Basurto
Elaborado por: Vinicio Ramírez/ 2011.

3. **Forado de lana de vidrio.-** En el proceso de forrado elegimos tol galvanizado de 0.5mm sujetadas por remaches al interior de la estructura, posterior se procede al revestimiento de lana de vidrio.

Figura: 6-9 Construcción del aislamiento térmico



Fuente: Taller técnico industrial Basurto
Elaborado por: Vinicio Ramírez/ 2011.

6.4.- Construcción del sistema eléctrico.

a) Cilindro.

Se utiliza los pulsantes de paro o marcha para el comando del cilindro. El sistema esta memorizado y enclavado con el pulsante de paro general para evitar el accionamiento de terceros, y cuenta con un indicador de luz piloto color verde.

b) Controlador de temperatura.

El controlador de temperatura es, básicamente, un medidor al que se le agrega la posibilidad de fijar un "set" (temperatura deseada) y un circuito

que compara la diferencia entre la temperatura real y la deseada, actuando en consecuencia para habilitar o no la calefacción o refrigeración que llevará la temperatura hasta niveles iguales al deseado de tal forma que, al hacerse cero la diferencia entre ambas temperaturas, la calefacción cese.

Figura: 6-10 Controlador de temperatura



Fuente: SASSIN

Elaborado por: Vinicio Ramírez/ 2011.

c) Resistencias.

Se adquiere un sector de dos posiciones para la activación o desactivación del equipo.

1.- Controlador de temperatura.- permite controlar la temperatura a los rangos deseados ejemplo de 45 °C a 55 °C, el controlador dispone de salidas vía relé electrónico, en la cual se utiliza para el mando de las resistencias eléctricas.

2.- Resistencias eléctricas.- son accionadas automáticamente de acuerdo a los rangos establecidos por el controlador de temperatura.

Las resistencias activan en menor a 45 °C y desactivan mayor o igual a 55 °C, y cuenta con un indicador de luz piloto color verde.

d) Blower.

Este equipo cuenta con la activación de un selector de dos posiciones, y es comandado automáticamente con el controlador de temperatura e igual que las resistencias eléctricas, es decir, activan y desactiva al mismo tiempo que las resistencias.

e) Horometro.

En el tablero de control se instaló un horometro para contabilizar las horas del proceso de secado.

Figura: 6-11 Tablero de control eléctrico



Fuente: Word 2007

Elaborado por: Vinicio Ramírez/ 2011.

CAPÍTULO VII

MANUAL DE FUNCIONAMIENTO

7.1.- Especificaciones técnicas de la maquina secadora de cacao

7.1.1.- Sistema eléctrico.

- **Motor**

Potencia = 1 HP

Voltaje = 220 V

Frecuencia = 60 hz

Fuente = Trifásica

- **Blower**

Voltaje = 110 V

RPM = 3600 RPM

Diámetro de la salida = $2\frac{1}{2}$ pulg.

Velocidad de salida = $12 \frac{m}{s^2}$

- **Resistencias.**

Potencia = 3000 W

Voltaje = 220

Tipo = tubulares

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

Diámetro = 14 cm

7.1.2.- Maquina Secadora de Cacao

Tipo = Rotativa

Capacidad máxima de carga = 130 kg

Capacidad normal de carga = 105 kg

Velocidad de secado = 1 % de humedad / h

Peso de la maquina = 241 kg

Año de fabricación = 2011

Voltaje = 220 V

Frecuencia = 60 hz

Fuente = Trifásica

7.2.- Operación del secador

Inicio

1. Realiza una inspección general de la máquina secadora de cacao, revisión del tambor no debe existir objetos ni residuos de cacao en el interior
2. Verificar del estado de la compuerta de llenado y descarga que estén cerradas.
3. Presionar el botón de paro general ya que es el bloqueo de todo el sistema eléctrico para el respectivo llenado.
4. Proceder abrir la compuerta superior del tambor y proceder a llenar de producto.
5. Llenar de cacao a la capacidad de diseño de la maquina 105 kg
6. Coger la muestra del producto a secar de aproximado 30 gramos. Para luego realizar el análisis de humedad.
7. Cerrar la compuerta y desactivar el pulsador de paro general.
8. Proceder a activar la máquina, el tambor, el banco de resistencias eléctricas y del soplador blower, para el respectivo proceso de secado.
9. Observar la variable de temperatura, el rango máximo y mínimo del controlador de temperatura en condiciones normales se sugiere que el rango de temperatura sea de 45 – 55°C.

Proceso de secado

1. No requiere de supervisión en todo el tiempo de secado la maquina es automática gracias al controlador de temperatura

Fin

1. Luego de haber transcurrido el tiempo de secado proceder a apagar el tambor y sacar las tapas de descarga lado derecho del secador
2. Proceder a poner un recipiente en el suelo lado derecho del secador para la respectiva descarga,
3. La descarga es de forma automática encendido el motor del tambor
4. Limpieza general del equipo
5. Dejar cerradas las tapas para la siguiente parada

7.3.- Precaución

- No exceder en la capacidad de llenado para garantizar el óptimo funcionamiento de secado
- Presionar el botón de paro general antes de proceder a llenar el tambor de producto ya que puede haber el accionamiento del motor por terceras personas, ocasionando daños humanos y materiales.
- No introducir las manos en el cilindro cuando este en proceso de secado
- No introducir las manos en el banco de resistencias eléctricas en el proceso de secado ya que puede sufrir quemaduras de primer grado
- No introducir las manos en las conexiones de las resistencias eléctricas estando en funcionamiento.

7.4.- Mantenimiento de limpieza

Después del proceso de secado en cada parada el operador está en la obligación de realizar una limpieza general del secador que se detalla a continuación.

1. Para la respectiva limpieza debe estar accionado el paro general
2. Proceder a limpiar el interior del cilindro con la ayuda de una espátula, raspando las impurezas pegadas en las paredes del cilindro,
3. Con la ayuda de un cepillo de acero proceder a cepillar la paredes interior y exterior del cilindro, y verificar el estado de las malla
4. Mediante la espátula proceder a limpiar el ducto de calor,

7.5.- Protocolo de pruebas de secado.

En esta sección se detalla los resultados de la maquina secadora de cacao se realiza las pruebas de secado en el acopio GARUTH km 21 vía Quinindé. El acopio se caracteriza por comprar el cacao en baba.

7.5.1.- Primer ensayo de secado.- Se experimenta el secado de cacao introduciendo a la secadora “caco escurrido” es decir con tres días después de la cosecha almacenada en sacos, ingresa al proceso de secado con la siguiente información.

a) **Inicio de proceso**

Estado del cacao = Escurrido

Peso del cacao a secar = 127.7 kg

Humedad = 60 % húmedo

Velocidad del aire = 1,2 m/s

Rango de temperatura= 45°C – 55°C

Lugar = Acopio Garyth

b) **Inconvenientes encontrados.-** En el transcurso se detectaron los siguientes percances.

- Los 9 rpm del tambor no son adecuados ya que no produce el volteo correcto

- Se llenó a la capacidad máxima no permitido en el procedimiento de llenado, debido a que no hay espacio para el respectivo volteo de las almendras de cacao dentro de la secadora.
- La distribución de flujo de aire caliente no es uniforme en todo el cilindro
- De acuerdo a los inconvenientes encontrados se procede a realizar las modificaciones a la maquina secadora de cacao

7.5.2.- Segundo ensayo de secado.- Una vez realizado los siguientes cambios

Tabla: 7-1 Cambios realizados en el secador

CAMBIOS EN EL SECADOR	ANTES	DESPUES
VELOCIDAD DE GIRO	9 RPM	4 RPM
DISTRIBUCIÓN DE FLUJO DE CALOR UNIFORME	NO CONTROLADO	CONTROLADO POR DEFLECTORES
CAPACIDAD DE LLENADO	130 Kg	105 kg

Fuente: Investigación de campo

Elaborado por: Vinicio Ramírez/ 2011.

Se introduce cacao oreado (cacao pre-secado) ingresa al proceso de secado con la siguiente información.

a) Inicio de proceso

Estado del cacao = Oreado

Peso del cacao a secar = 95 kg

Humedad = 16 % húmedo

Velocidad del aire = 1,2 m/s

Rango de temperatura= 45°C – 55°C

Lugar = Acopio Garyth

b) **Fin del proceso**

Estado del cacao = Seco

Peso final = 83,2 kg

Humedad = 3.8 % húmedo

Tiempo de secado = 15 horas

Rango de temperatura= 45°C – 55°C

Eficiencia de secado = 0,8

7.5.3.- Tercer ensayo de secado.- Se introduce cacao oreado (cacao pre-secado) ingresa al proceso de secado con la siguiente información.

a) **Inicio de proceso**

Estado del cacao = Oreado

Peso a secar = 92 kg

Humedad = 18,5 % húmedo

Velocidad del aire = 1,2 m/s

Rango de temperatura= 45°C – 55°C

Lugar = Acopio Garyth

b) **Fin del proceso**

Estado del cacao = Seco

Peso final = 77.40 kg

Humedad = 8,1 % húmedo

Tiempo de secado = 13 horas

Rango de temperatura= 45°C – 55°C

Eficiencia de secado = 0.8

7.6.- Tabulación de datos

Tabla: 7-2 Tabulación Pruebas de secado

TABULACIÓN DE DATOS						
PRUEBAS	1	2	3	4	5	6
Tipo de cacao	BABA	PRESECADO	PRESECADO	OREADO	OREADO	LAVADO
Peso del cacao	127.7 kg	95 kg	92 kg	103 kg	89 kg	94 kg
Humedad inicial	60%	16%	18.5%	20.6%	31.2%	36%
Velocidad del aire	1.2 m/s	1.2 m/s	1.2 m/s	1.2 m/s	1.2 m/s	1.2 m/s
Rango de temperatura	45-55 °C	45-55 °C	45-55 °C	50-60°C	50-60°C	50-60°C
Humedad final	40%	3.8 %	8.1%	7.2%	7.4%	6.8%
Peso seco	FRACASO	82.9 kg	77.4 kg	88.4 kg	65.7 kg	64.6 kg
Tiempo de secado	22 horas	15 horas	13 horas	14 horas	24 horas	29 horas
Humedad /hora	0.9	0,8	0,8	1	1	1
Pérdida de peso	20kg	12.2 kg	14.6 kg	14.6 kg	23.6 kg	29.4 kg

Fuente: Investigación de campo

Elaborado por: Vinicio Ramírez/ 2011.

7.7.- Mantenimiento electromecánico.

El mantenimiento eléctrico semanal de los elementos de la maquina secadora permite la corrección a tiempo antes de que se produzca un daño y represente paradas imprevistas generando pérdidas en el proceso, tomar en cuenta lo siguiente:

- Mediante una pinza amperimetrica realizar, la lectura de los amperajes del motor trifásico, Lectura de corriente nominal de 1,9 a 2.4 amp. cada línea en condiciones normales de trabajo.

- Realizar la lectura de amperajes de cada una de las resistencias eléctricas ya que la frecuencia de activación es de 2 veces por minuto por tal razón puede ocurrir que una de las resistencias llegue a quemarse. Lectura de los amperajes es de 20 a 23 amp. Caso contrario una de las resistencias no estaría en funcionamiento.
- Engrasar las chumaceras manualmente con una pistola de inyección cada 40 hrs. De servicios
- Verificar que los prisioneros de los engranajes estén bien apretadas cada 80 hrs.

7.7.1.- Lubricación de cadena.

La cadena de rodillo está formada por una serie de elementos metálicos móviles de conexión, que deben lubricarse adecuadamente para obtener la vida de servicio máxima de la cadena. Aunque muchas transmisiones a velocidad lenta pueden funcionar con poca lubricación.

De acuerdo con el número de dientes del piñón (11 dientes) y la velocidad (4 rpm) se realizara una lubricación Tipo I para el prototipo secador se realizara una lubricación manual de aceite periódicamente con una brocha con aceite SAE 40

CAPÍTULO VIII

ANÁLISIS ECONÓMICO

8.1.- Detalle de precios

- **Precio de cacao seco**

El precio del cacao seco en los centros de acopio se encuentra en \$ 130 dólares.

- **Precio cacao húmedo**

El precio del cacao húmedo en los acopios se encuentra en \$ 30 dólares.

- **Precio del kw/h**

La tarifa del kw/h es de \$ 0,12 dólares.

- **Precio por mano de obra**

De acuerdo con el salario digno del 2011 anunciado por el ministro de relaciones laborales, el salario básico es de \$ 264 dólares.

Mano de obra por hora es:

$$MOB_{HORA} = \frac{\$ 264}{160_{horas}}$$

$$MOB_{HORA} = \$ 1,65$$

8.2.- Consumo de energía de los componentes eléctricos

De acuerdo a los cálculos de transferencia de calor en el capítulo III la potencia de las resistencias son de 9000 W.

Tabla: 8-1 Consumo de energía de los equipos eléctricos

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	POTENCIA (W)	POTENCIA TOTAL (KW)
3	Resistencias Circulares	3000	9,00
1	Motor reductor 1 HP	746	0,75
1	Blower 2"1/2	220	0,22
TOTAL DE ENERGIA INSTALADA			9,97

Fuente: Investigación de campo

Elaborado por: Vinicio Ramírez/ 2011.

Dado que las resistencias son activadas y desactivadas mediante la señal del controlador de temperatura a la bobina de contactor del banco de resistencias para mantener la temperatura en el rango de $\pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$, Se determina por práctica el factor de consumo.

$$f_c = 0.6$$

$$P_{resist.} = potencia * f_c$$

$$P_{resist.} = 9 \text{ KW} * 0,6 = 5,4$$

Consumo de energía tota

$$Consumo \text{ Kw/h} = (P_{resist.} + P_{reductor.} + P_{Blower})$$

$$Consumo \text{ Kw/h} = (5,4 + 0,746 + 0,220)$$

$$Consumo \text{ Kw/h} = 6,36$$

8.3.- Costo de energía por hora.

$$Costo = 6,36 \text{ Kw/h} * 0,12 \text{ dólares}$$

$$Costo = 0,76 \text{ dólares}$$

8.4.- Análisis de costos por secar en cada parada

El propósito de la construcción de la maquina secadora de cacao tiene como finalidad de secar el producto disminuyendo los costos de mano de obra y determinar el margen de rentabilidad de secar con resistencias eléctricas.

8.4.1.- Costo fijo.

Los costos fijos no varían ante los cambios de la producción, para el análisis de costos por parada tenemos costo fijo de mano de obra y de consumo de energía:

$$MOB_{HORA} = \$ 1,65 \text{ dólares}$$

$$\text{Costo Kw/h} = \$ 0,76 \text{ dólares}$$

Se requiere contratar dos horas de mano de obra, Una hora para las preparaciones de la máquina, llenado y puesta en marcha, y la ultima hora para el ensaquillado del cacao seco y limpieza de la máquina.

Tabla: 8-2 Costo fijo

HORAS	COSTO FIJO	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
2	Mano de obra	\$ 1,65	\$ 3,30
8	Costo de energía	\$ 0,76	\$ 6,08
COSTO FIJO TOTAL			\$ 9,38

Fuente: Vinicio Ramírez/ 2011.

Elaborado por: Vinicio Ramírez/ 2011.

8.4.2.- Punto de equilibrio

Se determina el punto de equilibrio en donde no exista perdida ni ganancias.

$$\text{Ingresos} = \text{Costos}$$

$$Q * P = CF + CV$$

Donde:

Q = Cantidad (105 kg)

P = Precio

CF = Costo fijo (\$ 9,38)

CV = Costo variable (0)

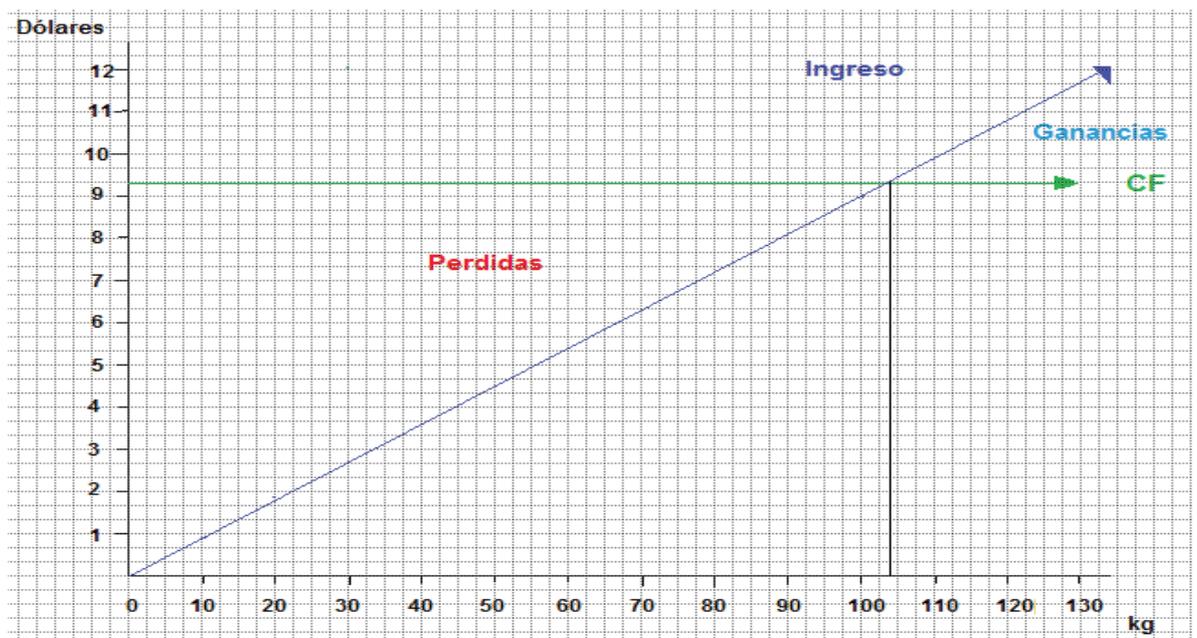
$$Q * P = CF + CV$$

$$P = \frac{9,38 + 0}{105 \text{ kg}}$$

$$P = 0,09 \text{ dólares /kg}$$

El costo por cada kg de cacao a secar en de 0,09 dólares.

Figura: 8-1 Grafica del punto de equilibrio



Fuente: Investigación de campo
Elaborado por: Vinicio Ramírez/ 2011.

En calidad de centro de acopio, Utilizando el prototipo secador de cacao en calidad de centro de acopio, comprando el cacao húmedo a un precio de \$ 30 dólares por quintal, para secar y luego vender seco a un precio de \$ 130 dólares, se realiza el siguiente análisis económico mediante un balance de masa de 50 kg.

Datos:

Cacao húmedo = 55% H_2O

Cacao seco = 7% H_2O

$$m \text{ cacao }_{\text{humedo}} * H_2O = m \text{ cacao }_{\text{seca}} * H_2O$$

$$50 \text{ kg} * 0,45 = m \text{ cacao }_{\text{seca}} * 0,93$$

$$m \text{ cacao }_{\text{seca}} = \frac{50 \text{ kg} * 0,45}{0,93}$$

$$m \text{ cacao }_{\text{seca}} = \mathbf{24,19 \text{ kg}}$$

El precio de cacao en los centros de acopio se encuentra a 130 dólares los 50kg,

$$\text{precio} = \frac{24,19 \text{ kg} * 130}{50 \text{ kg}}$$

$$\text{precio} = 62.80 \text{ dólares}$$

Los 50kg de cacao después del secado pesa 24,19 kg a un precio de venta de \$ 62,80 dólares en los centros de acopio. (Ver anexo 22)

8.5.- Costos de construcción de la maquina secadora de cacao.

8.5.1.- Costos directos de fabricación

Listado de materiales empleados en la construcción de la maquina secadora de cacao.

Tabla: 8-3 Costos directos de fabricación

COSTOS DIRECTOS DE FABRICACIÓN				
ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	1	Motor reductor 1HP 25 rpm	230	230,00
2	1,5	Mts eje de transmisión de 2" in AISI 1018 (1040)	63	63,00
3	3	Resistencias eléctricas	88	264,00
4	3	Laminas de tol 0,50mm espesor	17,75	53,25
5	6	Mts lana de vidrio 1" in	5	30,00
6	1	lamina de acero inoxidable perforada 8mm x 2mm	341	341,00
7	1	tubo 3/4"	3,5	3,50
8	2	chumaceras UPC 211-32	45	90,00
9	1	Blower 2 1/2"	175	175,00
10	1	Piñón paso 60 de 25 dientes	56,94	56,94
11	1	Piñón paso 60 de 68 dientes	170,55	170,55
12	1	Cadena paso 60	70,55	70,55
13	3	tubo cuadrado de 60mm x 60mm x 3mm	17	51,00
14	1	platina (baffles) 60mm x 3mm	6,2	6,20
15	1	platina acero inoxidable 25.4mm x 2mm	12,4	12,40
16	3	tubo cuadrado 25mm x 25mm x 2mm	8,5	25,50
17	4	Pernos 5/8 x 3" comp.	1,76	7,04
18	4	Pernos 3/8 x 1" comp.	0,42	1,68
19	4	Pernos 1/4 x 1" comp.	0,19	0,76
20	1	Breaker de riel 1 polo 10 amp.	4,53	4,53
21	1	Breaker de riel 3 polos 40 amp.	18,04	18,04
22	1	Breaker de riel 3 polos 10 amp.	13,56	13,56
23	2	Breaker de riel 1 polo de 2 amp	4,91	9,82
24	1	Controlador de temperatura	63,12	63,12
25	2	Contactador GMC 9 amp	10,3	20,60
26	1	Contactador GMC 40 amp.	41,35	41,35
27	3	luces piloto 220V	1,46	4,38
28	1	Pulsador hongo	2,69	2,69

29	1	Pulsador doble	3,48	3,48
30	1	Selector dos posiciones	1,82	1,82
31	1	Gabinete metálico 60 x 40 x 20	42,95	42,95
32	1	Riel din	3	3,00
33	1	Canaleta 25mm x 40mm	4,64	4,64
34	2	Mts manguera VX 3/4	1,88	3,77
35	1	Tomacorriente de soldadura	4,46	4,46
36	1	Enchufe de soldadura	6,11	6,11
37	6	Mts cable concéntrico 3 x 10 TW	2,63	15,80
38	3	Conector curvo 3/4	1,47	4,42
39	10	Mts cable flexible 12 AWG	0,75	7,50
40	20	Mts cable flexible 18 AWG	0,24	4,80
41	10	Borneras	0,47	4,70
42	2	Fundas de terminales	2	4,00
43	3	mts funda sellada 3/4	3	9,00
44	3	Conectores MT 3/4	0,75	2,25
45	1	Caperuza para motor 1 HP	28,58	28,58
46	1	Remaches 1/8 X 1"	3,75	3,75
47	2	Garruchas fijas de 100mm	14,35	28,70
48	2	Garruchas giratorias 100mm	16,65	33,30
TOTAL COSTOS DIRECTOS DE FABRICACIÓN				2047,49

Fuente: Vinicio Ramírez/ 2011.

Elaborado por: Vinicio Ramírez/ 2011.

8.5.2.- Costos indirectos de fabricación.

Se detalla los materiales que se utilizaron en la construcción.

Tabla: 8-4 Costos indirectos de fabricación

COSTOS INDIRECTOS	
DESCRIPCIÓN	VALOR
Equipo de corte oxiacetilénico	35
Electrodos categoría E 60-11 y E 308	24
Disco de corte y pulir	14
Fletes	85
Consumo de energía	22
TOTAL	180

Fuente: Vinicio Ramírez/ 2011.

Elaborado por: Vinicio Ramírez/ 2011.

8.5.3.- Mano de obra por la construcción

Se detalla los diferentes trabajos de mano de obra que hicieron posible la construcción de la maquina secadora.

Tabla: 8-5 Costo por mano de obra

MANO DE OBRA	
Diseño del prototipo secador de cacao	380
Maquinado en torno	55
Maquinado en fresadora	15
Soldadura general	350
Dobles de tol	35
Ensamblaje	45
Pintura	20
TOTAL MANO DE OBRA	900

Fuente: Vinicio Ramírez/ 2011.

Elaborado por: Vinicio Ramírez/ 2011.

8.5.4.- Costo total del proyecto

Se detalla en el siguiente cuadro.

Tabla: 8-6 Costo total del proyecto

COSTO TOTAL DEL PROYECTO	
COSTOS DIRECTOS DE FABRICACIÓN	2047,49
COSTOS INDIRECTOS	180
MANO DE OBRA	900
COSTO TOTAL DEL PROYECTO	3127,49

Fuente: Vinicio Ramírez/ 2011.

Elaborado por: Vinicio Ramírez/ 2011.

CAPÍTULO IX

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9.1.-Conclusiones

- Se ha diseñado un prototipo secador rotativo de cacao para realizar demostraciones de secado de cacao, para incentivar a los agricultores en optar por un secado artificial.
- Con la construcción del prototipo secador rotativo de cacao de dos quintales, será en beneficio para los estudiantes de la escuela de ingeniería de agroindustrial de la UTE poniendo en práctica los conocimientos de transferencia de calor y proceso de chocolate.
- El secador rotativo de cacao está en la capacidad de secar 105 kg, y esta eficientemente para bajar la humedad recomendada al 7%
- Con el diseño del secador rotativo de cacao garantiza el secado uniforme gracias al volteo de las almendras.
- El tiempo de secado de cacao está en función al rango de temperatura que manipule el operador al controlador de temperatura, sin exceder los 60°C que es recomendación por INIAP, se tiene un rendimiento en la pérdida del 1% de humedad por hora en rango de 45 – 55 °C
- Investigando los procesos de secado, luego del fermentado la industria peruana IMSA incluyen al proceso una máquina llamada “LAVADORA DE CACAO” (anexo 25) que elimina todo el mucilago dejando limpio la almendra para el respectivo proceso de secado de cacao.

- El secador de cacao está diseñado para ser desmontado por partes para un buen mantenimiento de la malla perforada.

9.2.- Recomendaciones

- Es importante obedecer la capacidad de trabajo que está diseñada la maquina secadora de cacao de 105 kg, Es decir dejar un espacio de $\frac{1}{4}$ libre.
- No llenar de producto a la capacidad máxima ya que en el proceso de secado no se realizaría uniformemente por motivo de que no hay espacio libre en el tambor para el volteo de las almendras.
- Recomiendo no introducir cacao en baba, recién cosechado ya que la corteza de mucilago se adhiere a las paredes del tambor produciendo taponamiento de los orificios e impide el correcto secado.
- Se recomienda introducir cacao lavado o a su vez oreado al prototipo secador rotativo de cacao.
- El prototipo secador rotativo dispone de resistencias eléctricas, al proyectarse en mayor cantidad de cacao para el secado se recomienda usar intercambiadores de calor o con el empleo del calor del hogar de un caldero.
- No recomiendo usar resistencias eléctricas como fuente de calor para aplicaciones de mayor capacidad de secado.

BIBLIOGRAFIA

1. ARIAS CIRO; Manual de manejo poscosecha de granos a nivel rural, primera edición, proyecto MAG/FAO 1993.
2. ANGEL TIERRA; Propuesta de mejoramiento de una secadora de pimienta; Tesis previa a la obtención del título de ingeniero electromecánica. UTE Santo Domingo 2004
3. DESMOND / KARLEKAR; Transferencia de calor; Editorial, Mc Graw Hill, Edición 1985.
4. INIAP; Instituto Nacional Autónomo De Investigaciones Agropecuarias; Manual de cultivo del cacao; Editado, Carmen Suarez, Ecuador 1987.
5. IVAN BOHMAN C.A.; Catalogo de aceros.
6. INTERMEC S.A; Transmisión de potencia por cadena de rodillos; Quinta edición.
7. HERMANN JUTZ ; Tablas Para La Industria Metalúrgica; Editorial, Reverte S.A, 3ra Edición.
8. J. P. HOLMAN; Transferencia de calor; Editorial, Celsa, Edición 1991.
9. JOSEPH SHIGLEY / CHARLES MISCHKE; Diseño de ingeniería mecánica; Editorial, Mc Graw Hill; Quinta edición.

10. MADRID VICENTE; Nuevo manual de industrias alimenticias; Editorial, Mundi prensa, Tercera edición 2001
11. MARCELO GUTIÉRREZ SEIJAS; Manual Prácticas de control de calidad de cacao en centros de acopio; Impresión, Artech Media Comunicadores. 2007.
12. MUJUMDAR ARUN, S. Handbook of Industrial Drying; Marcel Dekker Inc; New York, 1995.
13. Robert L. Diseño de elementos de maquinas.
14. SHYGLEY E; Manual de diseño mecánico; Editorial McGraw-Hill, Mexico 1989
15. VALERIAN LEONCOTOVICH; Pórticos y arcos.
16. WISTON MORALES; Elaboración de pasta de cacao; Tesis previa a la obtención del título de ingeniero electromecánica. UTE santo domingo 2006.
17. http://www.sica.gov.ec/agronegocios/est_peni/DATOS/COMPONENTE3/cacao.htm
18. http://es.wikipedia.org/wiki/Aislamiento_t%C3%A9rmico
19. <http://www.profesorenlinea.cl/fisica/ElectricidadPotenciaResist.htm>

20. <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/>

21. http://es.wikipedia.org/wiki/Flexi%C3%B3n_mec%C3%A1nica

22. http://www.sica.gov.ec/agronegocios/est_peni/DATOS/COMPONENTE3/cacao.htm

23. www.agrocalidad.gov.ec

24. www.infoagro.go.cr/

25. www.fao.org/

ANEXO 1

TERMODINAMICA TEMPERATURA DE VOPOR SATURADO A 60°C hfg

Tabla A.1. Vapor de agua saturado.

T	p	Volumen específico m^3/kg		Energía interna J/kg		Entalpia		
		v_f	v_g	u_f	u_g	h_f	h_{fg}	h_g
0.01	0.06113	1.0002	206.136	.00	2375.3	.01	2501.3	2501.
5	.008721	1.0001	147.120	20.97	2382.3	20.98	2489.6	2510.
10	.012276	1.0004	106.379	42.00	2389.2	42.01	2477.7	2519.
15	.017051	1.0009	77.926	62.99	2396.1	62.99	2465.9	2528.
20	.02339	1.0018	57.791	83.95	2402.9	83.96	2454.1	2538.
25	.03169	1.0029	43.360	104.88	2409.8	104.89	2442.3	2547.
30	.04246	1.0043	32.894	125.78	2416.6	125.79	2430.5	2556.
35	.05628	1.0060	25.216	146.67	2423.4	146.68	2418.6	2565.
40	.07384	1.0078	19.523	167.56	2430.1	167.57	2406.7	2574.
45	.09593	1.0099	15.258	188.44	2436.8	188.45	2394.8	2583.
50	.12349	1.0121	12.032	209.32	2443.5	209.33	2382.7	2592.
55	.15758	1.0146	9.568	230.21	2450.1	230.23	2370.7	2600.
60	.19940	1.0172	7.671	251.11	2456.6	251.13	2358.5	2609.
65	.2503	1.0199	6.197	272.02	2463.1	272.06	2346.2	2618.
70	.3119	1.0228	5.042	292.95	2469.6	292.98	2333.8	2626.
75	.3858	1.0259	4.131	313.90	2475.9	313.93	2321.4	2635.
80	.4739	1.0291	3.407	334.86	2482.2	334.91	2308.8	2643.
85	.5783	1.0325	2.828	355.84	2488.4	355.90	2296.0	2651.
90	.7014	1.0360	2.361	376.85	2494.5	376.92	2283.2	2660.
95	.8455	1.0397	1.981.9	397.88	2500.6	397.96	2270.2	2668.
100	1.0135	1.0435	1672.9	418.94	2506.5	419.04	2257.0	2676.
120	1.9853	1.0603	891.9	503.50	2529.3	503.71	2202.6	2706.
140	3.613	1.0797	508.9	588.74	2550.0	589.13	2144.7	2733.
160	6.178	1.1020	307.1	674.87	2568.4	675.55	2082.6	2758.
180	10.021	1.1274	194.05	762.09	2583.7	763.22	2015.0	2778.
200	15.538	1.1565	127.36	850.65	2595.3	852.45	1940.7	2793.
220	23.18	1.1565	86.19	940.87	2602.4	943.62	1858.5	2802.
240	33.44	1.2291	59.76	1033.21	2604.0	1037.32	1766.5	2803.
260	46.88	1.2755	42.21	1128.39	2599.0	1134.37	1662.5	2796.
280	64.12	1.3321	30.17	1227.46	2586.1	1235.99	1543.6	2779.
300	85.81	1.4036	21.67	1332.0	2563.0	1344.0	1404.9	2749.
330	128.45	1.5607	12.996	1505.3	2498.9	1525.3	1140.6	2665.
360	186.51	1.8925	6.945	1725.2	2351.5	1760.5	720.5	2481.
374.136	220.9	3.155	3.155	2029.6	2029.6	2099.3	0	2099.

J. H. Keenan et al., Steam tables, Wiley, 1969

ANEXO 2

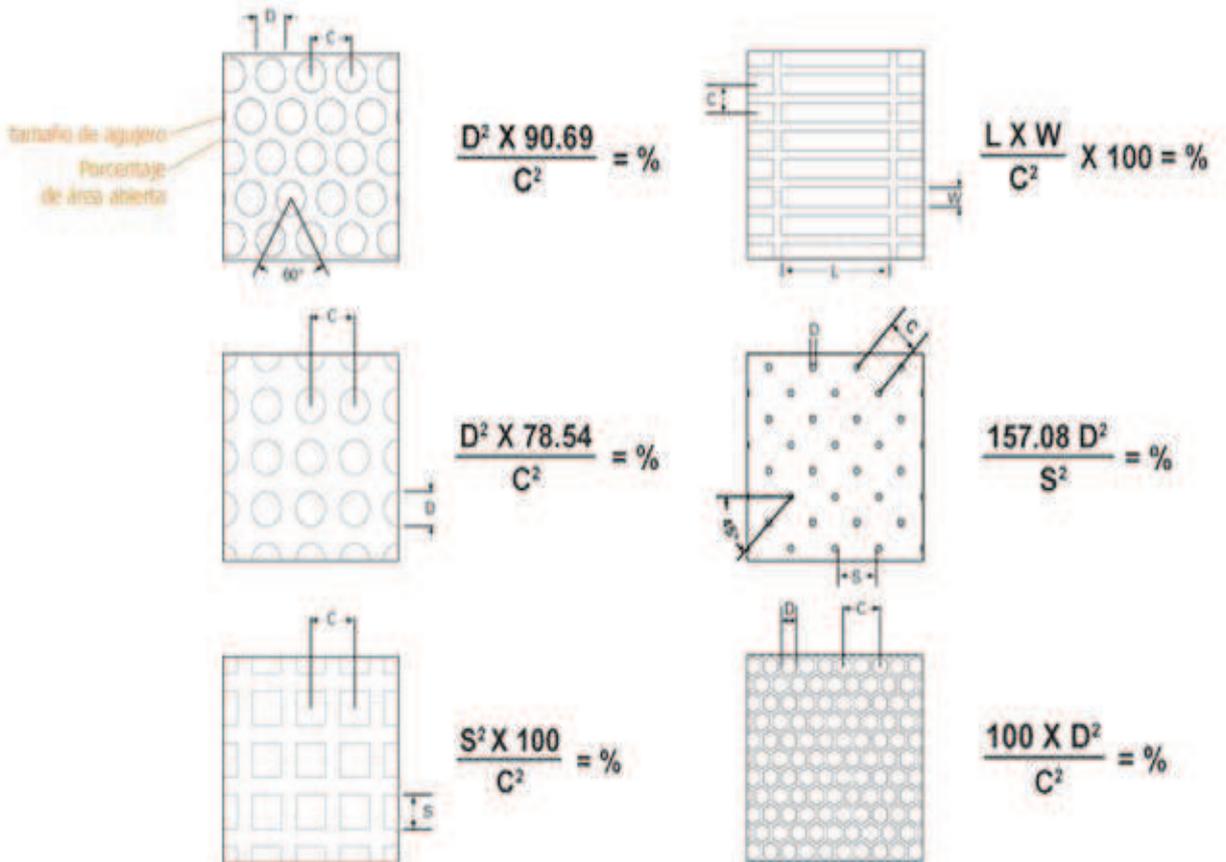
FORMULAS PARA EL CALCULO DEL PORCENTAJE DE ÁREA ABIERTA



fórmulas de % de área abierta.

To find the holes per square inch:

$$\text{H.P.S.I.} = \frac{\% \text{ Open Area}}{78.54 \times D^2}$$



³⁰ <http://www.accurateperforating.com/images/contact/AccurateBinder.pdf>

ANEXO 3

FACTOR DE ACABADO DE SUPERFICIE

TABLA 7-4
Factores de acabado de superficies

ACABADO DE SUPERFICIE	FACTOR a		EXPONENTE b
	kpsi	MPa	
Esmerilado (rectificado)	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o estirado en frio	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Forjado	39.9	272.	-0.995

³¹ JOSEPH SHIGLEY / CHARLES MISCHKE; Diseño de ingeniería mecánica, pág. 318.

ANEXO 4

Factor de tamaño k_b :

El factor de tamaño se ha evaluado utilizando 133 conjuntos de puntos de datos los resultados en los casos de flexión y torsión se pueden expresar como

$$k_b = \begin{cases} \left(\frac{d}{0.3}\right)^{-0.1133} & \text{in} & 0.11 \leq d \leq 2 \text{ in} \\ \left(\frac{d}{7.62}\right)^{-0.1133} & \text{mm} & 2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \end{cases}$$

ANEXO 5

Factor de Temperatura Kd:

Efecto de la temperatura de operación sobre la resistencia a la tensión del acero.
 (St = resistencia a la tensión a la temperatura de operación; S_{RT} = resistencia a la tensión a la temperatura del lugar de trabajo;

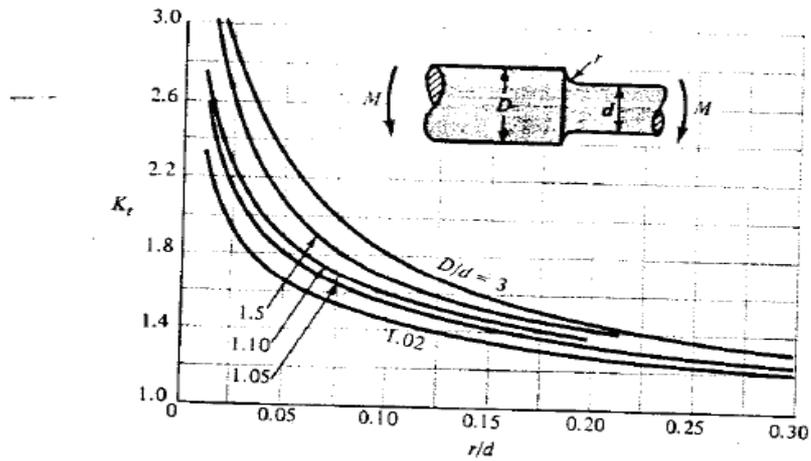
TEMPERATURA, °C	S _T /S _{RT}	TEMPERATURA, °F	S _T /S _{RT}
20	1.000	70	1.000
50	1.010	100	1.008
100	1.020	200	1.020
150	1.025	300	1.024
200	1.020	400	1.018
250	1.000	500	0.995
300	0.975	600	0.963
350	0.927	700	0.927
400	0.922	800	0.872
450	0.840	900	0.797
500	0.766	1000	0.698
550	0.670	1100	0.567
600	0.546		

*Fuente de los datos: Figura 5-11.

ANEXO 6

FACTOR DE CONCENTRACIÓN DE ESFUERZOS

Diagramas de factores de concentración de esfuerzo teórico K_t (Cont.)

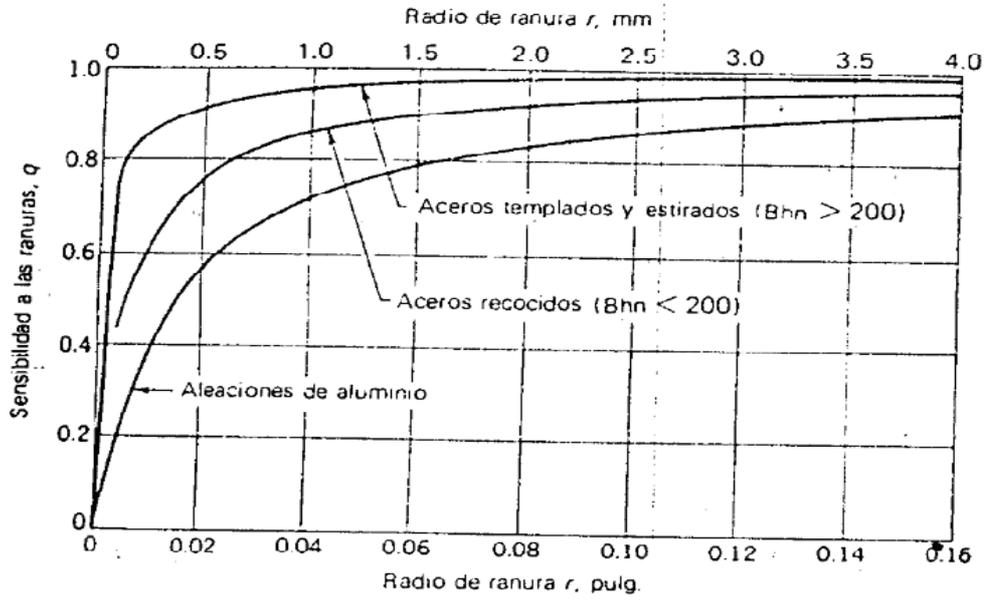


URA A-15-9

Barra circular con entalle circunferencial sometida a flexión. $\sigma_0 = Mc/I$, donde $c = d/2$
 $I = \pi d^4/64$.

ANEXO 7

DIAGRAMA DE SENSIBILIDAD DE LA RANURA



ANEXO 8

SAE 1018 Eje de transmisión - tolerancias h10-h11



GENERALIDADES: Acero de bajo contenido de carbono.

ANÁLISIS TÍPICO %

	C	Mn	P	S
SAE 1018	0.15-0.20	0.60-0.90	0.040	0.050

PROPIEDADES MECÁNICAS

Suministrado laminado en frío (medidas pequeñas hasta 2 1/2 ") o torneado (medidas hasta 6"). Las medidas 7"; 8"; 9" y 10" son suministradas laminadas en caliente o torneado de desbaste.

Propiedad: Laminado en Frío	
Esfuerzo de cedencia, kg/mm ²	min. 31
Resistencia a la tracción, kg/mm ²	51-71
Elongación, A5	20%
Reducción de área, Z	57%
Dureza	163 HB

APLICACIONES

Donde se requiera aplicaciones con cargas mecánicas no muy severas, pero con ciertos grados de tenacidad importantes, como por ej.: pernos y tuercas, piezas de máquinas pequeñas, ejes, bujes, pasadores, grapas, etc. Factible de cementación con buena profundidad de penetración debido a su alto contenido de manganeso. Excelente soldabilidad.

MEDIDAS EN STOCK:

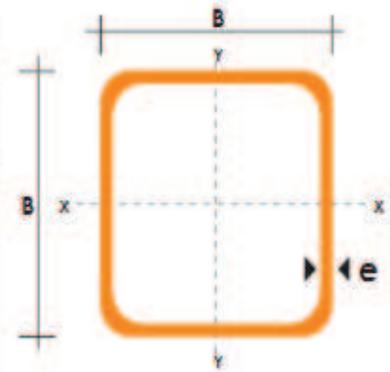
REDONDO

Diámetro (pulg)	Peso (kg/m)
1/4	0,2
5/16	0,4
3/8	0,6
1/2	1,0
5/8	1,6
3/4	2,2
7/8	3,0
1	4,0
1 1/8	5,0
1 1/4	6,2
1 3/8	7,5
1 1/2	8,9
1 3/4	12,2
2	15,9
2 1/4	20,1
2 1/2	24,9
2 3/4	30,1
3	35,8
3 1/4	42,0
3 1/2	48,7
4	63,6
4 1/2	80,5
5	99,4
5 1/2	120,3
6	143,2
7	194,9
8	254,6
9	322,2
10	397,8

ANEXO 9

ESPECIFICACIÓN DEL TUBO ESTRUCTURAL CUADRADO

DIMENSIONES			AREA	EJES X-Xe Y-Y		
A mm	ESPESOR mm	PESO Kg/m	AREA cm ²	I cm ⁴	W cm ³	i cm
20	1.2	0.72	0.90	0.53	0.53	0.77
20	1.5	0.88	1.05	0.58	0.58	0.74
20	2.0	1.15	1.34	0.69	0.69	0.72
25	1.2	0.90	1.14	1.08	0.87	0.97
25	1.5	1.12	1.35	1.21	0.97	0.95
25	2.0	1.47	1.74	1.48	1.18	0.92
30	1.2	1.09	1.38	1.91	1.28	1.18
30	1.5	1.35	1.65	2.19	1.46	1.15
30	2.0	1.78	2.14	2.71	1.81	1.13
40	1.2	1.47	1.80	4.38	2.19	1.25
40	1.5	1.82	2.25	5.48	2.74	1.56
40	2.0	2.41	2.94	6.93	3.46	1.54
40	3.0	3.54	4.44	10.20	5.10	1.52
50	1.5	2.29	2.85	11.06	4.42	1.97
50	2.0	3.03	3.74	14.13	5.65	1.94
50	3.0	4.48	5.61	21.20	8.48	1.91
60	2.0	3.66	3.74	21.26	7.09	2.39
60	3.0	5.42	6.61	35.06	11.69	2.34
75	2.0	4.52	5.74	50.47	13.46	2.97
75	3.0	6.71	8.41	71.54	19.08	2.92
75	4.0	8.59	10.95	89.98	24.00	2.87
100	2.0	6.17	7.74	122.99	24.60	3.99



ANEXO 10

FACTOR DE POTENCIA

Factores para calcular el margen compensatorio de seguridad			
Clase de la fuente de potencia			
Tipo de carga	Motor de combustión interna con convertidor hidráulico	Motor eléctrico o turbina	Motor de combustión interna con embrague o caja mecánica
Uniforme	1.0	1.0	1.2
Fluctuante	1.2	1.3	1.4
Muy fluctuante	1.4	1.5	1.7

33

³³ CATALOGO TRANSMISIÓN DE POTENCIA POR CADENA DE RODILLOS. Intermec; Quinta Edición

ANEXO 11

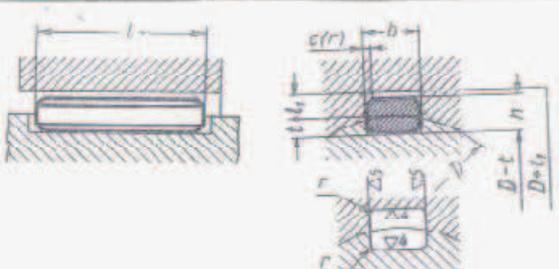
TABLA DE CAPACIDAD
CADENA ESTANDAR SENCILLA DE RODILLOS No. 40 PASO 1/2"

No. de dientes piñón conductor	RPM DEL PIÑÓN CONDUCTOR																											
	10	25	50	100	200	300	400	500	700	900	1000	1200	1400	1600	1800	2100	2400	2700	3000	3500	4000	5000	6000	7000	8000			
9	0.04	0.10	0.19	0.35	0.65	0.93	1.21	1.48	2.00	2.51	2.75	3.25	3.73	4.12	3.45	2.74	2.24	1.88	1.60	1.27	1.04	0.75	0.57	0.45	0.37			
10	0.05	0.11	0.21	0.39	0.73	1.04	1.35	1.65	2.24	2.81	3.09	3.64	4.18	4.71	4.04	3.21	2.63	2.20	1.88	1.49	1.22	0.87	0.66	0.53	0.43			
11	0.05	0.12	0.23	0.43	0.80	1.16	1.50	1.83	2.48	3.11	3.42	4.03	4.63	5.22	4.66	3.70	3.03	2.54	2.17	1.72	1.41	1.01	0.77	0.61	0.50			
12	0.06	0.14	0.25	0.47	0.88	1.27	1.65	2.01	2.73	3.42	3.76	4.43	5.09	5.74	5.31	4.22	3.45	2.89	2.47	1.96	1.60	1.15	0.87	0.69	0.57			
13	0.06	0.15	0.28	0.52	0.96	1.39	1.80	2.20	2.97	3.73	4.10	4.83	5.55	6.26	5.99	4.76	3.89	3.26	2.79	2.21	1.81	1.29	0.98	0.78	0.64			
14	0.07	0.16	0.30	0.56	1.04	1.50	1.95	2.38	3.22	4.04	4.44	5.23	6.01	6.78	6.70	5.31	4.35	3.65	3.11	2.47	2.02	1.45	1.10	0.87	0.71			
15	0.07	0.17	0.32	0.60	1.12	1.62	2.10	2.56	3.47	4.35	4.78	5.64	6.47	7.30	7.43	5.89	4.82	4.04	3.45	2.74	2.24	1.60	1.22	0.97	0.79			
16	0.08	0.19	0.35	0.65	1.20	1.74	2.25	2.75	3.72	4.66	5.13	6.04	6.94	7.83	8.18	6.49	5.31	4.45	3.80	3.02	2.47	1.77	1.34	1.07	0.87			
17	0.08	0.20	0.37	0.69	1.29	1.85	2.40	2.93	3.97	4.98	5.48	6.45	7.41	8.36	8.96	7.11	5.82	4.88	4.17	3.31	2.71	1.94	1.47	1.17	0.96			
18	0.09	0.21	0.39	0.73	1.37	1.97	2.55	3.12	4.22	5.30	5.82	6.86	7.88	8.89	9.76	7.75	6.34	5.31	4.54	3.60	2.95	2.11	1.60	1.27	0			
19	0.09	0.22	0.42	0.78	1.45	2.09	2.71	3.31	4.48	5.62	6.17	7.27	8.36	9.42	10.5	8.40	6.88	5.76	4.92	3.91	3.20	2.29	1.74	1.38	0			
20	0.10	0.24	0.44	0.82	1.53	2.21	2.86	3.50	4.73	5.94	6.53	7.69	8.83	9.96	11.1	9.07	7.43	6.22	5.31	4.22	3.45	2.47	1.88	1.49	0			
21	0.11	0.25	0.46	0.87	1.62	2.33	3.02	3.69	4.99	6.26	6.88	8.11	9.31	10.5	11.7	9.76	7.99	6.70	5.72	4.54	3.71	2.66	2.02	1.60	0			
22	0.11	0.26	0.49	0.91	1.70	2.45	3.17	3.88	5.25	6.58	7.23	8.52	9.79	11.0	12.3	10.5	8.57	7.18	6.13	4.87	3.98	2.85	2.17	1.72	0			
23	0.12	0.27	0.51	0.96	1.78	2.57	3.33	4.07	5.51	6.90	7.59	8.94	10.3	11.6	12.9	11.2	9.16	7.68	6.55	5.20	4.26	3.05	2.32	1.84	0			
24	0.13	0.29	0.54	1.00	1.87	2.69	3.48	4.26	5.76	7.23	7.95	9.36	10.8	12.1	13.5	11.9	9.76	8.18	6.99	5.54	4.54	3.25	2.47	1.96	0			
25	0.13	0.30	0.56	1.05	1.95	2.81	3.64	4.45	6.02	7.55	8.30	9.78	11.2	12.7	14.1	12.7	10.5	8.70	7.43	5.89	4.82	3.45	2.63	0				
26	0.14	0.31	0.58	1.09	2.04	2.93	3.80	4.64	6.28	7.88	8.66	10.2	11.7	13.2	14.7	13.5	11.0	9.23	7.88	6.25	5.12	3.66	2.79	0				
28	0.15	0.34	0.63	1.18	2.20	3.18	4.11	5.03	6.81	8.54	9.39	11.1	12.7	14.3	15.9	15.0	12.3	10.3	8.80	6.99	5.72	4.09	3.11	0				
30	0.16	0.37	0.68	1.27	2.38	3.42	4.43	5.42	7.33	9.20	10.1	11.9	13.7	15.4	17.2	16.7	13.6	11.4	9.76	7.75	6.34	4.54	3.45	0				
32	0.17	0.39	0.73	1.36	2.55	3.67	4.75	5.81	7.86	9.86	10.8	12.8	14.7	16.5	18.4	18.4	15.0	12.6	10.8	8.64	6.99	5.00	0	0				

ANEXO 13

TABLA PARA LA SELECCIÓN DE CHAVETAS

Chavetas prismáticas



Dimensiones en mm

Diámetro del árbol D	Dimensiones de la chaveta $b \times h$	Profundidad de la ranura		Longitud de la chaveta l	Radio de redondeo de las ranuras	
		árbol t	casquillo t_1		r_{\min}	r_{\max}
6—8	2×2	1,2	1	6—20	0,08	0,16
8—10	3×3	1,8	1,4	6—36		
10—12	4×4	2,5	1,8	8—45	0,16	0,25
12—17	5×5	3	2,3	10—56		
17—22	6×6	3,5	2,8	14—70		
22—30	8×7	4	3,3	18—90		
30—38	10×8	5	3,3	22—110	0,25	0,4
38—44	12×8	5	3,3	28—140		
44—50	14×9	5,5	3,8	36—160		
50—58	16×10	6	4,3	45—180		
58—65	18×11	7	4,4	50—200		
65—75	20×12	7,5	4,9	56—220	0,4	0,6
75—85	22×14	9	5,4	63—250		
85—95	25×14	9	5,4	70—280		
95—100	28×16	10	6,4	80—320		
110—130	32×18	11	7,4	90—360		
130—150	36×20	12	8,4	100—400	0,7	1
150—170	40×22	13	9,4	100—400		
170—200	45×25	15	10,4	110—450		
200—230	50×28	17	11,4	125—500		
230—260	56×32	20	12,4	140—500	1,2	1,5
260—290	63×32	20	12,4	160—500		
290—330	70×36	22	14,4	180—500		
330—380	80×40	25	15,4	200—500	2	2,5
380—440	90×40	28	17,4	220—500		
440—500	100×50	34	19,5	250—500		

ANEXO 14

PROPIEDADES DEL MATERIAL DE CHAVETA

Material	% C	Resistencia a la flexión alternativa / pulsatoria [N/mm ²]		Resistencia a la torsión alternativa / pulsatoria [N/mm ²]		Limite elástico [N/mm ²]	Carga de Rotura [N/mm ²]	Dureza Vickers mínima – HV (endurecible hasta)
		σ_{bW}	σ_{bSch}	τ_{tW}	τ_{tSch}			
DIN C 45 UNE F-1140 AISI 1045	0,45	370	630	260	340	390	670 - 820	170 (720)

ANEXO 15

VALORES f_n PARA RODAMIENTOS DE BOLAS

▼ Valores f_n para rodamientos de bolas

$$f_n = \sqrt[3]{\frac{33 \frac{1}{3}}{n}}$$

n	f_n								
min ⁻¹									
10	1,49	55	0,846	340	0,461	1800	0,265	9500	0,152
11	1,45	60	0,822	360	0,452	1900	0,26	10000	0,149
12	1,41	65	0,8	380	0,444	2000	0,255	11000	0,145
13	1,37	70	0,781	400	0,437	2200	0,247	12000	0,141
14	1,34	75	0,763	420	0,43	2400	0,24	13000	0,137
15	1,3	80	0,747	440	0,423	2600	0,234	14000	0,134
16	1,28	85	0,732	460	0,417	2800	0,228	15000	0,131
17	1,25	90	0,718	480	0,411	3000	0,223	16000	0,128
18	1,23	95	0,705	500	0,405	3200	0,218	17000	0,125
19	1,21	100	0,693	550	0,393	3400	0,214	18000	0,123
20	1,19	110	0,672	600	0,382	3600	0,21	19000	0,121
22	1,15	120	0,652	650	0,372	3800	0,206	20000	0,119
24	1,12	130	0,635	700	0,362	4000	0,203	22000	0,115
26	1,09	140	0,62	750	0,354	4200	0,199	24000	0,112
28	1,06	150	0,606	800	0,347	4400	0,196	26000	0,109
30	1,04	160	0,593	850	0,34	4600	0,194	28000	0,106
32	1,01	170	0,581	900	0,333	4800	0,191	30000	0,104
34	0,993	180	0,57	950	0,327	5000	0,188	32000	0,101
36	0,975	190	0,56	1000	0,322	5500	0,182	34000	0,0993
38	0,957	200	0,55	1100	0,312	6000	0,177	36000	0,0975
40	0,941	220	0,533	1200	0,303	6500	0,172	38000	0,0957
42	0,926	240	0,518	1300	0,295	7000	0,168	40000	0,0941
44	0,912	260	0,504	1400	0,288	7500	0,164	42000	0,0926
46	0,898	280	0,492	1500	0,281	8000	0,161	44000	0,0912
48	0,886	300	0,481	1600	0,275	8500	0,158	46000	0,0898
50	0,874	320	0,471	1700	0,27	9000	0,155	50000	0,0874

³⁵ Catalogo FAG, pág. 34

ANEXO 16

Valores de orientación para f_L y valores usuales de cálculo

Lugar de aplicación	Valor f_L que debe alcanzarse	Valores usuales de cálculo
Motores eléctricos		
Motores eléctricos para aparatos electrodomésticos	1,5 ... 2	peso del rotor · f_z ; velocidad nominal
Motores estándar	3,5 ... 4,5	factor $f_z = 1,5$ a 2 para máquinas estacionarias
Motores grandes	4 ... 5	$f_z = 1,5$ a 2,5 para motores de tracción
Motores de tracción	3 ... 3,5	para accionamientos por piñón; grupos de cargas con velocidades correspondientes

ANEXO 17

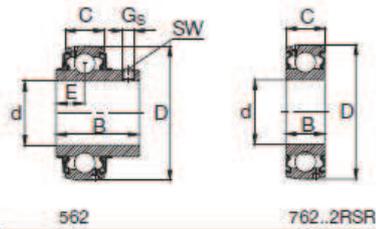
▼ Factores radiales y axiales de los rodamientos rígidos de bolas

$\frac{f_0 \cdot F_a}{C_0}$	Juego normal de rodamiento				Juego de rodamiento C3				Juego de rodamiento C4						
	e	$\frac{F_a}{F_r} \leq e$		$\frac{F_a}{F_r} > e$		e	$\frac{F_a}{F_r} \leq e$		$\frac{F_a}{F_r} > e$		e	$\frac{F_a}{F_r} \leq e$		$\frac{F_a}{F_r} > e$	
		X	Y	X	Y		X	Y	X	Y		X	Y		
0,3	0,22	1	0	0,56	2	0,32	1	0	0,46	1,7	0,4	1	0	0,44	1,4
0,5	0,24	1	0	0,56	1,8	0,35	1	0	0,46	1,56	0,43	1	0	0,44	1,31
0,9	0,28	1	0	0,56	1,58	0,39	1	0	0,46	1,41	0,45	1	0	0,44	1,23
1,6	0,32	1	0	0,56	1,4	0,43	1	0	0,46	1,27	0,48	1	0	0,44	1,16
3	0,36	1	0	0,56	1,2	0,48	1	0	0,46	1,14	0,52	1	0	0,44	1,08
6	0,43	1	0	0,56	1	0,54	1	0	0,46	1	0,56	1	0	0,44	1

³⁶ Catalogo FAG, pág. 148

ANEXO 18

CAPACIDAD DE CARGA DEL RODAMIENTO 16211200



Eje	Dimensiones											Capacidad de carga		Denominación abreviada Rodamiento con dispositivo de seguridad FAG	Peso ^{en} kg
	d	D	C	B	B ₁	d ₁ max	B ₂	E	G _s	SW	din. C	estát. C ₀			
mm in	mm										kN				
50	50	90	20	30,2	43,7	69,9	18,3	11	M10x1,25	5	36,5	24	16210	0,77	
	50	90	24	49,2	62,7	69,9	18,3	24,6	M10x1,25	5	36,5	24	36210	1,01	
	50	90	24	51,6				19	M10x1,25	5	36,5	24	56210	0,77	
	50	90	20	20							36,5	24	76210.2RSR	0,463	
2	50,8	100	21	32,5	48,4	76,2	20,7	12	M10x1,25	5	43	29	16211.200	0,96	
	50,8	100	25	55,5	71,4	76,2	20,7	27,8	M10x1,25	5	43	29	36211.200	1,5	
	50,8	100	25	55,6				22,2	M10x1,25	5	43	29	56211.200	1,26	
2 1/8	53,975	100	21	32,5	48,4	76,2	20,7	12	M10x1,25	5	43	29	16211.202	0,87	
	53,975	100	25	55,5	71,4	76,2	20,7	27,8	M10x1,25	5	43	29	36211.202	1,45	
	53,975	100	25	55,6				22,2	M10x1,25	5	43	29	56211.202	1,21	
55	55	100	21	32,5	48,4	76,2	20,7	12	M10x1,25	5	43	29	16211	0,83	
	55	100	25	55,5	71,4	76,2	20,7	27,8	M10x1,25	5	43	29	36211	1,43	
	55	100	25	55,6				22,2	M10x1,25	5	43	29	56211	1,19	
	55	100	21	21							43	29	76211.2RSR	0,667	
2 5/16	55,563	100	21	32,5	48,4	76,2	20,7	12	M10x1,25	5	43	29	16211.203	0,81	
	55,563	100	25	55,5	71,4	76,2	20,7	27,8	M10x1,25	5	43	29	36211.203	0,951	
	55,563	100	25	55,6				22,2	M10x1,25	5	43	29	56211.203	1,16	



ANEXO 19

VIDA PARA RODAMIENTOS DE BOLAS

▼ Valores f_L para rodamientos de bolas

$$f_L = \sqrt[3]{\frac{L_h}{500}}$$

L_h	f_L	L_h	f_L	L_h	f_L	L_h	f_L	L_h	f_L
h		h		h		h		h	
100	0,585	420	0,944	1700	1,5	6500	2,35	28000	3,83
110	0,604	440	0,958	1800	1,53	7000	2,41	30000	3,91
120	0,621	460	0,973	1900	1,56	7500	2,47	32000	4
130	0,638	480	0,986	2000	1,59	8000	2,52	34000	4,08
140	0,654	500	1	2200	1,64	8500	2,57	36000	4,16
150	0,669	550	1,03	2400	1,69	9000	2,62	38000	4,24
160	0,684	600	1,06	2600	1,73	9500	2,67	40000	4,31
170	0,698	650	1,09	2800	1,78	10000	2,71	42000	4,38
180	0,711	700	1,12	3000	1,82	11000	2,8	44000	4,45
190	0,724	750	1,14	3200	1,86	12000	2,88	46000	4,51
200	0,737	800	1,17	3400	1,89	13000	2,96	48000	4,58
220	0,761	850	1,19	3600	1,93	14000	3,04	50000	4,64
240	0,783	900	1,22	3800	1,97	15000	3,11	55000	4,79
260	0,804	950	1,24	4000	2	16000	3,17	60000	4,93
280	0,824	1000	1,26	4200	2,03	17000	3,24	65000	5,07
300	0,843	1100	1,3	4400	2,06	18000	3,3	70000	5,19
320	0,862	1200	1,34	4600	2,1	19000	3,36	75000	5,31
340	0,879	1300	1,38	4800	2,13	20000	3,42	80000	5,43
360	0,896	1400	1,41	5000	2,15	22000	3,53	85000	5,54
380	0,913	1500	1,44	5500	2,22	24000	3,63	90000	5,65
400	0,928	1600	1,47	6000	2,29	26000	3,73	100000	5,85

37

³⁷ Catalogo de rodamientos FAG pág. 34

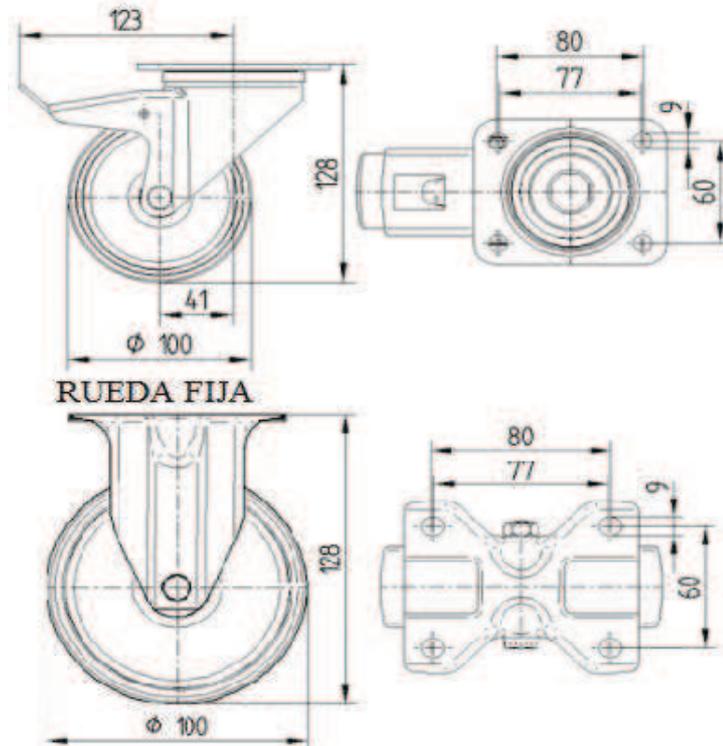
ANEXO 20

CAPACIDAD DE CORRIENTE DE CABLES UNIPOLARES, BIPOLARES Y TRIPOLARES PARA 60°C

INSTALACIONES EN TUBO				INSTALACIONES AL AIRE LIBRE		
Calibre del conductor	Sección transversal	3 conductores unipolares o un cable tripolar	Un cable bipolar	Un cable unipolar	Un cable bipolar	3 conductores unipolares o un cable tripolar
AWG - MCM	mm ²	Amperios	Amperios	Amperios	Amperios	Amperios
22	0.324	3	3	5	4	4
20	0.0517	5	6	8	7	6
18	0.821	7	8	10	9	8
16	1.31	10	11	15	14	13
14	2.08	15	27	20	18	17
12	3.31	20	21	25	23	22
10	5.26	30	30	40	35	33
8	8.37	40	40	55	48	45
6	13.30	55	55	80	68	63
4	21.15	70	---	105	---	87
2	33.63	95	---	140	---	119
1	42.41	110	---	165	---	145
1/0	53.51	125	---	195	---	155
2/0	67.44	145	---	225	---	180
3/0	85.02	165	---	260	---	210
4/0	107.2	195	---	300	---	240
250	126.7	215	---	340	---	265
300	152.0	240	---	375	---	300
350	177.4	260	---	420	---	330
400	202.7	280	---	455	---	360
500	253.4	320	---	515	---	415
600	304.0	355	---	575	---	450
750	380.0	400	---	655	---	515
1000	506.7	455	---	780	---	600

ANEXO 21

RUEDA GIRATORIA CON FRENO



DATOS TÉCNICOS

Datos técnicos	°C / mm / kg ▼
Diámetro de la rueda	100 mm
Ancho de la rueda	34 mm
Dureza del bandaje	Shore A 64
Medida de pletina	105 x 85 mm
Distancia de agujeros	80/77 x 60 mm
Diámetro de agujero	9 mm
Desplazamiento	41 mm
Radio giratorio	91 mm
Diám.d. radio giratorio	182 mm
Altura total	128 mm
Temperatura	- 20 / + 80 °C
Norma	EN 12532
Peso de la rueda	0.833 kg
Capacidad de carga	160 kg
Cap. de carga estática	320 kg

38

³⁸ <http://america.tente.com/ES/cat300/am4429.html>

ANEXO 22

Tabulación de datos del proceso de secado de cacao con los precios en función de centro de acopio de cacao

EN FUNCIÓN DE ACOPIO						
kg húmedo	kg seco	Precio cacao húmedo	Precio cacao Seco	Ganancia bruta	Gasto total	Ganancia
10	4,8	\$ 6,00	\$ 12,58	\$ 6,58	\$ 9,38	-\$ 2,80
20	9,7	\$ 12,00	\$ 25,16	\$ 13,16	\$ 9,38	\$ 3,78
30	14,5	\$ 18,00	\$ 37,74	\$ 19,74	\$ 9,38	\$ 10,36
40	19,4	\$ 24,00	\$ 50,32	\$ 26,32	\$ 9,38	\$ 16,94
50	24,2	\$ 30,00	\$ 62,90	\$ 32,90	\$ 9,38	\$ 23,52
60	29,0	\$ 36,00	\$ 75,48	\$ 39,48	\$ 9,38	\$ 30,10
70	33,9	\$ 42,00	\$ 88,06	\$ 46,06	\$ 9,38	\$ 36,68
80	38,7	\$ 48,00	\$ 100,65	\$ 52,65	\$ 9,38	\$ 43,27
90	43,5	\$ 54,00	\$ 113,23	\$ 59,23	\$ 9,38	\$ 49,85
100	48,4	\$ 60,00	\$ 125,81	\$ 65,81	\$ 9,38	\$ 56,43
110	53,2	\$ 66,00	\$ 138,39	\$ 72,39	\$ 9,38	\$ 63,01
120	58,1	\$ 72,00	\$ 150,97	\$ 78,97	\$ 9,38	\$ 69,59
130	62,9	\$ 78,00	\$ 163,55	\$ 85,55	\$ 9,38	\$ 76,17

Fecha del precio del cacao en baba, 10 enero 2011

ANEXO 23

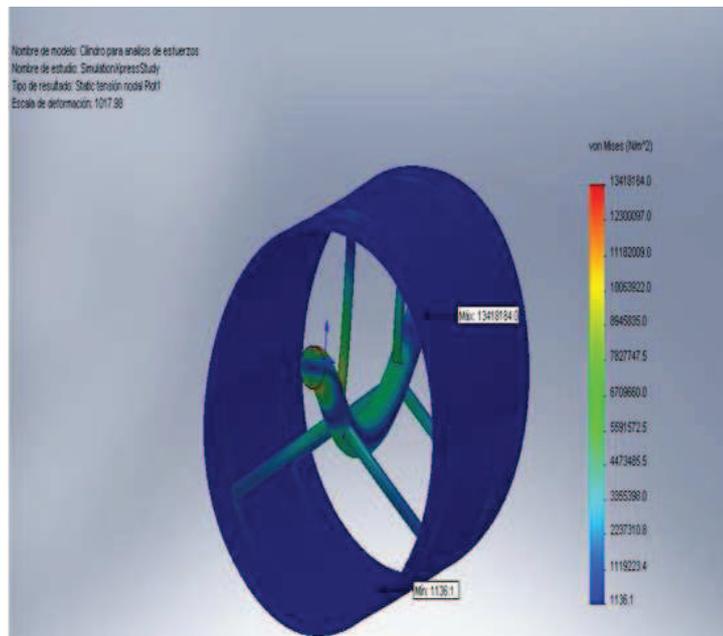
Resultados de esfuerzos en solidworks

a. Tensiones

Nombre	Tipo	Mín.	Ubicación	Máx.	Ubicación
Plot1	VON: Tensión de von Mises	1136.07 N/m ²	(18.0265 mm, -322.584 mm, -713.99 mm)	1.34182e+007 N/m ²	(- 4.48722 mm, -26.3603 mm, -1098.66 mm)

Cilindro para análisis de esfuerzos-SimulationXpressStudy- Tensiones-Plot1

JPEG

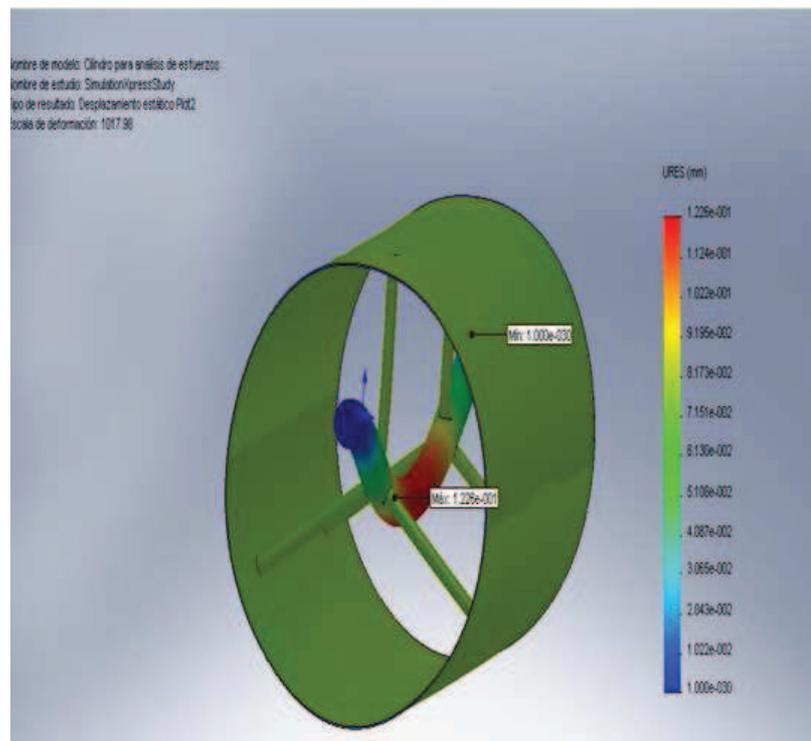


b. Desplazamientos

Nombre	Tipo	Mín.	Ubicación	Máx.	Ubicación
Plot2	URES: Desplazamiento resultante	0 mm	(12.7 mm, 21.997 mm, 124 mm)	0.122595 mm	(-25.3984 mm, -124.8 mm, -500 mm)

Cilindro para análisis de esfuerzos-SimulationXpressStudy- Desplazamientos-Plot2

JPEG



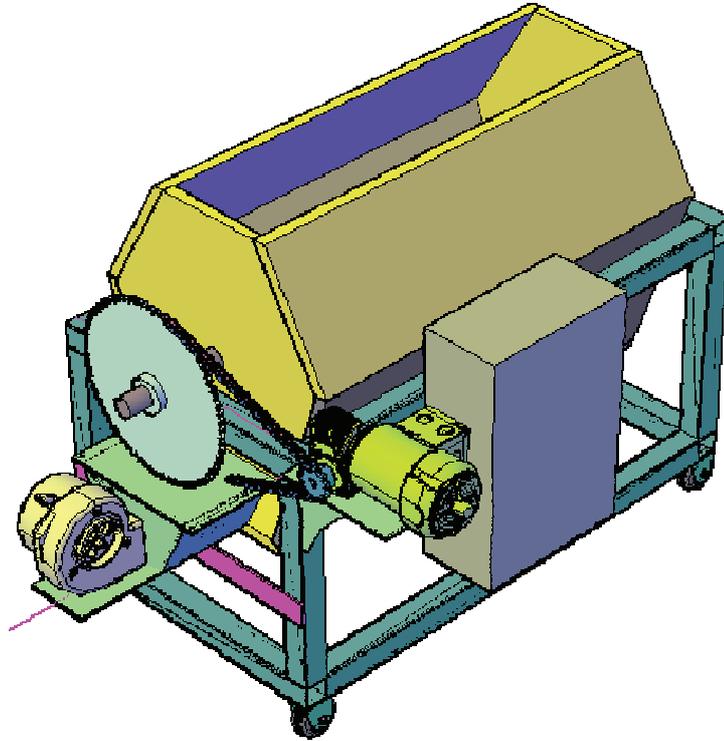
c. Factor de seguridad



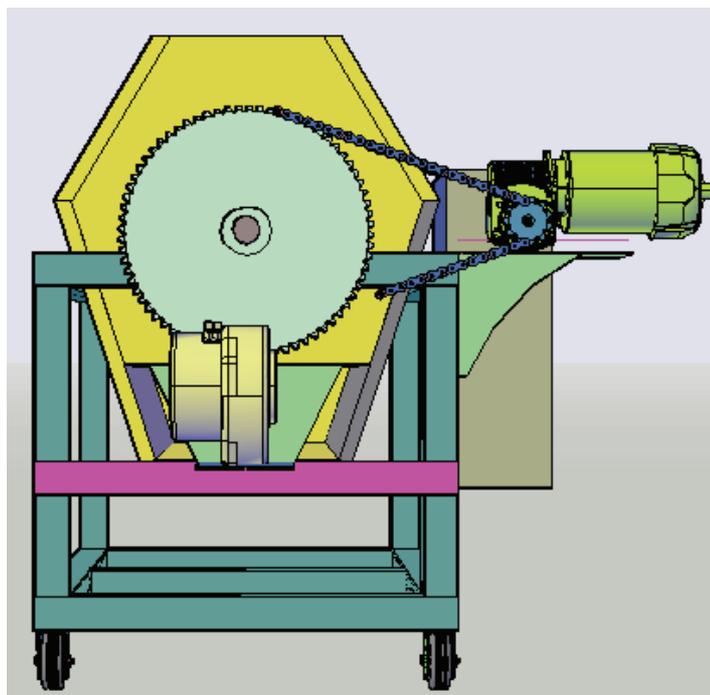
En el resultado de la simulación de los esfuerzos en solidworks no presenta zonas críticas de deformación en el eje de transmisión para una carga distribuida de 830 N es decir el eje soporta el peso de carga y no se deformara.

ANEXO 24

VISTA ISOMETRICA DEL SECADOR



VISTA LATERAL DEL SECADOR



ANEXO 25

LAVADORA DE CACAO DESPUES DEL FERMENTADO



FUENTE: MAQUINARIA IMSA

DESCARGA DE LA LAVADORA DE CACAO

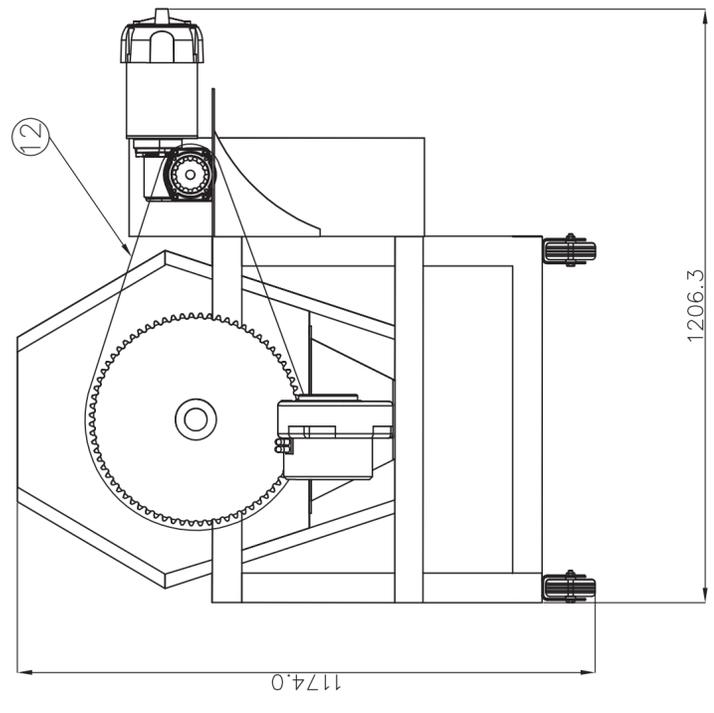
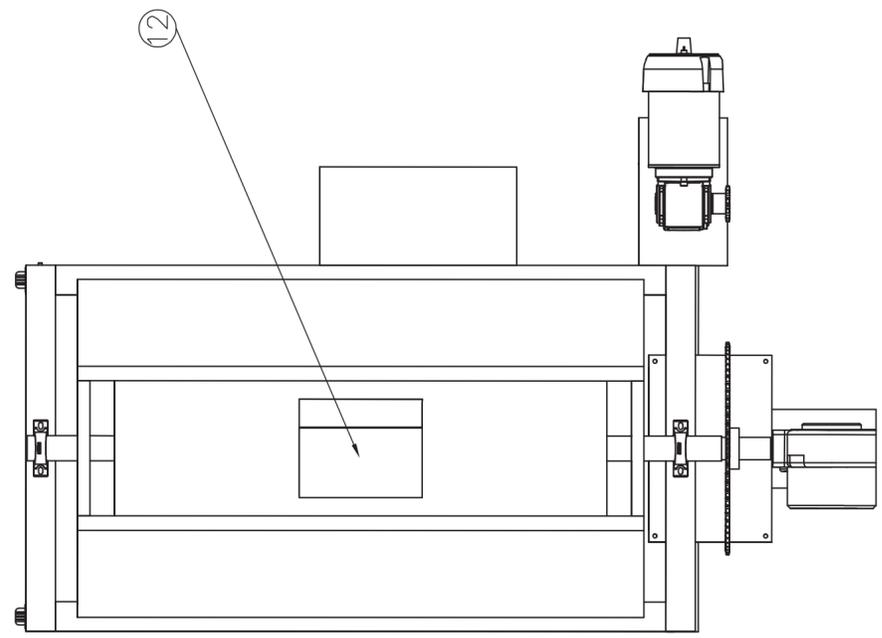
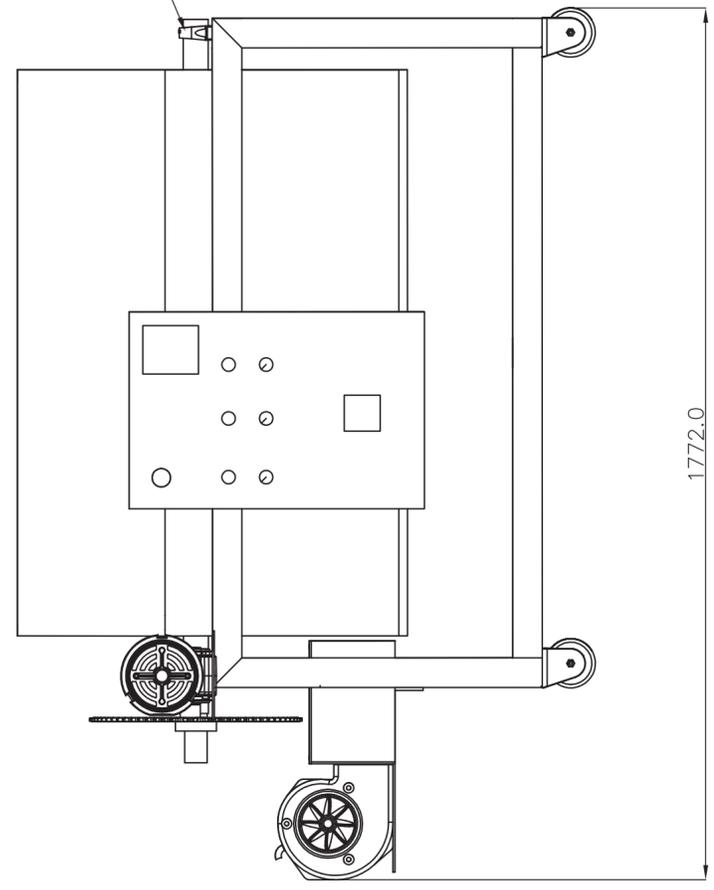
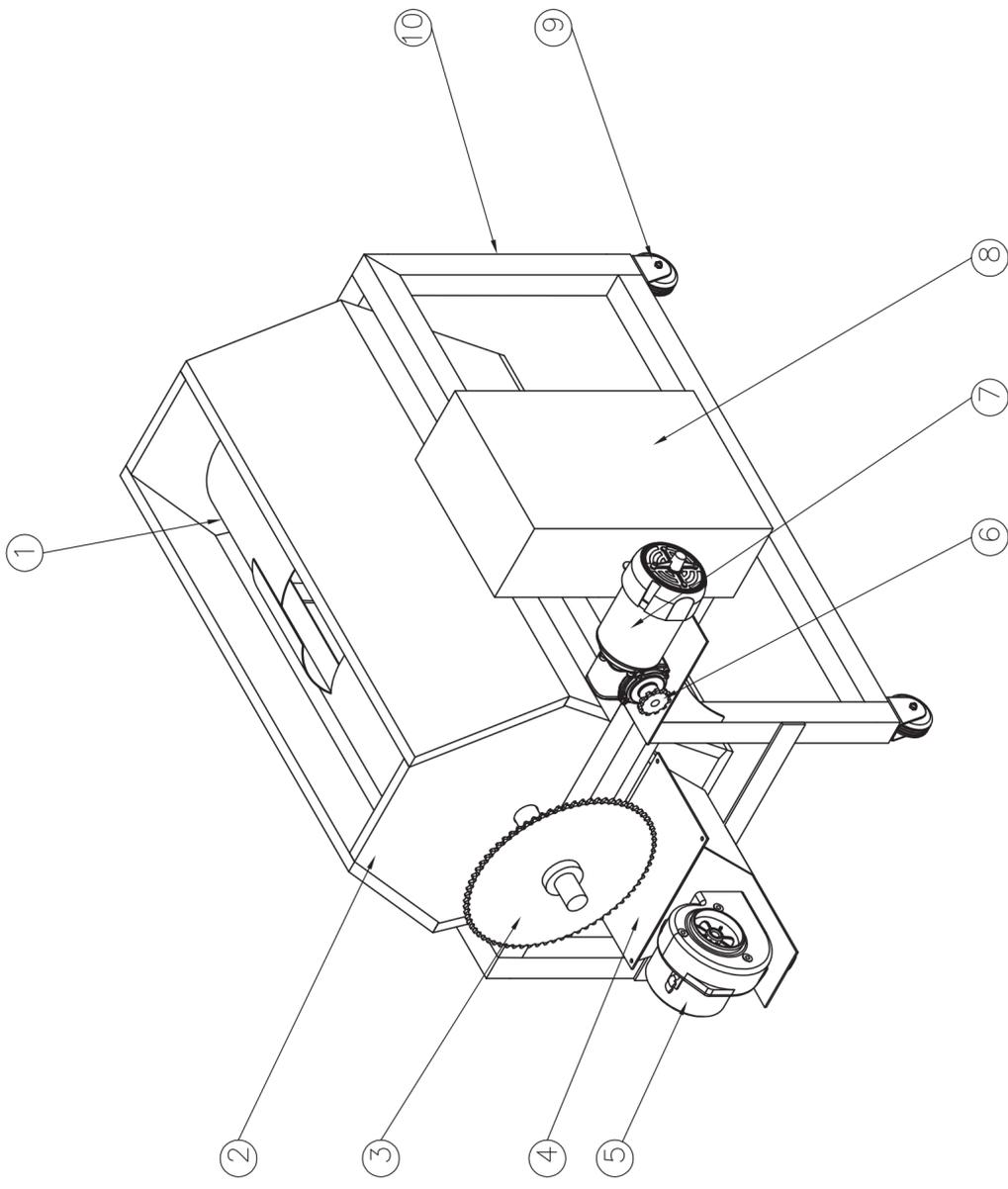


FUENTE: MAQUINARIA IMSA

ANEXO 25
SECADORA DE CACAO



PLANOS



N°	DENOMINACIÓN	CANT.	NORMA / PLANO	MATERIAL	OBSERVACIÓN
13	CUBRE BANDA	1	800 X 480	LAMINA GALVAN.	1mm
12	TAPA SUPERIOR	1	200 X 400	A. INOXIDABLE	ASTM A304
11	CHUMACERA DE PISO	2	P 211	A. AL CARBONO	FAG
10	ESTRUCTURA	1	SC 6	A. AL CARBONO	ASTM A36
9	GARRUCHAS	4	-----	CAUCHO	100 MM-320KG
8	GABINETE METALICO	1	-----	A. AL CARBONO	60X40X20
7	MOTOR REDUCTOR 1HP	1	-----	-----	25 RPM
6	PIÑÓN CONDUCTOR Z=11	1	SC 5	A. AL CARBONO	ASTM A36
5	VENTEROL	1	-----	-----	2 1/2 3600RPM
4	CAMARA DE RESISTENCIAS	1	SC 4	A. AL CARBONO	ASTM A36
3	PIÑÓN CONDUCIDO Z=68	1	SC 2	A. AL CARBONO	ASTM A36
2	PARED TERMICA	1	SC 3	LAMINA GALVAN.	0.50mm
1	CILINDRO	1	SC 1	A. INOXIDABLE	ASTM A304

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

PROYECTO: SECADORA

FECHA: 06-2011

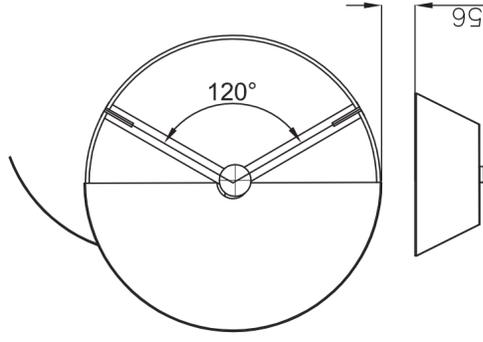
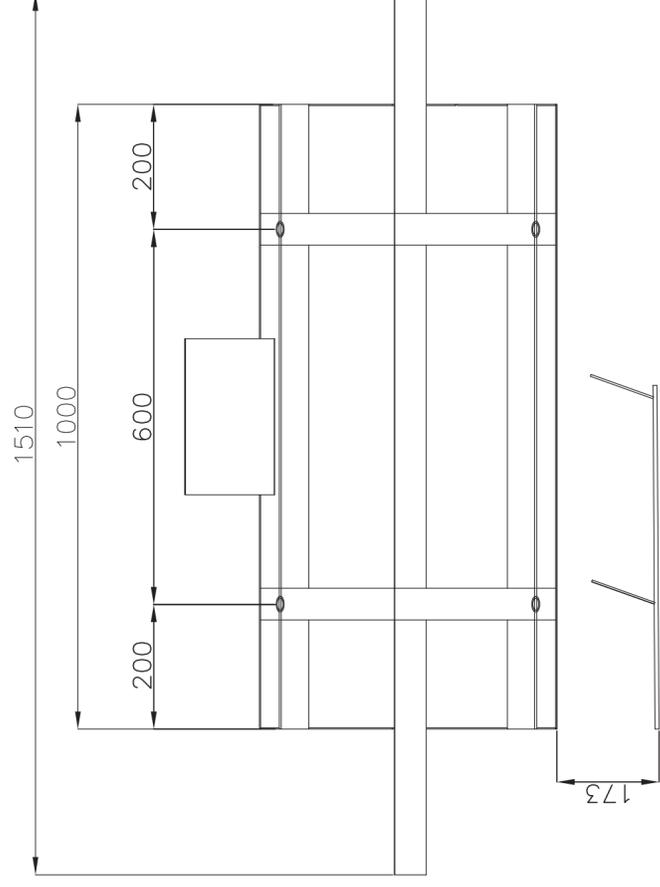
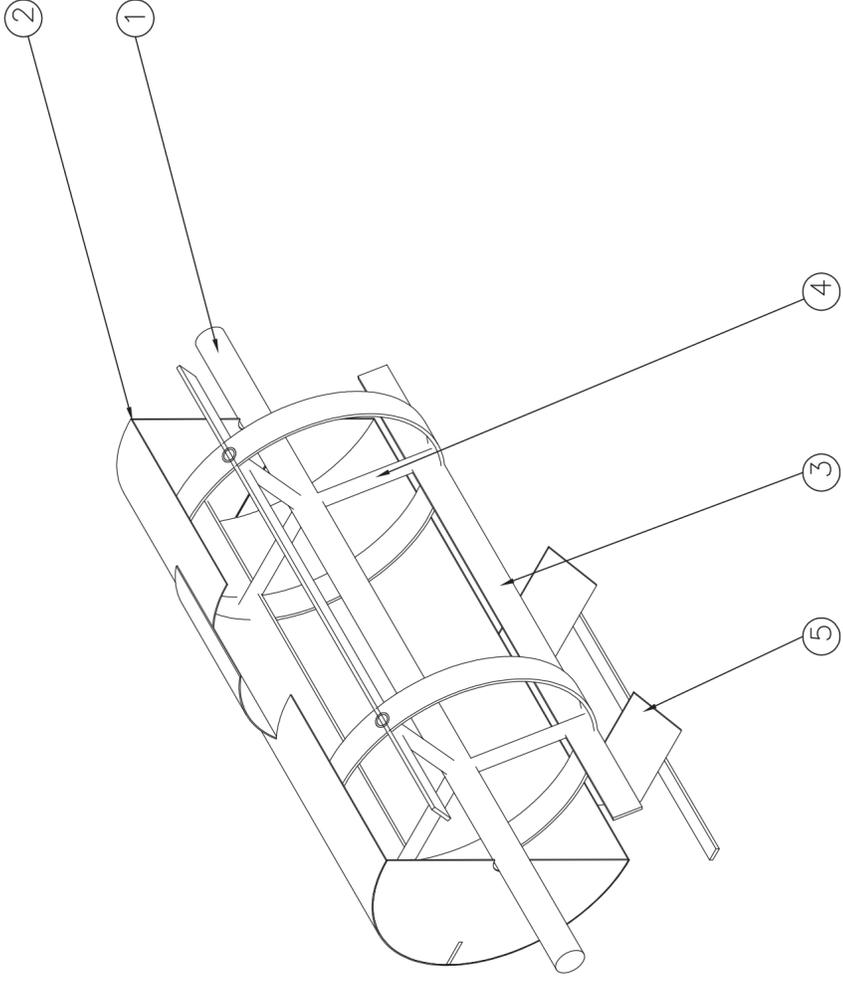
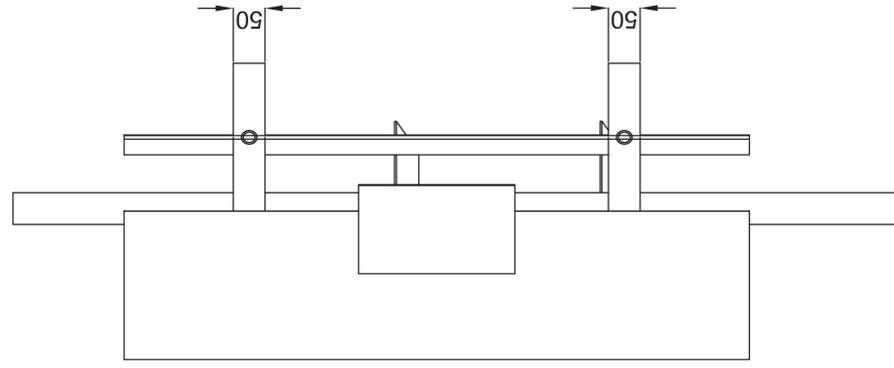
DISEÑO: VINICIO RAMÍREZ

SECADORA DE CACAO DE 2qq

ESCALA: 1:10

REVISO: ING. CENTENO

PLANO: # SC



N°	DENOMINACIÓN	CANT	NORMA/ PLANO	MATERIAL	OBSERVACIÓN
5	DEFLECTOR	1	SEC 1-5	A. AL CARBONO	ASTM A36
4	NERVIO	6	SEC 1-4	A. INOXIDABLE	ASTM A304
3	PESTAÑA	3	SEC 1-3	A. AL CARBONO	ASTM A36
2	CILINDRO PERFORADO	1	SEC 1-2	A. INOXIDABLE	ASTM A304
1	EJE PRINCIPAL	1	SEC 1-1	A. AL CARBONO	SAE 1018

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

PROYECTO: SECADORA

FECHA: 06-2011

DISEÑO VINICIO RAMIREZ.

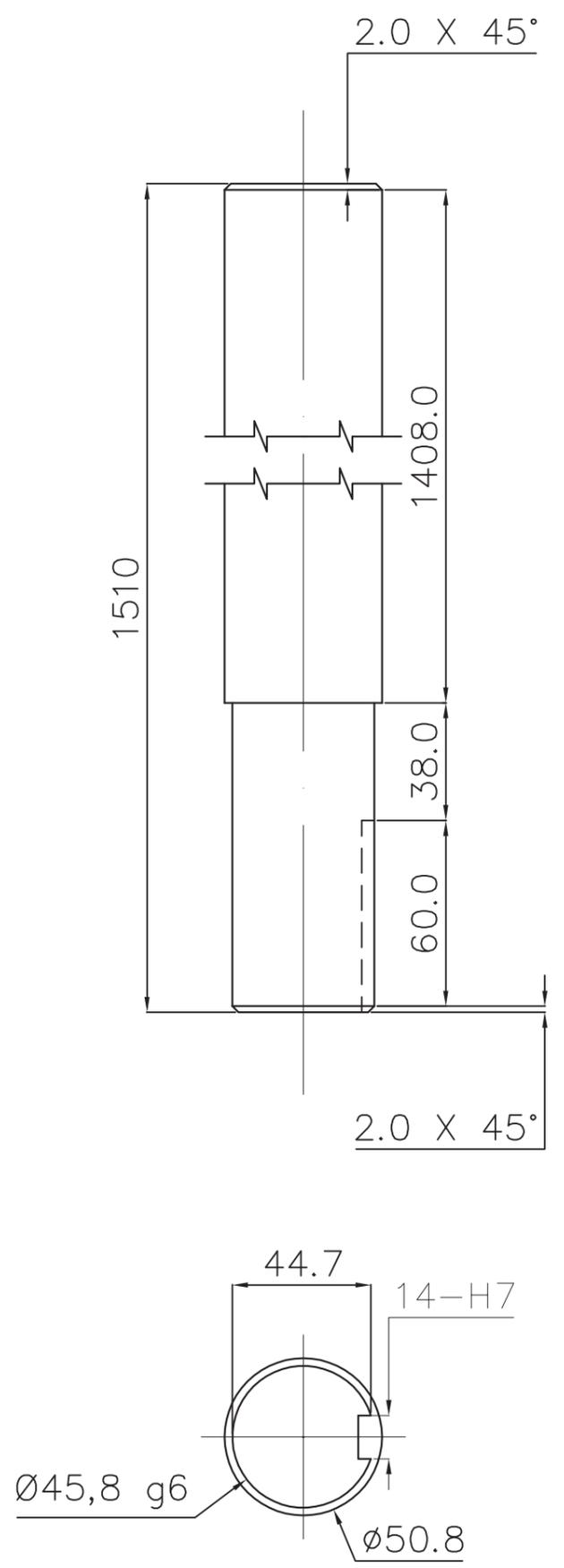
CILINDRO

ESCALA 1:8

REVISO: ING. C. CENTENO

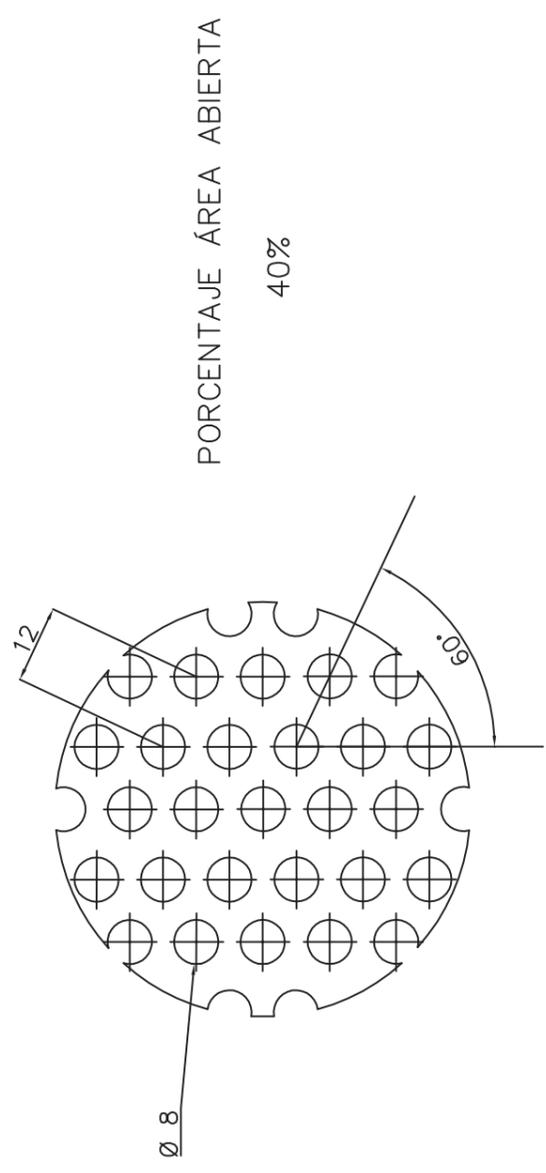
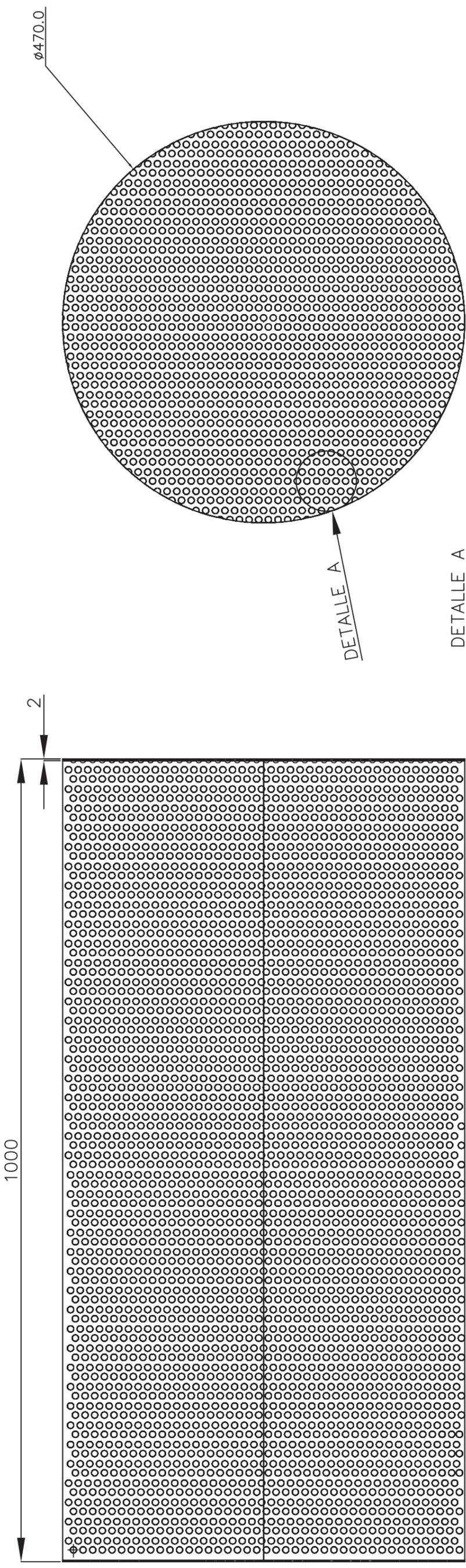
PLANO: # SC-1

N5



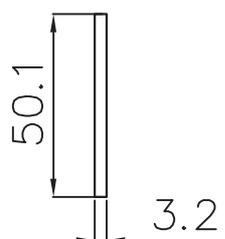
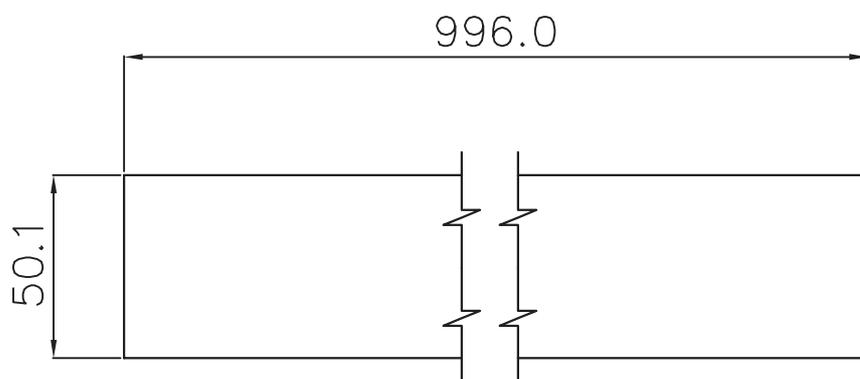
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL		
PROYECTO: SECADORA	EJE PRINCIPAL	FECHA: 06-2011
DISEÑO: VINICIO RAMÍREZ		ESCALA: 1:2
REVISO: ING. CENTENO		PLANO: # SC-1-1

N6



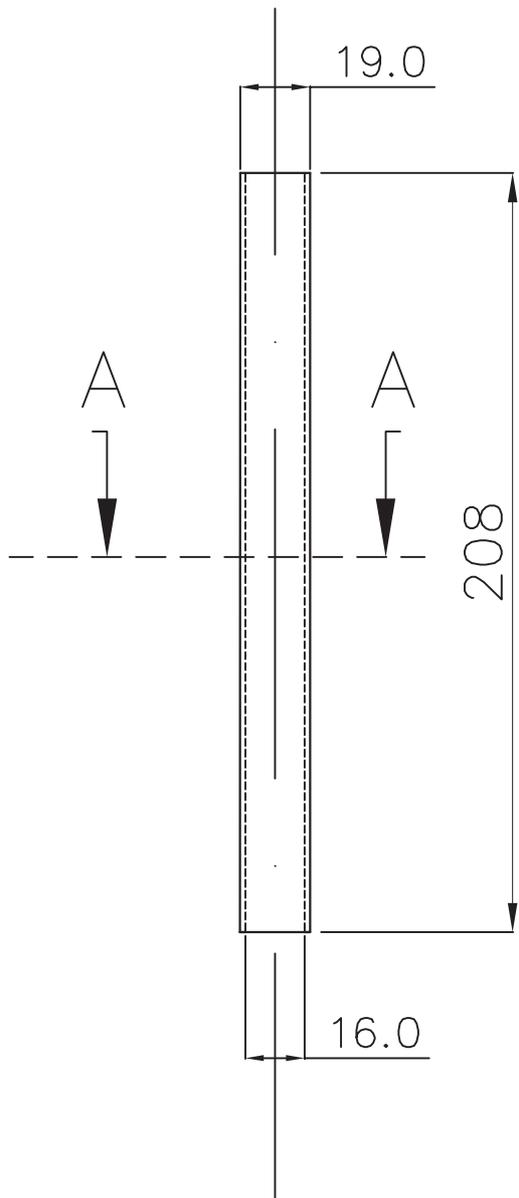
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL	
PROYECTO: SECADORA	FECHA: 06-2011
DISEÑO VINICIO RAMIREZ.	ESCALA 1:5
REVISO: ING. C. CENTENO	PLANO: # SC-1-2
CILINDRO PERFORADO	

N9

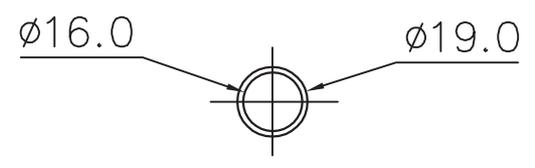


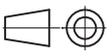
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL		
PROYECTO: SECADORA	PESTAÑA	FECHA: 06-2011
DISEÑO: VINICIO RAMÍREZ		ESCALA: 1:2 
REVISO: ING. CENTENO		PLANO: # SC-1-3

N9 ✓

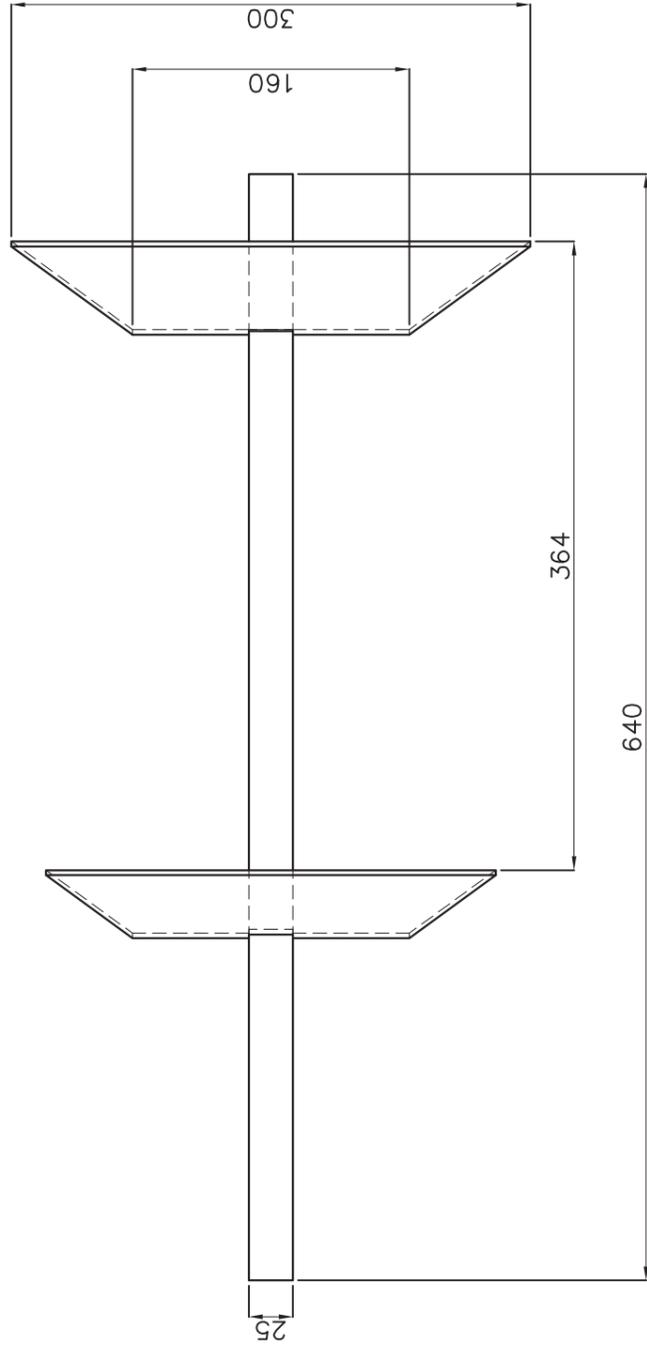
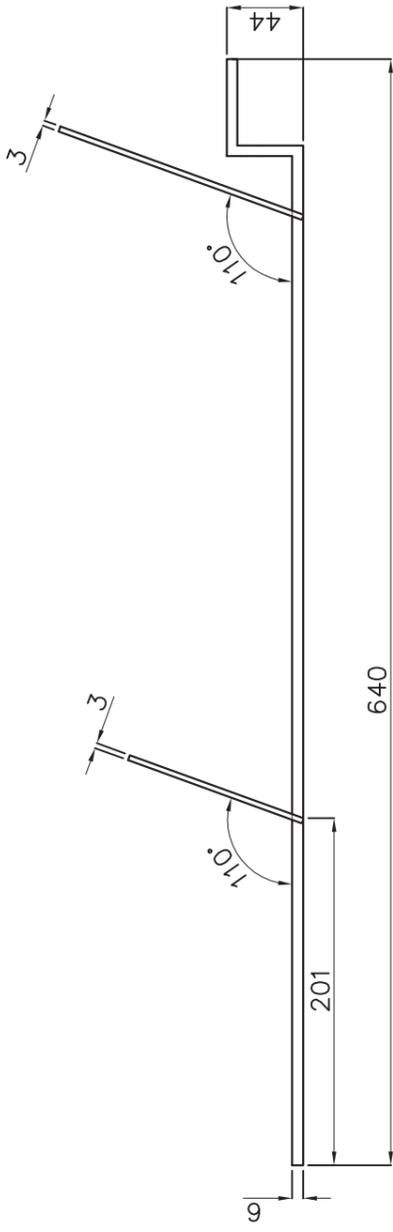
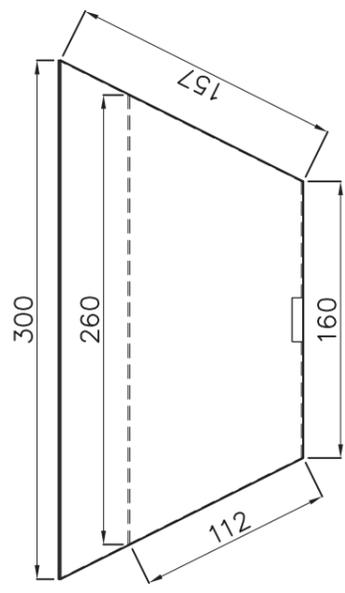


DETALLE DEL CORTE A-A



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL		
PROYECTO: SECADORA	NERVIO	FECHA: 06-2011
DISEÑO VINICIO RAMIREZ.		ESCALA: 1:2 
REVISO: ING. C. CENTENO		PLANO: # SC-1-4

N9



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

PROYECTO: SECADORA

FECHA: 06-2011

DISEÑO VINICIO RAMIREZ.

DEFLECTOR

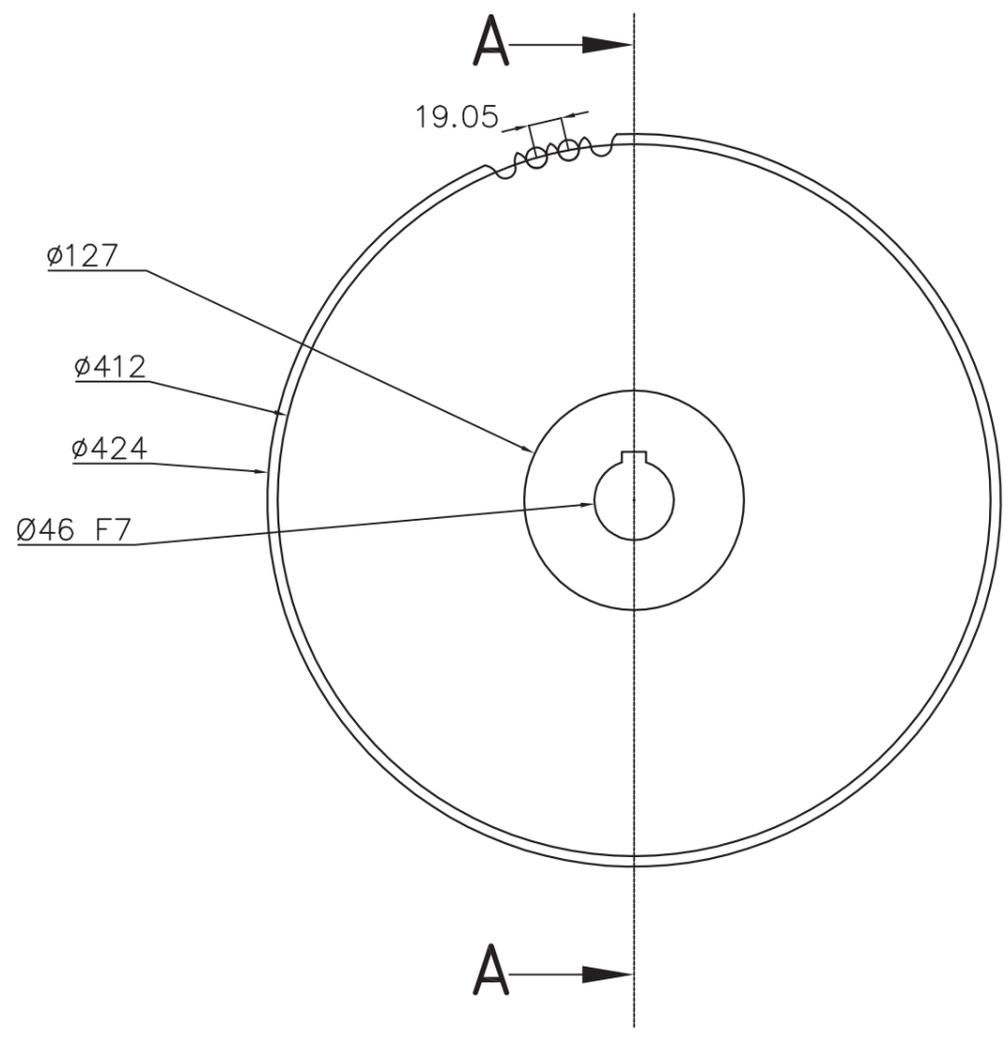
ESCALA 1:4



REVISO: ING. C. CENTENO

PLANO: # SC-1-5

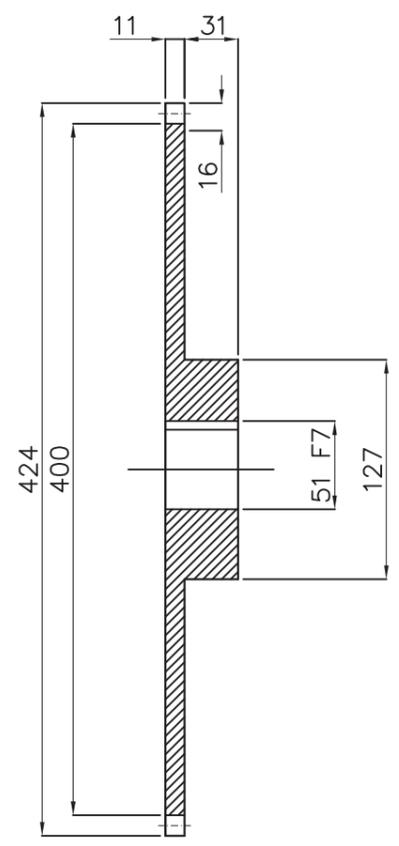
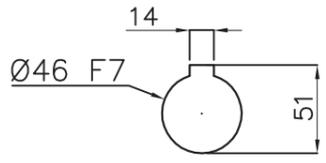
N9



DIMENSIONES DE LA CADENA	
NÚMERO	60
PASO	3/4
LARGO RODILLO	0,5
Ø RODILLO	0,46
Ø DEL PASADOR	0,234

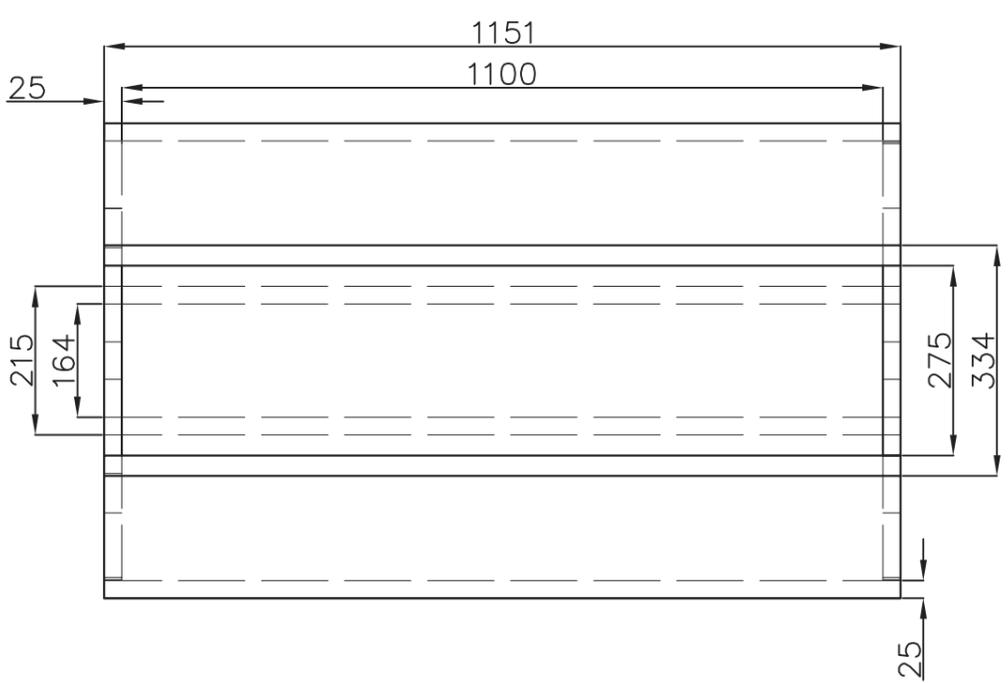
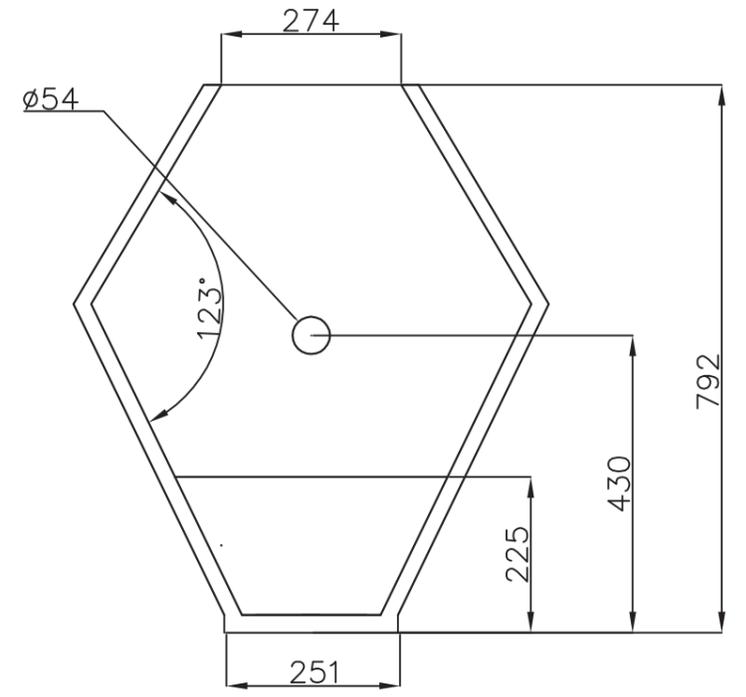
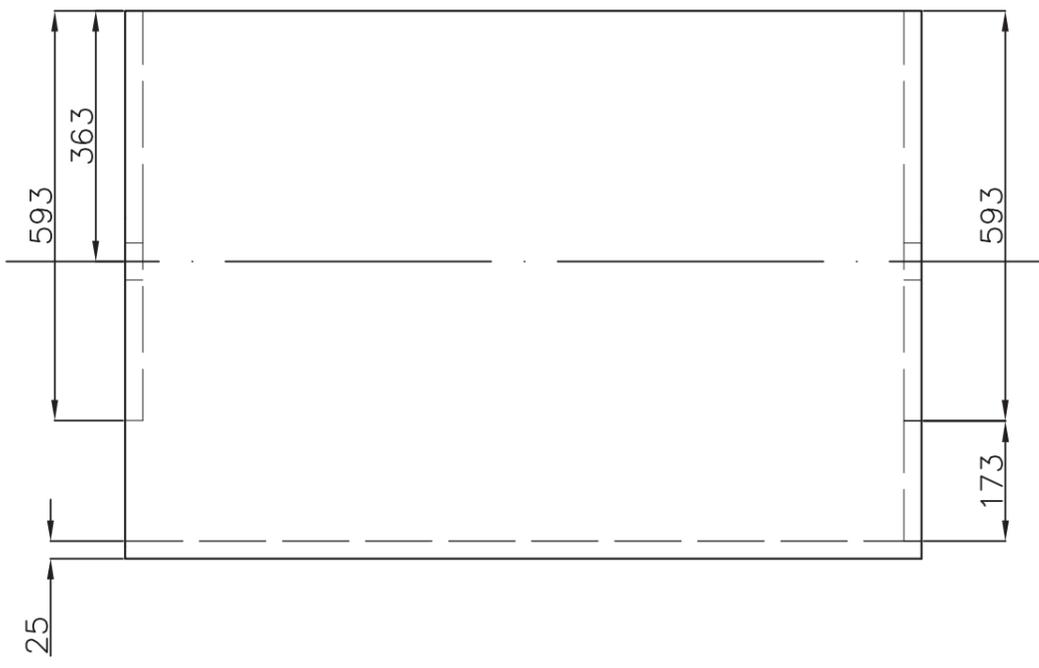
PIÑÓN CONDUcido	
N° DIENTES	68
PASO	3/4
Ø EXTERIOR	424,0
Ø PRIMITIVO	412,0

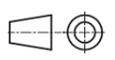
Detalle corte A-A



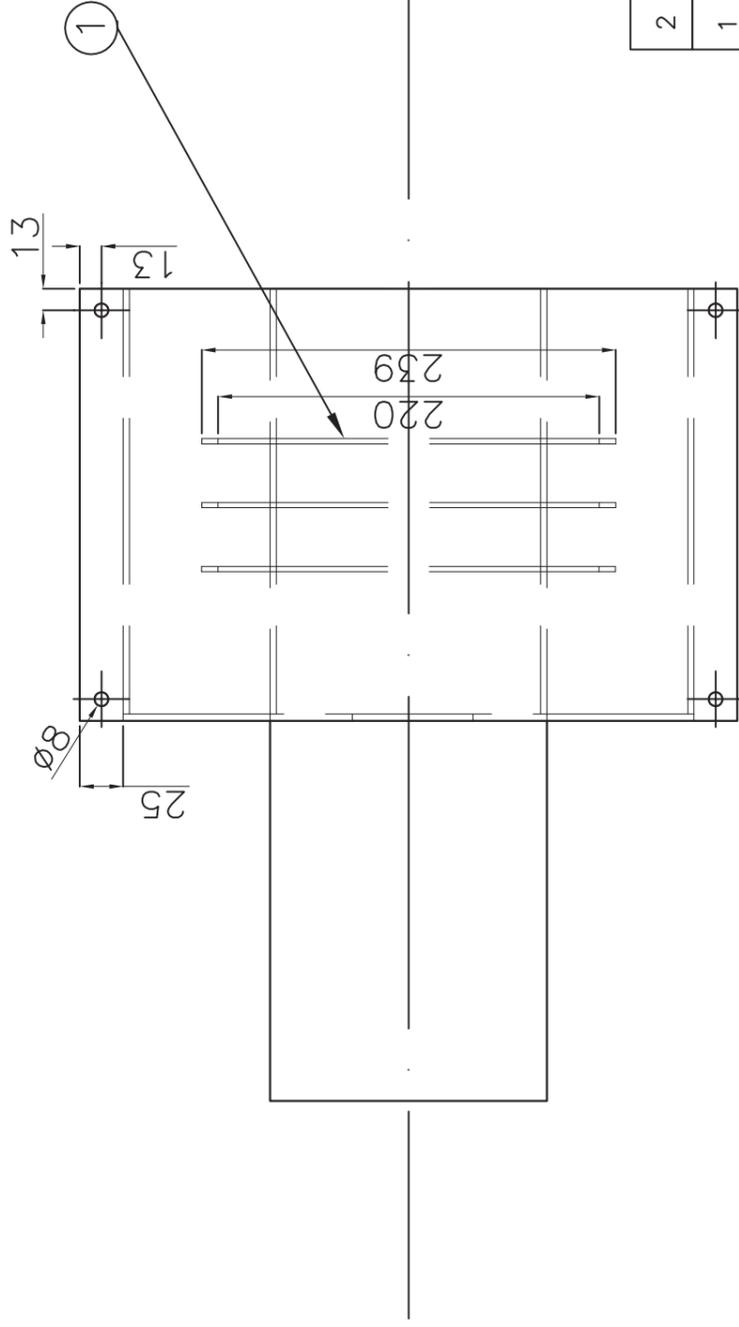
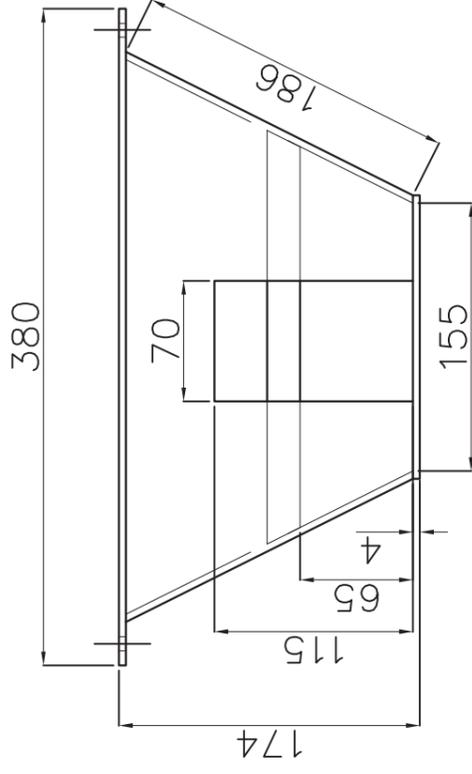
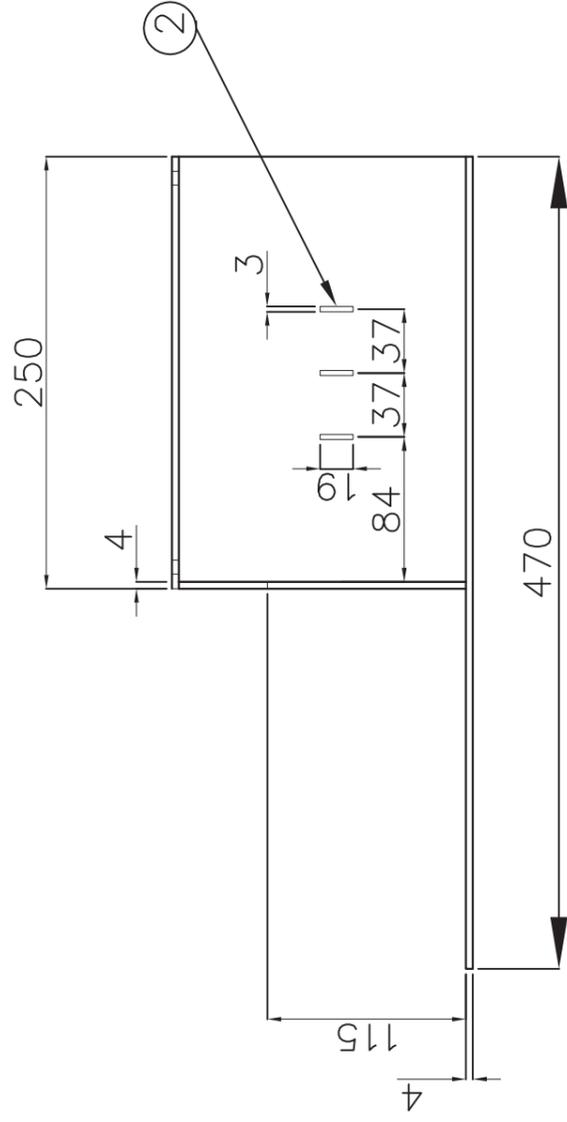
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL		
PROYECTO: SECADORA	PIÑÓN CONDUcido Z=68	FECHA: 06-2011
DISEÑO: VINICIO RAMÍREZ		ESCALA: 1:4
REVISO: ING. CENTENO		PLANO: # SC-2

N9

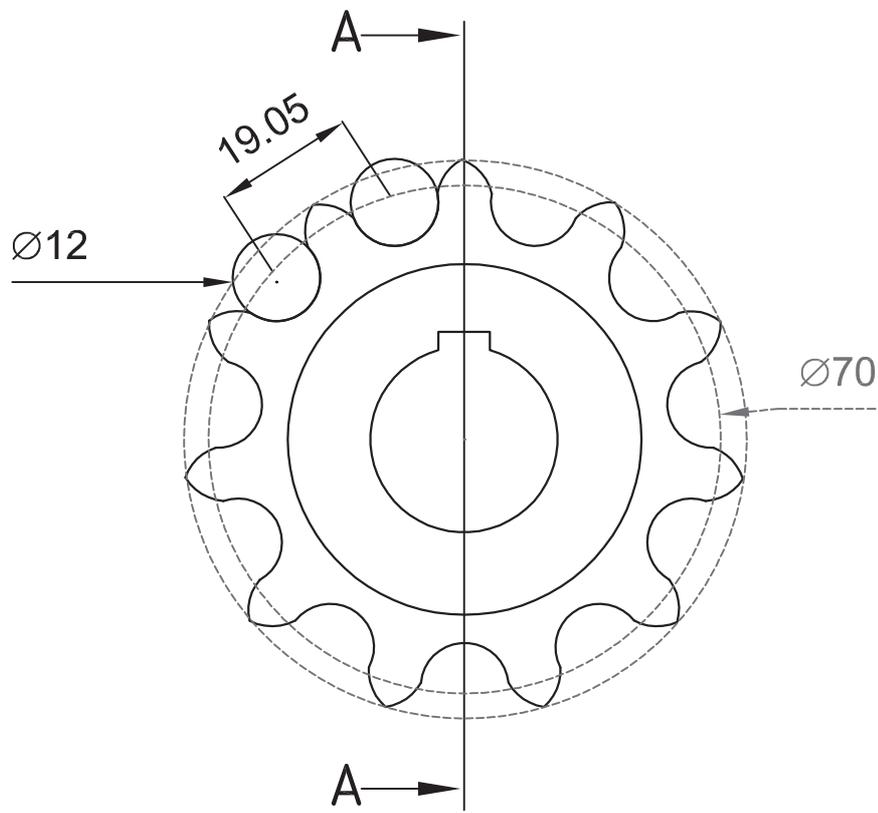


UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL		
PROYECTO: SECADORA	PARED TERMICA	FECHA: 06-2011
DISEÑO: VINICIO RAMÍREZ		ESCALA: 1:10 
REVISO: ING. CENTENO		PLANO: # SC-3

N9

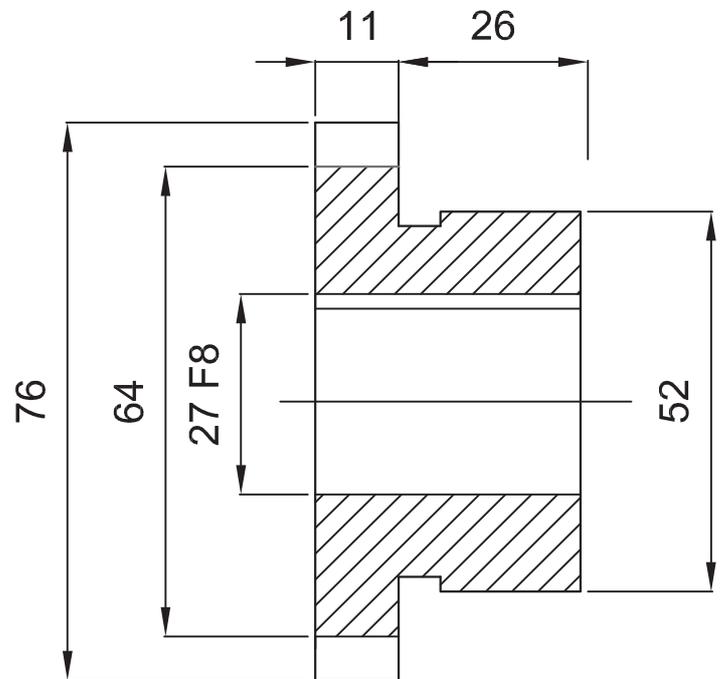
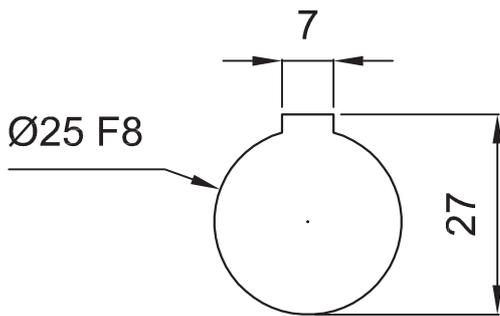


2	PLATINA	3	A. AL CARBONO	ASTM A36
1	RESISTENCIAS ELECTRICAS	3	NIQUEL - CROMO	2800 W - 220V
N°	DENOMINACIÓN	CANT	MATERIAL	OBSERVACIÓN
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL				
PROYECTO: SECADORA		CAMARA DE RESISTENCIAS		
DISEÑO VINICIO RAMIREZ.		FECHA: 06-2011		
REVISO: ING. C. CENTENO		ESCALA 1:4		
		PLANO: # SC-4		



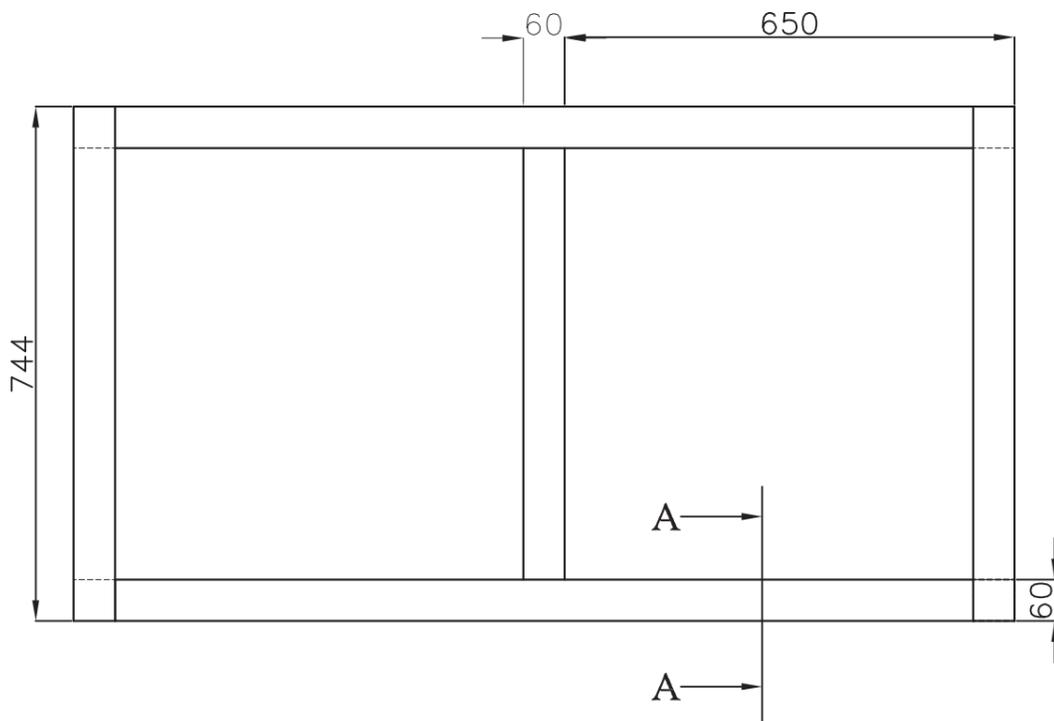
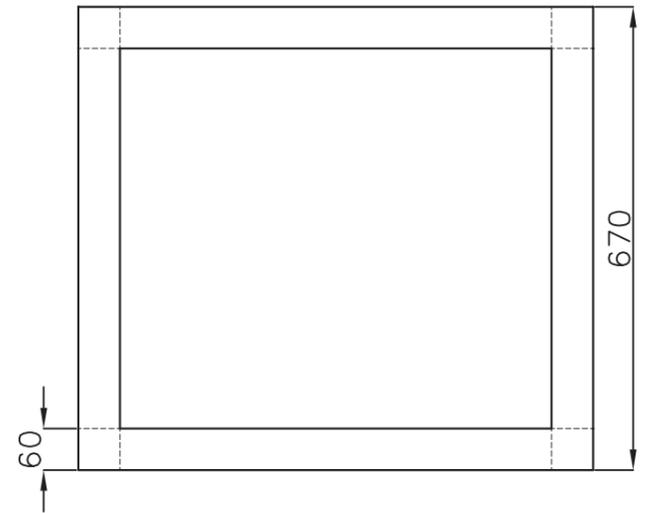
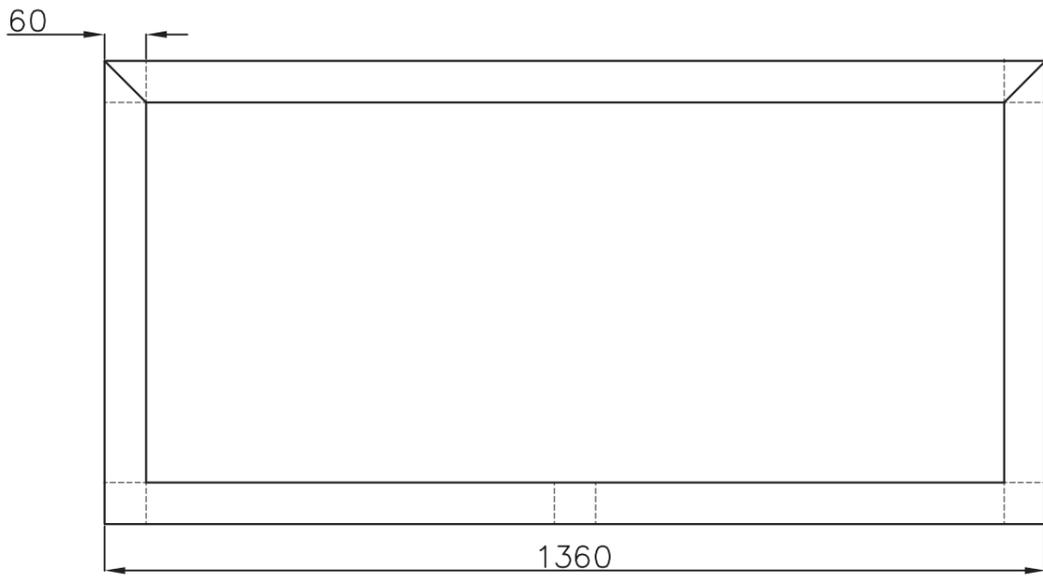
N5

Detalle corte A-A

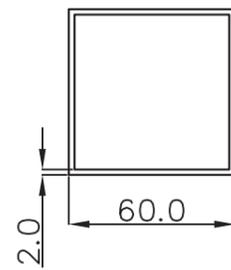


UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL		
PROYECTO: SECADORA	PIÑÓN CONDUCTOR Z=11	FECHA: 06-2011
DISEÑO VINICIO RAMIREZ.		ESCALA 1:1
REVISO: ING. C. CENTENO		PLANO: # SC -5

N9



DETALLE A-A
ESCALA 1:4



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

PROYECTO: SECADORA

DISEÑO: VINICIO RAMÍREZ

REVISO: ING. CENTENO

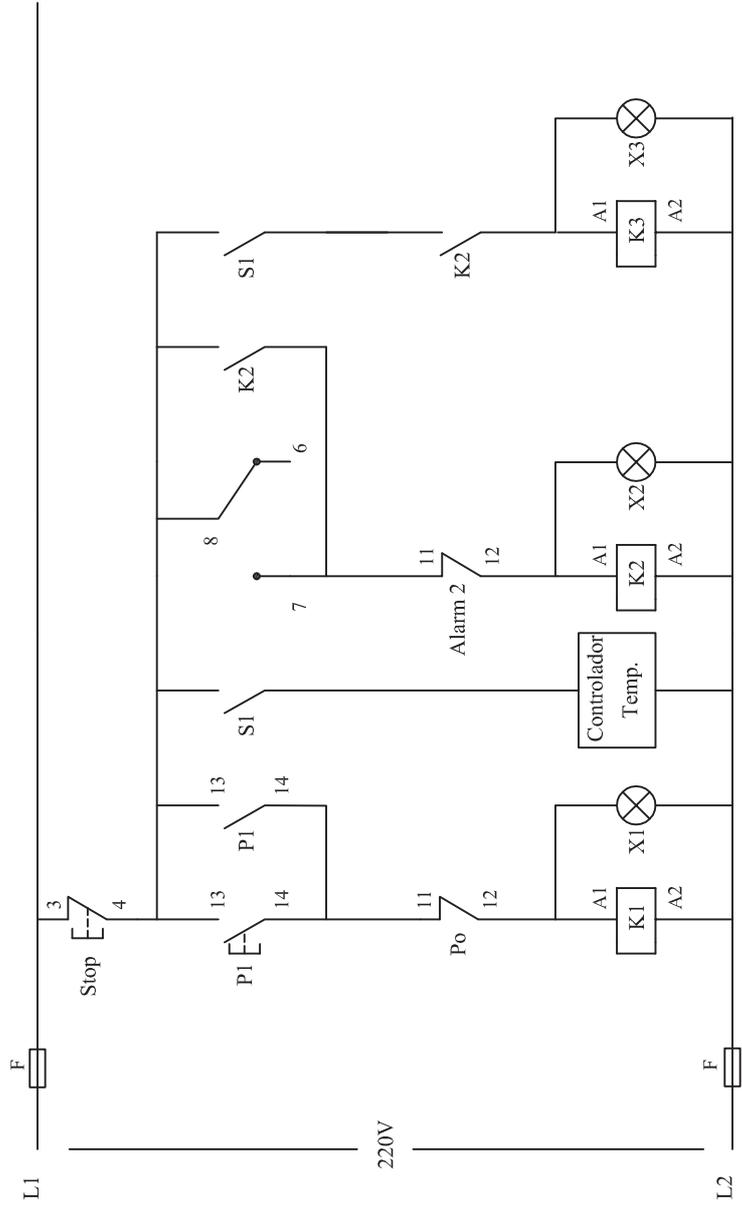
ESTRUCTURA

FECHA: 05-2011

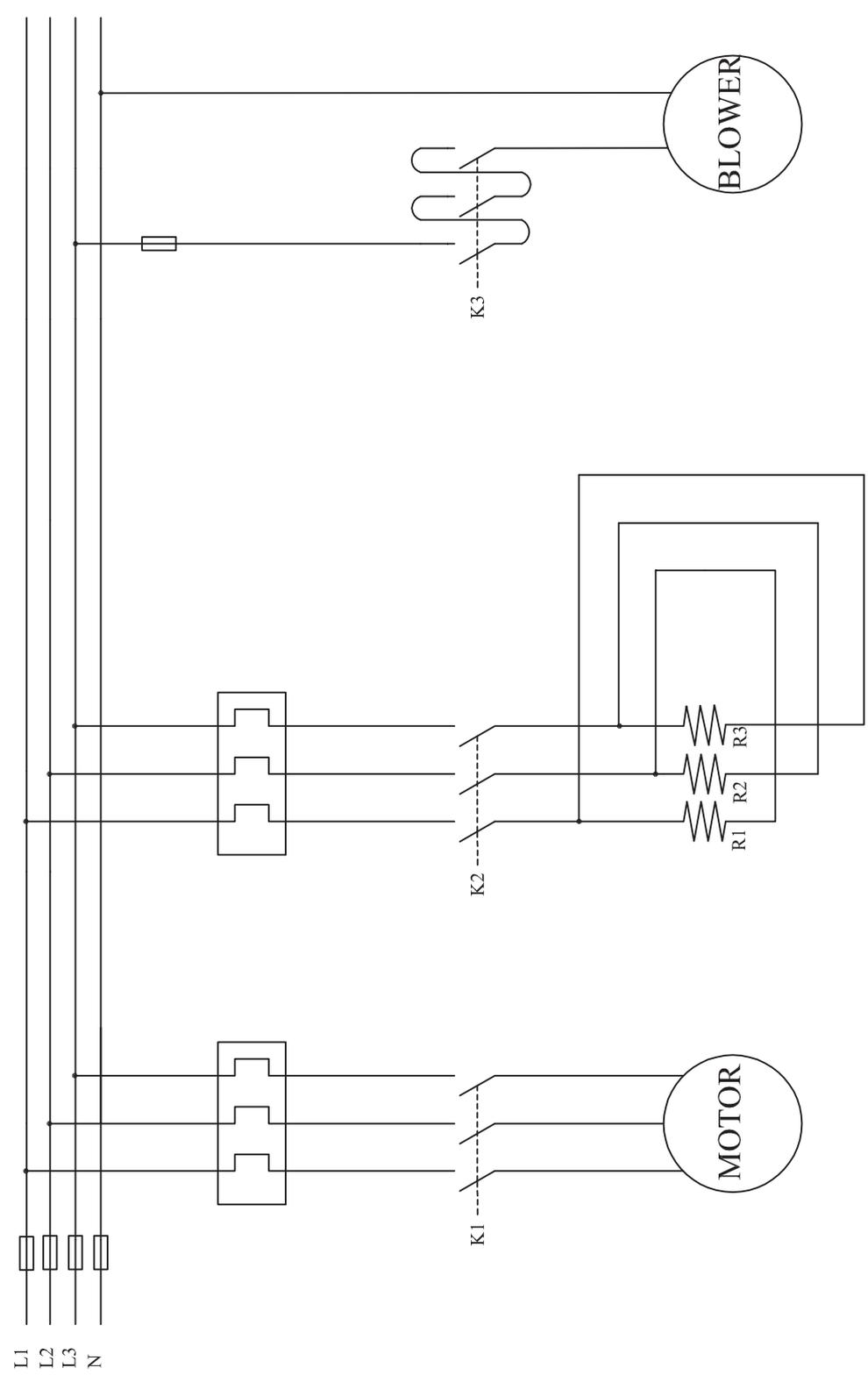
ESCALA: 1:10

PLANO: # SC-6





UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL	CIRCUITO DE CONTROL MAQUINA SECADORA DE CACAO		NOMBRE: VINICIO RAMIREZ	
			FECHA: 6-2011	REV:
ESC: ING. ELECTROMECANICA	COD: LAM. 1 DE 2			



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL ESC: ING. ELECTROMECÁNICA SECADORA DE CACAO	NOMBRE: VINICIO RAMIREZ	
	FECHA: 06-2011	REV:
	COD:	LAM. 2 DE 2