

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

DISEÑO DE DOS PROTOTIPOS PARA EL SECADO DE CAFÉ PARA EL NOROCCIDENTE DE PICHINCHA CÓDIGO 2014-EPN-TT-001

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

VERA BERMEO VÍCTOR DE JESÚS

epnvictorjesus@gmail.com

YUGSI HERRERA FANNY GISSELE

gisse88@gmail.com

DIRECTOR: ING. PALACIOS ENCALADA JOSÉ LUIS, M.Sc

jose.palacios@epn.edu.ec

CODIRECTOR: ING .PEÑA IDROVO ADRIÁN PATRICIO, M.Sc

patricio.pena@epn.edu.ec

Quito, Julio 2015

DECLARACIÓN

Nosotros, VERA BERMEO VÍCTOR DE JESÚS y YUGSI HERRERA FANNY GISSELE, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Vera Bermeo Víctor de Jesús

Yugsi Herrera Fanny Gissele

CERTIFICACIÓN

Certificamos que bajo nuestra supervisión, el presente proyecto previo a la obtención de título de Ingeniero Mecánico, fue desarrollado por los señores: VERA BERMEO VÍCTOR DE JESÚS y YUGSI HERRERA FANNY GISSELE

Ing. Palacios Encalada José Luis

DIRECTOR DEL PROYECTO

Ing. Peña Idrovo Adrián Patricio

CO-DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme dado el milagro de la vida y protegerme en cada paso que he dado en este mundo, y por dejarme llegar a este momento tan importante en mi formación profesional.

A mi madre y hermana que han demostrado su cariño y amor en cada día para que no me falte nada y poder culminar mis estudios.

A mi novia por acompañarme en cada paso para superar todos los obstáculos que se pusieron en frente, por ayudarme en esos momentos difíciles y disfrutar de esos momentos alegres, agradeciéndole su paciencia y dedicación.

Jesús

Mi mayor agradecimiento a Dios por dotarme de capacidad y valor, a mi madre por su apoyo incondicional, y a mi padre que en su ausencia, al ser llamado por dios ha sido un ángel para guiar cada paso que he dado.

A mis hermanas Nancy y Adriana que por su esfuerzo y ayuda han sido parte de mi éxito y logro.

También a Lucia y Daniela por su apoyo incondicional y ánimo en cada situación.

A mi cuñado y sobrinos gracias por formar parte de mi vida.

A mi novio por su constante presencia, paciencia, tolerancia y cariño.

A la Escuela Politécnica Nacional por darme la oportunidad de aprender en sus aulas con magníficos e ilustres ingenieros que en todo momento han cultivado conocimiento, fortaleza y valores éticos para aplicar en todo momento.

Un dios les pague a todos.

Gissele

DEDICATORIA

El presente proyecto es dedicado para mi bella familia que es un pilar fundamental en mi vida, que han permitido complementar y terminar esta etapa y dar un paso importante para mi presente y futuro, a mis padres quienes con todo su amor y lucha constante han hecho que culmine este proceso que empezó hace 5 años, y ahora con la presencia física de mi madre que con su total esfuerzo y amor evitó y ayudó a que decaiga en los momentos más débiles que toda mi familia atravesó, a mi padre que empezó a guiar mis pasos, no lo completó, pues dios lo llamó a su lado, claro, necesitaba un ser único y especial con él, pero su ejemplo bastó para que yo continuara con su camino y ser lo que él anhelaba, una excelente persona. A mis hermanas: Nancy que gracias a su fortaleza demostrada a diario fue una figura para no decaer en medio de grandes pruebas y que me brindó su mano como apoyo para seguir con mi superación y culminación de este gran reto; Lucía gracias por tu carisma y gran ejemplo de paciencia, esa sonrisa que siempre hay de por medio ha cambiado cualquier momento de debilidad y tristeza que hemos atravesado, Adriana dios te pague de todo corazón, porque has sido una hermana que en todo momento ha estado y aunque con tu seriedad, siempre me ayudaste con entereza y cariño; y Daniela tu inocencia hace que en muchas situaciones se conviertan en un apoyo emocional e incondicional. A mis sobrinos Aracely, Martín, Sofía y Julián por su mirada dulce y sonrisa angelical han transformado cualquier situación agobiante en momentos dulces de mi vida, a mi cuñado Marco que es como un hermano más, también por su ayuda, muchas gracias. Finalmente, a mi enamorado por su constancia y total apoyo, Te Amo. Millón gracias a mi familia extensa los adoro, los amo.

Gissele

Dedico esta tesis a mi familia por ser un gran apoyo emocional en cada paso que he dado, especialmente a mi madre que se ha esforzado para que sea un hombre de bien inculcándome sus valores y respeto.

A mi hermana por haberme acompañado en este camino, siendo testigo del cumplimiento de mis deberes para ser un profesional.

A la persona que más adoro en este mundo y ha sido un apoyo de aliento y de trabajo, y ha sabido darme los consejos adecuados con cariño y amor, para no decaer en el transcurso de este camino arduo de sacrificio, gracias a ti mi amor por ser la columna que sostiene mi vida y haces que siga adelante y me supere en cada paso.

A mis amigos, que nos apoyamos mutuamente en nuestra formación profesional, y hasta hoy conservamos nuestra amistad.

Jesús

ÍNDICE

CAPÍTULO 1	GENERALIDADES DEL CAFÉ	1
1.1	INTRODUCCIÓN	1
1.2	CAFÉ EN EL ECUADOR	2
1.2.1	ASPECTOS GENERALES	4
1.3	MÉTODOS PARA EL PROCESO VEGETATIVO DEL CAFÉ.....	4
1.3.1	PROCESO DE SIEMBRA	5
1.3.2	ÉPOCA DE ESTADO DE COSECHA.....	5
1.3.3	MANEJO DE ESTADO DE POSTCOSECHA	5
1.4	DETERMINACIÓN EMPÍRICA DE LA HUMEDAD DEL GRANO DE CAFÉ.....	6
1.4.1	FORMA VISUAL.....	6
1.4.2	CON EL DIENTE	6
1.4.3	CON NAVAJA O CUCHILLO.....	6
1.4.4	CON MARTILLO.....	6
CAPÍTULO 2	SECADO DE GRANOS	7
2.1	SECADO	7
2.1.1	TIPOS DE SECADORES.....	8
2.1.1.1	Clasificación General de Secadores para granos.....	8
2.1.1.2	Clasificación específica para secadores de café.....	9
2.1.2	CONDICIONES PARA CÁLCULOS ENERGÉTICOS.....	14
CAPÍTULO 3	ANÁLISIS DE CAMPO Y SELECCIÓN DE 2 TIPOS DE SECADORES.....	26
3.1	LUGARES VISITADOS.....	26
3.2	MÉTODOS DE SECADO UTILIZADOS EN FINCAS DE LA PROV. DE PICHINCHA.....	27
3.2.1	ANÁLISIS DE MÉTODOS DE SECADO USADO EN DIFERENTES CENTRO.....	27
3.3	PROCEDIMIENTO DE SELECCIÓN DEL SECADOR	42
3.4	ELEMENTOS PARA SECADORES DE SILO	50
CAPÍTULO 4	ESPECIFICACIONES PARA LOS PROTOTIPOS DE SECADORES	54
4.1	CASA DE LA CALIDAD.....	54
4.1.1	LA VOZ DEL USUARIO	54
4.1.2	ANÁLISIS DE COMPETITIVIDAD	54
4.1.3	LA VOZ DEL INGENIERO.....	56
4.1.4	COMPARACIÓN TÉCNICA.....	56
4.1.5	CORRELACIÓN	56
4.1.6	EVALUACIÓN TÉCNICA	56
4.2	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.....	57
4.3	ANÁLISIS FUNCIONAL	59
4.3.1	NIVEL 0	59
4.3.2	NIVEL 1	60
4.3.3	NIVEL 2	60
4.4	ESTRUCTURA MODULAR.....	61
4.5	SOLUCIONES PARA CADA MÓDULO.....	61
4.5.1	ALTERNATIVAS PARA SECADOR DE SILO DE TRES PISOS Y DOS PISOS.....	61
4.5.2	SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE SECADORES, 1 Y 3 PISOS-BANDEJAS.....	87
CAPÍTULO 5	DISEÑO Y CÁLCULOS DE SECADORES TIPOS SILO DE 1 PISO Y 3 PISOS	94
5.1	DISEÑO Y CÁLCULO DE UN SECADOR DE SILO DE TRES PISOS	94
5.1.1	CONDICIÓN, PARÁMETROS Y DATOS PARA EL DISEÑO DEL SECADOR	94
5.1.2	DETERMINACIÓN DE LAS DIMENSIONES DEL SECADOR	96
5.1.3	CÁLCULO DE FUERZAS ACTUANTES.....	97
5.1.4	CÁLCULO DE TORQUE Y POTENCIA	102
5.1.5	SELECCIÓN DEL DIÁMETRO DEL EJE REMOVEDOR DE PALETAS	104

5.1.6	DISEÑO Y CÁLCULO DE PALETAS REMOVEDORAS.....	107
5.1.7	DISEÑO Y CÁLCULO PARA LA SELECCIÓN DE CONO-CORONA	109
5.1.8	DISEÑO Y CÁLCULO PARA EL EJE MOTRIZ PRINCIPAL	109
5.1.9	DISEÑO Y CÁLCULO DE LA PLANCHA PERFORADA	114
5.1.10	CÁLCULO DEL ESPESOR DEL TANQUE	116
5.1.11	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA SOPORTE PARA LA PLANCHA PERFORADA.....	116
5.2	DISEÑO Y CÁLCULO DEL SECADOR DE SILO DE TRES PISOS	136
5.2.1	CONDICIÓN, PARÁMETROS Y DATOS PARA EL SECADOR	136
5.2.2	DETERMINACIÓN DE LAS DIMENSIONES DEL SECADOR	137
5.2.3	CÁLCULO DE FUERZAS ACTUANTES.....	139
CAPITULO 6 ANÁLISIS DE COSTOS.....		198
6.1	Análisis de costos del Secador de Silo de Un Piso.....	198
6.2	Análisis de costos del Secador de Silo de Tres Pisos	201
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		204
CONCLUSIONES		204
RECOMENDACIONES		205
BIBLIOGRAFÍA.....		207
ANEXOS		210
ANEXO 1 CASA DE LA CALIDAD		211
ANEXO 2. ANÁLISIS DE COMPETENCIA.....		212
ANEXO 3 ANÁLISIS FUNCIONAL NIVEL 2		214
ANEXO 4 FACTORES DE DISEÑO PARA EJES		215
ANEXO 5. CATÁLOGO DIPAC, TUBO ESTRUCTURAL CUADRADO		217
ANEXO 6. DIÁMETRO Y ÁREAS DE ROSCAS DE PASO FINO Y BASTO		219
ANEXO 7. ESPECIFICACIONES Y MARCAS PARA PERNOS Y TORNILLOS		220
ANEXO 8. FACTORES PARA SELECCIÓN DE CADENA		221
ANEXO 9. CATÁLOGO DEL MOTOREDUCTOR.....		229
ANEXO 10. MATERIALES DE APORTE PARA ACEROS INOXIDABLES		233
ANEXO 11. PROFORMAS O COTIZACIONES DE ELEMENTOS PARA LA CONSTRUCCIÓN		234
ANEXO 12. CATÁLOGO DE VENTILADORES		239
ANEXO 13. PRECIOS DE MANO DE OBRA.....		241
ANEXO 14. PONDERACIÓN PARA SELECCIÓN DE DOS PROTOTIPOS		243
ANEXO 15. EVALUACIÓN DE PESOS ESPECÍFICOS DE CADA MÓDULO PARA LA SELECCIÓN DE ELEMENTOS CORRESPONDIENTES A LOS SECADORES DE SILO		245
ANEXO 16. TABLAS PARA SELECCIÓN Y COMPRABACIÓN DE LA CADENA CORRECTA		265
ANEXO 17. TOMA DE DATOS DE FINCA PARAGUA		266
ANEXO 18. AMORTIZACIÓN DE LOS DOS PROTOTIPOS		268
ANEXO 19. COSTO DEL CONSUMO DE ENERGÍA PARA LOS DOS PROTOTIPOS		272
ANEXO 20. PROTOCOLO DE PRUEBAS.....		273
ANEXO 21 PLANOS		276

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. 1 ZONAS CAFETALERAS DEL ECUADOR, COFENAC, GTZ 2009	4
FIGURA 1. 2 ESTRUCTURA INTERNA DEL FRUTO DE CAFÉ	4
FIGURA 2. 1 CLASIFICACIÓN DE SECADORES MECÁNICOS	9
FIGURA 2. 2 SECADOR TIPO GUARDIOLA.....	10
FIGURA 2. 3 SECADOR MCDOWELL	10
FIGURA 2. 4 SECADOR DE BANDEJAS CON TANDAS SEMICONTINUAS.....	11
FIGURA 2. 5 SECADOR TIPO SILO	12
FIGURA 2. 6 SECADO EN PATIO.....	12
FIGURA 2. 7 SECADOR SOLAR TIPO INVERNADERO	13
FIGURA 2. 8 SECADOR MULTIPROPÓSITO	13
FIGURA 2. 9 SECADOR DE TAMBOR ROTATORIO	14
FIGURA 3. 1 SECADOR TIPO GUARDIOLA	27
FIGURA 3. 2 (A) MEDIDOR DE PRESIÓN; (B) VÁLVULA REGULADORA DE PASO DE GAS	28
FIGURA 3. 3 (A) SECADOR GUARDIOLA (B) COMPOSICIÓN INTERNA DEL GUARDIOLA	28
FIGURA 3. 4 PROCESO DE POSTCOSECHA DEL CAFÉ	30
FIGURA 3. 5 VARIABLES EN CADA ETAPA DE LA COSECHA Y POSTCOSECHA	31
FIGURA 3. 6 PLANTA DE CAFÉ ARÁBIGO	32
FIGURA 3. 7 (A) DIMENSIONES DE MARQUESINA (B) CONSTRUCCIÓN MARQUESINAS.....	35
FIGURA 3. 8 DETERMINADOR DE HUMEDAD	35
FIGURA 3. 9 DIMENSIONES DE ESPACIO QUE OCUPAN LAS MARQUESINAS EN FINCA	37
FIGURA 3. 10 MARQUESINA DE LA FINCA MAPUTO,CAFÉ FERMENTADO EN VÍA SECA.....	39
FIGURA 3. 11 ((A) REMOVIENDO EL CAFÉ DURANTE EL PROCESO DE PRESECADO EN LA FINCA MAPUTO, SECADOR DE CAFÉ, (B) PENAGOS DE BANDEJAS DE TRES PISOS .	40
FIGURA 3. 12 (A) ESPECIFICACIONES DEL SECADOR DE SILO DE TRES PISOS, (B)ESPECIFICADORES DEL MOTOR DEL VENTILADOR, (C) BANDEJAS DE TRES PISOS PARA EL SECADOR DE SILO.....	41
FIGURA 4. 1 NIVEL CERO (0) DEL ANÁLISIS FUNCIONAL	59
FIGURA 4. 2 NIVEL UNO (1) DEL ANÁLISIS FUNCIONAL.....	60
FIGURA 4. 3 PRIMER MÓDULO DEL ANÁLISIS FUNCIONAL	62
FIGURA 4. 4 TORNILLO SIN FIN PARA LA CARGA DE GRANO	62
FIGURA 4. 5 CANGILONES PARA LA CARGA DE GRANOS	63
FIGURA 4. 6 SEGUNDO MÓDULO DEL ANÁLISIS FUNCIONAL.....	65
FIGURA 4. 7 SEGUNDO MÓDULO DEL ANÁLISIS FUNCIONAL.....	65
FIGURA 4. 8 VENTILADOR CENTRÍFUGO	66
FIGURA 4. 9 ENGRANAJES	68
FIGURA 4. 10 BANDA POLEA.....	69
FIGURA 4. 11 CADENA PIÑÓN.....	70
FIGURA 4. 12 CONO Y CORONA.....	71
FIGURA 4. 13 MOTOR-REDUCTOR A RPM REQUERIDAS	72
FIGURA 4. 14 TERCER MÓDULO.....	73
FIGURA 4. 15 QUEMADOR DE GAS	74
FIGURA 4. 16 RESISTENCIAS ELÉCTRICAS.....	75
FIGURA 4. 17 CUARTO MÓDULO	76
FIGURA 4. 18 PALETA TIPO TRINCHE	77
FIGURA 4. 19 PALETA RECTANGULAR	77
FIGURA 4. 20 PALETA TRAPEZOIDAL.....	78
FIGURA 4. 21 PALETA ANGULAR	79
FIGURA 4. 22 QUINTO MÓDULO.....	80
FIGURA 4. 23 MEDIDORES DE HUMEDAD Y TEMPERATURA	81
FIGURA 4. 24 SEXTO MÓDULO.....	82
FIGURA 4. 25 COMPUERTA CORREDIZA POR GUÍA	83
FIGURA 4. 26 COMPUERTA CON BISAGRA.....	83
FIGURA 4. 27 COMPUERTA LATERAL CORREDIZA	84
FIGURA 4. 28 DISPOSITIVO ACOPLE	85

FIGURA 4. 29 MESA	86
FIGURA 4. 30 ESQUEMA DEL PRINCIPIO BÁSICO DEL SECADO DE CAFÉ DE TRES PISO...	92
FIGURA 4. 31 ESQUEMA TÍPICO DE SECADO DE CAFÉ DE UN PISO[15]	93
FIGURA 5. 1 DISTRIBUCIÓN DE PALETAS EN EL SECADOR DE SILO DE UN PISO	97
FIGURA 5. 2 FUERZAS ACTUANTES DE EMPUJE Y FUERZA DE ROZAMIENTO.....	99
FIGURA 5. 3 DIAGRAMA DEL CUERPO LIBRE	104
FIGURA 5. 4 DIAGRAMAS DE CORTE Y MOMENTO DEL EJE DE PALETAS	105
FIGURA 5. 5 DIMENSIONES DE PALETA REMOVEDORA 2	107
FIGURA 5. 6 MOMENTOS DE INERCIA DE LA PALETA RECTANGULAR[37]	107
FIGURA 5. 7 DCL DE LA PALETA REMOVEDORA	108
FIGURA 5. 8 DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DEL EJE MOTRIZ	110
FIGURA 5. 9 ESTRUCTURAS SOPORTES DEL SECADOR DE SILO DE UN PISO.....	117
FIGURA 5. 10 TOTAL DE NUDOS FORMADOS POR LA ESTRUCTURA SOPORTE	118
FIGURA 5. 11 DCL DE UNA DE LAS BASES SOPORTES DEL SECADOR DE UN SILO	120
FIGURA 5. 12 FACTORES K PARA CÁLCULO DE LONGITUD EFECTIVA.....	120
FIGURA 5. 13 CRUCETA PARA ACOPLAMIENTO ENTRE EJE MOTRIZ Y EJE DE PALETAS	123
FIGURA 5. 14 DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DE LA PALETA ARQUEADA	143
FIGURA 5. 15 DIAGRAMA CON DIMENSIONES DE LA PALETA.....	144
FIGURA 5. 16 MOMENTOS DE INERCIA DE PALETA RECTANGULAR	145
FIGURA 5. 17 DIAGRAMA DEL CUERPO LIBRE DE LA PALETA	146
FIGURA 5. 18 DCL DEL EJE MOTRIZ PRINCIPAL DEL SECADOR DE TRES PISOS	153
FIGURA 5. 19 SOPORTE DEL TANQUE	163
FIGURA 5. 20 COLUMNA.....	165
FIGURA 5. 21 DIAGRAMA DE CORTE Y MOMENTO DEL SOPORTE HORIZONTAL L	167
FIGURA 5. 22 ESTRUCTURA QUE SOPORTA LA TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO	168
FIGURA 5. 23 ESTRUCTURA EN VOLADIZO DEL SOPORTE.....	169
FIGURA 5. 24 DIAGRAMA DE CORTE Y MOMENTO DEL VOLADIZO DEL BASTIDOR	170
FIGURA 5. 25 MOTOR-REDUCTOR 2HP	171
FIGURA 5. 26 DIMENSIONES MOTOR-REDUCTOR 2HP	172
FIGURA 5. 27 ESTRUCTURA ANCLADA AL PISO	176

ÍNDICE DE GRÁFICAS

GRÁFICA 2. 1 DENSIDAD APARENTE VS CONTENIDO DE HUMEDAD DEL CAFÉ.....	16
GRÁFICA 2. 2 CURVAS DE SECADO EN PLAZOLETAS TRADICIONAL Y MODIFICADA	19
GRÁFICA 2. 3 CURVAS DE SECADO EN SECADORES SOLARES Y MECÁNICO.....	19
GRÁFICA 2. 4 CURVA DE SECADOR SOLAR PARA GRANOS	20
GRÁFICA 2. 5 CURVA DE VELOCIDAD VS HUMEDAD DEL CAFÉ CON PERIODOS.....	22
GRÁFICA 2. 6 PÉRDIDA DE PRESIÓN EN UN SECADOR SIN CARGA.....	25
GRÁFICA 5. 1 ESFUERZO VS RELACIÓN LE/R	119
GRÁFICA 5. 2 PÉRDIDA DE PRESIÓN EN EL SECADOR SIN CARGA[10].....	134
GRÁFICA 5. 3 PÉRDIDA DE PRESIÓN EN UN SECADOR SIN CARGA	191
GRÁFICA 5. 4 ESQUEMA PSICOMÉTRICO, COMPORTAMIENTO DEL AIRE A 1650 MSNM.	193

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. 1 SITUACIÓN CAFICULTURA, DICIEMBRE 2012.....	3
TABLA 2. 1 CUADRO DE CONDICIONES DEL MEDIO EXTERNO	14
TABLA 2. 2 CONDICIONES DE GRANO DE CAFÉ.....	14
TABLA 2. 3 CONDICIONES DE SECADO	15
TABLA 3. 1 DIMENSIÓN Y MEDIDAS DEL SECADOR TIPO GUARDIOLA.....	29
TABLA 3. 2 RESULTADOS EN % DE LA CASCARA Y CAFÉ DESPULPADO.....	33
TABLA 3. 3 DIMENSIONES Y MEDIDAS DE MARQUESINA DE SECADO DE CAFÉ.....	36
TABLA 3. 4 PORCENTAJE DE GRANO COLOCADO Y RECOGIDO EN MARQUESINAS	37
TABLA 3. 5 DIMENSIONES DEL SECADOR PENAGOS DE BANDEJAS 3 PISOS	41
TABLA 3. 6 SECADORES APTOS PARA CADA TIPO DE GRANO	42
TABLA 3. 7 VENTAJAS DEL SECADOR DE SILO DE UN PISO	43
TABLA 3. 8 DESVENTAJAS PARA EL SECADOR DE SILO DE UN PISO	44
TABLA 3. 9 VENTAJAS DEL SECADOR TIPO GUARDIOLA	44
TABLA 3. 10 DESVENTAJAS DEL SECADOR TIPO GUARDIOLA.....	45
TABLA 3. 11 VENTAJAS PARA EL SECADO DE SILO DE TRES PISOS.....	46
TABLA 3. 12 DESVENTAJAS PARA EL SECADOR DE SILO DE TRES PISOS.....	47
TABLA 3. 13 FACTORES TÉCNICOS DE LOS SECADORES	48
TABLA 3. 14 TABLA DE PONDERACIONES CON RESPECTO A CADA VARIABLE	49
TABLA 3. 15 TABLA DE CONCLUSIONES DE LA SOLUCIÓN ESCOGIDA.....	50
TABLA 4. 1 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS PROTOTIPOS.....	58
TABLA 4. 2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL TORNILLO SIN FIN.....	62
TABLA 4. 3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE CANGILONES.....	63
TABLA 4. 4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA CARGA MANUAL DE GRANOS	64
TABLA 4. 5 SOLUCIONES A LA FUNCIÓN DEL MÓDULO 1	64
TABLA 4. 6 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL VENTILADOR CENTRÍFUGO	66
TABLA 4. 7 VENTAJAS Y DESVENTAJAS ENCENDIDO POR MEDIO DE GAS.....	67
TABLA 4. 8 VENTAJAS Y DESVENTAJAS ENCENDIDO POR RESISTENCIA ELÉCTRICAS	67
TABLA 4. 9 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL USO DE ENGRANAJES	68
TABLA 4. 10 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE BANDA POLEA	69
TABLA 4. 11 VENTAJAS Y DESVENTAJAS	70
TABLA 4. 12 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL CONO Y CORONA	71
TABLA 4. 13 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL MOTORREDUCTOR.....	72
TABLA 4. 14 SOLUCIONES A LAS FUNCIONES DEL MÓDULO 2.....	73
TABLA 4. 15 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL QUEMADOR DE GAS.....	74
TABLA 4. 16 VENTAJAS Y DESVENTAJAS PARA LAS RESISTENCIAS ELÉCTRICAS	75
TABLA 4. 17 SOLUCIONES A LA FUNCIÓN SECAR EL GRANO DE CAFÉ DEL MÓDULO 3.....	76
TABLA 4. 18 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA PALETA TIPO TRINCHE	77
TABLA 4. 19 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA PALETA RECTANGULAR	78
TABLA 4. 20 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE PALETA TRAPEZOIDAL.....	78
TABLA 4. 21 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE PALETA ANGULA.....	79
TABLA 4. 22 SOLUCIONES A LA FUNCIÓN DEL MÓDULO 4.....	80
TABLA 4. 23 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE MEDIDORES	81
TABLA 4. 24 SOLUCIÓN A LA FUNCIÓN DEL MÓDULO 5.....	81
TABLA 4. 25 VENTAJAS Y DESVENTAJAS PARA LA COMPUERTA CORREDIZA POR GUÍA..	83
TABLA 4. 26 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE COMPUERTA CON BISAGRA	84
TABLA 4. 27 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE COMPUERTA LATERAL CORREDIZA.....	84
TABLA 4. 28 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE DISPOSITIVO DE ACOPLE DEL SECADOR....	85
TABLA 4. 29 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE MESA CORREDIZA.....	86
TABLA 4. 30 SOLUCIONES A LAS FUNCIONES DEL MÓDULO 6.....	87
TABLA 4. 31 TABLA DE CONCLUSIÓN DEL MÓDULO 1.....	88
TABLA 4. 32 TABLA DE CONCLUSIÓN DEL MÓDULO 2 DEL SECADOR SILO TRES PISOS ...	89
TABLA 4. 33 TABLA DE CONCLUSIÓN DEL MÓDULO 2 DEL SECADOR SILO UN PISO.....	89
TABLA 4. 34 TABLA DE CONCLUSIÓN DEL MÓDULO 4 DEL SECADOR SILO TRES PISOS ...	90
TABLA 4. 35 TABLA DE CONCLUSIÓN DEL MÓDULO 4 DEL SECADOR SILO UN PISO.....	91
TABLA 4. 36 TABLA DE CONCLUSIÓN DEL MÓDULO 4 DEL SECADOR SILO UN PISO.....	91

TABLA 5. 1 DATOS REQUERIDOS PARA CÁLCULOS SECADOR DE SILO DE UN PISO.....	96
TABLA 5. 2 CUADRO DE DIÁMETROS EXTERNOS E INTERNOS.....	98
TABLA 5. 3 CUADRO DE ÁREA DE TRABAJO Y VOLUMEN DE TRABAJO.....	99
TABLA 5. 4 CUADRO DEL EMPUJE GENERADO POR LAS PALETAS.....	100
TABLA 5. 5 CUADRO DE VOLUMEN DE LAS PALETAS LIMPIADORAS.....	100
TABLA 5. 6 CUADRO DE VOLUMEN DE PALETAS MEZCLADORAS.....	100
TABLA 5. 7 FUERZA NORMAL PARA CADA PALETA.....	101
TABLA 5. 8 COEFICIENTES DE FRICCIÓN DE DIFERENTES MATERIALES.....	101
TABLA 5. 9 FUERZAS DE ROZAMIENTO ENTRE EL GRANO Y LA PALETA.....	102
TABLA 5. 10 EMPUJE TOTAL DE CADA PALETA.....	102
TABLA 5. 11 TORQUE PRODUCIDO PARA CADA PALETA.....	103
TABLA 5. 12 CÁLCULO DE POTENCIA EN WATTS Y HP.....	103
TABLA 5. 13 FUERZA Y TORQUE PRODUCIDO EN CADA EJE DE PALETAS.....	104
TABLA 5. 14 MASA TOTAL DE LOS ELEMENTOS MECÁNICOS DEL SECADOR.....	117
TABLA 5. 15 CUADRO DE FUERZAS CORTANTES APLICADO A LOS PERNOS.....	124
TABLA 5. 16 MOMENTOS DE CADA PERNO DE LA CRUCETA QUE SOSTIENE AL EJE.....	125
TABLA 5. 17 FUERZAS CORTANTES DE CADA EJE.....	125
TABLA 5. 18 DATOS PARA CÁLCULO DE VARIABLES ENERGÉTICOS.....	130
TABLA 5. 19 DATOS PARA CÁLCULOS DEL SECADOR DE SILO DE UN PISO.....	137
TABLA 5. 20 EQUIVALENCIAS DE MASA RESPECTO HUMEDAD, DENSIDAD Y VOLUMEN.....	137
TABLA 5. 21 CUADRO DE ÁREAS DE TRABAJO PRODUCIDO EN LAS PALETAS.....	139
TABLA 5. 22 VOLUMEN DE TRABAJO PARA CADA PALETA.....	140
TABLA 5. 23 CUADRO DE DENSIDADES POR CADA PISO.....	140
TABLA 5. 24 FUERAS DE EMPUJE EN CADA PALETA.....	141
TABLA 5. 25 VOLUMEN DE PALETAS APROXIMADO.....	141
TABLA 5. 26 FUERZA NORMAL EN CADA PALETA.....	142
TABLA 5. 27 FUERZA DE ROZAMIENTO ENTRE PALETAS Y GRANO DE CAFÉ.....	142
TABLA 5. 28 FUERZA DE ROZAMIENTO ENTRE PALETAS Y GRANO DE CAFÉ.....	143
TABLA 5. 29 CUADRO DE TORQUE PRODUCIDAS POR LAS PALETAS.....	143
TABLA 5. 30 CUADRO DE POTENCIA EN WATTS Y HP.....	144
TABLA 5. 31 TABLA DE LONGITUD DE LA CADENA CON EL NÚMERO DE ESLABONES.....	149
TABLA 5. 32 MASA TOTAL DE LA ESTRUCTURA DEL TANQUE.....	164
TABLA 5. 33 MASA DE LOS ELEMENTOS DE LA ESTRUCTURA SOPORTE.....	169
TABLA 5. 34 PESO TOTAL DE LAS FUERZAS EN LA COLUMNA DEL BASTIDOR.....	171
TABLA 5. 35 MASA TOTAL DE LOS ELEMENTOS QUE ESTÁN EN LA COLUMNA.....	177
TABLA 5. 36 DATOS PARA CÁLCULO DE VARIABLES ENERGÉTICOS.....	182
TABLA 5. 37 TIEMPO DE REDUCCIÓN DE HUMEDAD EN EL PRIMER PISO.....	185
TABLA 5. 38 TIEMPO DE REDUCCIÓN DE HUMEDAD EN EL SEGUNDO PISO.....	186
TABLA 5. 39 TIEMPO DE REDUCCIÓN DE HUMEDAD EN EL TERCER PISO.....	187
TABLA 6. 1 COSTOS DE OBRA GRIS.....	198
TABLA 6. 2 COSTOS DE OBRA METALICA.....	199
TABLA 6. 3 COSTOS DE OBRA METÁLICA.....	199
TABLA 6. 4 COSTOS DE ELEMENTOS ELÉCTRICOS Y CONTROL.....	200
TABLA 6. 5 COSTOS DE ELEMENTOS COMPLEMENTARIOS.....	200
TABLA 6. 6 COSTOS DE TOTAL DEL SECADOR DE UN PISO O BANDEJA.....	200
TABLA 6. 7 COSTOS DE OBRA GRIS.....	201
TABLA 6. 8 COSTOS DE OBRA METÁLICA.....	201
TABLA 6. 9 COSTOS DE OBRA METÁLICA.....	202
TABLA 6. 10 COSTOS DE ELEMENTOS ELÉCTRICOS Y CONTROL.....	202
TABLA 6. 11 COSTOS DE ELEMENTOS COMPLEMENTARIOS.....	203
TABLA 6. 12 COSTOS DE TOTAL DEL SECADOR DE UN PISO O BANDEJA.....	203

SIMBOLOGÍA

A	Área
ACT	Relación aire-combustible
a_p	Ancho de la paleta
b	Ancho de la chaveta
C	Capacidad de carga dinámica
c	Punto neutro de la paleta
CH	Contenido de humedad
C_p	Calor específico
d	Distancia
e	Espesor
E	Módulo de elasticidad
E_i	Empuje
E_q	Energía para calentar el aire de secado
ex	Exceso de aire
F	Fuerza o cargas
f	Factores de diseño para rodamientos
F.S.	Factor de seguridad
g	Gravedad
g_{sold}	Garganta de soldadura
$h@$	Entalpía
h_i	Alturas
I	Inercia
K	Constante de conductividad
k_i	Factores de corrección en cadena, eje.
L	Longitud
L/p	Número de eslabones
L_D	Vida nominal de horas para diseño
L_R	Vida nominal
m	Masa
M	Momento
\dot{m}	Flujo másico de GLP
N_c	Número de cafés
n_D	Velocidad en rpm para diseño
n_i	Número de rpm
N_i	Fuerza normal
Nu	Número de Nusselt
O_1O_2	Distancia entre centros
P	Presión
p	Paso de la cadena
PC	Poder calórico
P_{er}	Perímetro
Pot	Potencia

Pr	Número de Prandtl
Q	Flujo volumétrico o caudal
r	Radio
R	Carga a la rotura
R _a	Constante del aire
R _c	Velocidad de secado en período de velocidad constante
Re	Número de Reynolds
R.T.	Relación de transmisión
R _w	Constante de vapor de agua
S _e	Límite de resistencia a la fatiga
spv	Perdida dinámica
S _{ut}	Esfuerzo último a la tensión
S _y	Resistencia, esfuerzo de fluencia
t	Tiempo
T _@	Temperatura
T _i	Torque
V	Volumen
v	Velocidad
w	Humedad específica
W	Peso
Z	Número de dientes
α	Factor de rodamientos
β	Angulo de fricción y contacto
ΔP _{acc}	Pérdida de presión a la entrada de aire
ΔP _d	Pérdidas de presión en el ducto de aspiración
ΔP _I	Pérdida en el lecho de granos
ΔP _{pp}	Pérdida de presión a través del secador
ε	Porosidad del lecho secador de café
η	Eficiencia
μ	Factor o coeficiente de rozamiento
μ _a	Viscosidad
ω	Velocidad angular
ρ	Densidad
σ _i	Esfuerzo
τ _i	Esfuerzo cortante
τ _p	Esfuerzo principal
φ	Diámetro
φ	Humedad relativa
ζ	Filete de soldadura

ACRÓNIMOS

AISC	American Institute of Steel Construction
AISI	American Iron and Steel Institute
AWS	American Welding Society
bh	base húmeda
bs	base seca
CENICAFÉ	Centro de Investigaciones del Café
CHbh	Contenido de Humedad en base húmeda
CHbs	Contenido de Humedad en base seca
CIES	Centro de Investigaciones de Energía Solar
DCL	Diagrama de Cuerpo Libre
DIN	Deutsches Institut für Normung
FAO	Food and Agriculture Organization
GLP	Gas Licuado de Petróleo
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
ISO	International Standards Organization
PVC	Polyvinyl Chloride
SCAA	Specialty Coffee Association of America
SMACNA	Sheet Metal and Air Conditioning Contractors' National Association

RESUMEN

La necesidad que tiene el país para generar productos competitivos de alta calidad, genera un verdadero problema a nivel industrial, el cambio de la matriz productiva y la crisis económica que el Ecuador atraviesa, permite que las oportunidades para el desarrollo aumente, por lo que el presente proyecto, destaca el aporte y la participación científica y técnica, para hallar soluciones a problemas que con frecuencia enfrenta el país. Una de los sectores que ha comenzado a evolucionar es la industria cafetalera en la provincia de Pichincha, que presenta una serie de inconvenientes desde la semilla hasta la taza del consumidor, pues al pasar por varios procesos de cosecha y postcosecha, permite obtener oportunidades de mejora en cada etapa, con la finalidad de mantener o aumentar la calidad del grano de café. El proyecto concentrará su estudio en el proceso de postcosecha, específicamente en la etapa del secado de granos de café, cuyo objetivo a alcanzar es el diseño de dos prototipos secadores de granos de café pergamino para el Noroccidente de Pichincha. Para cumplir con el objetivo principal planteado, se requiere la investigación general y específica de varios tipos de secadores de granos. El estudio general es con respecto a los secadores de todo tipo de granos, está basado en la dirección del flujo de aire de secado; mientras que un análisis específico permitió el estudio de los secadores aptos para el secado del grano de café. En base a este estudio teórico, se realizó visitas de campo en fincas y sitios dedicados a esta actividad, donde se recopiló información de los métodos más utilizados para el secado, y también se obtuvo como información importante que entre los meses de mayo y agosto, serán 100 beneficiario directos para el secado de grano de café. Por lo tanto, gracias al estudio teórico e investigación práctica se concluye, que los tres tipos de secadores mecánicos usados para reducir la humedad del café, con mejores resultados en cuanto a la calidad del grano son: los secadores de silo de un piso, secadores de silo o bandejas con tres pisos y los secadores rotatorios-guardiola. El proceso de selección de dos prototipos, se realiza en función de los 3 prototipos preseleccionados, también con los criterios técnicos, la investigación de campo y los requerimientos del usuario, junto con un análisis de ventajas y desventajas de los tres prototipos. Los factores más relevantes que se consideraron son: el espacio disponible para la ubicar el prototipo, sistemas

mecánico de transmisión de movimiento para el mezclado de granos a bajas revoluciones (4 a 6 rpm), humedad de vapor de agua extraída en un tiempo de operación de 8 a 12 horas, bajas caídas de presión, bajos costos del prototipo y de operación que depende del sistema de calentamiento (resistencias o gas) y capacidad de carga de 10 [qq]. Por lo tanto, a partir de los factores técnicos escogidos se procede a realizar la ponderación con las tres soluciones, mediante el método ordinal, esto para seleccionar los dos mejores diseños de prototipos. En conclusión, se obtuvo como mejores opciones el silo de un piso o bandeja y el silo de tres pisos o tres bandejas. A partir de la selección final de los dos prototipos, se describirá los aspectos esenciales para operar dentro de los estándares de seguridad y funcionalidad, mediante el uso de la casa de la calidad, donde se puede obtener especificaciones técnicas que permitan diseñar adecuadamente los dos prototipos de secadores mecánicos. Posteriormente, con un análisis funcional, que describe y soluciona los inconvenientes a problemas que ocurren durante el diseño de los prototipos; luego se realizan módulos de construcción, que permiten obtener alternativas a cada función y gracias nuevamente al uso del método ordinal de ponderaciones se pueda escoger las soluciones adecuadas. Con cada alternativa escogida a cada función modular, se establecerá la metodología de cálculo y diseño de los prototipos, determinando el flujo másico y el caudal de aire para la selección del ventilador, así como también la energía requerida para la selección del sistema de calentamiento para el secado de café, además del cálculo de las partes estructurales y mecánicas. Una vez determinada las partes y componentes a usar, se analizarán cuantificadamente los precios involucrados para la construcción de los dos prototipos, clasificándose en costos directos e indirectos. Entre los costos directos se pueden incluir: los costos de mano de obra, costos de materiales elaborados y normalizados, costos de maquinado, costos de instalación y montaje, y costos de ingeniería por obras civiles con modificaciones que se debe incluir al momento de ejecutar el diseño. Para los costos indirectos se tiene una serie de variables que alteran el costo final sin influir de forma directa, pero si importante a considerar. Por último, las conclusiones y recomendaciones, tienen la única finalidad de cumplir con el objetivo planteado y sobre todo ser parte del desarrollo productivo e industrial de nuestra provincia y país.

PRESENTACION

En el Ecuador, la producción de café se ha dado desde el siglo XVIII, siendo un excelente elemento de consumo y exportación a países bastante exigentes en el aroma, sabor y color. Sin duda alguna el café ecuatoriano es muy cotizado por poseer estas características, todo esto se debe a la excelente ubicación geográfica del Ecuador, lo que permite obtener distintos tipos de café, como lo es el café arábigo. Entonces, de ello surge la iniciativa de mejorar todo el proceso de producción del café por las entidades públicas de la provincia de Pichincha, quienes prestan su ayuda y colaboración para facilitar y optimizar el trabajo en los sectores que producen café, enfocándose primordialmente en el sector Noroccidental. El productor promedio produce 10-12 [qq] de café pergamino/hectárea. Sin embargo, con un manejo y fertilización adecuada casi libre de enfermedades y plagas puede llegar hasta 30-35 [qq] de café pergamino/hectárea. En promedio un productor maneja o posee entre 0,5 y 3 hectáreas.

En base al análisis y estudio de campo, el secado del café se lo realiza en su gran mayoría a través de marquesinas y un pequeño porcentaje de productores poseen máquinas secadoras que ayudan a reducir tiempos de secado.

Al conocer algunos tipos de secadores se pudo seleccionar dos prototipos que cubran con la mayor parte de requerimientos y necesidades solicitadas por los cafetaleros, considerando primordialmente que se debe conseguir el secado de 10 qq de café diarios, la reducción de la humedad debe llegar al 10% como mínimo y obviamente reducir tiempos durante todo este proceso, sin alterar las características necesarias para una buena calidad de grano café.

Por lo tanto se prevé que el proyecto permitirá alcanzar todos los requerimientos, tomando en cuenta que el costo de secado debe ser asequible.

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES DEL CAFÉ

1.1 INTRODUCCIÓN

El cultivo de café es de amplio rango de adaptación ecológica, lo que ha permitido su presencia en muchos lugares del mundo. La caficultura mundial exige la aplicación de medidas que contribuyan a resolver los problemas que enfrenta el grano de café, desde la semilla hasta la taza del consumidor diario, pasando por varios procesos de cosecha y postcosecha de producción y las intrincadas cadenas para llegar a la comercialización. Esto marca un desequilibrio entre productores y consumidores, lo que obliga a mejorar la producción del grano de café con implementos tecnológicos para mantener su calidad y aroma según se desarrolle cada etapa hasta llegar al consumidor final [1].

La producción de café tiene una relevante importancia en el ámbito económico, social y ambiental en el Ecuador, por el valor de su producción, la generación de trabajo y las divisas que se obtiene por la exportación. Sin embargo, la tecnología de producción y beneficio son muy precarias, de muy difícil acceso para pequeños y medianos productores, por lo que la productividad de calidad son deficientes.

La importancia económica se manifiesta en aspectos como el aporte de divisas al Estado, la generación de ingresos para las familias cafetaleras y para los actores directos de la cadena productiva (transportistas, comerciantes, exportadores, microempresarios, obreros de las industrias de café soluble y exportadoras de café en grano) [2].

La importancia social se relaciona principalmente con la generación de empleo directo a las familias de productores como a las familias vinculadas a las actividades del comercio (agroindustria artesanal, industria de soluble, transporte y exportación). Otra relación se encuentra con la intervención en los procesos productivos de las distintas etnias como son los kichwas, shuaras, tzáchilas y afroecuatorianos [2].

La importancia ecológica se manifiesta en la amplia adaptabilidad de los cafetales a los distintos agro ecosistemas (Costa, Sierra, Amazonía e islas Galápagos). Los cafetales en su mayor parte están cultivados bajo árboles de alto valor ecológico y económico, en diversos arreglos agroforestales, que constituyen un hábitat apropiado para muchas especies de la fauna y flora nativas, adicional a esto contribuyen a la captura de carbono de manera similar a los bosques secundarios, regulan el balance hídrico de los ecosistemas y en el manejo tecnificado no requieren de una alta dependencia de agroquímicos [2].

Toda esta organización da un importante segmento de cafetaleros, que forman un amplio tejido social y participan activamente en la vida nacional [2].

1.2 CAFÉ EN EL ECUADOR

En términos generales según el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) el café se define como un producto comestible, cuyos granos en diferentes etapas de procesamiento son utilizadas como alimentos.

El Ecuador es un país productor de café arábigo y robusta, con un cultivo que se ubica en una franja altitudinal que va desde los 300 hasta los 2000 metros sobre el nivel del mar (msnm) y está presente prácticamente en todas las provincias del país [3].

La superficie cultivada con café en el país ha variado significativamente en los últimos 30 años. Un claro ejemplo fue el “Primer Censo Cafetero” [3], realizado en 1983 donde se estableció que la superficie sembrada con café en el país se había incrementado significativamente de 188.353 hectáreas (primera encuesta cafetalera en 1968) hasta 426.969 hectáreas, distribuidas el 58 % para el café arábigo y 42 % para el café robusta [3].

Hasta 1997 se estimaban alrededor de 500.000 ha de cafetales, y debido a un fenómeno climático “El Niño”, entre 1997-1998, habría arrasado con los cafetales en su mayoría arábigos, según una encuesta se estimó, para el año 2000, la cantidad de 224.455 ha de cafetales, distribuidas el 52% para el café arábigo y 48% para el café robusta [1].

La superficie cafetalera estimada para el 2012 fue de 199.215 hectáreas, con un 68% de café arábigo y 32% de café robusta, en consecuencia se ha tenido una

reducción del área cafetalera del país [2]. La Tabla 1.1 muestra un resumen de la situación de la caficultura del año 2012:

Variable de caficultura	Valores cafetalero del 2012
Superficie Total:	199.215 ha
Área de café arábigo:	136.385 ha
Área de café robusta:	62.830 ha
Área de cafetales viejos:	150.000 ha
Área cosechada:	149.411 ha
Productividad promedio del café arábigo:	5,1 quintales café / ha
Productividad promedio del café robusta:	5,5 quintales café / ha
Producción nacional:	650.000 sacos de 60 kg.
Producción de café arábigo (%):	62%
Producción de café robusta (%):	38%
Consumo interno:	150.000 sacos de 60 kg.
Producción exportable:	400.000 sacos de 60 kg.
Exportación promedio/5 años:	1.150.000 sacos de 60 kg.

Tabla 1. 1 Situación caficultura, 2012

Fuente: COFENAC, Situación del Sector Cafetalero Ecuatoriano – Diagnóstico, pag 16

Las principales variedades de café arábigo cultivadas en el Ecuador son: típica, caturra, bourbon, pacas, catuaí, catimor y sarchimor.

Las zonas de cultivo del café según la altura se tiene de 300 a 700 msnm en Manabí-Guayas (las partes altas del sistema montañoso de Chongon Colonche), de 500 a 1500 msnm en las estribaciones orientales (parte centro-norte), de 500 a 1750 msnm en las estribaciones occidentales (vertiente occidental de los Andes), de 500 a 2000 msnm en el Oro-Loja (zona sur), y de 1000 a 1800 msnm en la parte sur oriental.

El café robusta se adapta en las zonas tropicales hasta alturas no mayores a 600 msnm, cultivándose en provincias como Los Ríos, Santo Domingo de los Tsáchilas, Esmeraldas, Sucumbíos, Napo y Orellana [2]. En la Figura 1.1 se observa la distribución del café por todas las provincias del territorio ecuatoriano.

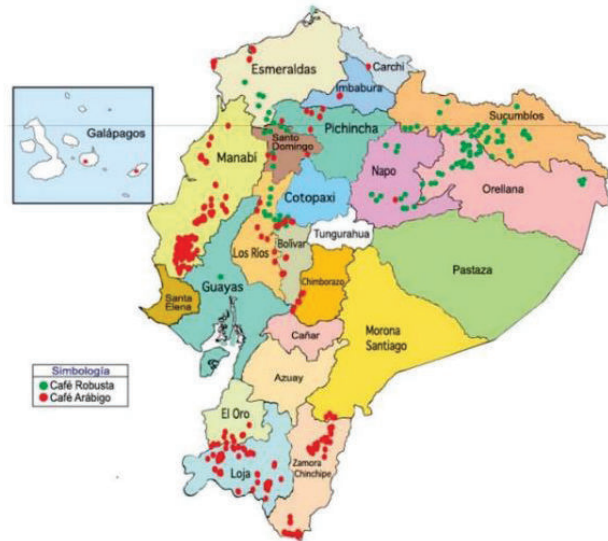


Figura 1. 1 Zonas Cafetaleras del Ecuador, COFENAC, GTZ 2009
Fuente: COFENAC, Situación del Sector Cafetalero Ecuatoriano – Diagnóstico, pág 15

1.2.1 ASPECTOS GENERALES

En la Figura 1.2 se muestra la estructura del fruto del café formado por dos semillas semiesféricas, es decir, dos granos de café enfrentadas entre sí por la parte plana, y recubiertas por un tegumento, un pergamino, una pulpa y una cáscara.

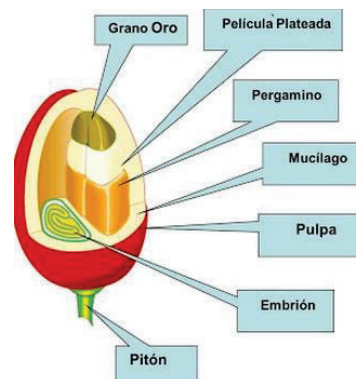


Figura 1. 2 Estructura interna del fruto de café
Fuente: Taxonomía del café, 2012

1.3 MÉTODOS PARA EL PROCESO VEGETATIVO DEL CAFÉ

El inicio de la etapa cafetalera comienza con las lluvias, que dura 12 meses y tiene 4 etapas bien definidas: Descanso, Floración, Llenado de Grano y Cosecha. Además cuenta con procesos para tener una calidad adecuada del café, desde su germinación hasta su almacenamiento como producto de consumo, que son el

proceso de siembra, época de estado de cosecha, manejo de estado de postcosecha y almacenamiento del producto [4].

1.3.1 PROCESO DE SIEMBRA

En esta etapa la siembra comienza con viveros que tiene dos etapas bien definidas como: etapa de germinación que tiene un tiempo de dos meses y etapa de crecimiento en camas de viveros que dura de 4 a 5 meses.

El trasplante de una etapa a otra para tener una calidad adecuada del café se inicia en la época de lluvias [4].

1.3.2 ÉPOCA DE ESTADO DE COSECHA

El proceso de floración-maduración es el tiempo que pasa desde que el café florea hasta que madura el cerezo, este periodo es variable según las zonas del país, y el proceso de cosecha consiste en cosechar únicamente las cerezas maduras, una por una, dejando el pecíolo adherido a la rama [5]. La época de cosecha está establecida en los meses de abril, mayo y junio, para las zonas concentradas a alturas de hasta 1800 msnm.

1.3.3 MANEJO DE ESTADO DE POSTCOSECHA

Este proceso es muy importante para la calidad del café, que también se le conoce como “Beneficio del Café” y se realiza de dos vías: húmeda y seca [5].

- a) **El Beneficio por vía húmeda**, generalmente reservado al arábigo, produce los mejores tipos de café, conocidos en el mercado internacional como “suaves” que, por lo tanto, tienen mejores precios. El proceso de Beneficiado por vía húmeda contempla la recolección, despulpado, fermentado, lavado, escurrido, secado y almacenamiento.
- b) **El Beneficio por vía seca** se obtienen los llamados cafés “naturales”, “fuertes” o “corrientes”, considerados de menor calidad. En este sistema, se expone las cerezas recolectadas a la acción del sol, durante varios días, hasta que se seca para posteriormente trillarlo. Este método no es recomendable para los arábigos porque atenta contra la calidad del producto final [5].

14.4 ALMACENAMIENTO DEL PRODUCTO

El almacenamiento se hace cuando el grano de café alcanza una humedad adecuada del 10% al 12% en el proceso de secado, sin que estos se encuentren

expuestos a la humedad y a las corrientes de aire. Si no hay una hermeticidad adecuada en el almacenamiento, la humedad aumentara en el producto y tomara un mal olor, desmereciendo la calidad, y el valor del lote, es decir el café se mancha y comienza a germinar, adquiere mal olor, su aspecto se vuelve pálido, con calidad inferior, mal sabor en taza, y menor precio [4].

1.4 DETERMINACIÓN EMPÍRICA DE LA HUMEDAD DEL GRANO DE CAFÉ

La determinación de la humedad del café es el parámetro más esencial dentro de la postcosecha del café, porque en esta etapa se determina la calidad que mantendrá para los posteriores procesos. Para comprobar si el café ya está con el porcentaje de humedad adecuado usan siguientes métodos empíricos:

1.4.1 FORMA VISUAL

Consiste en tomar una muestra de café, se le quita el pergamino (recubrimiento del grano de café) y se observa una coloración de verde azulado. Si el café no ha alcanzado este color, está muy húmedo [6].

1.4.2 CON EL DIENTE

Se toman granos de café en diferentes puntos en la partida en proceso de secado y se prensan con los dientes. Tiene que observarse si al café le queda la marca de los dientes; esto nos indicará que ya está de punto. Si el diente se hunde, el grano está muy húmedo y si al grano no le queda ninguna seña, está reseco [6].

1.4.3 CON NAVAJA O CUCHILLO

Se colocan con la cara plana, hacia abajo, todos los granos tomados de diferentes puntos en la partida y se efectúa el corte en cada uno. Si se parte el café en dos, los pedazos saltan hacia los lados, ya está en su punto; si los dos pedazos no brincan está muy húmedo y si el grano no se deja partir está reseco [6].

1.4.4 CON MARTILLO

Se golpean los granos colocados con la cara plana hacia abajo. Si al grano le queda la marca del golpe de martillo, ya está en su punto; si los granos se aplastan está muy húmedo y si se quiebran está reseco [6].

CAPÍTULO 2

SECADO DE GRANOS

En este capítulo se enfoca el estudio del secado del grano de café; considerando que es un método antiguo que ayuda a conservar por un largo tiempo el producto y que ha ido evolucionando en los últimos años. El secado disminuye el porcentaje de humedad del grano de café previamente lavado y escurrido en una forma natural o mecánica, desde la etapa de cosecha hasta el almacenamiento, con la finalidad de que el grano de café adquiera excelentes características para ser comercialmente aceptado.

2.1 SECADO

La fase del secado del grano de café es compleja, debido a que después del lavado adquiere aproximadamente el 55% de humedad; si se emplea elevadas temperaturas para este proceso, genera volatilización de componentes aromáticos, y, al utilizar el método contrario de bajas temperaturas provoca mal aspecto físico del grano e incluso repercute en el sabor de la bebida. La humedad adecuada para un café de calidad que va a ser almacenada debe ser de aproximadamente 12% de humedad [7].

Un secado deficiente provoca un café dañado, un excesivo secado del café cristaliza el grano, provocando una pérdida de peso y aparición de moho durante su almacenamiento [8].

El secado es la operación más difícil y costosa que atraviesa el grano de café, pues no solo es simplemente reducir la humedad, sino de manera general, el propósito es utilizar el secado para crear el producto deseado, confiable y consistente con la calidad que se busca, influyendo directamente en los costos de producción de café.

2.1.1 TIPOS DE SECADORES

Se analizará los tipos de secadores que por su función e importancia son los que comúnmente se usan a nivel industrial y que por diferentes beneficios y ventajas son los más utilizados.

Existen dos métodos de secado de grano de café a realizarse: el secado natural y el secado mecánico.

El método de secado realizado con mayor frecuencia por los cafeteros del país es mediante el secado natural, que han calificado como la mejor opción para la reducción del porcentaje de agua, sin embargo la desventaja que se tiene es la demora en alcanzar el 25% de humedad, que va entre 5 a 7 días, este tiempo depende de la altura de la zona y las condiciones climáticas, a continuación se expresa los tiempos que toma en secar en días con respecto a la altura:

Zonas bajas consideradas hasta 600 [m], su tiempo de secado es entre 4 y 6 días.

Zonas medias consideradas de 600 [m] a 1.000 [m], su tiempo de secado es entre 6 y 8 días.

Zonas altas consideradas más 1.000 [m] su tiempo de secado es entre 8 y 10 días.

Las máquinas verticales, horizontales y rotatorias corresponden al secado mecánico, basándose en el paso de una corriente de aire caliente máximo de 60°C a través del grano, provocada por un ventilador, sin exponer nunca la calidad del grano [9].

Existen ventajas entre el secador mecánico y un solar, al no depender de las condiciones ambientales, reducir notablemente el tiempo de secado y poder colocar el grano a cualquier hora del día, asegurando un secado oportuno de café sin que la calidad del grano se vea afectada.

2.1.1.1 Clasificación General de Secadores para granos

Los secadores de granos se clasifican de forma general en tres grupos: secadores de flujo continuo, secadores en tandas y secadores de silo [10], como se observa en el mapa conceptual detallado en la Figura 2.1:

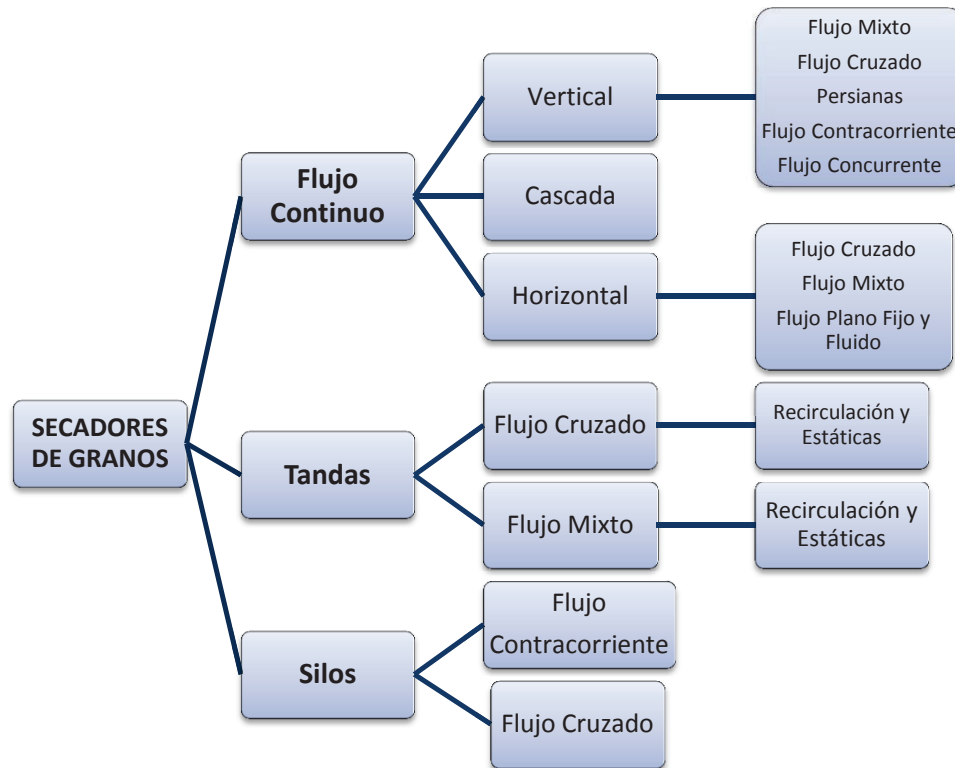


Figura 2. 1 Clasificación de Secadores Mecánicos

Fuente: FAO

2.1.1.2 Clasificación específica para secadores de café

Para el análisis del secado de café se considerará dos grupos específicos de secadores, que son los más comunes y que en su mayoría son usadas para el secado del café, entre ellas se destacan [7]:

- **Secado mixto artificial:** son secadoras que dependen del calor producido por la combustión de la madera, el gas, el petróleo o la electricidad o así mismo combinados con algún tipo de energía renovable y que a menudo tienen ventiladores para incrementar su capacidad de secado [7]. Dentro de este tipo de secado se tiene 5 tipos de secadores:
 - a) *Guardiola:* es un secador que consiste en un tambor rotatorio en donde se introduce el grano de café y para ser secado. Produce un secado no homogéneo y con emanaciones de CO₂ al ambiente [7]. La Figura 2.2 indica un secador tipo guardiola.



Figura 2. 2 Secador tipo Guardiola

Fuente: Tesis de Diseño del Sistema de Control Difuso de una Máquina Secadora de Café que emplea Energía Solar

- b) *McDowell o Túnel*: este secador de la Figura 2.3, es de tipo solar con auxilio de combustible, es excelente para el secado en zonas húmedas tropicales. Los granos se deben colocar en la bandeja de secado y cubierto por un techo solar con doble hoja de material transparente. El aire ingresa a la cámara a través de los orificios situados debajo de la bandeja de secado. Esta secadora tiene una caja de fuego conectada a tuberías de retención de calor que pasan por debajo de la bandeja a hacia una chimenea externa [7].

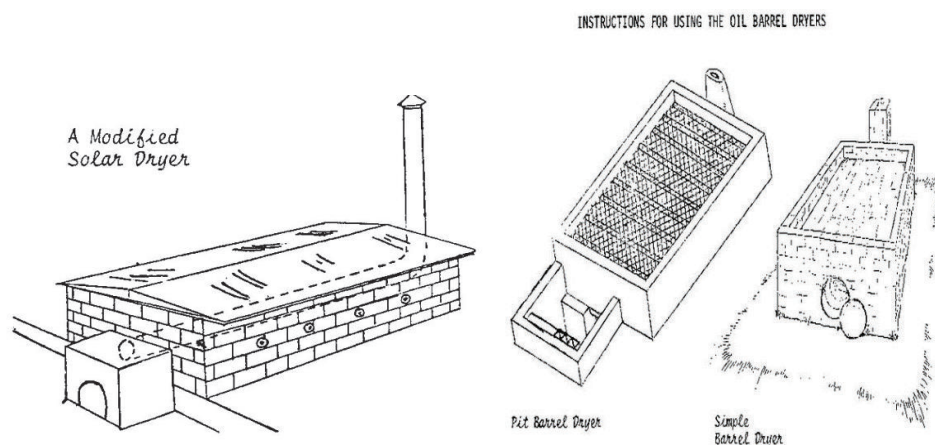


Figura 2. 3 Secador McDowell

Fuente: LINDBLAND, C., Preparación del grano para su almacenamiento, Segunda Edición,

- c) *Secadora de bandejas*: consiste en una cámara de secado con bandejas apiladas a través de las cuales circula el aire caliente y que es suministrado por un inyector de aire caliente ubicado en la parte superior.

Existen dos tipos de secadoras de bandejas: las de tandas y semicontinuas. La secadora de tanda es la más sencilla en donde se llena la cámara con bandejas de producto y el aire circula hasta que toda la tanda está seca. La secadora semicontinua se basa en retirar la bandeja que se seca primero, es decir la que está más cercana a la fuente de calor. Las demás bandejas deben acomodarse dejando un espacio libre en la parte superior, donde se colocará una nueva bandeja con producto fresco [7]. En la Figura 2.4 se observa el secador tipo bandejas tipo tandas semicontinua.

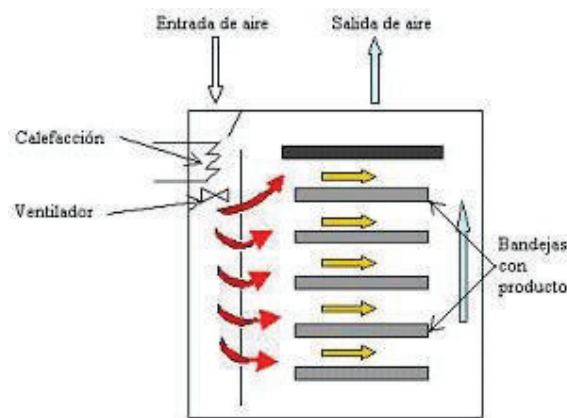


Figura 2. 4 Secador de Bandejas con tandas semicontinuas

Fuente: http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4070035/lecciones/cap7/leccion7_6.htm

- d) *Horno Ceylon:* Es un tipo de secador de biomasa de fuego directo, consiste en un quemador que se ubica en el suelo y una parrilla o plataforma de secado, todo ello protegido por una simple estructura con techo [7].
- e) *Silo Secador:* cuenta con una cámara superior de grano húmedo y un generador de aire caliente para secarlo. Cuando el producto ha alcanzado la humedad deseada, se abren los vertederos mecánicos de descarga y éste cae al fondo del silo. Un ventilador inferior impulsa hacia arriba aire exterior para enfriarlo. A su vez este aire al calentarse actúa como precalentado del grano húmedo en la cámara superior [7]. Este secador se muestra en la Figura 2.5.

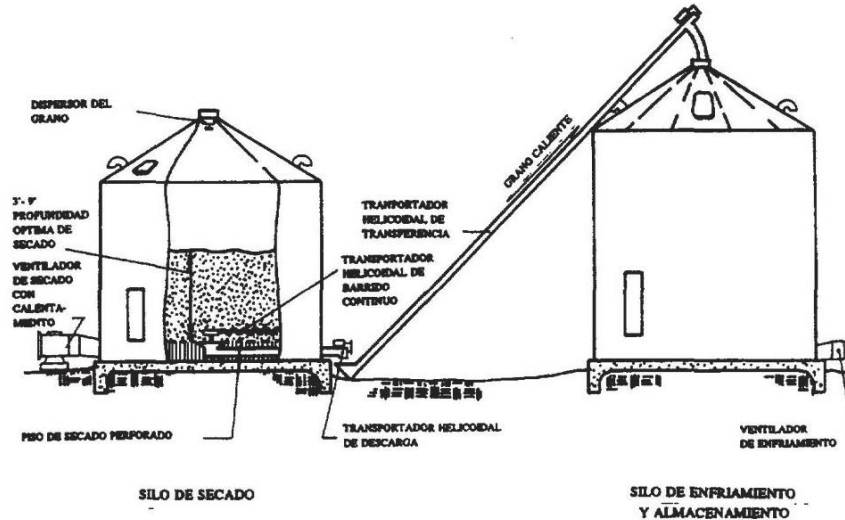


Figura 2. 5 Secador tipo Silo

Fuente: FAO

- **Secado con origen en energías renovables:** secadores que usan un tipo de energía amigable con el medio ambiente y evitan contaminación, mediante el uso de nuevas alternativas energéticas, en su mayoría con energía solar.
 - a) *Secado en patio:* es el típico y generalizado secado de café secado mostrado en la Figura 2.6, que suele exponer el producto durante varias horas e incluso días a los rayos directos del sol, que se debe removerlo continuamente para la disminución de la humedad. Se extrae un 43% a 48% de agua con respecto al peso total. Este proceso es muy simple, que tiene ciertas desventajas entre ellas se puede mencionar temperatura baja, humedad relativa, implicaciones de tipo operativo que pueden dificultar el proceso de secado [7].



Figura 2. 6 Secado en Patio

Fuente: Tesis de Diseño del Sistema de Control Difuso de una Máquina Secadora de Café que emplea Energía Solar

- b) *Secador solar tipo invernadero:* consiste en marquesinas, formadas por estructuras de madera en forma de cama o tarimas Figura 2.7, que tienen

forma rectangular y cuadrada, hechas con mallas de acero o costales y externamente estructuras cubiertas con plástico de invernaderos, con el objetivo de resistir a los rayos solares y agentes dañinos presentes en el medio ambiente que afecten el grano [7].



Figura 2. 7 Secador Solar Tipo Invernadero

Fuente: <http://www.pqa.com.co/secadores>

- c) *Secador multipropósito*: usa zarandas metálicas donde se coloca el grano de café (Figura 2.8). Es una estructura formada por perfiles metálicos y cubierta de vidrio transparente en forma de paralelepípedo, este diseño garantiza la impermeabilización. En su interior se dispone de ventiladores que producen un secado por aire forzado [7].



Figura 2. 8 Secador Multipropósito

Fuente: CORP LINARES, S., LUGONES, B., Método gráfico para el diseño de secadores solares

- d) *Tambor rotatorio*: consta de una estructura metálica de igual forma paralelepípeda como se muestra en la Figura 2.9, pero con doble cubierta de vidrio transparente y en su interior consta de un tambor de doble cilindro de chapa metálica perforada, donde se coloca el grano de café a secar, el tambor debe ser colocado en el interior de la mencionada cámara, para captar los rayos solares [7].



Figura 2. 9 Secador de Tambor Rotatorio

Fuente: Evaluación de las posibilidades de secado solar en Nicaragua, pág 7, 2013

2.1.2 CONDICIONES PARA CÁLCULOS ENERGÉTICOS

2.1.2.1 Condiciones Generales

El lugar de trabajo del sistema de secado de café se encuentra a condiciones ambientales propias de la región, donde la eliminación de agua en forma de vapor de la superficie del grano, depende directamente de las condiciones externas a la que se expone, como la temperatura, humedad, masa y volumen de aire, área de exposición y altura (presión). En la Tabla 2.1 se tiene las condiciones ambientales promedio de la región del Noroccidente de Pichincha:

CONDICIONES DEL MEDIO EXTERNO					
Humedad relativa, φ_M (%)	Temperatura T, [°C]	Altura [msnm]	Presión P, [kPa] [11]	Densidad ρ , [kg/m ³] [12]	Calor específico C_{p_a} , [kJ/kgK] [12]
91	25	1650	83,011	0,961	1,005

Tabla 2. 1 Cuadro de Condiciones del Medio Externo

Fuente: Propia

Las condiciones anteriormente vistas son importantes para la etapa inicial del grano de café y el diseño, en cuanto a su tiempo de trabajo y la capacidad de remover la humedad de la superficie del grano. Las condiciones del grano son características principales para que no exista una excesiva evaporación en la superficie del grano y evitar el sobre-secado dando resultado a una calidad baja de café, así se tiene la Tabla 2.2 de características del grano de café pergamino húmedo:

CONDICIONES DEL GRANO DE CAFÉ				
Masa m_c, q (kg)	Altura de lecho h, [m] [9]	Calor Especifico C_{p_c} , [kJ/kg.K] [13]	Densidad Aparente ρ_c , [kg/m ³] [14]	Humedad relativa Inicial φ_c , (%)
10 (454)	0,25 – 0,40	3,09137	464	30

Tabla 2. 2 Condiciones de Grano de Café

Fuente: Cengel, Y., Boles, M., 2003 [12]

El calor específico del café pergamino se calcula con la Ecuación 2.1, mediante el método de las mezclas, en un rango de humedad entre el 11% y 45% bh [15]:

$$Cp_c = 1,3556 + 5,7859 CH \quad [\text{Ec. 2. 1}]$$

Dónde:

- Cp_c Calor específico del café a determinada humedad, [kJ/kgK]
 CH Contenido de humedad, decimal bs

Las condiciones de secado (Tabla 2.3) están determinadas por el movimiento de los granos para la remoción de humedad, así como también la condición inicial del producto, la temperatura y tiempo de trabajo, prolongándose hasta alcanzar una humedad del 10 al 12%.

CONDICIONES DE SECADO								
Humedad Inicial φ_o , (%)	Humedad Final φ_f , (%)	Calor específico del Vapor de agua Cp_w , [kJ/kg.K]	Temperatura del café húmedo T_w , [°C]		Temperatura del aire T_a , [°C]		Tiempo de secado t, [h]	Eficiencia de secado η , (%)
			Inicial	Final	Inicial	Final		
30	10 a 12	1,8723	15	35	50	25	8	95

Tabla 2. 3 Condiciones de Secado

FUENTE: Cengel, Y., Boles, M., 2003

Por otra parte la densidad aparente (ρ_c), se encuentra mediante un método empírico, pero eficaz que muestra un patrón regular respecto al contenido de humedad del café [13].

2.1.2.2 Densidad Aparente

La densidad aparente (peso específico aparente) término usado para elementos porosos, formando cuerpos heterogéneos con intersticios de aire u otras sustancias que suelen ser más ligeras, de tal manera que la densidad total del cuerpo es menor que la densidad del material poroso si se llegaran a compactarse. Con la Ecuación 2.2 se determina este parámetro [13]:

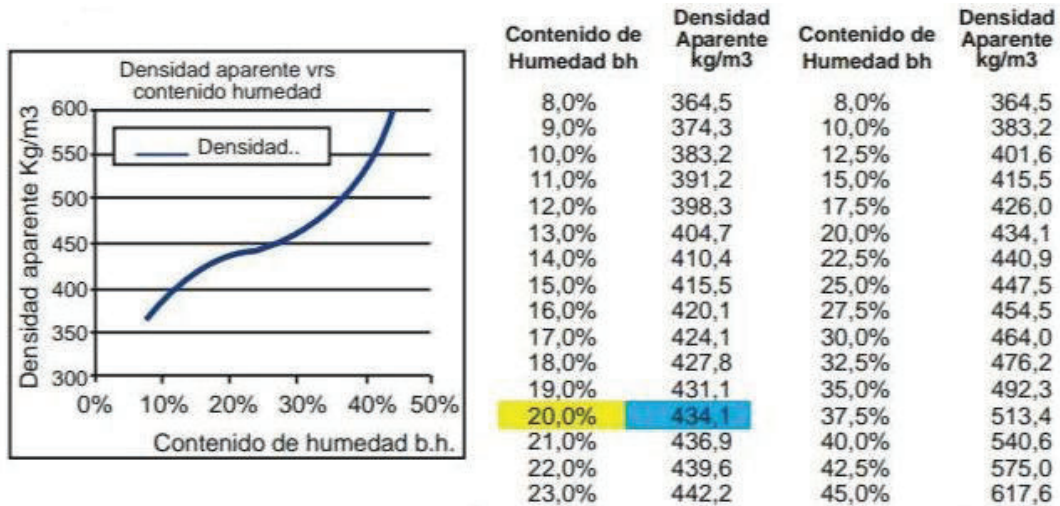
$$\rho_c = 365,88 + 2,7067 CH \quad [\text{Ec. 2. 2}]$$

Dónde:

- ρ_c Densidad del café a determinada humedad, [kg/m³]
 CH Contenido de humedad, decimal bs

La gráfica del comportamiento de la densidad aparente con respecto al contenido de humedad, es tomada de un método empírico y común usado para el secado de

granos, siendo un método sólido y eficiente. Mediante la Gráfica 2.1 se tomarán los valores de la densidad aparente con respecto al porcentaje de humedad [13]. Por ejemplo para el 20% bh, se tiene una $\rho_c = 434,1 \text{ [kg/m}^3\text{]}$



Gráfica 2. 1 Densidad aparente vs Contenido de Humedad del café

Fuente: Guía Técnica de Beneficiado de Café Protegido bajo una indicación geográfica o denominación

La densidad aparente generalmente se aplica a elementos porosos, formando cuerpos heterogéneos con intersticios de aire u otras sustancias que suelen ser más ligeras, de tal manera que la densidad total del cuerpo es menor que la densidad del material poroso si se llegaran a compactarse.

2.1.2.3 Flujo másico de aire

Para entregar calor a los productos se usa aire caliente que circule dentro del secador, así como para eliminar la humedad evaporada del mismo. Esta circulación puede ser:

- Forzada: El aire inicialmente pasa por un ventilador donde a través de un intercambio de momentum incrementa su velocidad.
- Convección natural: El aire es movido por las diferencias de temperatura que originan fuerzas de flotación entre las distintas partes del equipo. Las corrientes naturales de convección hacen que el aire caliente suba y el frío baje, generando la convección térmica del aire [14].

Los secadores que funcionan bajo el principio de circulación forzada son altamente eficientes pero requieren una fuente de energía química o eléctrica para su funcionamiento.

En ocasiones el secado se ve interrumpido por la superficie del alimento, esto sucede cuando el grano se seca por completo, provocando costras que evita que la humedad continúe emergiendo, a este fenómeno se lo conoce como encostramiento, debido a que el agua está dentro del alimento y no puede salir por la velocidad del aire con que se ha secado la superficie del grano, a causa de que el café es un alimento rico en almidones y por el uso del flujo de aire a temperaturas medianamente altas.

Cuando el flujo del aire tiene una temperatura elevada puede generar mal olor y sabor del grano, produciendo un fenómeno denominado emparedamiento, formado por reacciones químicas, bioquímicas y sobrecalentamiento [14].

2.1.2.4 Medición de humedad en el grano

Esta medición se la puede hacer en base seca o húmeda, la base seca es una medida de carácter científico y es la cantidad de agua que existe con relación a la masa seca, mientras que la base húmeda es usado a nivel industrial, siendo la cantidad de agua que existe en el grano total, es decir sobre su peso de materia seca y agua, como se muestra en la Ecuación 2.3 [16]:

$$\dot{m}_w = \frac{m_c(\varphi_i - \varphi_f)}{t_{sec}} \quad [\text{Ec. 2. 3}]$$

Dónde:

\dot{m}_w	Flujo másico de vapor de agua, [kg/s]
m_c	Masa de café pergamino, [kg]
φ_i	Humedad inicial del café, [%]
φ_f	Humedad final del café, [%]
t_{sec}	Tiempo de secado, [s]

2.1.2.5 Tiempo de secado

El secado mecánico es capaz de eliminar el excedente de humedad, en un tiempo relativamente corto y con el menor daño al grano. Los alimentos que contienen azúcares liberan más lentamente los niveles de humedad, por lo que requieren de mayores tiempos para su deshidratación. El tamaño del grano es un factor importante que se debe considerar en el tiempo de secado, pues entre más pequeño sea el cuerpo, mayor será el área superficial en contacto con el aire, por

lo tanto, al cortar un cuerpo húmedo, la velocidad de secado aumentará y el tiempo disminuye.

$$tamaño \propto \frac{1}{\text{área superficial}}$$

El secado de café en lecho fluidizado se presenta como una alternativa para obtener café con un contenido de humedad final uniforme y reducir el tiempo de secado. La fluidización es una operación unitaria que posee características intermedias entre el desplazamiento de sólidos en el seno de un fluido y el flujo de fluidos a través de partículas sólidas. Cuando un fluido atraviesa, de abajo arriba, un lecho de granos cuyo tamaño varía entre límites estrechos, se establece el gradiente de presión necesario para vencer el frotamiento. Si se aumenta la velocidad del flujo se provocará un aumento en el gradiente de presión. Cuando la pérdida de presión se acerque al valor del peso del lecho por unidad de superficie de sección transversal al flujo, los granos comienzan a moverse. En este punto comienza la fluidización [17].

Para el cálculo del tiempo de secado en granos se usará la Ecuación 2.4 [18]:

$$t_s = \frac{m_{cs}}{A_{tc}R_c} \left(\varphi_i - \varphi_c + \varphi_c \ln \frac{\varphi_c}{\varphi_f} \right) \quad [\text{Ec. 2. 4}]$$

Dónde:

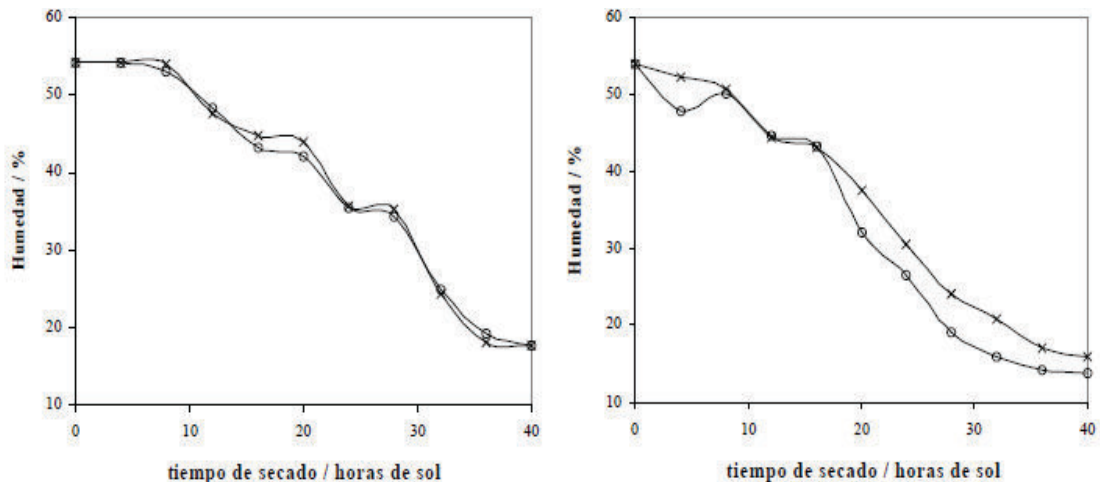
t_s	Tiempo de secado, [s]
m_{cs}	Masa de café seco, [kg]
A_{tc}	Área total de café, [m ²]
R_c	Velocidad de secado en período constante, [kg/m ² .s]
φ_i	Humedad inicial del café, [%]
φ_c	Humedad crítica del café, [%]
φ_f	Humedad final del café, [%]

2.1.2.6 Humedad Relativa del aire HR

Es la relación porcentual que existe entre la presión de vapor de agua en el aire y la presión de vapor de agua en el aire saturado a la misma temperatura, de acuerdo con el análisis experimental del Centro de Investigaciones de Energía Solar (CIES) [19], se escoge las curvas de velocidad y secado obtenidas para el grano de café. La experimentación se la hace tanto para el secador natural solar y

el secador mecánico. A continuación se describe el significado de cada gráfica obtenido por análisis experimentales del CIES.

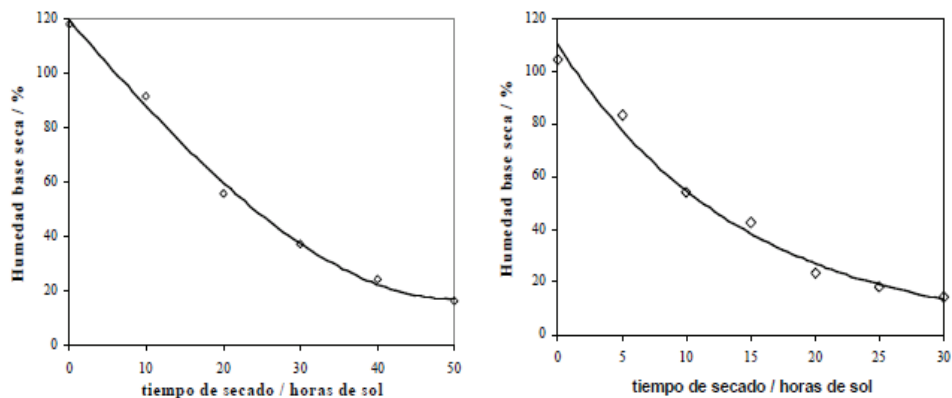
En la Gráfica 2.2 se tienen las curvas de secado mediante el secado solar en las plazoletas tradicional y modificado, para días con niveles de radiación solar entre $14500 \text{ [kJ}\cdot\text{m}^{-2}]$ (Gráfica 2.2(a)) y $18000 \text{ [kJ}\cdot\text{m}^{-2}]$ (Gráfica 2.2(b)). Estos resultados fueron obtenidos en base húmeda [19].



Gráfica 2. 2 Curvas de Secado para el Secado Solar de Café en (a) plazoletas tradicional y (b) modificada[19]

Fuente: Tecnología Química, Análisis de Opciones para el secado Solar del café, Vol. XIX, No. 3, 1999

Forma característica de las curvas de secado para el secado de café en los secadores solares multipropósito (Gráfica 2.2(a)) y mecánico de tambor rotatorio (Gráfica 2.2(b)). Las cargas experimentales son $14,54$ y $5,65 \text{ [kg}\cdot\text{m}^{-2}]$ respectivamente [19]. Se muestran los ajustes exponenciales en la Gráfica 2.3



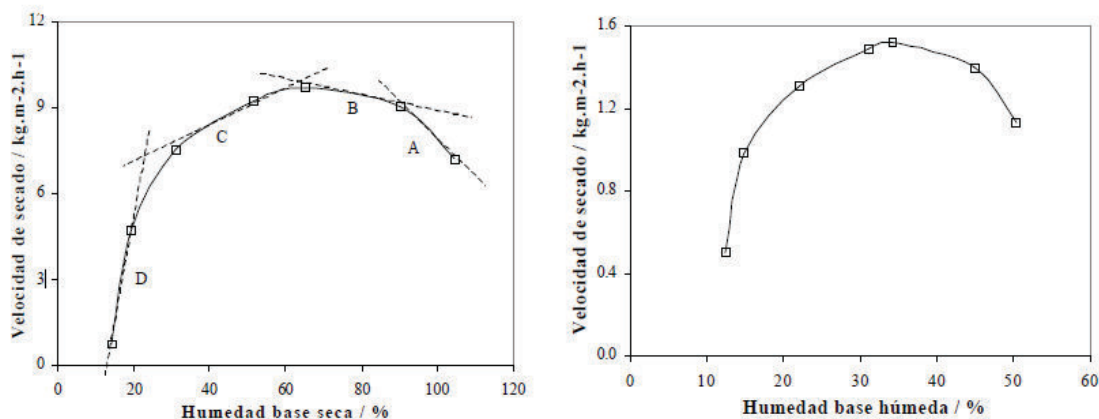
Gráfica 2. 3 Forma característica de las curvas de secado de café en (a) Secadores Solares y (b) Mecánico tipo Guardiola[19]

Fuente: Tecnología Química, Análisis de Opciones para el secado Solar del café, Vol. XIX, No. 3, 1999

- Curvas de Velocidad de secado vs. Humedad (Gráfica 2.4) del café obtenidas en los secadores solares multipropósito Gráfica 2.4(a) y mecánico de tambor rotatorio Gráfica 2.4(b). Se reportan los resultados obtenidos para las cargas mínimas de café [19].

Las humedades críticas han sido determinadas a partir de las curvas de Velocidad de secado vs. Humedad de la Gráfica 2.4.

En las curvas de Velocidad de secado vs. Humedad se pueden determinar con exactitud los puntos críticos del proceso de secado, encontrándose para el caso del café existen tres puntos, siendo muy común en el secado de granos. En el secador solar multipropósito los datos se toman en base seca y en el secador mecánico rotatorio en base húmeda, sin embargo el comportamiento es el mismo. En la Gráfica 2.4, se representan las zonas de velocidad creciente (A), velocidad constante (B), y velocidad decreciente (C y D). En la zona de velocidad decreciente se identifican dos tramos diferentes como es característico de muchos granos [19].



Gráfica 2. 4 Curvas de Velocidad de Secado vs. Humedad del café obtenidas por (a) secadores Solares y (b) Mecánico tipo Tambor, en base seca y húmeda[19]

Fuente: Tecnología Química, Análisis de Opciones para el secado Solar del café, Vol. XIX, No. 3, 1999

2.1.2.7 Evaporación superficial

El líquido presente en la superficie del producto húmedo se evapora gracias a la existencia de una corriente de aire caliente, que permite que la humedad del producto disminuya, mientras que la humedad del medio aumente.

2.1.2.8 Velocidad de secado

La velocidad de secado del grano relaciona de manera directa con la calidad del grano de café. Las variables que influyen en la velocidad de secado son:

- Naturaleza del material: los materiales de acuerdo al tamaño de la partícula sólida y a su composición interior, presentaran diferentes velocidades de secado y en consecuencia las curvas que describen en proceso de secado serán diferentes.
- Temperatura del aire: Al aumentar la temperatura del aire de secado la velocidad de secado será mayor y la pendiente de las curvas aumentarán, esto si no se modifica ninguna otra variable.
- Flujo másico del aire: Al aumentar la velocidad del aire la velocidad de secado aumentará, aunque se puede pensar que nada tiene que ver la velocidad del aire sino su capacidad para transferir masa, función que es dependiente de la humedad relativa y la humedad absoluta.
- Humedad absoluta del aire: Al aumentar la humedad absoluta del aire disminuye lógicamente la velocidad de secado.
- Tamaño de partícula del sólido: la velocidad de secado es inversamente proporcional al tamaño de las partículas, esto debido a que al disminuir el tamaño de las partículas el área de contacto con el aire aumenta y aumenta así el calor que se transfiere [14].

2.1.2.9 Higroscopia e Higrometría

La higroscopia es la capacidad de las sustancias para absorber humedad del medio circundante, siendo el estudio de la humedad, con sus respectivas causas y variaciones.

Las humedades que se deben considerar para el estudio de las variables más relevantes del Secador son las que se mencionan a continuación:

2.1.2.9.1 Humedad inicial: humedad con la que ingresa el grano a cada piso.

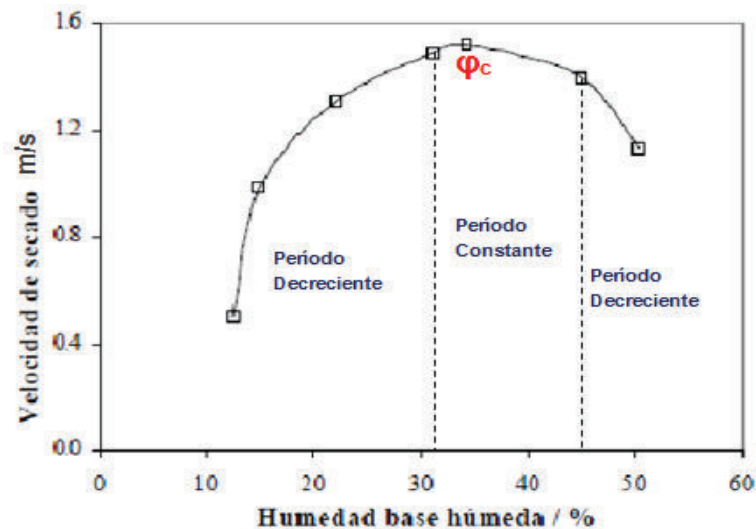
2.1.2.9.2 Humedad final: es la humedad con la que el grano se descargará de cada piso.

2.1.2.9.3 Humedad crítica: es el contenido de humedad promedio cuando la tasa de secado constante termina y comienza la tasa de secado decreciente, humedad que se encuentra en función del material, espesor y mecanismos

por los cuales el agua migra a la superficie, así también depende de la velocidad y estado del medio secante [14].

Los períodos de secado se encuentran identificados en la Gráfica 2.5 y comprenden los períodos constante y decreciente.

A continuación se realiza una descripción de cada período de secado:



Gráfica 2. 5 Curva de Velocidad vs Humedad del café con períodos de secado, para secador Mecánico tipo Guardiola[19]

Fuente: Tecnología Química, Análisis de Opciones para el secado Solar del café, Vol. XIX, No. 3, 1999

- *Periodo de secado constante:* es la etapa del secado que usa la evaporación del agua entre el flujo de calor intercambiado del aire y el producto. Es el periodo de secado durante el cual la remoción de agua por unidad de área de secado es constante. Esta etapa permanece mientras la superficie del producto es alimentado por agua libre líquida, desde el interior, debido a la capilaridad. La etapa de velocidad de deshidratado constante culmina cuando el medio de humedad del producto alcance la humedad crítica [14].
 - *Periodo de secado decreciente:* esta etapa empieza cuando se alcanza la humedad crítica. Es el periodo de secado en el cual la tasa de secado instantánea decrece continuamente. La transferencia de masa se convierte en limitante, haciendo que la migración de agua sea difícil [14].
- a) *Humedad libre:* es la única humedad que se puede evaporar, consiste en el exceso de humedad que tiene un sólido en relación con la humedad de equilibrio.
 - b) *Contenido de humedad:* se puede definir como la masa de agua por unidad de masa de producto húmedo.

- c) *Contenido de humedad en base húmeda (CHbh)*: es un porcentaje del peso del sólido húmedo, representa la humedad en un material y se expresa como kg de agua entre kg de material húmedo.
- d) *Contenido de humedad en base seca (CHbs)*: Se expresa como kg de agua entre kg de sólido seco.
- e) *Humedad de equilibrio (φ_e)*: La humedad contenida en un sólido húmedo o en una solución ejerce una presión de vapor, que al exponerse a una corriente de gas con una presión parcial de vapor, el sólido perderá humedad por evaporación, o la ganará a expensas del gas hasta que la presión de vapor de la humedad del sólido iguale a la presión parcial de dicha corriente gaseosa. El sólido y el gas entonces se encuentran en equilibrio y la humedad del sólido se denomina humedad de equilibrio. En la revisión bibliográfica se ha encontrado que la humedad de equilibrio no puede ser determinada [14].

2.1.2.10 Capacidad de Quemador

Para el funcionamiento del quemador se debe considerar la combinación de combustible con oxidante (aire), y mediante la intervención de la ignición (chispa) que produce llama, completan la combustión. Todo este proceso proporciona energía calórica para el secado.

El funcionamiento general del quemador se basa en el análisis de las condiciones de temperatura máxima de trabajo y la mezcla aire-combustible, el cual tiene el GLP como parámetro influyente principal en la combustión, comportándose de manera similar a otros combustibles cuando se trata de eficiencia, obteniendo ventajas de forma ambiental, técnica y económica [20].

2.1.2.11 Flujo másico de combustible

El flujo másico de combustible es la tasa que consume una masa de combustible. La masa de combustible necesaria, es entonces la relación entre la potencia calorífica requerida, y el poder calorífico del combustible [16].

2.1.2.12 Caída de presión

La caída de presión total, es la que necesita vencer el ventilador para entregar aire caliente en movimiento a la red de silos de granos de café pergamino. La caída de presión en un secador es a través de la sumatoria de las caídas de

presión del ducto de aspiración del aire, las pérdidas en el ducto de entrada de aire, a través del secador y por pérdidas en el lecho de café. Cada caída de presión se la determinará con las siguientes ecuaciones:

- **Pérdida en el ducto de aspiración de aire:** los accesorios presentes durante el paso del flujo de aire generan caídas de presión, por ello se determinará la pérdida de presión en el ducto de aspiración usando la Ecuación 2.5 [21]:

$$\Delta P_d = L_D * 0,15 \frac{[inH2O]}{100 [ft]} \quad [Ec. 2. 5]$$

L_D Longitud del ducto de aspiración de aire caliente

- **Pérdida en el ducto de entrada de aire:** Para la caída de presión en este accesorio se debe tener el producto entre la presión dinámica y el coeficiente C, que depende del diseño de accesorio según la norma SMACNA [22], entonces se usará la Ecuación 2.6 y 2.7 [21]

$$spv = \left(\frac{v}{4005 [fpm/inH2O]} \right)^2 \quad [Ec. 2.6]$$

$$\Delta P_{acc} = spv * \mu \quad [Ec. 2.7]$$

Dónde:

spv Presión dinámica, [inH2O]

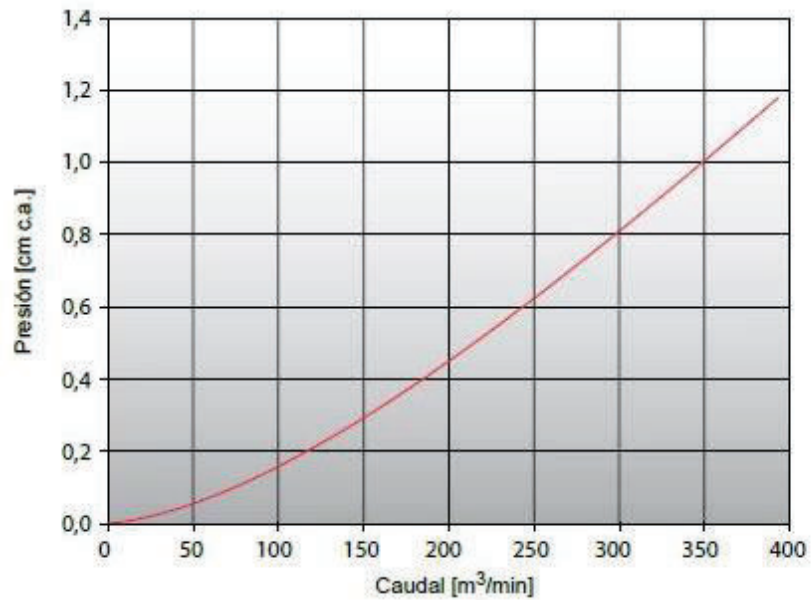
v Velocidad del aire a través del ducto de entrada, [fpm]

μ Coeficiente de pérdidas por fricción de aire, 0,05 por SMACNA.

- **A través de el secador:** Para obtener las pérdidas a través del secador, se realiza por medio de la curva característica del secador sin carga de la Gráfica 2.6 [9], la cual debe ser similar para cualquier secador a diseñar.

Según estudios los secadores deben seguir algunas recomendaciones para que las pérdidas por presión sean mínimas, así se tiene:

- Compuertas internas y externas del secador deben tener un área de al menos 1,5 veces el área de succión de aire del ventilador.
- La velocidad del aire debe ser menor o igual a 7 [m/s].
- El área perforada de la malla donde se deposita el café pergamino húmedo debe ser mayor o igual a 40%.



Gráfica 2. 6 Pérdida de presión en un secador sin carga

Fuente: Ventiladores para secadores de café; Diagnóstico, Diseño y construcción económica de ventiladores centrífugos, Federación de cafeteros de Colombia, Cenicafé, Fondo Nacional de Café

- **Pérdida en el lecho de granos:** la caída de presión en el lecho usará la Ecuación 2.8 [9]:

$$\Delta P_l = h_l * \left[\frac{\left(\frac{Q}{A}\right)}{9.523 - 0.0476 * \varphi_i} \right]^{1.4793} \quad [\text{Ec. 2.8}]$$

Dónde:

ΔP_l	Caída de presión en el lecho de grano, [cmH ₂ O]
h_l	Altura de la capa de grano, [m]
Q	Caudal, [m ³ /min]
A	Área transversal del flujo de aire, [m ²]
φ_i	Humedad inicial del café, [%]

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS DE CAMPO Y SELECCIÓN DE DOS TIPOS DE SECADORES

3.1 LUGARES VISITADOS

Las visitas realizadas permitieron el desarrollo del análisis de campo requerido, para el estudio de los procesos de secado utilizados a nivel cafetalero, la información fue recogida en tres centros dedicados de lleno al cultivo, cosecha y pos cosecha del café: El primer sitio fue la Finca Paragua de la Ing. Agrónoma Cristina Barrionuevo, Finca Maputo del Dr. Henry Gaibor y la empresa Galletti. Estos lugares permitieron levantar información y se distribuyen en la provincia de Pichincha como se indica a continuación:

- **Finca Paragua**, a 20 minutos de Pacto, lugar donde se pudo aprender de todo el proceso que atraviesa el café y levantar datos de las etapas de cosecha y postcosecha, a pesar de que en este sitio apenas iniciaban los procesos relacionados con el mismo, se obtuvo resultados certeros, debido a la accesibilidad de información y toma de datos.
- **Finca Maputo**, ubicada en Nanegal, en el barrio Palmitopamba La Perla de Nanegal a 45 minutos de Nanegalito, se conoció el uso y funcionamiento de un tipo de secador tipo silo, analizando sus características, ventajas y desventajas. Además se recopiló ciertas sugerencias que se tenía para mejora de la máquina.
- **Empresa Galletti**, ubicada al norte de la ciudad en el sector de Calderón, centro dedicado a elaborar café gourmet y obtener café en especies con calidad a nivel internacional; Galletti está capacitada para producir 180 toneladas anuales de café tostado y 100 toneladas anuales de café oro, producto que ha obtenido puntajes que sobrepasan los 85 de la escala de calificación SCAA [23]. La etapa que enfoca el estudio del presente proyecto, permitió analizar el secador tipo guardiola, máquina usada en Galletti para el

proceso de secado del café hasta llegar a cierto porcentaje requerido de humedad.

3.2 MÉTODOS DE SECADO DE CAFÉ UTILIZADOS EN LOS CENTROS VISITADOS EN LA PROVINCIA DE PICHINCHA

Las formas que usan las fincas e industrias cafetaleras para la reducción de la humedad en el café son varias y dependen varios factores entre los que se puede mencionar: la cantidad de café cosechado existente, lugar donde se va a secar el café, costo empleado para el secado de café, tiempo de secado del café, calidad del grano de café, espacio que usará los secadores naturales o mecánicos.

De estos factores se visualizó tres formas de secado que usaban los agricultores y empresarios dedicados a la obtención de café de buena calidad: secador tipo Guardiola, secador solar por Marquesinas, secador tipo Silo en Bandejas

3.2.1 ANÁLISIS DE MÉTODOS DE SECADO USADO EN LOS DIFERENTES CENTROS DE BENEFICIADO

3.2.1.1 Análisis del método de secado usado en Galletti

En la empresa Galletti el proceso de secado es mecánico y hacen uso de una secadora tipo guardiola que se observa en la Figura 3.1; ésta máquina está alejada de los demás procesos que atraviesa el café y tiene su propio espacio.



Figura 3. 1 Secador Tipo Guardiola

Fuente: Propia

Proceso de Secado

El proceso de secado que atraviesa el café en la empresa Galletti, consiste en colocar manualmente el café, hasta llenar por completo el cilindro rotatorio aproximadamente con 6 quintales de café al 20% de humedad, asegurar la tapa de carga para evitar que el grano se desparrame. Encender el sistema de transmisión de movimiento y ventilador para el secado del grano, este último provisto de un quemador cuyo combustible el gas licuado de petróleo (GLP), a partir de este punto se considera un tiempo de 8 horas de secado para reducir la humedad al 10 o 12%.

En la Figura 3.2 se observa el medidor y regulador de presión y paso del gas respectivamente.



Figura 3. 2 (a) Fig de la izquierda Medidor de Presión; (b) Fig de la derecha Válvula reguladora de paso de gas

Fuente: Propia

En la Figura de la 3.3 se observan las fotografías tomadas del secador tipo guardiola pertenecientes a Galletti, externa e internamente.



Figura 3. 3 (a) Secador Tipo Guardiola (b) Composición interna del Secador tipo Guardiola con bandejas

Fuente: Propia

Dimensiones y Medidas del secador

En este centro industrial cafetalero se pudo tomar varias medidas en la Tabla 3.1, los mismos que ayudaron como guía para el desarrollo del presente proyecto.

Variable	Valor
Diámetro externo del tambor secador	1.210 [mm]
Diámetro interno del tambor secador	1.170 [mm]
Espesor del tambor secador	2 [mm]
Largo del tambor secador	1.230 [mm]
Diámetro de orificios de plancha barolado del secador	5 [mm]
Masa de café a secar	6 [qq]
Tiempo de secado	8 [hrs]
Diámetro del ventilador	400 [mm]
Altura de la estructura	800 [mm]
Potencia del motor-reductor	1 [HP]
Porcentaje de humedad del café al ingresar al secador	20% al 22%
Porcentaje de humedad del café a la salida del secador	10% al 12%

Tabla 3. 1 Dimensión y Medidas del Secador Tipo Guardiola

Fuente: Propia

3.2.1.2 ANÁLISIS DEL MÉTODO DE SECADO USADO EN FINCA PARAGUA

En la finca de la Ing. Cristina Barrionuevo se tuvo la oportunidad de cosechar café cereza y se observó el proceso de postcosecha, que comprende las etapas expuestas en la Figura 3.4. Iniciando con la cosecha del café cereza, seguido de la recepción del fruto que con el uso de agua se procede a la selección y clasificación del café cereza y retiro del café vano. Posteriormente se continúa con el despulpado y obtención del café libre de pulpa para realizar el fermentado con el café baba. La etapa de lavado es la que se debe seguir para eliminar la baba que contiene el grano de café mediante el empleo de agua y de esta manera obtener el café pergamino que luego del lavado requiere ser escurrido y eliminar el contenido excesivo de agua. El café pergamino está listo para ser secado con el uso de secadores solares y reducir su humedad, finalmente se dispone de sacos de yute para su almacenamiento y posterior venta.

La finca con 8 hectáreas de terreno ha comenzado recientemente con el cultivo de café. Por cuestiones de costo, tiempo y calidad de café, este centro cafetalero se dedica a cumplir con las condiciones de secado mediante el empleo de secadores solares, los cuales se conforma de espacios similar a invernaderos, tapados con plásticos transparentes. En su interior, se encuentran provistos de dispositivos elaborados manualmente, que adoptan formas de mesas o camas cubiertas por yute o cabuya denominadas marquesinas.

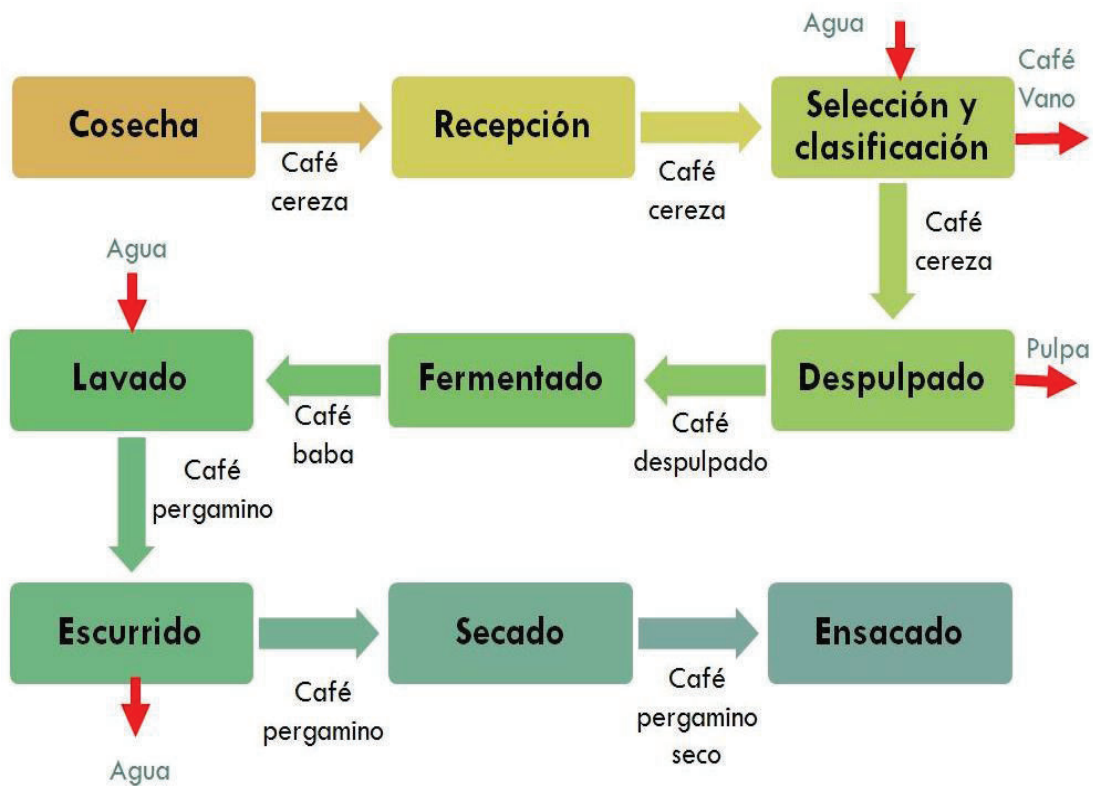


Figura 3. 4 Proceso de Postcosecha del café

Fuente: Propia

En la Figura 3.5 se tiene las variables y parámetros que se consideró y tomó en cuenta en cada etapa de la Cosecha y Postcosecha.



Figura 3. 5 Variables a considerar en cada etapa de la Cosecha y Postcosecha

Fuente: Propia

Con lo expuesto anteriormente, a continuación se detalla de manera más minuciosa las etapas y observaciones que se siguieron y se deben considerar en los dos procesos de Cosecha y Postcosecha.

Cosecha: este proceso contempla la recolección del grano de café cereza:

1. Recolección

- Seleccionar cerezos de café totalmente maduros durante el proceso de cosecha.
- No mezclar los cerezos caídos en el piso con los que se está recolectando, pues al mezclar cerezos sobre-fermentados, verdes o dañados, reducirá indudablemente la calidad del grano de café.

- Colocar los cerezos maduros en recipientes adecuados y lo más limpios posibles para evitar maltrato del grano y contaminación con moho u otros agentes.
- No dejar cerezos maduros en las plantas, pues estos pueden fermentarse, y producir mal olor y sabor en cada cerezo. En la Figura 3.6 se observa la planta de café arábigo de la Finca de la Ing. Barrionuevo.



Figura 3. 6 Planta de café arábigo

Fuente: Propia

2. *Postcosecha*: las etapas que contempla este proceso son la clasificación, despulpado, fermentado, lavado, escurrido, presecado (en algunas ocasiones) y secado, para su almacenamiento.

a. Clasificación

- Después de la cosecha realizada todo el día, se recolectan todos los cerezos recogidos en la tarde.
- Se hace una nueva clasificación del cerezo ahora mediante el uso de tinajas llenas de agua para que por densidad floten los cerezos malos.

b. Despulpado

- Otra etapa que se ejecuta el despulpado del cerezo, mediante una máquina despulpadora obsoleta, mediante el desprendimiento de la pulpa y algo de mucílago que está adherido al grano de café. En la Tabla 3.2 se tiene un resumen de los resultados en porcentaje de la cáscara y café despulpado.

	Peso [g]	Porcentaje que representa (%)	NORMA
Total	498,5		
Cáscara	209,8	42 %	40 %
Solo grano	288,7	58 %	60 %

Tabla 3. 2 Resultados en % de la cascara y café despulpado

Fuente: Propia

Las humedades del grano despulpado como de la cáscara obtenida son:

Humedad del grano despulpado: 0,53 [kg agua/kg seco].

Humedad de la cáscara: 0,18 [kg agua/kg seco].

c. Fermentación

- Se realiza empleando tanques cerrados evitando la presencia de insectos, que puedan dañar el grano. La duración de esta etapa fue de 16 horas, las mismas que transcurren en la noche. En la Figura 3.8 se observa la toma del peso de café baba en su proceso de fermentación. Durante el proceso de fermentación se produce el desprendimiento del mucílago del grano de café. Este proceso debe durar alrededor de 12 a 36 horas lo que determina este tiempo son las condiciones climáticas del lugar, así también su altitud geográfica, el volumen de café a fermentar en el tanque, la variedad de grano de café que se tiene y finalmente el punto de maduración del grano de café.

d. Lavado

- Es de tipo manual, la gente suele buscar las mejores alternativas de eliminar por completo el mucilago adherido al café como por ejemplo. El tiempo es de una hora con 5 enjuagues aproximadamente realizados.
- Se realiza a las 9 am de la mañana, después de dejarlo fermentar, a temperatura ambiente de 25 °C.
- Este proceso se realiza en tinajas largas de forma manual y con el uso de agua.
- En la etapa de lavado se da una vez terminado la remoción del mucílago con el grano de café, pues aquí se elimina por completo los residuos que han quedado pegados en el pergamino del café, nuevamente se hace una clasificación de los granos, pues por densidad el grano vano y brocado flota y son los de mal estado que disminuye la calidad de la llamada taza.

e. Ecurrido

- Una vez dado por terminado el proceso de lavado el grano está mojado y adquiere una humedad del 55% e incluso mayores, para reducir esta humedad se procede a la etapa de escurrido del café pergamino.
- Se deja escurrir el café en zarandas por una hora.
- El peso de cada grano es de 0,45 [gr]; valor que está dentro de los rangos que se encuentran en bibliografía.

f. Presecado

- Antes este proceso para nuestro estudio se dividirá en dos subetapas proceso de presecado y proceso de secado propiamente.
- Cada etapa depende de la humedad con la que ingresará el grano de café pergamino a cada mecanismo.
- En la etapa de presecado reducirá el porcentaje de humedad del 55% o 49% al 35% o 30%, el café pergamino durante el presecado atraviesa por dos fases la de café mote (cuando el café pergamino llega al 43%) y café oreado (cuando el café pergamino llega al 35% o 30%).
- El exceso de rocío nocturno puede ocasionar afectaciones en el grano.

g. Secado

- El proceso de secado empieza con la colocación de quintales de café escurrido al 50% de humedad en las marquesinas. Después, se debe ir removiendo cada 2 horas como mínimo el grano y a su vez de manera empírica ir controlando el porcentaje de humedad, esta prueba se la hace mediante la observación del grano de café, determinar su color y a la vez realizar la colocación del grano de café en la boca, masticarlo y con el sabor emitido se sabe si el café llegó al punto requerido de humedad que oscila entre el 23% y 20% de humedad, para obtener esta humedad se debe considerar por lo menos 120 horas (aprox. 5 días).
- En la Figura 3.7 se observan las marquesinas usadas para el secado de café. Esta actividad se realizó durante 12 días tomando datos cada 2 horas a partir de las 7 am hasta las 6 pm.



Figura 3. 7 (a) Dimensiones físicas de la Marquesina (b) Construcción de marquesinas de secado

Fuente: Propia

- Para este proyecto se acudió a la colaboración de la asociación de caficultores del recinto El Paraíso, cuyo representante nos facilitó el determinador de humedad de la asociación. El aparato permite tomar medidas de temperatura y humedad, cuya marca es GEHAKA modelo G600i, observado en la Figura 3.8.



Figura 3. 8 Determinador de humedad

Fuente: Propia

- Se procede a pesar y equilibrar en la balanza del equipo, con 142 g de café pergamino en proceso de secado. El peso y equilibrio se hizo por medio del contenedor que contiene la masa de café y equilibrado con pesas cuyas flechas deben ir hacia arriba.
- Verter los 142 [gr] de grano de café pergamino que fueron pesados anteriormente en la balanza en la tolva de ingreso de grano.

- Esperar un tiempo determinado (alrededor de 10 seg) y tomar las medidas, que se observa en el lector de humedad y temperatura del grano.
 - Descargar el grano de café pergamino en el contenedor de recolección.
- Se usaron termómetros de aire en las mediciones de temperaturas, y balanza para determinar el rendimiento.
 - Para determinar la humedad requerida para la venta al 12%, los agricultores masticaron el grano si se deja huellas en el café se comprueba que el secado llegó a su fin y el café pergamino es el apto para la venta.
 - Una vez que el grano alcanza ésta humedad para vender se puede empaquetar y enviarlo más pronto posible a centros de recopilación que ayudan a reducir el porcentaje de humedad al 10 y 12% para ser posteriormente tostado y en ocasiones exportado.

Descripción de Marquesinas

- El uso de marquesinas se ubica en sentido sur-norte, está conformada por una estructura rectangular de madera en la cual como paredes se emplea plástico de invernadero, con ventanas laterales de 60 cm en la parte superior, las dimensiones de altura se representan en el gráfico, donde se presenta formando un techo de plástico con suficiente espacio para facilitar la eliminación de los vapores provenientes del proceso de secado en sí.
- Las camas se ubican dentro de la cámara y se ubican a 90 [cm] del piso, 30 [cm] de las paredes y un espacio entre sí de 60 [cm].

Dimensiones y Medidas de Marquesinas

En esta finca se tomaron las siguientes dimensiones detallados en la Tabla 3.3:

Dimensiones de la marquesina	Longitud	10,6 [m]
	ancho	2,80 [m]
	Alto	3,60 [m]
Dimensiones de camas	longitud	10 [m]
	ancho	1,60 [m]
	Alto	1,15 [m]

Tabla 3. 3 Dimensiones y medidas de Marquesina de Secado de Café

Fuente: Propia

En la Figura 3.9 se tiene un bosquejo de las dimensiones del espacio que ocupa la marquesina:

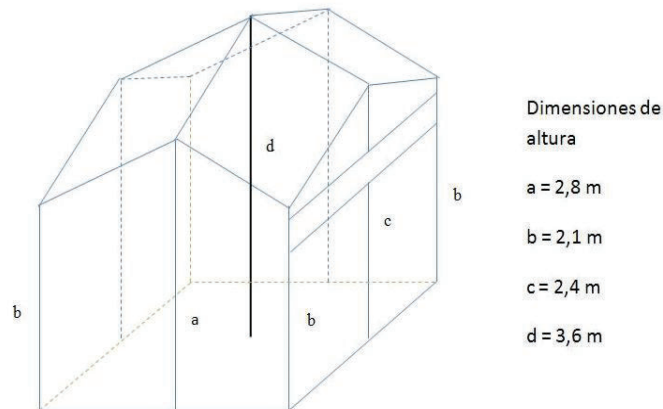


Figura 3. 9 Dimensiones de Espacio que ocupan las Marquesinas en Finca

Fuente: Propia

Datos tomados durante el proceso de secado en Finca Paragua

En la Tabla 3.4 se tiene los porcentajes de humedad con lo que se coloca y recoge el grano de café, obtenidos de manera experimental con el equipo GEHAKA modelo G600i:

Variable	Valor en % de humedad
Porcentaje de humedad de grano colocado	35 a 45%
Porcentaje de humedad de grano recogido	20%

Tabla 3. 4 Porcentaje de grano colocado y recogido en Marquesinas

Fuente: Propia

Los datos de la variación de la humedad de los granos de cafés tomados con respecto al tiempo, de 12 grupos de café en la marquesina, durante 12 días, cada 2 horas por cada día, datos que se muestran en las Tablas del Anexo 17, sin embargo, se tomó de forma aleatoria los datos correspondientes a 3 días.

La variación de la humedad con respecto al tiempo que se observa en la Tabla de datos A.17.1 (Anexo 17), en las horas del día de 09h00 a 15h00, los valores de la humedad se reduce rápidamente, sin embargo, a las 17h00 la humedad puede reducir o aumentar insignificamente desde la última medición realizada (15h00), a las 07h00 generalmente la humedad suele aumentar.

Este proceso se debe al comportamiento de la temperatura del ambiente (Tabla A.17.2) generada durante las horas del día, que gracias al calor producido por el sol, la humedad del grano disminuye, y, durante la noche la temperatura se reduce cambiando las propiedades del ambiente, creando fenómenos de condensación dentro del invernadero, lo que provoca que la humedad del grano aumente, esto con relación a la toma de datos hecha el día anterior (17h00).

Recomendaciones hechas por cafetaleros y expertos a considerar en Finca Paragua

- Colocar los cerezos maduros en recipientes adecuados y lo más limpios posibles para evitar maltrato del grano y contaminación con moho u otros agentes.
- No dejar cerezos maduros en las plantas, pues estos pueden fermentarse, y producir mal olor y sabor en cada cerezo.
- Sería una recomendación pesar el café después de la recolección, sin embargo ellos lo hacen de manera empírica el pesado, calculando cuantos sacos han obtenido durante la cosecha.
- El proceso de despulpado interviene directamente en la calidad del café y por ende en su rendimiento. Una recomendación que se debe hacer es que esta etapa de despulpado debe hacerse el mismo día y no dejar pasar 12 horas luego de haber realizado la cosecha o recolección del cerezo de café.
- Se aconsejaría en esta etapa disponer de zarandas que mediante la vibración hagan una nueva clasificación del grano de café para ejecutar una nueva reclasificación y selección del mejor grano de café.
- Otra recomendación para la mejora de la etapa de despulpado es el uso de mecanismos adecuados y en buen estado para garantizar que el grano permanezca intacto y bueno y de esta manera no se tenga problemas de granos quebradizos o pelados, lo que incurre a pérdidas de café pergamino (detrimento de la cascarilla que protege el grano de café conocido como pergamino)
- Se recomienda que por ningún motivo se deje sobre fermentar el grano de café, pues su calidad disminuirá y lo peor es que nadie querrá consumir ese tipo de café.

- Se debe tener cuidado con la humedad con la que sale el café pergamino después del lavado, ya que puede generarse un sobre-fermentado del grano al contener un porcentaje mayor al 55% de humedad, no apto para su consumo por su bajísima calidad. Un excelente secado, permite que el café sea conservable, teniendo un buen sabor y aroma.
- Sin duda alguna el café durante el proceso de secado conjunto con los demás procesos anteriores mencionados y tomando en cuenta ciertas recomendaciones y observaciones realizadas, el grano adquiere una buena apariencia, color uniforme, peso equilibrado y lo más relevante una excelente calidad en taza.

3.2.1.3 ANÁLISIS DEL MÉTODO DE SECADO USADO EN FINCA MAPUTO

En la finca Maputo del Dr. Henry Gaibor, se caracteriza por su gran avance que posee a nivel cafetalero, su producción es relevante en comparación de los pequeños productores y agricultores, por ello hace uso tanto de marquesinas como de un secador de silo que está distribuido en tres pisos por bandejas. Su avance que posee tanto a nivel de cultivo, cosecha y postcosecha es muy evolucionado.

Una gran diferencia que se manifestó en la finca visitada, fue que la etapa del fermentado que se la hace por las dos vías tanto húmeda mediante el uso de agua y la seca por el mucílago propio del café. Generando dos tipos de café en cuanto aroma, sabor y calidad. En la Figura 3.10 se observa la marquesina de la finca Maputo que procesa el fermentado por vía seca.



Figura 3. 10 Marquesina de la Finca Maputo con café fermentado en vía seca

Fuente: Propia

Proceso de secado en Finca Maputo

El proceso de secado que se observó en la Finca Maputo del Dr. Henry Gaibor, fue que hace uso tanto del secado solar, como el secado mecánico. El café fermentado húmedo es presecado mediante una marquesina, posteriormente al medir la humedad y llegar al 40% es colocado en la máquina secadora tipo silo hasta llenar el piso superior con el café, y de esta manera continuar con el proceso de secado, para efectuar esta etapa se enciende el ventilador que funciona mediante gas y quemador a 50°C aproximadamente, ayudando a reducir el porcentaje de humedad del café hasta el 12%, este proceso demora alrededor de 1 día para bajar del 40% al 12% y no es un secado que se mantiene en una sola plancha sino que es desplazado del piso superior al piso intermedio al alcanzar una humedad del 26% y finalmente, el grano se traslada al piso inferior cuando haya alcanzado el 18%. Se debe mencionar que para alcanzar la humedad deseada del 12% se debe remover cada dos horas el café y en los tres pisos, así mismo la descarga se hace a través de compuertas totalmente manuales que permiten la caída del café de un piso a otro. Al tener la humedad necesitada se descarga finalmente en un saco especial de café lo más pronto, para evitar que el grano vuelva a absorber la humedad del medio externo. En la Figura 3.11(a) se tiene la marquesina de la finca Maputo en proceso de remoción para su pre-secado homogéneo, además en la Figura 3.11(b) se tiene el secador mecánico usado después del pre-secado perteneciente a la industria Colombiana Penagos.



Figura 3. 11 (a) Removiendo el café durante el proceso de presecado en la finca Maputo, Secador de Café, (b) Penagos de bandejas de tres Pisos

Fuente: Propia

Dimensiones y Medidas del secador

En la finca Maputo se pudo obtener las dimensiones y datos tanto del secado natural solar como el secador de silo de tres pisos, mostrados en la Tabla 3.5; a pesar de que la visita fue corta no se pudo detectar las dimensiones de las marquesinas, sin embargo las dimensiones del secador mecánico rectangular fueron posibles tomarlas y se enlista en seguida:

Parámetro	Valor
Altura de cada piso	340 [mm]
Ancho del secador	860 [mm]
Largo del secador	670 [mm]
Altura total	1500 [mm]
Ancho de las puertas	630 [mm]
Largo de las puertas	750 [mm]
Diámetro del ventilador	500 [mm]
Potencia del motor del ventilador	$\frac{3}{4}$ [HP]
Humedad del grano al ingresar al 1er. piso	55% al 50%
Humedad del grano al salir del 1er. Piso	40% al 35%
Humedad del grano al ingresar al 2do. piso	40% al 35%
Humedad del grano al salir del 2do. Piso	23% al 26%
Humedad del grano al ingresar al 3er. piso	23% al 26%
Humedad del grano al salir del 3er. Piso	20% al 18%
Tiempo de secado	8 [h]
Temperatura de calentamiento del aire	50°C

Tabla 3. 5 Dimensiones y Medidas del Secador de PENAGOS de bandejas de 3 pisos

Fuente: Propia

Así también se observan fotos pertenecientes al secador de Silo Penagos indicados en las Figuras 3.12 (a), (b) y (c) facilitados por la Finca Maputo, donde se muestran las especificaciones y rangos técnicos de la máquina:



Figura 3. 12 (a) Especificaciones del Secador de Silo de tres pisos, (b)Especificadores del Motor del Ventilador, (c) Bandejas de tres pisos para el Secador de Silo

Fuente: Propia

3.3 PROCEDIMIENTO DE SELECCIÓN DEL SECADOR

En el capítulo 2, en la sección 2.1.1, se hace un estudio técnico-teórico general de los secadores de granos y posteriormente se analiza nueve tipos de secadores específicos para el secado de café. Pero autores como Aguirre, hace énfasis en su proyecto de tesis, que de los nueve secadores, los más aptos para el secado de café son tres tipos: silo de bandejas, rotativo o guardiola y el secador tipo túnel o McDowell, como se indica en la Tabla 3.6.

CLASE DE SECADORA	TIPO DE GRANO							
	Trigo	Girasol	Maíz	Soya	Maní	Fréjol	Arroz	Café
SECADORA DE BANDEJAS	NO	NO	SI	NO	SI	NO	NO	SI
SECADOR ROTATIVO	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI
SECADOR DE TÚNEL	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI

Tabla 3. 6 Secadores aptos para cada tipo de grano

Fuente: AGUIRRE, F., Tesis Diseño de un secador rotativo de maní para pequeños productores, pág 48, 2006

Al observar que los mejores secadores mecánicos y más comúnmente usados son de estas tres clases, se hará ahora una preselección. A través del estudio teórico, criterios técnicos, investigación de campo y sobre todo requerimientos del usuario, se descartó el secador tipo túnel pues no satisfacían a los usuarios y presentaba una serie de inconvenientes, por los que se considerará solo los dos tipos de secadores. Con esta preselección, se tiene finalmente el silo de bandejas y el rotativo o guardiola, sin embargo al silo de bandejas se le subdividirá en dos tipos:

- Silo de bandeja de un piso
- Silo de bandejas de tres pisos

Por último, se va a analizar estos secadores mecánicos que se han escogido: silo de bandeja de un piso, guardiola o rotativo y silo de bandejas de tres pisos, obteniendo un cuadro resumen de sus ventajas y desventajas, para de tal forma, escoger las dos opciones propicias y que se acerquen a las necesidades requeridas por el usuario y por la parte técnica ingenieril como: porcentaje de

humedad a la entrada del aire, buen funcionamiento, consumo de energía, costo del equipo, transportable, entre otros.

3.3.1 Ventajas y Desventajas del secador de silo de un piso

La Tabla 3.7 indica las ventajas para el secador de silo de un piso:

VARIABLE	VENTAJAS
% de Humedad a la entrada	Secado con buena uniformidad de grano en el contenido de humedad final, que oscila entre 10 y 12% bh, con diferencias menores a 0,86%.
Funcionamiento	Procesan cualquier partícula cuyo tamaño varíe de 20 a 5000 micrones, con alimentaciones que van desde polvos secos a húmedos, tortas de filtrado o de centrifugado.
Consumo de energía	Consumo mínimo de energía calórica.
Costo	Secador de económica construcción. Son antiguas, sencillas y poco costosas que se están instalando como consecuencia del alto costo de las secadoras rotatorias y verticales.
Tiempo de secado	Generalmente con este secador se tiene un tiempo de secado que varía de 6 a 8 horas, dependiendo la humedad con la que ingrese el grano.
Calidad de grano final	Al grano al someterse a la prueba de taza, presenta características organolépticas de buena calidad, resultados basados en revistas técnicas
Diseño y construcción	Diseño relativamente sencillo. Existen talleres especializados en el país, que se dedican a la construcción de este tipo de secadoras, debido a la fácil adquisición de los elementos mecánicos.

Tabla 3. 7 Ventajas del Secador de Silo de un Piso

Fuente: Propia

También se muestra las desventajas para el secador de silo de un piso en la Tabla 3.8:

VARIABLE	DESVENTAJAS
Eficiencia y Rendimiento	Estos secadores no son muy eficientes desde el punto de vista energético e incluso pueden causar pérdidas de grano (sobrecalentamiento de las capas inferiores), por falta de adecuada remoción y limpieza.
Funcionamiento	Revolver constantemente la masa de café, como máximo cada dos horas, aunque se puede disponer de algún removedor automático.
Carga	Limita el volumen con placas soporte y el lecho, con una capa de café de altura máxima de 50 [cm].
Instalación	Difícil instalación que conlleva a los elementos de cámara de aire a ser construido e instalada con antelación por la cantidad de materiales que se requiere y condiciones que se debe tomar en cuenta.
Transporte	Secador estático, difícil de transportar o cambiar de lugar.

Tabla 3. 8 Desventajas para el Secador de Silo de un Piso

Fuente: Propia

3.3.2 Ventajas y Desventajas del Secador de Guardiola

La Tabla 3.9 indica las ventajas para el secador tipo guardiola.

VARIABLE	VENTAJAS
Funcionamiento	Evitan que los granos de café se peguen a las paredes de desplazamiento, debido a su constante movimiento y caída de grano por gravedad.
Transportable	Máquina secadora transportable con total facilidad, sin requerir de espacios grandes para su instalación.
Otros	El secador rotatorio es un tipo de secadora de mayor uso en la industria cafetalera, debido a su facilidad de transporte y el poco espacio que ocupa

Tabla 3. 9 Ventajas del Secador Tipo Guardiola

Fuente: Propia

También se muestra las desventajas para el secador tipo guardiola en la Tabla 3.10:

VARIABLE	DESVENTAJAS
Carga	Nunca puede trabajar completamente lleno. Siempre se debe dejar un espacio libre de 20 a 30 [cm] diametral para que el producto se mueva. Sin embargo hay una contradicción al dejar un espacio libre en exceso, pues el aire caliente se perderá sin secar el grano, ocasionando pérdida de energía eléctrica, de combustible y de tiempo, elevándose así el costo de producción.
Funcionamiento	Son secadoras con procesamientos de café de secado que utiliza altos flujos de aire en masa y bajas temperaturas del aire es muy demandante de energía y térmicamente ineficiente
Rendimiento	El café debe necesariamente pre-secarse en pozas de oreado circular o rectangular, antes de ingresarlo a la secadora, para mejorar su eficiencia y rendimiento, pues su secado no es homogéneo.
Diseño y Construcción	Diseño con cierto grado de dificultad y la accesibilidad a los elementos y componentes mecánicos son muy complejos.
Tiempo de secado	El tiempo de secado va de 18 a 24 horas, dependiendo de las condiciones físicas del lugar. Mientras más húmedo es el aire del medio, el tiempo de secado del café aumentará.
Costo de construcción	Existe el inconveniente de que su precio de construcción es elevado.

Tabla 3. 10 Desventajas del Secador Tipo Guardiola

Fuente: Propia

3.3.3 Ventajas y Desventajas del Secador de silo de tres pisos

La Tabla 3.11 indica las ventajas para el secador de silo de tres pisos

VARIABLE	VENTAJAS
% de Humedad a la entrada	Uniformidad adecuada en el contenido de humedad final del grano cuando es de capa móvil, debido a que está expuesto a tres cámaras variando su humedad conforme pasa el tiempo.
Funcionamiento	Procesan cualquier partícula cuyo tamaño varíe de 20 a 5000 micrones, con alimentaciones que van desde polvos secos a húmedos, tortas de filtrado o de centrifugado
Espacio	Distribución eficiente del espacio, con respecto a la cantidad de café a secar.
Transporte	Fácilmente transportable si hay cambio de lugar o área a la cual está destinado
Tiempo de secado	Generalmente este secador emplea tiempos de secado que varía de 12 a 14 horas, y es menor si el grano ingresa con menor porcentaje de humedad.
Frecuencia de uso	En las fincas cafeteras grandes y medianas, es el secador mecánico de café más empleado.
Diseño y construcción	Diseño con nivel de dificultad medio, pero de fácil adquisición de los elementos mecánicos en el mercado ecuatoriano.
Costo	Secador económico en la construcción y de fácil instalación.

Tabla 3. 11 Ventajas para el Secado de Silo de tres Pisos

Fuente: Propia

También se muestra las desventajas para el secador de silo de tres pisos en la Tabla 3.12

VARIABLE	DESVENTAJAS
Funcionamiento	Revolver constantemente la masa de café si es de capa estática, como máximo cada dos horas.
Carga	Reciben hasta una cierta cantidad de café recomendable de forma efectiva para el secado.
	Limita la capacidad de café por piso, al ser de tres pisos debe tener máximo 30 [cm] de lecho por cada piso.

Tabla 3. 12 Desventajas para el Secador de Silo de tres Pisos

Fuente: Propia

3.3.4 Cuadro de Factores Técnicos para los tres Secadores Guardiola, Silo de un piso y Tres pisos.

A continuación se presenta la Tabla 3.13 que relaciona los tres tipos de secadores tipos Guardiola, Silo de un piso y Silo de tres pisos con sus respectivos factores técnicos importantes a considerar dentro del secado de grano, y además hace una relación con los valores recomendados para el diseño de cada secador.

FACTORES TÉCNICOS	TIPO GUARDIOLA	SILO DE UN PISO	SILO TRES PISOS	RECOMENDACIÓN DE DISEÑO [9]	UNIDAD DE MEDIDA
Caudal de aire específico	0,08	0,08	0,17	0,1	m ³ /min por cada kg
Velocidad del aire	La velocidad del aire supera lo recomendado para vencer la caída de presión	Utiliza la velocidad del aire recomendado para vencer la caída de presión		7	m/s
Paso de área perforada	Las tres alternativas se pueden usar para el diseño de la plancha perforada			40	%
Tamaño de Compuertas	El tamaño es frecuentemente mayor al estipulado, esto sucede porque usa chumaceras de cierto diámetro para la entrada de aire y movimiento.	Utiliza compuertas con lo recomendado ya que el ducto usa accesorios de expansión para el aire		1,5	Veces del ducto de entrada de aire

FACTORES TÉCNICOS	TIPO GUARDIOLA	SILO DE UN PISO	SILO TRES PISOS	RECOMENDACIÓN DE DISEÑO	UNIDAD DE MEDIDA
Perdidas de presión	1,15	0,24	1,1	-----	in H ₂ O
Carga (espesor)	454 kg con un espacio de movimiento de 20 a 30 cm, esto hace que existan perdidas de energía calórica.	454 kg con un espesor de 40 cm	Aproximadamente 153 Kg por piso con un espesor de 25 cm	-----	cm/piso
RPM	Aproximadamente 5 RPM para el movimiento del café			4 a 6	RPM
KgvaporH2O/min	0,08	0,34	0,25	-----	kg/min
Tiempo de secado	18-24	12-14		-----	Horas

Tabla 3. 13 Factores Técnicos de los Secadores

Fuente: Propia

Por lo tanto, después de hacer el análisis de ventajas, desventajas y factores técnicos, se va a considerar las 6 variables más relevantes, para la selección de los dos mejores prototipos, las cuales son:

- Transportable
- Determinación de temperatura
- Determinación de humedad
- Alta fiabilidad
- Fácil manejo y uso
- Costo del prototipo

Posteriormente, se procede a realizar la ponderación entre las 6 variables para determinar el orden de importancia de cada una de ellas como se muestra en la Tabla 3.9. Por último, se hará nuevamente una ponderación entre las 3 soluciones propuestas: silo de un piso (solución 1), guardiola (solución 2) y silo de tres pisos (solución 3), con cada una de las seis variables mostradas en el Anexo 14. De acuerdo a lo descrito se hará el uso del método ordinal de criterios ponderados.

3.3.5 Método ordinal de criterios ponderados

El método ordinal de criterios ponderados permite obtener resultados globales suficientemente significativos, sin la necesidad de evaluar individualmente por parámetro de cada propiedad y sin tener que estimar numéricamente el peso de cada criterio [24].

Para la ponderación de cada alternativa se va a asignar la siguiente calificación:

- El valor de 1: si el criterio de filas es mayor al de columnas
- El valor de 0,5: si el criterio de filas es igual al de columnas
- El valor de 0: si el criterio de filas es menor al de columnas

Para cada solución de las filas se suman y se aumenta una unidad, posteriormente en otra columna se calcula los valores ponderados para cada solución. La evaluación total para cada solución resulta la sumatoria de los productos de cada criterio por el peso específico del respectivo criterio.

3.3.5.1 Ponderación para cada variable

Se realizará el estudio de las 6 variables, mediante la Tabla de ponderación 3.14, y de esta manera se tendrá el nivel de importancia.

Variable	Transportable	Determinación de Temperatura	Determinación de % Humedad	Alta fiabilidad	Fácil manejo y uso	Costo de Prototipo	$\Sigma +1$	Ponderación
Transportable		0	0	0,5	0,5	0	2	0,10
Determinación de temperatura	1		0,5	0,5	0,5	0,5	4	0,19
Determinación de % humedad	1	0,5		0,5	0,5	0,5	4	0,19
Alta fiabilidad	0,5	0,5	0,5		1	0,5	4	0,19
Fácil manejo y uso	0,5	0,5	0,5	0		1	3,5	0,17
Costo del prototipo	1	0,5	0,5	0,5	0		3,5	0,17
						Suma	21	1

Tabla 3. 14 Tabla de Ponderaciones con respecto a cada variable

Fuente: Propia

Alta fiabilidad = Determinación del % humedad = Determinación del % temperatura >

Costo del prototipo = Fácil manejo y uso > transportable

El orden de importancia que se tiene es: la alta fiabilidad, la determinación del porcentaje de humedad y temperatura, siendo las variables principales a considerar, sin embargo, se realizará el análisis entre cada una de las 6 variables con las tres alternativas de secadores, este proceso se indica en el ANEXO 14. Al

terminar este proceso se tiene una Tabla de conclusiones 3.15 que permite observar el orden de prioridad obtenido de las ponderaciones.

Conclusión	Fórmulas Finales						Σ	Prioridad
Solución 1	0,25 x 0,19	0,50 x 0,19	0,42 x 0,19	0,42 x 0,17	0,42 x 0,17	0,17 x 0,10	0,38	2
Solución 2	0,25 x 0,19	0,17 x 0,19	0,17 x 0,19	0,17 x 0,17	0,17 x 0,17	0,42 x 0,10	0,21	3
Solución 3	0,50 x 0,19	0,33 x 0,19	0,42 x 0,19	0,42 x 0,17	0,42 x 0,17	0,42 x 0,10	0,42	1

Tabla 3. 15 Tabla de Conclusiones de la solución escogida

Fuente: Propia

Entonces con los resultados obtenidos, permiten escoger los secadores de silo con bandejas, que superan a los secadores tipo Guardiola, como se detalla en la Tabla 3.15; gracias al método ordinal de ponderaciones se seleccionará los silos de una y tres bandejas o pisos.

3.4 ELEMENTOS PARA SECADORES DE SILO

En la construcción tipo silo, se ha determinado que los principales elementos a considerar son:

1. Cámara de secado
2. Cámara de aire
3. Tanque o cilindro
4. Sistema de transmisión de movimiento
5. Elementos de sujeción

3.4.1 Cámara de Secado

Representa el tanque o volumen que contiene el café con un contenido de humedad a ser disminuido, separada por una plancha perforada. Debe poseer compuertas de descarga que pueden ser laterales o en la base, que dependerá del diseño del secador, así mismo sus dimensiones están en función de parámetros como la cantidad de grano a colocar y la altura máxima de lecho [9].

3.4.2 Cámara de Aire

La cámara de aire permite el paso del aire a través de la plancha perforada hacia la cámara de secado, la misma que debe ser lo más hermética posible, y puede ser diseñada de concreto para evitar fugas de aire, así mismo permite que se

conserva la energía por ser un excelente aislante, también puede ser diseñada de acero estructural. El flujo de aire proviene del ventilador y una expansión gradual del ducto que permite el ingreso del aire a la cámara, el ducto disminuye las caídas de presión generadas y la velocidad originada en el ventilador.

3.4.3 Cilindro o Tanque

El tanque tiene la función de soportar la presión generada por el grano de café y los elementos internos por los que está constituido. En el interior del tanque o cilindro, consta de planchas perforadas que soportan el peso del grano de café a determinada humedad; las planchas perforadas posibilitan una distribución uniforme del flujo de aire caliente para que atraviese por el lecho de grano húmedo.

Se deben realizar dos recomendaciones establecidas en revistas bibliográficas:

- La lámina debe tener perforaciones que permitan el paso del aire de secado, estas perforaciones deben ser circulares en un mínimo del 10% de superficie total [25].
- El diámetro de orificios no deben ser superior a 6 [mm], y la distancia entre centros no debe superar los 20 [mm] [26].

3.4.4 Sistema de transmisión de movimiento

El sistema de transmisión de movimiento puede transferirse por elementos mecánicos entre los cuales se va a mencionar mecanismos como por ejemplo la cadena-piñón o el cono y corona que tienen la misma función de reducir la velocidad angular y transmitir el movimiento a una determinada potencia, el eje motriz que conecta los elementos en movimiento para transmitir dicha potencia; además debe constar en el diseño de lengüetas que transiten un par motor, gracias a la unión que hay entre los elementos mecánicos. Dentro del diseño no se debe dejar de lado la selección de cojinetes, para transmitir el movimiento deseado reduciendo vibraciones.

3.4.4.1 Cadena – Rodillo

El mecanismo cadena-piñón, su principal característica es la transmisión de velocidad constante, que evita estiramiento o patinado de la cadena. La función

de la cadena de rodillos es de impulsar cierto número de ejes a una misma fuente de potencia [27].

De acuerdo con la norma DIN 8196, se establece que el piñón debe tener como mínimo 17 dientes y para la rueda 114 dientes, además se recomienda que el número de dientes del piñón sea impar ya que así se logra que los dientes del piñón, engranen con distintos eslabones de la cadena, por consiguiente se distribuye mejor el desgaste [27].

3.4.4.2 Cono-Corona

En base a la disponibilidad de un motor-reductor, se puede calcular la relación de transmisión necesaria para conseguir el sistema de transmisión de movimiento, para ello se aplica la ecuación de relación de transmisión, por lo tanto se calculó a través de la siguiente expresión[24]:

$$R. T. = \frac{N_{\text{cono}}}{N_{\text{corona}}} \quad [\text{Ec. 3. 5}]$$

Dónde:

R. T.	Relación de transmisión
N_{cono}	Vueltas del cono, [rpm]
N_{corona}	Vueltas de la corona, [rpm]

El empleo de engranajes cónicos (cono-corona), tienen disposición de ejes a 90°.

3.4.4.3 Eje Principal Motriz.

Es el elemento mecánico permite la transmisión de potencia, que debe tomar en cuenta un material apropiado para usar, que permita transmitir el movimiento y el par torsión, para ello se debe considerar parámetros de diseño como: rigidez, resistencia e inercia.

3.4.4.4 Lengüeta

Son órganos mecánicos destinados a la unión de piezas que deben girar solidarias con un árbol para transmitir un par motriz (volantes, poleas, ruedas dentadas), permitiendo a su vez, un fácil montaje y desmontaje de las piezas [29].

De acuerdo con la norma DIN 6885/1 – 6886 y 6887 se aplica cuando cumple con la siguiente condición [29]:

$$58 \text{ [mm]} < d < 65 \text{ [mm]}$$

3.4.4.5 Cojinetes

En un soporte de muñón (o chumacera) el extremo de un eje, o muñón, gira u oscila dentro de un buje (o cojinete), el movimiento relativo es deslizante, el desgaste y el calentamiento de estos es evidente, esto hace necesario la lubricación para reducir el rozamiento, desgaste y calentamiento. Esta consideración se debe tomar en cuenta para el diseño, cálculo y selección de los cojinetes [28].

3.4.5 Elementos de sujeción

Los elementos de sujeción dentro del diseño de máquinas pueden ser mediante pernería o soldadura:

3.4.5.1 Pernos

Los pernos se estudian de acuerdo a los diseños estáticos y dinámicos, para la selección y especificación de tamaños normalizados y materiales se puede obtener de las tablas orientadas a pernos, tornillos y tuercas, con la finalidad de escoger los más adecuados de acuerdo a las cargas requeridas [28].

3.4.5.2 Soldaduras

Se realizará el análisis de las soldaduras más importantes a considerar por lo que se tomará en cuenta los siguientes tipos: soldadura tope, soldadura con ángulo y soldadura a traslape.

Uno de los elementos más importante a considerar es la soldadura en el tanque de almacenamiento para el secado. Se debe tomar en cuenta el material para el diseño del tanque, y conocer su esfuerzo mínimo a la tensión, usando electrodos que correspondan a la clasificación AWS. Para el diseño del tanque se deberá tomar en cuenta los siguientes requerimientos: la soldadura a usar será de junta tipo vertical, deberá ser de penetración y fusión completa, lo cual se podrá lograr con soldadura doble, de tal forma que obtenga la misma calidad de metal depositado en el interior y exterior de las partes soldadas, y las juntas verticales no deberán ser colineales pero si paralelas entre sí, en una distancia mínima de 5 veces el espesor de la placa [30].

CAPÍTULO 4

ESPECIFICACIONES PARA LOS PROTOTIPOS DE SECADORES

Se ha establecido que de acuerdo a la capacidad de los pequeños y medianos productores del Noroccidente de Pichincha, la cantidad a secar sea 10 quintales de café para satisfacer los requerimientos y necesidades.

Para poder conseguir un buen secado del grano de café, se debe disminuir la humedad de 30% al 12% o 10%, para lo cual se debe analizar parámetros y condiciones que ayuden a obtener un producto de buena calidad.

4.1 CASA DE LA CALIDAD

La casa de la calidad consiste en una matriz que traduce la voz del cliente en requerimientos técnicos del producto, como se muestra en el ANEXO 1. Para ello se tienen 6 pasos a considerar: voz del usuario, análisis de la competitividad, voz del ingeniero, comparación técnica, correlación y evaluación técnica.

4.1.1 LA VOZ DEL USUARIO

De acuerdo a los inconvenientes que las personas dedicadas al cultivo, cosecha y postcosecha del café tenían con respecto al secado natural y al no disponer en su mayoría de secadores mecánicos, se establecen los siguientes requerimientos: una producción máxima de 10 qq de café pergamino seco, diariamente, la reducción del tiempo de secado, los prototipos que permitan obtener una buena calidad de café, funcionamiento a través de energía eléctrica o combustible, facilidad de carga y descarga del café, fácil mantenimiento del prototipo, fácil operación del prototipo, prototipos semiautomáticos, prototipos semitransportable, prototipo silencioso y resistente al medio ambiente y al secado [31].

4.1.2 ANÁLISIS DE COMPETITIVIDAD

El análisis de la compatibilidad consta de:

- Columna A, se tiene una evaluación del cumplimiento del producto a diseñar, en este caso la máquina secadora de café. El valor colocado, es de 1 a cada demanda, debido a que la máquina aún no está diseñada [24].
- Columna B y C, se tiene la competencia directa, que adquiere un valor de 1 a 5, con respecto a la eficiencia a cada demanda [24]. En el proyecto, se tiene dos tipos de secadoras que forman parte de la competencia por su diseño (ANEXO 2).
 - a) Secador solar: las marquesinas, se las usa en su gran mayoría para un secado natural, se tiene un buen grano de café con gran calidad, sin embargo tienen varias desventajas entre las que se puede mencionar elevados tiempos de secado.
 - b) Secador Mecánico: los secadores tipo silo y guardiola, son los usados por cafetaleros, con un mayor recurso agrícola y económico, que mejoran algunas desventajas presentes en el secador solar.
- Columna D tomará en cuenta los objetivos que se tiene para lograr los requerimientos demandados por el cliente o usuario, de igual manera tomará valores de 1 a 5, es decir de menor a mayor importancia [24].
- Columna E, se calcula el índice de mejora, que indica el grado de mejoramiento que los agricultores proponen para cada demanda. Se determina mediante la expresión (Ecuación 4.1) [24]:

$$E = \frac{D}{A} \geq 1 \quad [\text{Ec. 4. 1}]$$

- Columna F, se determina el factor de venta, que toma valores de 1, 1.2, 1.5; calificación que depende del tipo de demanda, pues al ser más básica e importante toma un mayor valor del factor [24].
- Columna G, analiza la función más importante a consideración del usuario, ponderaciones de 1 a 5, de acuerdo al nivel de menor a mayor importancia.
- Columna H e I, son ponderaciones normal y porcentual de acuerdo a cada demanda, valor dado por el producto entre las columnas E, F y G [24].

$$H = E * F * G \quad [\text{Ec. 4. 2}]$$

4.1.3 LA VOZ DEL INGENIERO

Los requerimientos técnicos a los que han sido traducidas las necesidades del usuario para el diseño de estos prototipos son: peso, volumen, nivel de ruido, velocidad de giro, tiempo de secado, temperatura de secado del café, humedad de ingreso del grano al secador, consumo de combustible y energía eléctrica, temperatura y flujo de aire de secado, tamaño de las compuertas, diámetro del contenedor de café y recubrimientos y tipos de materiales [31].

4.1.4 COMPARACIÓN TÉCNICA

Relaciona la voz del usuario con la del ingeniero, donde se tiene 3 niveles: fuerte=9, mediano=3 y débil=1; cada nivel depende del cumplimiento de las demandas hechas por los cafetaleros, basándose con las características técnicas dadas por el ingeniero [24].

4.1.5 CORRELACIÓN

Se genera una matriz que analiza la existencia o no de conflictos entre sí, teniendo como resulta correlaciones positivas que ayudan al desarrollo del servicio y correlaciones negativas que identifican las características de diseño importantes para el servicio [32].

4.1.6 EVALUACIÓN TÉCNICA

Una vez que se ha culminado la matriz de correlaciones, se debe evaluar cada una de las características técnicas, mediante el cálculo de la incidencia, a través de la sumatoria de todas las incidencias como indica la siguiente fórmula [24].

$$INCIDENCIA = \sum_{i=0}^n \text{Valoración de correlaciones} \quad [\text{Ec. 4. 3}]$$

Se escogerá las cuatro incidencias mayores obtenidas, las cuales se deberán considerar en el momento de diseño para cumplir con los objetivos planteados. NOTA: Para el análisis de cada paso debe observar el ANEXO 1, que describe cada uno de ellos en la Casa de la Calidad.

4.2 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Las especificaciones técnicas, describen los aspectos esenciales para operar dentro de los estándares de seguridad y funcionalidad [24]. Es donde se definen las normas, exigencias y procedimientos a ser aplicados en el desarrollo del proyecto. Con la ayuda de la casa de la calidad se han establecido las características o condiciones mínimas que debe cumplir el prototipo con la maximización de la calidad. Las especificaciones técnicas se aprecian en la siguiente Tabla 4.1, están propuestas por el cliente (C) o el ingeniero (I), basadas en requerimientos (R), deseos (D) o modificaciones de requerimientos (MR) [24].

Empresa: ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL		Producto: Diseño de los prototipos secadores de café de 10 quintales diarias de capacidad	Fecha inicial: 20/03/2015	
Diseño de ingeniería: Vera Jesús Yugsi Gissele			Última Revisión: 26/06/2015	
			Página: 1 de 2	
ESPECIFICACIONES				
Concepto	Fecha	Propone	R/D	Descripción
Función	20/03/2015	C+I	R	Sistema para secar los granos de café hasta el 12% de humedad.
	20/03/2015	C	R	Almacenar hasta 10 quintales.
Tamaño	20/03/2015	C	D	Volumen de espacio destinado para el prototipo: 3 m de longitud x 4 m de ancho x 3 m de altura
Movimientos	20/03/2015	C+I	R	Movimiento constante para el secado uniforme de 4-6 [rpm].
	20/03/2015	I	D	Alimentación de granos en sentido vertical (10 qq).

Empresa: ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL	Producto: Diseño de los prototipos secadores de café de 10 quintales diarios de capacidad	Fecha inicial: 20/03/2015
Diseño de ingeniería: Vera Jesús Yugsi Gissele		Última Revisión: 31/03/2015
		Página: 2/2

ESPECIFICACIONES

Concepto	Fecha	Propone	R/D	Descripción
Energía	20/03/2015	I	R	Fuente de energía (220 [V])
	20/03/2015	C+I	D	Fuente de energía (GLP)
Material	20/03/2015	C	R	Carga y descarga de granos de café (10 qq).
Costes	20/03/2015	C+I	R	Coste máximo de fabricación: \$12000
	20/03/2015	I	R	Temperatura de entrada del aire 45 a 50 [°C]
Señales y Control	20/03/2015	I	R	Temperatura de entrada del aire 45 a 50 [°C]
	20/03/2015	I	R	Temperatura en masa de café 35 [°C].
	20/03/2015	I	R	Humedad del grano de café : - Entrada: 30% - Salida: 10-12%
	20/03/2015	I	D	Tiempo requerido para el secado: 8 horas
Aspectos Legales	27/08/14	C+I	R	Cumplimiento de las normas INEN, API, ASHRAE, DIN, AISC.

Propone: C = Cliente, I = Ingeniería. R/D: R = Requerimiento, D = Deseo, MR = Modificación de Requerimiento.

Tabla 4. 1 Especificaciones Técnicas de los Prototipos

Fuente: Propia

4.3 ANÁLISIS FUNCIONAL

El análisis funcional describe y soluciona los inconvenientes y problemas que ocurren durante el diseño de los prototipos [31].

La herramienta se aplica mediante el análisis de las funciones primarias y secundarias, donde las primarias son aquellas por las cuales el producto va a ser vendido, las secundarias son aquellas que desencadenan de las primarias y les ayudan a cumplir su función.

Se debe tratar de que las funciones se agrupen en módulos e interrelaciones, enlazados mediante interfaces que son: mecánica, energía, de materiales e interface de señales. Los símbolos utilizados son: función: rectángulo de línea continua, flujo de material y dirección: flecha de doble línea continua, flujo de energía y dirección: flecha de línea continua y flujo de señal y dirección: flecha de línea discontinua.

En el presente proyecto se realiza un análisis por niveles donde se tiene tres niveles: nivel 0, nivel 1 y nivel 2

4.3.1 NIVEL 0

Nivel que representa la función global que va a realizar el producto a diseñarse y viene a ser el cuadro más simple y sencillo donde enfoca el objetivo principal relacionando los flujos de entrada y salida. En el proyecto la función global es *secar café pergamino arábigo*, mediante la entrada y salida de materiales, energía y señales de control (como humedad y temperatura) controlados por el operario (Figura 4.1).

Nivel 0

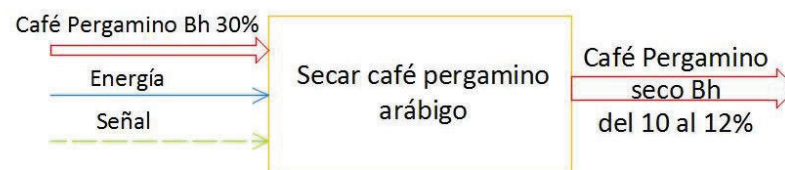


Figura 4. 1 Nivel Cero (0) del Análisis Funcional

Fuente: Propia

4.3.2 NIVEL 1

Son funciones secundarias del Nivel 0, siendo los diferentes procesos globales a ejecutarse hasta obtener el producto. Además cada función está enlazada por las interfaces mecánicas, eléctricas, materiales y de señales (Figura 4.2).

Nivel 1

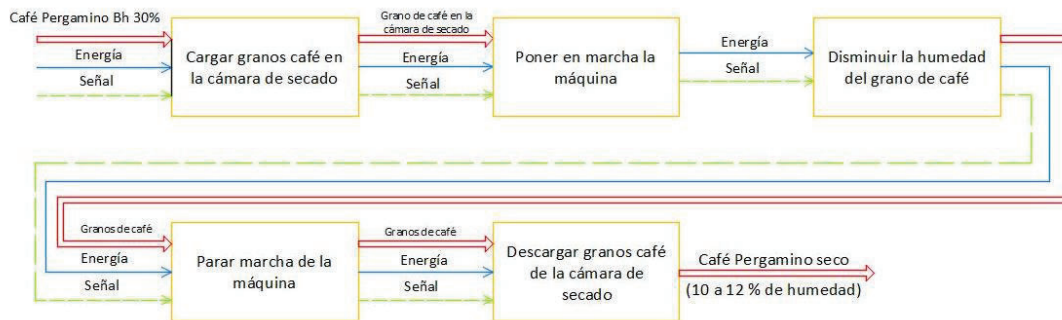


Figura 4. 2 Nivel Uno (1) del Análisis Funcional

Fuente: Propia

4.3.3 NIVEL 2

Son funciones que se tienen del desglose del nivel 1, consiste en las funciones más implícitas que también forman parte del funcionamiento de prototipos. Este esquema complementa las funciones que cumple los prototipos entre éstas se pueden mencionar:

- 1 Cargar el grano de café
- 2 Encender el motor removedor de paletas
- 3 Encender el motor del ventilador centrifugo
- 4 Tomar cierta cantidad de grano para medida de humedad
- 5 Tomar cierta cantidad de grano para medida de temperatura
- 6 Parar el motor removedor de paletas
- 7 Parar el motor del ventilador centrifugo
- 8 Abrir tapa de descarga
- 9 Abrir compuerta de descarga
- 10 Descargar el grano de café en el saco

A partir de estas funciones obtenidas, de la extracción del nivel 1, se realiza sus respectivos módulos representado en el ANEXO 3.

4.4 ESTRUCTURA MODULAR

Los productos modulares son los que están organizados según una estructura de diversos bloques constructivos, orientada a ordenar e implantar las distintas funciones y a facilitar las operaciones de composición del producto. Los bloques se llaman módulos, y su organización, estructura modular [24].

Debido al gran número de funciones que se presentan, es conveniente dividir el nivel 2 en módulos, y hacer una división modular apropiada sin olvidar los flujos mecánicos, energéticos, materiales y de señales.

Del análisis del esquema funcional se tiene dos funciones que abarcan el funcionamiento principal del proyecto: secar y reducir la humedad del grano de café y mezclar el grano de café durante el secado

4.5 SOLUCIONES PARA CADA MÓDULO.

Para los dos prototipos se tiene el mismo análisis funcional y modular, en esta etapa se realizará un estudio para cada prototipo, con el fin de escoger la alternativa más adecuada para la solución de la función correspondiente a cada módulo.

4.5.1 ALTERNATIVAS PARA SECADOR DE SILO DE TRES PISOS Y DOS PISOS

Se considerarán los subsistemas que se desencadenan de los módulos obtenidos:

4.5.1.1 MÓDULO 1

Dentro del módulo 1 se tiene la siguiente función: *cargar el grano de café en el contenedor.*

Para la función cargar grano de café se enlistarán alternativas como soluciones, que posteriormente ayudarán tener distintas opciones para seleccionar la más apropiada (Figura 4.3).

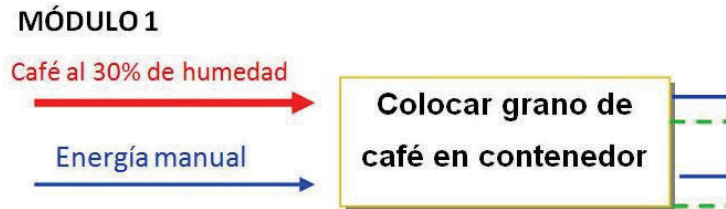


Figura 4. 3 Primer Módulo del Análisis Funcional

Fuente: Propia

El ingreso del grano de café debe ser sencillo y fácil. Para ello se puede enlistar tres alternativas: tornillos sin fin, cangilones y manual.

a) *Alternativa A:* Uso de un tornillo sin fin

Mediante el uso de un transportador tipo tornillo que permite el ascenso de los granos de café hasta provocar la caída directa del café al contenedor; se usa principalmente para el secador de silo de 3 pisos como se indica en la Figura 4.4 un tornillo sin fin y en la Tabla 4.2 las ventajas y desventajas del sin fin.

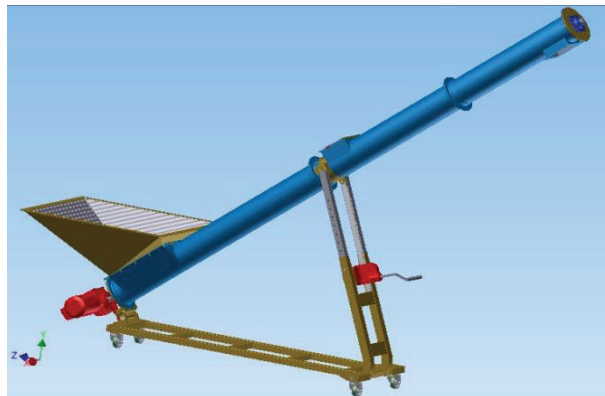


Figura 4. 4 Tornillo Sin Fin para la carga de grano

Fuente: Propia

<i>Ventajas</i>	<i>Desventajas</i>
- Liviano para mover e instalar	- Diseño complejo
- Forma segura de subir el grano de café	- Costoso porque requiere de un mecanismo de protección.
- Evita derrame el grano	- Puede dañar el grano de café al húmedo
- Caída directa del café al contenedor	
- Pérdidas de potencia pequeñas	

Tabla 4. 2 Ventajas y Desventajas del Tornillo Sin Fin

Fuente: Propia

b) Alternativa B: Uso de cangilones

El equipo permite un transporte continuo vertical o muy inclinado del producto al granel, cuando el espacio para un transportador es angosto y se tiene una pendiente elevada. Se puede usar para el secador de silo de tres pisos, en la Figura 4.5 se tiene los cangilones y en la Tabla 4.3 las ventajas y desventajas de los cangilones.

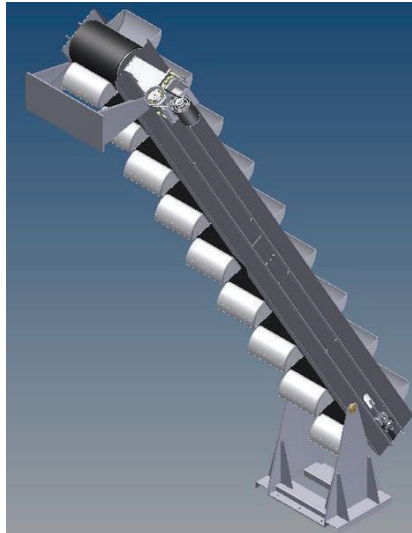


Figura 4. 5 Cangilones para la carga de granos

Fuente: Propia

<i>Ventajas</i>	<i>Desventajas</i>
<ul style="list-style-type: none"> - Ocupa poco espacio - Permite subir el grano a elevadas alturas - No estropea el grano - Rápida descarga del grano en el contenedor 	<ul style="list-style-type: none"> - Elevado costo para la adquisición - Diseño complejo

Tabla 4. 3 Ventajas y Desventajas de Cangilones

Fuente: Propia

c) Alternativa C: Colocación del grano de forma manual

El costo del prototipo lleva a que las personas sean las encargadas de la carga directa del grano, por lo que en el secador de silo de tres pisos se debe disponer de una estructura como base para que el operario coloque sin problemas el grano

de café. Para el secador de silo de un piso, no es necesario del aporte de una estructura para la carga de grano, debido a su altura resulta sencilla la colocación del grano dentro del contenedor, en la Tabla 4.4 se tiene ventajas y desventajas de la carga manual de granos.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> - Propio control del grano durante la carga - Inspección previa y constante del estado del grano, gracias a la aportación del usuario - Se puede usar para los dos secadores de silo 	<ul style="list-style-type: none"> - Esfuerzo humano - Mayor costo pues se debe contratar a personal para su manipulación - Demora en el proceso de secado del grano

Tabla 4. 4 Ventajas y Desventajas de la carga Manual de granos

Fuente: Propia

La Tabla 4.5 indica las tres alternativas para la forma de cargar el café.

Función	SOLUCIONES		
Cargar grano de café en el contenedor	<div style="border: 2px solid green; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Tornillo Sin Fin</div>	<div style="border: 2px solid green; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Cangilones</div>	<div style="border: 2px solid green; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Manual</div>
Alternativas	1A	1B	1C

Tabla 4. 5 Soluciones a la función de carga de granos al contenedor del Módulo 1

Fuente: Propia

4.5.1.2 MÓDULO 2

En el módulo 2 se tienen las siguientes funciones (Figuras 4.6 y 4.7): *accionar el suministro de aire, encender la fuente de calor y accionar el sistema de transmisión de movimiento.*

Para este módulo, se realizará la selección de las alternativas más adecuadas, en casos donde sólo se disponga de una sola alternativa se optará por ella.

MÓDULO 2



Figura 4. 6 Segundo Módulo del Análisis Funcional

Fuente: Propia

MÓDULO 2

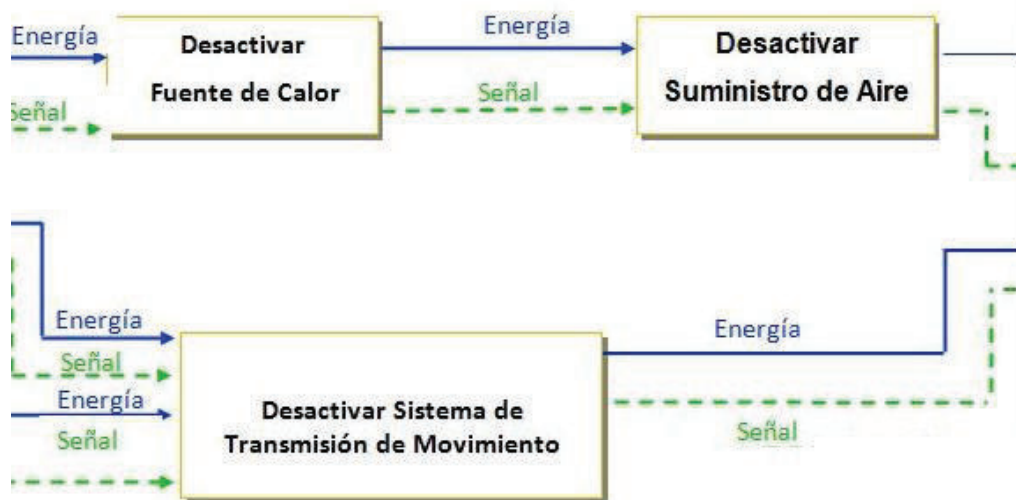


Figura 4. 7 Segundo Módulo del Análisis Funcional

Fuente: Propia

La primera función corresponde al suministro de aire: donde se deben establecer las opciones más propicias para seleccionar el elemento que ayude y facilite su accionamiento. En esta función se tiene una alternativa: ventilador centrífugo.

a) Alternativa A: Ventiladores Centrífugo

Para el secador se necesita un ventilador centrífugo. Este tipo de ventilador es el apropiado debido a la presión alta que se genera por la

altura de los granos, como se observa en la Figura 4.8 el ventilador centrífugo y el análisis de ventajas y desventajas en la Tabla 4.6.

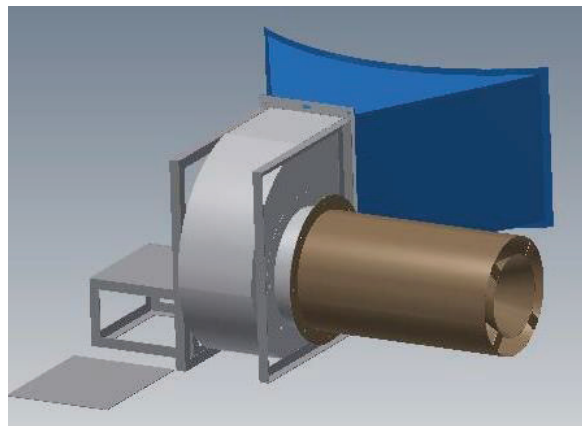


Figura 4. 8 Ventilador Centrífugo

Fuente: Propia

<i>Ventajas</i>	<i>Desventajas</i>
<ul style="list-style-type: none"> - Resiste un secado de grano de café de presión alta. - Ventilador usado para almacenaje - De fácil adquisición en mercado local - Costo moderado - Se puede regular el paso del aire - Proporciona el flujo de aire necesario para la combustión 	<ul style="list-style-type: none"> - Ocupa un espacio considerable - No hay variedad en formas y geometría, se debe acoplar de acuerdo al ingreso del aire - Genera bajos caudales

Tabla 4. 6 Ventajas y Desventajas del Ventilador Centrífugo

Fuente: Propia

La función encender la fuente de calor, permitirá calentar el aire de ingreso a la cámara, para secar el grano de café. Se tiene dos alternativas como solución: gas y eléctrico.

a) Alternativa A: A Gas

La fuente de calor a gas licuado de petróleo (GLP), es una buena alternativa, debido a que el combustible es limpio lo que evita que el grano absorba el olor generado por la combustión [20]. Puede ser usado para cualquier tipo de secador silo, guardiola, etc. En la Tabla 4.7 se tiene un análisis de ventajas y desventajas del secado a gas.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> - Combustible que proporciona una combustión limpia. - Por unidad de energía contiene menos carbono que otros combustibles. - Energía de suministro continuo - Energía fiable que gestiona mejor el proceso productivo. - No requiere de preparación previa para su uso. - Poder calórico alto. - Cumple con las exigencias ISO necesarias por la exportación de determinados productos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Costo, pues es un bien subsidiado que aumentará su precio.

Tabla 4. 7 Ventajas y Desventajas del encendido de la fuente de calor por medio de gas

Fuente: Propia

b) Alternativa B: Eléctrico

Es una buena alternativa, desde el punto de vista del costo del kilovatio hora, por ser generada hidráulicamente, pero al considerar la segunda ley de la termodinámica no resulta conveniente. Puede emplearse para ambos secadores. Tabla 4.8.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> - Económico - Una inversión a largo plazo, debido a que evita el incremento del valor del combustible por subsidios. - No contamina el grano ni el medio ambiente 	<ul style="list-style-type: none"> - Se debe disponer de la potencia eléctrica apropiada - No apropiada para el calentamiento de aire.

Tabla 4. 8 Ventajas y Desventajas del encendido de la fuente por Resistencia Eléctricas

Fuente: Propia

El accionar el sistema de transmisión, permitirá mover el grano de café, mediante el uso de removedores o paletas, sin embargo para la transmisión de

movimiento, necesariamente se requiere de un sistema de reducción de velocidad, que llegue a obtener de 4 a 6 rpm. Debido a que en el mercado local se disponen de moto reductores que producen giros de alrededor de 35 rpm, se requiere de un sistema adicional para conseguir la velocidad angular apropiada; el costo aumentaría, por tanto se estudiarán las cinco alternativas para seleccionar la apropiada.

a) Alternativa A: Engranajes

El proyecto requiere disminuir la velocidad, un sistema que permite invertir el giro es el de engranajes, que se observa en la Figura 4.9 y en la Tabla 4.9 se tiene el análisis de ventajas y desventajas. Elemento de máquina que pueden emplear los dos tipos de secadores de silo.



Figura 4. 9 Engranajes

Fuente: Propia

<i>Ventajas</i>	<i>Desventajas</i>
<ul style="list-style-type: none"> - Sistema que mantiene el sentido de giro - Un preciso reductor de velocidad - Transmite elevadas potencias con velocidades bajas 	<ul style="list-style-type: none"> - Mecanismo costoso - Dificultad de conseguir o fabricar en el mercado local. - Requiere de un diseño con cierto nivel de dificultad

Tabla 4. 9 Ventajas y Desventajas del uso de Engranajes para el Sistema de Transmisión de Movimiento

Fuente: Propia

b) *Alternativa B: Bandas-Poleas*

Transmite la potencia mecánica producida por el motor, entre dos ejes paralelos, la transmisión entre poleas y bandas se hace por rozamiento, por ello debe existir un movimiento rotatorio y de torsión. Usado para los dos tipos de secadores de silo. En la Figura 4.10 se tiene un bosquejo de banda-polea y en la Tabla 4.10 las ventajas y desventajas que influyen en este mecanismo.



Figura 4. 10 Banda Polea

Fuente: Propia

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> - Costo moderado. - Elemento de máquina sencillo. - Se puede conseguir en el mercado local. 	<ul style="list-style-type: none"> - Es necesario que las correas o bandas estén tensadas. - No son eficientes para potencias altas. - Se requiere de un buen diseño, para seleccionar la

Tabla 4. 10 Ventajas y Desventajas de Banda Polea para el Sistema de Transmisión de Movimiento

Fuente: Propia

c) *Alternativa C: Cadena-Piñón*

Mecanismo que transmite el movimiento giratorio entre ejes paralelos y puede reducir la velocidad manteniendo el sentido de giro. Usado para los

dos tipos de secadores de silo, se tiene en la Figura 4.11 la cadena piñón y en la Tabla 4.11 las ventajas y desventajas de esta alternativa.

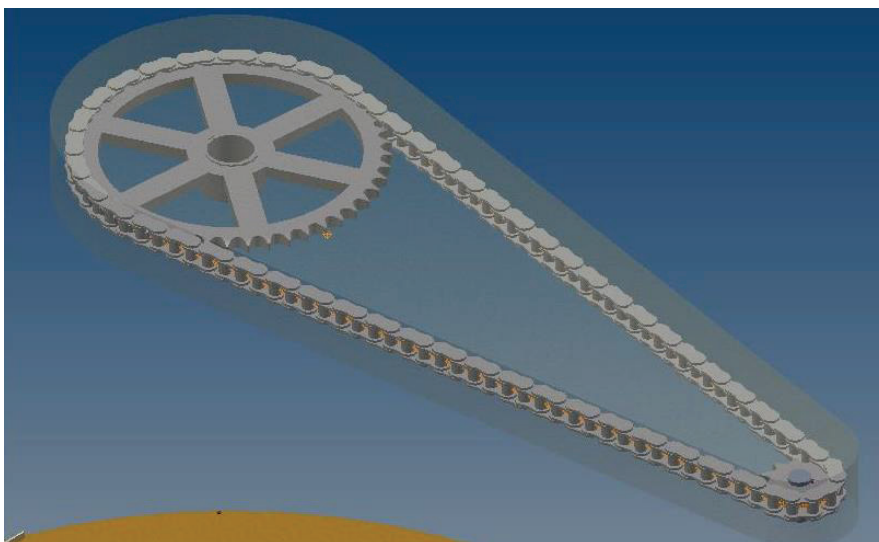


Figura 4. 11 Cadena Piñón

Fuente: Propia

<i>Ventajas</i>	<i>Desventajas</i>
<ul style="list-style-type: none"> - Mecanismo que proporciona una mejor eficiencia mecánica. - Menor peso del mecanismo. - Fácil y sencilla instalación. - Menores averías en los rodamientos de los piñones - Se consigue en el mercado local, aunque no en potencias altas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Mecanismo costoso - Ruidoso - Su funcionamiento es menos flexible - No invierte el sentido de giro - Requiere de lubricación - A veces cuando el eje deja de girar por cuestiones varias, genera averías en el motor o en la cadena

Tabla 4. 11 Ventajas y Desventajas

Fuente: Propia

d) Alternativa D: Cono y Corona

Produce el movimiento que transmite el giro del motor a las ruedas acopladas al eje, usado para el secador de un piso, así también, para el secador de silo tres pisos. Se observa en la Figura 4.12 el cono y corona. En la Tabla 4.12 las ventajas y desventajas del cono y corona.

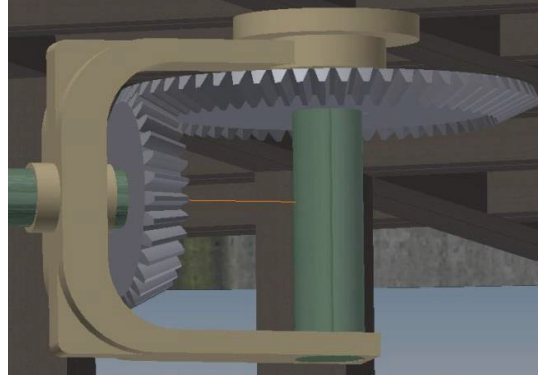


Figura 4. 12 Cono y Corona

Fuente: Propia

<i>Ventajas</i>	<i>Desventajas</i>
<ul style="list-style-type: none"> - Permite salir de la inercia, cuando la máquina está detenida. - Ayuda a la máquina a funcionar debido a su torque, puede adquirirse localmente por su uso en la industria automotriz. - La reducción en el grupo diferencial es baja. - La corona es de pequeño diámetro, bien soportada, expuesta a mínimas deformaciones, en tanto que el piñón es grande y soportado por robustos rodamientos de rodillos cónicos sobre un eje de gran diámetro - El pequeño tamaño del conjunto de engranajes requiere de un alojamiento relativamente pequeño, con lo que es posible disponer de una altura máxima entre el suelo y la armazón. 	<ul style="list-style-type: none"> - Costo elevado. - Dificultad en el montaje. - Desgaste por condiciones de servicio en torque elevados; bajas velocidades y dificultad en su instalación.

Tabla 4. 12 Ventajas y Desventajas del Cono y Corona como Sistema de Transmisión

Fuente: Propia

e) *Alternativa E: Motor-reductor*

Se analiza la posibilidad de emplear un motor-reductor, que arroje 5 rpm, como se ve en la Figura 4.13. Se requiere diseñar una estructura adecuada para instalar y soportar el motor-reductor, por lo que se tiene algunas ventajas y desventajas en la Tabla 4.13 del motor-reductor

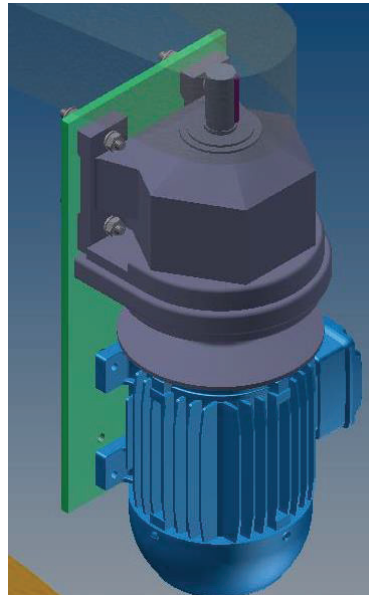


Figura 4. 13 Motor-reductor a rpm requeridas

Fuente: Propia

<i>Ventajas</i>	<i>Desventajas</i>
<ul style="list-style-type: none"> - Sistema de transmisión de movimiento exacto - Evita el uso de mecanismos adicionales, que genere pérdidas de energía y potencia - Evita mantenimientos adicionales 	<ul style="list-style-type: none"> - Costo elevado - Peso del motor-reductor elevado - Complejo para instalarlo debido a su forma de diseño

Tabla 4. 13 Ventajas y Desventajas del Motor-reductor como Sistema de Transmisión

Fuente: Propia

En la Tabla 4.14 indica las cinco alternativas a escoger para dar como solución al accionamiento del suministro de aire, al encendido de la fuente de calor y finalmente cumplir con el accionamiento del sistema de transmisión de movimiento.

FUNCIÓN	SOLUCIONES				
Accionar el suministro de aire	Ventilador Centrífugo				
Encender la fuente de calor	Combustible GLP		Eléctrico		
Accionar el sistema de transmisión de movimiento	Engranajes	Bandas y poleas	Cadena piñón	Cono y corona	Motor-reductor
ALTERNATIVAS	2A	2B	2C	2D	2E

Tabla 4. 14 Soluciones a las Funciones del Módulo 2

Fuente: Propia

4.5.1.3 MÓDULO 3

El módulo 3 de la Figura 4.14, tiene la única función de: *secar el grano de café*. Para esta función se realizará se tiene dos alternativas: quemador y resistencias eléctricas, se hará el respectivo análisis para escoger la opción más apropiada.



Figura 4. 14 Tercer Módulo

Fuente: Propia

a) *ALTERNATIVA A*: Quemador

Empleo de un quemador para GLP, controlar su combustión y garantizar seguridad. Se tiene Figura 4.15 que indica el quemador y la Tabla 4.15 las ventajas y desventajas del quemador.

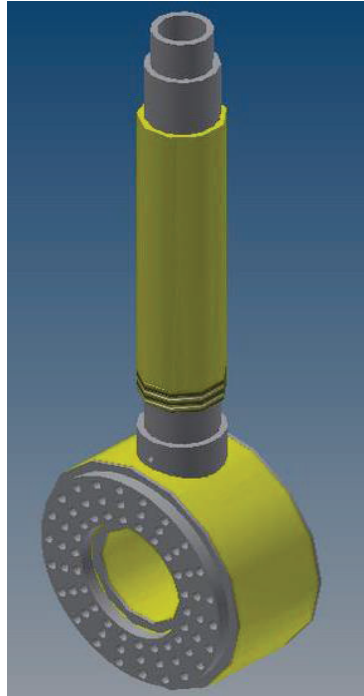


Figura 4. 15 Quemador de gas

Fuente: Propia

<i>Ventajas</i>	<i>Desventajas</i>
<ul style="list-style-type: none"> - Llama estable e instantánea - Combustión completa y limpia. - Posibilidad de quemar sin cámaras de combustión. - Sistemas de calentamiento directo con aumento de eficiencia en la entrega de energía. - Bajo costo de mantenimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> - A pesar de tener una combustión limpia, puede presentarse péquela contaminación del grano. - Generación de productos inquemados (hollín). - Instalación de un sistema de seguridad de formación de llama.

Tabla 4. 15 Ventajas y Desventajas del Quemador de Gas

Fuente: Propia

b) *ALTERNATIVA B*: Resistencias

El uso de electricidad mediante resistencias eléctricas para el calentamiento del aire. En la Figuras 4.16 se observan las resistencias, cuyo análisis de ventajas y desventajas se hace en la Tabla 4.16.

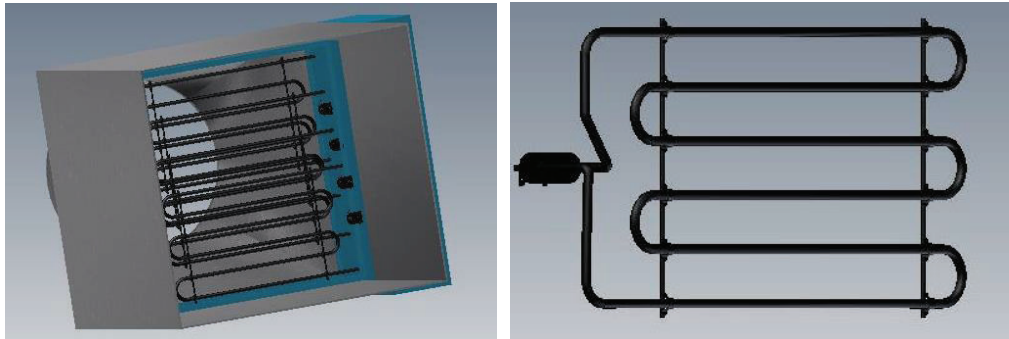


Figura 4. 16 Resistencias Eléctricas

Fuente: Propia

<i>Ventajas</i>	<i>Desventajas</i>
<ul style="list-style-type: none"> - Energía limpia que no produce gases, ni olores, ni residuos al no haber combustión. - No necesita almacenamiento, es decir, no existe riesgo de filtraciones y de explosión. - Llevan termostato y programador para lograr una temperatura constante, evitar sobrecalentamiento y regular el consumo energético. 	<ul style="list-style-type: none"> - Por lo general son de alto costo. - Ocupa mayor espacio para el calentamiento del aire, para cubrir la misma exigencia que da un quemador de combustible GLP.

Tabla 4. 16 Ventajas y Desventajas para las Resistencias Eléctricas

Fuente: Propia

En la Tabla 4.17 se tiene un resumen de las dos soluciones dadas a la carga de granos de café en el contenedor

Función	SOLUCIONES	
Secar el grano de café	<div style="border: 2px solid green; padding: 5px; width: fit-content; margin: auto;">Quemador</div>	<div style="border: 2px solid green; padding: 5px; width: fit-content; margin: auto;">Resistencias</div>
Alternativas	3A	3B

Tabla 4. 17 Soluciones a la función secar el grano de café del Módulo 3

Fuente: Propia

4.5.1.4 MÓDULO 4

De acuerdo con la Figura 4.17, el módulo 4 tiene la función de: *mover el grano de café*. Para esta función se realizará el análisis adecuado para seleccionar la opción más apropiada de las cuatro alternativas presentes.

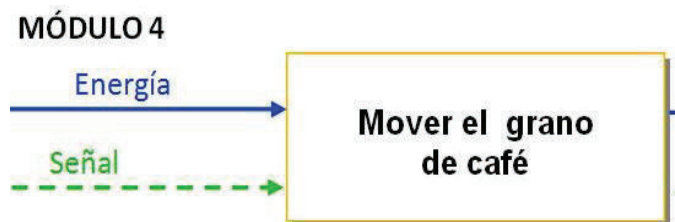


Figura 4. 17 Cuarto Módulo

Fuente: Propia

La función de mover el grano de café es importante y complementaria en el secado del café, los secadores de silo tienen la desventaja, de presentar un secado no uniforme, debido a que no existe un movimiento del grano, por tanto, para evitar este inconveniente se añade este sistema para el buen funcionamiento y evitar que el usuario esté pendiente mezclando el grano en forma manual a cada momento.

a) ALTERNATIVA A: Paletas removedoras tipo trinche

Es un tipo de paleta con buenas características de remoción, permite mover y mezclar, evitando que se pegue el grano de café tanto en la misma paleta como en la base que contiene el grano de café. Usado para los dos tipos de silos. En la Figura 4.18 se ve la paleta tipo trinche y en la Tabla 4.18 las ventajas y desventajas de este tipo de paleta.

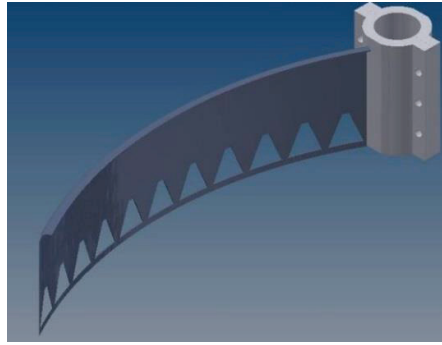


Figura 4. 18 Paleta tipo Trinche

Fuente: Propia

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> - Menor área de trabajo para la remoción - Peso moderado - Buen movimiento del café dentro del contenedor 	<ul style="list-style-type: none"> - Dificultad en el diseño - Costoso - Se debe seleccionar un material que permita que el diente resista el proceso de mezcla.

Tabla 4. 18 Ventajas y Desventajas de la Paleta tipo Trinche

Fuente: Propia

b) ALTERNATIVA B: Paletas removedoras rectangulares

Esta paleta presenta buenas características de diseño, fabricación y costo, sin embargo al ser totalmente sólida aumenta el peso y área de contacto, provocando un aumento en la potencia del motor. Usado tanto para el silo de un piso como para el de tres. En la Figura 4.19 se tiene este tipo de paleta y en la Tabla 4.19 un análisis de ventajas y desventajas de la paleta en mención.

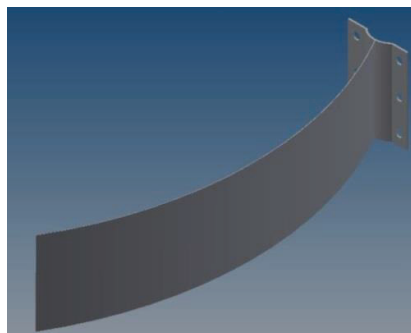


Figura 4. 19 Paleta Rectangular

Fuente: Propia

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> - Diseño sencillo - Paleta de fácil fabricación - Se puede construir con varios tipos de material - Fabricación económica 	<ul style="list-style-type: none"> - Mayor área de contacto para la remoción - Peso elevado de las paletas

Tabla 4. 19 Ventajas y Desventajas de la Paleta Rectangular

Fuente: Propia

c) ALTERNATIVA C: Paletas removedoras trapezoidales

Son paletas que presentan un diseño fácil y sencillo, sin embargo el área de contacto con el grano disminuye, genera una mejor visión estética. Usado para los dos silos. Se observa esta paleta en la Figura 4.20 y en la Tabla 4.20 las ventajas y desventajas hechas para la paleta trapezoidal

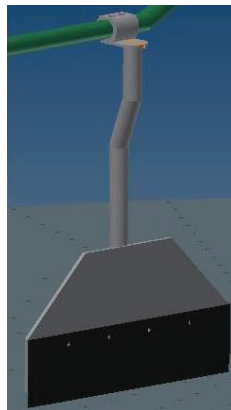


Figura 4. 20 Paleta Trapezoidal

Fuente: Propia

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> - De fácil diseño. - Fabricación sencilla. - Se puede construir de varios tipos de material. - Fabricación económica. - Menor Área de contacto con el grano. 	<ul style="list-style-type: none"> - Peso moderado - No se puede diseñar para grandes dimensiones

Tabla 4. 20 Ventajas y Desventajas de Paleta Trapezoidal

Fuente: Propia

d) *ALTERNATIVA D*: Paletas removedoras con ángulo

Son paletas con un área de contacto grande, este diseño de la paleta ayuda a que la remoción con el grano de café no sea brusca y evita que el grano se golpee o maltrate, como sucede en los diseños anteriores, esto por el ángulo de la paleta. En la Figura 4.21 se observa esta paleta y en la Tabla 4.21 de ventajas y desventajas de la paleta removedora con ángulo

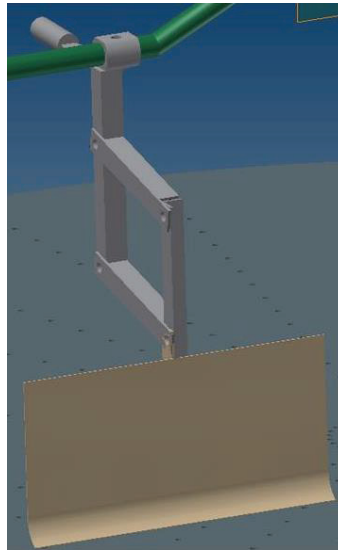


Figura 4. 21 Paleta Angular

Fuente: Propia

<i>Ventajas</i>	<i>Desventajas</i>
<ul style="list-style-type: none"> - Mejor diseño para el mezclado - Evita la brusca remoción del grano de café 	<ul style="list-style-type: none"> - Diseño complejo - Seguir la normativa de ángulos utilizados para paleta de remoción de café - Mayor costo de fabricación - Elevado peso - Complejidad en la construcción

Tabla 4. 21 Ventajas y Desventajas de Paleta Angula

Fuente: Propia

La Tabla 4.22 muestra las cuatro posibles soluciones a la función de movimiento de grano de café:

Función	SOLUCIONES			
Mover grano de café	Paletas tipo Trinche	Paletas Rectangulares	Paletas trapezoidales	Paletas con ángulo
Alternativas	4A	4B	4C	4D

Tabla 4. 22 Soluciones a la función de mover el grano de café del Módulo 4

Fuente: Propia

4.5.1.5 MÓDULO 5

Según la Figura 4.22 se tiene el módulo 5 con las siguientes funciones: *controlar humedad, controlar temperatura y establecer un tiempo adecuado de esperar*, dentro de este módulo se tiene una solución a considerar y a adoptar.

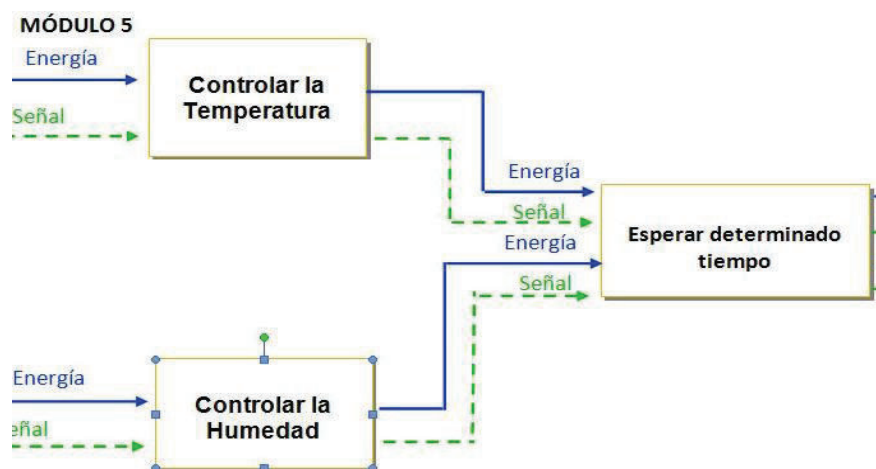


Figura 4. 22 Quinto Módulo

Fuente: Propia

a) ALTERNATIVA A: MEDIDORES PORTÁTILES

Las tres funciones en los prototipos se deben controlar mediante instrumentación adecuada; para la medición de humedad se puede usar un medidor portátil con sensores, cómodo para el uso en campo. En la Figura 4.23 se tiene los medidores de temperatura y humedad, así también en la Tabla 4.23 las ventajas y desventajas de los medidores portátiles.

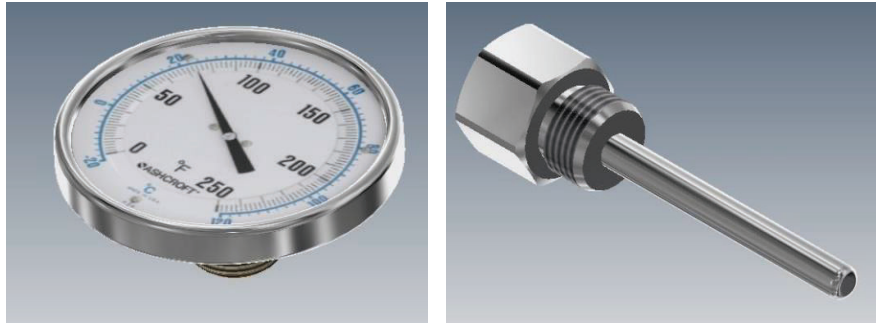


Figura 4. 23 Medidores de Humedad y Temperatura

Fuente: Propia

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> - Medidor portátil - Medidores pequeños - Manejo sencillo - Dispone de calibración propia - Fáciles de manejar para la medición de temperatura, humedad y tiempo - Se puede conseguir un solo medidor con la determinación de estos tres parámetros. - Rápido y exacto en la medición de cereales. 	<ul style="list-style-type: none"> - Los medidores con certificación de calibración costosos. - Costos altos de recalibración

Tabla 4. 23 Ventajas y Desventajas de Medidores de Humedad y Temperatura

Fuente: Propia

La Tabla 4.24 inca la solución a la función de controlar la temperatura, humedad y tiempo:

Función	SOLUCIONES
Controlar temperatura, humedad y tiempo	<div style="border: 2px solid green; padding: 10px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> MEDIDORES PORTÁTILES </div>
Alternativas	5A

Tabla 4. 24 Solución a la función de controlar temperatura, humedad y tiempo del Módulo 5

Fuente: Propia

4.5.1.6 MÓDULO 6

El módulo 6 establece las siguientes funciones: *abrir compuerta del secador* y *descargar el café pergamino con una humedad del 10 al 12%*, como se observa en la Figura 4.24 del módulo 6. Para la solución de estas funciones se tienen tres alternativas.

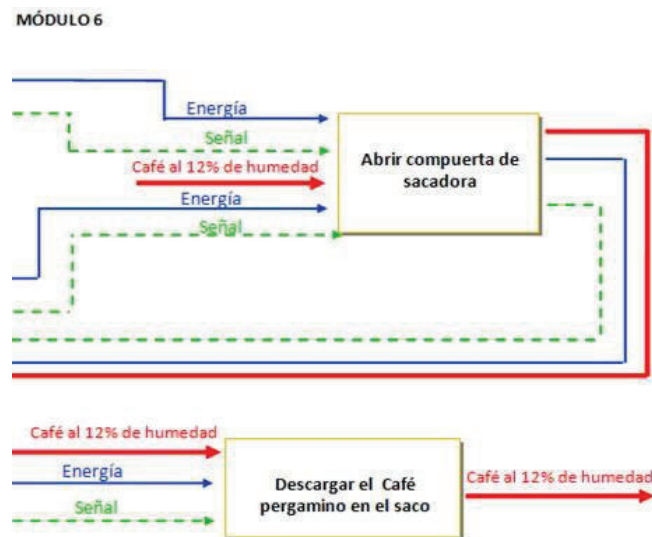


Figura 4. 24 Sexto Módulo

Fuente: Propia

Abrir la compuerta del secador, esta función establece la importancia de disponer de un mecanismo como una compuerta que permita la salida del grano, considerando el movimiento de paletas, debe ser lo más sencillo posible para el usuario, que no implique esfuerzos ni desperdicios del grano.

a) *ALTERNATIVA A:* Compuerta corrediza en la base

Este mecanismo ayuda a un fácil manejo del grano para su descarga, la compuerta se desliza y el grano cae de un piso a otro, por lo que se recomienda usar en el secador de tres pisos. Se debe realizar un buen diseño, para mantener la compuerta nivelada con toda la plancha base perforada. Debe usarse en el secador de silo de tres pisos, como se indica en la Figura 4.25 y en la Tabla 4.25 las ventajas y desventajas de esta compuerta.

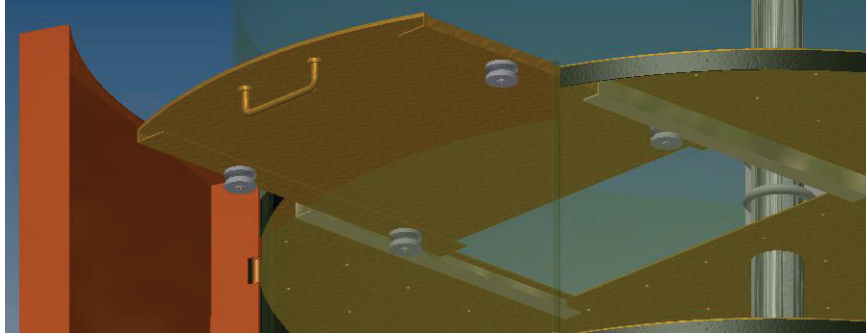


Figura 4. 25 Compuerta Corrediza por guía

Fuente: Propia

<i>Ventajas</i>	<i>Desventajas</i>
- Manejo fácil y sencillo	- Diseño complejo
- No debe la máquina detener su movimiento para la descarga	- Costo elevado
- Ergonómico	- De difícil fabricación

Tabla 4. 25 Ventajas y Desventajas para la compuerta corrediza por guía

Fuente: Propia

b) ALTERNATIVA B: Compuerta con bisagra

Es un sistema útil y sencillo que nivela fácilmente la plancha perforada, sin embargo la compuerta estorbará en el funcionamiento de las paletas, por lo que debe necesariamente detenerse la máquina para su operación. Se debe usar en el silo de tres pisos. En la Figura 4.26 se tiene la compuerta con bisagra y en la Tabla 4.26 las ventajas y desventajas de esta compuerta.

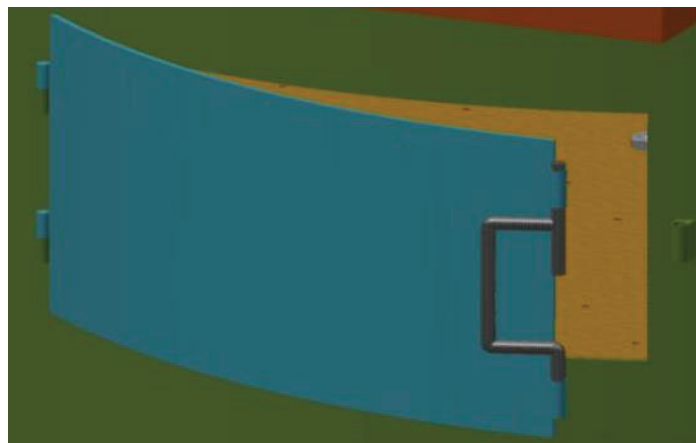


Figura 4. 26 Compuerta con bisagra

Fuente: Propia

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> - Sencillo diseño - De fabricación fácil - Costo moderado 	<ul style="list-style-type: none"> - Complejo uso y manejo - Necesariamente debe detener la máquina para la descarga de grano - Poco ergonómico

Tabla 4. 26 Ventajas y Desventajas de Compuerta con Bisagra

Fuente: Propia

c) *ALTERNATIVA C:* Compuerta lateral corrediza

Es un mecanismo adecuado para la descarga del café que ayuda la caída del grano en el saco. Puede usarse en ambos secadores de silo de café. En la 1 Figura 4.27 se tiene la compuerta corrediza y en la Tabla 4.27, las ventajas y desventajas de esta alternativa

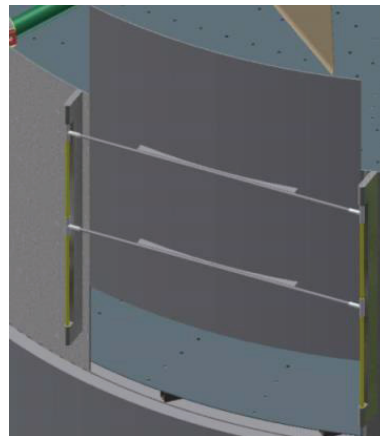


Figura 4. 27 Compuerta Lateral Corrediza

Fuente: Propia

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> - Costo moderado - Ergonómico - Fácil manejo y uso - No se debe detener para su descarga 	<ul style="list-style-type: none"> - Diseño complejo - Fabricación con cierto nivel de dificultad - Posible desperdicio del grano

Tabla 4. 27 Ventajas y Desventajas de Compuerta Lateral corrediza

Fuente: Propia

La descarga del café pergamino con un contenido de humedad entre 10 o 12%, es la operación final del secador del grano, por lo que, se debe evitar que el grano se desparrame por los lados del costal que se va a llenar, teniendo dos alternativas a considerar:

a) *ALTERNATIVA A*: Dispositivo acoplable al secador

Este dispositivo es un elemento que se acopla al secador de silo, sea de uno o tres pisos, también es usado en otros tipos de secadores. El material a emplearse puede ser de PVC o acero común A36. Evita que el grano se desparrame, generando desperdicios, dispositivo que se observa en la Figura 4.28 y en la Tabla 4.28 las ventajas y desventajas de este acople.



Figura 4. 28 Dispositivo Acople

Fuente: Propia

<i>Ventajas</i>	<i>Desventajas</i>
<ul style="list-style-type: none"> - Diseño sencillo - Se puede fabricar con acero polietileno o PVC que soporte temperaturas de 100° - Instalación fácil - Utilizable en los dos prototipos - Evita desperdicios del grano de café 	<ul style="list-style-type: none"> - Fabricación con cierto nivel de dificultad - Costo elevado

Tabla 4. 28 Ventajas y Desventajas de Dispositivo de acople del Secador

Fuente: Propia

b) *ALTERNATIVA B: Mesa*

Es una mesa que permite recolectar directamente el grano de café sin que exista un solo grano desperdiciado. Se debe construir de acero necesariamente por el diseño y se lo puede usar para el silo de tres pisos. Como se observa en la Figura 4.29, en la Tabla 4.29 en cambio se tiene las ventajas y desventajas de esta mesa.

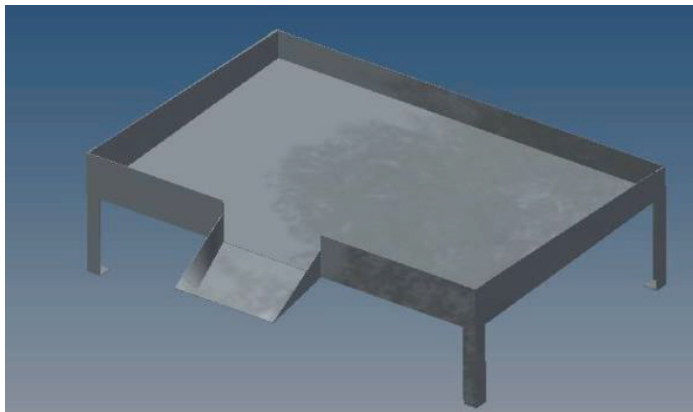


Figura 4. 29 Mesa

Fuente: Propia

<i>Ventajas</i>	<i>Desventajas</i>
<ul style="list-style-type: none"> - Diseño sencillo - Fácil fabricación - No necesita ser acoplado, sino solo transportarlo hacia la descarga del café, además es un canal de descarga de la mesa al saco. Evita totalmente que se desparrame el grano de café. 	<ul style="list-style-type: none"> - Usado para el silo de tres pisos por su diseño, se puede colocar debajo de la cámara de aire para que caiga directamente en la mesa - Debe fabricarse solamente con acero. - Costo relativamente alto.

Tabla 4. 29 Ventajas y Desventajas de Mesa Corrediza

Fuente: Propia

La Tabla 4.30 indica las soluciones a las funciones de: abrir la compuerta del secador y descargar el café pergamino del 10 al 12% de humedad:

Función	SOLUCIONES		
Abrir compuerta del secador	Compuerta corrediza en la base	Compuerta con bisagra	Compuerta Lateral corrediza
Descargar el café pergamino del 10 al 12% de humedad	Dispositivo acoplable al secador		Mesa corrediza
Alternativas	6A	6B	6C

Tabla 4. 30 Soluciones a las funciones del Módulo 6

Fuente: Propia

4.5.2 SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS PARA LOS SECADORES DE SILO DE UN PISO Y TRES PISOS

La selección de alternativas considera las especificaciones técnicas descritos en la Tabla 4.1, que permitirá seleccionar el mejor sistema para secadores de silo. Esta selección se realizará mediante el método ordinal de criterios ponderados, recomendado por el Diseño concurrente [24].

Para cada módulo se analizará y determinará si aplica la solución escogida a ambos secadores, es decir de uno y tres pisos o bandejas. De no ser el caso, se realizará dos análisis de forma individual, para determinar la mejor solución para cada prototipo de secador.

4.5.2.1 Método ordinal de criterios ponderados

El método ordinal de criterios ponderados permite obtener resultados globales suficientemente significativos, sin la necesidad de evaluar individualmente por parámetro de cada propiedad y sin tener que estimar numéricamente el peso de cada criterio [24]. Para ponderar de cada alternativa se calificará de la siguiente forma:

- El valor de 1: si el criterio de filas es mayor al de columnas
- El valor de 0,5: si el criterio de filas es igual al de columnas
- El valor de 0: si el criterio de filas es menor al de columnas

Para cada solución de las filas se suman y se aumenta una unidad, posteriormente en otra columna se calcula los valores ponderados para cada solución. La evaluación total para cada solución resulta la sumatoria de los productos de cada criterio por el peso específico del respectivo criterio[24].

En el Anexo 15, se realiza el análisis de todas las ponderaciones de cada módulo con sus pesos específicos correspondientes. A continuación se detallan las tablas de conclusiones obtenidas a partir del análisis del Anexo 15 hechas para las tres soluciones:

Tabla de conclusiones Módulo 1

Del análisis del módulo1, se tiene la Tabla de conclusiones 4.31, dada por el producto de los valores de ponderación de las Tablas A.15.2, A.15.3, A.15.4 y A.15.5 (precio, ergonomía, función, tamaño) con las tres soluciones dadas:

Conclusión	Precio	Ergonomía	Función	Tamaño	Σ	Prioridad
Solución 1A: Sin fin	0,075	0,125	0,099	0,025	0,33	
Solución 1B: Cangilones	0,075	0,125	0,099	0,025	0,33	
Solución 1C: Manual	0,150	0,051	0,099	0,050	0,35	Mejor

Tabla 4. 31 Tabla de Conclusión del módulo 1

Fuente: Propia

Con la Tabla 4.31, se tiene que la mejor alternativa es la C, por lo que la forma manual es la que se va a considerar y aplica para los dos secadores, considerando que los secadores no son altos, evita costos elevados y un control de grano sin maltrato y de buena calidad. Una buena opción es proveer de una estructura que permita alcanzar a las personas de estatura baja la carga de café.

Tabla de Conclusiones Módulo 2 Silo de tres Pisos

La Tabla de conclusiones 4.32 para el módulo 2 del silo de tres pisos, se obtiene por el producto entre los valores de ponderación de las Tablas A.15.7, A.15.8, A.15.9, A.15.10, A.15.11, A.15.12 y A.15.13 de cada peso específico (consumo de energía, costo, función, eficiencia, accesibilidad, movimiento y tamaño) con cada uno de las cinco soluciones.

Conclusión	Consumo de energía	Costo	Función	Eficiencia	Accesibilidad	Movimiento	Tamaño	Σ	Prioridad
Solución 2A: Ventilador Centrif., GLP, engranes	0,062	0,046	0,023	0,032	0,014	0,018	0,010	0,21	
Solución 2B: Ventilador Centrif., GLP, banda polea	0,053	0,066	0,013	0,009	0,029	0,006	0,014	0,19	
Solución 2C Ventilador Centrif., GLP, cadena piñón	0,069	0,046	0,041	0,028	0,033	0,018	0,017	0,25	Mejor
Solución 2D Ventil. Centrif., Eléctrico, cono corona	0,023	0,026	0,041	0,028	0,025	0,018	0,005	0,17	
Solución 2E Ventil. Centrif., Eléctrico, motor-reductor	0,023	0,014	0,059	0,042	0,008	0,029	0,005	0,18	

Tabla 4. 32 Tabla de Conclusión del módulo 2 para el secador de silo de tres pisos

Como resultado respecto a la Tabla 4.32, se tiene que la alternativa escogida es la solución C, con ventilador centrífugo, uso de combustible para el accionamiento de la fuente de calor y la cadena piñón para el sistema de transmisión de movimiento son los más aptos para el diseño del secador de tres pisos.

Tabla de Conclusiones Módulo 2 Silo de Un Piso

El análisis del módulo 2 permite construir la Tabla de conclusiones 4.33, obtenido por el producto entre los valores de ponderación de las Tablas A.15.14, A.15.15, A.15.16, A.15.17, A.15.18, A.15.19 y A.15.20 (consumo de energía, costo, función, eficiencia, accesibilidad, movimiento y tamaño) con las cinco soluciones.

Conclusión	Consumo de energía	Costo	Función	Eficiencia	Accesibilidad	Movimiento	Tamaño	Σ	Prioridad
Solución 2A: Ventilador Centrif., GLP, engranes	0,046	0,040	0,023	0,028	0,014	0,015	0,007	0,17	
Solución 2B: Ventilador Centrif., GLP, banda polea	0,046	0,060	0,013	0,009	0,029	0,006	0,012	0,18	
Solución 2C Ventilador Centrif., GLP, cadena piñón	0,046	0,040	0,036	0,023	0,025	0,015	0,015	0,20	
Solución 2D Ventil. Centrif., Eléctrico, cono corona	0,076	0,046	0,049	0,042	0,036	0,024	0,014	0,29	Mejor
Solución 2E Ventil. Centrif., Eléctrico, motor-reductor	0,016	0,014	0,059	0,038	0,008	0,029	0,004	0,17	

Tabla 4. 33 Tabla de Conclusión del módulo 2 para el secador de silo de un piso

Con respecto a la Tabla 4.33, es mejor tomar en cuenta la alternativa 2D, que consta del ventilador centrífugo, la fuente de calor es eléctrica y su sistema de transmisión de movimiento es mediante cono y corona, para el secador de un piso con 10 qq de carga.

Conclusiones Módulo 3 Silo de Un Piso

La evaluación de cada criterio y su nivel de importancia los cinco son criterios relevantes, sin embargo para este módulo no se evaluará, debido a que se posee dos alternativas que necesariamente deben ser usadas en cada una de las soluciones obtenidas en el módulo 2, tanto del secador de silo de tres y un piso.

El quemador de GLP será empleado en el secador de silo de tres pisos para el accionamiento de la fuente de calor y la cadena piñón para el sistema de transmisión de movimiento.

Las resistencias serán utilizadas en el secador de silo de un piso, que lo integra el ventilador centrífugo y su sistema de transmisión de movimiento es mediante cono y corona.

Tabla de conclusiones Módulo 4 Silo de Tres Pisos

El análisis del módulo 4 permite construir una Tabla de conclusiones 4.34, obtenido por el producto entre los valores de ponderación de las Tablas A.15.21, A.15.22, A.15.23, A.15.24, A.15.25, A.15.26 y A.15.27 de cada peso específico (tamaño, función, eficiencia, accesibilidad, movimiento y costo) con cada uno de las cinco soluciones:

<i>Conclusión</i>	<i>Tamaño</i>	<i>Función</i>	<i>Eficiencia</i>	<i>Accesibilidad</i>	<i>Movimiento</i>	<i>Costo</i>	Σ	<i>Prioridad</i>
Solución 4A: Paletas tipo trinche	0,09	0,06	0,04	0,04	0,03	0,01	0,27	Mejor
Solución 4B: Paleta rectangular	0,05	0,02	0,03	0,04	0,04	0,06	0,23	
Solución 4C: Paleta Trapezoidales	0,05	0,03	0,03	0,04	0,06	0,03	0,24	
Solución 4D: Paleta con ángulo	0,07	0,06	0,05	0,04	0,01	0,04	0,27	Mejor

Tabla 4. 34 Tabla de Conclusión del módulo 4 para el secador de silo de tres pisos

Con respecto a la Tabla 4.34, para el secador de tres pisos, se obtuvo como solución dos alternativas de tipos de paletas removedoras la 4A y 4D, por lo que se deberá escoger una o tratar de crear un diseño que conste de las dos características adecuadas para este secador.

Tabla de conclusiones Módulo 4 Silo de Un Piso

El análisis del módulo 4 permite construir la Tabla de conclusiones 4.35.

Se obtiene por el producto entre los valores de ponderación de las Tablas A.15.27, A.15.28, A.15.29, A.15.30, A.15.31 y A.15.32 de cada peso específico (tamaño, función, eficiencia, accesibilidad, movimiento y costo) con las cuatro soluciones.

<i>Conclusión</i>	<i>Tamaño</i>	<i>Función</i>	<i>Eficiencia</i>	<i>Accesibilidad</i>	<i>Movimiento</i>	<i>Costo</i>	Σ	<i>Prioridad</i>
Solución 4A: Paletas tipo trinche	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	0,01	0,14	
Solución 4B: Paleta rectangular	0,08	0,07	0,05	0,06	0,04	0,06	0,35	Mejor
Solución 4C: Paleta Trapezoidales	0,10	0,05	0,05	0,04	0,06	0,04	0,35	Mejor
Solución 4D: Paleta con ángulo	0,05	0,03	0,02	0,02	0,01	0,03	0,16	

Tabla 4. 35 Tabla de Conclusión del módulo 4 para el secador de silo de un piso

Respecto a la Tabla 4.35, para el secador de un piso, se obtuvo como solución dos alternativas de tipos de paletas removedoras la 4B y 4C, que va a secar 10 quintales de café diarios, por lo que se necesitará de una paleta robusta y sólida para mover el grano de café.

Conclusiones Módulo 5

Para este módulo no se realizará una evaluación, pues se dispone de una sola alternativa, por lo que necesariamente se debe usar en el secador de silo de un piso y el secador de silo de tres pisos.

Tabla de conclusiones Módulo 6

El análisis del módulo 6, permite construir una Tabla de conclusiones 4.36, obtenido por el producto entre los valores de ponderación de las Tablas A.15.34, A.15.35, A.15.36, A.15.37 y A.15.38 de cada peso específico (tamaño, función, ergonómico y mantenimiento) con cada uno de las tres soluciones.

<i>Conclusión</i>	<i>Tamaño</i>	<i>Función</i>	<i>Ergonómico</i>	<i>Mantenimiento</i>	Σ	<i>Prioridad</i>
Solución 6A: Compuerta corrediza en la base y dispositivo acoplable	0,15	0,08	0,10	0,03	0,37	Mejor
Solución 6B: compuerta con bisagra y dispositivo acoplable	0,09	0,15	0,08	0,05	0,37	Mejor
Solución 6C: compuerta lateral corrediza y mesa corrediza	0,12	0,08	0,06	0,02	0,26	

Tabla 4. 36 Tabla de Conclusión del módulo 4 para el secador de silo de un piso

De acuerdo con la Tabla 4.36, se tienen dos tipos de alternativas a seleccionar que se escoger una sola o acoplar las dos alternativas y tener una sola opción. Se

tiene las alternativas 6A y 6B. Pues las dos alternativas se pueden usar en el secador de silo de tres pisos; sin embargo en el secador de silo de un piso se tiene como mejor opción es la 6B, que consta de una compuerta con bisagra lateral.

A continuación se establece el principio de los prototipos que se van a diseñar para el presente proyecto, donde en la Figura del secador de silo de tres pisos o niveles está compuesto principalmente de un recipiente cilíndrico constituido por tres niveles cilíndricos que contiene el grano de café a secar con diferente humedad y que están comunicados verticalmente entre sí mediante planchas perforadas. Adicionalmente en la parte inferior dispone de la cámara o plenum de aire. En la Figura 4.30 se observa la distribución del secador de silo de tres pisos:

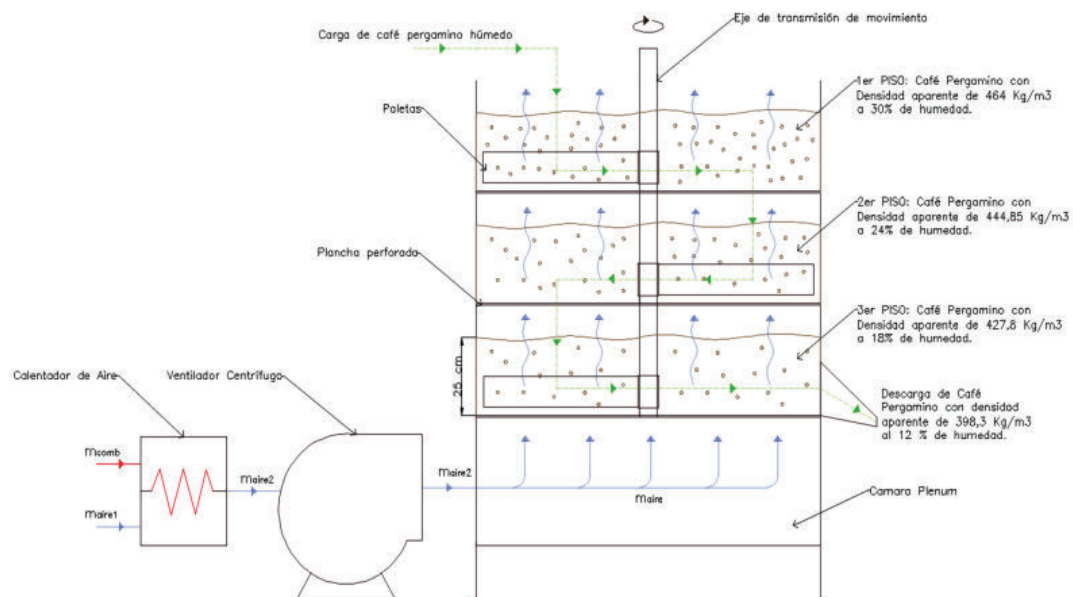


Figura 4. 30 Esquema del Principio básico del secado de Café de Tres Piso

Fuente: Propia

El secador de silo de un piso tiene el mismo principio, formado por un calentador de aire que utiliza un quemador, el aire caliente pasa por el ventilador que genera aire con una velocidad que permite la distribución del mismo la cámara de secado, que es separada por una plancha perforada. La mezcla constante del grano de café se la hace mediante el sistema de transmisión de movimiento, accionada por paletas que removerán el grano de café constantemente y hará

que el café mejor su calidad por el secado homogéneo. En la Figura 4.31 se observa la distribución del secador de silo de un piso:

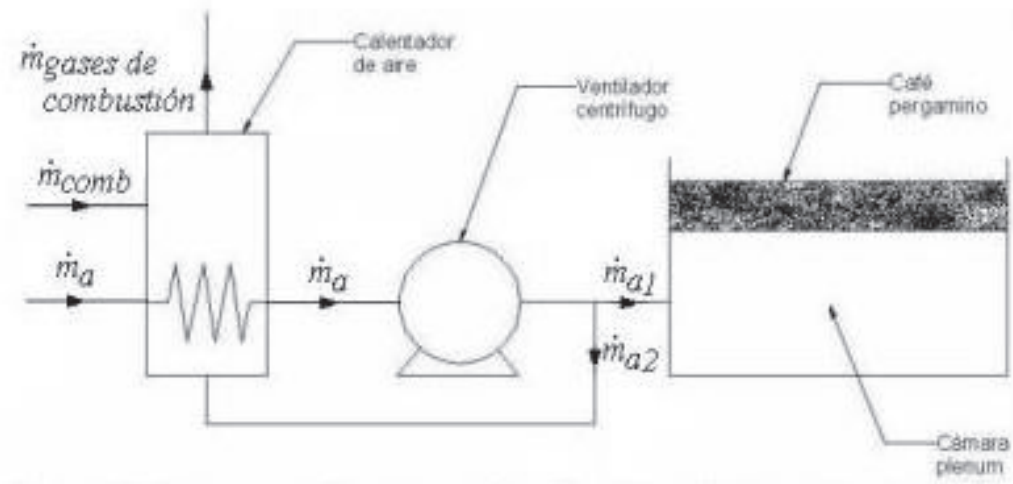


FIGURA 4. 31 Esquema típico de secado de Café de un Piso[16]

Fuente: OROZCO C., BEDOYA F., 2007, pág 209

CAPÍTULO 5

DISEÑO Y CÁLCULOS DE LOS SECADORES TIPOS SILO DE UN PISO Y TRES PISOS

El diseño del secador de café depende de los parámetros que deben considerarse, para sus respectivos cálculos, con el objetivo de obtener un prototipo que cumpla con los requisitos de mejorar la calidad y reducir el tiempo de secado del café pergamino.

Del análisis efectuado en campo, la toma de datos e información obtenida se observó que existen inconvenientes en el secado por no remover el café; a pesar de que el secado es bueno, no es uniforme, por ello se ha visto en la necesidad de implementar un sistema de transmisión para el movimiento y generar una mezcla uniforme del lecho del grano de café.

El diseño inicia con la determinación de las condiciones del lugar, parámetros y datos necesarios para el diseño y cálculos y del secador.

5.1 DISEÑO Y CÁLCULO DE UN SECADOR DE SILO DE TRES PISOS

5.1.1 CONDICIÓN, PARÁMETROS Y DATOS PARA EL DISEÑO DEL SECADOR

a) Condición

Capacidad para secar 10 [qq] métricos (454 [kg]) de café por día en un secador mecánico tipo silo de un piso, al instalarse en el sector del Noroccidente de Pichincha, con la finalidad de reducir el tiempo de secado y mejorar la calidad de grano. Considerando un consumo apropiado de energía y teniendo un secado homogéneo del grano al 11% de humedad.

b) Parámetros

Se deben considerar los siguientes parámetros para el diseño del secador mecánico tipo silo de un piso:

- Velocidad de secado para granos se recomienda que este entre 0,25 y 2,5 [m/s] [33], para café se recomienda 2,5 [m/s].
- La capa de café debe tener una altura de 0,35 [m] y máxima de 0,5 [m], en secadores de silo de uno y dos pisos [34].
- Revolver masa de café por lo menos cada dos horas.
- Hacer un pre-secado o semi-secado empleando marquesinas, hasta obtener aproximadamente 30%, antes de colocarlo en el secador mecánico
- Se puede trabajar con una temperatura máxima del aire para secar de 60°C, en el secador mecánico (30% de humedad). La temperatura recomendada es de 50°C sobre todo cuando la masa de café alcance aproximadamente 17% de humedad [35].

A continuación se tiene la Tabla 5.1 donde se resume los datos obtenidos por la investigación en revistas técnicas y de forma experimental [11,35]:

GRANOS DE CAFÉ	
Coeficiente de fricción entre metal y café lavado	0,67
Densidad del café escurrido al 50%	700 [kg/m ³]
Densidad del café al ingreso del cilindro 30%	464 [kg/m ³]
Densidad del café a la salida del cilindro 11%	391,2 [kg/m ³]
Diámetro equivalente del grano de café	6,4 x 10 ⁻³ [m]
Humedad crítica del café (%)	35%
Humedad de equilibrio del café (%)	11%
Humedad final del café (%)	11%
Humedad inicial del café (%)	30%
Porcentaje de espacios vacíos	0,51
CONDICIONES AMBIENTALES	
Temperatura ambiente de bulbo seco	25°C
Temperatura ambiente de bulbo húmedo	23,40°C
Humedad relativa del ambiente (%)	91%

ACERO A36		
Densidad del acero		7 850 [kg/m ³]
Esfuerzo a la fluencia	250 [MPa]	2 549 [kg/cm ²]
Esfuerzo ultimo	400 [MPa]	4 079 [kg/cm ²]
Módulo de elasticidad	200 [GPa]	20,4 x10 ⁵ [kg/cm ²]
ACERO INOXIDABLE AISI 304		
Densidad del acero		7 800 [kg/m ³]
Esfuerzo a la fluencia	310 [MPa]	3 161 [kg/cm ²]
Esfuerzo ultimo	515 [MPa]	5 252 [kg/cm ²]
Módulo de elasticidad	200 [GPa]	20,4 x10 ⁵ [kg/cm ²]
ACERO DE ALTA TRANSMISIÓN		
Densidad del acero		7 870 [kg/m ³]
Esfuerzo a la fluencia	370 [MPa]	3 772 [kg/cm ²]
Esfuerzo ultimo	440 [MPa]	4 487 [kg/cm ²]
Módulo de elasticidad	205 [GPa]	20,9 x10 ⁵ [kg/cm ²]

Tabla 5. 1 Datos Requeridos para cálculos del Secador de Silo de un piso

Fuente: Propia

5.1.2 DETERMINACIÓN DE LAS DIMENSIONES DEL SECADOR

Para secar los 10 qq de café en el secador de silo de un piso se debe considerar las dimensiones del espacio destinado para la su ubicación, así como también establecer la altura del lecho del grano, que debe estar dentro de 0,35 m a 0,5m, altura requerida por normas cafetaleras para secadores de un piso [25]. Las variables a considerar son las siguientes:

- h_1 Altura aconsejada por FAO y Revistas Técnicas de Colombia, 0,4[m]
- m_c Masa del café, [kg]
- V_c Volumen del café, [m³]
- r_c Radio del tanque que contiene el café, [m]
- \emptyset_c Diámetro del tanque del volumen del café. [m]
- ρ_c Densidad aparente del café, [kg/m³]

Dónde:

$$h_1 = 0,4 \text{ [m]}$$

$$m_c = 10 [qq] = 454[\text{kg}]$$

$$V_c = \frac{m_c}{\rho_c} \quad [\text{Ec. 5. 1}]$$

$$V_c = \frac{454 [\text{kg}]}{464 [\text{kg}/\text{m}^3]} = 0,98 [\text{m}^3]$$

$$V_c = \pi \cdot r_c^2 \cdot h_1 \quad [\text{Ec. 5. 2}]$$

$$0,98 [\text{m}^3] = \pi r_c^2 \cdot 0,4[\text{m}]$$

$$r_c = \sqrt{0,78} = 0,9 [\text{m}]$$

Se tomará de radio para el secador de 1 [m], cuyo diámetro será de 2 [m].

5.1.3 CÁLCULO DE FUERZAS ACTUANTES

Dentro de este secador se considerarán 6 paletas distribuidas por toda la circunferencia, con el objetivo de remover y limpiar el grano evitando que se pegue en paredes y el secado no sea homogéneo, como se muestra en la Figura 5.1. En la Tabla 5.2 se tiene un resumen del número de paleta con la función de cada una y sus respectivos diámetros de trabajo generado:

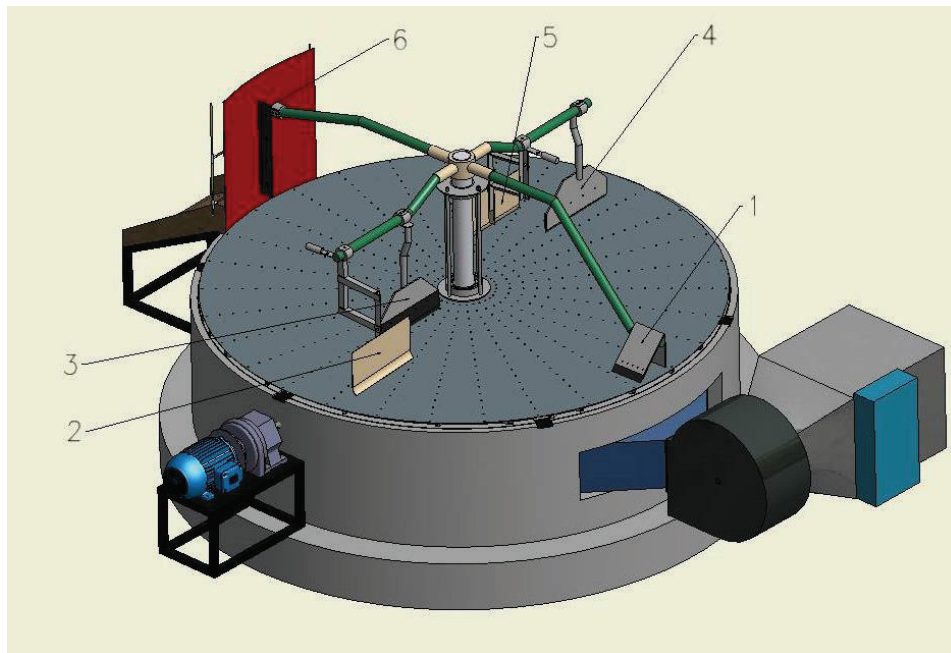


Figura 5. 1 Distribución de Paletas en el Secador de silo de un piso

Fuente: Propia

<i>Número de Paletas</i>	<i>Diámetro Externo [m]</i>	<i>Radio Externo [m]</i>	<i>Diámetro Interno [m]</i>	<i>Radio Interno [m]</i>
1(esquinada)	1,98	0,99	1,7	0,85
2 (mezcladora)	1,73	0,865	1,03	0,515
3 (limpiadora)	0,97	0,485	0,27	0,135
4 (limpiadora)	1,67	0,835	0,97	0,485
5(mezcladora)	0,94	0,47	0,24	0,12
6 (lateral de pared)	2	1	1,88	0,94

Tabla 5. 2 Cuadro de diámetros externos e internos con sus respectivos radios de trabajo

Fuente: Propia

Se obtiene el área de trabajo de la diferencia entre las Áreas Externas e Internas, donde:

$A_{e,i}$ Área externa e interna, [m²]

A_t Área total, [m²]

h_p Altura de la paleta, [m]

V_t Volumen de trabajo, [m²]

$r_{e,i}$ Radio externo e interno, [m]

Entonces se calcula las áreas de trabajo, usando el radio externo e interno para su correspondiente área, con el uso de las Ecuaciones 5.3 y 5.4:

$$A_{e,i} = \pi r^2 \quad [\text{Ec. 5. 3}]$$

$$A_e = \pi(0,99 \text{ [m]})^2 = 3,08 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$A_i = \pi(0,85 \text{ [m]})^2 = 2,27 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$A_t = A_e - A_i \quad [\text{Ec. 5. 4}]$$

$$A_t = 3,08 - 2,27 = 0,81 \text{ [m}^2\text{]}$$

Por lo tanto se tiene la Tabla 5.3 de áreas de trabajo externas e internas y el volumen de trabajo producido por las 6 paletas:

No. Paletas	$A_e [m^2]$	$A_i [m^2]$	$A_t [m^2]$	$h_p [m]$	$V_i [m^3]$
1	3,08	2,27	0,81	0,15	0,12
2	2,35	0,83	1,52	0,15	0,23
3	0,74	0,06	0,68	0,15	0,10
4	2,19	0,74	1,45	0,15	0,22
5	0,69	0,05	0,65	0,15	0,10
6	3,14	2,78	0,37	0,4	0,15

Tabla 5. 3 Cuadro de Área de trabajo y Volumen de trabajo

Fuente: Propia

a. Fuerzas Actuantes

En la Figura 5.2 se tiene el D.C.L de las fuerzas actuantes en la paleta:

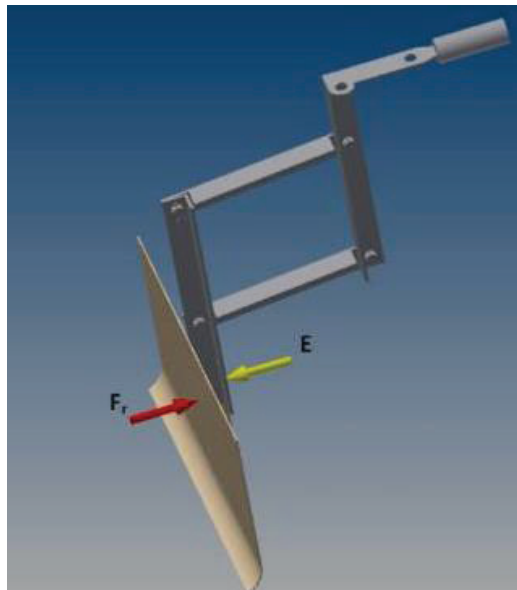


Figura 5. 2 Fuerzas actuantes de Empuje y Fuerza de rozamiento

Fuente: Propia

$$E_1 = \rho_c \cdot g \cdot V_1 \quad [\text{Ec. 5. 5}]$$

$$E_1 = (464 [\text{kg/m}^3]). (9,8 [\text{m/s}^2]). (0,12 [\text{m}^3])$$

$$E_1 = 551,99 [\text{N}]$$

La Ecuación 5.5 permite calcular las fuerzas de empuje existentes para cada paleta [36], obteniendo los resultados de la fuerza de empuje con el grano de café, en la Tabla 5.4:

No. Paletas	Densidad ρ_c [kg/m ³]	Gravedad g [m/s ²]	Volumen de trabajo V_i [m ³]	Empuje E_i [N]
1			0,12	551,99
2			0,23	1034,98
3	464	9,80	0,10	464,99
4			0,22	989,98
5			0,10	442,49
6			0,15	665,13

Tabla 5. 4 Cuadro del Empuje generado por las paletas

Fuente: Propia

b. Cálculo de Fuerza de Rozamiento y Normal

Se determinará el volumen que ocupa cada paleta con la Ecuación 5.6:

$$V_{p3} = a_p \cdot e_p \cdot h_p \quad [\text{Ec. 5. 6}]$$

$$V_{p3} = (0,35 \text{ [m]}) \cdot (0,005 \text{ [m]}) \cdot (0,15 \text{ [m]})$$

$$V_{p3} = 0,00026 \text{ [m}^3\text{]}$$

Por lo tanto se tiene las Tablas 5.5 y 5.6 que determina el volumen de cada paleta:

Número de Paletas	dimensión a_p [m]	Espesor e_p [m]	Altura h_p [m]	Volumen paleta V_{pi} [m ³]
2	0,35	0,005	0,15	0,00026
5	0,35	0,005	0,15	0,00026
6	0,10	0,005	0,40	0,00020

Tabla 5. 5 Cuadro de Volumen de las paletas de forma rectangular

Fuente: Propia

Número de Paletas	Área paleta A_{pi} [m ²]	Espesor e_p [m]	Volumen paleta V_{pi} [m ³]
1	0,085	0,005	0,000425
3	0,058	0,005	0,00029
4	0,058	0,005	0,00029

Tabla 5. 6 Cuadro de Volumen de Paletas de forma distinta

Fuente: Propia

Se calculará la Normal de cada paleta con la Ecuación 5.7 obteniendo la Tabla 5.7

$$N_1 = \rho_c * g * V_1 \quad [\text{Ec. 5. 7}]$$

$$N_1 = (464 \text{ [kg/m}^3\text{]}) \cdot (9,8 \text{ [m/s}^2\text{]}) \cdot (0,000425 \text{ [m}^3\text{]}) = 1,93 \text{ [N]}$$

Número de Paletas	Volumen paleta V_{pi} [m ³]	Densidad ρ_c [kg/m ³]	Gravedad [m/s ²]	Normal N_i [N]
1	0,00043			1,93
2	0,00026			1,19
3	0,00029			1,32
4	0,00029	464	9,80	1,32
5	0,00026			1,19
6	0,00020			0,91

Tabla 5. 7 Fuerza Normal para cada Paleta

Fuente: Propia

Se calculará la fuerza de rozamiento con la Ecuación 5.8, cuyo coeficiente de rozamiento, entre el grano de café lavado y el metal se toma de acuerdo con la Tabla 5.8:

TRATAMIENTO	ESTADO DE LOS GRANOS DE CAFÉ				
	En cereza	Despulpado	Lavado	Pergamino seco	Almendra
Metal	0,62	0,3	0,67	0,56	0,47
Concreto	0,55	0,72	1,16	1,55	1
Alfagres	0,76	0,31	0,92	1,02	0,62
Mayólica	0,62	0,36	0,88	0,97	0,57
P.V.C	0,49	0,27	0,6	0,36	0,34
Madera cepillada (fibra perpendicular al flujo de grano)	0,65	0,58	1,21	0,39	0,45
Madera cepillada (fibra paralela al flujo de grano)	0,63	0,67	1,08	0,45	0,5
Madera tosca (fibra perpendicular al flujo de grano)	0,74	0,78	1,25	1,2	0,57
Madera tosca (fibra paralela al flujo de grano)	0,76	0,78	1,2	1,3	0,47

Tabla 5. 8 Coeficientes de fricción de diferentes materiales

Fuente: STIVEN, T., (2013). Diseño y construcción de tres máquinas de lavado mecánico del café con Fermentación natural utilizando la tecnología DESLIM en el centro nacional de investigaciones de café GENICAFÉ, Pereira-Colombia

$$Fr_1 = \mu \cdot N_1 \quad [\text{Ec. 5. 8}]$$

$$Fr_1 = (0,67) * (1,93 \text{ [N]})$$

$$Fr_1 = 1,29 \text{ [N]}$$

La Tabla 5.9 indica los resultados de las fuerzas de rozamiento para cada paleta:

Número de Paletas	Normal N_i [N]	Coefficiente de Rozamiento μ	Fuerza de Rozamiento Fr_i [N]
1	1,93		1,29
2	1,19		0,80
3	1,32	0,67	0,88
4	1,32		0,88
5	1,19		0,80
6	0,91		0,61

Tabla 5. 9 Fuerzas de Rozamiento que se produce entre el grano y la Paleta

Fuente: Propia

Finalmente, se calculará el empuje total de cada paleta, con la Ec. 5.9 teniendo como resultado la Tabla 5.10, las fuerzas actuantes se ven en Figura 5.2:

$$E_{t1} = E_1 - Fr_1 \quad [\text{Ec. 5. 9}]$$

Número de Paletas	Fuerza de Rozamiento Fr_i [N]	Empuje E_i [N]	Empuje total E_t [N]
1	1,29	551,99	550,69
2	0,80	1034,98	1035,18
3	0,88	464,99	464,11
4	0,88	989,98	989,10
5	0,80	442,49	441,69
6	0,61	665,13	664,52
TOTAL			4144,30

Tabla 5. 10 Empuje Total de cada Paleta

Fuente: Propia

5.1.4 CÁLCULO DE TORQUE Y POTENCIA

El cálculo del torque se determina mediante el producto de la fuerza del empuje por la distancia perpendicular aplicada que se indica en la Ecuación 5.10:

$$T_1 = E_{t1} \cdot b_1 \quad [\text{Ec. 5. 10}]$$

$$T_1 = (550,69 \text{ [N]}) * (1,29 \text{ [m]}) = 503,89 \text{ [Nm]}$$

Se tiene como resumen la Tabla 5.11 donde se calculó el torque producido:

Número de Paletas	Empuje total E_i [N]	Distancia b_i [m]	TORQUE T_i [Nm]
1	550,69	0,915	503,89
2	1035,18	0,69	713,58
3	464,11	0,31	143,87
4	989,10	0,66	652,30
5	441,69	0,295	130,30
6	664,52	0,95	631,30
Total del torque T_t			2775,74

Tabla 5. 11 Torque producido para cada paleta

Fuente: Propia

La velocidad angular inicial será cero porque parte del reposo y la velocidad angular final será calculada con la Ecuación 5.11:

$$\omega_f = 5 \text{ [rpm]} * \frac{1 \text{ [min]}}{60 \text{ [seg]}} * \frac{2\pi \text{ [rad]}}{1 \text{ [rev]}} = 0,52 \text{ [rad/seg]} \quad [\text{Ec. 5. 11}]$$

Se calcula la potencia, mediante la Ecuación 5.12 [28] y sus resultados se representa en la Tabla 5.12:

$$Pot_i = T_i \cdot \omega_f \quad [\text{Ec. 5. 12}]$$

$$Pot_1 = 503,89 \text{ [Nm]} * 0,52 \text{ [rad/seg]}$$

$$Pot_1 = 263,83 \text{ [W]}$$

Número de Paletas	Torque T_i [Nm]	Velocidad angular ω_f [rad/seg]	Pot_i [W]	Pot_i [Hp]
1	503,89	0,5236	263,83	0,36
2	713,58	0,5236	373,63	0,51
3	143,87	0,5236	75,33	0,10
4	652,30	0,5236	341,81	0,46
5	130,30	0,5236	68,22	0,09
6	631,30	0,5236	330,55	0,45
TOTAL DE POTENCIA			1453,38	1,98

Tabla 5. 12 Cálculo de Potencia en Watts y HP

Fuente: Propia

Se seleccionará un motor de 2 [HP] que se puede adquirir localmente.

5.1.5 SELECCIÓN DEL DIÁMETRO DEL EJE REMOVEDOR DE PALETAS

Los puntos P1 y P2 es donde se aplican las fuerzas de empuje E y el punto B están empernados al eje motriz, este punto al estar fijo al eje motriz se lo puede considerar como un punto fijo en B. El brazo con el mayor torque es el que será utilizado para calcular el diámetro, dimensión que se mantendrá para los cuatro ejes horizontales, como ejemplo se observa en la Figura 5.3; a continuación se tiene la Tabla 5.13 de fuerza y torque producido en cada eje removedor de paletas:

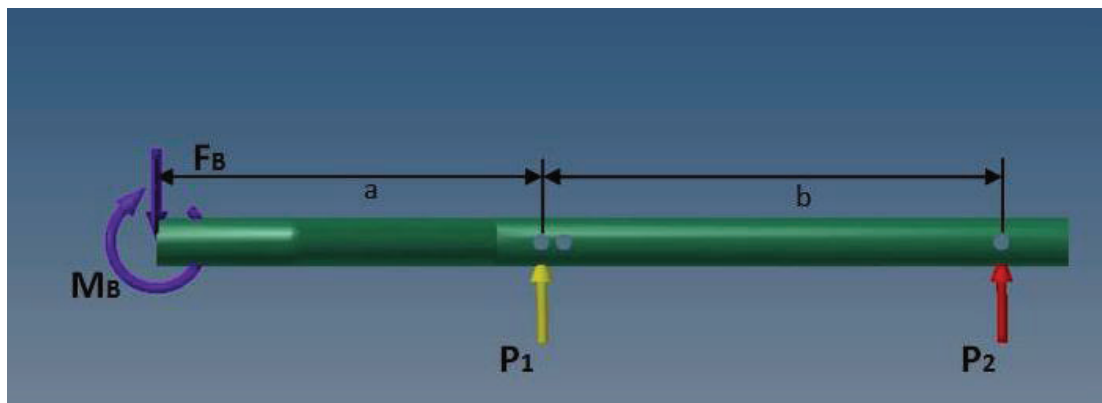


Figura 5. 3 Diagrama del Cuerpo Libre

Fuente: Propia

<i>Paletas No.</i>	<i>No de eje removedor</i>	<i>Fuerza Fi [N]</i>	<i>Torque Ti (Nm)</i>
1	1	550,69	503,89
2, 3	2	1498,29	857,46
4, 5	3	1430,79	783,10
6	4	664,52	631,30

Tabla 5. 13 Fuerza y torque producido en cada eje de paletas

Fuente: Propia

Se realizará sumatoria de fuerzas y momentos a partir de las Ec. 5.13 y 5.14:

$$\sum F_y = 0 \quad \uparrow + \quad \text{[Ec. 5. 13]}$$

$$R_B - 464,11 - 1\,034,18 = 0$$

$$R_B - 1498,29 = 0$$

$$R_B = 1498,29[\text{N}]$$

$$\sum M_B = 0 \quad \cup + \quad [\text{Ec. 5. 14}]$$

$$M_B - 464,11(0,31) - 1\,034,18(0,69) = 0$$

$$M_B - 857,46 = 0$$

$$M_B = 857,46 [\text{Nm}]$$

El momento máximo es $M_B = 857,46 [\text{Nm}]$, como se puede comprobar en la Figura 5.4 diagramas de Corte y Momento del Eje de la Paleta Removedora:

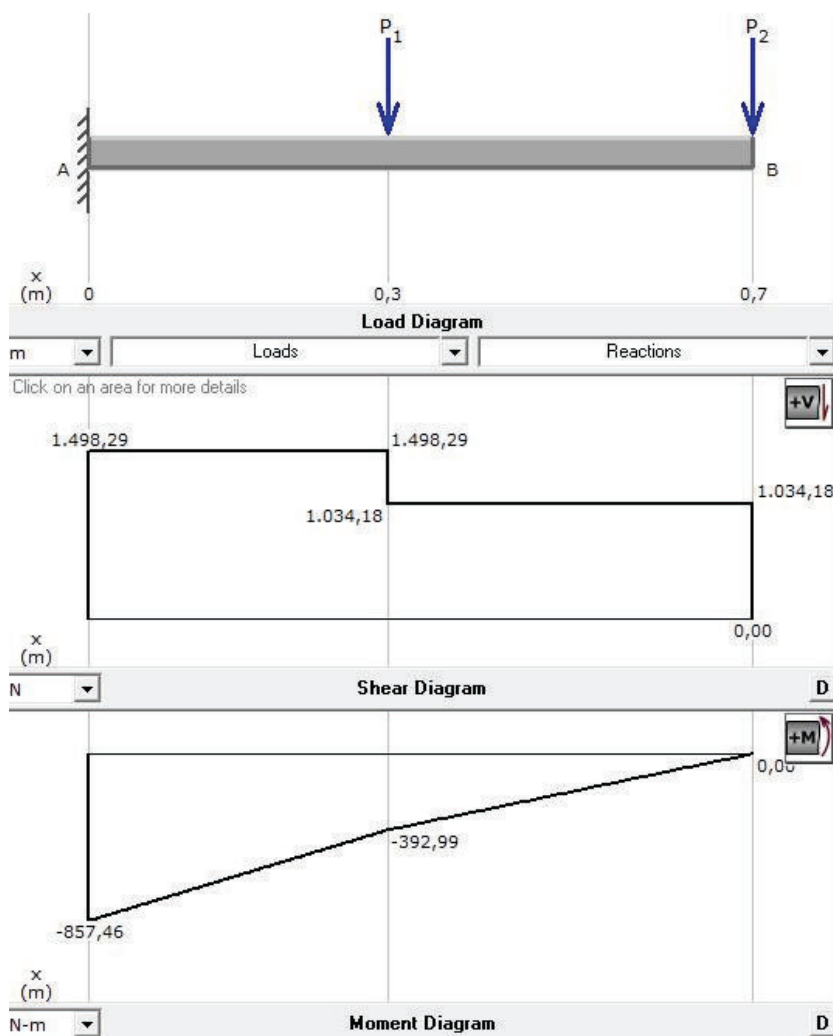


Figura 5. 4 Diagramas de Corte y Momento del Eje de Paletas

Fuente: Propia

El brazo corresponde a un diseño estático, debido a que su eje no está sometido a rotación. Se considerará un factor de seguridad de 2 para la Ecuación 5.17 [27]:

$$I_{ep} = \frac{\pi \cdot r_{ep}^4}{4} \quad [\text{Ec. 5. 15}]$$

$$\sigma_{a_{1018}} = \frac{M \cdot r_{ep}}{I_{ep}} \quad [\text{Ec. 5. 16}]$$

$$FS_{a_{1018}} = \frac{S_y}{\sigma_{a_{1018}}} \quad [\text{Ec. 5. 17}]$$

Dónde:

I_{ep}	Momento de inercia, [m ⁴]
r_{ep}	Radio del eje de la paleta, [m]
$\sigma_{a_{1018}}$	Esfuerzo a la tensión del eje de acero, [MPa]
$FS_{a_{1018}}$	Factor de diseño del eje que sostiene las paletas, será 2
$S_{y_{1018}}$	Esfuerzo a la fluencia del acero AISI 1018, [MPa]

Remplazando el momento de Inercia del eje de la paleta I_{ep} en el esfuerzo a la tensión del acero $\sigma_{a_{1018}}$.

$$2 = \frac{370 \text{ [MPa]}}{\sigma_{a_{1018}}}$$

$$\sigma_{a_{1018}} = 185 \text{ [MPa]}$$

$$\sigma_{a_{1018}} = \frac{M r_{ep}}{\frac{\pi r_{ep}^4}{4}}$$

$$r_{ep} = \sqrt[3]{\frac{4M}{\pi \sigma_{a_{1018}}}}$$

$$r_{ep} = \sqrt[3]{\frac{4 \times 857,46 \text{ [Nm]}}{185 \times 10^6 \text{ [Pa]} \times \pi}}$$

$$r_{ep} = 0,018 \text{ [m]} = 18 \text{ [mm]}$$

$$\Phi_{ep} = 36 \text{ [mm]}$$

Se escogerá un eje de acero de transmisión **AISI 1018** con diámetro de **36 [mm]**, que se puede conseguir en el mercado local, y es un valor normalizado [37].

5.1.6 DISEÑO Y CÁLCULO DE PALETAS REMOVEDORAS

Se tomará como ejemplo para el cálculo de la paleta la No.2, como se muestra en la Figura 5.5, con las dimensiones de la paleta removedora:

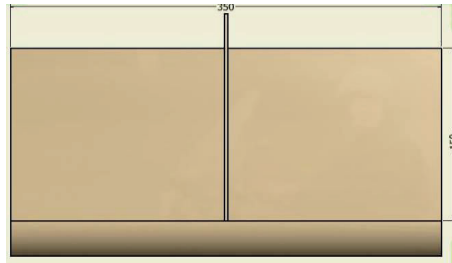


Figura 5. 5 Dimensiones de Paleta Removedora 2

Fuente: Propia

Donde

a_p largo de la paleta, 0,35 [m]

h_p alto de la paleta, 0,15 [m]

e_p espesor de la paleta, [m]

$$FS_{a_{304}} = \frac{S_{y_{304}}}{\sigma_{a_{304}}} \quad [\text{Ec. 5. 18}]$$

$$\sigma_{a_{304}} = \frac{310 \text{ [MPa]}}{2} = 155 \text{ [MPa]}$$

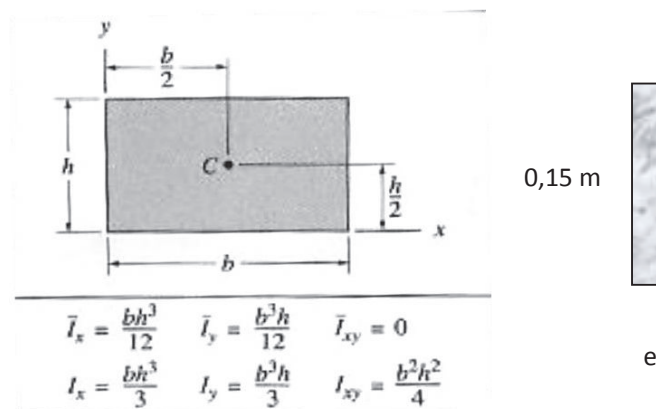


Figura 5. 6 Momentos de Inercia de la paleta Rectangular[38]

Fuente: <http://joelfrax.com/otros/momentos%20inercia.html>

$$I_p = \frac{e_p \cdot h_p^3}{12} \quad [\text{Ec. 5. 19}]$$

$$c = \frac{h_p}{2} \quad [\text{Ec. 5. 20}]$$

Dónde:

c punto neutro de la paleta, [m]

El momento máximo está dado por el producto de la fuerza que se aplica en la paleta No.2 que se está diseñando y la longitud donde está articulada la paleta, Figura 5.7 Diagrama de cuerpo libre de la paleta removedora:

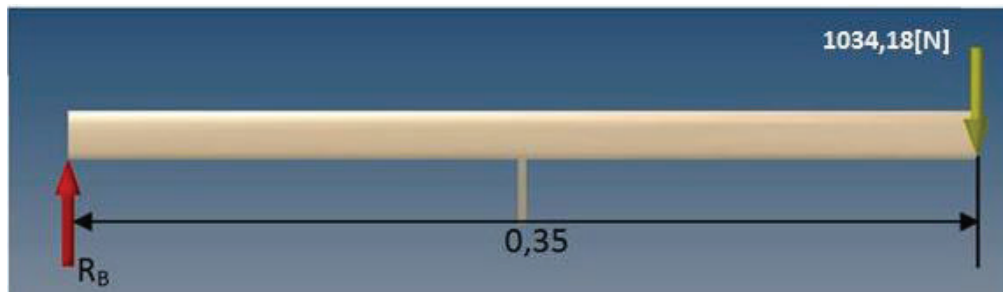


Figura 5. 7 DCL de la paleta removedora

Fuente: Propia

$$M_p = E_2 \cdot d_2 \quad [\text{Ec. 5. 21}]$$

$$M_p = 1\,034,18 \text{ [N]} \cdot 0,35 \text{ [m]}$$

$$M_p = 361,96 \text{ [Nm]}$$

$$\sigma_{a_{304}} = \frac{M_p \cdot c}{I_p} \quad [\text{Ec. 5. 22}]$$

$$\sigma_{a_{304}} = \frac{M_p \cdot \frac{h_p}{2}}{\frac{e_p \cdot h_p^3}{12}}$$

$$\sigma_{a_{304}} = \frac{6 \cdot M_p}{e_p \cdot h_p^2} \quad [\text{Ec. 5. 23}]$$

Despejar el espesor de la paleta de acero inoxidable [27]:

$$\sigma_{a_{304}} = \frac{6 \cdot M_p}{e_p \cdot h_p^2} \quad [\text{Ec. 5. 24}]$$

$$e_p = \frac{6. (361,96 \text{ [Nm]})}{(0,15 \text{ [m]})^2. (155 \times 10^6 \text{ [Pa]})} = 0,0006 \text{ m}$$

$$e_p = 0,6 \text{ [mm]} \approx 1 \text{ [mm]}$$

Se selecciona el acero inoxidable 304 con espesor de 1 [mm].

5.1.7 DISEÑO Y CÁLCULO PARA LA SELECCIÓN DE CONO-CORONA

Al existir un motor-reductor de 2 [HP] con 27 [rpm] en el mercado local, se puede calcular la relación de transmisión necesaria para conseguir el sistema de transmisión de movimiento [27]:

$$R. T. = \frac{N_{\text{cono}}}{N_{\text{corona}}} \quad [\text{Ec. 3. 6}]$$

$$R. T. = \frac{27 \text{ [rpm]}}{5 \text{ [rpm]}} = 5,4$$

Se pudo encontrar un cono y corona con las siguientes características:

- Corona helicoidal: 43 dientes, diámetro 362 [mm].
- Cono helicoidal: 8 dientes, diámetro 57,2 [mm].

Entonces se calculará la relación de transmisión entre el número de dientes Z_{corona} y Z_{cono}

$$R. T. = \frac{Z_{\text{corona}}}{Z_{\text{cono}}} = \frac{43 \text{ dientes}}{8 \text{ dientes}} = 5,375$$

Considerando que estos elementos fueron parte de un sistema de transmisión de un microbús o furgoneta AGRALE se determina que es capaz de soportar fácilmente los 2 Hp transmitidos por el motor eléctrico en esta mezcladora. Nos interesa escoger el cono y corona con respecto a la Relación de Transmisión, porque se requiere tener necesariamente de 4 a 6 [rpm], la potencia y el torque requerido están dentro de los rangos requeridos, según revistas técnicas cafeteras.

5.1.8 DISEÑO Y CÁLCULO PARA EL EJE MOTRIZ PRINCIPAL

$$Pot = T. \omega_f \quad [\text{Ec. 5. 25}]$$

Dónde:

Pot Potencia, [W]

T Torque, [Nm]
 ω_f Velocidad angular [rad/s]

Se determinará también el valor del Torque:

$$T = \frac{Pot}{\omega_f}$$

$$Pot = 2[Hp] = 1491,4[W]$$

$$T = \frac{1491,4 [W]}{0,52 [\text{rad/seg}]}$$

$$T = \mathbf{2\ 868 [N.m]}$$

La potencia es la misma usada tanto para las paletas mezcladoras del café como para el eje motriz, transmitido por un motor reductor de velocidades. En la Figura 5.8 se indica el diagrama de cuerpo libre del eje motriz:

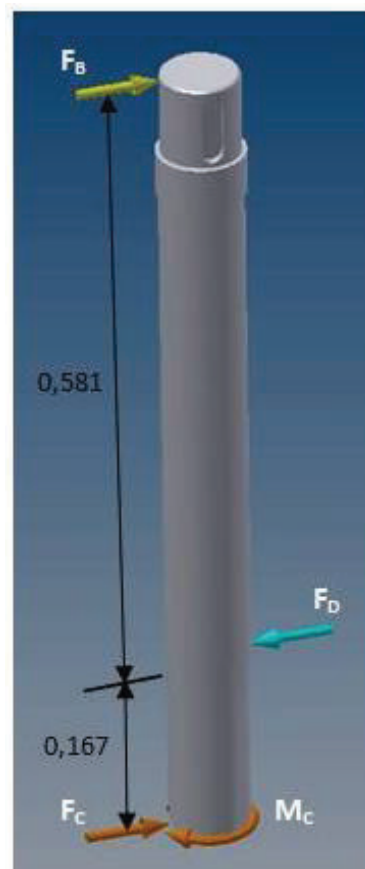


Figura 5. 8 Diagrama de Cuerpo Libre del Eje Motriz

Fuente: Propia

Diámetro exterior del engrane cónico o corona en el punto C, obteniendo como datos $D_e = 362 \text{ [mm]} = 0,362 \text{ [m]}$, con $r_e = 0,181 \text{ [m]}$.

$$F_C = \frac{2\,868 \text{ [N.m]}}{0,181 \text{ [m]}} = \mathbf{15\,845,3 \text{ [N]}}$$

a) Diseño Estático

Se realizará una sumatoria de fuerzas y momentos aplicados en el eje, que será Acero AISI 1018:

$$\sum M_D = 0 \quad [\text{Ec. 5. 26}]$$

$$0,581 \text{ [m]} \cdot F_B = 0,167 \text{ [m]} \cdot (15\,845,3 \text{ [N]})$$

$$F_B = \mathbf{4\,554,5 \text{ [N]}}$$

$$\sum F_x = 0$$

$$F_B - F_D + 15\,845,3 \text{ [N]} = 0$$

$$4\,554,5 \text{ [N]} - F_D + 15\,845,3 \text{ [N]} = 0$$

$$F_D = \mathbf{20\,399,8 \text{ [N]}}$$

La sección crítica corresponde al punto D del rodamiento, los datos que se va a considerar son:

$$M_{\text{máz}} = F_B * 0,581 = F_C * 0,167$$

$$M = 2\,646,17 \text{ [N.m]}$$

$$T = 2\,868 \text{ [N.m]}$$

Usando el círculo de Mohr se calculará el esfuerzo cortante máximo con la Ecuación 5.27 [39]:

$$\tau_{\text{máz}} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad [\text{Ec. 5. 27}]$$

De la Ecuación 5.27, se reemplazará σ_x y τ_{xy} en función de M y T [39]:

$$\tau_{\text{máx}} = \frac{16}{\pi \cdot \phi^3} \sqrt{M^2 + T^2} \quad [\text{Ec. 5. 28}]$$

Para el cálculo del diámetro en diseño estático se tomará en cuenta dos teorías: la Teoría de Esfuerzo Cortante Máximo y la Teoría de Distorsión de Von Mises; cuyos factores de seguridad, se determinan de acuerdo con la tabla del ANEXO 4 Tabla A.4.1, donde recomienda un factor de 4 por ser un tipo carga repetida [40]:

- Teoría de Esfuerzo Cortante Máximo [27]:

$$\tau_{\text{máx}} = \frac{S_{ys}}{(\text{F.S.})} = \frac{S_y}{2 \cdot (\text{F.S.})}$$

$$\phi = \sqrt[3]{\frac{32 (\text{F.S.})}{\pi \cdot S_y} * \sqrt{M^2 + T^2}} \quad [\text{Ec. 5. 29}]$$

$$\phi = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot (4)}{\pi \cdot (370 \times 10^6 [\text{Pa}])} * \sqrt{(2646,17 [\text{N} \cdot \text{m}])^2 + (2868 [\text{N} \cdot \text{m}])^2}}$$

$$\phi = 0,075 [\text{m}] = 75 [\text{mm}]$$

- Teoría de Distorsión de Von Mises [27]:

$$\tau_{\text{máx}} = \frac{S_{ys}}{(\text{F.S.})} = \frac{0,577 \cdot S_y}{(\text{F.S.})}$$

$$\phi = \sqrt[3]{\frac{27,7 (\text{F.S.})}{\pi \cdot S_y} * \sqrt{M^2 + T^2}} \quad [\text{Ec. 5. 30}]$$

$$\phi = \sqrt[3]{\frac{27,7 \cdot (4)}{\pi \cdot (370 \times 10^6 [\text{Pa}])} * \sqrt{(2646,17 [\text{N} \cdot \text{m}])^2 + (2868 [\text{N} \cdot \text{m}])^2}}$$

$$\phi = 0,072 [\text{m}] = 72 [\text{mm}]$$

a) Diseño Dinámico

Se debe considerar los factores de fatiga del elemento a diseñar aplicando la Ecuación 5.31 [27], del cálculo del límite de resistencia a la fatiga del elemento S_e :

$$S_e = S'_e \cdot k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_f \quad [\text{Ec. 5. 31}]$$

El material al ser dúctil, acero inoxidable: $S_{ut} < 200$ [ksi]. Para determinar el límite de resistencia a la fatiga de la probeta S'_e se usará con la Ecuación 5.32 [27]:

$$S'_e = 0,5 S_{ut} \quad [\text{Ec. 5. 32}]$$

$$S'_e = 0,5 (440 \text{ [MPa]})$$

$$S'_e = 220 \text{ [MPa]}$$

- $k_a \rightarrow$ Eje usa acabado trefilado, torneado o pulido [27], a 90 [kpsi] es 1
 $k_b \rightarrow$ Diámetro de 75 [mm] aplicar, $1,189 \cdot (75)^{-0,097} = 0,78$
 $k_c \rightarrow$ Confianza de 50% por suposición [27], es 1
 $k_d \rightarrow$ Trabajo a temperatura ambiente $T < 450^\circ\text{C}$, es 1
 $k_e \rightarrow$ De acuerdo se tiene el factor de concentrador de esfuerzos, es 0,5

El factor k_e es obtenido por los concentradores de esfuerzos generados en flexión y torsión, donde k_e se encuentra de la siguiente manera [27]:

$$k_e = k_{ef} * k_{es} \quad [\text{Ec. 5. 33}]$$

Flexión

$$k_{ef} = \frac{1}{1 + q \cdot (K_t - 1)}$$

Donde

k_{ef} factor concentrador de esfuerzos a flexión

q sensibilidad a la ranura o entalle a flexión, Anexo 4, Figura 7-18

K_t concentrador de tensiones a flexión, Anexo 4, Figura A-26-14

$$k_{ef} = \frac{1}{1 + 0,85 \cdot (1,6 - 1)} = \mathbf{0,66}$$

Torsión

$$k_{es} = \frac{1}{1 + q_s \cdot (K_{ts} - 1)}$$

Donde

k_{es} factor concentrador de esfuerzos a torsión

q_s sensibilidad a la ranura o entalle a torsión, Anexo 4, Figura 7-19

K_{ts} concentrador de tensiones a torsión, Anexo 4, Figura A-26-15

$$k_{es} = \frac{1}{1 + 0,95 \cdot (1,3 - 1)} = \mathbf{0,77}$$

De la Ecuación 5.33 se tiene el factor concentrador de esfuerzos:

$$k_e = k_{ef} * k_{es} = 0,66 * 0,77 = \mathbf{0,5}$$

$k_f \rightarrow$ Efecto varios ≥ 1 , se escoge 2

$$S_e = (220 \text{ [MPa]}) \cdot (1) \cdot (0,78) \cdot (1) \cdot (1) \cdot (0,5) \cdot (2)$$

$$S_e = 172 \text{ [MPa]}$$

Para el diseño dinámico se aplicará la teoría de Goodman tanto para la teoría del cortante máximo o la teoría de Von Mises, con un factor de seguridad de 2:

- Teoría de Cortante Máximo [27]:

$$\phi = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot (\text{F.S.})}{\pi} \sqrt{\left(\frac{T}{S_u}\right)^2 + \left(\frac{M}{S_e}\right)^2}} \quad [\text{Ec. 5. 34}]$$

$$\phi = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot (2)}{\pi} \sqrt{\left(\frac{2868 \text{ [Nm]}}{440 \times 10^6 \text{ [Pa]}}\right)^2 + \left(\frac{2646,17 \text{ [Nm]}}{172 \times 10^6 \text{ [Pa]}}\right)^2}}$$

$$\phi = 0,069 \text{ [m]} = 69 \text{ [mm]}$$

- Teoría de Von Mises [27]

$$\phi = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot (\text{F.S.})}{\pi} \sqrt{\left(\frac{T}{S_u}\right)^2 + \left(\frac{M}{S_e}\right)^2}} \quad [\text{Ec. 5. 35}]$$

$$\phi = \sqrt[3]{\frac{27,7 \cdot (2)}{\pi} \sqrt{\left(\frac{2868 \text{ [Nm]}}{440 \times 10^6 \text{ [Pa]}}\right)^2 + \left(\frac{2646,17 \text{ [Nm]}}{171,6 \times 10^6 \text{ [Pa]}}\right)^2}}$$

$$\phi = 0,067 \text{ [m]} = 67 \text{ [mm]}$$

Se obtiene un diámetro promedio al que se determinó en el diseño estático y dinámico, de valor **70 [mm]**, al ser una medida normalizada [37].

5.1.9 DISEÑO Y CÁLCULO DE LA PLANCHA PERFORADA

Para determinar esta variable se deben considerar los siguientes datos:

$$r_t = 1 \text{ [m]}$$

Dónde:

r_t Radio del tanque, [m]

Se calculará el volumen del tanque de silo de un piso con la Ecuación 5.36:

$$V_{1^\circ} = \pi * r_t^2 * h_1 \quad [\text{Ec. 5. 36}]$$

$$V_{1^\circ} = \pi * 1^2 * 0,4$$

$$V_{1^\circ} = 1,26 [m^3]$$

$$\rho_c = 464 [\text{kg}/m^3]$$

$$m_c = 10 [qq] = 454 [\text{kg}]$$

A partir de estos datos se puede calcular la presión máxima provocada por el café al 30% de humedad sobre la plancha perforada [36]:

$$P_{\text{máx}} = \rho \cdot g \cdot h = \rho_c \cdot g \cdot h_1 \quad [\text{Ec. 5. 37}]$$

$$P_{\text{máx}} = (464 [\text{kg}/m^3]) \cdot (9,8 [\text{m}/s^2]) \cdot (0,4 [\text{m}])$$

$$P_{\text{máx}} = \mathbf{1\ 818,88 [\text{Pa}]}$$

Se aplicará la teoría de las placas circulares, cuya tensión máxima se produce en los bordes de la plancha [41].

$$\sigma_{y_{\text{máx}}} = -\frac{6M}{e^2} = \frac{3qr^2}{4e^2} \quad [\text{Ec. 5. 38}]$$

$\sigma_{y_{\text{máx}}}$ Esfuerzo de fluencia máxima, [Pa]

$q = P_{\text{máx}}$ Presión máxima aplicada a la plancha perforada, [Pa]

r Radio de la plancha perforada, [m]

e Espesor de la plancha perforada, [m]

El esfuerzo de diseño se calculará con un factor de seguridad de 2, además se va a usar un acero inoxidable AISI 304:

$$\sigma_{y_{\text{máx}}} = \frac{310 [\text{MPa}]}{2}$$

$$\sigma_{y_{\text{máx}}} = 155 [\text{MPa}]$$

Por lo tanto se calculará el espesor de la plancha perforada del tanque despejando de la Ecuación 5.38:

$$e^2 = \frac{3. (1\,818,88 \text{ [Pa]}) (1 \text{ [m]})^2}{4. (155 \times 10^6 \text{ [MPa]})}$$

$$e = 0,00296 \text{ [m]} = 2,9 \text{ [mm]} \approx 3 \text{ [mm]}$$

Por lo tanto se escoge una plancha perforada de acero inoxidable AISI 304, con espesor de **3 [mm]** que posible conseguir en el mercado local.

5.1.10 CÁLCULO DEL ESPESOR DEL TANQUE

El tanque al ser de acero A36 y requiere de un proceso de rolado para formar el cilindro, este tanque ingresa en el grupo de Rolado Semicalmado, por lo tanto se comprobará del cálculo del espesor del tanque [41]:

$$e_t = \frac{FS. \rho. r. h_t}{S_y. \eta_s} \quad [\text{Ec. 5. 39}]$$

e_t Espesor del tanque, [cm]

ρ_c Densidad aparente a 30% de humedad, [kg/cm³]

h_t Altura total del tanque de almacenamiento, [cm]

r Radio del cilindro, [cm]

S_y Esfuerzo de fluencia, [kg/cm²]

η_s Eficiencia de soldadura, generalmente es 0,6 a tope

$$e_t = \frac{8. (0,000464). (100). (50)}{(2549). (0,6)}$$

$$e_t = 0,012 \text{ [cm]}$$

$$e_t = 0,12 \text{ [mm]}$$

El espesor del tanque debe ser mínimo de 0,12 [mm], pero por cuestiones de seguridad y por soportar pesos relativamente grandes se seleccionará un espesor de **3 [mm]**.

5.1.11 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA SOPORTE PARA LA PLANCHA PERFORADA

Se considerará la masa total calculada por la Ecuación 5.40, para la selección de la estructura soporte. Los soportes se observan en la Figura 5.9:

$$m_t = m_{\text{café}} + m_{\text{estructura}} \quad [\text{Ec. 5. 40}]$$

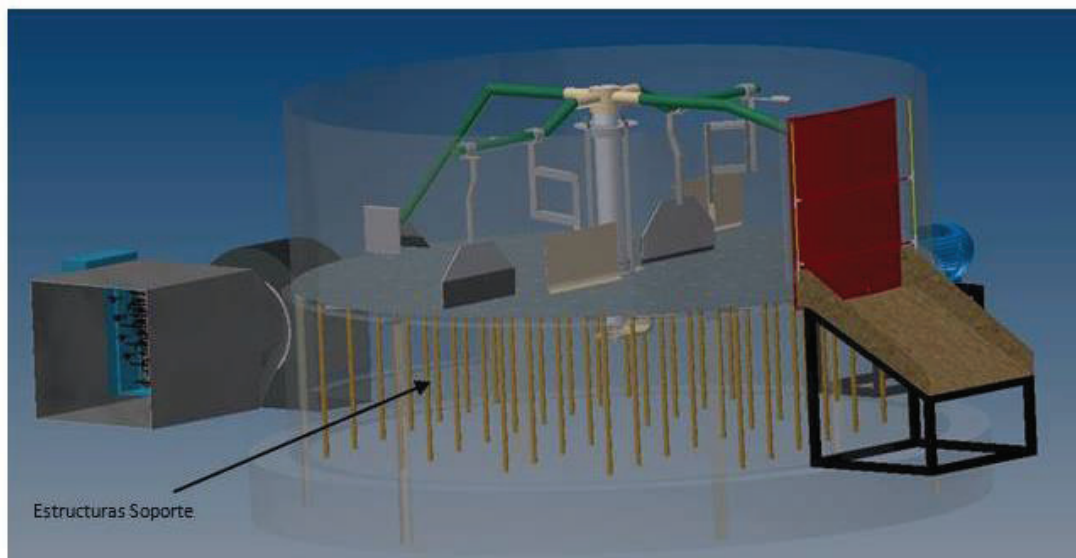


Figura 5. 9 Estructuras Soportes para sostener el peso del Secador de Silo de un Piso

Fuente: Propia

La Tabla 5.14 determina la masa de la estructura conformada por los elementos mecánicos:

<i>Descripción</i>	<i>Peso unitario (Kg)</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Peso total (Kg)</i>
Ejes paletas principales	6,19	2	12,38
Eje de paleta lateral	8,09	1	8,09
Eje de paleta esquinada	7,40	1	7,40
Paleta central	3,35	1	3,35
Paleta removedora	2,26	2	4,52
Paleta limpiadora	2,03	2	4,06
Paleta esquinada	1,79	1	1,79
Paleta lateral	1,56	1	1,56
Planchas Perforadas	73,51	1	73,51
Tanque barolado	246,62	1	246,62
Eje principal	26,71	1	26,71
Chumacera	5,08	1	5,08
Sistema de transmisión de movimiento	6,15	1	6,15
TOTAL			401,23

Tabla 5. 14 Masa Total de los elementos Mecánicos que componen al secador

Fuente: Propia

Al tener la masa total de la estructura y al saber la masa del café se tiene la masa total:

$$m_{\text{estructura}} = 401,23 \text{ [kg]}$$

$$m_{\text{café}} = 454 \text{ [kg]}$$

$$m_t = 401,23 + 454 = 855,23 \text{ [kgf]} = 8\,3381,25 \text{ [N]}$$

Para el diseño de la estructura de soporte se añade el 20% de la masa total por seguridad.

$$W = m_t * (1,2)$$

$$W = 8\,3381,25 \text{ [N]} * (1,2)$$

$$\mathbf{W = 10\,057,5[N]}$$

Para que la estructura pueda soportar la fuerza aplicada, se va a distribuir de manera uniforme el peso total por toda la superficie de la base, formada por la plancha perforada, las intersecciones a considerar de acuerdo a la Figura 5.10 y los nudos que forman son 40, por lo que se tendrá 40 columnas y se determinará la fuerza que se aplicará a cada una con la Ecuación 5.41 y el tipo de perfil que se escogerá.

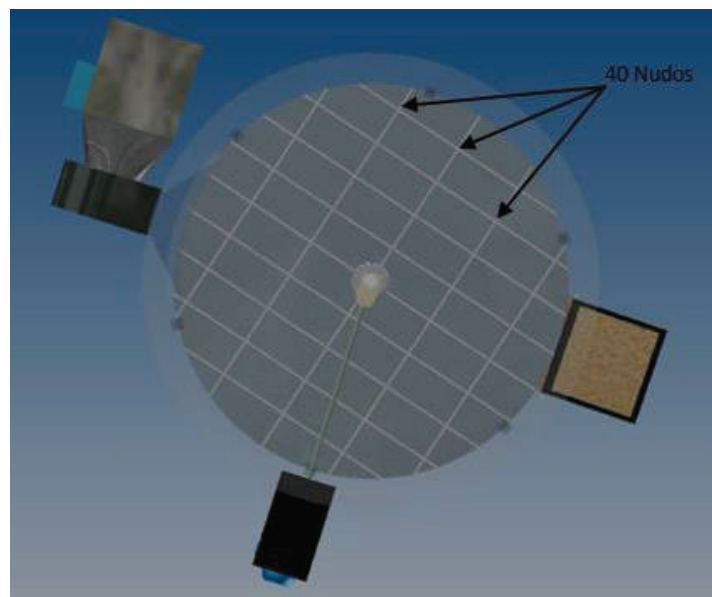


Figura 5. 10 Total de nudos formados por la estructura soporte

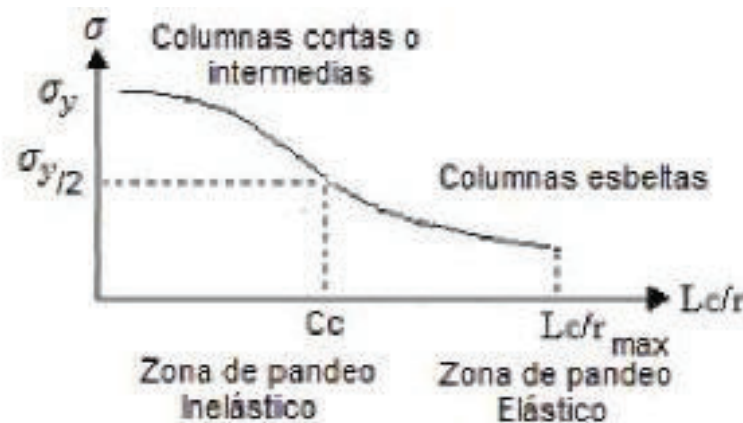
Fuente: Propia

$$P_c = \frac{W}{40}$$

[Ec. 5. 41]

$$P_c = \frac{10\,057,5 \text{ [N]}}{40} = 251,44 \text{ [N]}$$

Se considerará un perfil cuadrado para cada columna con la función de soportar el peso total del secador El perfil se escogerá en función de la longitud efectiva y radio de giro del perfil. Los rangos entre los que se debe estimar la longitud efectiva se muestra en la Gráfica 5.1, curva de resistencia de columnas de acero tomado de las Especificaciones AISC 2005 de Curva esfuerzo vs Longitud efectiva (KL/r):

Gráfica 5. 1 Esfuerzo vs Relación L_e/r

Fuente: Especificación AISC 2005

Las relaciones son las siguientes [39]:

$$C_c \leq \frac{L_e}{r} \leq \frac{L_e}{r_{\text{máx}}} \quad [\text{Ec. 5. 42}]$$

Los valores de C_c se calculan con las Ecuaciones 5.43, 5.44 y 5.45 [39]; donde el valor de la relación máxima de 200.

$$C_c = \pi \sqrt{\frac{2E_{A36}}{\sigma_{y-A36}}} \quad [\text{Ec. 5. 43}]$$

$$\frac{L_e}{r_{\text{máx}}} = 200 \quad [\text{Ec. 5. 44}]$$

$$\pi \sqrt{\frac{2E_{A36}}{\sigma_{y-A36}}} \leq \frac{L_e}{r} \leq 200 \quad [\text{Ec. 5. 45}]$$

El perfil será de acero estructural A-36, por lo que se determinará la longitud efectiva L_e mediante el producto del factor por la longitud de la columna, cuyo valor es de 500 [mm] como se observa en la Figura 5.11:

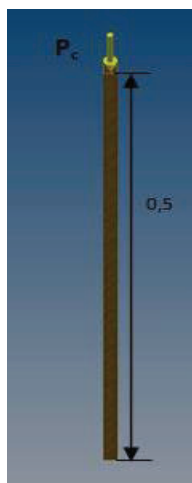


Figura 5. 11 DCL de una de las bases soportes que soporta el peso total del secador de un silo

Fuente: Propia

$$L_e = K \cdot L \quad [\text{Ec. 5. 46}]$$

Al escoger el factor de longitud efectiva $K=2$, tomado de la Figura 5.12 se calcula la longitud efectiva de pandeo [39]:

$$L_e = (2) \cdot 500 \text{ [mm]}$$

$$L_e = \mathbf{1000 \text{ [mm]}}$$

K teóricos	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
K diseño	0.65	0.8	1.2	1.0	2.1	2.0

Figura 5. 12 Factores K para cálculo de Longitud Efectiva

Fuente: Diseño de acero y madera, Mag. Ing. Máximo Alejandro Crispín Gómez

Mediante el radio de giro se seleccionará el perfil:

$$r \geq \frac{L_e}{200} = \frac{1000 \text{ [mm]}}{200} = 5 \text{ [mm]}$$

Al tener el radio de giro mínimo, por razón de diseño se escogerá el perfil estructural cuadrado 12x12x0,8 [mm], ANEXO 5, con un radio de giro más cercado a 5, se tendrá $r=4,8$ [mm], y un área $A= 37$ [mm²].

De la Ecuación 5.43 se despeja el esfuerzo crítico [27]:

$$\sigma_{y-A36} = \sigma_{\text{crít-A36}} = \frac{\pi^2 * 2 * E_{A36}}{(C_c)^2}$$

$$\sigma_{\text{crít-A36}} = \frac{\pi^2 * 2 * 200 \text{ [GPa]} * 1000}{(1000 \text{ [mm]}/4,8 \text{ [mm]})^2}$$

$$\sigma_{\text{crít-A36}} = \mathbf{90,96 \text{ [MPa]}}$$

Se calcula el esfuerzo permisible expresado por la Ecuación 5.47 [27]:

$$\sigma_{\text{perm}} = \frac{P_c}{A} \quad [\text{Ec. 5. 47}]$$

$$\sigma_{\text{perm}} = \frac{251,44 \text{ [N]}}{37 \text{ [mm}^2\text{]}} = \mathbf{6,8 \text{ [MPa]}}$$

Por lo tanto el esfuerzo crítico es mayor al esfuerzo permisible, lo que cumple con las condiciones exigidas por la estructura, dando como resultado la selección del perfil tubular cuadrado de dimensiones **12x12x0,8 [mm]**.

5.1.12 COJINETES

La fórmula adecuada para este caso usa una confiabilidad del 90%, dado por el Manual de Shigley que indica la necesidad de seleccionar cojinetes que tengan esta confiabilidad o mayor [27], por lo que se calculará la capacidad de carga C_R :

$$C_R = f \cdot F_e \left(\frac{(L_D)}{(L_R)} \times \frac{(n_D)}{(n_R)} \right)^{\frac{1}{\alpha}} \quad [\text{Ec. 5. 48}]$$

En el punto D de la Figura 5.8 es donde se genera la mayor carga para ser usado en el diseño $F_D = F_{rD} = 20\,399,8$ [N], esta carga es la fuerza radial externa, basado en esta fuerza permitirá seleccionar los rodamientos adecuados.

Generalmente $F_{eD} = F_{rD}$, por lo tanto se harán dos cálculos, por medio del manual de Shigley y según el catálogo de la FAG:

- Según Shigley [27] se escogerá un valor cercano a la capacidad básica:
 - $f \rightarrow$ Factor de aplicación donde hay sellado deficiente de cojinetes es 1,2
 - $F_e \rightarrow$ Respecto a la mayor carga, $F_{eD} = F_{rD} = 20399,8 [N] = 2081,61 [kgf]$
 - $L_D \rightarrow$ Vida de cojinete para maquinaria de servicio intermitente en la que la operación confiable va de 8 a 14[khrs] [27], se escogerá 14 [khrs]
 - $L_R \rightarrow$ Dato fijo es 3000 [hrs]
 - $n_D \rightarrow$ Revoluciones que se requiere, es 5 [rpm]
 - $n_R \rightarrow$ Dato fijo es 500 [rpm]
 - $\alpha \rightarrow$ Rodamiento de bolas, por lo tanto tiene un valor de 3

$$C_{RF} = 1,2 \times 20\,399,8 \left(\frac{14\,000}{3\,000} \times \frac{5}{500} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$C_{RF} = 8\,813,39 [N]$$

Por la Tabla 11-3 Shigley [27], se escogerá un valor que se aproxime a la capacidad básica de carga obtenida de 8,8 [kN]

$$C_R = 9,43 [kN]$$

$$D_i = 20 [mm]$$

$$D_e = 47 [mm]$$

$$B = 14 [mm]$$

- Según FAG para la carga dinámica [42]:

$$C = \frac{f_L}{f_n f_H} \cdot P [kg] \quad [\text{Ec. 5. 49}]$$

$P = F_D$ Carga dinámica, solo hay carga radial $F_{rE} = 20399,8 [N] = 2081,61 [kgf]$

$f_L \rightarrow$ Engranajes universales [42], tipo medio es 3,5

$f_n \rightarrow$ Para velocidad mínima de 10rpm [42] es 1,494

$f_H \rightarrow$ Temperatura de servicio menor a 150°C [42] es 1

$$C = \frac{3,5}{1,494 \times 1} \cdot 2\,081,6 [kg]$$

$$C = 4\,876,57 \text{ [Kg]} = 48 \text{ [kN]}$$

Con el diámetro de 71 [mm] y capacidad de carga dinámica **48 [kN]** se seleccionan rodamientos rígidos de bolas en ejecución normal, lubricación con grasa 62 14 y con carga dinámica de **62 [kN]** con los siguientes datos:

$$C = 62 \text{ [kN]}$$

$$d = 70 \text{ [mm]}$$

$$D = 110 \text{ [mm]}$$

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

$$r = 1,1 \text{ [mm]}$$

Con respecto a los resultados obtenidos, se va a escoger los valores dados por la FAG, por la facilidad de conseguir en el mercado local este elemento y además porque los valores se aproximan a los resultados para el diseño.

5.1.13 CÁLCULO Y SELECCIÓN DE PERNO DE SUJECCIÓN EN CRUCEZA

a) Cortantes en Pernos Debido a Cargas Excéntricas

Para que exista una distribución equitativa de la carga directa a los pernos en la Figura 5.13, debe ser un elemento absolutamente rígido. A veces la disposición de los pernos o la forma y el tamaño de los elementos justifican el empleo de otras hipótesis acerca de la división de la carga. Las cargas directas primarias F' se muestran como vectores; las cargas de momento o cortante secundario F'' , es la carga adicional que hay sobre cada perno debido al momento M [27].

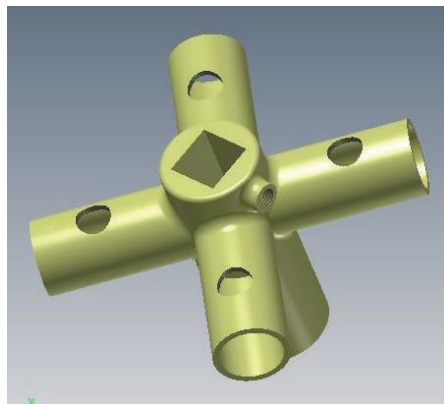


Figura 5. 13 Cruceta para acoplamiento entre eje motriz y eje de paletas

Fuente: Propia

La carga cortante primaria F' por perno se determina con la Ecuación 5.50 [28]:

$$F' = \frac{V_t}{no.} \quad [\text{Ec. 5.50}]$$

Dónde:

V_t Reacción cortante total, [N]

$no.$ Número de pernos

La reacción cortante primaria de cada perno se determina a través de la Tabla 5.15, para obtener la reacción total [28]:

Eje	Fuerza Cortante 1 "V" [N]
1	550,69
2	1498,29
3	1430,79
4	664,52
V_t	4144,30

Tabla 5. 15 Cuadro de Fuerzas Cortantes aplicado a los pernos

Fuente: Propia

A partir de la reacción total se determina la carga cortante primaria con la Ecuación 5.50, y se tiene el siguiente resultado:

$$F' = \frac{4144,30 \text{ [N]}}{4} = 1\ 036,07 \text{ [N]}$$

Se tomará la fuerza cortante primaria promedio de mayor valor como referencia, para el diseño de los pernos, obteniendo 1 036,07 [N].

La carga cortante secundaria F'' por perno se determina por la Ecuación 5.51 [28]:

$$F'' = \frac{M}{4 \cdot r} \quad [\text{Ec. 5. 51}]$$

Dónde:

M Momento actuante flexionante sobre cada junta empernada, [Nm]

r Distancia radial desde el centroide hasta el centro al perno, [m]

En la Tabla 5.16 se tienen los valores de los momentos que se generan para cada perno de la cruceta que sostiene al eje:

<i>Eje</i>	<i>Momento [Nm]</i>
1	503,89
2	857,46
3	783,10
4	631,30

Tabla 5. 16 Momentos de cada perno de la cruceta que sostiene al eje

Fuente: Propia

Siendo $r = 0,1$ [m] , ejemplo de cálculo

$$F'' = \frac{503,89 \text{ [N.m]}}{4(0,1 \text{ [m]})} = 1\,259,71 \text{ [N]}$$

Se tiene la Tabla 5.17 que son los resultados obtenidos de la Fuerza Cortante F'' :

<i>Eje</i>	<i>Momento [Nm]</i>	<i>Radio desde centroide [m]</i>	<i>Fuerza cortante 2 [N]</i>
1	503,89	0,1	1 259,71
2	857,46	0,1	2 143,65
3	783,10	0,1	1 957,76
4	631,30	0,1	1 578,24

Tabla 5. 17 Fuerzas Cortantes de cada Eje

Fuente: Propia

Se tomará la fuerza cortante secundaria mayor de 2 143,65 [N] como referencia, para el diseño del perno.

La carga resultante de cada perno obtenida por la regla del paralelogramo es:

P Carga externa sobre la unión del perno, [N]

$$P = \sqrt{F'^2 + F''^2}$$

$$P = \sqrt{(1\,036,07 \text{ [N]})^2 + (2\,143,65 \text{ [N]})^2}$$

$$P = 2\,380,9 \text{ [N]} = 2,38 \text{ KN}$$

Se escogerá un perno **M10 X 1,5 SAE 4,6**, obteniendo los siguientes datos:

Del ANEXO 6 y ANEXO 7 se tienen los siguientes datos:

Resistencia a la prueba $S_p = 225 \text{ [MPa]} = 33 \text{ [ksi]}$

Resistencia a la última a la rotura $S_{ut} = 400 \text{ [MPa]} = 60 \text{ [ksi]}$

Resistencia de fluencia $S_y = 240 \text{ [MPa]} = 36 \text{ [ksi]}$

Área de esfuerzo de tensión $A_t = 58 \text{ [mm}^2\text{]} =$

Se calculará la constante de rigidez, gracias a la Ecuación 5.52 [27]:

$$C = \frac{k_b}{k_b + k_m} \quad [\text{Ec. 5. 52}]$$

Dónde:

C Constante de la junta empernada

k_b Constante de rigidez del perno, [N/m]

k_m Constante de rigidez de los elementos, [N/m]

- **Rigidez de pernos:** se calculará por la Ecuación 5.53 [27]

$$k_b = \frac{A \cdot E}{l} = \frac{\pi \phi^2 E}{4l} \quad [\text{Ec. 5. 53}]$$

Dónde:

ϕ Diámetro del perno, [m]

E Módulo de elasticidad, [Pa]

L Longitud del perno, 0,04 [m]

$$k_b = \frac{\pi * (0,010 \text{ [m]})^2 * (207 \times 10^9 \text{ [Pa]})}{4 * 0,04 \text{ [m]}}$$

$$k_b = 4,06 \times 10^8 \text{ [N/m]}$$

- **Rigidez de elementos:** se calculará por la Ecuación 5.54 [27]

$$k_m = \frac{\pi d E}{2 \ln \left[5 \frac{(1+0.5\phi)}{(1+2.5\phi)} \right]} \quad \text{al ser los elementos idénticos} \quad [\text{Ec. 5. 54}]$$

$$k_m = \frac{\pi * 0,01 \text{ [m]} * (207 \times 10^9 \text{ [Pa]})}{2 \ln \left[5 \frac{(0,04 \text{ [m]} + 0.5(0,01 \text{ [m]}))}{(0,04 \text{ [m]} + 2.5(0,01 \text{ [m]}))} \right]}$$

$$k_m = 2,62 \times 10^9 \text{ [N/m]}$$

$$C = \frac{4,06 \times 10^8 \text{ [N/m]}}{4,06 \times 10^8 \text{ [N/m]} + 2,62 \times 10^9 \text{ [N/m]}}$$

$$C = 0,13$$

Se menciona el rango que establece la precarga [28]:

$$0,6F_p \leq F_i \leq 0,9F_p$$

Dónde:

F_p Carga de prueba, [N]

F_i Precarga debido al apriete, existen antes de su aplicación [N]

$$F_p = A_t \cdot S_p \quad [\text{Ec. 5. 55}]$$

Dónde:

A_t Área de esfuerzo a la tensión del perno, [m²]

S_p Resistencia a la prueba, [MPa]

$$F_p = 225 \text{ [MPa]} \times 58 \text{ [mm}^2\text{]}$$

$$F_p = 225 \times 10^6 \text{ [Pa]} \times 0,58 \times 10^{-4} \text{ [m}^2\text{]}$$

$$F_p = 13\,050 \text{ [N]} = 13 \text{ [kN]}$$

Entonces

$$0,6(13 \text{ [kN]}) \leq F_i \leq 0,9(13 \text{ [kN]})$$

$$7,8 \text{ [kN]} \leq F_i \leq 11,7 \text{ [kN]}$$

La máxima precarga es 11,7 [kN] para una mayor fuerza de compresión.

$$F_m(-) = F_i - (1 - C)P \quad [\text{Ec. 5. 56}]$$

Dónde:

F_m Carga resultante sobre los elementos, [N]

$$F_m(-) = 11,7 \text{ [kN]} - (1 - 0,13) * 2,38 \text{ [kN]}$$

$$F_m(-) = \mathbf{9,63 \text{ [kN]}}$$

- **Resistencia a la fatiga para sujetadores:** se usará la Ecuación 5.57 [27]

$$S_e = S'_e \cdot k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_f \quad [\text{Ec. 5. 57}]$$

Dónde:

S_e Límite de resistencia a la fatiga del elemento mecánico, [MPa]

S'_e Límite de resistencia a la fatiga de la probeta, [MPa]

k_a Factor de superficie

k_b Factor de tamaño

k_c	Factor de confiabilidad
k_d	Factor de temperatura
k_e	Factor de modificación por el concentrado de esfuerzos
k_f	Factor de diverso efectos

$$S'_e = 19,2 + 0,314 \cdot S_{uc} \quad [\text{Ec. 5. 58}]$$

Para materiales dúctiles $S_{ut} \approx S_{uc} = 60$ [kpsi]

$$S'_e = 19,2 + 0,314(60)$$

$$S'_e = 38,04 \text{ [kpsi]} = 258 \text{ [MPa]}$$

$k_a \rightarrow \text{Fig. 7 - 10(Shigley)} \rightarrow k_a = 1$ (pulido) [27]

$k_b \rightarrow \text{Si } S_{uc} \geq 60 \text{ [kpsi]} \rightarrow k_b = 1$

$k_c \rightarrow \text{Tabla 7 - 7 (Shigley) [27]} \rightarrow 50\% \text{ de confiabilidad} \rightarrow k_c = 1$

$k_d \rightarrow 1 \text{ Si } T < 450^\circ\text{C} \rightarrow k_d = 1$

$k_e = \frac{1}{K_f}$ $K_f \rightarrow \text{por ser rosca laminada}$

$K_f \rightarrow \text{Tabla 8.6 de Shigley [27], donde el valor de } K_f = 3$

$$k_e = \frac{1}{3} = 0,333$$

$k_f = 1 \rightarrow \text{Rosca laminada}$

$$S_e = S'_e \cdot k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_f$$

$$S_e = 258 \text{ [MPa]}(1)(1)(1)(1)(0,3333)(1)$$

$$S_e = \mathbf{85,91 \text{ [MPa]}}$$

- **Cálculo del factor de diseño estático:** usará la Ecuación 5.59 [27]:

$$F. S. = \frac{(A_t \cdot S_y - F_i)}{C \cdot P} \quad [\text{Ec. 5. 59}]$$

$$F. S. = \frac{((0,000058 \text{ [m}^2\text{]})(240 \times 10^6 \text{ [Pa]}) - 11\,700 \text{ [N]})}{(0,13)(2\,380,90 \text{ [N]})}$$

$$F. S. = \mathbf{7,17}$$

- **Cálculo del factor de diseño fatiga:** usará la Ecuación 5.60 [27]:

$$F. S. = \frac{2(A_t \cdot S_{ut} - F_i)}{C. P. \left(\frac{S_{ut}}{S_e} + 1 \right)} \quad [\text{Ec. 5. 60}]$$

$$F. S. = \frac{2 * ((0,000058 \text{ [m}^2\text{]} * 400 \times 10^6 \text{ [Pa]}) - 11 700 \text{ [N]})}{(0,13)(2 380,90 \text{ [N]}) \cdot \left(\frac{400 \times 10^6 \text{ [Pa]}}{85,91 \times 10^6 \text{ [Pa]}} + 1 \right)}$$

$$F. S. = 19,8$$

De acuerdo al factor de seguridad obtenido, se concluye que la elección de los 4 pernos **M10 X 1,5 SAE 4,6**, son apropiados para el uso en la cruceta, que permitirán acoplar tanto los ejes de mezclado con el eje principal de movimiento.

5.1.14 TIEMPO DE SECADO

La Ecuación 2.4 se usará para el cálculo del tiempo de secado [18]:

$$t_s = \frac{m_{cs}}{A_{tc} R_c} \left(\varphi_i - \varphi_c + \varphi_c \ln \frac{\varphi_c}{\varphi_f} \right) \quad [\text{Ec. 2.4}]$$

Dónde:

t_s	Tiempo de secado, [s]
m_{cs}	Masa de café seco, [kg]
A_{tc}	Área total de café, [m ²]
R_c	Velocidad de secado en período constante, [kg/m ² .s]
φ_i	Humedad inicial del café, [%]
φ_c	Humedad crítica del café, [%]
φ_f	Humedad final del café, [%]

La Tabla 5.18 representa los datos con las propiedades de agua, del aire y del grano café para el cálculo de las variables requeridas para el tiempo de secado:

Grano de café [43]		
Diámetro equivalente de grano	ϕ_{eq}	0,0064 [m]
Densidad del café al 11%	ρ_c	391,2 [kg/m ³]
Masa del café más seco al 11%	m_{cs}	129,1 [kg]
Porosidad del lecho	ε	0,51
Volumen del cilindro con café	V_c	1,26 [m ³]
Agua [12]		
Entalpía de vaporización a 50°C	h_{fg}	2 382,7 [kJ/kg]
Aire de secado a 50°C [12]		
Calor específico del aire	c_p	1,005 [kJ/kg.K]
Coefficiente de conducción del aire	K_a	0,028 [W/m ² .K]
Densidad del aire de secado	ρ_a	0,964 [kg/m ³]
Viscosidad dinámica del aire	μ_a	1,95x10 ⁻⁵ [N.s/ m ²]
Número de Prandtl	Pr	0,70378

Tabla 5. 18 Datos para cálculo de variables energéticos

Fuente: Propia

a) Cálculo del área total del grano

De acuerdo con la Ecuación 5.61 [18], se tiene el área total de grano A_{tc} :

$$A_{tc} = \pi N_c \phi_{eq}^2 \quad [\text{Ec. 5. 61}]$$

El cálculo del número de granos se relaciona el volumen unitario de grano y el volumen total sólo de café V_{uc} , usando las Ecuaciones 5.62 y 5.63 [18]:

$$V_{uc} = \frac{\pi \cdot \phi_{eq}^3}{6} \quad [\text{Ec. 5. 62}]$$

$$V_{uc} = \frac{\pi \cdot (0,0064 \text{ [m]})^3}{6} = 1,37 \times 10^{-7} \text{ [m}^3\text{]}$$

$$V_{tc} = V_s (1 - \varepsilon) \quad [\text{Ec. 5. 63}]$$

$$V_{tc} = 1,26 \text{ [m}^3\text{]} \cdot (1 - 0,51) = 0,62 \text{ [m}^3\text{]}$$

Cálculo del número de granos de café N_c , mediante la Ecuación 5.64 [18]:

$$N_c = \frac{V_{tc}}{V_{uc}} \quad [\text{Ec. 5. 64}]$$

$$N_c = \frac{0,62 \text{ [m}^3\text{]}}{1,37 \times 10^{-7} \text{ [m}^3\text{]}} = 4\,498\,089 \text{ granos de café}$$

Por lo tanto:

$$A_{tc} = \pi * (4\,498\,089 \text{ granos})(0,0064 \text{ [m]})^2 = 578,81 \text{ [m}^2\text{]}$$

b) Cálculo de la Velocidad R_c

A partir de la Ecuación 5.65 se determina la Velocidad R_c [18]:

$$R_c = \frac{h \cdot (T_{bs} - T_{abh})}{h_{fg}} \quad [\text{Ec. 5. 65}]$$

Se determina el coeficiente de convección h , empleando la Ecuación 5.66 [18]:

$$h = \frac{K \cdot Nu}{\phi_{eq}} \quad [\text{Ec. 5. 66}]$$

El número de Nusselt se determina a partir de la Ecuación 5.67 [18]:

$$Nu = 1,17 \cdot Re^{0,585} \cdot Pr^{1/3} \quad [\text{Ec. 5. 67}]$$

El número Prandtl del aire es a 50°C se determina por Tablas Termodinámicas, y el valor de Reynolds se calculará a partir de la Ecuación 5.68 [18]:

$$Re = \frac{\phi_{eq} V_s \rho_a}{\mu_a} \quad [\text{Ec. 5. 68}]$$

$$Re = \frac{(0,0064 \text{ [m]}) * (1,5 \text{ [m/s]}) * (0,961 \text{ [kg/m}^3\text{]})}{1,95 \times 10^{-5} \text{ [N. s/m}^2\text{]}} = 473,11$$

$$Nu = 1,17 \cdot (473,11)^{0,585} \cdot (0,70378)^{1/3} = 38,21$$

$$h = \frac{0,028 \text{ [W/mK]} * (38,21)}{0,0064 \text{ [m]}} = 167,17 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

$$R_c = \frac{167,17 \text{ [W/m}^2\text{K]} * (50^\circ\text{C} - 23,40^\circ\text{C})}{2\,382,7 \times 10^3 \text{ [J/kg]}} = 0,0019 \text{ [kg/m}^2\text{s]}$$

$$t_s = \frac{492,9 \text{ [kg]}}{(578,81 \text{ [m}^2\text{]}) * (0,0019 \text{ [kg/m}^2\text{s]})} * \left(30 - 35 + 35 \ln \frac{35}{11}\right)$$

$$t_s = 16\,203,88 \text{ [seg]} = 4,5 \text{ [hr]}$$

El tiempo teórico en disminuir la humedad del 30% al 11% es de **4h30 [min]**.

5.1.15 SELECCIÓN DEL VENTILADOR

Para la selección del ventilador se debe tener en cuenta el caudal de aire caliente que necesita el producto para disipar la humedad [16], y la caída de presión que ejercen los ductos, accesorios, plancha perforada y el lecho de grano a secar [21].

- *Flujo másico de vapor de agua* se determina con la ecuación 5.69 [16]:

$$\dot{m}_w = \frac{m_c(\varphi_i - \varphi_f)}{t} \quad [\text{Ec. 5. 69}]$$

$$\dot{m}_w = \frac{454[\text{kg}] * (0,3 - 0,11)}{16\ 204} = 0,0053 \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]$$

Dónde:

\dot{m}_w	Flujo de vapor de agua, [kg/s]
m_c	Masa de café, [kg]
φ_r	Humedad relativa del aire, [%]
t_s	Tiempo de secado, [s]

- *Flujo másico de aire* se determina con la ecuación 5.70 [16]

$$\dot{m}_a = \frac{\dot{m}_w \left((C_{p_w} * \Delta T_w) + h_{wfg@T_{prom}} \right)}{(C_{p_a} * \Delta T_a) * \eta} \quad [\text{Ec. 5. 70}]$$

$$\dot{m}_a = \frac{0,0053 \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right] * \left[1,8723 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg.K}} \right] * 20^\circ\text{K} + 2441,7 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right] \right]}{1,005 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg.K}} \right] * 25^\circ\text{K} * 0,95} = 0,553 \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]$$

Dónde:

\dot{m}_{aire}	Flujo de masa de aire, [kg/s]
C_{pw}	Calor específico de vapor de agua, [kJ/kg.K]
C_{pa}	Calor específico del aire, [kJ/kg.K]
h_{wfg}	Entalpía de evaporización del agua, [kJ/kg]
ΔT_a	Diferencia entre temperatura ambiente final e inicial, [°K]
ΔT_w	Diferencia entre temperatura de vapor de agua final e inicial, [°K]
η	Eficiencia de secado de aire

a) Caudal de aire de secado

$$Q = \frac{\dot{m}_{t,aire}}{\rho_a} = \frac{0,553[\text{kg/s}]}{0,964[\text{kg/m}^3]} \quad [\text{Ec. 5. 71}]$$

$$Q = 0,574 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right] = 34,4 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{min}} \right]$$

$$Q = 1215,6 [\text{CFMs}]$$

b) Caída de presión

- *Pérdida en el ducto de aspiración de aire:* se usará la Ecuación 5.72 [21, 22]:

$$\Delta Pd = L_D * 0,15 \frac{[\text{inH2O}]}{100 [\text{ft}]} = 50 [\text{cm}] * 0,15 \frac{[\text{inH2O}]}{100 [\text{ft}]} \quad [\text{Ec. 5. 72}]$$

$$\Delta Pd = 19,685[\text{in}] * \frac{0,15 [\text{inH2O}]}{100 [\text{ft}]} * \frac{1[\text{ft}]}{12[\text{in}]}$$

$$\Delta Pd = 0,00246 [\text{inH2O}]$$

Dónde:

L_D Longitud del ducto de aspiración de aire caliente

- *Pérdida en el ducto de entrada de aire:* se usará la Ecuación 5.73 [21, 22]:

$$Spv = \left(\frac{v}{4005 \left[\frac{\text{fpm}}{\text{inH2O}} \right]} \right)^2 = \left(\frac{7 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]}{4005 \left[\frac{\text{fpm}}{\text{inH2O}} \right]} \right)^2 \quad [\text{Ec. 5. 73}]$$

$$Spv = \left(\frac{1377,95 [\text{fpm}]}{4005 \left[\frac{\text{fpm}}{\text{inH2O}} \right]} \right)^2$$

$$Spv = 0,1184 [\text{in H2O}]$$

Para determinar la caída de presión en este accesorio se debe multiplicar la presión dinámica por un coeficiente C que depende del diseño de accesorio determinando este coeficiente según la norma SMACNA [21], finalmente la caída de presión del sistema será igual a:

$$\Delta Pacc = Spv * \mu_a = 0,1184 [\text{in H2O}] * 0,05$$

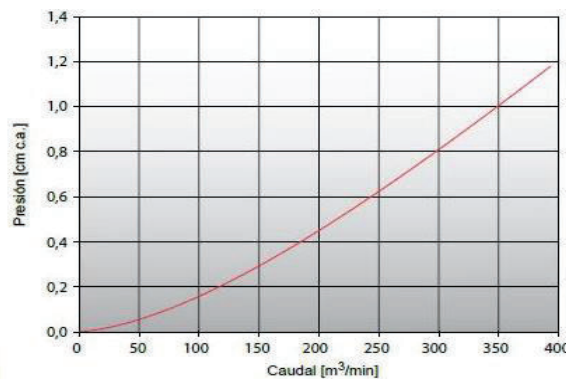
$$\Delta Pacc = 0,006 [\text{inH2O}]$$

Dónde:

- spv Presión dinámica, [inH₂O]
- v Velocidad del aire a través del ducto de entrada, [fpm]
- μ_a Coeficiente de pérdidas por fricción de aire, 0,05 por SMACNA.

- *A través de el secador*

Para obtener las pérdidas a través del secador se realiza por medio de la curva característica del secador sin carga de la Gráfica 5.3 [9], la cual debe ser similar para cualquier secador a diseñar. Se debe seguir algunas recomendaciones, como las compuertas internas y externas del secador deben tener un área de al menos 1,5 veces el área de la succión de ventilador, la velocidad del aire en los ductos debe ser menor o igual a 7 m/s, y el área perforada de la malla sobre la que se deposita el café debe ser mayor o igual al 40% [9]. A partir del caudal encontrado de 34,4 [m³/min], según la gráfica se tiene que $\dot{Q} = 50$ [m³/min] aproximadamente.



Gráfica 5. 2 Pérdida de Presión en el Secador sin Carga[9]

Fuente: Ventiladores para secadores de café; Diagnóstico, Diseño y construcción económica de ventiladores centrífugos, Federación de cafeteros de Colombia, Genicafé, Fondo Nacional de Café

$$\Delta P_{pp} = 0,1 \text{ cm c. a.} = 0,0393 \text{ [inH}_2\text{O]}$$

- *Pérdida en el lecho de granos:* usará la Ecuación 2.8 [10,17], los valores 9,523, 0,0476 y 1,4793 son constantes determinadas por varios autores dedicados al profundo estudio del secado de café, donde publicaron el uso de dicha ecuación, obtenidas de análisis experimentales:

$$\Delta P_l = h_l * \left[\frac{\left(\frac{Q}{A} \right)}{9,523 - 0,0476 * \varphi_i} \right]^{1,4793} \quad \text{[Ec. 2.8]}$$

Dónde:

ΔPl	Caída de presión en el lecho de grano, [cmH ₂ O]
h_l	Altura de la capa de grano, [m]
Q	Caudal, [m ³ /min]
A	Área transversal del flujo de aire, [m ²]
φ_i	Humedad inicial del café, [%]

$$\Delta Pl = 0,40 * \left[\frac{\left(\frac{34,4}{3,1416} \right)}{9,523 - 0,0476 * 0,30} \right]^{1,4793} = 0,493 \text{ [cmH}_2\text{O]}$$

$$\Delta Pl = 0,194 \text{ [inH}_2\text{O]}$$

- *Caída total de presión en el secado de café pergamino*

$$\Delta P = 0,00246 \text{ [inH}_2\text{O]} + 0,006 \text{ [inH}_2\text{O]} + 0,0393 \text{ [inH}_2\text{O]} + 0,194 \text{ [inH}_2\text{O]}$$

$$\Delta P = 0,242 \text{ [inH}_2\text{O]} = 60,22 \text{ [Pa]}$$

El ventilador debe ser de tipo centrífugo y debe tener como mínimo las siguientes características para adquirirlo:

$$Q = 1215,6 \text{ [CFMs]}$$

$$\Delta P = 0,242 \text{ [inH}_2\text{O]}$$

5.1.16 SELECCIÓN DE LA RESISTENCIA ELECTRICA

La resistencia está determinada por el peso específico del aire y las características particulares del circuito de circulación de aire.

a) Capacidad de la resistencia

$$E_q = \dot{m}_{\text{aire}} * (h_2 - h_1) \quad \text{[Ec. 5. 74]}$$

$$E_q = 0,574 \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right] * (108,295 - 82,145) \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$$

$$E_q = 15 \text{ [kW]} = 14,23 \left[\frac{\text{BTU}}{\text{s}} \right] = 51\,217 \left[\frac{\text{BTU}}{\text{h}} \right]$$

Dónde:

E_q	Energía necesaria para calentar el aire de secado, [Btu/h]
\dot{m}_{aire}	Flujo másico de aire de secado, [kg/s]
h_2	Entalpía del aire a temperatura de secado, [kJ/kg]
h_1	Entalpía del aire a temperatura ambiente, [kJ/kg]

5.2 DISEÑO Y CÁLCULO DEL SECADOR DE SILO DE TRES PISOS

5.2.1 CONDICIÓN, PARÁMETROS Y DATOS PARA EL SECADOR

a) Condición

Secar 10 [qq] métricos (454 [kg]) de café diarios, mediante un secador mecánico tipo silo de tres pisos o niveles a instalarse en el sector del Noroccidente de Pichincha. Los 10 [qq] de café con el 30% de humedad se distribuirán en los tres niveles para permitir un secado uniforme y obtener en la descarga café al 11% de humedad.

b) Parámetros

Se debe considerar para el diseño del secador mecánico de tipo silo de tres pisos:

- La velocidad de secado de 2,5 [m/s] [33].
- Las capas de café debe tener una altura máxima de lecho de 25 [cm] [9].
- Revolver masa de café por lo menos tres veces al día.
- Humedad del grano de aproximadamente un 30%, antes de cargarlo en el secador mecánico. El pre-secado mediante marquesinas es necesario para obtener la humedad antes indicada y;
- Suministrar aire caliente a una temperatura 50°C.

La Tabla 5.19 presenta los datos obtenidos por investigación y práctica:

GRANOS DE CAFÉ	
Coefficiente de fricción entre metal y café lavado	0,67
Densidad del café escurrido al 50%	700 [kg/m ³]
Densidad del café al ingreso del cilindro 30%	464 [kg/m ³]
Densidad del café a la salida del cilindro 23%	442,2 [kg/m ³]
Densidad del café a la salida del cilindro 18%	427,8 [kg/m ³]
Densidad del café a la salida del cilindro 11%	391,2 [kg/m ³]
Diámetro equivalente del grano de café	6,4 x 10 ⁻³ [m]
Humedad crítica del café (%)	35%
Humedad de equilibrio del café (%)	11%
Humedad final del café (%)	11%
Humedad inicial del café (%)	30%
Porcentaje de espacios vacíos	0,51

CONDICIONES AMBIENTALES		
Temperatura ambiente de bulbo seco	25°C	
Temperatura ambiente de bulbo húmedo	23,40°C	
Humedad relativa del ambiente (%)	91%	
ACERO A36		
Densidad del acero	7 850 [kg/m ³]	
Esfuerzo a la fluencia	250 MPa	2 549 [kg/cm ²]
Esfuerzo ultimo	400 MPa	4 079 [kg/cm ²]
Módulo de elasticidad	200 GPa	20,4 x10 ⁵ [kg/cm ²]
ACERO INOXIDABLE AISI 304		
Densidad del acero	7 800 [kg/m ³]	
Esfuerzo a la fluencia	310 [MPa]	3 161 [kg/cm ²]
Esfuerzo ultimo	515 [MPa]	5 252 [kg/cm ²]
Módulo de elasticidad	200 [GPa]	20,4 x10 ⁵ [kg/cm ²]
ACERO DE ALTA TRANSMISIÓN		
Densidad del acero	7 870 [kg/m ³]	
Esfuerzo a la fluencia	370 [MPa]	3 772 [kg/cm ²]
Esfuerzo ultimo	440 [MPa]	4 487 [kg/cm ²]
Módulo de elasticidad	205 [GPa]	20,9 x10 ⁵ [kg/cm ²]

Tabla 5. 19 Datos Requeridos para cálculos del Secador de Silo de un piso

Fuente: Propia

5.2.2 DETERMINACIÓN DE LAS DIMENSIONES DEL SECADOR

Considerando que se realizarán 3 cargas diarias y con una altura de lecho de café de 0,25 m por nivel, se colocará aproximadamente 3,3 qq por carga. La Tabla 5.20 indica la masa a cargar, el valor de la humedad de con su respectiva densidad; que permitirán determinar el volumen y encontrar el radio del cilindro

Masa cargada	Humedad	Densidad	Volumen	Radio
[kg]	[%]	[kg/m³]	[m³]	[m]
151,2	30	464	0,33	0,64

Tabla 5. 20 Equivalencias para la masa cargada respecto a su humedad, densidad y volumen

Fuente: Propia

Para el diseño del cilindro se tiene un $r = 0,65$ [m] (valor redondeado obtenido de acuerdo con la Tabla 5.19) y $0,25$ [m] de altura del lecho máximo.

Dónde:

$h_l = 0,25$ [m] → Para el silo es de varios pisos se selecciona 25 [cm] de altura.

m_{c_i} = Masa del café, [kg]

V_{c_i} = Volumen del café, [m³]

r_c = Radio del volumen del café, [m]

\emptyset_c = Diámetro del volumen del café, [m]

ρ_{c_i} = densidad aparente del café por cada piso, [kg/m³]

$$V_{c_{1^\circ}} = \pi r_c^2 h_l \quad [\text{Ec. 5. 75}]$$

$$V_{c_{1^\circ}} = \pi * (0,65)^2 * 0,25$$

$$V_{c_{1^\circ}} = 0,33 \text{ [m}^3\text{]}$$

$$V_{c_{1^\circ}} = \frac{m_{c_{1^\circ}}}{\rho_{c_{1^\circ}}} \quad [\text{Ec. 5. 76}]$$

$$m_{c_{1^\circ}} = V_c \cdot \rho_{c_{1^\circ}}$$

Considerando la densidad con el que ingresa al primer piso:

$$m_{c_{1^\circ}} = 0,33 \text{ [m}^3\text{]} * 464 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$m_{c_{1^\circ}} = 153,97 \text{ [kg]}$$

La primera bandeja deberá contener aproximadamente 154 [kg] por cada carga.

El valor del área del cilindro:

$$A_{1^\circ} = \pi r_c^2 \quad [\text{Ec. 5. 77}]$$

$$A_{1^\circ} = \pi * (0,65 \text{ [m]})^2$$

$$A_{1^\circ} = 1,32 \text{ [m}^2\text{]}$$

Se diseñará con el mismo valor del diámetro los tres pisos o niveles y la cámara de aire.

5.2.3 CÁLCULO DE FUERZAS ACTUANTES

Las paletas para el movimiento del grano se diseñarán en forma arqueada; su área de trabajo se calcula a partir del perímetro del cilindro vertical y la longitud de arco del radio:

$$p_{er} = 2 * r_c * \pi \quad [\text{Ec. 5. 78}]$$

Dónde:

p_{er} Perímetro del cilindro, [m]

$$p_{er} = 2 * 0,65 \text{ [m]} * \pi$$

$$p_{er} = 4,08 \text{ [m]}$$

$$\text{Arco} = \frac{2 * r_{\text{arco}} * \pi * \alpha}{360^\circ} \quad [\text{Ec. 5. 79}]$$

$$\text{Arco} = \frac{2 * 0,625 \text{ [m]} * \pi * 60^\circ}{360^\circ}$$

$$\text{Arco} = 0,65 \text{ [m]}$$

a. Área de Trabajo:

$$A_T = \text{Arco} * p_o \quad [\text{Ec. 5. 80}]$$

A_T Área del tanque, [m]

$$A_T = 0,65 \text{ [m]} * 4,08 \text{ [m]}$$

$$A_T = 2,67 \text{ [m}^2\text{]}$$

La Tabla 5.21 establece las áreas de trabajo para las tres paletas, al ser iguales:

Ubicación	No. de Paletas	Radio [m]	Radio de Arco [m]	Perímetro [m]	Ángulo (°)	Longitud de arco [m]	Área de Trabajo [m ²]
1er. piso	1	0,65	0,625	4,08	60	0,65	2,67
2do. piso	2	0,65	0,625	4,08	60	0,65	2,67
3er. piso	3	0,65	0,625	4,08	60	0,65	2,67

Tabla 5. 21 Cuadro de Áreas de Trabajo producido en las Paletas

Fuente: Propia

6. Volumen de Trabajo de cada Paleta

$$V_T = A_T * h_p \quad [\text{Ec. 5. 81}]$$

Dónde:

h_p Altura de cada paleta, [m]

V_T Volumen de trabajo de cada paleta, [m³]

$$V_T = 2,67 \text{ [m}^2\text{]} * 0,15 \text{ [m]}$$

$$V_T = 0,4 \text{ [m}^3\text{]}$$

Con el valor del área de trabajo se determina el volumen para las paletas, obteniendo como resultado la Tabla 5.22.

<i>Ubicación</i>	<i>Número de Paletas</i>	<i>Área de Trabajo [m²]</i>	<i>Altura de la Paleta [m]</i>	<i>Volumen Trabajo [m³]</i>
1er.piso	1	2,67	0,15	0,40
2do.piso	2	2,67	0,15	0,40
3er.piso	3	2,67	0,15	0,40

Tabla 5. 22 Volumen de Trabajo para cada Paleta

Fuente: Propia

7. Densidades del Café por cada Piso

Considerando la humedad del café con la que ingresaría a cada bandeja. La Tabla 5.23 muestra la distribución de café por piso, con su humedad y densidad respectivas:

<i>Ubicación</i>	<i>% Humedad Aproximada</i>	<i>Etapas de Secado</i>	<i>Densidad (kg/m³)</i>
1er. Piso	30	Café pre-secado	464
2do. Piso	23	Grano blando	442,2
3er. Piso	18	Grano oscuro y consistente	427,8

Tabla 5. 23 Cuadro de Densidades por cada Piso

Fuente: Propia

8. Cálculo de la Fuerza de Empuje para cada Paleta

$$E1 = \rho_{c_1} * g * V_T \quad [\text{Ec. 5. 82}]$$

$$E1 = (464 \text{ [kg/m}^3\text{]}) * (9,8 \text{ [m/s}^2\text{]}) * (0,4 \text{ [m}^3\text{]})$$

$$E1 = 1 823,21 \text{ [N]}$$

La Tabla 5.24 resume el valor obtenido por la fuerza de empuje para cada paleta:

<i>Ubicación</i>	<i>No. Paletas</i>	<i>Densidad ρ_{c_1} [kg/m³]</i>	<i>Gravedad [m/s²]</i>	<i>Volumen Trabajo V_T [m³]</i>	<i>Empuje E_i [N]</i>
1er piso	1	464	9,80	0,40	1823,21
2do piso	2	442,2	9,80	0,40	1737,55
3er piso	3	427,8	9,80	0,40	1680,97

Tabla 5. 24 Fueras de Empuje en cada Paleta

Fuente: Propia

9. Cálculo de la Fuerza de Rozamiento y Normal para cada Paleta

El volumen aproximado de cada paleta se determina con la Ecuación 5.83, parte de un espesor de 5 [mm], luego se determinará el valor real del espesor:

$$V_{p1} = a_p \cdot e_p \cdot h_p \quad [\text{Ec. 5. 83}]$$

$$V_{p1} = (0,60 \text{ [m]}) * (0,005 \text{ [m]}) * (0,15 \text{ [m]})$$

$$V_{p1} = 0,00045 \text{ [m}^3\text{]}$$

La Tabla 5.25 indica el supuesto volumen de la paleta:

<i>No de Paletas</i>	<i>Longitud del arco a_p [m]</i>	<i>Espesor E_p [m]</i>	<i>Altura h_p [m]</i>	<i>Volumen Paleta V_{pi} [m³]</i>
1	0,60	0,005	0,15	0,00045
2	0,60	0,005	0,15	0,00045
3	0,60	0,005	0,15	0,00045

Tabla 5. 25 Volumen de Paletas Aproximado

Fuente: Propia

Y;

$$N_1 = \rho_{c_1} * g * V_{p1} \quad [\text{Ec. 5. 84}]$$

$$N_1 = (464 \text{ [kg/m}^3\text{]}) \cdot (9,8 \text{ [m/s}^2\text{]}) \cdot (0,00045 \text{ [m}^3\text{]})$$

$$N_1 = 2,05 \text{ [N]}$$

La Tabla 5.26 establece la fuerza normal a partir del valor del volumen de la paleta, con la respectiva densidad:

Número de Paletas	Volumen paleta V_{pi} [m³]	Densidad Café ρ_{c_1} [kg/m³]	Gravedad [m/s²]	Normal N_i [N]
1		464		2,05
2	0,00045	442,2	9,8	1,95
3		427,8		1,89

Tabla 5. 26 Fuerza Normal en cada Paleta

Fuente: Propia

La fuerza de rozamiento para los tres pisos se tiene en la Tabla 5.27, cuyo valor del coeficiente de rozamiento se escoge de la Tabla 5.8:

$$Fr_1 = \mu_e N_1 \quad [\text{Ec. 5. 85}]$$

$$\mu_e = \text{tg } \beta' = 0,67$$

$$Fr_1 = 0,67 * (2,05 \text{ [N]})$$

$$Fr_1 = 1,37 \text{ [N]}$$

Número de Paletas	Normal N_i [N]	Coeficiente de rozamiento μ	Fuerza de Rozamiento Fr [N]
1	2,05	0,67	1,37
2	1,95	0,67	1,31
3	1,89	0,67	1,26

Tabla 5. 27 Fuerza de Rozamiento entre paletas y grano de café

Fuente: Propia

10. Cálculo del Empuje total de cada Paleta

$$E_{t1} = E_1 - Fr_1 \quad [\text{Ec. 5. 86}]$$

$$E_{t1} = 1\,823,21 \text{ [N]} - 1,37 \text{ [N]}$$

$$E_{t1} = 1\,821,84 \text{ [N]}$$

El empuje de cada paleta se determina entre la diferencia del empuje de cada una y la fuerza de fricción, Figura 5.14. Los resultados se presentan en la Tabla 5.28, y se obtiene el empuje total:

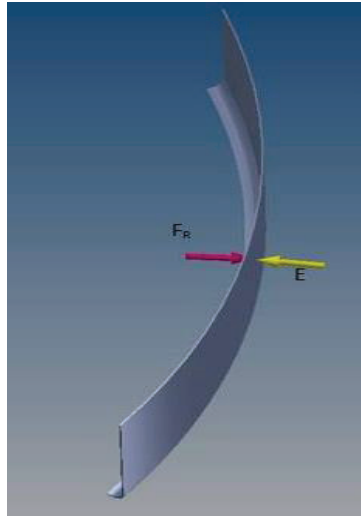


Figura 5. 14 Diagrama de Cuerpo Libre de la Paleta Arqueada

Fuente: Propia

No. de Paletas	Fr (N)	Empuje E_i [N]	Empuje total E_{ti} [N]
1	1,37	1823,21	1821,84
2	1,31	1737,55	1736,24
3	1,26	1680,97	1679,71
TOTAL			5237,79

Tabla 5. 28 Fuerza de Rozamiento entre paletas y grano de café

Fuente: Propia

5.2.4 CÁLCULO DE TORQUE Y POTENCIA

$$T_T = E_{t1} * b_i \quad [\text{Ec. 5. 87}]$$

$$T_T = 1\,821,72[\text{N}] * 0,30[\text{m}]$$

$$T_T = 546,55 \text{ [Nm]}$$

Se determina el torque de las tres paletas y se obtiene el torque total, Tabla 5.29:

Número de Paletas	Fuerzas o Empuje E_{ti} [N]	Distancia $b_i = a/2$ [m]	Torque T_i [Nm]
1	1821,84	0,30	546,55
2	1736,24	0,30	520,87
3	1679,71	0,30	503,91
Total del Torque			1571,34

Tabla 5. 29 Cuadro de Torque producidas por las Paletas

Fuente: Propia

Velocidad angular, se escogerá la máxima recomendada para mover el grano de café; 6 [rpm].

$$\omega_f = 6 \text{ [rpm]} * \frac{1 \text{ [min]}}{60 \text{ [seg]}} * \frac{2\pi \text{ [rad]}}{1 \text{ [rev]}} = 0,63 \text{ [rad/seg]} \quad [\text{Ec. 5. 88}]$$

La Potencia:

$$\text{Pot}_1 = T_1 * \omega_f \quad [\text{Ec. 5. 89}]$$

$$\text{Pot}_1 = 546,55 \text{ [Nm]} * 0,628 \text{ [rad/seg]}$$

$$\text{Pot}_1 = 343,23 \text{ [W]}$$

La Tabla 5.30 muestra la potencia total en Watts y Hp:

Número de Paletas	Torque T_i [Nm]	ω_f [rad/seg]	Pot [W]	Pot [Hp]
1	546,55	0,628	343,23	0,46
2	520,87	0,628	327,11	0,44
3	503,91	0,628	316,48	0,42
Total de Potencia [HP]			986,82	1,32

Tabla 5. 30 Cuadro de Potencia en Watts y HP

Fuente: Propia

Con el resultado total de la potencia se escogerá un motor de 1,5 [HP].

5.2.5 CÁLCULO DEL ESPESOR DE LA PALETA

Se toma como ejemplo para el cálculo la paleta la No.1 del piso 1; la misma que será válida para los tres pisos y sus dimensiones se muestra en la Figura 5.15. El material acero inoxidable 304:



Figura 5. 15 Diagrama con dimensiones de la paleta

Fuente: Propia

Donde

a_p ancho de la paleta, 0,60 [m]

h_p alto de la paleta, 0,15 [m]

e_p espesor de la paleta, [m]

$$F.S._{a_{304}} = \frac{S_{y_{304}}}{\sigma_{a_{304}}} \quad [\text{Ec. 5. 90}]$$

$$\sigma_{a_{304}} = \frac{310 \text{ [MPa]}}{2} = 155 \text{ [MPa]}$$

La Figura 5.16, indica los momentos de inercia que se aplican a la paleta rectangular.

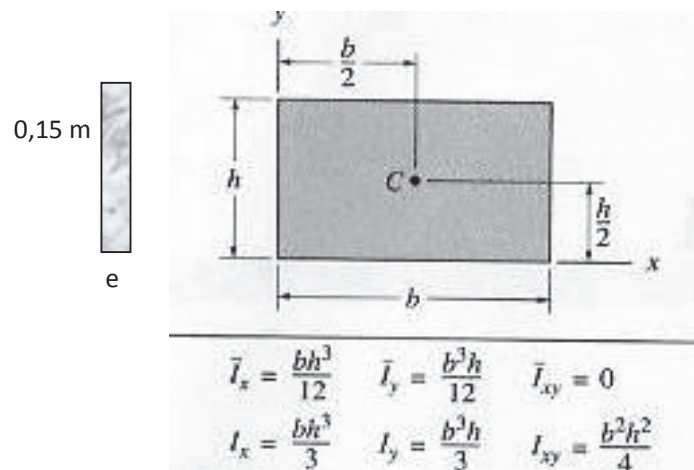


Figura 5. 16 Momentos de Inercia de Paleta Rectangular

Fuente: <http://joelfrax.com/otros/momentos%20inercia.html>

$$I_p = \frac{e \cdot h^3}{12} \quad [\text{Ec. 5. 91}]$$

Dónde:

I_p Inercia de la paleta, [m⁴]

h_p alto de la paleta, 0,15 [m]

e_p espesor de la paleta, [m]

$$c = \frac{h}{2} \quad [\text{Ec. 5. 92}]$$

Dónde:

c punto neutro de la paleta, [m]

El momento máximo de la paleta está dado por el producto de la fuerza que se aplica en la paleta No.1 a diseñar y su longitud, el cálculo se hace con la Ecuación 5.93:

$$M_p = E_1 * d_1 \quad [\text{Ec. 5. 93}]$$

$$M_p = 1\,821,84 \text{ [N]} * 0,60 \text{ [m]} = \mathbf{1\,093,09 \text{ [Nm]}}$$

En la Figura 5.17 se tiene el diagrama de cuerpo libre DCL de la paleta, considerando la vista superior:

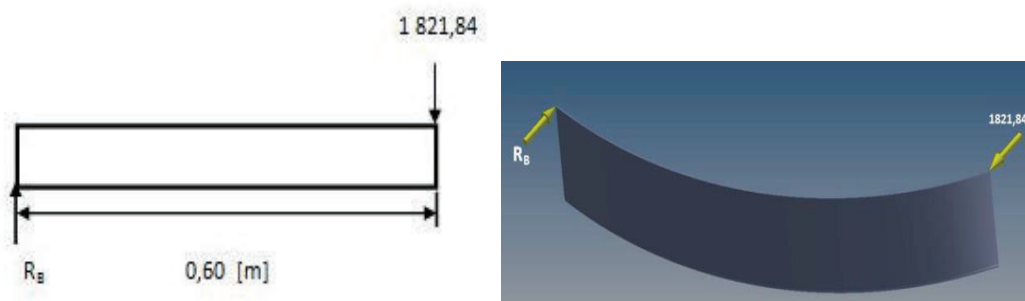


Figura 5. 17 Diagrama del cuerpo libre de la paleta (izq.) vista superior (der.) vista 3D

Fuente: Propia

El espesor de la paleta de acero inoxidable se calcula con la Ecuación 5.94:

$$\sigma_{a_{304}} = \frac{6 \cdot M_p}{e_p \cdot h_p^2} \quad [\text{Ec. 5. 94}]$$

$$e = \frac{6 \times 1\,093,09 \text{ [Nm]}}{(0,15 \text{ [m]})^2 * (155 \times 10^6 \text{ [Pa]})}$$

$$e = 0,002 \text{ [m]}$$

$$\mathbf{e = 2 \text{ [mm]}}$$

La dimensión para la paleta es de **600 x 150 x 2 [mm]**, de material un acero inoxidable 304; Podrá utilizarse una plancha de 1220 x 2440 x 2 [mm], que se encuentra en el mercado local.

5.2.6 DISEÑO Y CÁLCULO DE CADENA RODILLO

Se dispone localmente de un motor eléctrico de 1,5 [HP] con una velocidad de salida de 28 [rpm] y, se necesitan entre 4-6 [rpm] para el movimiento de las paletas. Estimando una vida útil de 15 000 [horas], se diseña la cadena de

transmisión con sus respectivos piñones para cumplir las funciones solicitadas, por lo tanto:

$$n_1 = 28 \text{ [rpm]}$$

$$n_2 = 6 \text{ [rpm]}$$

$$\text{Pot} = 1,5 \text{ [Hp]} = 1,12 \text{ [kW]}$$

a) Número de dientes de las ruedas de transmisión

Dónde:

RT Relación de transmisión

n_1 Velocidad de entrada del piñón, [rpm]

n_2 Velocidad de salida de la rueda, [rpm]

Z_1 Número de dientes del piñón o rueda menor

Z_2 Número de dientes de rueda mayor

$$\text{R. T.} = \frac{Z_2}{Z_1} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{28}{6} = \mathbf{4,66}$$

$$Z_2 = (\text{RT}) \cdot Z_1 \quad [\text{Ec. 5. 95}]$$

$$Z_2 = 4,66 * (11 \text{ [dientes]}) = 51 \text{ [dientes]}$$

En el mercado local se encuentra piñones de 48 dientes. Los cálculos se realizarán a partir del mismo.

b) Cálculo de Potencia corregida

$$\text{Pot}_{\text{corr}} = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot \text{Pot} \quad [\text{Ec. 5. 96}]$$

Los factores de corrección de escogerán de acuerdo a Cuadros y gráficas, mostrada en el ANEXOS 8.

- K_1

Para 11 dientes según ANEXO 8, Tabla A.8.1 se tiene → **0,53**

- K_2

Al tener 1 sola cadena o simple, según ANEXO 8, Gráfica A.8.1 → **1**

- K_3

La cadena de 120 eslabones, coeficiente 1, según ANEXO 8, Gráfica A.8.2 → **1**

- K_4

Motor eléctrico para mezcladores sólidos, según ANEXO 8, Tabla A.8.2 → **1, 4**

- K_5

Con 15 000 horas de vida útil, de acuerdo con el ANEXO 8, Gráfica A.8.3 → **1**

Aplicando la Ecuación 5.96, entonces:

$$Pot = 1,5 \text{ [HP]} = 1,12 \text{ [kW]}$$

$$Pot_{corr} = (0,53)(1)(1)(1,4)(1)(1,12 \text{ [kW]}) = 0,83 \text{ [kW]}$$

c) Selección de la Cadena

De acuerdo con los resultados obtenidos se seleccionará según Gráfica A.8.4 del Anexo 8:

Cadena: simple ISO 606 (Serie Europea)

Potencia: 0,83 [kW]

Velocidad de entrada de giro: 28 [rpm]

Con estos resultados se escoge la cadena Tipo 12B o 16B, obteniendo un paso de 19,05 [mm] o 25,4 [mm], respectivamente. Sin embargo se escogerá el de mayor paso (25,4 [mm]), a partir de este valor se tiene la distancia entre centros de 1000 [mm] de la Tabla A.16.1 del Anexo 16.

d) Cálculo del diámetro de las ruedas o piñones

$$\phi_p = \frac{p}{\sin \frac{\pi}{Z}} \quad [\text{Ec. 5. 97}]$$

Dónde:

ϕ_p Diámetro de la rueda-piñón, [mm]

Z Número de dientes

p Paso, [mm]

- *Diámetro del piñón*

$$\phi_1 = \frac{25,40 \text{ [mm]}}{\sin \frac{\pi}{11}} = 90,15 \text{ [mm]}$$

$$r_1 = 45,08 \text{ [mm]}$$

- Diámetro de la rueda mayor

$$\phi_2 = \frac{25,40 \text{ [mm]}}{\sin \frac{\pi}{48}} = 388,36 \text{ [mm]}$$

$$r_2 = 194,18 \text{ [mm]}$$

e) Longitud de la cadena

$$\frac{L}{p} = \frac{(Z_1 + Z_2)}{2} + (Z_2 - Z_1) \frac{\beta}{\pi} + O_1 O_2 \cos \beta \frac{2}{p} \quad [\text{Ec. 5. 98}]$$

Dónde

$\frac{L}{p}$ Número de eslabones

L Longitud de la cadena, [m]

p Paso, 25,40 [mm]

$O_1 O_2$ Distancia entre centros de las ruedas, 1000 [mm]

β Ángulo de contacto, [radianes]

$$\beta = \sin^{-1} \left(\frac{r_2 - r_1}{O_1 O_2} \right) \quad [\text{Ec. 5. 99}]$$

$$\beta = \sin^{-1} \left(\frac{194,18 \text{ [mm]} - 45,08 \text{ [mm]}}{1000 \text{ [mm]}} \right)$$

$$\beta = 0,15 \text{ [rad]}$$

$$\frac{L}{25,4 \text{ [mm]}} = \frac{(11 + 48) \text{ [dientes]}}{2} + (48 - 11) \text{ [dientes]} \frac{0,15 \text{ [rad]}}{\pi} + (1000 \text{ [mm]}) \cdot \cos(0,15) \frac{2}{25,4 \text{ [mm]}}$$

Conociendo que L/p es el número de eslabones, se debe ajustar la distancia entre centros $O_1 O_2$. Aplicando un método iterativo se tiene la Tabla 5.31:

$O_1 O_2$ (mm)	B [radianes]	L/p (No. de eslabones)	L [mm]
1000	0,15	109,12	2771,71
999	0,15	109,04	2769,74
998,4	0,15	109,00	2768,55

Tabla 5. 31 Tabla de longitud de la cadena con el Número de Eslabones

Fuente: Propia

Se tiene una cadena con las siguientes características:

$$L = 2768,55 \text{ [mm]} = 2,8 \text{ [m]}$$

$$O_1O_2 = 998,4 \text{ [mm]}$$

$$\text{No. de eslabones} = 109$$

$$p = 25,4 \text{ [mm]}$$

A partir del número de eslabones se puede recalculer el factor K_3 según la gráfica del ANEXO 8, Gráfica A.8.2 $\rightarrow k_3 = 1,1$

Recalculando con el factor nuevo K_3 se tiene la real Potencia corregida requerida para la selección de la cadena, aplicando la misma Ecuación 5.96:

$$Pot_{corr} = (0,53)(1)(1,1)(1,4)(1)(1,12[\text{kW}])$$

$$Pot_{corr} = 0,9 \text{ [kW]}$$

La potencia corregida aún se encuentra dentro de la región de 16B, por lo tanto, mantiene el mismo tipo de cadena, según ANEXO 8, Gráfica A.8.4

- Cadena: simple ISO 606 (Serie Europea)
- Potencia: 0,9 [kW]
- Velocidad de entrada de giro: 28 [rpm]
- Con estos resultados se escoge la misma cadena Tipo 16B, obteniendo un paso de 25,4 [mm]

f) Cálculo de Velocidad Lineal

$$v_L = \frac{l \cdot Z_1 \cdot n_1}{60} \quad [\text{Ec. 5. 100}]$$

Dónde

v_L Velocidad lineal [m/s]

$$v_L = \frac{0,0254 \text{ [m]} \cdot (11[\text{dientes}]) \cdot (28 \text{ [rpm]})}{60} = \mathbf{0,13 \text{ [m/s]}}$$

Los resultados obtenidos de acuerdo a la Tabla A.16.2 del Anexo 16, están por debajo de las velocidades máximas 18 [m/s], por lo que, el resultado, 0,13 [m/s] y está dentro de los límites.

g) Cálculo de Esfuerzos Totales

$$F_u = \frac{\text{Pot}}{V_L} \quad [\text{Ec. 5. 101}]$$

Donde

F_u Esfuerzo útil, [N]

Pot Potencia del motor eléctrico, 1118 [W]

v_L Velocidad lineal, 0,13 [m/s]

$$F_u = \frac{1\ 118\ [\text{W}]}{0,13\ [\text{m/s}]} = \mathbf{8\ 600\ [N]}$$

$$F_c = W \cdot V_L^2 \quad [\text{Ec. 5. 102}]$$

Dónde

F_c Fuerza centrífuga, [N]

W Peso unitario de la cadena, 2,71 [kg/m]

$$F_c = (2,71\ [\text{kg/m}]) \cdot (0,13\ [\text{m/s}])^2$$

$$F_c = \mathbf{0,046\ [N]}$$

$$F_T = F_u + F_c \quad [\text{Ec. 5. 103}]$$

Dónde:

F_T Fuerza total, [N]

$$F_T = 8\ 600\ [N] + 0,046\ [N]$$

$$F_T = 8\ 600\ [N]$$

$$F.S. = n = \frac{R}{F_T} \quad [\text{Ec. 5. 104}]$$

F.S Factor de seguridad

R Carga de rotura, según catálogo de ANEXO 8, Tabla A8.3, 72800[N]

$$F.S. = \frac{72\ 800\ [N]}{8\ 600\ [N]} = \mathbf{8,47}$$

Para cadenas se debe considerar $F.S. > 7$ al no estar expuesto a suciedades por lo tanto si cumple con tal parámetro [44].

h) Cálculo de Presión Máxima de Contacto

$$P_{\text{cont}} = \frac{F_T}{\phi_2 L_2} \quad [\text{Ec. 5. 105}]$$

Donde los datos de ϕ y L se tomarán del Anexo 8 Tabla A8.3

ϕ_2 Diámetro del perno, bulón o eje de la cadena, 8,28 [mm]

L_2 Longitud del casquillo, 25,45 [mm]

$$P_{\text{cont}} = \frac{8\,600 \text{ [N]}}{(8,28 \text{ [mm]})(25,45 \text{ [mm]})}$$

$$P_{\text{cont}} = 40,81 \text{ [MPa]}$$

El valor de la $P_{\text{máx}}$ es aproximadamente de 45 [MPa] para 28 [rpm] y el valor obtenido resulta menor, por lo tanto, si cumple con la condición de presiones máximas admisibles dadas por la Tabla A.16.3 del Anexo 16.

i) Selección de Rueda – Piñón

Con el catálogo ANEXO 8, Tabla A.8.4 la selección de Rueda-Piñón son:

- Piñón: 11 [dientes], diámetro primitivo 90,15 [mm] y peso de 0,68 [kg]
- Rueda: 48 [dientes], diámetro primitivo 388,36 [mm] y peso de 14,54 [kg]

5.2.7 DISEÑO Y CÁLCULO DEL EJE PRINCIPAL MOTRIZ

$$Pot = T \cdot \omega_f \quad [\text{Ec. 5. 106}]$$

Pot Potencia, [W]

T Torque, [N.m]

ω_f Velocidad angular, [rad/s]

$$T = \frac{Pot}{\omega_f} \quad [\text{Ec. 5. 107}]$$

$$T = \frac{1\,118 \text{ [W]}}{0,63 \text{ [rad/seg]}}$$

$$T = 1\,774,6 \text{ [N.m]}$$

La potencia es la misma usada tanto para las paletas mezcladoras del café como para el eje motriz, transmitido por un motor reductor de velocidades.

El momento torsor es equivalente a la fuerza aplicada a la distancia d .

$$F = \frac{T}{d} \quad [\text{Ec. 5. 108}]$$

Diámetro primitivo del engranaje (Z_2) tiene un valor de $\phi_2 = 388,36[\text{mm}] = 0,39[\text{m}]$, con su radio de $r_2 = 0,19[\text{m}]$, por lo que obtenemos una fuerza en C.

$$C_x = \frac{1\,774,6 \text{ [N.m]}}{0,19 \text{ [m]}}$$

$$C_x = 9\,340 \text{ [N]}$$

La mitad de la distancia recta de paleta arqueada al eje motriz es $0,3 \text{ [m]}$

$$E_x = \frac{1\,774,6 \text{ [N.m]}}{0,30 \text{ [m]}}$$

$$E_x = 5\,915,33 \text{ [N]}$$

b) Diseño Estático

Se considera un acero de transmisión AISI 1018, cuyas propiedades mecánicas se indican en la Tabla de datos[27], el DCL del eje se observa en la Figura 5.18:

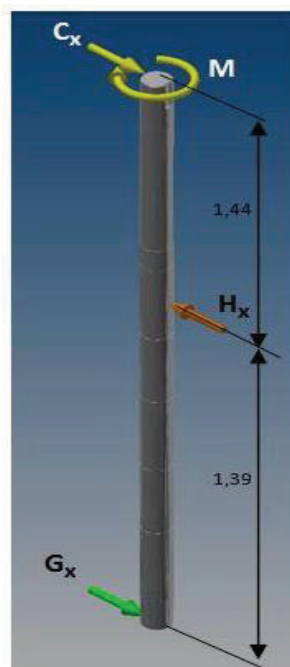


Figura 5. 18 DCL del eje Motriz Principal del Secador de Tres Pisos

Fuente: Propia

$$\sum M_G = 0 \quad \cup +$$

[Ec. 5. 109]

$$1,385 \cdot H_x - 2,829 \cdot C_x = 0$$

$$1,385 \cdot H_x - 2,829 \cdot (9\,340) = 0$$

$$H_x = 19\,077,88 \text{ [N]}$$

$$\sum F_x = 0 \quad [\text{Ec. 5. 110}]$$

$$-C_x - H_x + G_x = 0$$

$$-9\,340 - 19\,077,88 + G_x = 0$$

$$G_x = 9\,737,88 \text{ [N]}$$

La sección crítica corresponde al punto H, los datos que se van a considerar son el momento máximo y el torque:

$$M_{\text{máx}} = M = C_x \cdot (1,444) = G_x \cdot (1,385)$$

$$M = 13\,487 \text{ [N.m]}$$

$$T = 1\,774,6 \text{ [N.m]}$$

Usando el círculo de Mohr se calculará el esfuerzo cortante máximo:

$$\tau_{\text{máx}} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad [\text{Ec. 5. 111}]$$

De la Ecuación 5.111, se reemplazará σ_x y τ_{xy} en función de M y T:

$$\tau_{\text{máx}} = \frac{16}{\pi \cdot \emptyset^3} \sqrt{M^2 + T^2} \quad [\text{Ec. 5. 112}]$$

Para el cálculo del diámetro en diseño estático se tomará en cuenta dos teorías: la Teoría de Esfuerzo Cortante Máximo y la Teoría de Distorsión de Von Mises:

- Teoría de Esfuerzo Cortante Máximo

$$\tau_{\text{máx}} = \frac{S_{ys}}{(\text{F.S.})} = \frac{S_y}{2 \cdot (\text{F.S.})}$$

$$\emptyset = \sqrt[3]{\frac{32 (\text{F.S.})}{\pi \cdot S_y} * \sqrt{M^2 + T^2}} \quad [\text{Ec. 5. 113}]$$

$$\phi = 0,07 \text{ [m]} = 70 \text{ [mm]}$$

- Teoría de Distorsión de Von Mises

$$\tau_{\text{máx}} = \frac{S_{ys}}{\text{(F.S.)}} = \frac{0,577 \cdot S_y}{\text{(F.S.)}}$$

$$\phi = \sqrt[3]{\frac{27,7 \text{ (F.S.)}}{\pi \cdot S_y} * \sqrt{M^2 + T^2}} \quad \text{[Ec. 5. 114]}$$

$$\phi = 0,068 \text{ [m]} = 68 \text{ [mm]}$$

c) Diseño Dinámico

Se debe considerar los factores de fatiga del elemento a diseñar aplicando la Ecuación 5.115 del cálculo del límite de resistencia a la fatiga del elemento S_e [27]:

$$S_e = S'_e \cdot k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_f \quad \text{[Ec. 5. 115]}$$

El material al ser dúctil, acero inoxidable: $S_{ut} < 200 \text{ [ksi]}$. Determina el límite de resistencia a la fatiga de la probeta S'_e mediante la Ecuación 5.116 [27]:

$$S'_e = 0,5 S_{ut} \quad \text{[Ec. 5. 116]}$$

$$S'_e = 0,5 (440 \text{ [MPa]})$$

$$S'_e = 220 \text{ [MPa]}$$

$k_a \rightarrow$ Eje usa acabado trefilado, torneado o pulido [27] ,a 90[kpsi] es 1

$k_b \rightarrow$ Diámetro de 60 [mm] aplicar, $1,189 \cdot (60)^{-0,097} = 0,8$

$k_c \rightarrow$ Confianza de 50% por suposición [27], es 1

$k_d \rightarrow$ Trabajo a temperatura ambiente $T < 450^\circ\text{C}$, es 1

$k_e \rightarrow$ De acuerdo se tiene el factor de concentrador de esfuerzos, es 0,5

El factor k_e es obtenido por los concentradores de esfuerzos generados en flexión y torsión, donde k_e se encuentra de la siguiente manera [27]:

$$k_e = k_{ef} * k_{es}$$

[Ec. 5. 117]

Flexión

$$k_{ef} = \frac{1}{1 + q \cdot (K_t - 1)}$$

Donde

k_{ef} factor concentrador de esfuerzos a flexión

q sensibilidad a la ranura o entalle a flexión, Anexo 4, Figura 7-18

K_t concentrador de tensiones a flexión, Anexo 4, Figura A-26-14

$$k_{ef} = \frac{1}{1 + 0,85 \cdot (1,6 - 1)} = \mathbf{0,66}$$

Torsión

$$k_{es} = \frac{1}{1 + q_s \cdot (K_{ts} - 1)}$$

Donde

k_{es} factor concentrador de esfuerzos a torsión

q_s sensibilidad a la ranura o entalle a torsión, Anexo 4, Figura 7-19

K_{ts} concentrador de tensiones a torsión, Anexo 4, Figura A-26-15

$$k_{es} = \frac{1}{1 + 0,95 \cdot (1,3 - 1)} = \mathbf{0,77}$$

De la Ecuación 5.117 se tiene el factor concentrador de esfuerzos:

$$k_e = k_{ef} \cdot k_{es} = 0,66 \cdot 0,77 = \mathbf{0,5}$$

$k_f \rightarrow$ Efecto varios ≥ 1 .

$$S_e = (220[\text{MPa}]) \cdot (1) \cdot (0,8) \cdot (1) \cdot (1) \cdot (0,5) \cdot (8)$$

$$S_e = 704 [\text{MPa}]$$

Para el diseño dinámico se aplicará la teoría de Goodman tanto para la teoría del cortante máximo o la teoría de Von Mises, con un factor de seguridad de 1,2:

- Teoría de Cortante Máximo

$$\phi = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot (\text{F.S.})}{\pi} \sqrt{\left(\frac{T}{S_u}\right)^2 + \left(\frac{M}{S_e}\right)^2}} \quad [\text{Ec. 5. 118}]$$

$$\phi = \sqrt[3]{\frac{32 (1,2)}{\pi} \sqrt{\left(\frac{1\,774,6 [\text{Nm}]}{440 \times 10^6 [\text{Pa}]}\right)^2 + \left(\frac{13\,487 [\text{Nm}]}{704 \times 10^6 [\text{Pa}]}\right)^2}}$$

$$\phi = \mathbf{0,062 [m] = 62 [mm]}$$

- Teoría de Von Mises

$$\phi = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot (\text{F.S.})}{\pi} \sqrt{\left(\frac{T}{S_u}\right)^2 + \left(\frac{M}{S_e}\right)^2}} \quad [\text{Ec. 5. 119}]$$

$$\phi = \sqrt[3]{\frac{27,7 \cdot (1,2)}{\pi} \sqrt{\left(\frac{1\,774,6 \text{ [Nm]}}{440 \times 10^6 \text{ [Pa]}}\right)^2 + \left(\frac{13\,487 \text{ [Nm]}}{704 \times 10^6 \text{ [Pa]}}\right)^2}}$$

$$\phi = 0,059 \text{ [m]} = 59 \text{ [mm]}$$

De acuerdo al prontuario se escogerá el eje con un valor normalizado de **65 [mm]**, es el valor más cercano al diámetro promedio obtenido, que se consigue en el mercado local [37].

5.2.8 CÁLCULO DE LENGÜETA

Siendo el material del eje de acero de alta transmisión, la chaveta también será construida del mismo material, acero AISI 1018. Se tienen las siguientes consideraciones [45]:

$$58 \text{ [mm]} < d < 65 \text{ [mm]}, \quad d = 65 \text{ [mm]}$$

b Ancho lengüeta, 18 [mm]

h Altura lengüeta, 11 [mm]

La fuerza que genera un corte en la lengüeta, es:

$$F = \frac{T}{r} \quad [\text{Ec. 5. 120}]$$

$$r = 32,5 \text{ [mm]} = 0,0325 \text{ [m]}$$

$$T = 1\,774,6 \text{ [N.m]}$$

$$F = \frac{1\,774,6 \text{ [Nm]}}{0,0325 \text{ [m]}}$$

$$F = 54\,603,10 \text{ [N]}$$

Se considera el factor de diseño mediante el siguiente cálculo:

$$\text{F.S.} = \frac{0,577S_y}{\tau} \quad [\text{Ec. 5. 121}]$$

$$\tau = \frac{F}{b * l} \quad [\text{Ec. 5. 122}]$$

Dónde:

- S_y Esfuerzo de fluencia, [MPa]
- τ Esfuerzo cortante, [MPa]
- F Fuerza cortante, [N]
- F. S. Factor de seguridad para el corte que debe ser ≥ 2 , se tomará 2,5
- b Ancho de la chaveta, [m]
- l Longitud de la chaveta, [m]

$$\tau = \frac{0,577(370 \text{ [MPa]})}{2,5} = 85,4 \text{ [MPa]}$$

$$85,4 \text{ [MPa]} = \frac{54 \ 603,10 \text{ [N]}}{(0,018 \text{ [m]}) \cdot (l)}$$

$$l = \frac{56 \ 336,5 \text{ [N]}}{0,018 \text{ [m]} * 85,4 \times 10^6 \text{ [Pa]}}$$

$$l = 0,036 \text{ [m]} = \mathbf{36 \text{ [mm]}}$$

La chaveta del eje motriz principal presentará un factor de seguridad aceptable con dimensiones **18x11x36 [mm]**.

5.2.9 DISEÑO Y CALCULOS DE LOS ESPESORES DE COMPONENTES DEL TANQUE

El análisis realizado anteriormente permitió establecer el diámetro del recipiente o tanque y la altura de cada piso de café a secar, siendo los siguientes:

$$\phi_t = 1,3 \text{ [m]} \text{ Diámetro del tanque}$$

$$h_l = 0,25 \text{ [m]} \text{ Altura del lecho de grano para los tres pisos.}$$

$$h_t = 1,45 \text{ [m]} \text{ Altura total tanque de almacenamiento, considera 0,35m de cada piso (total son tres pisos) y 0,4 [m] de la cámara de aire.}$$

$$h_{1^\circ} = 0,35 \text{ [m]} \text{ Altura de cada piso considera 0,10 [m] más a la altura del lecho del grano, por cuestiones de seguridad dado por el movimiento del grano y con la posibilidad de aumento en la cantidad de grano hasta un 40\%.$$

a) Cálculo del espesor de las 2 primeras planchas perforadas

Para determinar el espesor de la plancha perforada que constituye la base del primer recipiente, se considera:

$$r_t = 0,65 \text{ [m]}$$

r_t Radio del tanque, [m]

Volumen del primer piso, por cuanto, de esta sección dependerá el diseño de las dos planchas:

$$V_{1^\circ} = \pi * r^2 * h_l \quad [\text{Ec. 5. 123}]$$

$$V_{1^\circ} = \pi * (0,65 \text{ [m]})^2 * (0,25 \text{ [m]})$$

$$V_{1^\circ} = \mathbf{0,33 \text{ [m}^3\text{]}}$$

En el primer piso se colocarán 3,3 [qq] de café con el 30% de humedad y con una densidad aproximada de:

$$\rho_{1^\circ} = 464 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$m_{1^\circ} = 150 \text{ [kg]} = 3,3 \text{ [qq]}$$

Con estos valores se calcula la presión máxima provocada por el café con el 30% de humedad sobre la plancha perforada de la base:

$$P_{\text{máx}} = \rho_1 \cdot g \cdot h_l \quad [\text{Ec. 5. 124}]$$

$$P_{\text{máx}} = (464 \text{ [kg/m}^3\text{]}) * (9,8 \text{ [m/s}^2\text{]}) * (0,25 \text{ [m]})$$

$$P_{\text{máx}} = 1\,136,8 \text{ [Pa]}$$

Aplicando la teoría de las placas circulares, cuya tensión máxima se produce en los bordes de la plancha [41].

$$\sigma_{y_{\text{máx}}} = -\frac{6M}{e^2} = \frac{3qr^2}{4e^2} \quad [\text{Ec. 5. 125}]$$

El esfuerzo de diseño se calcula considerando un acero inoxidable AISI 304 y un factor de seguridad de 2.

$$\sigma_{y_{\text{máx}}} = \frac{310 \text{ [MPa]}}{2}$$

$$\sigma_{y_m\acute{a}x} = 155 \text{ [MPa]}$$

Por lo tanto se calculará el espesor del tanque o recipiente despejando de la Ecuación 5.125:

$$e^2 = \frac{3 \cdot P_{m\acute{a}x} \cdot r^2}{4 \cdot \sigma_{y_m\acute{a}x}}$$

$$e = 0,0015 \text{ [m]} = 1,5 \text{ [mm]} \approx 2 \text{ [mm]}$$

Se selecciona para los dos pisos la misma plancha perforada de acero inoxidable AISI 304, con espesor de **2 [mm]**.

b) Cálculo del Espesor de la Tercera Plancha Perforada

Es la plancha que separa la cámara del aire caliente con el tercer recipiente. Se considera una plancha circular uniforme, la misma sometida a la teoría de las placas circulares, cuya tensión máxima se produce en sus bordes [37].

$$\sigma_{y_m\acute{a}x} = -\frac{6M}{e^2} = \frac{3qr^2}{4e^2} \quad [\text{Ec. 5. 126}]$$

$$\sigma_{y_m\acute{a}x} = \frac{310 \text{ [MPa]}}{2}$$

$$\sigma_{y_m\acute{a}x} = 155 \text{ [MPa]}$$

Despejando de la ecuación anterior se tiene:

$$e^2 = -\frac{6M_t}{\sigma_{y_m\acute{a}x}}$$

$$P_{m\acute{a}x} = \rho_3 \cdot g \cdot h_T$$

$$P_{m\acute{a}x} = (427,8 \text{ [kg/m}^3\text{)}) \cdot (9,8 \text{ [m/s}^2\text{)}) \cdot (0,25 \text{ [m]})$$

$$P_{m\acute{a}x} = q = 1\,048,11 \text{ [Pa]}$$

$$M_t = -\frac{q \cdot r^2}{16}$$

$$M_t = -\frac{1048,11 \text{ [Pa]} \cdot (0,65 \text{ [m]})^2}{16} = -27,68 \text{ [kg. m]} = -271,23 \text{ [Nm]}$$

$$e^2 = -\frac{6(-271,23 \text{ [Nm]})}{(155 \times 10^6 \text{ [Pa]})}$$

$$e = 0,003 \text{ [m]} = 3 \text{ [mm]}$$

La tercera plancha presenta un espesor mayor que las anteriores, debido a que no solamente contiene los 3,3 quintales de café, sino también el peso de los elementos mecánicos de soporte (eje y chumacera). Se escogerá un acero inoxidable AISI 304, con espesor de **3 [mm]**.

c) Cálculo del espesor del recipiente cilíndrico

El recipiente cilíndrico es un tanque de acero A36 que requiere de un proceso de rolado para formar el cilindro, este tanque ingresa en el grupo de rolado semicalmado. Cálculo del espesor del tanque:

$$e_t = \frac{FS \cdot \rho \cdot r \cdot h_t}{S_y \cdot \eta_s} \quad [\text{Ec. 5. 127}]$$

e_t	Espesor del tanque, [cm]
ρ_c	Densidad aparente a 30% de humedad, [kg/cm ³]
h_t	Altura total del tanque de almacenamiento, [cm]
r	Radio del cilindro, [cm]
S_y	Esfuerzo de fluencia, [kg/cm ²]
η_s	Eficiencia de soldadura, generalmente es 0,6 a tope

Para la altura h_t se considerará la altura total formada por 40 cm de la cámara de aire y por cada piso 35 cm, entonces se tiene:

$$e_t = \frac{8 \cdot (0,000464) \cdot (65) \cdot (145)}{(2549) \cdot (0,6)}$$

$$e_t = 0,02 \text{ [cm]}$$

$$e_t = 0,2 \text{ [mm]}$$

El espesor mínimo es de 0,2 mm, pero por construcción, seguridad, operación y el trabajo al que estará sometido el secador, se selecciona un espesor de **3 [mm]**.

5.2.10 CÁLCULO Y SELECCIÓN DE COJINETES

La ecuación adecuada es con confiabilidad del 90%

$$C_R = f \cdot F_e \left(\frac{(L_D)}{(L_R)} \times \frac{(n_D)}{(n_R)} \right)^{\frac{1}{\alpha}} \quad [\text{Ec. 5. 128}]$$

En el punto G de la Figura 5.18 es donde se colocarán los cojinetes. Teniendo que $G_x = F_{rG} = 9737,88$ [N] esta carga es la fuerza radial externa, por lo que permitirá seleccionar los rodamientos. Generalmente $F_{eG} = F_{rG}$, por lo tanto se harán dos cálculos, por medio del manual Shigley y según el catálogo de la FAG:

- Según Shigley [27] se escogerá un valor cercano a la capacidad básica:

$f \rightarrow$ Factor de aplicación donde hay sellado deficiente de cojinetes es **1,2**

$F_e \rightarrow$ Respecto a la mayor carga, $F_{eG} = F_{rG} = 9737,88$ [N] = **993** [kgf]

$L_D \rightarrow$ Vida de cojinete para maquinaria de servicio intermitente en la que la operación confiable va de 8 a 14Khrs [27], es **14** [Khrs]

$L_R \rightarrow$ Dato fijo es **3000** [hrs]

$n_D \rightarrow$ Revoluciones que se requiere, es **6** [rpm]

$n_R \rightarrow$ Dato fijo es **500** [rpm]

$\alpha \rightarrow$ Rodamiento de bolas en la parte inferior es **3**

$$C_{RF} = 1,2 \times 9737,88 \text{ [N]} \left(\frac{14\,000 \text{ [hrs]}}{3\,000 \text{ [hrs]}} \times \frac{6 \text{ [rpm]}}{500 \text{ [rpm]}} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$C_{RF} = 4\,470,69 \text{ [N]} = 4,47 \text{ [kN]}$$

Según Tabla 11-3 Shigley [27] con la carga de 4,47 [kN] se debe escoger la carga más cercana:

$$C_R = 5,21 \text{ [kN]}$$

$$D_i = 12 \text{ [mm]}$$

$$D_e = 32 \text{ [mm]}$$

$$B = 10 \text{ [mm]}$$

- Según FAG para la carga dinámica [42]:

$$C = \frac{f_L}{f_n f_H} \cdot P \text{ [kg]} \quad \text{[Ec. 5. 129]}$$

$P = H_x$ Carga dinámica, solo hay carga radial H_x **20399,8** [N] = **2081,61** [kgf]

$f_L \rightarrow$ Engranajes universales [42], tipo medio es **3,5**

$f_n \rightarrow$ Para velocidad mínima de 10 [rpm] [42], es **1,494**

$f_H \rightarrow$ Temperatura de servicio menor a 150°C [42], es **1**

$$C = \frac{3,5}{1,494 \times 1} \cdot 993 \text{ [kg]}$$

$$C = 2\,326,31 \text{ [kg]} = 23 \text{ [kN]}$$

Con el diámetro de **63 [mm]** y capacidad de carga dinámica **23 [kN]** se escoge rodamientos rígidos de bolas en ejecución normal, lubricación con grasa 60 12 y carga dinámica de **29 [kN]** con los siguientes valores:

$$C = 29 \text{ [KN]}$$

$$d = 60 \text{ [mm]}$$

$$D = 95 \text{ [mm]}$$

$$B = 18 \text{ [mm]}$$

$$r = 1,1 \text{ [mm]}$$

Con respecto a los resultados obtenidos, se va a escoger los valores dados por la FAG, por la facilidad de conseguir en el mercado local y porque los valores se aproximan a los resultados de diseño.

5.2.11 DISEÑO Y SELECCIÓN DE ESTRUCTURAS PARA LA BASE

Los componentes de la estructura base del cuerpo del secador se muestra en la Figura 5.19:

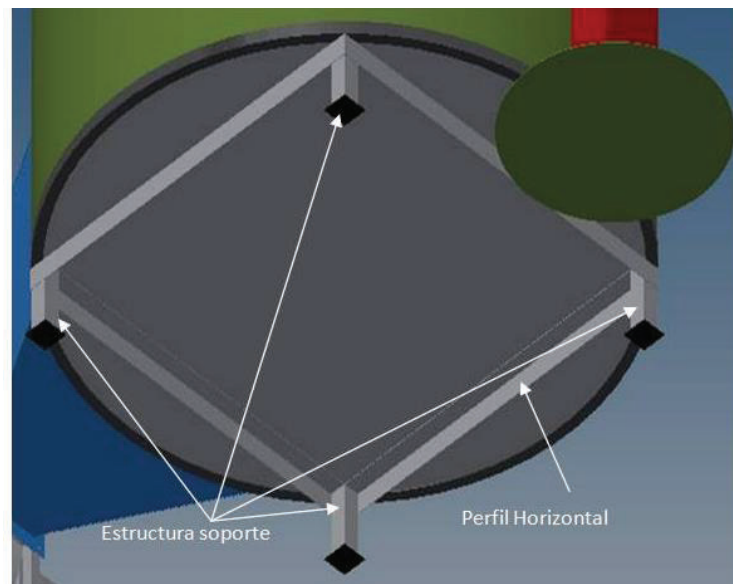


Figura 5. 19 Soporte del tanque que consta de tubo cuadrado y perfiles horizontales

Fuente: Propia

a) Estructuras Soportes

Para el diseño de las estructuras soporte, se considera el peso total que va a resistir. El peso se calcula a partir de la densidad acero de los componentes para la construcción del prototipo y la cantidad de masa de café que se colocará en el tanque. El diseño se hará mediante la teoría de cálculo de columnas, Tabla 5.32:

Descripción	Peso unitario [kg]	Cantidad	Peso total [kg]
Sistema del eje motriz	30,15	1	30,15
Paletas	1,57	3	4,72
Planchas Perforadas 1er y 2do piso	20,71	2	62,12
Planchas Perforada tercer piso	36,47	1	36,47
Tanque barolado	230,95	1	230,95
Piso del tanque	51,77	1	51,77
Chumacera	5,08	1	5,08
Agarradera	0,50	3	1,50
Café lavado escurrido	154,00	1	154,00
Grano blando	147,00	1	147,00
Grano oscuro y consistente	142,00	1	142,00
TOTAL			865,76

Tabla 5. 32 Masa Total de la estructura del tanque

Fuente: Propia

El peso total:

$$W = 865,76 \text{ [kgf]} = 8\,490,21 \text{ [N]}$$

Se añade el 20% del peso por seguridad.

$$W_{\text{corr}} = W * 1,20$$

$$W_{\text{corr}} = 8\,490,21 \text{ [N]} * (1,2) = 10\,188,25 \text{ [N]}$$

Se van a considerar 4 columnas de soporte, por lo tanto la fuerza para cada una.

$$P_c = \frac{W_{\text{corr}}}{4} \quad \text{[Ec. 5. 130]}$$

$$P_c = \frac{10\,188,25 \text{ [N]}}{4} = 2\,547,1 \text{ [N]}$$

Se determina un perfil cuadrado que se escogerá en función del radio de giro.

Las relaciones son las siguientes [39]:

$$C_c \leq \frac{L_e}{r} \leq \frac{L_e}{r_{\text{máx}}} \quad [\text{Ec. 5. 131}]$$

Los valores de C_c se calcula con la ecuación y el valor de la relación máxima es de 200 [39].

$$C_c = \pi \sqrt{\frac{2E_{A36}}{\sigma_{y-A36}}} \quad [\text{Ec. 5. 132}]$$

$$\frac{L_e}{r_{\text{máx}}} = 200 \quad [\text{Ec. 5. 133}]$$

$$\pi \sqrt{\frac{2E_{A36}}{\sigma_{y-A36}}} \leq \frac{L_e}{r} \leq 200 \quad [\text{Ec. 5. 134}]$$

El perfil será de acero estructural A-36, por lo que sus propiedades mecánicas se detallan en la Tabla 5.19.

La longitud efectiva L_e se determina mediante el producto del factor de longitud efectiva ($K=2$ tomado de la Figura 5.12), por la longitud de la columna, cuyo valor es de 128 [mm], como se observa en la Figura 5.20:

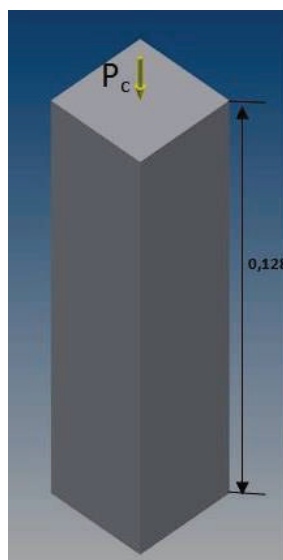


Figura 5. 20 Columna

Fuente: Propia

$$L_e = K \cdot L \quad \text{Siendo } K=2 \quad [\text{Ec. 5. 135}]$$

$$L_e = (2) * 128 \text{ [mm]}$$

$$L_e = 256 \text{ [mm]}$$

Mediante el radio de giro se escogerá el perfil a usar:

$$r \geq \frac{L_e}{200} = \frac{256 \text{ [mm]}}{200} = 1,28 \text{ [mm]}$$

Se selecciona el perfil estructural cuadrado 40x40x2 [mm] del ANEXO 5, con un radio de giro $r=15,4$ [mm], y un área $A= 294$ [mm²].

De la Ecuación 5.132 se despeja el esfuerzo crítico y se calcula:

$$\sigma_{\text{crít-A36}} = \frac{\pi^2 * 2 * 200 \text{ [GPa]} * 1000}{(256 \text{ [mm]}/15,4 \text{ [mm]})^2}$$

$$\sigma_{\text{crít-A36}} = 14 \ 286,3 \text{ [MPa]}$$

Se determina el esfuerzo permisible expresado por:

$$\sigma_{\text{perm}} = \frac{P_c}{A} \quad [\text{Ec. 5. 136}]$$

$$\sigma_{\text{perm}} = \frac{2 \ 547,1 \text{ [N]}}{294 \text{ [mm}^2\text{]}} = 8,66 \text{ [MPa]}$$

El esfuerzo crítico es mayor al esfuerzo permisible, lo que cumple con las condiciones exigidas por la estructura, dando como resultado el perfil tubular cuadrado de dimensiones **40x40x2 [mm]**.

b) Perfil Horizontal

Se tienen como datos para su selección los siguientes:

- longitud total del lado del perfil: 929,14 [mm] = 0,93 [m]
- peso total distribuido: 10 188,25 [N]
- peso por cada perfil: 2 547,06 [N]
- carga distribuida para cada perfil: 2 738,78 [N/m]
- factor de seguridad: 2

En la Figura 5.21 se tiene el Diagrama de Corte y Momento del Soporte Horizontal:

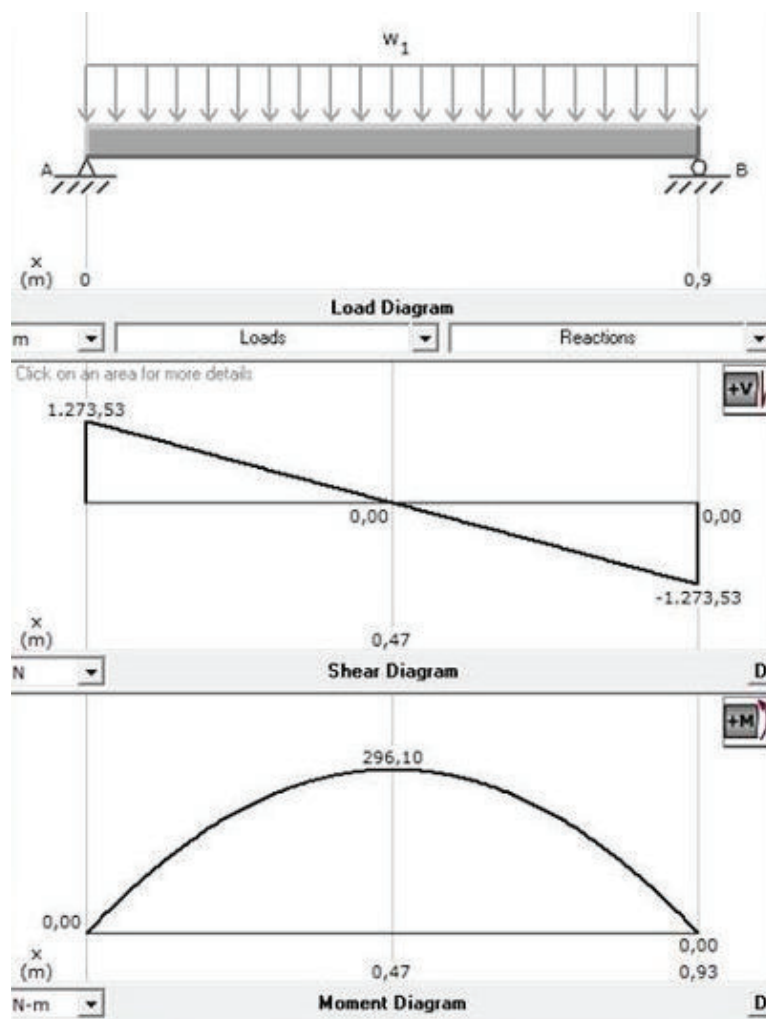


Figura 5. 21 Diagrama de Corte y Momento de la Estructura Soporte Horizontal

Fuente: Propia

El momento máximo es de 296,10 [N-m], 30,19 [kg-m], o 3 019,4 [kg-cm].

$$\sigma_{\text{perm}} = \frac{M \cdot c}{I_{xx}} = \frac{M}{S_{xx}} \leq \sigma_{\text{máx}} = \frac{S_y}{F.S.} \quad [\text{Ec. 5. 137}]$$

$$\sigma_{\text{perm}} = \sigma_{\text{máx}} = \frac{S_y}{F.S.} \quad [\text{Ec. 5. 138}]$$

De la Ecuación 5.138 se tiene:

$$\sigma_{\text{perm}} = \sigma_{\text{máx}} = \frac{2\,549[\text{kg}/\text{cm}^2]}{2} = 1274,5 [\text{kg}/\text{cm}^2]$$

De la Ecuación 5.137:

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{M. (F. S)}{S_{xx}}$$

$$S_{xx} = \frac{M. (F. S)}{\sigma_{\text{máx}}} = \frac{3\,019,4 \text{ [kg. cm]} * (2)}{1274,5 \text{ [kg/cm}^2\text{]}}$$

$$S_{xx} = 4,74 \text{ [cm}^3\text{]}$$

De acuerdo al valor de S_{xx} **4,74 [cm³]**, determina el perfil estructural en L con S_{xx} **5,35 [cm³]** con dimensiones **60x60x6 [mm]**, que existe en el mercado local.

5.2.12 DISEÑO Y SELECCIÓN DE ESTRUCTURAS DEL SOPORTE DE TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO

La estructura que sostiene al sistema de transmisión de movimiento se observa en la Figura 5.22 con sus respectivos componentes:

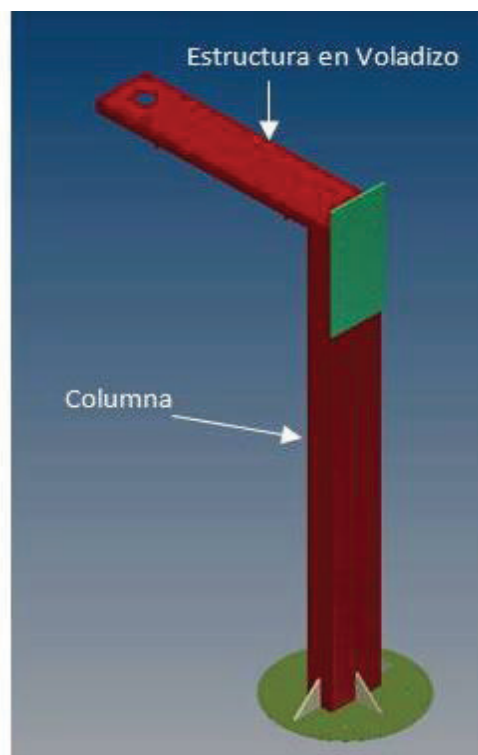


Figura 5. 22 Componentes de la estructura que sostiene el Sistema de Transmisión de movimiento

Fuente: Propia

Se diseñará y calculará la estructura en voladizo, de la Figura 5.23, y escoger el perfil adecuado que soporte el peso estimado detallado en la Tabla 5.33:

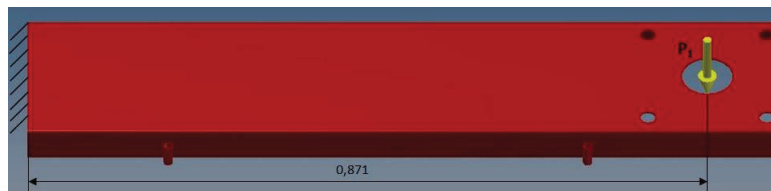


Figura 5. 23 Estructura en Voladizo del Soporte del sistema de transmisión de movimiento

Fuente: Propia

<i>Descripción de fuerzas actuantes en voladizo</i>	<i>Peso unitario [kg]</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Peso total [kg]</i>
Rodamiento	5,00	1	5,00
Cadena	7,60	0,5	3,80
Rueda	14,54	1	14,54
TOTAL			23,34

Tabla 5. 33 Masa de los elementos que contiene el bastidor o estructura soporte

Fuente: Propia

Se tiene como datos para su selección los siguientes parámetros:

- longitud total entre el empotramiento y la carga puntual: 871 [mm]
- fuerzas puntuales: 23,34 [kg], considerando un 20% más en el peso
27,96 [kg]= 274 [N]
- factor de seguridad: 4

Por seguridad se diseñará el perfil con un factor de 4. El momento máximo es de 238,38 [N-m] (24,31 [kg-m] o 2 430,8 [kg-cm]) por lo que se puede seleccionar el perfil horizontal adecuado, con un factor de seguridad de 3, pues todo diseño debe tener un factor seguridad mayor a 2.

$$\sigma_{\text{perm}} = \frac{M \cdot c}{I_{xx}} = \frac{M}{S_{xx}} \leq \sigma_{\text{máx}} = \frac{S_y}{F.S.} \quad [\text{Ec. 5. 139}]$$

$$\sigma_{\text{perm}} = \sigma_{\text{máx}} = \frac{S_y}{F.S.} \quad [\text{Ec. 5. 140}]$$

De la Ecuación 5.140 se tiene:

$$\sigma_{\text{perm}} = \sigma_{\text{máx}} = \frac{2549 \text{ [kg/cm}^2\text{]}}{4} = 637,25 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$$

En la Figura 5.24 se determina el diagrama de corte y momento de la estructura en voladizo, elemento que es parte del bastidor.

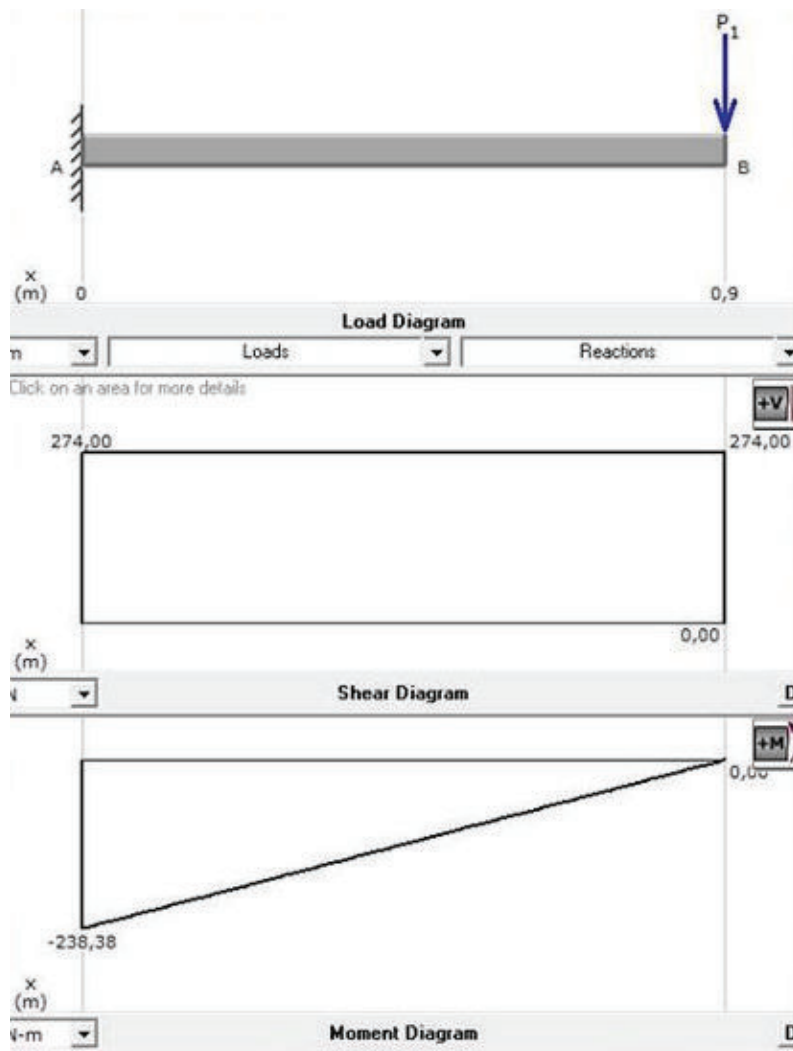


Figura 5. 24 Diagrama de Corte y Momento del voladizo del Bastidor

Fuente: Propia

De la Ecuación 5.139 [27]:

$$\sigma_{\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}} = \frac{M. (F. S)}{S_{xx}}$$

$$S_{xx} = \frac{M. (F. S)}{\sigma_{\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}}} = \frac{2\,430,8 \text{ [kg. cm]} * (4)}{637,25 \text{ [kg/cm}^2\text{]}}$$

$$S_{xx} = 15,26 \text{ [cm}^3\text{]}$$

De acuerdo al valor de S_{xx} 15,26 [cm³], se establece el perfil estructural tipo correa G, con las dimensiones requeridas para el diseño, se tomará un valor de S_{xx} mayor al límite requerido, escogiendo el S_{xx} 35,60 [cm³] con dimensiones del perfil correa tipo **G 200 x 50 x 15 x 2 [mm]**.

5.2.13 CÁLCULO Y SELECCIÓN DE PERNOS

La selección de pernos será para:

- Motorreductor con la placa soporte
- Soporte base o bastidor
- Agarradera con la paleta

a) Pernos del Motor-reductor con Placa Soporte

Los pernos que sostienen el motor-reductor cumplen diferentes funciones, donde los pernos superiores absorben toda la carga del momento flector y los pernos inferiores absorben la carga del cortante directo. Para la carga F se aplicará el peso total obtenido en la Tabla 5.34:

Descripción de fuerzas en columna	Peso unitario [kg]	Cantidad	Peso total [kg]
Motorreductor	30,00	1	30,00
Piñón	0,68	1	0,68
Cadena	7,60	0,5	3,80
TOTAL			34,48

Tabla 5. 34 Peso total de las fuerzas en la Columna del Bastidor

Fuente: Propia

Se tiene por tanto un peso total que posee la columna que contiene el motor-reductor, obtenida de la Tabla 5.34:

$$F = 34,48 \text{ [kg]} = 338 \text{ [N]}$$

En las Figuras 5.25 y 5.26 se tienen el DCL del motor-reductor y las dimensiones del motor-reductor (ANEXO 9), respectivamente:

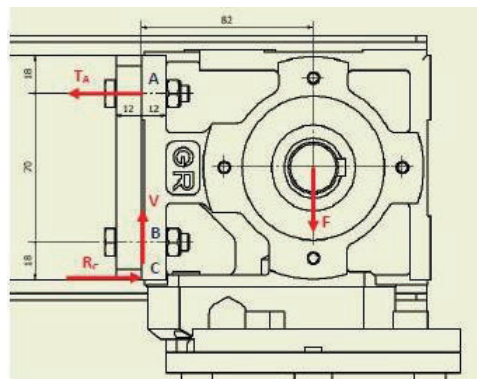


Figura 5. 25 Motor-reductor 2HP

Fuente: Catálogo de COMREPSA

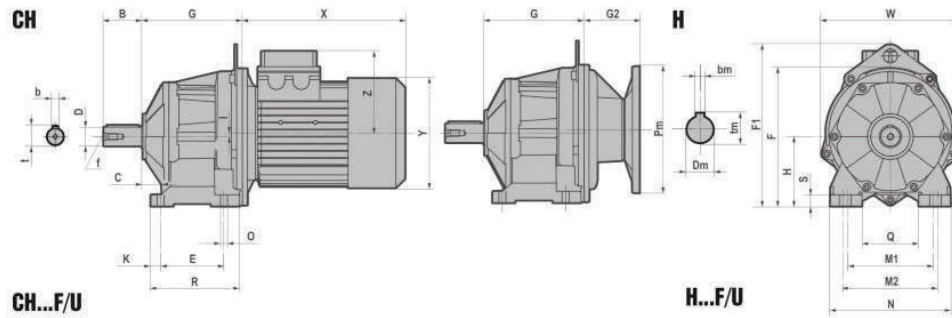


Figura 5. 26 Dimensiones Motor-reductor 2HP

Fuente: Catálogo de COMREPSA

Calculo de carga para cada perno, cuyas distancias CO y AC se escogen del catálogo COMREPSA, Anexo 9:

$$\sum M_c = 0 \quad [\text{Ec. 5. 141}]$$

$$F \cdot CO = T_A \cdot AC$$

$$T_A = \frac{110 \text{ [mm]}}{120 \text{ [mm]}} \cdot 338 \text{ [N]}$$

$$T_A = 310 \text{ [N]}$$

Para cada perno superior se tiene:

$$\frac{T_A}{2} = \frac{310 \text{ [N]}}{2} = 155 \text{ [N]}$$

$$\sum F_y = 0 \quad [\text{Ec. 5. 142}]$$

$$V = F = 338 \text{ [N]}$$

Para cada perno inferior se tiene:

$$\frac{V}{2} = \frac{338 \text{ [N]}}{2} = 169 \text{ [N]}$$

La selección del perno será: M12x1,25 de grado métrico 4,6

- Diseño estático de pernos superiores

El perno superior está sometido a tensión simple, por lo que se aplicará la teoría de falla [28].

- *Tensión Simple:*

E 207 [GPa], para aceros de bajo carbono

$$C = \frac{k_b}{k_b + k_m} \quad [\text{Ec. 5. 143}]$$

Dónde:

C Constante de la junta empernada

k_b Constante de rigidez del perno, [N/m]

k_m Constante de rigidez de los elementos, [N/m]

Rigidez de pernos

$$k_b = \frac{A \cdot E}{l} = \frac{\pi \phi^2 E}{4l} \quad [\text{Ec. 5. 144}]$$

Dónde:

ϕ Diámetro del perno, [m]

E Módulo de elasticidad, [Pa]

L Longitud del perno, 0,04 [m]

$$k_b = \frac{A \cdot E}{l} = \frac{\pi \phi^2 E}{4l}$$

$$k_b = \frac{\pi \cdot (0,012 \text{ [m]})^2 \cdot (207 \times 10^9 \text{ [Pa]})}{4 * (0,065 \text{ [m]})}$$

$$\mathbf{k_b = 3,60 \times 10^8 \text{ [N/m]}}$$

Rigidez de elementos

Al ser elementos idénticos

$$k_m = \frac{\pi d E}{2 \ln \left[5 \frac{(1+0.5\phi)}{(1+2.5\phi)} \right]} \quad \text{al ser los elementos idénticos} \quad [\text{Ec. 5. 145}]$$

$$k_m = \frac{\pi \cdot (0,012 \text{ [m]}) \cdot (207 \times 10^9 \text{ [Pa]})}{2 \ln \left[5 \frac{(0,065 \text{ [m]} + 0.5 \cdot (0,012 \text{ [m]}))}{(0,065 \text{ [m]} + 2.5 \cdot (0,012 \text{ [m]}))} \right]}$$

$$\mathbf{k_m = 2,59 \times 10^9 \text{ [N/m]}}$$

$$C = \frac{k_b}{k_b + k_m} \quad [\text{Ec. 5. 146}]$$

$$C = \frac{3,60 \times 10^8 \text{ [N/m]}}{3,60 \times 10^8 \text{ [N/m]} + 2,98 \times 10^9 \text{ [N/m]}}$$

$$C = 0,108$$

Del ANEXO 6 y 7 se tienen los siguientes datos:

Resistencia a la prueba $S_p = 225 \text{ [MPa]}$

Resistencia a la tensión $S_{ut} = 400 \text{ [MPa]}$

Resistencia de fluencia $S_y = 240 \text{ [MPa]}$

Área de esfuerzo de tensión $A_t = 92,1 \text{ [mm}^2\text{]}$

Cálculo de la carga de prueba:

$$F_p = A_t \cdot S_p \quad [\text{Ec. 5. 147}]$$

$$F_p = 92,1 \text{ [mm}^2\text{]} * 225 \cdot 10^6 \text{ [Pa]} * \frac{1 \text{ [m}^2\text{]}}{1000^2 \text{ [mm}^2\text{]}}$$

$$F_p = 20\,722,5 \text{ [N]}$$

Se debe considerar la ecuación de la precarga F_i que están dentro del siguiente intervalo [27]:

$$0,6F_p \leq F_i \leq 0,9F_p$$

$$12\,433,5 \text{ [N]} \leq F_i \leq 18\,650,3 \text{ [N]}$$

Se selecciona la carga mayor siendo F_i de valor 18 650,3 [N].

Se obtiene el siguiente factor de seguridad:

$$FS = \frac{F_p - F_i}{C \cdot P} \quad [\text{Ec. 5. 148}]$$

$$FS = \frac{20\,722,5 \text{ [N]} - 18\,650,3 \text{ [N]}}{0,108 \cdot (155 \text{ [N]})}$$

$$FS = 123$$

Este factor de seguridad elevado indica que los pernos escogidos cumplen con soportar fácilmente el peso del motor reductor, cadena y piñón sometidos a tensión simple.

- Diseño estático de pernos inferiores

Los pernos inferiores están sometidos a corte directo, aplastamiento y flexión; por lo que analiza el factor de diseño para cada caso [28].

- *Corte Directo*

Esfuerzo de corte:

$$\tau_{xy} = \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot \phi^2} \quad [\text{Ec. 5. 149}]$$

$$\tau_{xy} = \frac{(4) \cdot 169 \text{ [N]}}{\pi \cdot (0,012 \text{ [m]})^2}$$

$$\tau_{xy} = 1,5 \text{ [MPa]}$$

El factor de seguridad es:

$$FS = \frac{0,577 \cdot S_y}{\tau_{xy}} \quad [\text{Ec. 5. 150}]$$

$$FS = \frac{0,577(240 \text{ [MPa]})}{1,5 \text{ [MPa]}}$$

$$FS = 91,2$$

- *Aplastamiento*

Donde t es el espesor de la placa más delgada, Ecuación 5.151 [28]:

$$\sigma_x = \frac{F}{t \cdot \phi} \quad [\text{Ec. 5. 151}]$$

$$\sigma_x = \frac{169 \text{ [N]}}{(0,008 \text{ [m]}) \cdot (0,012 \text{ [m]})}$$

$$\sigma_x = 1,76 \text{ [MPa]}$$

El factor de seguridad que se tiene es [28]:

$$FS = \frac{S_y}{\sigma_x} \quad [\text{Ec. 5. 152}]$$

$$FS = \frac{240 \text{ [MPa]}}{1,76 \text{ [MPa]}}$$

$$FS = 136$$

- *Flexión*

Donde t es el espesor de la placa más delgada [28]:

$$\sigma_x = \frac{32 \cdot F \cdot t}{\pi \cdot \phi^3} \quad [\text{Ec. 5. 153}]$$

$$\sigma_x = \frac{32 \cdot (169 \text{ [N]}) \cdot (0,008 \text{ [m]})}{\pi \cdot (0,012 \text{ [m]})^3}$$

$$\sigma_x = 7,97 \text{ [MPa]}$$

El factor de seguridad es [28]:

$$FS = \frac{S_y}{\sigma_x} \quad [\text{Ec. 5. 154}]$$

$$FS = \frac{240 \text{ [MPa]}}{7,97 \text{ [MPa]}}$$

$$FS = 30,11$$

Del análisis del Diseño Estático se obtienen los factores de seguridad con valores elevados, por tanto, los pernos elegidos son los correctos y no fallarán.

b) Pernos para la base soporte del Bastidor

La base del soporte está constituida por una placa soldada al pie de la columna y empernada a los cimientos. Normalmente se incorpora a la parte superior de los cimientos una segunda chapa de acero de mayor espesor, tal como se ilustra en la Figura 5.27. Ayuda tanto a localizar el pie del pilar como a transmitir la carga en el material menos resistente (hormigón o albañilería) de los cimientos. La placa siempre se une al pilar mediante soldaduras en ángulo. La columna únicamente soporta cargas de compresión, por lo que no hace falta verificar las soldaduras.

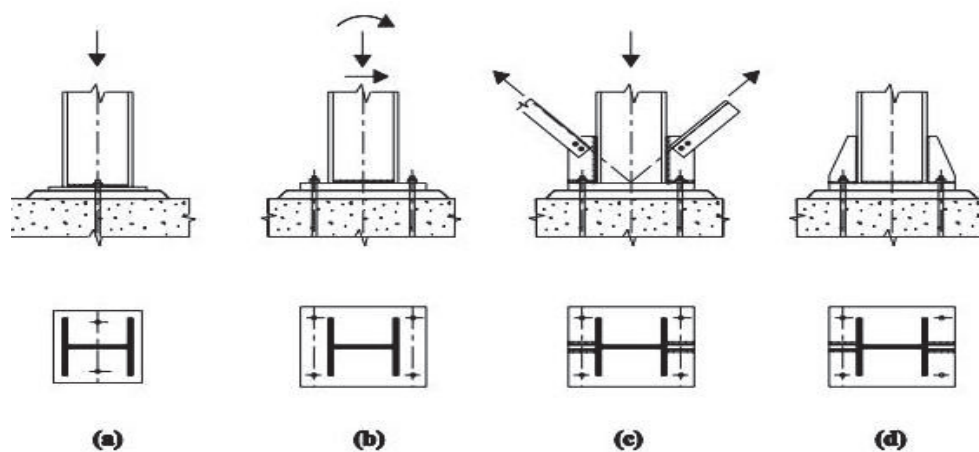


Figura 5. 27 Estructura anclada al Piso

Fuente: UCL, Bases de Pilares, pág 226

En la Tabla 5.35 se tiene el peso total de los elementos que soporta la columna para su diseño:

Descripción de fuerzas en columna	Peso unitario [kg]	Cantidad	Peso total [kg]
Rodamiento	5,00	1	5,00
Cadena	7,60	1	3,80
Rueda	14,54	1	14,54
Motorreductor	30,00	1	30,00
Piñón	0,68	1	0,68
TOTAL			57,82

Tabla 5. 35 Masa total de los elementos que están en la columna

Fuente: Propia

$$F = 57,82 \text{ [kg]} = 566,64 \text{ [N]}$$

$$\sigma_x = \frac{F}{t \cdot \phi} \quad [\text{Ec. 5. 155}]$$

La selección del perno será: M12x1,25 de grado métrico 4,6.

En los pernos de la base se tienen esfuerzos de aplastamiento por lo que se somete a las siguientes ecuaciones.

- *Aplastamiento*

Esfuerzo de aplastamiento donde el valor de F pertenece al peso total que soporta la base, y t es el espesor de la placa más delgada:

$$\sigma_x = \frac{566,64 \text{ [N]}}{(0,010 \text{ [m]}) \cdot (0,012 \text{ [m]})}$$

$$\sigma_x = 4,72 \text{ [MPa]}$$

El factor de seguridad es [27]:

$$FS = \frac{S_y}{\sigma_x} \quad [\text{Ec. 5. 156}]$$

$$FS = \frac{240 \text{ [MPa]}}{4,72 \text{ [MPa]}}$$

$$FS = 50,85$$

Obteniéndose un factor de seguridad alto, por lo que, no se calculará mediante diseño dinámico; la elección del perno es adecuada.

c) Pernos para sostener la paleta que contiene la agarradera

La fuerza seleccionada será la del empuje total para la paleta que soporta la mayor fuerza, en este caso es la paleta 1, por tanto el perno escogido para esta paleta, también lo será para las 2 y 3.

$F_t = 1\,821,84$ [N], fuerza total, al usar 6 pernos para sostener cada paleta, da:

$F_{pp} = 303,64$ [N], fuerza para cada perno

Se escogerá el perno 5 x 0,8 con grado métrico 4,6.

El perno de la agarradera con cada paleta está sometido a flexión y a corte, por lo tanto se aplicará las siguientes ecuaciones:

- *Flexión*

Esfuerzo de flexión, donde t es el espesor de la placa más delgada [27]:

$$\sigma_x = \frac{32 \cdot F \cdot t}{\pi \cdot \phi^3} \quad [\text{Ec. 5. 157}]$$

$$\sigma_x = \frac{32 \cdot (303,64 \text{ [N]}) \cdot (0,002 \text{ [m]})}{\pi \cdot (0,005 \text{ [m]})^3}$$

$$\sigma_x = 49,5 \text{ [MPa]}$$

El factor de seguridad que se tiene es [27]:

$$FS = \frac{S_y}{\sigma_x} \quad [\text{Ec. 5. 158}]$$

$$FS = \frac{240 \text{ [MPa]}}{49,51 \text{ [MPa]}}$$

$$FS = 4,84$$

- *Corte Directo*

Esfuerzo de corte [28]:

$$\tau_{xy} = \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot \phi^2} \quad [\text{Ec. 5. 159}]$$

$$\tau_{xy} = \frac{(4) \cdot (303,64 \text{ [N]})}{\pi \cdot (0,005 \text{ [m]})^2}$$

$$\tau_{xy} = 15,46 \text{ [MPa]}$$

El factor de seguridad que se tiene es [28]:

$$FS = \frac{0,577 \cdot S_y}{\tau_{xy}} \quad [\text{Ec. 5. 160}]$$

$$FS = \frac{0,577(240 \text{ [MPa]})}{15,47 \text{ [MPa]}}$$

$$FS = 8,95$$

El cálculo solamente se realiza para diseño estático debido a que las rpm son bajas y porque el factor de seguridad es mayor a 2.

5.2.14 CÁLCULO Y SELECCIÓN DE SOLDADURAS

Se realizará el análisis de las soldaduras indicadas en el literal 3.1.4.6, cuyos cálculos se realizan a continuación:

a) Soldadura de la paleta a la agarradera

La soldadura de la paleta a la agarradera es con electrodo ER308L de diámetro 1/8", debido a que se va a soldar acero inoxidable AISI 304. La soldadura se hará de tipo ángulo. Para los aceros inoxidables se usará el electrodo marca Indura 308L, del ANEXO 10.

b) Soldadura entre columna soporte y base del tanque

La fuerza que se ejerce en las columnas, es la fuerza que la soldadura debe soportar entre la columna y la base del tanque, es decir se considerarán estas reacciones como las fuerzas de diseño de soldadura.

Se debe emplear la siguiente ecuación del esfuerzo cortante generado sobre la garganta del cordón de soldadura [27]:

$$\tau_u = \frac{F_c}{A_{sol}} \quad [\text{Ec. 5. 161}]$$

τ_u Esfuerzo cortante sobre garganta, [MPa]

F_c Fuerza generada en cada columna, [N]

A_s Área de soldadura, [mm²]

De acuerdo a la solución mediante la energía de distorsión se tienen las siguientes Ecuaciones 5.162, 5.163 y 5.164 [27]:

$$FS = \frac{S_{yc}}{\tau_u} \quad [\text{Ec. 5. 162}]$$

Para Electrodo E6011:

$$S_{ut} = 60[\text{ksi}]$$

$$S_{yt} = 0,75(S_{ut}) \quad [\text{Ec. 5. 163}]$$

$$S_{yt} = 0,75(60)$$

$$S_{yt} = 45 [\text{ksi}]$$

$$S_{yc} = 0,6(S_{yt}) \quad [\text{Ec. 5. 164}]$$

$$S_{yc} = 0,6(45)$$

$$S_{yc} = 27 [\text{ksi}] = 186 [\text{MPa}]$$

Dónde:

S_{ut} Resistencia última a la tensión [ksi]

S_{yt} Resistencia de fluencia [ksi]

S_{yc} Resistencia al corte [ksi]

FS Factor de seguridad, se usará de valor 3

$$A_{\text{sold}} = \frac{FS * P_c}{S_{yc}} \quad [\text{Ec. 5. 165}]$$

$$A_{\text{sold}} = \frac{3 * 2\,547,1[\text{N}]}{186[\text{MPa}]}$$

$$A_{\text{sold}} = 41[\text{mm}^2]$$

La longitud del cordón de soldadura es de 80[mm] de cada perfil usado para las columnas soportes del tanque [30]:

$$l_c = 80 [\text{mm}]$$

El valor de la distancia de la garganta [30]:

$$g_{\text{sold}} = \frac{A_{\text{sold}}}{l_c} \quad [\text{Ec. 5. 166}]$$

$$g_{\text{sold}} = \frac{41 \text{ [mm}^2\text{]}}{80 \text{ [mm]}}$$

$$g_{\text{sold}} = 0,51 \text{ [mm]}$$

Por tanto, el filete de soldadura se determina con la siguiente Ecuación 5.167 [30]:

$$\zeta = \frac{g_{\text{sold}}}{\cos(45^\circ)} \quad [\text{Ec. 5. 167}]$$

ζ Filete de soldadura, [mm]

$$\zeta = \frac{0,51 \text{ [mm]}}{\cos(45^\circ)}$$

$$\zeta = \mathbf{0,72 \text{ [mm]}}$$

Entonces, la unión soldada entre la columna y la placa base, tendrá un valor de filete de 0,72 [mm] y una longitud de 80 [mm].

5.2.15 TIEMPO DE SECADO

El tiempo de secado se calculará para cada piso o nivel, empleando la Ecuación 2.4. Como un ejemplo de cálculo se realiza para el primer piso [18]:

$$t_s = \frac{m_{\text{cs}}}{A_{\text{tc}} R_c} \left(\varphi_i - \varphi_c + \varphi_c \ln \frac{\varphi_c}{\varphi_f} \right) \quad [\text{Ec. 2.4}]$$

Dónde:

t_s	Tiempo de secado, [s]
m_{cs}	Masa de café seco, [kg]
A_{tc}	Área total de café, [m ²]
R_c	Velocidad de secado en período constante, [kg/m ² .s]
φ_i	Humedad inicial del café, [%]
φ_c	Humedad crítica del café, [%]
φ_f	Humedad final del café, [%]

La Tabla 5.36 presenta los datos con las propiedades de agua, aire y grano café para el cálculo de las variables requeridas para determinar el tiempo de secado:

Grano de café [43]		
Diámetro equivalente de grano	ϕ_{eq}	0,0064 [m]
Densidad del café al 23%	ρ_c	442,2 [kg/m ³]
Masa del café más seco al 23%	m_{cs}	145,9 [kg]
Densidad del café al 18%	ρ_c	427,8 [kg/m ³]
Masa del café más seco al 18%	m_{cs}	141,2 [kg]
Densidad del café al 11%	ρ_c	391,2 [kg/m ³]
Masa del café más seco al 11%	m_{cs}	129,1 [kg]
Porosidad del lecho	ε	0,51
Volumen del cilindro con café	V_c	0,33 [m ³]
Agua [12]		
Entalpía de vaporización a 50°C	h_{fg}	2 382,7 [kJ/kg]
Aire de secado a 50°C [12]		
Calor específico del aire	c_p	1,0079 [kJ/kg.K]
Coefficiente de conducción del aire	K_a	0,028 [W/m ² .K]
Densidad del aire de secado	ρ_a	0,961 [kg/m ³]
Viscosidad dinámica del aire	μ_a	1,95x10 ⁻⁵ [N.s/ m ²]
Número de Prandtl	Pr	0,70378

Tabla 5. 36 Datos para cálculo de variables energéticos

Fuente: Propia

a) Cálculo del área total del grano

De acuerdo a la Ecuación 5.168 se tiene el área total de grano [18]:

$$A_{tc} = \pi N_c \phi_{eq}^2 \quad [\text{Ec. 5. 168}]$$

El cálculo del número de granos relaciona el volumen unitario de grano y el volumen total sólo de café; Ecuaciones 5.169 y 5.170 [18]:

$$V_{uc} = \frac{\pi \cdot \phi_{eq}^3}{6} \quad [\text{Ec. 5. 169}]$$

$$V_{uc} = \frac{\pi \cdot (0,0064 \text{ [m]})^3}{6} = 1,37 \times 10^{-7} \text{ [m}^3\text{]}$$

$$V_{tc} = V_s(1 - \varepsilon) \quad [\text{Ec. 5. 170}]$$

$$V_{tc} = 0,33 \text{ [m}^3\text{]}(1 - 0,51) = 0,1617 \text{ [m}^3\text{]}$$

El número de granos de café se establece mediante la Ecuación 5.171 [18]:

$$N_c = \frac{V_{tc}}{V_{uc}} \quad [\text{Ec. 5. 171}]$$

$$N_c = \frac{0,1617 \text{ [m}^3\text{]}}{1,37 \times 10^{-7} \text{ [m}^3\text{]}} = 1\,178\,071 \text{ [granos de café]}$$

Por lo tanto:

$$A_{tc} = \pi * (1\,178\,071 \text{ granos})(0,0064 \text{ [m]})^2 = 151,59 \text{ [m}^2\text{]}$$

b) Cálculo de la Velocidad R_c

A partir de la Ecuación 5.172 se determina la Velocidad R_c [18]:

$$R_c = \frac{h \cdot (T_{bs} - T_{abh})}{h_{fg}} \quad [\text{Ec. 5. 172}]$$

El coeficiente de convección se determina a través de la Ecuación 5.173 [18]:

$$h = \frac{K \cdot Nu}{\phi_{eq}} \quad [\text{Ec. 5. 173}]$$

El número de Nusselt se determina a partir de la Ecuación 5.174 [18]:

$$Nu = 1,17 \cdot Re^{0,585} \cdot Pr^{1/3} \quad [\text{Ec. 5. 174}]$$

El número Prandtl del aire es a 50°C se determina por Tablas Termodinámicas, y el valor de Reynolds se calculará a partir de la Ecuación 5.175 [18]:

$$Re = \frac{\phi_{eq} V_s \rho_a}{\mu_a} \quad [\text{Ec. 5. 175}]$$

$$Re = \frac{(0,0064 \text{ [m]}) * (1,5 \text{ [m/s]}) * (0,961 \text{ [kg/m}^3\text{]})}{1,95 \times 10^{-5} \text{ [N.s/m}^2\text{]}} = 473,11$$

$$Nu = 1,17 \cdot (473,11)^{0,585} \cdot (0,70378)^{1/3} = 38,21$$

$$h = \frac{0,028 \text{ [W/mK]} * (38,21)}{0,0064 \text{ [m]}} = 167,17 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

$$R_c = \frac{167,17 \text{ [W/m}^2\text{K]} * (50[^\circ\text{C]} - 23,40[^\circ\text{C}])}{2 \ 382,7 \times 10^3 \text{ [J/kg]}} = 0,0019 \text{ [kg/m}^2\text{s]}$$

Con los datos ya obtenidos se va a determinar el tiempo con la Ecuación 2.4:

$$t_s = \frac{145,9 \text{ [kg]}}{(151,59 \text{ [m}^2]) * (0,0019 \text{ [kg/m}^2\text{s]})} * \left(30 - 35 + 35 \ln \frac{35}{23}\right)$$

$$t_s = 5000,58 \text{ [seg]} = 1,39 \text{ [hr]}$$

Las siguientes Tablas 5.37, 5.38 y 5.39 indican los tiempos obtenidos para la disminución de humedad en cada piso:

- Para disminuir la humedad del café del 30% al 23%, proceso que ocurre en el primer piso se requiere teóricamente de 1 hora 24min, según la Tabla 5.37; para los dos pisos restantes se debe realizar el mismo proceso con algunos datos que difieren.
- Para disminuir la humedad del café del 23% al 18%, proceso que ocurre en el segundo piso se requiere teóricamente de 1 hora 48min, según la Tabla 5.38.
- Para disminuir la humedad del café del 18% al 11%, proceso que ocurre en el segundo piso se requiere teóricamente de 2 horas 59min, según la Tabla 5.39.

tiempo 1er piso: 1h24min		
tiempo de secado: t_s	(seg)	5000,58
masa del café seco: m_{cs}	(kg)	145,90
diámetro del grano: \varnothing_{eq}	(m)	0,0064
volumen unitario del café: V_{uc}	(m ³)	1,37258E-07
porosidad del lecho por revista: ε	---	0,51
volumen total del cilindro: V_s	(m ³)	0,33
Volumen total del café: V_{tc}	(m ³)	0,1617
Número de cafés: N_c	---	1 178 071
área total del grano de café: A_{tc}	(m ²)	151,59
densidad del aire: ρ_a	(kg/m ³)	0,96
velocidad de secado por la curva: v	(m/s)	1,5
viscosidad del aire: μ_a	(N.s/m ²)	0,0000195
Reynolds: Re	---	473,11
Prantlz a 50°: Pr	---	0,70378
Nusselt: Nu	---	38,21
Constante: K	(W/m ² .K)	0,028
Entalpía: h	(kJ/kg)	167,17
temperatura para el secado T_s	(°C)	50,00
temperatura ambiente de bulbo húmedo T_{abh}	(°C)	23,40
Entalpía: h_{fg}	(kJ/kg)	2382,7
Velocidad de secado: R_c	(kg/m ² s)	0,0019
humedad critica φ_c	(%)	35
humedad final φ_f	(%)	23
humedad inicial φ_i	(%)	30

Tabla 5. 37 Tiempo de Reducción de Humedad en el Primer Piso

Fuente: Propia

tiempo 2do piso: 1h48min		
tiempo de secado: t_s	(seg)	5625,80
masa del café seco: m_{cs}	(kg)	141,2
diámetro del grano: \varnothing_{eq}	(m)	0,0064
volumen unitario del café: V_{uc}	(m ³)	1,37258E-07
porosidad del lecho por revista: ε	---	0,51
volumen total del cilindro: V_s	(m ³)	0,33
Volumen total del café: V_{tc}	(m ³)	0,16
Número de cafés: N_c	---	1 178 071
área total del grano de café: A_{tc}	(m ²)	151,59
densidad del aire: ρ_a	(kg/m ³)	0,961
velocidad de secado por la curva: v	(m/s)	1,5
viscosidad del aire: μ_a	(N.s/m ²)	0,0000195
Reynolds: Re	---	473,11
Nusselt: Nu	---	38,21
Entalpía: h	(kJ/kg)	167,17
temperatura para el secado T_s	(°C)	50,00
temperatura ambiente de bulbo húmedo T_{abh}	(°C)	23,40
Entalpía: h_{fg}	(kJ/kg)	2 382,7
Velocidad de secado: R_c	(kg/m ² s)	0,0019
humedad crítica φ_c	(%)	35
humedad final φ_f	(%)	18
humedad inicial φ_i	(%)	23

Tabla 5. 38 Tiempo de Reducción de Humedad en el Segundo Piso

Fuente: Propia

tiempo 3er piso: 2h59min		
tiempo de secado: t_s	(seg)	10728,19
masa del café seco: m_{cs}	(kg)	129,1
diámetro del grano: \varnothing_{eq}	(m)	0,0064
volumen unitario del café: V_{uc}	(m^3)	1,37258E-07
porosidad del lecho por revista: ε	---	0,51
volumen total del cilindro: V_s	(m^3)	0,33
Volumen total del café: V_{tc}	(m^3)	0,16
Número de cafés: N_c	---	1178071
área total del grano de café: A_{tc}	(m^2)	151,59
densidad del aire: ρ_a	(kg/m^3)	0,96
velocidad de secado por la curva: v	(m/s)	1,5
viscosidad del aire: μ_a	($N.s/m^2$)	0,0000195
Reynolds: Re	---	473,11
Prantlz a 50°: Pr	---	0,70378
Nusselt: Nu	---	38,21
Constante: K	($W/m^2.K$)	0,028
Entalpía: h	(kJ/kg)	167,17
temperatura para el secado T_s	(°C)	50,00
temperatura ambiente de bulbo húmedo T_{abh}	(°C)	23,40
Entalpía: h_{fg}	(kJ/kg)	2 382,7
Velocidad de secado: R_c	(kg/m^2s)	0,0019
humedad critica φ_c	(%)	35
humedad final φ_f	(%)	11
humedad inicial φ_i	(%)	18

Tabla 5. 39 Tiempo de Reducción de Humedad en el Tercer Piso

Fuente: Propia

Se tiene un total de 6 horas y 11 minutos sin considerar tiempos muertos como son los de carga, encendido del equipo, cambio de nivel del grano a secar, parada del equipo, descarga, etc.

5.2.16 SELECCIÓN DEL VENTILADOR

Para seleccionar el ventilador se debe tener en cuenta el flujo de masa de aire y la caída de presión en accesorios [16].

- *Flujo másico de vapor de agua*

La cantidad de agua a extraer de la masa de café pergamino por unidad de tiempo [16]:

$$\dot{m}_w = \frac{m_c(\varphi_i - \varphi_f)}{t} \quad [\text{Ec. 5. 176}]$$

Dónde:

\dot{m}_w	Flujo de vapor de agua, [kg/s]
m_c	Masa de café, [kg]
φ_r	Humedad relativa del aire, [%]
t_s	Tiempo de secado, [s]

1er Piso

$$\dot{m}_{1,w} = \frac{153[\text{kg}] * (0,3 - 0,23)}{5000 [\text{s}]} = 0,002 \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]$$

2do Piso

$$\dot{m}_{2,w} = \frac{146[\text{kg}] * (0,23 - 0,18)}{5626 [\text{s}]} = 0,0013 \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]$$

3er Piso

$$\dot{m}_{3,w} = \frac{141[\text{kg}] * (0,18 - 0,11)}{10\,728 [\text{s}]} = 0,0009 \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]$$

Masa total de vapor de agua

$$\dot{m}_{t,w} = 0,0042 \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]$$

- *Flujo másico de aire*

La cantidad de aire necesaria para lograr un secado uniforme se obtiene con la Ecuación 5.177 [16]:

$$\dot{m}_a = \frac{\dot{m}_w \left((C_{pw} * \Delta T_w) + h_{wfg@T_{prom}} \right)}{(C_{pa} * \Delta T_a) * \eta} \quad [\text{Ec. 5. 177}]$$

Dónde:

- \dot{m}_{aire} Flujo de masa de aire, [kg/s]
 C_{pw} Calor específico de vapor de agua, [kJ/kg.K]
 C_{pa} Calor específico del aire, [kJ/kg.K]
 h_{wfg} Entalpía de evaporización del agua, [kJ/kg]
 η Eficiencia de secado de aire

1er Piso

$$\dot{m}_{1,aire} = \frac{0,002 \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right] * \left[1,8723 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg.K}} \right] * 20 \text{ }^\circ\text{C} + 2441,7 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right] \right]}{1,005 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg.K}} \right] * 25 \text{ }^\circ\text{C} * 0,95}$$

$$m_{1,aire} = 0,207 \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]$$

2er Piso

$$\dot{m}_{2,aire} = \frac{0,0013 \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right] * \left[1,8723 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg.K}} \right] * 20 \text{ }^\circ\text{C} + 2441,7 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right] \right]}{1,005 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg.K}} \right] * 25 \text{ }^\circ\text{C} * 0,95}$$

$$m_{2,aire} = 0,135 \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]$$

3er Piso

$$\dot{m}_{3,aire} = \frac{0,0009 \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right] * \left[1,8723 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg.K}} \right] * 20 \text{ }^\circ\text{C} + 2441,7 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right] \right]}{1,005 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg.K}} \right] * 25 \text{ }^\circ\text{C} * 0,95}$$

$$m_{3,aire} = 0,0935 \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]$$

Flujo másico de aire total es:

$$\dot{m}_{t,aire} = 0,4354 \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]$$

a) Caudal de aire de secado

El caudal de aire es el flujo volumétrico de aire para realizar el secado de los granos de café pergamino.

$$Q = \frac{\dot{m}_{t,aire}}{\rho_a} = \frac{0,4354 \text{ [kg/s]}}{0,961 \text{ [kg/m}^3\text{]}} \quad [\text{Ec. 5. 178}]$$

$$Q = 0,453 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right] = 27,2 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{min}} \right]$$

$$Q = 960 \text{ [CFMs]}$$

b) Caída de presión

- *Pérdida en el ducto de aspiración de aire:* usará la Ecuación 5.179 [21, 22]:

$$\Delta Pd = L_D * 0,15 \frac{[\text{inH2O}]}{100 [\text{ft}]} = 50 [\text{cm}] * 0,15 \frac{[\text{inH2O}]}{100 [\text{ft}]} \quad [\text{Ec. 5. 179}]$$

$$\Delta Pd = 19,685 [\text{in}] * \frac{0,15 [\text{inH2O}]}{100 [\text{ft}]} * \frac{1 [\text{ft}]}{12 [\text{in}]}$$

$$\Delta Pd = 0,00246 \text{ [inH2O]}$$

Dónde:

L_D Longitud del ducto de aspiración de aire caliente

- *Pérdida en el ducto de entrada de aire:* usará la Ecuación 5.180 [21, 22]:

$$spv = \left(\frac{v}{4005 [\text{fpm/inH2O}]} \right)^2 = \left(\frac{7 [\text{m/s}]}{4005 [\text{fpm/inH2O}]} \right)^2 \quad [\text{Ec. 5. 180}]$$

$$spv = \left(\frac{1377,95 [\text{fpm}]}{4005 [\text{fpm/inH2O}]} \right)^2$$

$$spv = 0,1184 \text{ [in H2O]}$$

Para la caída de presión en este accesorio se debe tener el producto entre la presión dinámica y el coeficiente C, que depende del diseño de accesorio según la norma SMACNA [21], entonces:

$$\Delta Pacc = spv * \mu = 0,1184 \text{ [in H2O]} * 0,05$$

$$\Delta P_{acc} = 0,006 [inH2O]$$

Dónde:

spv Presión dinámica, [inH₂O]

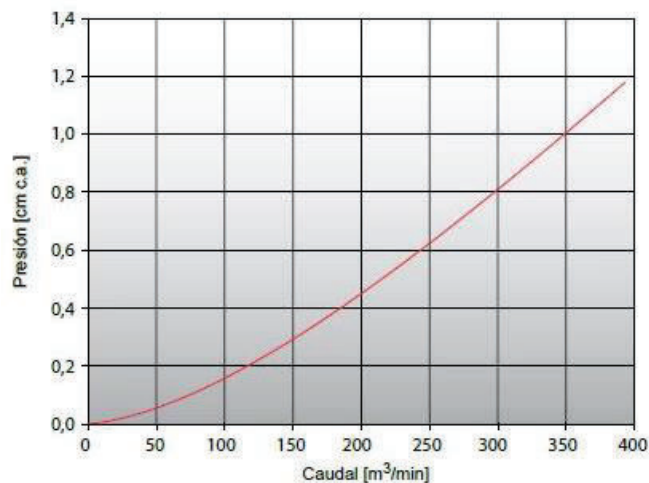
v Velocidad del aire a través del ducto de entrada, [fpm]

μ Coeficiente de pérdidas por fricción de aire, 0,05 por SMACNA.

- *A través de el secador*

Las pérdidas a través del secador se realiza por medio de la curva característica del secador sin carga de la Gráfica 5.3 [9], que al igual al secador de silo de un piso se la debe considerar para el diseño del cualquier tipo de secador, esta gráfica destaca recomendaciones a considerar como: las compuertas internas y externas del secador deben tener un área de al menos 1.5 veces el área de la succión de ventilador, la velocidad del aire en los ductos debe ser menor o igual a 7 m/s, y el área perforada de la malla sobre la que se deposita el café debe ser mayor o igual al 40% [9]. A partir de estas recomendaciones el caudal encontrado es de 30 [m³/min], que también se hará una aproximación a: $\dot{Q} = 50 [m^3/min]$

$$Q = 50 \left[\frac{m^3}{min} \right]$$



Gráfica 5. 3 Pérdida de presión en un secador sin carga

Fuente: Ventiladores para secadores de café; Diagnóstico, Diseño y construcción económica de ventiladores centrífugos, Federación de cafeteros de Colombia, Cenicafe, Fondo Nacional de Café

$$\Delta P_{pp} = 0,1 [cm c. a.] = 0,0393 [inH2O]$$

- **Pérdida en el lecho de granos:** usará la Ecuación 2.8 [10,17], los valores 9,523, 0,0476 y 1,4793 son constantes determinadas experimentalmente por varios autores, dedicados al estudio profundo del secado de café:

$$\Delta Pl = h_l * \left[\frac{\left(\frac{Q}{A}\right)}{9,523 - 0,0476 * \varphi_i} \right]^{1,4793} \quad [\text{Ec. 2.8}]$$

Dónde:

ΔPl	Caída de presión en el lecho de grano, [cmH ₂ O]
h_l	Altura de la capa de grano, [m]
Q	Caudal, [m ³ /min]
A	Área transversal del flujo de aire, [m ²]
φ_i	Humedad inicial del café, [%]

1er Piso

$$\Delta Pl = 0,25 * \left[\frac{\left(\frac{30}{1,327}\right)}{9,523 - 0,0476 * 0,30} \right]^{1,4793} = 0,9 \text{ [cmH}_2\text{O]}$$

$$\Delta Pl = 0,35 \text{ [inH}_2\text{O]}$$

2do Piso

$$\Delta Pl = 0,25 * \left[\frac{\left(\frac{30}{1,327}\right)}{9,523 - 0,0476 * 0,23} \right]^{1,4793} = 0,8997 \text{ [cmH}_2\text{O]}$$

$$\Delta Pl = 0,354 \text{ [inH}_2\text{O]}$$

3er Piso

$$\Delta Pl = 0,25 * \left[\frac{\left(\frac{30}{1,327}\right)}{9,523 - 0,0476 * 0,18} \right]^{1,4793} = 0,8728 \text{ [cmH}_2\text{O]}$$

$$\Delta Pl = 0,344 \text{ [inH}_2\text{O]}$$

Caída de Presión total en el lecho de granos ΔPl_t es:

$$\Delta Pl_t = 1,05 \text{ [inH}_2\text{O]}$$

- **Caída total de presión en el secado de café pergamino**

$$\Delta P = 0,0025 \text{ [inH}_2\text{O]} + 0,006 \text{ [inH}_2\text{O]} + 0,0393 \text{ [inH}_2\text{O]} + 1,05 \text{ [inH}_2\text{O]}$$

$$\Delta P = 1,1 \text{ [inH}_2\text{O]} = 274 \text{ [Pa]}$$

El ventilador debe ser de tipo centrífugo y con las siguientes características:

$$Q = 960 \text{ [CFMs]}$$

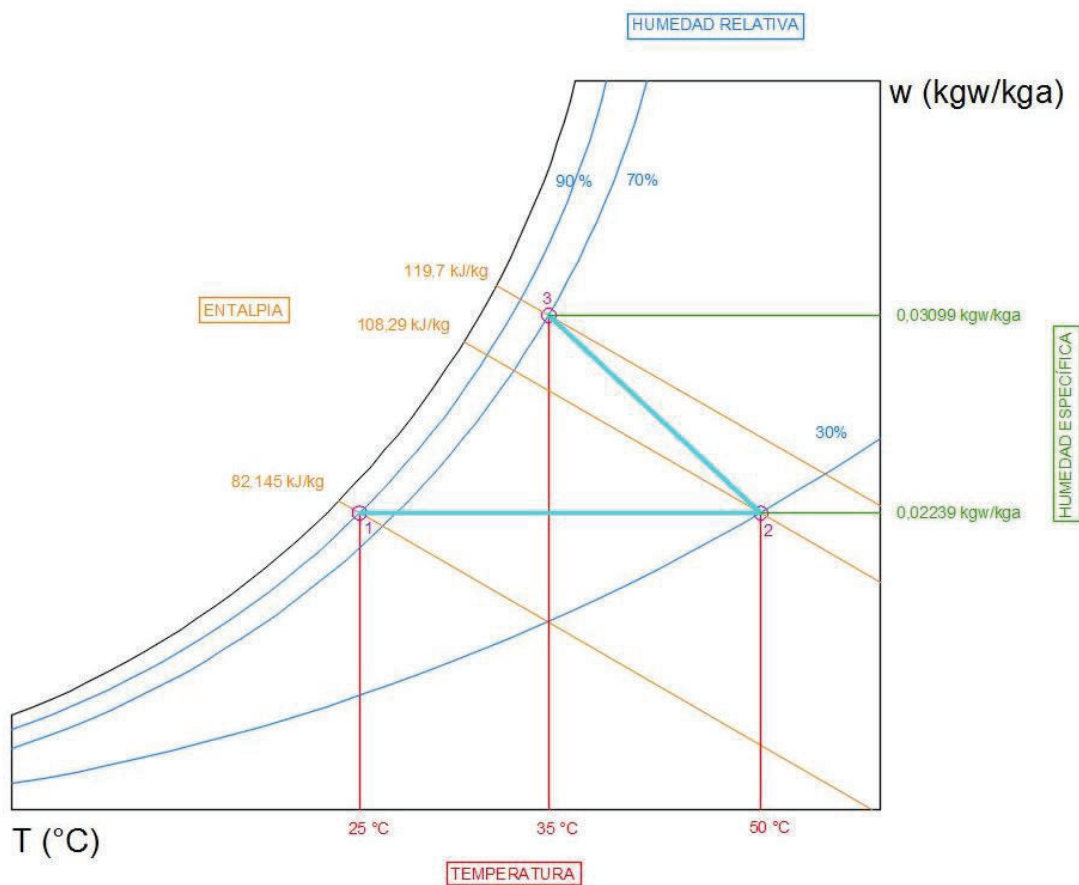
$$\Delta P = 1,1 \text{ [inH}_2\text{O]}$$

5.2.17 SELECCIÓN DEL QUEMADOR

La fuente de calor a gas (GLP), es una buena alternativa, debido a que el combustible es limpio lo que evita que el grano absorba el olor generado por la combustión [20].

a. Estudio psicrométrico del secado

En la Gráfica 5.4 se muestra un esquema del comportamiento psicrométrico del aire a la altura del Noroccidente de Pichincha, 1650 msnm:



Gráfica 5.4 Esquema Psicométrico del comportamiento del aire a una altura de 1650 msnm.

FUENTE: Propia

- **Proceso del estado 1 a 2 (Calentamiento Simple):** usará la Ecuación 5.181 [12]:

$$\dot{m}_a = \dot{m}_{a1} = \dot{m}_{a2} \quad [\text{Ec. 5. 181}]$$

Dónde:

\dot{m}_a Flujo de masa de aire, [kg/s]

$$P_v = \varphi_M * P_{sat@25^\circ C} \quad [\text{Ec. 5. 182}]$$

Dónde:

P_v Presión de vapor a 25°C, [kPa]

$P_{sat@25^\circ C}$ Presión de mezcla saturada de Tabla A-4 Cengel [12], [kPa]

φ_M Humedad relativa del ambiente

$$P_v = 0,91 * 3,1698 \text{ [kPa]}$$

$$P_v = \mathbf{2,8845 \text{ [kPa]}}$$

$$P_a = P - P_v \quad [\text{Ec. 5. 183}]$$

P_a Presión de aire seco a 25°C, [kPa]

$$P_a = (83,011 - 2,8845) \text{ [kPa]}$$

$$P_a = \mathbf{80,1264 \text{ [kPa]}}$$

$$w = w_1 = w_2 = \frac{P_v/R_v}{P_a/R_a} = \frac{R_a}{R_v} \left(\frac{P_v}{P_a} \right) \quad [\text{Ec. 5. 184}]$$

Dónde

R_a Constante del aire Tabla A-2 Cengel [12], 0,287 [kJ/kg.K]

R_v Constante vapor de agua Tabla A-2 Cengel [12], 0,4615 [kJ/kg.K]

w Humedad específica a la entrada del secador, [kg.w/kg.a]

$$\frac{R_a}{R_v} = \frac{0,287}{0,4615} = 0,622$$

$$w = 0,622 \left(\frac{P_v}{P_a} \right) = 0,622 \left(\frac{2,8845}{80,1264} \right) = 0,0224 \left[\frac{kgw}{kga} \right]$$

$$h = C p_a T + w h_{g@T} \begin{cases} h_1 \text{ a } T = 25^\circ C \\ h_2 \text{ a } T = 50^\circ C \end{cases} \quad [\text{Ec. 5. 185}]$$

Dónde:

h_1 Entalpía del aire ambiente a la entrada del secador, [kJ/kg]

h_2 Entalpía del aire caliente a la entrada del secador, [kJ/kg]

$$h_1 = 1,005 \left[\frac{kJ}{kg^\circ C} \right] * 25[^\circ C] + 0,0224 * 2546,5 \left[\frac{kJ}{kg} \right] = 82,145 \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

$$h_2 = 1,005 \left[\frac{kJ}{kg^\circ C} \right] * 50[^\circ C] + 0,0224 * 2591,3 \left[\frac{kJ}{kg} \right] = 108,295 \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

- **Proceso del estado 2 a 3 (humidificación):** se usará la Ecuación 5.186 [12]:

$$\dot{m}_{a2} = \dot{m}_{a3} \quad [\text{Ec. 5. 186}]$$

$$\dot{m}_{w2} + \dot{m}_w = \dot{m}_{w3}$$

$$\dot{m}_w = \dot{m}_{w3} - \dot{m}_{w2}$$

$$\dot{m}_w = \dot{m}_a(w_3 - w_2)$$

Dónde:

\dot{m}_a Flujo de masa de aire seco

\dot{m}_w Flujo de masa de vapor de agua

$$P_{v3} = \varphi_{M@35^\circ C} * P_{sat@35^\circ C} = 0,7 * 5,6291[kPa] \quad [\text{Ec. 5. 187}]$$

$$P_{v3} = 3,94 [kPa]$$

Suposición: $\varphi_{M@35^\circ C} = 70 \%$

$$w_3 = 0,622 \left(\frac{P_{v3}}{P - P_{v3}} \right) = 0,622 * \left(\frac{3,94}{83,011 - 3,94} \right) = 0,0301 \left[\frac{kgw}{kga} \right]$$

$$h_3 = Cp_a T_{@35^\circ C} + w_3 h_{g@35^\circ C}$$

$$h_3 = 1,005 \left[\frac{kJ}{kg^\circ C} \right] * 35[^\circ C] + 0,0301 * 2555,6 \left[\frac{kJ}{kg} \right] = 104,34 \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

b. Capacidad del Quemador

Considerando que el calentamiento del aire se efectúa hasta una temperatura de 50°C, donde se aplicará la Ecuación 5.188 [12]:

$$E_q = \dot{m}_{aire} * (h_2 - h_1) \quad [\text{Ec. 5. 188}]$$

Dónde:

E_q Velocidad del aire a través del ducto de entrada, [Btu/h]

\dot{m}_{aire} Flujo másico de aire, [kg/s]

h_2 Entalpía del aire a temperatura de secado, [kJ/kg]

h_1 Entalpía del aire a temperatura ambiente, [kJ/kg]

$$E_q = 0,4354 \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right] * (108,295 - 82,145) \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$$

$$E_q = 11,4 \text{ [kW]} = 10,8 \left[\frac{\text{BTU}}{\text{s}} \right] = 38850 \left[\frac{\text{BTU}}{\text{h}} \right]$$

- **Flujo másico de combustible:** se usará la Ecuación 5.189 [16]:

$$\dot{m}_{\text{comb}} = \frac{E_q}{PC} \quad [\text{Ec. 5. 189}]$$

Dónde:

PC Poder calórico, [kJ/kg]

\dot{m}_{comb} Flujo másico de GLP para la combustión, [kg/s]

$$\dot{m}_{\text{comb}} = \frac{11,4 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{s}} \right]}{37188 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]}$$

$$\dot{m}_{\text{comb}} = 0,0003 \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]$$

- **Caudal de combustible:** se usará la Ecuación 5.189 [16]:

$$Q_{\text{comb}} = \frac{\dot{m}_{\text{comb}}}{\rho_{\text{comb}}} \quad [\text{Ec. 5. 190}]$$

Dónde:

Q_{comb} Flujo volumétrico del GLP, [m³/s]

ρ_{comb} Densidad de GLP, [kg/m³]

$$Q_{\text{comb}} = \frac{0,0003 \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]}{1,85 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]}$$

$$Q_{\text{comb}} = 0,000165 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$$

- **Flujo de masa de aire para la combustión**

La ecuación para el cálculo del flujo de masa de aire para la combustión ACT será [16]:

$$ACT = 11,53 * C + \left[34,5 * \left(H - \left(\frac{O}{8} \right) \right) \right] + 4,3 * S$$

$$ACT = (11,53 * 0,732) + \left[34,5 * \left(0,025 - \left(\frac{0,0548}{8} \right) \right) \right] + (4,3 * 0,001) \quad [\text{Ec. 5. 191}]$$

$$ACT = 9,089$$

$$\dot{m}_{ac} = \dot{m}_{comb} * ACT * (1 + ex) \quad [\text{Ec. 5. 192}]$$

$$\dot{m}_{ac} = 0,0003 * 9,089 * (1 + 0,25)$$

$$\dot{m}_{ac} = 0,0034 \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]$$

Dónde:

ACT	Relación de Aire Combustible Teórico, adimensional
C	Carbono, [%]
H	Hidrógeno, [%]
O	Oxígeno, [%]
S	Azufre , [%]
ex	Exceso de aire [16], recomendado el 25%
\dot{m}_{ac}	Flujo másico de aire para la combustión con GLP, [kg/s]

- *Flujo másico total de aire*

$$\dot{m}_T = \dot{m}_{t,aire} + \dot{m}_{ac} = 0,4354 \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right] + 0,0034 \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]$$

$$\dot{m}_T = 0,4388 \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]$$

CAPITULO 6

ANÁLISIS DE COSTOS

Se analizarán cuantificadamente los valores involucrados que se emplearán para la construcción del prototipo secador de café, entre los que se pueden incluir los: costos por obras civiles, costos de construcción mecánica, y costos complementarios.

El detalle de costos permite identificar los recursos económicos necesarios para que se ejecute y desarrolle el presente proyecto. Se deben realizar un análisis de costos directos y adicionales.

El sustento de cada costo se basa en proformas y cotizaciones para los elementos mecánicos, así como la mano de obra a emplearse en las diferentes etapas, detallados en el ANEXO 11 y 13.

6.1 Análisis de costos del Secador de Silo de Un Piso

OBRA GRIS							
ITEM	RUBRO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNIT. USD	INDIRECTOS 15%	TOTAL UNITARIO	TOTAL GLOBAL
101	Replanteo y nivelación	m ²	16,00	5,00	0,75	5,75	92,00
102	Excavación de plintos y cimientos	m ³	12,00	12,00	1,80	13,80	165,60
103	Relleno compactado con mat. mejorado	m ³	14,00	6,00	0,90	6,90	96,60
104	desalojo de escombros	m ³	14,00	12,00	1,80	13,80	193,20
105	Replanteo H.S. 140 kg/cm ²	m ³	10,00	1,50	0,23	1,73	17,25
106	Plintos H. Ciclopeo 180 kg/m ²	m ³	10,00	1,50	0,23	1,73	17,25
107	Cámara plenum	m ³	8,00	3,00	0,45	3,45	27,60
Total obra gris							609,50

Tabla 6. 1 Costos de Obra Gris

Fuente: Propia

OBRA METALICA							
ITEM	RUBRO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNIT. USD	INDIRECTOS 30%	TOTAL UNITARIO	TOTAL GLOBAL
200	Cilindro metálico						
201	Cilindro metálico (A-36) barolado de $\varnothing = 2$ m y h = 0,50 m, e = 3 mm, correspondiente a los tres niveles de altura 350 mm, incluye puerta corrediza	u	1,00	2 215,14	664,54	2 879,68	2 879,68
203	Plancha perforada que divide el nivel con la cámara de plenum (AISI 304) de $\varnothing = 2$ m e = 2 mm	u	2,00	725,00	217,50	942,50	1 885,00
206	Estructura para la base: perfil estructural cuadrado 12x12x0,8 mm	u	1,00	235,54	70,66	306,20	306,20
Total Cilindro metálico							5.070,88

Tabla 6. 2 Costos de Obra Metalica

Fuente: Propia

OBRA METALICA							
ITEM	RUBRO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNIT. USD	INDIRECTOS 30%	TOTAL UNITARIO	TOTAL GLOBAL
210	Sistema de Transmisión						
211	El eje principal motriz r, AISI 1018 $\varnothing 3"$ (76,2 mm), 748 mm; con una chumacera de pared 4H kDF $\varnothing 3"$	u	1	811,13	243,34	1 054,47	1 054,47
212	Paleta mezcladora 350*180*1 mm	u	2	156,33	46,90	203,23	406,46
213	Paleta removedora 350*170*1 mm	u	2	149,65	44,90	194,55	389,09
214	Paleta limpiadora lateral 400*20*1 mm	u	1	114,15	34,25	148,40	148,40
215	Paleta esquinada 146*140*1 mm	u	1	98,78	29,63	128,41	128,41
216	Estructura para fijación del sistema de transmisión de movimiento; varilla redonda lisa con $\varnothing 12$ mm; con acoples de sujeción y pista de rodamiento	u	1	776,44	232,93	1 009,37	1 009,37
Total Sistema de transmisión							3 136,20

Tabla 6. 3 Costos de Obra Metálica

Fuente: Propia

ELEMENTOS ELECTRICOS Y DE CONTROL							
ITEM	RUBRO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNIT. USD	INDIRECTOS 15% - 30%	TOTAL UNITARIO	TOTAL GLOBAL
400	INSTALACIONES ELECTRICAS Y CONTROL						
401	Salidas especiales o conexiones	Pto	10,00	125,00	18,75	143,75	1.437,50
402	Tablero eléctrico de operación, control y seguridad, incluye instalación	u	1,00	2.000,00	600,00	2.600,00	2.600,00
Total instalaciones eléctricas y control							4.037,50

Tabla 6. 4 Costos de Elementos eléctricos y control

Fuente: Propia

COMPLEMENTARIOS							
ITEM	RUBRO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNIT. USD	INDIRECTOS 15%	TOTAL UNITARIO	TOTAL GLOBAL
300	EQUIPOS Y ELEMENTOS DE MÁQUINA						
301	Cono y corona FORD cargo 815, o bus escolar Marca: Agrale	u	1,00	725,00	108,75	833,75	833,75
302	MotoReductor Coaxial HA052 2 HP (27 RPM)	u	1,00	1 232,50	184,88	1 417,38	1417,38
303	Ventilador tipo centrífugo, caudal 1216 cfm, caída de presión 0,242 pug. H2O, incluye motor de 1 HP	u	1,00	1 527,13	229,07	1 756,20	1 756,20
304	Ductos	kg	400,00	9,00	1,35	10,35	4 140,00
304	Resistencias con 15 kw ó 50 000 BTU/h y cámara de calentamiento	u	1,00	482,84	72,43	555,27	555,27
Total equipos y elementos de máquinas							8 702,59

Tabla 6. 5 Costos de Elementos Complementarios

Fuente: Propia

COSTO DEL SECADOR DE UN PISO O BANDEJA	
Total Obra Gris	609,50
Total Obra metálica	8 207,08
Total complementarios	12 740,09
TOTAL COSTOS USD	21 556,67

Tabla 6. 6 Costos de Total del Secador de un piso o bandeja

Fuente: Propia

El valor total del prototipo Secador de Silo de un piso o nivel es de aproximadamente USD \$ **21 556,67**

6.2 Análisis de costos del Secador de Silo de Tres Pisos

OBRA GRIS							
ITEM	RUBRO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNIT. USD	INDIRECTOS 15%	TOTAL UNITARIO	TOTAL GLOBAL
100	Obra Civil						
101	Replanteo y nivelación	m ²	16,00	5,00	0,75	5,75	92,00
102	Excavación de plintos y cimientos	m ³	9,00	12,00	1,80	13,80	124,20
103	Relleno compactado con mat. mejorado	m ³	12,00	6,00	0,90	6,90	82,80
104	Desalojo de escombros	m ³	12,00	12,00	1,80	13,80	165,60
105	Replanteo H.S. 140 kg/cm ²	m ³	8,00	1,50	0,23	1,73	13,80
106	Plintos H. Ciclopeo 180 kg/m ²	m ³	8,00	1,50	0,23	1,73	13,80
Total Obra Gris							492,20

Tabla 6. 7 Costos de Obra Gris

Fuente: Propia

OBRA METALICA							
ITEM	RUBRO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNIT. USD	INDIRECTOS 30%	TOTAL UNITARIO	TOTAL GLOBAL
200	Sistema de Transmisión						
201	El eje principal motriz r, AISI 1018 Ø 2 1/2" (63 mm), 1450mm, con su chaveta de 18x11x36 [mm]; 2 dos chumaceras de pared 4H kDF Ø 2 1/2"	u	1	579,38	173,81	753,19	753,19
202	Paleta para remover 600 x 150 x 2 [mm], material AISI 304; sugestión al eje principal	u	3	315,64	94,69	410,33	1 231,00
203	Estructura soporte del sistema de transmisión de movimiento; perfil correa tipo G 200 x 50 x 15 x 2 [mm].	u	1	354,98	106,49	461,47	461,47
Total Sistema de Transmisión							2 445,66

Tabla 6. 8 Costos de Obra Metálica

Fuente: Propia

OBRA METALICA							
ITEM	RUBRO	UNID AD	CANTIDAD	COSTO UNIT. USD	INDIRECTOS 30%	TOTAL UNITARIO	TOTAL GLOBAL
210	Cilindro metálico						
211	Cilindro metálico (A-36) barolado de Ø 1.1 m y h = 1.45 m, e = 3 mm, correspondiente a los tres niveles de altura 350 mm, y cámara de plenum	u	1,00	4 860,54	1 458,16	6 318,70	6 318,70
212	Plancha perforada que divide los niveles (AISI 304) de Ø= 1.10 m e = 2 mm, incluye compuerta corrediza	u	2,00	7 18,33	215,50	933,83	1 867,66
213	Plancha perforada que divide el nivel con la cámara de plenum (AISI 304) de Ø= 1.10 m e = 3 mm, incluye compuerta corrediza	u	1,00	836,67	251,00	1 087,67	1 087,67
214	Compuerta para controlar y observar el proceso de secado, e = 3mm, A-36.	u	1,00	554,73	166,42	721,15	721,15
215	Compuerta para descarga del café, e = 3mm, A-36.	u	1,00	587,17	176,15	763,32	763,32
216	Estructura para la base: perfil estructural cuadrado 40x40x2 mm y perfil estructural en L 60x60x6 [mm]	u	1,00	527,51	158,25	685,76	685,76
Total Cilindro metálico							11 444,26

Tabla 6. 9 Costos de Obra Metálica

Fuente: Propia

ELEMENTOS ELECTRICOS Y DE CONTROL							
ITEM	RUBRO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNIT. USD	INDIRECTOS 15% - 30%	TOTAL UNITARIO	TOTAL GLOBAL
300	INSTALACIONES ELECTRICAS Y CONTROL						
301	Salidas especiales o conexiones	Pto	6,00	125,00	18,75	143,75	862,50
302	Tablero eléctrico de operación, control y seguridad, incluye instalación	u	1,00	2 350,00	705,00	3 055,00	3 055,00
Total instalaciones eléctricas y control							3 917,50

Tabla 6. 10 Costos de Elementos eléctricos y control

Fuente: Propia

COMPLEMENTARIOS							
ITEM	RUBRO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNIT. USD	INDIRECTOS 15%	TOTAL UNITARIO	TOTAL GLOBAL
400	EQUIPOS Y ELEMENTOS DE MÁQUINA						
401	Cadena-Piñón: cadena (109) eslabones, Tipo 12B o 16B, paso de 19,05 [mm] o 25,4 [mm], respectivamente; Piñón: 11 [dientes], diámetro primitivo 90,15[mm] y Rueda: 48 [dientes], diámetro primitivo 388,36[mm].	u	1,00	669,00	100,35	769,35	769,35
402	Motor Reductor Coaxial HA052, 1.5 HP; velocidad de salida 28 rpm	u	1,00	1 340,13	201,02	1 541,15	1 541,15
403	Ventilador tipo centrífugo, caudal 960 cfm, con caída de presión 1.10 pulg. H2O, incluye motor de 1 HP	u	1,00	1 554,05	233,11	1 787,16	1 787,16
404	Ductos	kg	200,00	9,00	1,35	10,35	2 070,00
404	Quemador tipo bazuca: capacidad y cámara combustión 11,4 kw o 40,000[BTU/h] y cámara combustión	u	1,00	933,06	139,96	1.073,02	1 073,02
Total equipos y elementos de máquinas						7 240,68	

Tabla 6. 11 Costos de Elementos Complementarios

Fuente: Propia

COSTO DEL SECADOR DE TRES PISOS O BANDEJAS	
Total Obra Gris	492,20
Total Obra metálica	13.889,93
Total complementarios	11.158,18
TOTAL COSTOS USD	25.540,30

Tabla 6. 12 Costos de Total del Secador de un piso o bandeja

Fuente: Propia

El valor total del prototipo Secador de Silo de tres pisos o niveles es de aproximadamente USD \$ **25 540,30**

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- El proyecto de titulación ha cumplido con el objetivo planteado inicialmente, mediante el diseño de dos prototipos de secadores mecánicos que cumplan con las condiciones requeridas por el usuario y por el medio.
- Gracias al análisis de campo, se pudo recolectar información y problemas que se convirtieron en una oportunidad de mejora, por lo que el factor más importante a tomar en cuenta es que la capacidad del secador, con un máximo de 454 kg diarios.
- Los dos diseños prototipos de secadores mecánicos logran reducir los tiempos de secado a 5h00 en el secador de silo de un piso y 12h00 en el secador de tres pisos, siendo más rápido y eficiente., que un secador solar comúnmente demora de 5 hasta 15 días de secado.
- El costo obtenido para los dos prototipos difieren, sin embargo el beneficio que se va a lograr hace que sea un costo accesible para un grupo de productores y que las ventajas serán evidentes en comparación con las secadores caseras elaboradas por ellos mismos (marquesinas). Además el costo en cuanto al consumo energético es más económico el uso de GLP.
- El secador de silo de un piso es apto para cuando un productor tenga grandes cantidades del mismo café, porque tiene la función de secar con una sola carga de 454 kg de café en un tiempo teórico de 4h30, su rapidez de secado se debe a la amplitud y dimensiones del secador.
- El secador de silo de tres pisos, permite secar pequeñas cantidades de granos de café, cuando el productor tiene pocas hectáreas del mismo, es decir, se coloca una cantidad de 145 kg de café pergamino húmedo en un tiempo de 1h24min en el primer piso, luego se descarga al segundo piso y permanece un tiempo de 1h48min, y cuando pasa al tercer piso se debe esperar un tiempo de 2h59min, pero una vez descargado el café del segundo al tercer piso, se debe colocar en el primer piso una segunda porción de café (del mismo o diferente tipo de grano) con la misma cantidad de grano (145 kg), repitiéndose el proceso. Por lo tanto, se tendrá tres cargas de 145 kg aproximadamente,

con tiempo teórico de secado de 11h54, para cumplir con los 454 kg diarios de secado de grano de café pergamino.

- En cuanto a la eficiencia del secador en obtener mejores resultados en la calidad del café se logrará en el secador de silo de tres pisos, el tiempo es cerca de las 12hrs, y este es el tiempo que recomiendan revistas técnicas cafeteras que se debe alcanzar en bajar la humedad del 30% al 11% para obtener una excelente calidad de grano de café.
- Los dos prototipos son diseños que consideran los procesos requeridos para disminuir la humedad de los granos de café, estos son: el mezclado, que ayuda al secado uniforme del grano de café, y, el secado que mediante las planchas perforadas permiten el paso del flujo de aire caliente hacia las cámaras.
- El Secador de Silo de un piso requiere un ventilador con mayor potencia que el de tres pisos, por las dimensiones, la capacidad de carga y por requerir un mayor caudal de aire

RECOMENDACIONES

- El pequeño productor deberá seguir las instrucciones de uso del prototipo, para mantener los tiempos establecidos y no alterar la calidad del café pergamino.
- En el secador de tres pisos, se debe mantener solo dos pisos llenos durante el proceso de secado, para mantener los tiempos establecidos.
- Se necesita que la altura del secador no sobrepase 40 cm en el silo de un piso y 25 cm del silo de tres pisos.
- Es aconsejable adaptar medidores de humedad y temperatura para determinar esas variables con precisión y evitar tomarlas empíricamente con métodos no apropiados que reduzca la calidad del grano de café.
- Se recomienda hacer un estudio de tipo de corriente y voltaje que se dispone en el lugar de instalación.
- El uso constante del sistema de transmisión de movimiento se puede detener cuando sea necesario, puesto que dispone de su propio motor y se le puede parar su funcionamiento, en casos de que llegue a estropear al grano.

- Se recomienda usar previamente las marquesinas por secado solar para bajar el exceso de humedad, es decir, escurrir el grano de café antes de que sea colocado en el secador.
- En el secador de silo de un piso debe considerarse la instalación de guardapolvos, acople de plástico o caucho, para que la vida útil del cono y corona y el resto de elementos metálicos se prolongue y disminuya sus mantenimientos.
- Se aconseja realizar estudios, tomando como base este proyecto y su construcción se la haga perfeccionando los resultados obtenidos, así como se recomienda realizar la automatización para los prototipos, para detectar problemas y evitar que el grano sea de menor calidad.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] P. DELGADO, A. LARCO, C. GARCÍA, R. ALCÍVAR, M. PATIÑO, and W. CHILÁN, “Café en Ecuador”, *ANACAFÉ-Café en Ecuador, Manejo de la Broca del Fruto*, pp. 6, 9 de 77, 2002.
- [2] J. VERA and A. DUICELA, “Diagnóstico-Sector-Café-Ecuador”, *COFENAC-Situación del Sector. Cafe Ecuatoriano – Diagnóstico*, pp. 1, 15, 16, 22 de 65, 2013.
- [3] CAFÉ *Coffea* spp., *Guía Técnica del Café en Ecuador*, pp. 3 de 46, 2011, [Online]. Available: <http://myslide.es/documents/guia-tecnica-del-cage}}fe-en-ecuador.html> [Accessed: 03-Feb-2015].
- [4] ARTEBAR, “OPUS 69: El Placer por el conocimiento del Café”, *Taxonomía del Café*, 2012. [Online] Available: <http://opus69.blogspot.com/2012/07/taxonomia-del-cafe.html>. [Accessed.: 08-Jan-2015].
- [5] I. SOTOMAYOR, C. NAVAS, M. BURBANO, M. MOREIRA, and A. VASCO, “Manual del Cultivo del Maíz”, *Manejo del Cultivo del Cafe*, pp. 19,20, 21, 22, 23, 24, 25 de 223, 1993.
- [6] ANACAFÉ, “El Secamiento del Café”, *El secamiento del café*. [Online]. Available: http://www.anacafe.org/glifos/index.php?title=BeneficiadoHumedo_Secamiento. [Accessed: 14-Jan-2015].
- [7] L. RODRIGUEZ, “Diseño del Sistema de Control Difuso de una Máquina Secadora de café que emplea energía solar”, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Unidad Azcapotzalco, 2011.
- [8] R. VALDERRÁBANO, “Concentración de Energía Solar para el Secado de Café Pergamino”, Escuela Superior Azcapotzalco, México, 2011.
- [9] M. GUTIERREZ, J. SANZ, C. OLIVEROS, and C. OROZCO, “*Ventiladores para secadores de café*”, CENICAFÉ, Colombia, 2012.
- [10] C. A. DE DIOS, “*Secado de Granos y Secadoras*”, FAO, Santiago de Chile, 1996.
- [11] KOITASH, “Equivalencias de presión atmosférica según la altitud”, *El Rincon de Hevelius*, 2011. [Online]. Available: <http://hevelius.bligoo.es/equivalencias-de-presion-atmosferica-segun-la-altitud>. [Accessed: 25-Mar-2015].
- [12] Y. CENGEL and M. BOLES, *Termodinámica*, Sexta Ed., México, 2003.
- [13] C. SOTO, “*Guía Técnica para el beneficiado de café protegido bajo una indicación geográfica ó denominación de origen*”, Guatemala, 2010.
- [14] C. JIMÉNEZ and C. VIDAL, “Diseño de un Sistema de secado de café”, Trabajo Especial de Grado, Universidad Central de Venezuela, 2009.
- [15] A. PARRA, G. ROA, and C. OLIVEROS, “Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental”, *Modelamiento y Simulación Matemática en el Secado Mecánico de Café Pergamino*, Vol. 12, pp. 415–427; 420–421, 2008.

- [16] C. A. OROZCO and F. BEDOYA, "Calculo del flujo másico y caudal de aire para un ventilador utilizado en silos, para secado para del café", *Science Technology*, No. 35, pp. 209 de 207–212, 2007.
- [17] E. LOPÉZ, "Secado de café en lecho fluidizado", *Revista de Ingeniería e Investigación*, Vol. 26, No. 1, 2006.
- [18] W. Mc CABE, J. SMITH, and P. HARRIOTT, "*Operaciones Unitarias de Ingeniería Química*", Cuarta Ed., Madrid- España, Mc Graw Hill, 1991.
- [19] V. FERRO, S. FONSECA, J. ABDALA, A. TORRES, J. PANTOJA, R. BERGUES, P. GRIÑÁN, and G. IBÁÑEZ, "Análisis de Opciones para el Secado Solar de Café. Parte 1. Aspectos Cinéticos", *Centro de Investigación de Energía Solar*, Vol. XIX, No. 3, pp. 21, 22, 23 de 18–25, 1999.
- [20] GAS NATURAL, "Ventajas para el sector industrial", España-Barcelona, 2003, [Online]Available:<http://www.gasnaturaldistribucion.com/es/soy+cliente/1297106031951/ventajas+para+el+sector+industrial.html> [Accessed: 17-Mar-2015]
- [21] SMACNA, "*Sheet Metal and Air Conditioning Contractors National Association*", Inc. 4201 Lafayette Center Drive Chantilly, VA 20151–1209, Fourth Pri. 1998.
- [22] J. ORNA, "Estandarización del Diseño de Secaderos por Aspersión de Materiales Pastosos", Tesis para obtención de Ingeniero Mecánico, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Chimborazo, 2012.
- [23] E. ESCOBAR, "Galletti." [Online]. Available: <http://www.cafegalletti.com/espanol.html> [Accessed: 22-Jan-2015].
- [24] C. RIBA, "*Diseño concurrente*", Departamento de Ingeniería Mecánica, ETSEIB-UPC, 2002.
- [25] C. ARIAS, "*Manual de Manejo Poscosecha de Grano a Nivel Rural*", Santiago de Chile, Oficina Regional de la FAO para America Latina y el Caribe, 1993.
- [26] R. COSTALES, "Estudio del secado de granos mediante fluidización", Escuela Politécnica Nacional, 1995.
- [27] L. SHIGLEY, *Manual de Diseño Mecánico*, Cuarta Ed. México, 1989.
- [28] T. VELASTEGUÍ, "Folleto Elementos de Máquinas", Quito-Ecuador, 2012.
- [29] G. GORDÓN, "Passadores y Chavetas", *SCRIBD*, 2012. [Online]. Available: <http://es.scribd.com/doc/108991417/Pasadores-y-Chavetas#scribd>. [Accessed: 11-Feb-2015].
- [30] S. ACERIND, "Soldadura de Aceros Inoxidables *para el soldador*", No. 1.
- [31] V. B. GUANO REYES and A. R. ROCHA GUAMÁN, "Diseño de una máquina secadora vertical para maíz con una capacidad de 2000 kg", Tesis previo a la obtención de Ingeniero Mecánico, Escuela Politécnica Nacional, 2013.
- [32] L. BERNAL and J. A. SUVELZA, "Quality Function Deployment (Qfd) para Servicios - Manual", *Intelligence for Innovation*, pp. 24 de 27, 2009.
- [33] C. GUACHAMÍN, "Diseño de un secador de cacao Fino", Tesis de Grado previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, Escuela Politécnica Nacional, 2007.

- [34] M. GUTIERREZ and H. COPETE, "Hacia la Mejora del Secado del Café en Colombia", No. 23, pp. 123, 109 - 132, 2009.
- [35] MARK CAFÉ, "Inside the Coffe Bussiness", [Online]. Available: <http://www.markcafe.com.br/o-cafe/conhecendo-o-cafe/5-producao/804-secagem>. [Accessed: 16-Mar-2015].
- [36] R. MOTT, "*Mecánica de Fluidos*", Sexto Ed. México, Universidad de Dayton, 2006.
- [37] H. JUTZ, E. SCHARKUS, and R. LOBERT, "*Tablas para la Industria Metalurgica (GTZ)*", Segunda Ed., Alemania, 1984.
- [38] J. FRAX, "Frax Design", [Online]. Available: <http://joelfrax.com/otros/momentos-inercia.html>. [Accessed: 19-Dec-2014]
- [39] J. GERE, "*MECÁNICA DE MATERIALES*", Sexta Ed. 2006.
- [40] VILCHEZ, R., "*Resistencia de Materiales*", [Online]. Available: http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/palmira/5000155/lecciones/lec4/4_1.htm. [Accessed: 19-Feb-2015]
- [41] S. TIMOSHENKO and S. WOINOWSK, "*Teoría de Placas*", Madrid- España, Librodot.
- [42] G. KUGELFISCHER, "Rodamientos," *Catálogo Rodamientos mi FAG wl 41 520/3 SB*. p. 164,165,166,167.
- [43] J. S. RAMÍREZ, I. A. SOSA, M. G. V. MENDOZA, G. G. LÓPEZ, and S. PINEDA, "Propiedades Físicas e Hidrodinámica de la Fluidización del Café Verde y Tostado (*Coffea arabica* L . var . *typica*)", *Naturaleza y Desarrollo*, Vol. 1, No. 1, pp. 43 de 41-49, 2003.
- [44] INGEMECÁNICA, "Transmisión por Cadenas Cálculo y diseño", *Tutorial N° 127*. [Online]. Available: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn127.html>. [Accessed: 18-Jan-2015].
- [45] CADERSA, "DIMENSIONES CHAVETEROS Y CHAVETAS S/DIN 6885/1 - 6886 y 6887", [Online]. Available: <http://www.cadersa.es/Pag72.htm>. [Accessed: 21-Feb-2015].
- [46] CONTABILIDADcom.py, "Costos Directos e Indirectos", [Online]. Available: http://www.contabilidad.com.py/articulos_73_costos-directos-e-indirectos.html. [Accessed: 08-06-2015]
- [47] E. CORREA, "Diseño de Transmisión de Cadena", Universidad de Antioquia, 2010.

ANEXOS

ANEXO 1

CASA DE LA CALIDAD

ANEXO 2. ANÁLISIS DE COMPETENCIA SECADORA MANUAL SOLAR

MARQUESINAS



SECADOR MECÁNICO

SECADOR TIPO GUARDIOLA Y SILO PENAGOS



Secadora Rotativa SG1

Las secadoras rotativas SG-1 Penagos cuentan con una distribución uniforme del aire en el tambor de secado mejorando la calidad del grano al homogenizar su secado viene equipada con un sistema de colectores de cenizas y partículas volátiles incorporados a los quemadores de combustible lo que evita la contaminación del medio ambiente.

Amplia gama de capacidades que van desde 1m³ hasta 15m³, Sistemas de combustión para cascarilla de café, madera, carbón, diesel y gas.

Ficha Técnica

Capacidad m ³	1.0m ³
Capacidad C.P.S.	375 kg
Motor Ventilador	1 HP
Motor Tambor	1 HP
Dimensiones Cilindro	1.2 * 1.15 mt
C.P.S. Café Pergamino Seco	



Secadora Tipo Silo SC-10

SC-10

Las secadoras tipo silo SC-10 Penagos presentan un diseño especial con materiales de la mas alta calidad, pintura electroestática y cuenta con una compuerta inferior para la descarga del café lo que permite que sea fácil de operar.

Su secador de tres mallas mejora la calidad del secado dando una mayor homogeneidad al grano, requiere de una menor área y tiempo de secado disminuyendo así los costos por mano de obra.

Ficha Técnica

Capacidad	10 arrobas C.P.S.
Potencia Eléctrica	1 HP
Consumo de Gas	1.8 - 2.5 lbs aprox
Numero de Mallas	3
Dimensiones cm	160 * 130 * 190
C.P.S. Café Pergamino Seco	

ANEXO 3
ANÁLISIS FUNCIONAL
NIVEL 2

ANEXO 4. FACTORES PARA DISEÑO DE EJES

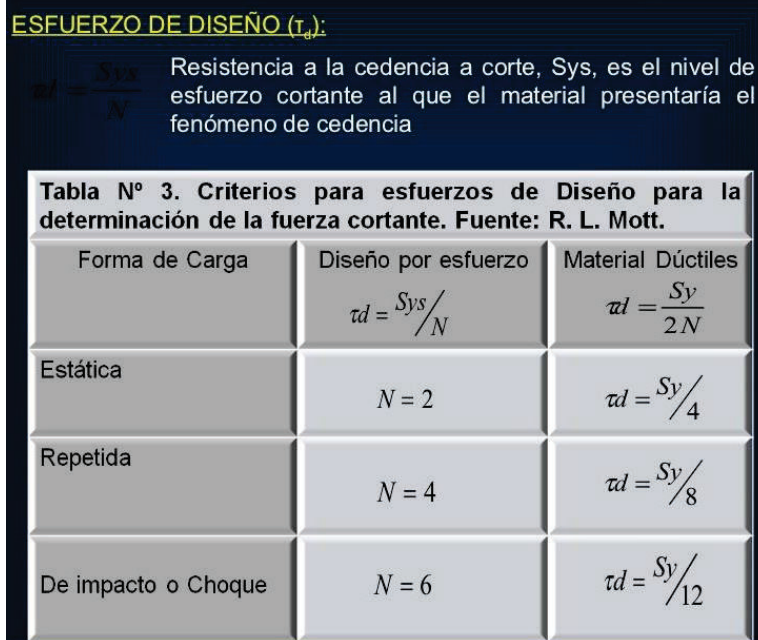


Figura A.4. 1 Esfuerzo de diseño acorde a la carga

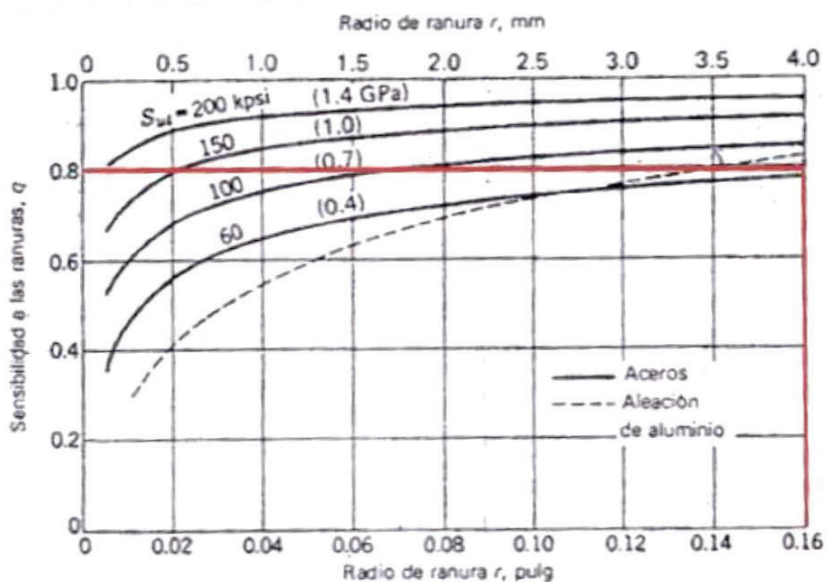


FIGURA 7-18 Diagrama de sensibilidad a las ranuras para aceros y aleaciones de aluminio forjado UNS A92024-T, sometidos a cargas flexionantes o axiales invertidas alternativamente. En el caso de radios de ranura grandes se usan los valores de q correspondientes a $r = 0.16$ pulg (4 mm). (Reproducido con permiso de George Sines y J. L. Waisman (dirs. eds.), "Metal Fatigue", McGraw-Hill, Book Company, Nueva York, 1959, pp. 296, 298.)

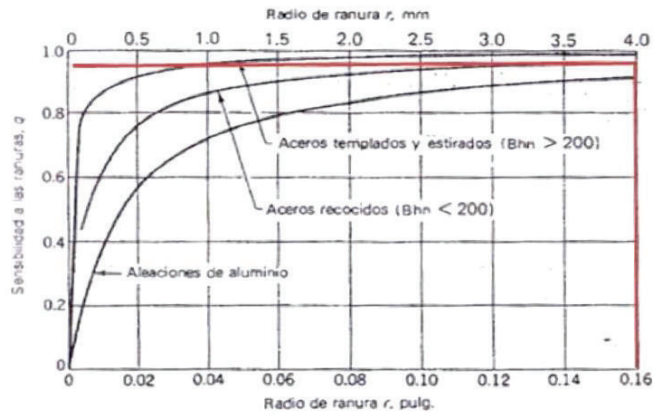


FIGURA 7-19 Diagrama de sensibilidad a las ranuras para materiales en torsión invertida alternativamente. En el caso de radios de ranura grandes se usan los valores de q correspondientes a $r = 0.16$ pulg (4 mm).

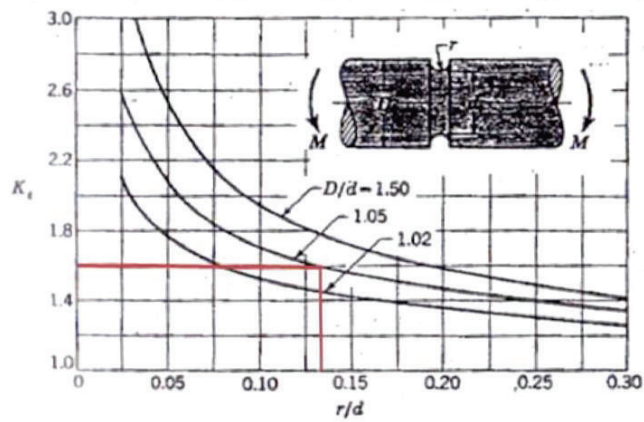


FIGURA A-26-14 Barra de sección circular en flexión con ranura circular. $\sigma_o = Mc/I$, donde $c = d/2$ e $I = \pi d^4/64$.

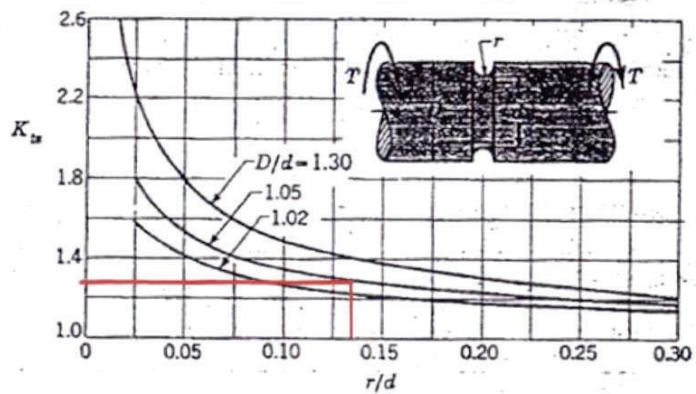


FIGURA A-26-15 Barra de sección circular en torsión, con ranura circular. $\tau_o = Tc/J$, donde $c = d/2$ y $J = \pi d^4/32$.

ANEXO 5. CATÁLOGO DIPAC, TUBO ESTRUCTURAL CUADRADO



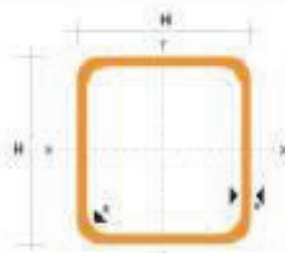
TUBO MECANICO CUADRADO

Especificaciones Generales

Norma:	ASTM A-513
Acabamiento:	Negro o Galvanizado
Longitud:	600m
Otros tipos:	Previa consulta
Dilataciones:	Desde 1/2" a 2"
Espesores:	Desde 0.60mm hasta 1.50mm



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
12	0.6	0.30	0.37	0.09	0.14	0.46
12	1.0	0.37	0.60	0.11	0.18	0.47
10	0.8	0.26	0.43	0.10	0.20	0.56
15	1.0	0.45	0.61	0.20	0.26	0.57
20	0.8	0.49	0.81	0.38	0.38	0.70
20	1.0	0.60	0.83	0.50	0.50	0.77
20	1.2	0.72	0.90	0.53	0.53	0.77
20	1.5	0.88	1.08	0.58	0.58	0.74
25	0.8	0.61	0.77	0.76	0.61	0.98
25	1.0	0.76	1.05	1.00	0.66	0.98
25	1.2	0.90	1.14	1.08	0.67	0.97
25	1.5	1.12	1.35	1.21	0.97	0.85
30	0.8	0.74	0.90	1.33	0.69	1.19
30	1.0	0.92	1.27	1.77	1.18	1.18
30	1.2	1.09	1.38	1.91	1.28	1.18
30	1.5	1.36	1.95	2.19	1.47	1.16
40	0.8	0.99	1.25	3.21	1.61	1.60
40	1.0	1.23	1.71	4.32	2.16	1.59
40	1.2	1.47	1.88	4.68	2.34	1.59
40	1.5	1.82	2.25	5.48	2.74	1.56
50	1.2	1.84	2.34	9.30	3.72	1.89
50	1.5	2.29	2.85	11.06	4.42	1.97



MOMENCLATURA

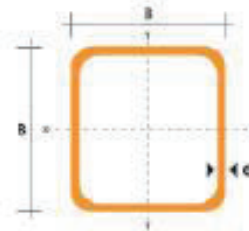
- A** Area de la sección transversal del tubo, cm²
- I** Momento de inercia de la sección, cm⁴
- W** Módulo resistente de la sección, cm³
- r** Radio de giro de la sección, cm

**TUBO ESTRUCTURAL
 CUADRADO**
Especificaciones Generales

Norma	ASTM A-300
Recubrimiento	Negro o galvanizado
Largo normal	6,00m
Otros largos	Previa Consulta
Dimensiones	Desde 20,00mm a 100,00mm
Espesor	Desde 2,00mm a 3,00mm



DIMENSIONES			AREA	EJES X-Ka-Y-Y		
A	ESPESOR	PESO	AREA	I	W	I
mm	mm	Kg/m	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm ⁴
20	1,2	0,72	0,90	0,53	0,63	0,77
20	1,5	0,88	1,05	0,58	0,68	0,74
20	2,0	1,16	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	1,30	1,21	0,87	0,93
25	2,0	1,47	1,74	1,48	1,19	0,92
30	1,2	1,08	1,38	1,91	1,29	1,18
30	1,5	1,35	1,65	2,19	1,46	1,15
30	2,0	1,78	2,14	2,71	1,61	1,13
40	1,2	1,47	1,80	4,38	2,19	1,25
40	1,5	1,82	2,25	6,48	2,74	1,56
40	2,0	2,41	2,94	6,93	3,45	1,54
40	3,0	3,54	4,44	10,20	5,10	1,52
50	1,5	2,20	2,85	11,08	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	21,25	7,09	2,39
60	3,0	5,42	6,61	34,06	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	8,58	10,95	89,88	24,00	2,87
100	2,0	6,17	7,74	122,99	24,80	3,99
100	3,0	9,17	11,41	176,85	35,39	3,94
100	4,0	12,13	14,95	226,09	45,22	3,89
100	5,0	14,40	18,26	270,57	54,11	3,84



ANEXO 6. DIÁMETRO Y ÁREAS DE ROSCAS DE PASO FINO Y BASTO

Tabla 8-1 DIÁMETROS Y ÁREAS DE ROSCAS MÉTRICAS DE PASO FINO Y DE PASO BASTO (TODAS LAS DIMENSIONES ESTÁN EN MILÍMETROS)*

Diámetro mayor nominal, d	Serie de paso basto			Serie de paso fino		
	Paso p	Área de esfuerzo de tensión, A_t	Área al diámetro menor, A_r	Paso p	Área de esfuerzo de tensión, A_t	Área al diámetro menor, A_r
1.6	0.35	1.27	1.07			
2	0.04	2.07	1.79			
2.5	0.45	3.39	2.98			
3	0.5	5.03	4.47			
3.5	0.6	6.78	6.00			
4	0.7	8.78	7.75			
5	0.8	14.2	12.7			
6	1	20.1	17.9			
8	1.25	36.6	32.8	1	39.2	36.0
10	1.5	58.0	52.3	1.25	61.2	56.3
12	1.75	84.3	76.3	1.25	92.1	86.0
14	2	115	104	1.5	125	116
16	2	157	144	1.5	167	157
20	2.5	245	225	1.5	272	259
24	3	353	324	2	384	365
30	3.5	561	519	2	621	596
36	4	817	759	2	915	884
42	4.5	1120	1050	2	1260	1230
48	5	1470	1380	2	1670	1630
56	5.5	2030	1910	2	2300	2250
64	6	2680	2520	2	3030	2980
72	6	3460	3280	2	3860	3800
80	6	4340	4140	1.5	4850	4800
90	6	5590	5360	2	6100	6020
100	6	6990	6740	2	7560	7470
110				2	9180	9080

ANEXO 7. Especificaciones y marcas para pernos y tornillos

Tabla 8-5 ESPECIFICACIONES Y MARCAS DE IDENTIFICACIÓN PARA PERNOS, TORNILLOS, ESPÁRRAGOS, SEMS^a Y PERNOS U^b (Multiplique las resistencias en kpsi por 6.89 para obtener valores en MPa.)

Grado SAE	Grado ASTM	Diámetro nominal pulg	Resistencia a la prueba a la tensión kpsi	Resistencia a la fluencia kpsi	Dureza Rockwell del núcleo mín/máx	Marca de grado	Productos	Material
1	A307	1/4 a 1 1/2	33	60	B70/B100	Ninguna	B, Sc, St	Acero de bajo o mediano carbono
2	...	1/4 a 1 1/2	55	74	B60/B100	Ninguna	B, Sc, St	Acero de bajo o mediano carbono
4	...	1/4 a 1 1/2	33	60	B70/B100	Ninguna	B, Sc, St	Acero de bajo o mediano carbono
4	A449	1/4 a 1 1/2	65	115	C22/C32	Ninguna	St	Acero de mediano carbono, estrado en fito
5	o bien A325	1/4 a 1	85	120	C25/C34	Y	B, Sc, St	Acero de mediano carbono, Q&T
Tipo 1		7.8	74	105	C19/C30	Y	B, Sc, St	Acero de mediano carbono, Q&T
5.1		8.8	95	90	...	Y	B, Sc, St	Acero de mediano carbono, Q&T
5.1		8.8	85	120	C25/C40	Y	Sc	Acero de bajo o de mediano carbono, Q&T
5.2		8.8	85	120	C25/C40	Y	B, Sc, St	Acero de bajo o de mediano carbono, Q&T
5.2		8.8	85	120	C26/C36	Y	B, Sc	Acero marplatónico de bajo carbono, totalmente inerte, de grano fino, Q&T
7.8		10.9	105	135	C28/C34	Y	B, Sc	Acero de mediano carbono y aleación, Q&T
8		10.9	120	150	C33/C39	Y	B, Sc, St	Acero de mediano carbono y aleación, Q&T
8.1		10.9	120	150	C32/C38	Ninguna	St	Acero de mediano carbono y aleación, estrado a alta temperatura o bien, acero G15410
8.2		10.9	120	150	C35/C42	Y	B, Sc	Acero marplatónico de bajo carbono, totalmente inerte, de grano fino, Q&T
A574		12.9	140	180	C39/C45	12.9	SHCS	Acero de aleación, Q&T
A574		12.9	135	170	C37/C45	12.9	SHCS	Acero de aleación, Q&T

^a Sems = Screw and washer assemblies = Conjunto de tornillo y rondana o arandela.
^b Tomado de ANSI/SAE J489; ANSI B18.3.1-1978; y ASTM A325, A354, A449, y A574.
^c El grado métrico corresponde a xx.x, donde xx indica aproximadamente el valor 0.015ⁱⁿ en MPa y x es la razón de 2y, min. a 5_{ur}.
^d La resistencia de fluencia es el esfuerzo al cual se produce una deformación permanente de 0.2% de la longitud calibreada.
^e B = bolt = perno; SC = screw = tornillo; St = stud = espárrago; Se = srm = conjunto de tornillo y arandela; SHCS = socket head cap screw = tornillo de maquinaria con cabeza de
^f A los pernos y tornillos de grado 7 se les forma cabeza laminada después del tratamiento térmico.
^g Los pernos y tornillos grado 7 se rosca por rolado después del tratamiento térmico.
^h Q&T = templado y revenido.

ANEXO 8. FACTORES PARA SELECCIÓN DE CADENA

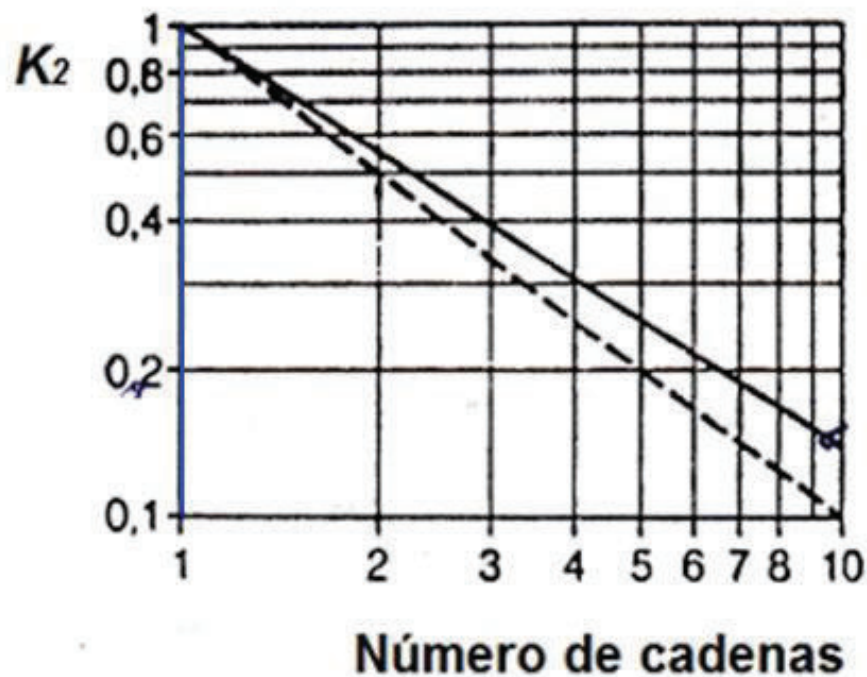
- FACTOR DE CORRECCIÓN PARA LOS DIENTES K_1

Tabla 17-12 FACTORES DE CORRECCIÓN PARA LOS DIENTES

Número de dientes en la rueda dentada impulsora	Factor de corrección K_1 para los dientes	Número de dientes en la rueda dentada impulsora	Factor de corrección K_1 para los dientes
11	0.53	22	1.29
12	0.62	23	1.35
13	0.70	24	1.41
14	0.78	25	1.46
15	0.85	30	1.73
16	0.92	35	1.95
17	1.00	40	2.15
18	1.05	45	2.37
19	1.11	50	2.51
20	1.18	55	2.66
21	1.26	60	2.80

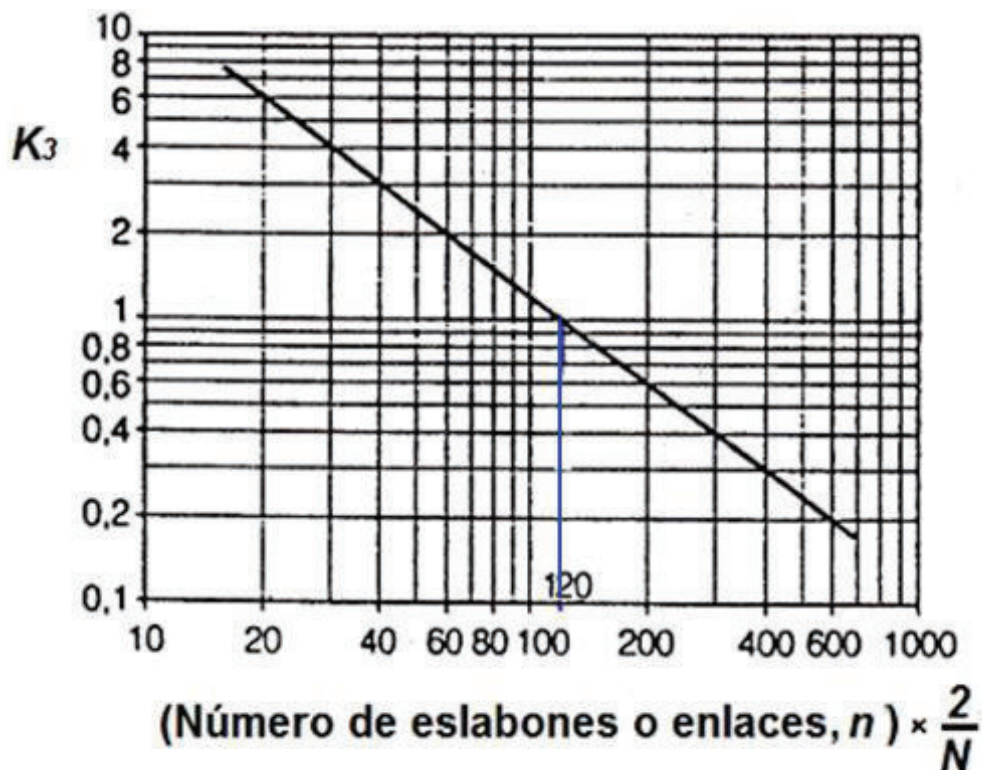
Tabla A.8. 1 FACTOR K_1

- FACTOR DE MULTICPLICIDAD EN FUNCIÓN DEL NÚMERO DE CADENAS USADAS K_2



Gráfica A.8. 1 Factor K_2

- FACTOR DE CORRECCIÓN POR EL NÚMERO DE ESLABONES K3



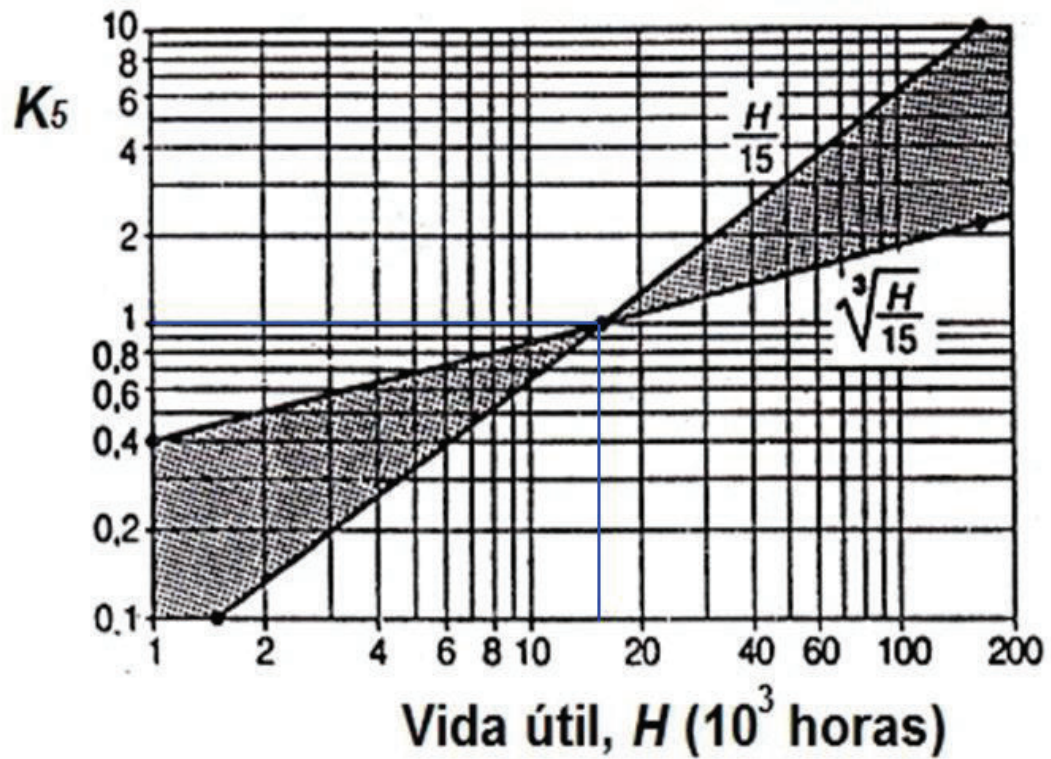
Gráfica A.8. 2 Factor K3

- FACTOR DE SERVICIO K4

Trabajo característico de la máquina movida	Trabajo de la máquina motriz		
	<u>uniforme</u> : motores eléctricos, turbinas de gas, motores de combustión interna con acoplamiento hidráulico.	<u>choques leves</u> : motores eléctricos sometidos a frecuentes arranques, motores de combustión interna con seis o más cilindros.	<u>choques moderados</u> : motores de combustión interna con menos de seis cilindros con acoplamientos mecánicos..
<u>movimiento uniforme</u> : bombas y compresores centrífugos, impresoras, transportadores de banda uniformemente cargados, agitadores y mezcladores de líquidos, secadores rotatorios, ventiladores.	1,00	1,10	1,30
<u>choques moderados</u> : bombas y compresores con tres o más cilindros, mezcladoras de concreto, transportadores de banda no cargados uniformemente, agitadores y mezcladores de sólidos.	1,40	1,50	1,70
<u>choques fuertes</u> : excavadoras, molinos de bolas, máquinas para el procesado de gomas, prensas, cizallas, bombas y compresores con uno o dos cilindros.	1,80	1,90	2,10

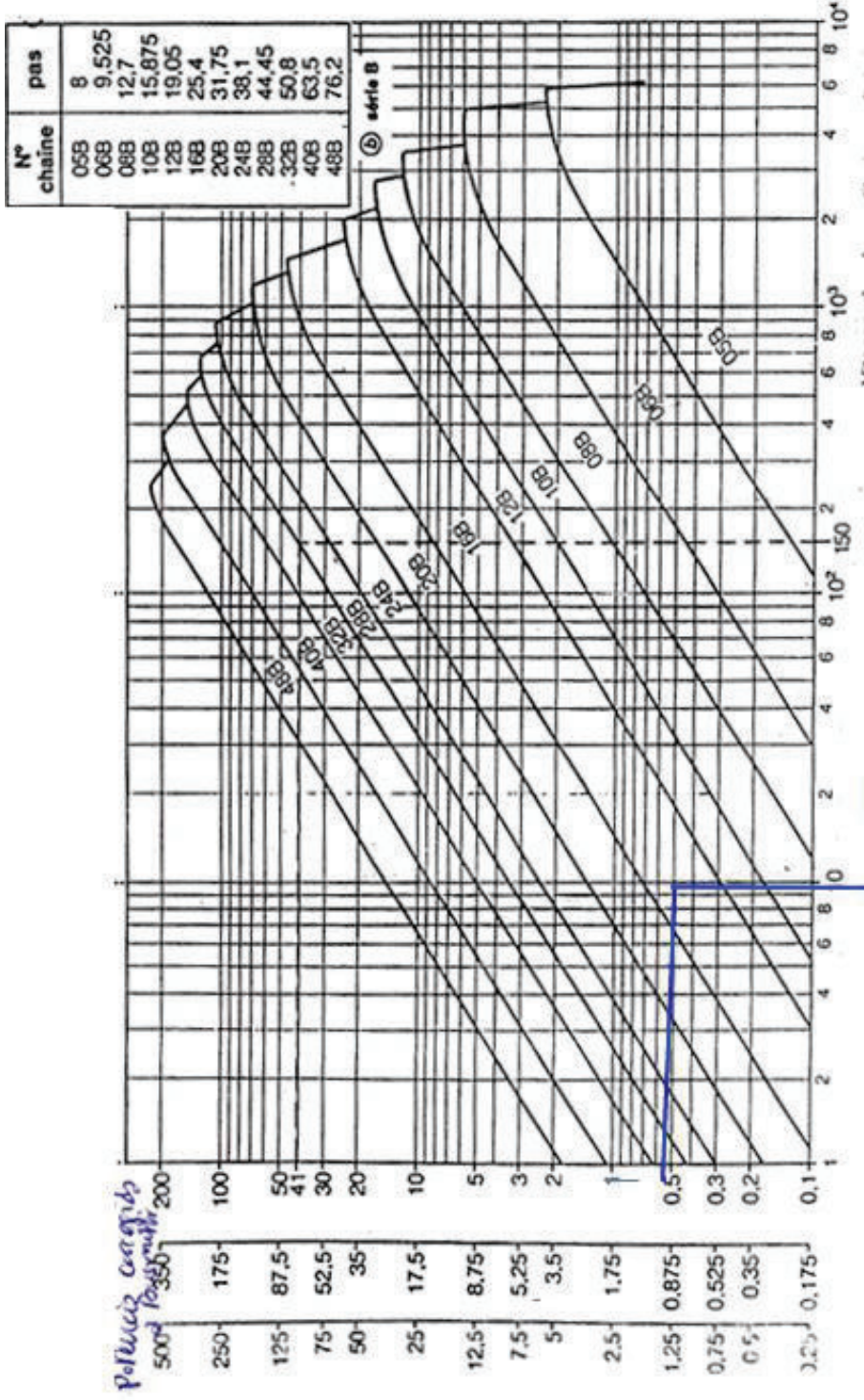
Tabla A.8. 2 FACTOR K4

- FACTOR DE DURACIÓN EN FUNCIÓN DE LA VIDA ÚTIL DE LA CADENA K5



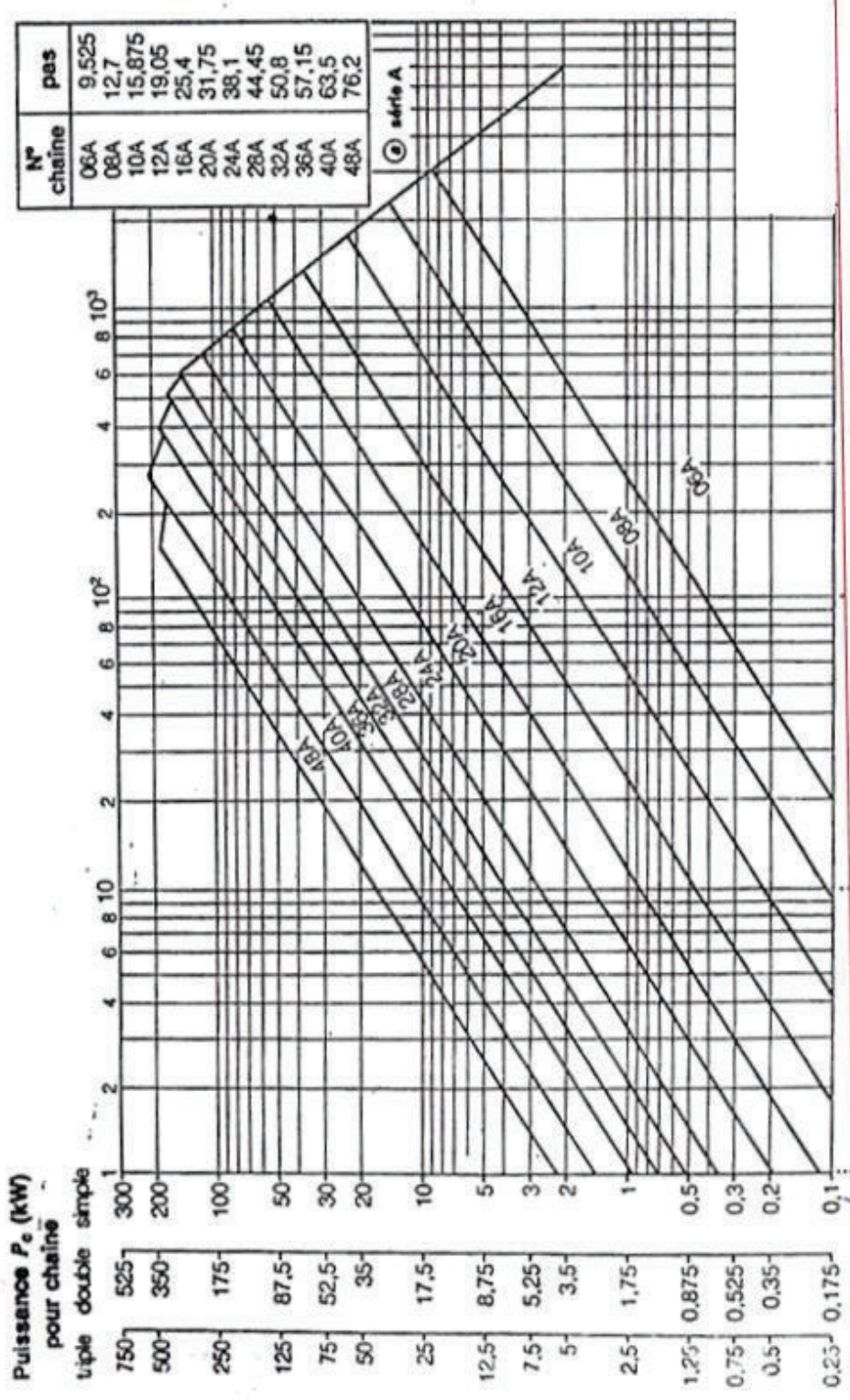
Gráfica A.8. 3 FACTOR K5

- GRÁFICAS PARA SELECCIÓN DE CADENA SEGÚN SERIE EUROPEA Y AMERICANA



Gráfica A.8.4 Diagrama de Selección de la Cadena de transmisión de potencia Serie B (Serie Europea)[44]

Fuente: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorial127.html>



Gráfica A.8. 5 Diagrama de Selección de la Cadena de transmisión de potencia Serie A (Serie Americana)[44]

Fuente: <http://ingemecanica.com/tutoriaisemanal/tutoria1n127.html>

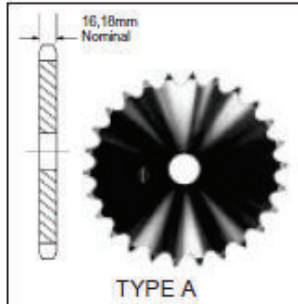
ISO Chain number / Número de cadena	Pitch / Paso P	Roller diameter/ diámetro del rodillo A	Width between inner plates/ Ancho entre placas interiores B	Pin diameter/ diámetro de perno C	Pin length/ longitud de perno		
					D	E	
SIMPLEX							
04B-1	6	4	2,8	1,85	6,8	7,8	
05B-1	8	5	3	2,31	8,2	8,9	
*06B-1	9,525	6,35	5,72	3,28	13,15	14,1	
08B-1	12,7	8,51	7,75	4,45	16,7	18,2	
10B-1	15,875	10,16	9,65	5,08	19,5	20,9	
12B-1	19,05	12,07	11,68	5,72	22,5	24,2	
16B-1	25,4	15,88	17,02	8,28	36,1	37,4	
20B-1	31,75	19,05	19,56	10,19	41,3	45	
24B-1	38,1	25,4	25,4	14,63	53,4	57,8	
28B-1	44,45	27,94	30,99	15,9	65,1	69,5	
32B-1	50,8	29,21	30,99	17,81	66	71	
40B-1	63,5	39,37	38,1	22,89	82,2	89,2	
48B-1	76,2	48,26	45,72	29,24	99,1	107	
56B-1	88,9	53,98	53,34	34,32	114,6	123	
64B-1	101,6	63,5	60,96	39,4	130	138,5	
DUPLEX							
05B-2	8	5	3	2,31	13,9	14,5	
*06B-2	9,525	6,35	5,72	3,28	23,4	24,4	
08B-2	12,7	8,51	7,75	4,45	31,2	32,2	
10B-2	15,875	10,16	9,65	5,08	36,1	37,5	
12B-2	19,05	12,07	11,68	5,72	42	43,6	
16B-2	25,4	15,88	17,02	8,28	68	69,3	
20B-2	31,75	19,05	19,56	10,19	77,8	81,5	
24B-2	38,1	25,4	25,4	14,63	101,7	106,2	
28B-2	44,45	27,94	30,99	15,9	124,6	129,1	
32B-2	50,8	29,21	30,99	17,81	124,6	129,6	
40B-2	63,5	39,37	38,1	22,89	154,5	161,5	
48B-2	76,2	48,26	45,72	29,24	190,4	198,2	
56B-2	88,9	53,98	53,34	34,32	221,2	229,6	
64B-2	101,6	63,5	60,96	39,4	249,9	258,4	
TRIPLEX							
05B-3	8	5	3	2,31	19,5	20,2	
*06B-3	9,525	6,35	5,72	3,28	33,5	34,6	
08B-3	12,7	8,51	7,75	4,45	45,1	46,1	
10B-3	15,875	10,16	9,65	5,08	52,7	54,1	
12B-3	19,05	12,07	11,68	5,72	61,5	63,1	
16B-3	25,4	15,88	17,02	8,28	99,8	101,2	
20B-3	31,75	19,05	19,56	10,19	114,2	117,9	
24B-3	38,1	25,4	25,4	14,63	150,1	154,6	

Tabla A.8. 3 CATÁLOGO DE CADENA SIMPLE 16B-1

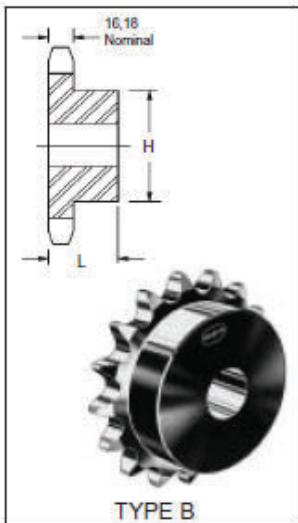
Inner plate height / Altura placa interior	Plate thick-ness / grosor de placa	Trans-verse pitch/ paso transverso	Minimum tensile strength/ resistencia mínima de tracción	Average tensile strength/ Resistencia media de tracción	Weight/ Peso
F	g/G	H	kN	kN	kg/m
5	0,6	-	3	3,2	0,11
7,1	0,8	-	5	5,9	0,2
8,2	1,3	-	9	10,4	0,41
11,8	1,6	-	18	19,4	0,69
14,7	1,7	-	22,4	27,5	0,93
16	1,85	-	29	32,2	1,15
21	4.15/3.1	-	60	72,8	2,71
26,4	4.5/3.5	-	95	106,7	3,7
33,2	6.0/4.8	-	160	178	7,1
36,7	7.5/6.0	-	200	222	8,5
42	7.0/6.0	-	250	277,5	10,25
52,96	8.5/8.0	-	355	394	16,35
63,8	12.0/10.0	-	560	621,6	25
77,8	13.5/12.0	-	850	940	35,88
90,17	15.0/13.0	-	1120	1240	46,5
7,1	0,8	5,64	7,8	10,2	0,33
8,2	1,3	10,24	16,9	18,7	0,77
11,8	1,6	13,92	32	38,7	1,34
14,7	1,7	16,59	44,5	56,2	1,84
16	1,85	19,46	57,8	66,1	2,31
21	4.15/3.1	31,88	106	133	5,42
26,4	4.5/3.5	36,45	170	211,2	7,2
33,2	6.0/4.8	48,36	280	319,2	13,4
36,7	7.5/6.0	59,56	360	406,8	16,6
42	7.0/6.0	58,55	450	508,5	21
52,96	8.5/8.0	72,29	630	711,9	32

CHAIN DATA:

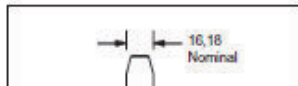
BS 228/15
 ISO 16B-1
 PITCH: 25,40mm (1.00 in.)
 ROLLER DIAMETER: 15,88mm (0.625 in.)
 ROLLER WIDTH: 17,02mm (0.670 in.)
 TENSILE: 67,000Newtons.



TYPE A



TYPE B




Simplex-Type B/C — Steel/Cast **Simplex-Type A — Steel**


No. Teeth	Pitch Diameter MM	Catalog Number	Bore		Hub		Weight (Approx.) Kilos	Catalog Number	Bore Stock MM	Weight (Approx.) Kilos
			Stock MM	Max. MM	H MM	L MM				
8	66,37	16B8	16	28	42	35	0,50	16A8	12	0,34
9	74,27	16B9	16	33	50	35	0,68	16A9	12	0,44
10	82,19	16B10	16	36	55	35	0,87	16A10	12	0,96
11	90,14	16B11	16	40	61	40	1,18	16A11	16	0,68
12	98,14	16B12	16	46	69	40	1,48	16A12	16	0,81
13	106,12	16B13	16	52	78	40	1,82	16A13	16	1,00
14	114,15	16B14	16	56	84	40	2,14	16A14	16	1,13
15	122,17	16B15	16	61	92	40	2,52	16A15	16	1,30
16	130,20	16B16	20	67	100	45	3,19	16A16	20	1,49
17	138,22	16B17	20	67	100	45	3,41	16A17	20	1,68
18	146,28	16B18	20	67	100	45	3,62	16A18	20	1,91
19	154,33	16B19	20	67	100	45	3,86	16A19	20	2,12
20	162,38	16B20	20	67	100	45	4,10	16A20	20	2,39
21	170,43	16B21	20	72	110	50	5,09	16A21	20	2,64
22	178,48	16B22	20	72	110	50	5,35	16A22	20	2,91
23	186,53	16B23	20	72	110	50	5,66	16A23	20	3,16
24	194,59	16B24	20	72	110	50	5,94	16A24	20	3,43
25	202,66	16B25	20	72	110	50	6,25	16A25	20	3,72
26	210,72	16B26	20	80	120	50	7,07	16A26	20	4,08
27	218,79	16B27	20	80	120	50	7,39	16A27	20	4,40
28	226,85	16B28	20	80	120	50	7,72	16A28	20	4,79
29	234,92	16B29	20	80	120	50	8,11	16A29	20	5,14
30	243,00	16B30	20	66	110	50	8,47	16A30	20	5,53
31	251,08	16B31	25	80	120	50	8,78	16A31	25	5,89
32	259,13	16B32	25	80	120	50	9,19	16A32	25	6,33
33	267,21	16B33	25	80	120	50	9,63	16A33	25	6,70
34	275,28	16B34	25	80	120	50	10,02	16A34	25	7,00
35	283,36	16B35	25	80	120	50	10,50	16A35	25	7,60
36	291,44	16B36	25	80	120	50	10,90	16A36	25	8,08
37	299,51	16B37	25	80	120	50	11,30	16A37	25	8,50
38	307,59	16B38	25	66	110	65	11,86	16A38	25	8,98
39	315,67	16B39	25	80	120	50	12,32	16A39	25	9,34
40	323,75	16B40	25	80	120	50	12,86	16A40	25	9,94
41	331,82	16B41*	32	80	120	50	12,89	16A41	25	10,50
42	339,90	16B42*	32	80	120	50	12,92	16A42	25	11,02
43	347,98	16B43*	32	80	120	50	12,95	16A43	25	11,64
44	356,06	16B44*	32	80	120	50	12,99	16A44	25	12,08
45*	364,13	16B45	29	75	125	70	13,02	16A45	25	12,60
46	372,21	16B46*	32	80	120	50	12,32	16A46	25	13,20
47	380,29	16B47*	32	80	120	50	12,62	16A47	25	13,94
48	388,36	16B48*	32	80	120	50	12,92	16A48	25	14,54
50	404,52	16B50*	32	80	120	50	13,62	16A50	25	15,86
54	436,85	16B54*	32	87	130	50	14,56	16A54	30	18,51
57*	461,07	16B57	29	75	125	70	15,50	16A57	30	20,50
60	485,32	16B60*	32	87	130	50	18,10	16A60	30	22,95

Tabla A.8. 4 CATÁLOGO DE RUEDAS PIÑONES

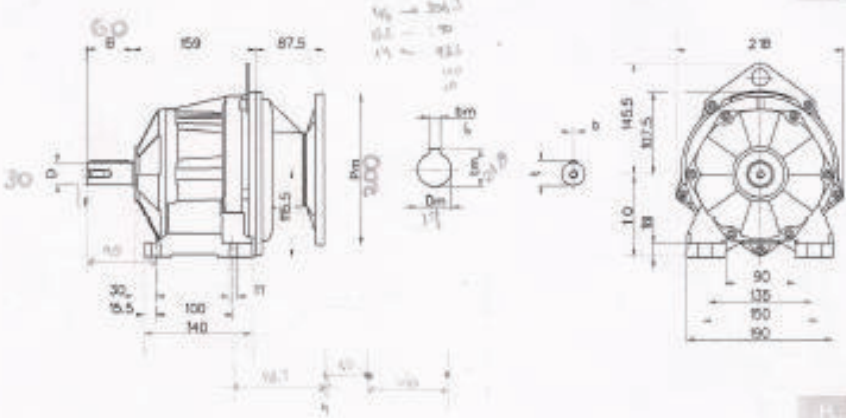
ANEXO 9. CATÁLOGO DEL MOTOREDUCTOR

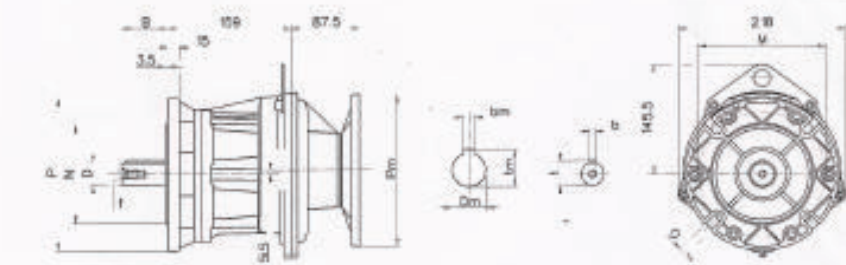


MOTOVARIO



Dimensioni / Generations / Abmessungen / Escembraments / Dimensiones
A52





Alber / Shaft / Wellen / Axes / Ejes				
D j6	B	b	t	f
33	60	5	33	M10
(35)	(70)	(10)	(38)	(M12)
(24)	(80)	(8)	(27)	(M8)

Flange / Flanges / Flansche / Flanques / Bridas			
P	M	N 18	O
280	165	130	11
(160)	(130)	(110)	(11)
-	-	-	-

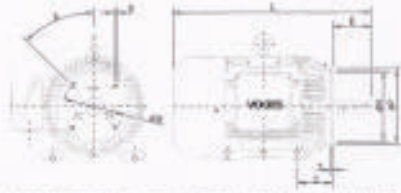
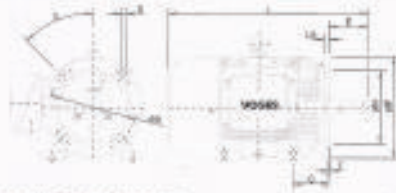
PAM	~ kg
080 - 090	10,5
100 - 112	18,2

- Peso senza motore (..) Solo su richiesta
 - Weight without motor (..) Only on request
 - Gewicht ohne Motor (..) Auf Wunsch
 - Poids sans moteur (..) Seulement sur demande
 - Peso sin motor (..) Sólo bajo pedido

Per le dimensioni relative alla zona attacco motore (Pm, Dm, bm, tm) fare riferimento alla tabella di pag. 142.
 For the dimensions concerning the motor connection area (Pm, Dm, bm, tm) please refer to the table shown at page 142.
 Zu den Abmessungen des Motorschlussflansches (Pm, Dm, bm, tm) siehe Tabelle auf Seite 142.
 Pour les dimensions concernant la zone de montage du moteur (Pm, Dm, bm, tm) lire SVP le tableau à la page 142.
 Para las magnitudes correspondientes a la zona del motor (Pm, Dm, bm, tm) consulte la tabla de la página 142.

103

MECHANICAL DATA / DATOS MECÁNICOS



ACCORDING TO IEC 60072-1
CONFORME IEC 60072-1

FLANGE DIMENSIONS TYPE "B" "B1"
DIMENSIONES DE LA BRIDA TIPO "B" "B1"

FRAME CATEGORÍA	FLANGE BRIDA (MM)	C	LA	ØM	ØH	ØF	ØS	T	Ø	HOLE QTY CANT. DE ALINEOS
56	FF 130	38	6	130	80,6	128	7	3,0	45°	4
63	FF 133	44	16	133	90,6	140	10	3,0	45°	4
71	FF 130	40	18	130	110,6	160	10	3,0	45°	4
80	FF 140	58	12	140	130,6	170	12	3,0	45°	4
90 L	FF 145	58	12	145	130,6	170	12	3,0	45°	4
90 S	FF 144	58	12	144	130,6	170	12	3,0	45°	4
100 L	FF 154	60	14	154	150,6	190	14	4,0	45°	4
112 M	FF 155	70	14	155	160,6	210	14	4,0	45°	4
132 S	FF 161	88	14	161	170,6	230	14	4,0	45°	4
132 M	FF 161	88	14	161	170,6	230	14	4,0	45°	4
160 M	FF 180	100	15	180	190,6	250	15	5,0	45°	4
160 L	FF 180	100	15	180	190,6	250	15	5,0	45°	4
180 M	FF 200	120	15	200	210,6	270	15	5,0	45°	4
180 L	FF 200	120	15	200	210,6	270	15	5,0	45°	4
200 M	FF 220	130	15	220	230,6	290	15	5,0	45°	4
200 L	FF 220	130	15	220	230,6	290	15	5,0	45°	4
225 S/M	FF 240	140	16	240	250,6	310	16	5,0	22°/30°	4
250 S/M	FF 260	150	16	260	270,6	330	16	5,0	22°/30°	4
280 S/M	FF 280	170	18	280	290,6	350	18	5,0	22°/30°	4
315 S/M	FF 300	190	20	300	310,6	370	20	5,0	22°/30°	4
355 M/L	FF 340	220	22	340	350,6	410	22	6,0	22°/30°	4

ACCORDING TO NEMA STANDARD MG1 11.34 AND MG1 11.35
CONFORME NORMA NEMA MG1 11.34 Y MG1 11.35

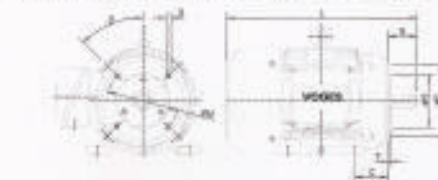
FLANGE DIMENSIONS TYPE "C" "NEMA"
DIMENSIONES DE LA BRIDA TIPO "C" "NEMA"

FRAME CATEGORÍA	FLANGE BRIDA (MM)	C	ØH	ØM	ØF	ØS	T	Ø	HOLE QTY CANT. DE ALINEOS	
63	FC 95	48	85,2	76,2	48	115	1,0	20°/40°	4	45°
71	FC 95	48	85,2	76,2	48	115	1,0	20°/40°	4	45°
80	FC 95	48	85,2	76,2	48	115	1,0	20°/40°	4	45°
90 S	FC 140	58	143,7	114,3	58	165	1,0	18°/30°	4	45°
90 L	FC 140	58	143,7	114,3	58	165	1,0	18°/30°	4	45°
100 L	FC 140	58	143,7	114,3	58	165	1,0	18°/30°	4	45°
112 M	FC 184	70	184,1	154,8	70	210	1,0	18°/30°	4	45°
132 S	FC 184	70	184,1	154,8	70	210	1,0	18°/30°	4	45°
132 M	FC 184	70	184,1	154,8	70	210	1,0	18°/30°	4	45°
160 M	FC 184	70	184,1	154,8	70	210	1,0	18°/30°	4	45°
160 L	FC 184	70	184,1	154,8	70	210	1,0	18°/30°	4	45°
180 L	FC 228	121	228,6	198,3	121	250	1,0	18°/30°	4	45°
180 S	FC 228	121	228,6	198,3	121	250	1,0	18°/30°	4	45°
200 M	FC 228	121	228,6	198,3	121	250	1,0	18°/30°	4	45°
200 L	FC 228	121	228,6	198,3	121	250	1,0	18°/30°	4	45°
225 S/M	FC 270	140	270,4	217,1	140	290	1,0	18°/30°	4	22°/30°
250 S/M	FC 270	140	270,4	217,1	140	290	1,0	18°/30°	4	22°/30°
280 S/M	FC 310	170	310,8	254,5	170	330	1,0	18°/30°	4	22°/30°
315 S/M	FC 354	210	354,3	291,9	210	370	1,0	18°/30°	4	22°/30°

**BEARINGS AND LUBRICATION SYSTEM
COJINETES Y SISTEMAS DE LUBRICACION**

DRIVE END
SO TO 160 FRAME SIZES
DELANTERO TRIAJERO
MOTORES 50 A 160

OPPOSITE DRIVE END
160 TO 355 FRAME SIZE
DELFANTERO TRIAJERO
MOTORES 160 A 355



ACCORDING TO DIN 42677 AND DIN 42948 STANDARDS
CONFORME NORMA DIN 42677 Y DIN 42948

FLANGE TYPE "C" DIN (DIMENSIONS "B1")
DIMENSIONES DE LA BRIDA TIPO "C" DIN "B1"

FRAME CATEGORÍA	FLANGE BRIDA (MM)	C	ØH	ØM	ØF	ØS	T	Ø	HOLE QTY CANT. DE ALINEOS
56	C 85	38	85	70,25	38	95	2,0	45°	4
63	C 85	44	91	80,25	38	95	2,0	45°	4
71	C 100	44	91	70,25	38	95	2,0	45°	4
80	C 130	58	130	80,25	38	95	2,0	45°	4
90 S	C 140	58	135	95,25	38	95	2,0	45°	4
90 L	C 140	58	135	95,25	38	95	2,0	45°	4
100 L	C 160	60	160	110,25	38	95	2,0	45°	4
112 M	C 160	70	160	110,25	38	95	2,0	45°	4
132 S	C 200	88	185	130,25	38	95	2,0	45°	4
132 M	C 200	88	185	130,25	38	95	2,0	45°	4

AXIAL AND RADIAL LOADS FOR 50 Hz (kgf) MOTORS

CARGAS AXIALES Y RADIALES ADMISIBLES PARA MOTORES CON FRECUENCIA DE 50/60 Hz (kgf)

POLES POSICIÓN ALINEOS	2 POLES 2 POLOS										4 POLES 4 POLOS										6 POLES 6 POLOS										8 POLES 8 POLOS										POSICIÓN I - MOTOR AT VERTICAL POSITION, DOWNWARD LOAD. POSICIÓN II - MOTOR AT VERTICAL POSITION, UPWARD LOAD. POSICIÓN III - MOTOR AT HORIZONTAL POSITION, INWARD LOAD. POSICIÓN IV - MOTOR AT HORIZONTAL POSITION, OUTWARD LOAD. POSICIÓN V - RADIAL LOAD ABOUT THE SHAFT. MOTOR
	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V																
56	14	16	15	15	21	28	22	21	21	28	25	27	26	28	30	29	29	29	29	33																					
63	10	21	28	20	28	28	31	28	20	35	34	26	35	36	40	38	41	38	39	45																					
71	38	29	27	27	30	27	41	38	36	48	46	30	47	47	53	52	56	54	54	59																					
80	33	30	24	24	40	46	35	30	30	58	56	46	62	62	67	66	71	71	71	78																					
90	31	41	35	35	51	48	50	52	52	62	61	72	85	85	71	62	75	75	78																						
100	41	54	46	46	71	64	60	70	70	88	81	88	88	88	105	96	110	102	102	114																					
112	60	80	66	66	103	90	125	98	122	130	115	107	123	132	149	135	161	143	127	164																					
132	76	120	86	86	144	131	189	145	145	181	188	207	182	182	239	198	236	213	212	229																					
160	87	167	114	114	185	168	236	183	184	234	264	234	231	231	268	242	322	270	270	288																					
180	129	200	138	138	225	214	289	249	245	284	371	378	368	368	525	525	635	558	558	590																					
200	121	237	178	178	264	216	357	267	267	303	378	444	338	338	448	332	511	397	397	483																					
225	121	272	178	178	302	228	410	294	294	329	394	520	378	378	492	357	588	441	441	542																					
250	119	315	191	191	365	252	475	320	320	408	508	580	411	411	520	373	672	484	484	600																					
280	88	345	183	183	481	308	670	427	427	537	637	713	543	543	688	520	811	590	590	787																					
315	127	378	208	208	479	371	753	468	468	588	721	804	604	604	742	587	1012	802	802	1016																					
355	110	582	218	218	624	448	880	448	448	1004	1214	1318	1004	1004	1218	988	1312	1016	1016	1322																					

1. THE CANT. LOAD VALUES CONSIDER AVERAGE LIFE OF ABOUT 20,000 HOURS OPERATING AT 40 AMPS WITH DIRECT COOLING.
2. FOR 50HZ MOTORS BEARING LIFE IS ABOUT 2,000 HOURS.
3. AXIAL AND RADIAL LOADS CANNOT BE ASSOCIATED TO THE SAME MOTOR. APPROX. LOAD IS INDICATED UPON REQUEST.
- POSICIÓN I - MOTOR VERTICAL CON CARGA EN SU PARTE INFERIOR.
- POSICIÓN II - MOTOR VERTICAL CON CARGA EN SU PARTE SUPERIOR.
- POSICIÓN III - MOTOR HORIZONTAL CON CARGA ACERCANDO AL EJE CENTRAL.
- POSICIÓN IV - MOTOR HORIZONTAL CON CARGA ALEJANDO DEL EJE CENTRAL.
- POSICIÓN V - CARGA RADIAL SOBRE EL EJE.

PERFORMANCE DATA / CARACTERÍSTICAS DE DESEMPEÑO

Table with columns: Power (kW, HP, SEC), Frame, Speed (rpm), Current (A), Torque (Nm, Kg), Efficiency (%), Power Factor, Service Factor, CP, Weight.

2 POLES - 60 Hz / 2 POLOS - 60 Hz

Detailed performance table for 2 pole motors, listing motor sizes, power, speed, current, torque, efficiency, power factor, service factor, and weight.

4 POLES - 60 Hz / 4 POLOS - 60 Hz

Detailed performance table for 4 pole motors, listing motor sizes, power, speed, current, torque, efficiency, power factor, service factor, and weight.

ANEXO 10. MATERIALES DE APORTE PARA ACEROS INOXIDABLES

Materiales de aporte sugeridos para la soldadura del acero inoxidable

Metal de base	Electrodo recubierto AWS o nombre común	Electrodo desnudo y varilla - AWS o nombre común	Metal de base	Electrodo recubierto AWS o nombre común	Electrodo desnudo y varilla - AWS o nombre común
AISI (UNS)	AWS A5.4 (UNS)	AWS A 5.9 (UNS)	AISI (UNS)	AWS A5.4 (UNS)	AWS A 5.9 (UNS)
304 (S30400)	E 308 ⁽¹⁾ (W30810)	ER 308 ⁽¹⁾ (S30880)	20 MO-6 ⁽²⁾ (N08026)	(3)	(3)
304L (S30403)	E 308L (W30813)	ER 308L (S30883)	20Cb-3 ⁽²⁾ (N08020)	E 320LR (W88022)	ER 320LR (N08022)
309 (S30900)	E 309 ⁽¹⁾ (W30910)	ER 309 ⁽¹⁾ (S30980)	FUNDICIONES		
310 (S31000)	E 310 (W31010)	ER 310 (S31080)	TIPO ACI (UNS)	AWS A 5.4 (UNS)	AWS A5.9 (UNS)
316 (S31600)	E 316 ⁽¹⁾ (W31610)	ER 316 ⁽¹⁾ (S31680)	CF-8 (J92600)	E 308 ⁽¹⁾ (W30810)	ER 308 ⁽¹⁾ (S30880)
316L (S31603)	E 316L (W31613)	ER 316L (S31683)	CF-3 (J92500)	E 308L (W30813)	ER 308L (S30883)
317 (S31700)	E 317 ⁽¹⁾ (S31780)	ER 317 ⁽¹⁾ (S31780)	CF-8M (J92900)	E 316 ⁽¹⁾ (W31610)	ER 316 ⁽¹⁾ (S31680)
317L (S31703)	E 317L (W31713)	ER 317L (S31783)	CF-3M (J92800)	E 316L (W31613)	ER 316L (S31683)
317 LM (S31725)	(3)	(3)	CN-7M (J95150)	E 320 LR (W88022)	ER 320 LR (N08022)

ANEXO 11. PROFORMAS O COTIZACIONES DE ELEMENTOS PARA LA CONSTRUCCIÓN



PROFORMA					
DNEA		CLIENTE = 000000	9999999999	PRO. NUMERO: 000000	
AN. 4 DE DICIEMBRE 2012-01 ENTRE		NOMBRE = COMANDANTE FIML		EMISION: 12/05/15	
		DIRECCION:			
01230045 01230048		TELEFONO:			
1708579513001					
COMENTARIOS:					
CODIGO	DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO	DESC	TOTAL
10001	BAJO DE BOM	1.00	50.00	0.00	50.00
RELE00	RELE 12V ICNT 5P 50073-12V	2.00	9.44	0.00	1.79
TRI0002	BT33-600 NTE5400 600MA,4A,10-22	2.00	9.00	0.00	1.81
RES1001	RESISTENCIA 1/4W	8.00	0.92	0.00	0.14
SW1003	PULSADOR NORMALMENTE ABIERTO 100V AC	1.00	0.66	0.00	0.66
BA0002	BARRELLA 10100 FIBRA VERDE	1.00	1.36	0.00	1.36
BOR0001	BORNERA 2 PINES 5MM VERDE 0 42UL	4.00	0.35	0.00	1.00
2K004	NTEU20AF 1-NPN,50-40/100 AMP,10-02	4.00	0.10	0.00	0.40
SUBTOTAL:		56.46	IVU:	6.78	TOTAL = 63.24

CONDICIONES = VALORES DE LA OFERTA QUINCE DIAS



JACOME GONZALEZ RODRIGO ABELARDO
 Av. 10 de Agosto N21-112 y San Gregorio - Quito -
 Ecuador
 RUC: 1702307255001
 Telefono: 2 528-080, 2 568-559, 0999 725 327
 e-mail: jacomegonaecuator@yahoo.es

PROFORMA (SIN VALOR COMERCIAL)

Nro.: 814

Fecha de emisión: 06 de mayo de 2015

● : FINAL CONSUMIDOR

n : QUITO

I. : 9999999999999

Forma de pago :

Efectivo

IGO	DESCRIPCION DEL PRODUCTO	CANTIDAD	P. UNITARIO	TOTAL
0080001	MANGUERA ANGELO N.1	1,00	0,98	0,98
0020033	QUEMADOR TW. 080800 10ESPRESAS	1,00	25,89	25,89
0040019	LLAVE 1/2 TC	1,00	6,16	6,16
0030053	B 3 1/2 BRONCE	1,00	2,32	2,32
0111286	REGULADOR RHINO RG-183B	1,00	4,91	4,91
0120856	ABRAZADERA 3/4 10-06	2,00	0,27	0,54

Subtotal: 40,80

Impuesto al valor agregado: 4,90

Total proforma: 45,70

Rodrigo
 Responsable



RUC. 0500685219001
 AV. 6 DE DICIEMBRE N59-10
 TELEF. 3280713 - 3280712

Proform

No. 0000002477

Cliente: **VICTOR VERA**
 Dirección:
 Referencia:
 Ciudad: Teléfono:
 Fecha: 2015/05/25
 Vendedor: 10 DARWIN QUIZHPE
 Observacion:

Codigo	Descripcion	UM	Cantidad	Bonif.	Precio U.	%	Dcto.	Total
149900006	ELECTRODO 60-11 - 1/8 AGA KG	KG	1,00	0	4.1994	0,00	0,000	4.1900
141400054	ELECTRODO DE ACERO INOXIDABLE R91	UN	1,00	0	0.9539	0,00	0,000	0.9500
204600001	CEMENTO 50KG SELVA ALEGRE (SACOS)	UN	1,00	0	6.9196	0,00	0,000	6.9100
162440004	MALLA 4 X 15 X 15 ARMEX 2.40 X 6	UN	1,00	0	24.1776	0,00	0,000	24.1700
162440005	MALLA 5 X 15 X 15 ARMEX 2.40 X 6	UN	1,00	0	38.4384	0,00	0,000	38.4300
201400022	RIPIO	MV	1,00	0	53.5714	0,00	0,000	53.5700
201400001	BLOQUE PRENSADO 10	UN	10,00	0	0.3125	0,00	0,000	3.1200



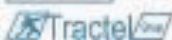
Quito, 2 de febrero del 2015.

TRANSPORTE



Señores:
VICTOR VERA,
Presente.-

Nos es grato poner a su conocimiento la siguiente cotización de acuerdo a lo requerido por Ud.(s):



Puentes grúa, Torres eléctricas y mecánicas a cable y cadena.
Sistemas de electrificación.
Tijero - tralicatos - vinchos - tolvas
Cavalletes y aplicaciones hidráulicas.
Montacargas eléctricos.

POTENCIA



Medidor de potencia, corrientes y voltajes.
Inversores de velocidad.
Variadores electrónicos (inversores).

PESAJE



Escalas industriales,
eléctricas de peso y presión.
Balanzas industriales de
pesaje y clasificación.
Balanzas tipo supermercado.

MAQUINAS



Taladros, fresadoras de banco
y engranajes.
Torres parrillas automáticas.
Fresadoras universales y de banco.
Cortadoras de tierra - coladoras.
Accesorios en general.

CANT. DESCRIPCIÓN

1

MOTORREDUCTOR COAXIAL
TIPO: ENGRANAJES HELICOIDALES
MARCA: MOTOVARIO
MODELO: HA052
RELACION DE REDUCCION $i = 61.87$
POTENCIA: 1.5HP / 4P (1700 RPM)
VELOCIDAD DE SERVICIO: 28 RPM
TORQUE DE SERVICIO: 281 Nm
DIÁMETRO DE EJE DE SERVICIO: 40 mm
VOLTAJE: 220-440 V, 60 HZ, TRIFASICO
PROTECCION: IP 56 CERRADO CONTRA POLVO Y AGUA.
MONTAJE: CUALQUIER POSICION
FACTOR DE SERVICIO: 1 (REDUCTOR SOPORTARIA HASTA 250Nm, CON HASTA 8 HORAS DE TRABAJO CONTINUO A CARGA UNIFORME Y UN PROMEDIO DE 5 ARRANQUES / HORA)
PRECIO UNIT: **\$ 850 + IVA**

FORMA DE PAGO:

TIEMPO DE ENTREGA:

VALIDEZ DE LA OFERTA:

GARANTIA:

Contado, 10% Descuento.

1 día, aprox., luego de recibida la orden de compra

15 Días

Un año contra defectos de fabricación

Atentamente,

TEC. DANIEL RUEDA
DEP. VENTAS Y LOGÍSTICA

FECHA: 13/MAY/2015 PEDIDO No: 002-002-0000065
 CLIENTE: ACENSUNIDOR FINAL PAGO: CONTADO
 RUC: 9999999999 VENDEDOR: ENORALES
 DIRECCION: 9999999999
 CIUDAD: VALLE
 TELEFONO: 99999999
 OBSERV.:

RUC. 1792503191001
PROFORMA
ACROSCENTER

CANTIDAD	CODIGO	DETALLE	TIPO	DES.	P/UNIT.	DSTO.	TOTAL
1,00	0303012	T.CUADRADO	3/4 x 0	1200920	3,70	0,00	3,70
1,00	0303060	T.CUADRADO	3/4 x 2mm	1212020	7,50	0,00	7,50
1,00	0303032	T.CUADRADO	3/4 x 1.5	1201520	5,72	0,00	5,72
1,00	0404024	CORREA 200x50x15x2.0mm		2802200	22,87	0,00	22,87
1,00	0404042	CORREA 200x50x15x3.0mm		2803200	33,58	0,00	33,58



PROACERO S.C.
PROVEEDORES DE ACERO SOCIEDAD CIVIL COMERCIAL
 R.U.C.: 1792503191001
 La Kennedy - Av. 6 de Diciembre N55-20 y Los Pinos
 Telefonos: 2401 255 - 2413 708 Fax: 2413-709
 proacero1@gmail.com QUITO - ECUADOR

NOTA: FAVOR EMITIR LOS
 CHEQUES A NOMBRE DE
PROACERO SCC

PROVEEDORES DE: Planchas Negras, Galvanizadas, Aluminio, Acero Inoxidable
 Tubos Redondos, Cuadrados, Rectangulares, Perfilera, Metálica, Angulos, Tees
 Platinas, Correas y Canales, Soldadura AGA y Ferreteria en General, Hierro y Cemento.

Cliente: ... ~~ACENSUNIDOR FINAL~~
 Dirección: ~~PLATE~~
 Fecha: ~~13/MAY/2015~~
 Por lo siguiente:

PROFORMA

Nº 000000340

DEBE:

Cant.	ARTICULOS	P. UNIT.	TOTAL
5,00	PLA INOX PATE 304 3,0	274,00	1,370,00
5,00	PLA INOX PATE 304 NEG 3,0	413,00	2,065,00

NOTA: SALIDA LA MERCADERIA NO SE ACEPTA DEVOLUCION

SUBTOTAL	3,435,00
I.V.A. %	412,20
TOTAL USD.	3,847,20

_____ CLIENTE _____ EL VENDEDOR



R.U.C. 1790947432001
 MATRIZ KENNEDY-KENNEDY AV. 6 DE DICIEMBRE NSS-337 Y LOS PINOS
 TELFS.: 2813 410 - 2813 178 - 2418 602
 FAX: 2401 781 - 2813 178
 E-mail: riler@andinet.net
 www.rilerecuador.com / www.rilerec.com
 QUITO - ECUADOR

Emisión: 2015 03 06

PROFORMA No. 0018956

Cliente: VÍCTOR VERA R.U.C./C.I.:

Contacto: Fax:

Dirección: Telf.: 09 83927430

Forma de Pago: Contado Crédito días ORDEN No.:

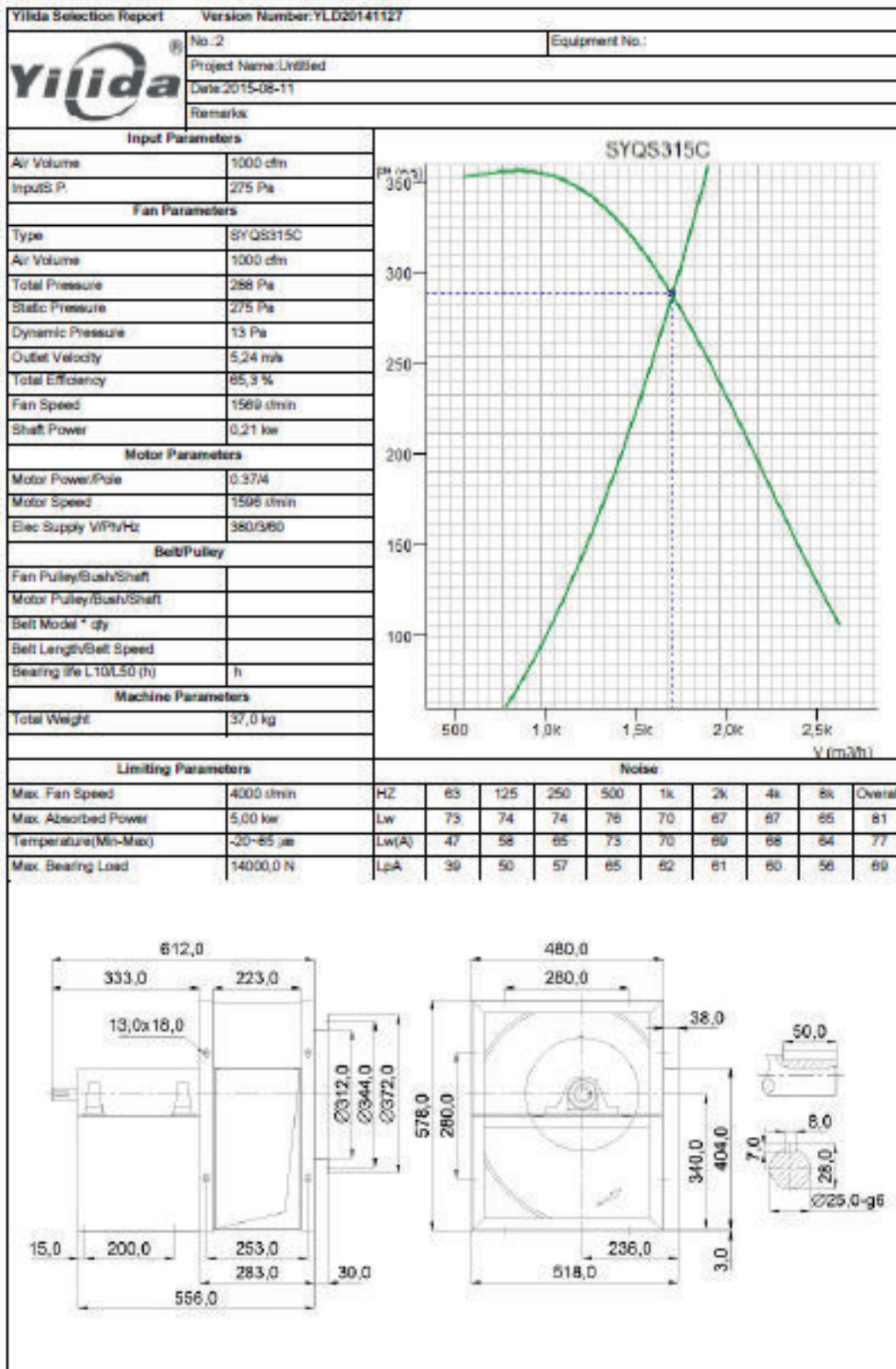
Item	Cantidad	DESCRIPCIÓN	Descuento	V. Unitario	V. Total
01	1,200	MTS ACERO INOX $\phi 2\frac{1}{2}$ "	10%	188	203 ⁰⁰
02	1,200	MTS ACERO INOX $\phi 2$ "	10%	120	129 ⁶⁰
03	1,200	MTS ACERO TRANSIT $\phi 2$ "	10%	40	43 ²⁰
04	1,200	MTS ACERO TRANSIT $\phi 2\frac{1}{2}$ "	10%	70	75 ⁶⁰
05	1	CHUMASCERA PARED 4H KDF $\phi 2\frac{1}{2}$ "	10%	70	63 ⁰⁰
06	1	CHUMASCERA PARED 4H KDF $\phi 2$ "	10%	38	34 ²⁰
07	1	ACORCE LOUVEJOY L-110 (MSTAINONIA?)	10%	136	122 ⁴⁰
08	1	PLANCHAS DE HIERRO A36 $\phi 5$ mm.	10%	175	157 ⁵⁰
09	1	PLANCHAS DE HIERRO A36 $\phi 3$ mm 1,22 x 2,44	10%	100	90
10	1	PLANCHAS DE HIERRO PERCE $\phi 2$ mm PERCE $\phi 6$ mm. 1,22 x 2,44	10%	160	144 ⁰⁰
11	1	PLANCHAS HG $\phi 9,4$ mm 1,22 x 2,44.	10%	40	36

ANEXO 12. CATÁLOGO DE VENTILADORES

Yilida Selection Report		Version Number: YLD20141127	
	No. 1	Equipment No.:	
	Project Name: Untitled		
	Date: 2015-08-11		
	Remarks:		

Input Parameters		
Air Volume	1250 cfm	
Input S.P.	85 Pa	
Fan Parameters		
Type	SYDS280C	
Air Volume	1250 cfm	
Total Pressure	98 Pa	
Static Pressure	85 Pa	
Dynamic Pressure	33 Pa	
Outlet Velocity	8,29 m/s	
Total Efficiency	37,3 %	
Fan Speed	600 rpm	
Shaft Power	0,16 kw	
Motor Parameters		
Motor Power/Pole	0,37/4	
Motor Speed	1596 rpm	
Elec Supply V/Ph/Hz	380/3/60	
Belt/Pulley		
Fan Pulley/Bush/Shaft		
Motor Pulley/Bush/Shaft		
Belt Model * qty		
Belt Length/Belt Speed		
Bearing life L10/L50 (h)	h	
Machine Parameters		
Total Weight	30,0 kg	

Limiting Parameters		Noise									
Max. Fan Speed	2400 rpm	HZ	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	Overall
Max. Absorbed Power	4,00 kw	Lw	68	75	77	68	69	68	68	68	81
Temperature (Min-Max)	-20-65 °C	Lw(A)	42	50	68	65	69	69	69	65	76
Max. Bearing Load	19400,0 N	LpA	34	51	60	57	61	61	61	57	68



UNIVERSIDAD GOBIERNO DEL ESTADO
 DIRECCIÓN DE AGRIICULTURA, FERTILIZANTES Y AMBIENTAL
**RESUMEN DE PRECIOS
 SALARIOS MÍNIMOS POR LEY**

ENERO A DE 2016
 (SALARIOS EN DÓLARES)

CATEGORÍAS OCUPACIONALES	SUELDO MÍNIMO	SUELDO TÉRMINO	SUELDO CURSO	SEMI- PUESTO	APORTE PATRONAL	FONDO RESERVA	TOTAL ANUAL	TOTAL REAL	COSTO HORARIO
ESTRUCTURA OCUPACIONAL C2 (GRUPO I)									
Operador responsable de la planta fertilizante	309.93	309.93	354.00		566.53	309.93	0 301.54	27.16	3.39
Operador responsable de la planta fertilizante	309.93	309.93	354.00		566.53	309.93	0 301.54	27.16	3.39
Operador responsable de la planta fertilizante	309.93	309.93	354.00		566.53	309.93	0 301.54	27.16	3.39
Operador de track drill	309.93	309.93	354.00		566.53	309.93	0 301.54	27.16	3.39
Rodillo autopropulsado	309.93	309.93	354.00		566.53	309.93	0 301.54	27.16	3.39
Distribuidor de adubo	309.93	309.93	354.00		566.53	309.93	0 301.54	27.16	3.39
Distribuidor de agregados	309.93	309.93	354.00		566.53	309.93	0 301.54	27.16	3.39
Indicador de porcentaje de fertilizante	309.93	309.93	354.00		566.53	309.93	0 301.54	27.16	3.39
Acabador de pavimento asfáltico	309.93	309.93	354.00		566.53	309.93	0 301.54	27.16	3.39
Grúa elevadora	309.93	309.93	354.00		566.53	309.93	0 301.54	27.16	3.39
Carretilla elevadora	309.93	309.93	354.00		566.53	309.93	0 301.54	27.16	3.39
Bomba lavadora de concreto	309.93	309.93	354.00		566.53	309.93	0 301.54	27.16	3.39
Tractor de ruedas (paradores, cogedores, rodillo remolcado, fraguadora)	309.93	309.93	354.00		566.53	309.93	0 301.54	27.16	3.39
Lavadora planta fertilizante	309.93	309.93	354.00		566.53	309.93	0 301.54	27.16	3.39
Barridos autopropulsado	309.93	309.93	354.00		566.53	309.93	0 301.54	27.16	3.39
Rodillo puzos remolcado	309.93	309.93	354.00		566.53	309.93	0 301.54	27.16	3.39
Compresor	309.93	309.93	354.00		566.53	309.93	0 301.54	27.16	3.39
Carro de carga frontal	309.93	309.93	354.00		566.53	309.93	0 301.54	27.16	3.39
Operador camión	309.93	309.93	354.00		566.53	309.93	0 301.54	27.16	3.39
Operador de riego de riego con o sin aspersores / lateral	309.93	309.93	354.00		566.53	309.93	0 301.54	27.16	3.39
Operador minicargadora/tractocargador con sus aditivos	309.93	309.93	354.00		566.53	309.93	0 301.54	27.16	3.39
Operador línea férrea	309.93	309.93	354.00		566.53	309.93	0 301.54	27.16	3.39
Tractor de riego	309.93	309.93	354.00		566.53	309.93	0 301.54	27.16	3.39
Tractor de mantenimiento de caminos y caminos	309.93	309.93	354.00		566.53	309.93	0 301.54	27.16	3.39
ESTRUCTURA OCUPACIONAL C3									
Operador máquina estacionaria (tractores de tracción)	374.28	374.28	354.00		545.70	374.28	0 136.82	26.13	3.27
MEYANERO									
Operador de equipo pesado (tractor) (Gr. C1)	410.82	410.82	354.00		566.96	410.82	0 704.48	26.53	3.57
Operador de equipo pesado (tractor) (Gr. C1)	374.28	374.28	354.00		545.70	374.28	0 136.82	26.13	3.27
SIN TITULO									
Operador o abastecedor responsable (Gr. C2)	306.46	306.46	354.00		537.24	306.46	0 046.96	25.74	3.22
DIESTROS PROFESIONALES									
CONTR. De vehículos de emergencia (Gr. C1)	544.94	544.94	354.00		794.52	544.94	0 777.88	37.35	4.87
CONTR. Para centros pesados y otros pesados con o sin motor de más de 1 toneladas (Gr. C1)	544.94	544.94	354.00		794.52	544.94	0 777.88	37.35	4.87
CONTR. Tractor (Gr. C1)	544.94	544.94	354.00		794.52	544.94	0 777.88	37.35	4.87
CONTR. Volquetes (Gr. C1)	544.94	544.94	354.00		794.52	544.94	0 777.88	37.35	4.87
CONTR. Tanques (Gr. C1)	544.94	544.94	354.00		794.52	544.94	0 777.88	37.35	4.87
CONTR. Plataformas (Gr. C1)	544.94	544.94	354.00		794.52	544.94	0 777.88	37.35	4.87
CONTR. Otros camiones (Gr. C1)	544.94	544.94	354.00		794.52	544.94	0 777.88	37.35	4.87
CONTR. Para ferrocarriles (Gr. C1)	544.94	544.94	354.00		794.52	544.94	0 777.88	37.35	4.87
CONTR. Para auto ferros (Gr. C1)	544.94	544.94	354.00		794.52	544.94	0 777.88	37.35	4.87
EBEL. Mecánico para transportar mercancías a volantes, máquinas y otros vehículos operados (Gr. C1)	544.94	544.94	354.00		794.52	544.94	0 777.88	37.35	4.87
CONTR. Para transporte Dicolores- Personal y turismo, hasta 6 pasajeros (Gr. C1)	539.23	539.23	354.00		786.18	539.23	0 689.28	36.98	4.82
CONTR. Para camiones sin acoplados (Gr. C1)	539.52	539.52	354.00		787.87	539.52	0 482.95	36.14	4.52
ESTRUCTURA OCUPACIONAL C1 OPERADORES									
Operador de bomba	410.82	410.82	354.00		566.96	410.82	0 704.48	26.53	3.57
Equipo en general	410.82	410.82	354.00		566.96	410.82	0 704.48	26.53	3.57
Equipo especial	410.82	410.82	354.00		566.96	410.82	0 704.48	26.53	3.57
Máquina	410.82	410.82	354.00		566.96	410.82	0 704.48	26.53	3.57
Motro de ambiente	410.82	410.82	354.00		566.96	410.82	0 704.48	26.53	3.57
Planta clasificadora	410.82	410.82	354.00		566.96	410.82	0 704.48	26.53	3.57
De productos terminados	410.82	410.82	354.00		566.96	410.82	0 704.48	26.53	3.57
ESTRUCTURA OCUPACIONAL C2									
Operador de bomba (operador de fertilizante)	309.93	309.93	354.00		566.53	309.93	0 301.54	27.16	3.39
Equipo especial de planta	309.93	309.93	354.00		566.53	309.93	0 301.54	27.16	3.39
Motro de ambiente	309.93	309.93	354.00		566.53	309.93	0 301.54	27.16	3.39
Planta clasificadora de fertilizante	309.93	309.93	354.00		566.53	309.93	0 301.54	27.16	3.39
Productos terminados	309.93	309.93	354.00		566.53	309.93	0 301.54	27.16	3.39
ESTRUCTURA OCUPACIONAL C3									
Operador de mezcla de materias primas	306.46	306.46	354.00		537.24	306.46	0 046.96	25.74	3.22
Tubo	306.46	306.46	354.00		537.24	306.46	0 046.96	25.74	3.22
ESTRUCTURA OCUPACIONAL C2									
Operador en general	303.74	303.74	354.00		530.33	303.74	0 478.89	25.43	3.18
Tubo de pasta de cemento	303.74	303.74	354.00		530.33	303.74	0 478.89	25.43	3.18

Nota: El salario corresponde únicamente a los salarios mínimos que rigen en la publicación de los salarios de los Comisionados Federales del Sindicato del Trabajo en los Acuerdos No. 026 y 051, de 30 de diciembre de 2014, que están en vigencia a partir del 1 de enero de 2015.

ANEXO 14. PONDERACIÓN PARA LA SELECCIÓN DE LOS DOS PROTOTIPOS DE SECADORES DE CAFÉ

Las tablas A.14.1 a la A.14.6 indican las ponderaciones que se realizan para cada variable con las tres soluciones dadas:

Alta fiabilidad	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma +1$	Ponderación
Solución 1		0,5	0	1,5	0,25
Solución 2	0,5		0	1,5	0,25
Solución 3	1	1		3	0,50
			Suma	6	1

Solución 3 > Solución 1 = Solución 2

Tabla A.14. 1 Tabla de ponderaciones para cada solución con respecto a la Variable Alta Fiabilidad

Determinación de % Humedad	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma +1$	Ponderación
Solución 1		1	1	3	0,50
Solución 2	0		0	1	0,17
Solución 3	0	1		2	0,33
			Suma	6	1

Solución 1 > Solución 3 > Solución 2

Tabla A.14. 2 Tabla de ponderaciones para cada solución con respecto a la Variable Alta Fiabilidad

Determinación de Temperatura	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma +1$	Ponderación
Solución 1		1	0,5	2,5	0,42
Solución 2	0		0	1	0,17
Solución 3	0,5	1		2,5	0,42
			Suma	6	1

Solución 1 = Solución 3 > Solución 2

Tabla A.14. 3 Tabla de ponderaciones para cada solución con respecto a la Variable Determinación de Temperatura

Costo del prototipo	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma +1$	Ponderación
Solución 1		1	0,5	2,5	0,42
Solución 2	0		0	1	0,17
Solución 3	0,5	1		2,5	0,42
			Suma	6	1

Solución 1 = Solución 3 > Solución 2

Tabla A.14. 4 Tabla de ponderaciones para cada solución con respecto a la Variable Costo

Fácil manejo y uso	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma +1$	Ponderación
Solución 1		1	0,5	2,5	0,42
Solución 2	0		0	1	0,17
Solución 3	0,5	1		2,5	0,42
			Suma	6	1

Solución 1 = Solución 3 > Solución 2

Tabla A.14. 5 Tabla de ponderaciones para cada solución con respecto a la Variable Fácil manejo y uso

Transportable	Solución 1	Solución 2	Solución 3	$\Sigma +1$	Ponderación
Solución 1		0	0	1	0,17
Solución 2	1		0,5	2,5	0,42
Solución 3	1	0,5		2,5	0,42
			Suma	6	1

Solución 2 = Solución 1 > Solución 3

Tabla A.14. 6 Tabla de ponderaciones para cada solución con respecto a la Variable Transportable

ANEXO 15. EVALUACIÓN DE PESOS ESPECÍFICOS DE CADA MÓDULO PARA LA SELECCIÓN DE ELEMENTOS CORRESPONDIENTES A LOS SECADORES DE SILO

a) Método ordinal de criterios ponderados para el Módulo 1

El módulo 1 contiene las siguientes especificaciones técnicas: tamaño, costos, ergonómico y función.

- 1 **Tamaño:** debe considerarse el mecanismo que tenga dimensiones moderadas, y no ocupe un espacio grande para colocar como elemento que ayude a la carga del grano.
- 2 **Costos:** la carga es una función importante, pero debe considerar la más económica y sencilla para acoplar al secado.
- 3 **Ergonómico:** de uso sencillo, para que el agricultor no tenga problemas durante su operación.
- 4 **Función:** debe transportar el grano de café sin que se desperdicie y maltrate.

Con base a la importancia que se tiene en cada punto, se puede realizar una adecuada ponderación para este módulo.

- Evaluación del peso específico para cada criterio

El *precio* es uno de los factores más relevantes en este módulo, al ser un accesorio o dispositivo extra que se incluye al secador, que facilita la carga del café en el contenedor. *Ergonómico* es un parámetro importante por su manejo fácil que ayuda a no entorpecer el proceso de secado. La *función*, por permitir que se transporte el grano de una manera adecuada, sin desperdicios ni maltratos del café. Finalmente, el *tamaño* de la máquina debe considerarse, porque el espacio que ocupa puede repercutir con el espacio destinado para la ubicación del secador. A continuación se tiene la tabla de ponderación A.15.1 para los cuatro criterios, que toman calificaciones de 1, 0,5 y 0; que indica el nivel de importancia detallado anteriormente para cada criterio:

Criterio	Precio	Ergonómico	Función	Tamaño	$\Sigma +1$	Ponderación
Precio		0,5	0,5	1	3	0,3
Ergonómico	0,5		0,5	1	3	0,3
Función	0,5	0,5		1	3	0,3
Tamaño	0	0	0		1	0,1
				Suma	10	1

Precio = Ergonómico = Función > Tamaño

Tabla A.15. 1 Tabla de ponderaciones para los criterios de precio, ergonomía, función y capacidad

1. Evaluación del peso específico Precio

Al tener tres criterios con la misma ponderación de la Tabla A.15.1 se analizará el criterio *precio* con cada una de las tres soluciones dadas en la Tabla 4.5 para el *módulo 1*, teniendo como resultado la tabla de ponderaciones A.15.2:

Precio	Solución 1A	Solución 1B	Solución 1C	$\Sigma +1$	Ponderación
Solución 1A		0,5	0	1,5	0,25
Solución 1B	0,5		0	1,5	0,25
Solución 1C	1	1		3	0,50
			Suma	6	1
Solución 1C > Solución 1A = Solución 1B					

Tabla A.15. 2 Tabla de ponderaciones para el criterio precio con las tres soluciones del Módulo 1

De la tabla A.15.2, la mejor alternativa y la que se va a escoger es la C, que corresponde a la carga manual; las dos alternativas descartadas son la B que pertenece al tornillo sin fin y la alternativa A perteneciente a los cangilones.

2. Evaluación del peso específico Ergonómico

El siguiente criterio a analizar es la *ergonomía* dado por la Tabla A.15.1, con las tres soluciones dadas en la Tabla 4.5 para el *módulo 1*, teniendo como resultado la tabla de ponderaciones A.15.3:

Ergonómico	Solución 1A	Solución 1B	Solución 1C	$\Sigma +1$	Ponderación
Solución 1A		0,5	1	2,5	0,42
Solución 1B	0,5		1	2,5	0,42
Solución 1C	0	0		1	0,17
			Suma	6	1
Solución 1A = Solución 1B > Solución 1C					

Tabla A.15. 3 Tabla de ponderaciones para el criterio ergonómico con las tres soluciones del Módulo 1

De la tabla A.15.3, existen dos alternativas a considerar para el criterio ergonomía la A y B, que corresponde al tornillo sin fin y a los cangilones, respectivamente.

3. Evaluación del peso específico Función

El criterio *función* dado por la Tabla A.15.1 se analizará con las tres soluciones dadas en la Tabla 4.5 para el *módulo 1*, teniendo como resultado la tabla de ponderaciones A.15.4:

Función	Solución 1A	Solución 1B	Solución 1C	$\Sigma +1$	Ponderación
Solución 1A		0,5	0,5	2	0,33
Solución 1B	0,5		0,5	2	0,33
Solución 1C	0,5	0,5		3	0,33
			Suma	6	1

Solución 1A = Solución 1B = Solución 1C

Tabla A.15. 4 Tabla de ponderaciones para el criterio función con las tres soluciones del Módulo 1

La función que es el transporte del grano de café hasta el contenedor del secador sin que se maltrate el grano de acuerdo a la tabla A.15.1 son adecuadas las tres alternativas correspondientes al tornillo sin fin, cangilones y manual, los dos primeros evitan el esfuerzo extra del usuario, pero al ser manual no estropea al grano de café.

4. Evaluación del peso específico Tamaño

Finalmente, el criterio con menor ponderación es el *tamaño* dado por la tabla A.15.1, ese criterio se analizará con las tres soluciones dadas en la Tabla 4.5 para el *módulo 1*, teniendo como resultado la tabla de ponderaciones A.15.5:

Tamaño	Solución 1A	Solución 1B	Solución 1C	$\Sigma +1$	Ponderación
Solución 1A		0,5	0	1,5	0,25
Solución 1B	0,5		0	1,5	0,25
Solución 1C	1	1		3	0,50
			Suma	6	1
Solución 1C > Solución 1B = Solución 1A					

Tabla A.15. 5 Tabla de ponderaciones para el criterio tamaño con las tres soluciones del Módulo 1

Con respecto al tamaño que debe ocupar para el proceso de carga de grano según la Tabla A.15.1, el menor espacio es a través de una carga manual, correspondiente a la alternativa C, debido a que no se debe añadir ningún dispositivo extra que necesariamente ocupará un espacio adicional.

b) Método ordinal de criterios ponderados para el Módulo 2

El módulo 2 consta de las siguientes especificaciones técnicas como lo son función, tamaño, movimiento, consumo de energía, costos, accesibilidad y eficiencia.

- 1 **Función:** debe accionar el suministro de aire, posteriormente encender la fuente de calor y accionar el sistema de transmisión de movimiento, sin inconvenientes.
- 2 **Movimiento:** el sistema de transmisión debe reducir la velocidad de las rpm de 4 o 6, para generar un movimiento constante que no afecte a la integridad del grano de café.
- 3 **Consumo de Energía:** se debe seleccionar la forma más apta para disponer la fuente de calor considerando parámetros importantes como eficiencia, accesibilidad y costo.
- 4 **Accesibilidad:** es decir que sea factible conseguir la energía necesaria para el funcionamiento del secador de café.

- 5 Eficiencia:** este criterio permitirá escoger la fuente de calor apta con su respectivo sistema de transmisión de movimiento, para cada secador, sea de un piso o tres pisos.
- 6 Costos:** los costos de los elementos que se deben usar para esta función deben ser económicos, para el alcance de los agricultores, y a su vez para que el mantenimiento no sea costoso. Así como también el consumo de energía de la fuente de calor no debe incidir mayoritariamente en el secado del grano de café del 10 al 12%.
- 7 Tamaño:** para la función de transmisión de movimiento, se debe seleccionar la opción con dimensiones que concuerden con el equipo. No debe ocupar gran espacio ni usar soportes que requieran añadir un costo.

Evaluación del peso específico para cada criterio

El *consumo de energía* es el criterio de mayor importancia para este análisis, pues ayuda a escoger la alternativa más adecuada para cada secador considerando el consumo diario que va a tener, así mismo junto con el *costo* que implica su uso, la *accesibilidad* a los medios para obtener la energía, también se debe tomar en cuenta que el *movimiento* debe estar entre 4 y 6 rpm para evitar que el grano se estropee y baje se calidad. Se debe considerar que el sistema de secado debe tener una buena *eficiencia*. Por ello se debe cumplir correctamente un buen *funcionamiento* del accionamiento del paso del aire, encendido de la fuente de calor y tener una excelente transmisión de movimiento, sin olvidar que el *tamaño* de los mecanismos que ayuden a cumplir con tal funciones deben ser estéticos y acordes con los prototipos. Se tiene la tabla de ponderación A.15.6 para los siete criterios, que toman calificaciones de 1, 0,5 y 0; que indica el nivel de importancia detallado anteriormente para cada criterio:

Criterio	Consumo de energía	Costo	Accesibilidad	Movimiento	Eficiencia	Función	Tamaño	$\Sigma +1$	Ponderación
Consumo de energía		0,5	1	1	1	1	1	6,5	0,23
Costo	0,5		1	1	1	0	1	5,5	0,20
Accesibilidad	0	0		1	0	0,5	0,5	3	0,11
Movimiento	0	0	0		0,5	0	1	2,5	0,09
Eficiencia	0	0	1	0,5		0,5	1	4	0,14
Función	0	1	0,5	1	0,5		1	5	0,18
Tamaño	0	0	0,5	0	0	0		1,5	0,05
								28	1

Consumo de energía > Costo > Función > Eficiencia > Accesibilidad > Movimiento > Tamaño

Tabla A.15. 6 Tabla de ponderaciones para los criterios consumo de energía, costo, función, eficiencia, accesibilidad, movimiento y tamaño

La evaluación de los pesos específicos para el Módulo 2, será distinto que el Módulo 1, es decir no se analizará de forma unificada para los dos secadores, sino se harán de manera individual para cada tipo de secador de tres y un piso:

- *Evaluación de pesos específicos para el Secador de Silo de Tres Pisos*

1. *Evaluación del peso específico Consumo de Energía*

El criterio de mayor ponderación es el consumo de energía dado por la Tabla A.15.6, ese criterio se analizará con las cinco soluciones dadas en la Tabla 4.14 para el módulo 2, teniendo como resultado la tabla de ponderaciones A.15.7:

Consumo de energía	Solución 2A	Solución 2B	Solución 2C	Solución 2D	Solución 2E	$\Sigma +1$	Ponderación
Solución 2A		0,5	0,5	1	1	4	0,27
Solución 2B	0,5		0	1	1	3,5	0,23
Solución 2C	0,5	1		1	1	4,5	0,30
Solución 2D	0	0	0		0,5	1,5	0,10
Solución 2E	0	0	0	0,5		1,5	0,10
Suma						15	1,00
Solución 2C > Solución 2A > Solución 2B > Solución 2D = Solución 2E							

Tabla A.15. 7 Tabla de ponderaciones para el criterio consumo de energía con las cinco soluciones del Módulo 2

La alternativa más apropiada para el criterio de *consumo de energía*, para el secador de tres pisos según la tabla A.15.7 es la solución C que corresponde a la cadena piñón para el sistema de transmisión de movimiento, con un accionamiento de aire con ventilador centrífugo y el encendido de la fuente de calor mediante combustible

2. *Evaluación del peso específico Costo*

El siguiente criterio de mayor ponderación es el *costo* dado por la Tabla A.15.6, ese criterio se analizará con las cinco soluciones dadas en la Tabla 4.14 para el módulo 2, teniendo como resultado la tabla de ponderaciones A.15.8:

Costo	Solución 2A	Solución 2B	Solución 2C	Solución 2S	Solución 2E	$\Sigma +1$	Ponderación
Solución 2A		0	0,5	1	1	3,5	0,23
Solución 2B	1		1	1	1	5	0,33
Solución 2C	0,5	0		1	1	3,5	0,23
Solución 2D	0	0	0		1	2	0,13
Solución 2E	0	0	0	0		1	0,07
Suma						15	1,00
Solución 2B > Solución 2A = Solución 2C > Solución 2D > Solución 2E							

Tabla A.15. 8 Tabla de ponderaciones para el criterio costo con las cinco soluciones del Módulo 2

La alternativa para el criterio *costo*, para el secador de tres pisos según la tabla A.15.8 es la solución B, que corresponde el uso de bandas-poleas con el

accionamiento de la fuente de calor mediante combustible, los costos son menores en relación a un calentamiento eléctrico para el secador de tres pisos.

3. Evaluación del peso específico Función

El siguiente criterio *función* dado por la Tabla A.15.6, se analizará con las cinco soluciones dadas en la Tabla 4.14 para el módulo 2, teniendo como resultado la tabla de ponderaciones A.15.9

Función	Solución 2A	Solución 2B	Solución 2C	Solución 2D	Solución 2E	$\sum +1$	Ponderación
Solución 2A		1	0	0	0	2	0,13
Solución 2B	0		0	0	0	1	0,07
Solución 2C	1	1		0,5	0	3,5	0,23
Solución 2D	1	1	0,5		0	3,5	0,23
Solución 2E	1	1	1	1		5	0,33
Suma						15	1,00
Solución 2E > Solución 2C = Solución 2D > Solución 2A > Solución 2B							

Tabla A.15. 9 Tabla de ponderaciones para el criterio función con las cinco soluciones del Módulo 2

La alternativa para el criterio *función*, para el secador de tres pisos según la tabla A.15.9 es la solución E, que corresponde al empleo de motorreductor directamente al sistema de transmisión para obtener las rpm requeridas, donde el sistema de ventilación y secado más adecuado es el tipo eléctrico por las conexiones que se deben realizar.

4. Evaluación del peso específico Eficiencia

El criterio *eficiencia* dado por la Tabla A.15.6, se analizará con las cinco soluciones dadas en la Tabla 4.14 para el módulo 2, teniendo como resultado la tabla de ponderaciones A.15.10:

Eficiencia	Solución 2A	Solución 2B	Solución 2C	Solución 2D	Solución 2E	$\sum +1$	Ponderación
Solución 2A		1	0,5	0,5	0,5	3,5	0,23
Solución 2B	0		0	0	0	1	0,07
Solución 2C	0,5	1		0,5	0	3	0,20
Solución 2D	0,5	1	0,5		0	3	0,20
Solución 2E	0,5	1	1	1		4,5	0,30
Suma						15	1,00
Solución 2E > Solución 2C = Solución 2D > Solución 2A > Solución 2B							

Tabla A.15. 10 Tabla de ponderaciones para el criterio eficiencia con las cinco soluciones del Módulo 2

La alternativa apropiada para el criterio *eficiencia*, para el secador de tres pisos según la tabla A.15.10 es la solución E, que corresponde al empleo de motorreductor con la energía eléctrica para el suministro de energía y fuente de calor.

5. Evaluación del peso específico Accesibilidad

El criterio *accesibilidad* dado por la Tabla A.15.6, se analizará con las cinco soluciones dadas en la Tabla 4.14 para el módulo 2, teniendo como resultado la tabla de ponderaciones A.15.11:

Accesibilidad	Solución 2A	Solución 2B	Solución 2C	Solución 2D	Solución 2E	$\sum +1$	Ponderación
Solución 2A		0	0	0	1	2	0,13
Solución 2B	1		0,5	0,5	1	4	0,27
Solución 2C	1	0,5		1	1	4,5	0,30
Solución 2D	1	0,5	0		1	3,5	0,23
Solución 2E	0	0	0	0		1	0,07
Suma						15	1,00
Solución 2C > Solución 2B > Solución 2D > Solución 2A > Solución 2E							

Tabla A.15. 11 Tabla de ponderaciones para el criterio accesibilidad con las cinco soluciones del Módulo 2

La mejor alternativa para el criterio *accesibilidad*, es la solución C, que corresponde a tener la factibilidad para conseguir el ventilador centrífugo, combustible para el encendido de la fuente de calor, así como también la accesibilidad de disponer de la cadena piñón, dentro del mercado local.

6. Evaluación del peso específico Movimiento

El criterio *movimiento* dado por la Tabla A.15.6, se analizará con las cinco soluciones dadas en la Tabla 4.14 para el módulo 2, teniendo como resultado la tabla de ponderaciones A.15.12:

Movimiento	Solución 2A	Solución 2B	Solución 2C	Solución 2D	Solución 2E	$\sum +1$	Ponderación
Solución 2A		1	0,5	0,5	0	3	0,20
Solución 2B	0		0	0	0	1	0,07
Solución 2C	0,5	1		0,5	0	3	0,20
Solución 2D	0,5	1	0,5		0	3	0,20
Solución 2E	1	1	1	1		5	0,33
Suma						15	1,00
Solución 2E > Solución 2A = Solución 2C = Solución 2D > Solución 2B							

Tabla A.15. 12 Tabla de ponderaciones para el criterio movimiento con las cinco soluciones del Módulo 2

Concierne exclusivamente al mecanismo que moverá el sistema de transmisión de movimiento, por lo que para el secador de tres pisos se tiene como mejor opción la solución la E, que corresponde al motorreductor.

7. Evaluación del peso específico Tamaño

Por último, el criterio *tamaño* dado por la Tabla A.15.6, se analizará con las cinco soluciones dadas en la Tabla 4.14 para el módulo 2, teniendo como resultado la tabla de ponderaciones A.15.13:

Tamaño	Solución 2A	Solución 2B	Solución 2C	Solución 2D	Solución 2E	$\sum +1$	Ponderación
Solución 2A		0	0	1	1	3	0,20
Solución 2B	1		0	1	1	4	0,27
Solución 2C	1	1		1	1	5	0,33
Solución 2D	0	0	0		0,5	1,5	0,10
Solución 2E	0	0	0	0,5		1,5	0,10
					Suma	15	1,00
Solución 2C > Solución 2B > Solución 2A > Solución 2D = Solución 2E							

Tabla A.15. 13 Tabla de ponderaciones para el criterio tamaño con las cinco soluciones del Módulo 2

Para el criterio tamaño se tiene como solución la alternativa C, correspondiente al uso de cadena-piñón, por la estética y el espacio que deben considerarse para un buen sistema de transmisión, que no ocupe mucho volumen con sus elementos mecánicos adicionales

Para el silo de un piso se realizará a continuación su análisis.

- *Evaluación de pesos específicos para el Secador de Silo de Un Piso*

Las evaluaciones de los específicos para el secador de Silo de Un Piso, son los mismos que para el secador de Silo de Tres Pisos, por lo tanto se realizará el mismo análisis, tomando los criterios de la Tabla A.15.6, relacionando con las cinco soluciones dadas en la Tabla 4.14 para el módulo 2; teniendo los siguientes cuadros resúmenes de evaluación de cada peso específico en las tablas A.15.14, A.15.15, A.15.16, A.15.17, A.15.18, A.15.19 y A.15.20

1. *Evaluación del peso específico Consumo de Energía*

Consumo de energía	Solución 2A	Solución 2B	Solución 2C	Solución 2D	Solución 2E	$\sum +1$	Ponderación
Solución 2A		0,5	0,5	0	1	3	0,20
Solución 2B	0,5		0,5	0	1	3	0,20
Solución 2C	0,5	0,5		0	1	3	0,20
Solución 2D	1	1	1		1	5	0,33
Solución 2E	0	0	0	0		1	0,07
					Suma	15	1,00
Solución 2D > Solución 2A = Solución 2B = Solución 2C > Solución 2E							

Tabla A.15. 14 Tabla de ponderaciones para el criterio consumo de energía con las cinco soluciones del Módulo 2

Para el criterio *consumo de energía* se tiene como solución la alternativa D, correspondiente al uso de cono y corona

2. Evaluación del peso específico Costo

Costo	Solución 2A	Solución 2B	Solución 2C	Solución 2S	Solución 2E	$\sum +1$	Ponderación
Solución 2A		0	0,5	0,5	1	3	0,20
Solución 2B	1		1	0,5	1	4,5	0,30
Solución 2C	0,5	0		0,5	1	3	0,20
Solución 2D	0,5	0,5	0,5		1	3,5	0,23
Solución 2E	0	0	0	0		1	0,07
					Suma	15	1,00
Solución 2B > Solución 2D > Solución 2C = Solución 2A > Solución 2E							

Tabla A.15. 15 Tabla de ponderaciones para el criterio costo con las cinco soluciones del Módulo 2

Para el criterio *costo* se tiene como solución la alternativa B, correspondiente al uso de bandas poleas.

3. Evaluación del peso específico Función

Función	Solución 2A	Solución 2B	Solución 2C	Solución 2D	Solución 2E	$\sum +1$	Ponderación
Solución 2A		1	0	0	0	2	0,13
Solución 2B	0		0	0	0	1	0,07
Solución 2C	1	1		0	0	3	0,20
Solución 2D	1	1	1		0	4	0,27
Solución 2E	1	1	1	1		5	0,33
					Suma	15	1,00
Solución 2E > Solución 2D > Solución 2C > Solución 2A > Solución 2B							

Tabla A.15. 16 Tabla de ponderaciones para el criterio función con las cinco soluciones del Módulo 2

Para el criterio *función* se tiene como solución la alternativa E, correspondiente al uso de motoreductor

4. Evaluación del peso específico Eficiencia

Eficiencia	Solución 2A	Solución 2B	Solución 2C	Solución 2D	Solución 2E	$\sum +1$	Ponderación
Solución 2A		1	0,5	0	0,5	3	0,20
Solución 2B	0		0	0	0	1	0,07
Solución 2C	0,5	1		0	0	2,5	0,17
Solución 2D	1	1	1		0,5	4,5	0,30
Solución 2E	0,5	1	1	0,5		4	0,27
					Suma	15	1,00
Solución 2D > Solución 2E > Solución 2A > Solución 2C > Solución 2B							

Tabla A.15. 17 Tabla de ponderaciones para el criterio eficiencia con las cinco soluciones del Módulo 2

Para el criterio *función* se tiene como solución la alternativa D, correspondiente al uso de cono y corona.

5. Evaluación del peso específico Accesibilidad

Accesibilidad	Solución 2A	Solución 2B	Solución 2C	Solución 2D	Solución 2E	$\sum +1$	Ponderación
Solución 2ª		0	0	0	1	2	0,13
Solución 2B	1		0,5	0	1	3,5	0,23
Solución 2C	1	0,5		0	1	3,5	0,23
Solución 2D	1	1	1		1	5	0,33
Solución 2E	0	0	0	0		1	0,07
					Suma	15	1,00
Solución 2D > Solución 2B = Solución 2C > Solución 2A > Solución 2E							

Tabla A.15. 18 Tabla de ponderaciones para el criterio accesibilidad con las cinco soluciones del Módulo 2

Para el criterio *accesibilidad* se tiene como solución la alternativa D, correspondiente al uso de cono y corona.

6. Evaluación del peso específico Movimiento

Movimiento	Solución 2A	Solución 2B	Solución 2C	Solución 2D	Solución 2E	$\sum +1$	Ponderación
Solución 2A		1	0,5	0	0	2,5	0,17
Solución 2B	0		0	0	0	1	0,07
Solución 2C	0,5	1		0	0	2,5	0,17
Solución 2D	1	1	1		0	4	0,27
Solución 2E	1	1	1	1		5	0,33
					Suma	15	1,00
Solución 2E > Solución 2D > Solución 2C = Solución 2A > Solución 2B							

Tabla A.15. 19 Tabla de ponderaciones para el criterio movimiento con las cinco soluciones del Módulo 2

Para el criterio *movimiento* se tiene como solución la alternativa E, correspondiente al uso de motoreductor.

7. Evaluación del peso específico Tamaño

Tamaño	Solución 2A	Solución 2B	Solución 2C	Solución 2D	Solución 2E	$\sum +1$	Ponderación
Solución 2A		0	0	0	1	2	0,13
Solución 2B	1		0	0,5	1	3,5	0,23
Solución 2C	1	1		0,5	1	4,5	0,30
Solución 2D	1	0,5	0,5		1	4	0,27
Solución 2E	0	0	0	0		1	0,07
					Suma	15	1,00
Solución 2C > Solución 2D > Solución 2B > Solución 2A > Solución 2E							

Tabla A.15. 20 Tabla de ponderaciones para el criterio tamaño con las cinco soluciones del Módulo 2

Para el criterio *tamaño* se tiene como solución la alternativa C, correspondiente al uso de cadena-piñón.

c) Método ordinal de criterios ponderados para el Módulo 3

El módulo 3 debe considerar las especificaciones técnicas: función, costo, accesibilidad, eficiencia y consumo de energía.

- 1 **Función:** debe permitir un calentamiento adecuado del aire para el secado, manteniendo una temperatura del 50°C, para evitar que el grano se dañe o llegue a cristalizarse.
- 2 **Consumo de Energía:** se debe seleccionar la forma más adecuada para encender la fuente de calor y proceder al secado del grano de café; debe guiarse por la fuente de abastecimiento para el acoplamiento correcto.
- 3 **Accesibilidad:** factibilidad para conseguir el dispositivo adecuado, dentro del mercado ecuatoriano, asegurando su mantenimiento y posibles cambios.
- 4 **Eficiencia:** escoger el mejor instrumento, para el calentamiento del aire, evitando las posibles pérdidas de energía y calor.
- 5 **Costos:** los costos de los elementos deben ser moderados con relación al resto de materiales empleados en los secadores.

d) Método ordinal de criterios ponderados para el Módulo 4

El módulo 4 considera las siguientes especificaciones técnicas: función, tamaño, movimiento, costos, accesibilidad y eficiencia.

- 1 **Función:** debe permitir una mezcla uniforme del grano de café húmedo de una humedad de 30%, en el secador de un piso y, en el de tres pisos moverá cada nivel con una humedad distinta, el primer piso es de 30%, el segundo piso alrededor de 23% y el tercer piso del 18%.
- 2 **Movimiento:** las revoluciones de las paletas deben ser provistas por el eje entre 4 a 6 rpm.
- 3 **Accesibilidad:** se debe tener la seguridad de conseguir el tipo de material, con su tamaño y forma adecuados, para futuros mantenimientos y reparaciones.
- 4 **Eficiencia:** las paletas deben ejercer un movimiento constante con valores entre 4 a 6 rpm, para mantener la eficiencia en el mezclado y proceso de secado.
- 5 **Costos:** los valores de las paletas deben ser económicos, para garantizar su cambio o reparación cuando su mantenimiento lo exija.
- 6 **Tamaño:** las paletas deben tener un tamaño adecuado para garantizar el movimiento del grano de un espesor entre 250mm a 400mm, y dependiendo de las dimensiones del contenedor. Pueden poseer ángulos que de acuerdo a las normas cafetaleras deben ser de 35°

Evaluación del peso específico para cada criterio

El criterio más relevante de los anteriores mencionados, radica en el tamaño de las paletas, cuyas dimensiones deben permitir mover y mezclar uniformemente el café, para ello deben cumplir con la función antes mencionada y el movimiento de

4 a 6 rpm. La accesibilidad para conseguir el material propicio para las paletas removedores es un criterio importante que va vinculado con el costo y la eficiencia que proporcione para ejecutar total y completamente cada parámetro. Se tiene la tabla de ponderación A.15.21 para los seis criterios, que toman calificaciones de 1, 0,5 y 0; que indica el nivel de importancia detallado anteriormente para cada criterio:

Criterio	Tamaño	Función	Movimiento	Accesibilidad	Costo	Eficiencia	$\Sigma +1$	Ponderación
Tamaño		0,5	1	1	1	1	5,5	0,26
Función	0,5		0,5	1	0	0,5	3,5	0,17
Movimiento	0	0,5		1	0	0,5	3	0,14
Accesibilidad	0	0	0		1	1	3	0,14
Costo	0	1	1	0		0	3	0,14
Eficiencia	0	0,5	0,5	0	1		3	0,14
							21	1
Tamaño > Función > Eficiencia = Accesibilidad = Movimiento = Costo								

Tabla A.15. 21 Tabla de ponderaciones para los criterios tamaño, función, movimiento, accesibilidad, costo y eficiencia

La evaluación de los pesos específicos para el Módulo 4 no se analizará de forma unificada para los dos secadores, sino se harán de manera individual para cada tipo de secador de tres y un piso:

- *Evaluación de pesos específicos para el Secador de Silo de Tres Pisos*

1. Evaluación del peso específico Tamaño

El criterio de mayor ponderación es el *tamaño* dado por la Tabla A.15.21, ese criterio se analizará con las cuatro soluciones dadas en la Tabla 4.22 para el módulo 4, teniendo como resultado la tabla de ponderaciones A.15.22:

Tamaño	Solución 4A	Solución 4B	Solución 4C	Solución 4D	$\Sigma +1$	Ponderación
Solución 4A		1	0,5	1	3,5	0,35
Solución 4B	0		0,5	0,5	2	0,20
Solución 4C	0,5	0,5		0	2	0,20
Solución 4D	0	0,5	1		2,5	0,25
				Suma	10	1,00
Solución 4A > Solución 4D > Solución 4B = Solución 4C						

Tabla A.15. 22 Tabla de ponderaciones para el criterio tamaño con las cuatro soluciones del Módulo 4

Las dimensiones y forma de las paletas removedoras, influyen con la calidad del secado, mezcla y calidad del grano de café, por lo que para el secador de tres pisos la paleta más ocionada según la tabla A.15.22 es la alternativa 4A, debido a la forma de la paleta que evita que el grano se pegue a la base y se estropee. Se puede emplear en el secador de silo de tres pisos

2. Evaluación del peso específico Función

El siguiente criterio es la *función*, dado por la Tabla A.15.21, ese criterio se analizará con las cuatro soluciones dadas en la Tabla 4.22 para el módulo 4, teniendo como resultado la tabla de ponderaciones A.15.23:

Función	Solución 4A	Solución 4B	Solución 4C	Solución 4D	$\sum +1$	Ponderación
Solución 4A		1	1	0,5	3,5	0,35
Solución 4B	0		0	0	1	0,10
Solución 4C	0	1		0	2	0,20
Solución 4D	0,5	1	1		3,5	0,35
				Suma	10	1,00
Solución 4D = Solución 4A > Solución 4C > Solución 4B						

Tabla A.15. 23 Tabla de ponderaciones para el criterio función con las cuatro soluciones del Módulo 4

Un buen funcionamiento de las paletas debe considerar un movimiento uniforme de las mismas de 4 a 6 rpm, para obtener un grano de calidad, por lo que la alternativa apropiada según la tabla A.15.23 será la 4D, debido a sus acabados angulares, el grano permanece en excelente calidad sin que sea estropeado. En el secador de tres pisos se puede adaptar fácilmente esta paleta.

3. Evaluación del peso específico Eficiencia

El siguiente criterio es la *eficiencia*, dado por la Tabla A.15.21, ese criterio se analizará con las cuatro soluciones dadas en la Tabla 4.22 para el módulo 4, teniendo como resultado la tabla de ponderaciones A.15.24:

Eficiencia	Solución 4A	Solución 4B	Solución 4C	Solución 4D	$\sum +1$	Ponderación
Solución 4A		0,5	0,5	0,5	2,5	0,25
Solución 4B	0,5		0,5	0	2	0,20
Solución 4C	0,5	0,5		0	2	0,20
Solución 4D	0,5	1	1		3,5	0,35
				Suma	10	1,00
Solución 4A > Solución 4D > Solución 4B = Solución 4C						

Tabla A.15. 24 Tabla de ponderaciones para el criterio eficiencia con las cuatro soluciones del Módulo 4

Se debe asegurar un excelente rendimiento dentro del proceso del movimiento producido por el secador, la mejor alternativa según la tabla A.15.24 es la 4D, que ayuda a tener una buena mezcla del grano, siendo homogéneo y uniforme en el secado, y sin maltrato del café.

4. Evaluación del peso específico Accesibilidad

El criterio es la *accesibilidad*, dado por la Tabla A.15.21, ese criterio se analizará con las cuatro soluciones dadas en la Tabla 4.22 para el módulo 4, teniendo como resultado la tabla de ponderaciones A.15.25:

Accesibilidad	Solución 4A	Solución 4B	Solución 4C	Solución 4D	$\Sigma +1$	Ponderación
Solución 4A		0,5	0,5	0,5	2,5	0,25
Solución 4B	0,5		0,5	0,5	2,5	0,25
Solución 4C	0,5	0,5		0,5	2,5	0,25
Solución 4D	0,5	0,5	0,5		2,5	0,25
				Suma	10	1,00
Solución 4A = Solución 4B = Solución 4C = Solución 4D						

Tabla A.15. 25 Tabla de ponderaciones para el criterio accesibilidad con las cuatro soluciones del Módulo 4

El criterio va relacionado con la factibilidad del diseño, así como también del material que se seleccionará para la paleta removedora; sin descuidar su fácil construcción y costo bajo, por lo que todas son alternativas apropiadas.

5. Evaluación del peso específico Movimiento

El criterio es la *accesibilidad*, dado por la Tabla A.15.21, ese criterio se analizará con las cuatro soluciones dadas en la Tabla 4.22 para el módulo 4, teniendo como resultado la tabla de ponderaciones A.15.26:

Movimiento	Solución 4A	Solución 4B	Solución 4C	Solución 4D	$\Sigma +1$	Ponderación
Solución 4A		0	0	1	2	0,20
Solución 4B	1		0	1	3	0,30
Solución 4C	1	1		1	4	0,40
Solución 4D	0	0	0		1	0,10
				Suma	10	1,00
Solución 4C > Solución 4B > Solución 4A > Solución 4D						

Tabla A.15. 26 Tabla de ponderaciones para el criterio movimiento con las cuatro soluciones del Módulo 4

La paleta debe garantizar un movimiento constante, siendo importante seleccionar un material que soporte tanto las rpm, como la humedad del grano a la que está expuesta la paleta y la temperatura del aire de secad, donde la paleta adecuada para lo mencionado según la tabla A.15.26 es la de la alternativa 4C.

6. Evaluación del peso específico Costo

El criterio es la *accesibilidad*, dado por la Tabla A.15.21, ese criterio se analizará con las cuatro soluciones dadas en la Tabla 4.22 para el módulo 4, teniendo como resultado la tabla de ponderaciones A.15.27:

Costo	Solución 4A	Solución 4B	Solución 4C	Solución 4D	$\Sigma +1$	Ponderación
Solución 4A		0	0	0	1	0,10
Solución 4B	1		1	1	4	0,40
Solución 4C	1	0		0	2	0,20
Solución 4D	1	0	1		3	0,30
				Suma	10	1,00

Solución 4B > Solución 4D > Solución 4C > Solución 4A

Tabla A.15. 27 Tabla de ponderaciones para el criterio costo con las cuatro soluciones del Módulo 4

Criterio que siempre es importante para la accesibilidad del elemento, debido a que es un factor que ayuda tanto a la adquisición como para futuras reparaciones o mantenimientos. La alternativa más apropiada para cumplir con este criterio según la tabla A.15.27 es la 4D, por su facilidad de construcción y su precio económico.

- *Evaluación de pesos específicos para el Secador de Silo de Un Piso*

Las evaluaciones de los específicos para el secador de Silo de Un Piso, son los mismos que para el secador de Silo de Tres Pisos, por lo tanto se realizará el mismo análisis, tomando los criterios de la Tabla A.15.21, relacionando con las cuatro soluciones dadas en la Tabla 4.22 para el módulo 4; teniendo los siguientes cuadros resúmenes de evaluación de cada peso específico en las tablas A.15.28, A.15.29, A.15.30, A.15.31 y A.15.32:

1. *Evaluación del peso específico Tamaño*

Tamaño	Solución 4A	Solución 4B	Solución 4C	Solución 4D	$\Sigma +1$	Ponderación
Solución 4A		0	0	0	1	0,10
Solución 4B	1		0	1	3	0,30
Solución 4C	1	1		1	4	0,40
Solución 4D	1	0	0		2	0,20
				Suma	10	1,00

Solución 4C > Solución 4B > Solución 4D > Solución 4A

Tabla A.15. 28 Tabla de ponderaciones para el criterio tamaño con las cuatro soluciones del Módulo 4

Para el criterio *tamaño* se tiene como solución la alternativa 4C, correspondiente al uso de paletas de forma trapezoidal.

2. *Evaluación del peso específico Función*

Función	Solución 4A	Solución 4B	Solución 4C	Solución 4D	$\Sigma +1$	Ponderación
Solución 4A		0	0	0,5	1,5	0,15
Solución 4B	1		1	1	4	0,40
Solución 4C	1	0		1	3	0,30
Solución 4D	0,5	0	0		1,5	0,15

Solución 4B > Solución 4C > Solución 4A = Solución 4D
--

Tabla A.15. 29 Tabla de ponderaciones para el criterio función con las cuatro soluciones del Módulo 4

Para el criterio *función* se tiene como solución la alternativa 4B, correspondiente al uso de paletas de forma rectangular.

3. Evaluación del peso específico Eficiencia

Eficiencia	Solución 4A	Solución 4B	Solución 4C	Solución 4D	$\Sigma +1$	Ponderación
Solución 4A		0	0	0,5	1,5	0,15
Solución 4B	1		0,5	1	3,5	0,35
Solución 4C	1	0,5		1	3,5	0,35
Solución 4D	0,5	0	0		1,5	0,15
				Suma	10	1,00
Solución 4B = Solución 4C > Solución 4A = Solución 4D						

Tabla A.15. 30 Tabla de ponderaciones para el criterio eficiencia con las cuatro soluciones del Módulo 4

Para el criterio *eficiencia* se tiene como solución la alternativa 4B y 4C, correspondiente al uso de paletas en forma rectangular y trapezoidal, respectivamente.

4. Evaluación del peso específico Accesibilidad

Accesibilidad	Solución 4A	Solución 4B	Solución 4C	Solución 4D	$\Sigma +1$	Ponderación
Solución 4A		0	0	0,5	1,5	0,15
Solución 4B	1		1	1	4	0,40
Solución 4C	1	0		1	3	0,30
Solución 4D	0,5	0	0		1,5	0,15
				Suma	10	1,00
Solución 4B > Solución 4C > Solución 4A = Solución 4D						

Tabla A.15. 31 Tabla de ponderaciones para el criterio accesibilidad con las cuatro soluciones del Módulo 4

Para el criterio *accesibilidad* se tiene como solución la alternativa 4B, correspondiente al uso de paletas en forma rectangular.

5. Evaluación del peso específico Movimiento

Movimiento	Solución 4A	Solución 4B	Solución 4C	Solución 4D	$\Sigma +1$	Ponderación
Solución 4A		0	0	1	2	0,20
Solución 4B	1		0	1	3	0,30
Solución 4C	1	1		1	4	0,40
Solución 4D	0	0	0		1	0,10
				Suma	10	1,00
Solución 4C > Solución 4B > Solución 4A > Solución 4D						

Tabla A.15. 32 Tabla de ponderaciones para el criterio movimiento con las cuatro soluciones del Módulo 4

Para el criterio *movimiento* se tiene como solución la alternativa 4C, correspondiente al uso de paletas en forma trapezoidal.

Evaluación del peso específico Costo

Costo	Solución 4A	Solución 4B	Solución 4C	Solución 4D	$\Sigma +1$	Ponderación
Solución 4A		0	0	0	1	0,10
Solución 4B	1		1	1	4	0,40
Solución 4C	1	0		1	3	0,30
Solución 4D	1	0	0		2	0,20
				Suma	10	1,00
Solución 4B > Solución 4C > Solución 4D > Solución 4A						

Tabla A.15. 33 Tabla de ponderaciones para el criterio costo con las cuatro soluciones del Módulo 4

Para el criterio *costo* se tiene como solución la alternativa 4B, correspondiente al uso de paletas en forma rectangular.

e) Método ordinal de criterios ponderados para el Módulo 5

El módulo 5 debe cumplir con criterios para su ponderación, al ser medidores de temperatura, humedad y tiempo

- 1 **Señal:** debe permitir registrar el tiempo por alrededor de 8 horas diarias de trabajo, medir temperaturas de alrededor de 50°C y la humedad del grano entre el 30% al 12%, enviando una señal o aviso que el grano está listo para descargar.
- 2 **Control:** debe inspeccionar constantemente el grano de café para evitar al usuario que se encuentre supervisando, disponer de una ayuda de control para evitar mala calidad de café.
- 3 **Accesibilidad:** debe ser accesible y existir dentro del mercado ecuatoriano, para agregar al diseño, y facilitar el trabajo del usuario.
- 4 **Costos:** el costo debe ser moderado, para que una asociación de pequeños agricultores pueda tener a su alcance.
- 5 **Ergonómico:** debe ser fácil de usar, sin procedimientos tediosos y complicados.

f) Método ordinal de criterios ponderados para el Módulo 6

El módulo 6 establece los criterios de: función, tamaño, mantenimiento y ergonómico.

- 1 **Función:** debe ayudar a una buena descarga, evitando el desperdicio del grano y que no requiera de usuarios específicos, la descarga debe permitir que cualquier persona opere sin importar sexo, edad o estatura. La descarga debe ser sin la interrupción del movimiento generado por las paletas del secador.
- 2 **Tamaño:** el tamaño de las puertas de descarga debe considerar el diámetro del saco o costal, o por la necesidad algún dispositivo extra debe tener dimensiones mayores, pero siempre pensando en la facilidad para llenar el grano al saco.

- 3 Mantenimiento:** en caso de que en la compuerta se presente algún daño o defecto, debe permitirse un rápido y sencillo arreglo.
- 4 Ergonómico:** la descarga debe ser pensada en la actividad del usuario, es decir, como va a descargar, sin tener inconvenientes y siendo lo más simple posible.

Evaluación del peso específico para cada criterio

De acuerdo a los puntos señalados anteriormente, el secador debe permitir una fácil descarga para cualquier usuario, sin el desperdicio de granos y sobre todo sin el paro de la máquina. El criterio más importante es el tamaño y dimensionamiento de las compuertas, seguido de la función, luego de la ergonomía y finalmente el mantenimiento de las compuertas. Se tiene la tabla de ponderación A.15.34 para los cuatro criterios, que toman calificaciones de 1, 0.5 y 0; que indica el nivel de importancia detallado anteriormente para cada criterio:

CRITERIO	Tamaño	Función	Ergonómico	Mantenimiento	$\Sigma +1$	Ponderación
Tamaño		0,5	1	1	3,5	0,35
Función	0,5		0,5	1	3	0,30
Ergonómico	0	0,5		1	2,5	0,25
Mantenimiento	0	0	0		1	0,10
					10	1
Tamaño > Función > Ergonómico > Mantenimiento.						

Tabla A.15. 34 Tabla de ponderaciones para los criterios tamaño, función, ergonomía y mantenimiento

1. Evaluación del peso específico Tamaño

El criterio de mayor ponderación es el *tamaño* dado por la Tabla A.15.34, ese criterio se analizará con las cuatro soluciones dadas en la Tabla 4.30 para el módulo 6, teniendo como resultado la tabla de ponderaciones A.15.35:

Tamaño	Solución 6A	Solución 6B	Solución 6C	$\Sigma +1$	Ponderación
Solución 6A		1	0,5	2,5	0,42
Solución 6B	0		0	1	0,17
Solución 6C	0,5	1		2,5	0,42
			Suma	6	1,00
Solución 6A = Solución6C > Solución 6B					

Tabla A.15. 35 Tabla de ponderaciones para el criterio tamaño con las tres soluciones del Módulo 6

Este criterio obedece a escoger la alternativa 6A y 6C según la tabla A.15.35, correspondiente a la puerta con corrediza en la base y/o lateral, se puede diseñar con las dimensiones adecuadas de una manera fácil y sencilla. Este tipo de compuertas será usado para los dos tipos de secadores de uno y tres pisos.

2. Evaluación del peso específico Función

El criterio *función* dado por la Tabla A.15.34, ese criterio se analizará con las cuatro soluciones dadas en la Tabla 4.30 para el módulo 6, teniendo como resultado la tabla de ponderaciones A.15.36:

Función	Solución 6A	Solución 6B	Solución 6C	$\Sigma +1$	Ponderación
Solución 6A		1	0,5	2,5	0,42
Solución 6B	0		0	1	0,17
Solución 6C	0,5	1		2,5	0,42
			Suma	6	1,00
Solución 6B > Solución 6A = Solución 6C					

Tabla A.15. 36 Tabla de ponderaciones para el criterio función con las tres soluciones del Módulo 6

De acuerdo a este criterio, para cumplir con una descarga sin desperdicios y maltrato de grano, se tiene como opción propicia la alternativa 6A y 6B, que mediante compuertas corredizas permita la descarga en un dispositivo acoplable y que este reduzca sus dimensiones para que ingrese al saco o costal sin regar el grano por los lados. Enfocado para ser acoplados en los dos secadores.

3. Evaluación del peso específico Ergonómico

El criterio *ergonómico* dado por la Tabla A.15.34, ese criterio se analizará con las cuatro soluciones dadas en la Tabla 4.30 para el módulo 6, teniendo como resultado la tabla de ponderaciones A.15.37:

Ergonómico	Solución 6A	Solución 6B	Solución 6C	$\Sigma +1$	Ponderación
Solución 6A		1	0,5	2,5	0,42
Solución 6B	0		0	1	0,17
Solución 6C	0,5	1		2,5	0,42
			Suma	6	1,00
Solución 6A > Solución 6B > Solución 6C					

Tabla A.15. 37 Tabla de ponderaciones para el criterio ergonómico con las tres soluciones del Módulo 6

Este criterio debe permitir un sencillo y fácil uso de la compuerta y dispositivos para la descarga del grano, manejada por el usuario. La alternativa que se enfoca más a este punto es la 6A y 6C, correspondientes a las compuertas corredizas.

4. Evaluación del peso específico Mantenimiento

Finalmente, el criterio *mantenimiento* dado por la Tabla A.15.34, ese criterio se analizará con las cuatro soluciones dadas en la Tabla 4.30 para el módulo 6, teniendo como resultado la tabla de ponderaciones A.15.38:

Mantenimiento	Solución 6A	Solución 6B	Solución 6C	$\Sigma +1$	Ponderación
Solución 6A		0	0,5	1,5	0,25
Solución 6B	1		1	3	0,50
Solución 6C	0,5	0		1,5	0,25
			Suma	6	1,00
Solución 6B > Solución 6A > Solución 6C					

Tabla A.15. 38 Tabla de ponderaciones para el criterio mantenimiento con las tres soluciones del Módulo 6

En caso de realizar mantenimiento, se observa que la compuerta con bisagra es la más apta para los dos secadores, en cuanto a componer o arreglarla. Correspondiente a la alternativa 6B, de acuerdo a la Tabla A.15.38

ANEXO 16. TABLAS PARA SELECCIÓN Y COMPRABACIÓN DE LA CADENA CORRECTA

PASO	Pulg	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{3}{4}$	1	$1\frac{1}{4}$
	(mm)	9,525	12,70	15,875	19,05	25,40	31,75
DISTANCIA ENTRE CENTROS	(mm)	450	600	750	900	1000	1200
PASO	Pulg	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{3}{4}$	2	$2\frac{1}{2}$	3	
	(mm)	38,10	44,45	50,80	63,50	76,20	
DISTANCIA ENTRE CENTROS	(mm)	1350	1500	1700	1800	2000	

Tabla A.16. 1 Cuadro para escoger la Distancia entre Centros según el Paso[47]

Fuente: Correa E., Diseño de Transmisión de Cadena, Universidad de Antioquia, Medellín, 2010, pág 14

<i>Vitesse maximale de la chaîne.</i>		
Pas mm	Vitesse de rotation tr/min	Vitesse linéaire m/s
9,525	10 000	30
12,7	7 000	28
15,875	5 000	24
19,05	4 000	24
25,4	2 500	18
31,75	1 600	16
38,1	1 300	16
44,45	1 000	14
50,8	700	11
63,5	500	10
76,2	400	9,5

Tabla A.16. 2 Cuadro de Velocidades máximas[44]

Fuente: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorial127.html>

<i>Pression conventionnelle maximale dans les articulations (en MPa).</i>				
p (mm)	9,525-12,7	15,875 19,05-25,4	31,75-38,1 44,45-60,8	63,5-76,2
N (tr/min) (1)				
10	64	51	45	38
25	57	45	39	33
50	48	39	34	29
75	44	35	30	26
100	39	31	27	23
150	35	28	24	21
200	33	26	23	19
250	31	25	22	18
300	30	24	21	17
400	28	22	19	16
500	27	21	18	
750	24	19	17	
1 000	22	18	15	
1 500	20	16		
2 000	17	14		
2 500	15	12		
3 000	14	11		
4 000	10			
5 000	7			

Tabla A.16. 3 Cuadro de Presiones Máximas Admisibles en Articulaciones[44]

Fuente: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorial127.html>

ANEXO 17. TOMA DE DATOS DE FINCA PARAGUA

SÁBADO:04/JULIO/2015									DOMINGO: 05/JULIO/2015			
TOMA \ HORA	11H00		13H00		15H00		17H00		07H00		09H00	
	% HR	T(°C)	% HR	T(°C)	% HR	T(°C)	% HR	T(°C)	% HR	T(°C)	% HR	T(°C)
1	26,7	26,4	25,4	25,7	25,1	25,7	26,6	21,9	26,9	22,6	26,4	24,9
2	25,1	27	22,7	26,2	23,4	25,8	23,6	21,8	26,3	22,3	25	24,9
3	24,7	26,8	23,5	25,9	23,2	25,6	23,9	22	25,1	22,5	25,8	24,9
4	24,5	27	24	26,2	23,1	25,9	23,7	21,8	25,2	22,6	22,7	24,9
5	24,5	27	22,3	26,1	23,3	25,9	22,5	21,8	23,6	22,8	24	25
6	25,1	27,6	23,6	26,1	23	25,5	24,5	21,8	25,3	22,4	24,6	25
7	25,8	27,1	24,1	26,1	24,9	25,6	25,7	22	25,8	22,6	25,1	24,9
8	25,5	27	24,5	26,1	23,9	25,5	25,6	21,8	25,7	22,7	24,7	24,8
9	23,1	27,4	23,2	26	21,4	25,6	21,3	22	23	22,6	22,4	24,9
10	22,2	27,8	19,7	26,5	19,3	26	18,8	22,1	20,6	22,7	19,7	25
11	20,7	28,3	19,1	26,4	18,2	25,9	17,9	22	19,9	22,7	19,1	25
12	22,7	28,1	22,3	26,6	19	26	21,1	21,9	21,8	22,6	22,2	25,1

SÁBADO: 18/JULIO/2015												
TOMA \ HORA	07H00		09H00		11H00		13H00		15H00		17H00	
	% HR	T(°C)	% HR	T(°C)	% HR	T(°C)	% HR	T(°C)	% HR	T(°C)	% HR	T(°C)
1	13,9	22,1	16,2	24,9	16	29,5	14	35,3	13,6	27,7	13,5	21,8
2	14,1	22	16,4	25	15	28,9	14,2	35,8	13,4	28,3	13,1	21,7
3	13,1	22,3	15,8	25,1	14,8	29,2	14,1	34	12,7	27,4	12,5	21,9
4	12,7	22,1	15,9	24,6	14,5	29,1	14,1	34,8	12,6	27,2	12,2	21,8
5	12,3	22,4	16,1	24,8	15,1	29,8	14,4	35,1	12	28,1	11,9	21,8
6	12	2,4	15,5	24,7	14,6	28,6	14,6	35,5	12,3	28,8	11,8	21,9
7	12,5	22,1	14,8	25,1	13,5	29,6	13,5	35	12	28,3	11,9	21,8
8	13	22,8	16	25	15,1	29,9	13,1	34,9	12,6	28	12,5	21,9
9	11,8	21,9	15,6	24,5	14,4	29,3	13,8	35,5	12,1	28,8	11,6	21,8
10	13,8	22,3	16,4	24,3	16,1	28,3	13,6	35,8	12,6	27,9	12,1	21,7
11	13,4	22,5	16,2	24,8	16,7	28,1	14,5	35,4	13,3	28	13,1	21,7
12	13	22,5	16,4	24,9	14,5	28,8	13,7	35,2	12,6	27,8	11,8	21,7

Tabla A.17. 1 Toma de datos, Marquesina derecha durante 3 días en Finca Paragua

TERMÓMETRO		
DÍA	HORA	TEMPERATURA (°C)
SÁBADO: 04/JULIO/2015	11H00	32
	13H00	30
	15H00	28
	17H00	20
DOMINGO: 05/JULIO/2015	07H00	21
	09H00	25
SÁBADO: 18/JULIO/2015	09H00	28
	11H00	31
	13H00	35
	15H00	28
	17H00	21

Tabla A.17. 2 Toma de Temperatura ambiente con respecto al tiempo

ANEXO 18. AMORTIZACIÓN DE LOS DOS PROTOTIPOS

Amortización de la Máquina Secadora

Para determinar el valor duradero teniendo en cuenta los años de vida de la máquina se debe considerar las UPAs que se producen por cosecha en el sector. De acuerdo con la información del Consejo Provincial el productor promedio en el Noroccidente de Pichincha produce 10-12 qq de café pergamino/hectárea, con un manejo y fertilización adecuado casi libre de enfermedades y plagas, que puede llegar hasta 30-35 qq de café pergamino/hectárea. En promedio un productor maneja o posee entre 0,5 y 3 hectáreas como UPA, por supuesto existen productores que llegan a manejar hasta 5, 10 y 30 hectáreas. Para el servicio de secado de café existirían cerca de 100 beneficiario directos.

- SECADOR DE SILO DE UN PISO

Por lo tanto para la amortización se considerará que una UPA le corresponde a 0,5 hectáreas, lo que se traduce una UPA a 5 qq por cosecha de café pergamino.

Durante toda una cosecha se tendrá por lo menos 500 qq de café pergamino a ser secados, y al conocer que 10 qq de café pergamino se secan en 4h30 se tiene la siguiente tabla resumen:

Número de UPAs	Número de qq	Tiempo (hrs/año)
2	10	4,5
1	5	2,25
100	500	225

Se considera que la máquina en una cosecha por año en producción de café, funcionará un tiempo 225 [hr/año]. Además se debe considerar el precio de la máquina que es 21556.67 [USD]. Se tiene una vida útil de 1000 hrs y máximo 10 años de duración

Variable	Valor
No. UPAS: U	100 [UPA]
Vida Útil: VU	1000 [hrs]
Precio de la máquina: $P_{máq}$	21556.67 [USD]
Tiempo de duración de la Máquina: $t_{máq}$	10 [años]
Tiempo de trabajo: t_{tra}	225 [hrs/año]

Por lo tanto, se procede a calcular la amortización de la máquina:

$$A = \frac{P_{máq}}{VU} + \frac{P_{máq}}{t_{máq} * t_{tra}}$$

$$A = \frac{21\,556,67 \text{ [USD]}}{1000 \text{ [hrs]}} + \frac{21\,556,67 \text{ [USD]}}{10 \text{ [años]} * 225 \text{ [hrs/año]}}$$

$$A = 31,14 \text{ [USD/hrs]}$$

La vida útil de la máquina de 225 [hrs/año]

$$VU_{amort} = \frac{P_{máq}}{A}$$

$$VU_{amort} = \frac{21\,556.67 \text{ [USD]}}{31,14 \text{ [USD/hrs]}}$$

$$VU_{amort} = 692,30 \text{ [hrs]}$$

Entonces, el número el tiempo estimado en años que se realizaría la amortización sería:

$$t_{amort} = \frac{VU_{amort}}{t_{trab}}$$

$$t_{amort} = \frac{692,30 \text{ [hrs]}}{225 \text{ [hrs/año]}}$$

$$t_{amort} = 3,07 \text{ [año]} = 3 \text{ [año]}$$

- SECADOR DE SILO DE TRES PISOS

Para este diseño también se considerará que una UPA le corresponde a 0,5 hectáreas, lo que se traduce una UPA a 5 qq por cosecha de café pergamino.

Donde para este secador 500 qq de café pergamino a ser secados, y al conocer que 10 qq de café pergamino se secan en 12h00 se tiene la siguiente tabla resumen:

Número de UPAs	Número de qq	Tiempo (hrs)
2	10	12
1	5	6
100	500	600

Se considera que la máquina en una cosecha por año en producción de café, funcionará un tiempo 600 [hr/año]. Además se debe considerar el precio de la máquina que es 25 540,30 [USD]. Además se debe considerar que para máquinas agrícolas se tiene una vida útil de 1000 hrs y máximo 10 años de duración

Variable	Valor
No. UPAS: U	100 [UPA]
Vida Útil: VU	1000 [hrs]
Precio de la máquina: $P_{máq}$	25 540,30 [USD]
Tiempo de duración de la Máquina: $t_{máq}$	10 [años]
Tiempo de trabajo: t_{tra}	600 [hrs/año]

Por lo tanto, se procede a calcular la amortización de la máquina:

$$A = \frac{P_{máq}}{VU} + \frac{P_{máq}}{t_{máq} * t_{tra}}$$

$$A = \frac{25540,30 [USD]}{1000 [hrs]} + \frac{25540,30 [USD]}{10 [años] * 600 [hrs/año]}$$

$$A = 29,79 [USD/hrs]$$

La vida útil de la máquina de 600 [hrs/año]

$$VU_{amort} = \frac{P_{máq}}{A}$$

$$VU_{amort} = \frac{25540,30 [USD]}{29,79 [USD/hrs]}$$

$$VU_{amort} = 857,14 [hrs]$$

Entonces, el número el tiempo estimado en años que se realizaría la amortización sería:

$$t_{amort} = \frac{VU_{amort}}{t_{trab}}$$

$$t_{amort} = \frac{857,14 [hrs]}{600 [hrs/año]}$$

$$t_{amort} = 1,43 [año] = 1,5 [año]$$

ANEXO 19. COSTO DEL CONSUMO DE ENERGÍA PARA LOS DOS PROTOTIPOS

El consumo de energía en Kw es independiente del uso de energía eléctrica o consumo de consumible

1. SECADOR DE SILO DE UN PISO

Se considerará que se debe tener un precalentamiento de la máquina de alrededor de 1,5 hrs por ser una máquina de mayor volumen, dando un uso de 6 hrs diarias. Se usará la máquina los 7 días a la semana en los meses de alta cosecha, por lo que se calculará con este parámetro:

Energía kW	15
Consumo de Energía Eléctrica kWh/día	90
Consumo de Energía Eléctrica kWh/mes	2 700
Costo del kWh	0,089
Consumo mensual \$	240,30

2. SECADOR DE SILO DE TRES PISOS

Se considerará que se debe tener un precalentamiento de la máquina de alrededor de 0,5 hrs por ser una máquina más pequeña, dando un uso de 12 hrs diarias. Se usará la máquina los 7 días a la semana en los meses de alta cosecha, por lo que se calculará con este parámetro:

Energía Kw	11,4
Consumo de Energía Eléctrica Kwh/día	136,8
Consumo de Energía Eléctrica Kwh/mes	4 104
Costo del KWh	0,089
Consumo mensual \$	365,26

Se tiene un caudal volumétrico de $1,65 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$, que por hora consumirá $0,594 \text{ m}^3$. El tanque de gas de 15 kg tiene un costo actual de \$4,00 en Pacto, y 1 kg equivale a $0,5 \text{ m}^3$ de GLP. El costo por m^3 será 0,53USD.

Consumo de gas m^3/h	0,59
Consumo de gas $\text{m}^3/\text{día}$	7,13
Consumo de gas m^3/mes	213,84
Costo del m^3 gas \$	0,53

Consumo mensual \$	113,34
---------------------------	---------------

ANEXO 20. PROTOCOLO DE PRUEBAS

Un protocolo de pruebas es un proceso que permite determinar la importancia que se tiene al dar por terminado el diseño de una maquina con el cumplimiento satisfactorio de todos los objetivos propuestos. Estos objetivos se llevarán a cabo con la ejecución de pruebas que garanticen su funcionamiento, caso contrario se deberá hacer un replanteamiento de los elementos mecánicos para lograr lo propuesto.

Las siguientes pruebas son las que debe llevarse a cabo:

- Verificación de Dimensiones
- Prueba de Funcionamiento en Vacío
- Prueba de Funcionamiento con Carga

VERIFICACIÓN DE DIMENSIONES Y ASPECTOS FÍSICOS

Los aspectos físicos y sus dimensiones son pruebas fundamentales que se deben tomar en cuenta antes de la ejecución de las pruebas de funcionamiento, por lo que el presente proyecto tiene destinado por el cliente un espacio específico para el secador, además aspectos físicos que se deben tomar en cuenta:

- Área donde se ubica del secador
- La altura a la que llega el secador
- El peso que tendrá la máquina para que sea transportable
- La pintura anticorrosiva que se usará en el tanque
- La lubricación de elementos mecánicos que generan la transmisión de movimiento del eje y paletas
- Limpieza total en elementos que van en contacto con el grano de café, es el caso de bandejas, paletas, eje, pared del tanque

PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO EN VACÍO

El funcionamiento del secador al vacío requiere que sea sin ser cargado de grano de café, necesariamente después de haber cumplido el requerimiento de

dimensiones y aspectos físicos, de tal manera que esta prueba también sea cumplida con satisfacción para los siguientes puntos:

- Velocidad de aire de secado, es decir que se tenga un valor de 0,5 a 2,5m/s.
- Prueba de temperatura de aire de secado, donde se tenga una temperatura de 40 a 60°C
- Velocidad angular de paletas y ejes que oscilen de 4 a 6 rpm
- Que el quemador y el ventilador se enciendan y produzcan el calor necesario y sea distribuido por toda la cámara de aire, respectivamente.
- Que el aire caliente para el secado atraviese la cámara de aire hacia la o las cámaras de secado.

PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO CON CARGA

Una vez cumplido las dos pruebas anteriormente mencionadas a cabalidad, se procede a ejecutar la tercera y última verificación del correcto funcionamiento del secador con carga de grano. En este punto se deberá cargar con la cantidad adecuada y comprobar su funcionamiento y operación:

- Controlar la carga y descarga del grano, sin que haya desperdicios o desparrame de café, a la vez sin que el grano sea maltratado y provoque daños.
- Comprobar que el tiempo de secado se cumpla, por lo que en el secador de un piso debe alcanzar el secado en 4h30 min y en el secador de tres pisos todo el proceso dure 11h54min
- Que la altura del grano al 30% de humedad alcance los 250 mm para el secador de tres pisos y 400 mm para el secador de 1 piso.



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA



HOJA DE PROTOCOLO DE PRUEBAS

DATOS GENERALES

EQUIPO	SECADOR DE GRANOS DE CAFÉ
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN	VERA VICTOR, YUGSI GISSELE
REVISIÓN	ING. PALACIOS JOSÉ
COLABORACIÓN	ING PEÑA ADRIAN
LUGAR Y FECHA DE PRUEBA	

VERIFICACIÓN DE DIMENSIONES

DESCRIPCIÓN DEL PUNTO	VALOR	APRUEBA	RECHAZA
Largo			
Ancho			
Altura			
Peso			

VERIFICACIÓN DE ASPECTOS FÍSICOS

DESCRIPCIÓN DEL PUNTO	APRUEBA	RECHAZA
Lubricación		
Pintura		
Limpieza		

PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO EN VACÍO

DESCRIPCIÓN DEL PUNTO	VALOR	APRUEBA	RECHAZA
Velocidad del Aire			
Temperatura de Aire			
Velocidad Angular de Paletas			
Funcionamiento Quemador			
Funcionamiento Ventilador			

PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO CON CARGA

DESCRIPCIÓN DEL PUNTO	VALOR	APRUEBA	RECHAZA
Control de Carga			
Altura del Grano			
Humedad Inicial del Grano			
Control de Descarga			
Tiempo de Secado			

ANEXO 21

PLANOS