



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**“DISEÑO CONCURRENTES DE UNA SECADORA
VERTICAL INTERMITENTE PARA ARROZ”**

**TACURI GUAMÁN LEOPOLDO ISAIAS
QUINTANA GUILLÉN MARCELO PATRICIO**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:
INGENIERO MECÁNICO

RIOBAMBA – ECUADOR

2010

Epoch

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

CONSEJO DIRECTIVO

Diciembre, 09 del 2009

Yo recomiendo que la tesis preparada por:

LEOPOLDO ISAIAS TACURI GUAMÁN

Titulada:

“DISEÑO CONCURRENTE DE UNA SECADORA VERTICAL INTERMITENTE PARA ARROZ”

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el título de:

INGENIERO MECÁNICO

f) DECANO DE LA FACULTAD

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

f) DIRECTOR DE TESIS.

f) MIEMBRO DEL TRIBUNAL

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: LEOPOLDO ISAIAS TACURI GUAMÁN.

TÍTULO DE LA TESIS:

“DISEÑO CONCURRENTE DE UNA SECADORA VERTICAL INTERMITENTE PARA ARROZ”

Fecha de Examinación: Junio, 11 del 2010.

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
ING. GEOVANNY NOVILLO			
ING. WASHINGTON RUALES			
ING. RAMIRO VALENZUELA			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES:

El Presidente del Tribunal quien certifica al Consejo Directivo que las condiciones de la defensa se han cumplido.

f) Presidente del Tribunal

EsPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

CONSEJO DIRECTIVO

Diciembre, 09 del 2009

Yo recomiendo que la tesis preparada por:

MARCELO PATRICIO QUINTANA GUILLEN

Titulada:

“DISEÑO CONCURRENTE DE UNA SECADORA VERTICAL INTERMITENTE PARA ARROZ”

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el título de:

INGENIERO MECÁNICO

f) DECANO DE LA FACULTAD

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

f) DIRECTOR DE TESIS.

f) MIEMBRO DEL TRIBUNAL

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: MARCELO PATRICIO QUINTANA GUILLÉN.

TÍTULO DE LA TESIS:

“DISEÑO CONCURRENTES DE UNA SECADORA VERTICAL INTERMITENTE PARA ARROZ”

Fecha de Examinación: Junio, 11 del 2010.

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
ING. GEOVANNY NOVILLO			
ING. WASHINGTON RUALES			
ING. RAMIRO VALENZUELA			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES:

El Presidente del Tribunal quien certifica al Consejo Directivo que las condiciones de la defensa se han cumplido.

f) Presidente del Tribunal

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presento, es original y basado en el proceso de investigación y adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos - científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

f) LEOPOLDO ISAIAS TACURI GUAMÁN f) MARCELO PATRICIO QUINTANA GUILLÉN

AGRADECIMIENTO

El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Mecánica, por brindarnos la capacitación necesaria para obtener una profesión y ser personas que construyan una sociedad mejor.

Y en especial a la empresa INDUHORST que nos supo encaminar y ayudar en todos los aspectos requeridos durante este periodo de investigación, igualmente a nuestro director de tesis Ing. Washington Rúaes, a nuestro asesor Ing. Ramiro Valenzuela, por su gran contribución en la elaboración del proyecto de tesis, a todos los ingenieros, compañeros y personas que nos apoyaron de una u otra manera para culminar con éxito esta etapa importante de nuestras vidas.

Leopoldo Tacuri.

Marcelo Quintana.

DEDICATORIA

A mis queridos padres Carmen y Guido, a mis hermanos Fausto y Nataly quienes con su amor y esfuerzo diario, supieron motivarme y ayudarme cada día para culminar este trabajo de investigación, ya que ustedes son mi apoyo, mi orgullo y mi ejemplo para superarme en todo momento.

Leopoldo T.

A mi Dios quien me ha dado el regalo más hermoso de este mundo que es la vida, a mis queridos padres Antonio e Isabel, que han sido para mí modelo de amor, sacrificio y de entrega, a mi Patrón San Luis Rey de Francia por las bendiciones recibidas, a mis hermanos Karolina y Vicente, y a toda mi familia que con amor y sacrificio me han apoyado día a día para culminar este trabajo de investigación.

Marcelo Q.

TABLA DE CONTENIDOS

<u>CAPÍTULO</u>		<u>PÁGINA</u>
1.	GENERALIDADES	
1.1	Antecedentes.....	1
1.2	Justificación.....	2
1.2.1	Justificación técnica.....	2
1.2.2	Justificación económica.....	2
1.3	Objetivos.....	2
1.3.1	Objetivo general	2
1.3.2	Objetivos específicos.....	3
2.	MARCO TEÓRICO	
2.1	El arroz (Oryza sativa).....	4
2.1.1	Clasificación	4
2.1.1.1	Norma del Codex para el arroz.....	4
2.1.2	Composición física	6
2.1.3	Composición química.....	7
2.1.3.1	Almidón.....	7
2.1.3.2	Proteínas	7
2.1.3.3	Lípidos.....	8
2.1.3.4	Polisacáridos no amiláceos.....	8
2.1.3.5	Volátiles.....	9
2.1.4	Determinación del porcentaje de humedad	9
2.1.5	Porcentaje de consumo en las familias	10
2.1.6	Producción anual de arroz	10
2.1.7	Incremento de producción	11
2.2	Secado.....	11
2.2.1	Introducción.....	12

2.2.2	Definiciones fundamentales	13
2.2.2.1	Contenido de humedad, base seca: X	13
2.2.2.2	Contenido de humedad, base húmeda	13
2.2.3	Operaciones de secado	15
2.2.4	Mecanismos y cinética de secado, transferencia de masa y calor	15
2.2.5	Curvas fundamentales de secado	17
2.2.5.1	Curvas de velocidad de secado	17
2.2.5.2	Conversión de los datos a curva de velocidad de secado	18
2.2.5.3	Gráfica de la curva de velocidad de secado	20
2.2.6	Homogeneidad del secado	21
2.2.6.1	Difusión líquida	21
2.2.6.2	Movimiento capilar	21
2.2.6.3	Difusión de vapor	21
2.2.6.3	Presión	22
2.2.7	Sensibilidad del producto en el secado	22
2.2.8	Temperaturas optimas en el secado de arroz	23
2.2.8	Tiempo de secado	24

3. PARÁMETROS FUNCIONALES Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

3.1	Análisis de soluciones existentes	25
3.2.1	Justificación	25
3.2.3	Aplicaciones de diseño	26
3.3	Metodología de diseño	26
3.4	Estructura de funciones	26
3.4.1	Entradas	29
3.4.2	Salidas	29
3.4.3	Descripción de componentes y funcionamiento	32
3.4.3.1	Secadora tipo caballete	32
3.4.3.1.1	Embudo de carga	32
3.4.3.1.2	Torre de secaje	32
3.4.3.1.3	Difusores	32

3.4.3.1.4	Ventiladores.....	33
3.4.3.1.5	Descargas.....	33
3.4.3.1.6	Embudo de descarga.....	33
3.4.3.2	Secadora vertical intermitente de bandejas	34
3.4.3.2.1	Mesa de descarga.....	34
3.4.3.2.2	Módulos (cuerpos de secado)	35
3.4.3.2.3	Las bandejas de las columnas de secado	35
3.4.3.2.5	Cámara de aire (para secado calor- frío o todo calor)	35
3.4.3.2.6	Ventiladores.....	35
3.4.3.2.7	Quemadores	35
3.4.3.2.8	Descarga	35
3.4.4	Evaluación técnica.....	37
3.4.5	Evaluación económica.....	37
3.4.6	Selección de la mejor alternativa.....	38
3.4.7	Descripción de la mejor alternativa.....	38

4. DISEÑO DE LA SECADORA

4.1	Cálculo del aire necesario.....	40
4.1.1	Cantidad de agua a eliminar	40
4.1.2	Masa de agua contenida inicialmente	40
4.1.3	Masa de agua contenida al final	40
4.1.4	Humedad relativa.....	41
4.1.5	Masa de aire seco.....	42
4.1.6	Cálculo del volumen de aire húmedo.	42
4.1.6.1	Condiciones del aire	43
4.1.7	Masa de agua por módulo.....	45
4.1.8	Contenido de agua (humedad relativa).....	45
4.1.9	Masa de aire.....	46
4.1.10	Volumen de aire húmedo (caudal)	46
4.2	Dimensionamiento de los módulos	46
4.2.1	Determinación del ángulo de talud.....	46
4.2.2	Secciones del módulo	45

4.3	Diseño de bandejas	49
4.3.1	Primera consideración	49
4.3.2	Segunda consideración	50
4.3.3	Diseño estático.....	55
4.3.4	Diseño a fatiga.....	60
4.4	Deflexión de bandejas	63
4.4.1	Con dos apoyos para toda la distancia en la bandeja superior	63
4.4.1.1	Con 2 apoyos adicionales	68
4.4.1.2	Con 2 apoyos adicionales en la bandeja común	72
4.5	Dimensionamiento del eje dosificador	76
4.5.1	Diseño del eje del dosificador	76
4.5.2	Diseño de los parámetros eje del dosificador	80
4.5.3	Verificación del factor de seguridad en el eje dosificador	82
4.6	Selección del reductor de velocidad	87
4.6.1	Selección de un reductor de velocidad según catálogo SITI SPA.....	89
4.6.2	Verificación	90
4.7	Cálculo de la transmisión por cadenas.	91
4.7.1	Capacidad real o potencia de diseño	92
4.7.2	Determinación del número de cadena	92
4.7.3	Relación de transmisión	93
4.7.4	Determinación del número de dientes del conducido.....	93
4.7.5	Longitud de la cadena.....	93
4.7.6	Selección de piñones	94
4.8	Transmisión por cadena para los 4 ejes de dosificación.....	94
4.8.1	Capacidad real o potencia de diseño	95
4.8.2	Determinación del número de cadena	95
4.8.3	Relación de transmisión	96
4.8.4	Determinación del número de dientes del conducido.....	96
4.8.5	Longitud de la cadena.....	96
4.8.6	Selección de piñones	97
4.9	Selección de los rodamientos para ejes dosificadores	98
4.9.3	Cálculo de reacciones	102
4.9.4	Selección de rodamientos	104

4.9.4.1	Rodamiento A.....	104
4.9.4.1.1	Carga radial	104
4.9.4.1.2	Carga axial.....	105
4.9.4.1.3	Chequeo a carga estática	106
4.9.4.2	Rodamiento B.....	106
4.9.4.2.1	Carga radial	107
4.9.4.2.2	Carga axial.....	107
4.9.4.2.3	Chequeo a carga estática	108
4.9.4.3	Selección del soporte para rodamiento.....	109
4.10	Selección del sistema del quemador.....	109
4.10.1	Selección de un quemador de tamo marca MEPHISTO	110
4.11	Determinación de consumo de tamo	111
4.11.1	Eficiencia del quemador	111
4.11.1.1	Elementos de medición utilizados	112
4.11.1.2	Procedimiento.....	112
4.11.1.5	Desarrollo	112
4.11.1.5.2	Caudal de aire	112
4.11.1.5.3	Flujo de aire.....	113
4.11.1.5.4	Calor suministrado al aire.....	113
4.11.1.5.5	El tiempo tomado 4 horas.....	114
4.11.1.6	Determinación de consumo	114
4.11.1.6.1	Calor producido por la cascarilla.....	114
4.11.1.6.2	Eficiencia.....	114
4.12	Pérdida de presión en el sistema.....	116
4.12.1	Pérdida de presión por producto.....	116
4.12.1.1	Determinación del volumen	117
4.12.1.2	Determinación del área.....	117
4.12.1.3	Tipo de flujo de aire	117
4.12.2	Pérdidas de presión por tubería de quemador.....	118
4.12.2.1	Caudal que atraviesa por los tubos	119
4.12.2.2	Determinación de reynolds.....	119
4.12.3	Pérdidas por ductos.....	121
4.12.3.1	Presión de velocidad.....	122

4.12.4	Pérdidas en ducto principal de distribución.....	122
4.12.5	Pérdidas en ducto con obstrucción	123
4.12.6	Pérdida por accesorios	124
4.12.6	Pérdida por codos	124
4.12.6.1.1	Codo rectangular con radio	124
4.12.6.1.2	Codo rectangular con convergencia y divergencia de flujo	125
4.12.7	Pérdidas en el sistema.....	126
4.13	Selección de ventiladores	126
4.13.1	Ventilador doble oido	126
4.13.2	Ventiladores axiales.....	127
4.14	Selección del sistema de transporte	128
4.14.1	Parámetros	128
4.15	Selección del sistema de elevación.....	129
4.15.1	Parámetros	129
4.16	Análisis estructural	131
4.16.1	Determinación de cargas	131
4.16.1.1	Carga muerta por módulo	131
4.16.1.2	Carga muerta por tolva	131
4.16.1.3	Carga muerta por armazón lateral	132
4.16.1.4	Carga por ventiladores.....	132
4.16.2	Carga viva.....	132
4.16.2.1	Distribución de cargas	132
4.16.2.2	Tolva.....	132
4.16.2.3	Módulos.....	133
4.16.3	Carga por viento	134
4.16.4	Carga por sismo.....	136
4.16.4.1	Coficiente de reducción de respuesta estructural.....	137
4.16.4.2	Coficiente de zona	137
4.16.4.3	Factor de importancia	137
4.16.4.4	Coficiente de suelos	137
4.16.4.5	Factores de configuración estructural en planta y elevación.....	138
4.16.4.6	Periodo.....	138
4.16.5	Análisis del perfil modificado de la estructura.....	139

4.16.6	Cargas ingresadas al programa SAP 2000.....	140
4.16.6.1	Carga muerta	140
4.16.6.2	Carga viva.....	140
4.16.6.2.1	Tolva.....	140
4.16.6.2.2	Módulos.....	141
4.16.6.3	Viento	141
4.16.6.4	Sismo	142
4.16.7	Deformaciones según SAP 2000	143
4.16.7.1	Deformaciones por carga muerta.....	143
4.16.7.2	Deformaciones por carga viva.....	144
4.16.7.3	Deformaciones por viento	145
4.16.7.4	Deformaciones por sismo	146
4.16.7.5	Deformaciones por combinaciones de carga.....	147
4.16.8	Diseño de la placa base.....	149

5. DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL

5.1	Sistema de control	155
5.1.1	Control de temperatura	155
5.1.1.1	Elemento primario de control	155
5.1.1.2	Controlador	155
5.1.1.3	Elemento final de control	155
5.1.2	Descripcion de funcionamiento.....	155
5.1.3	Alternativas de control para la secadora.....	157
5.1.4	Código de programación de los PIC.....	158

6. CONSTRUCCION Y MANTENIMIENTO DEL SECADOR

6.1	Contrucción	167
6.1.1	Descripción del proceso de construcción	167
6.1.1.1	Recepción de materiales	167
6.1.1.2	Construcción de la base del secador.....	167
6.1.1.3	Construcción de los módulos de secado.....	167

6.1.1.4	Construcción de la tolva	168
6.1.2	Operaciones tecnológicas	170
6.1.3	Operaciones y montaje de la maquina.....	174
6.1.4	Manual de mantenimiento	176
6.1.4.1	Problemas y soluciones	176
6.1.5	Construcción del prototipo	179
6.1.5.1	Partes principales del prototipo	179
6.1.5.2	Proceso de construcción	180
6.1.5.3	Operaciones tecnológicas realizadas	183
6.2	Plan de pruebas realizadas.....	186
6.2.1	Variables a medir.....	186
6.2.2	Datos del arroz.....	186
6.2.3	Datos del prototipo	186
6.2.4	Experimentación.....	187
6.2.4.1	Datos iniciales	187
6.2.4.2	Toma de datos.....	187

7. VALORACIÓN ECONÓMICA

7.1	Valoración de los componenetes del proyecto	189
7.1.1	Costos directos.....	189
7.1.1.1	Materiales utilizados.....	189
7.1.1.2	Costos de los materiales	191
7.1.1.3	Mano de obra.....	192
7.1.1.4	Costos por automatización	192
7.1.1.5	Costos directos total	193
7.1.1.6	Costos indirectos	193
7.1.1.7	Costos total del secador	193
7.1.1.8	Maquinas adicionales	194
7.1.1.9	Costos total del sistema de secado.....	194

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1	Conclusiones.....	195
8.2	Recomendaciones	196

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIBLIOGRAFÍA

LINKOGRAFÍA

ANEXOS

PLANOS

LISTA DE TABLAS

<u>TABLA</u>		<u>PÁGINA</u>
2.1	PROPIEDADES FÍSICAS DEL ARROZ	7
2.2	PROPIEDADES QUÍMICAS DEL ARROZ	9
2.3	ECUADOR: PRODUCCIÓN ANUAL DE ARROZ EN CÁSCARA SECO Y LIMPIO	11
2.4	TEMPERATURA DE FUNCIONAMIENTO DE UN SECADOR DE CAPAS DELGADAS.	24
3.1	MATRIZ MORFOLÓGICA	31
3.2	VALORACIÓN TÉCNICA	37
3.3	VALORACIÓN ECONÓMICA	37
4.1	DATOS DEL CICLO TÉRMICO	42
4.2	DATOS NECESARIOS PARA EL CÁLCULO DE DEFLEXIÓN	65
4.3	DATOS GENERALES DEL EJE DOSIFICADOR	87
4.4	DATOS TÉCNICOS DEL MOTOREDUCTOR SELECCIONADO	91
4.5	DATOS GENERALES DE LA PRIMERA TRANSMISIÓN	97
4.6	DATOS GENERALES DE LAS TRANSMISIONES IGUALES	97
4.7	DATOS TÉCNICOS DEL RODAMIENTO Y SOPORTE	109
4.8	DATOS GENERALES DEL QUEMADOR DE TAMO MEPHISTO	110
4.9	CARACTERÍSTICAS DEL VENTILADOR DOBLE OÍDO	113
4.10	CARACTERÍSTICAS DEL VENTILADOR JATUN HUAYRA SELECCIONADO	127
4.11	DATOS GENERALES DEL VENTILADOR SOLER Y PALAU SELECCIONADO	128
4.12	DATOS GENERALES DEL TRANSPORTADOR VIBRATORIO JATARIG SELECCIONADO	129
4.13	DATOS GENERALES DEL ELEVADOR DE CANGILONES MARCA JATARIG	131
4.14	ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN EL MÓDULO	131
4.15	ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN LA TOLVA	131
4.16	ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN EL ARMAZÓN LATERAL	132

4.17	DATOS OBTENIDOS PARA EL PERFIL MODIFICADO	140
4.18	DATOS OBTENIDOS PARA EL PERFIL MODIFICADO	141
5.1	ELEMENTOS ELECTRÓNICOS DEL SISTEMA DE CONTROL	158
6.1	PARTES CONSTITUTIVAS DEL SECADOR	168
6.2	OPERACIONES TECNOLÓGICAS REALIZADAS EN EL SECADOR	170
6.3	MANUAL DE MANTENIMIENTO PARA LA SECADORA	177
6.3	PROBLEMAS Y SOLUCIONES FRECUENTES EN EL SECADOR	178
6.4	ELEMENTOS DEL PROTOTIPO	180
6.5	OPERACIONES TECNOLÓGICAS REALIZADAS EN EL PROTOTIPO	183
6.6	DATOS EXPERIMENTALES MEDIDOS	187
7.1	MATERIALES DE LA TOLVA	189
7.2	MATERIALES DEL MÓDULO SUPERIOR	189
7.3	MATERIALES DEL MÓDULO INTERMEDIO	190
7.4	MATERIALES DEL MÓDULO INFERIOR	190
7.5	MATERIALES DE LA BASE	190
7.6	MATERIALES DEL DOSIFICADOR	190
7.7	RODAMIENTOS Y CHUMACERAS	190
7.8	PIÑONES Y CADENAS	191
7.9	PERNOS	191
7.10	MOTOREDUCTOR	191
7.11	COSTOS INDIVIDUALES Y TOTALES DE LOS MATERIALES	191
7.12	COSTOS POR MANO DE OBRA	192
7.13	COSTOS DIRECTOS	193
7.14	COSTOS DE LAS MÁQUINAS ADICIONALES	194

LISTA DE FIGURAS

<u>FIGURA</u>	<u>PÁGINA</u>
2.1	Tipos de humedades..... 14
2.2	(a) Grafica de los datos como humedad libre en función del tiempo..... 19
2.2	(b) Velocidad de secado en función del contenido de humedad libre..... 19
2.2	Curva típica de velocidad de secado para condiciones de secado constante 19
3.1	Abstracción de proceso 28
3.2	Propuestas de estructura de función 30
3.3	Descripción de componentes secadora tipo caballete..... 32
3.4	Descripción de funcionamiento..... 33
3.5	Descripción de componentes secadora vertical intermitente de bandejas..... 34
3.6	Descripción de funcionamiento secadora vertical intermitente de bandejas..... 36
3.7	Selección de alternativa..... 38
3.8	Secadora vertical intermitente de bandejas..... 38
4.1	Modulo de la secadora..... 43
4.2	Carta psicrométrica con proceso de secado 44
4.3	Superficie de rodadura para arroz..... 47
4.4	Sección de bandejas con posible compactación 48
4.5	Comparación de ángulos de talud en bandejas conformadas..... 48
4.6	Sección del modulo de secado..... 50
4.7	Sección para la segunda consideración..... 51
4.8	Vista en 3D de la bandeja a diseñar..... 52
4.9	Descripción de datos de la bandeja 52
4.10	Representación de cargas en la bandeja..... 53
4.11	Carga puntual y perpendicular en la bandeja..... 54
4.12	Cargas para diseño el diseño de la bandeja..... 54
4.13	Diagrama de corte y de momento flector..... 55
4.14	Aplicación de restricciones en el elemento en la cual en nuestro caso se toma a una cara como geometría fija (empotramiento)..... 58
4.15	Aplicación de fuerzas sobre el ala de la bandeja..... 58

4.16	Factor de seguridad del elemento.....	59
4.17	Zonas criticas del elemento.....	59
4.18	Tipo de fluctuación en la bandeja.....	60
4.19	Apoyo Z.....	62
4.20	Cargas en la bandeja con 2 apoyos.....	63
4.21	Carga puntual actuante.....	64
4.22	Perfil para análisis de flecha.....	64
4.23	Visualización de carga para cálculo de flecha.....	66
4.24	Cargas en la bandeja con 4 apoyos.....	68
4.25	Cargas en la bandeja común con 4 apoyos.....	70
4.26	Aplicación de cargas sobre la bandeja mediante SolidWorks.....	71
4.27	Grafico de tensiones sobre la bandeja a una separación de 800mm.....	71
4.28	Deformaciones de la bandeja de 800mm.....	72
4.29	Grafico de deformaciones con valores en puntos críticos.....	72
4.30	Factor de seguridad en la bandeja.....	73
4.31	Deformaciones con bajo primera consideración.....	75
4.32	Factor de seguridad.....	75
3.33	Visualización de cargas actuantes en el eje.....	76
4.34	Diagrama de cortante y momento flector del eje.....	77
4.35	Fluctuación de carga en el eje	77
4.36	Sección del eje dosificador.....	81
4.37	Propiedades de sección del eje dosificador.....	83
4.38	Tensiones en el eje dosificador.....	83
4.39	Grafico de deformaciones.....	85
4.40	Factor de seguridad.....	85
4.41	Elementos y dimensiones del eje dosificador.....	86
4.42	Vista del eje dosificador.....	86
4.43	Área de análisis en la descarga.....	87
4.44	Descripción de datos para cálculo de torque.....	88
4.45	Representación del sistema de transmisión a diseñar.....	91
4.46	Descripción de la primera transmisión a analizar.....	92
4.47	Representación de las 5 transmisiones de los ejes dosificadores.....	95
4.48	Datos obtenidos en Working Model.....	98

4.49	Representación en 3D de la transmisión.....	99
4.50	Visualización de la transmisión en el plano xy.....	100
4.51	Visualización de la transmisión en el plano xz.....	101
4.52	Cargas en el eje.....	102
4.53	Cargas y reacciones en el plano xy.....	102
4.54	Cargas y reacciones en el plano xz.....	103
4.55	Cargas y reacciones verdaderas en el plano xz.....	104
4.56	Cargas en rodamiento A.....	104
4.57	Cargas en rodamiento B.....	107
4.58	Quemadora de tamo marca MEPHISTO.....	111
4.59	Elementos constitutivos de la quemadora de tamo marca MEPHISTO.....	111
4.60	Tubería de 6 in del quemador.....	118
4.62	Ducto rectangular principal.....	122
4.62	Codo rectangular con radio R.....	124
4.63	Codo rectangular con convergencia y divergencia de flujo.....	125
4.64	Transportador vibratorio JATARIG.....	129
4.65	Bota y cabezal del elevador de cangilones.....	130
4.66	Elevador de cangilones JATARIG.....	130
4.67	Distribución de áreas para las cargas actuantes en la tolva.....	133
4.68	Distribución de áreas para las cargas actuantes en los módulos.....	134
4.69	Perfil modificado.....	139
4.70	Carga viva aplicada en la tolva.....	141
4.71	Carga viva aplicada los módulos.....	141
4.72	Representación en SAP 2000 de la estructura cubierta a analizar.....	142
4.73	Representación en SAP 2000 de la estructura con los perfiles a analizar.....	142
4.74	Esquema y resultados del análisis de carga muerta.....	143
4.75	Esquema y resultados del análisis por carga viva	144
4.76	Esquema y resultados del análisis por viento	145
4.77	Esquema y resultados del análisis por sismo.....	146
4.78	Esquema y resultados del análisis por combinación de carga	147
4.79	Zonas criticas en la estructura del secador.	148
4.80	Resultados de esfuerzos sobre el perfil critico.....	149

4.81	Variables para el diseño de la placa base.....	149
5.1	Control en el ducto de descarga (rejilla cerrada).....	156
5.2	Control en el ducto de descarga (rejilla abierta).....	156
5.3	Panel de control.....	166
5.4	PCBs con elementos armados.....	166
6.1	Montaje de base.....	174
6.2	Montaje de módulos.....	174
6.3	Montaje de tolva.....	175
6.4	Partes constitutivas del prototipo.....	179
6.5	Gráficos de la estructura diseñada y de la estructura armada.....	180
6.6	Planos de vista frontal y chapa metálica para conformado de bandejas.....	181
6.7	Vista en 3D de bandeja central y grafico de plancha doblada.....	181
6.8	Gráfico de pieza central.....	182
6.9	Ensamble de bandeja central.....	182
6.10	Gráfico del prototipo modelado en 3D.....	184
6.11	Gráfico del prototipo construido.....	185
6.12	Curva de secado obtenida en el prototipo.....	188
7.1	Módulos del secador.....	189

LISTA DE ABREVIACIONES

X	Contenido de humedad, base seca
X^*	Humedad de equilibrio
$X - X^*$	Humedad libre
D	deseos
E	exigencias
M_h	Masa húmeda [kg]
M_s	Masa seca [kg]
w1	Porcentaje de humedad inicial[%]
w2	Porcentaje de humedad final [%]
m_1	Masa de agua contenida inicialmente [kg]
m_2	Masa de agua contenida al final [kg]
W	Masa de agua a eliminar [kg]
x	Humedad relativa $\left[\frac{kg_{agua}}{kg_{aire\ seco}} \right]$
P_m	Presión a temperatura m [$^{\circ}$ C]
P_{at}	Presión atmosférica $\left[\frac{kg}{cm^2} \right]$
V	Volumen de aire húmedo $\left[\frac{m^3}{h} \right]$
ρ	Densidad $\left[\frac{kg}{m^3} \right]$
ΔP	Presión [in de agua]
L	Profundidad de producto [ft]
Q	Tipo de flujo de aire $\left[\frac{CFM}{ft^2} \right]$
a, b	Constantes empíricas

W_k	Caudal en kilogramos por hora
d	Diámetro interior [mm]
\bar{V}	Volumen específico $\left[\frac{m^3}{kg}\right]$
f	Factor de fricción
Re	Reynolds
μ	Viscosidad absoluta
ρ_a	Densidad del fluido $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$
S_g	Peso específico de un gas respecto al aire
W_{Tolva}	Carga aplicada en la tolva [kg]
q_{ma}	Carga producida por el peso del arroz [kg]
q_{L1}	Carga lineal aplicada [kg]
P_{L1}	Carga puntual aplicada [kg]
σ_x	Esfuerzo en x
M_f	Momento flector
I	Momento de inercia [mm ⁴]
τ_{xy}	Esfuerzo de corte
F	Fuerza de corte [kg]
A_c	Área de corte [mm ²]
K_i	Coefficiente modificador para el límite de fatiga
k_a	Factor por acabado superficial
k_b	Factor de concentración de esfuerzos
d_e	Diámetro equivalente [mm]
k_c	Factor de confiabilidad
k_d	Factor de fiabilidad
y	Flecha de un elemento [mm]

V	Volumen e de arroz desplazado por el eje dosificador [m^3]
β	Porcentaje de llenado [%]
T	Torque de los ejes dosificadores [kgm]
M_2	Torque de selección [kgm]
f_s	Factor de servicio
HP_1	Potencia del motoreductor [HP]
n	Catalogo velocidad angular [rpm]
RD	Catalogo eficiencia dinámica
f_c	Factor de compensación
Z	Numero de dientes del piñón 4
R	Relación de transmisión
F_c	Fuerza en la cadena [kg]
F_r	Fuerza radial en rodamientos [kg]
F_a	Fuerza axial en rodamientos [kg]
f_l	Factor de vida
f_n	Factor de velocidad
Q	Calor requerido $\left[\frac{kJ}{s} \right]$
\dot{m}	Flujo de aire seco $\left[\frac{kg}{s} \right]$
Δh_o	Poder calorífico [KJ / (Kg°K)]
η	Eficiencia [%]
P	Presión de diseño por viento $\left[\frac{kg}{cm^2} \right]$
C_e	Factor de ráfaga o exposición
I_w	Factor de importancia
C_q	Coefficiente de presión

q_s	Presión del viento $\left[\frac{kg}{cm^2} \right]$
V	Cortante basal de diseño
Z	Coefficiente de zona
$\varphi_p \varphi_E$	Factores de configuración estructural en planta y elevación
R	Factor de reducción de respuesta estructural
I	Factor de importancia
S	Coefficiente de suelo
T	Período de vibración
P_u	Carga factorizada
CM	Carga muerta
CV	Carga viva
$f'c$	Resistencia del concreto
A_1	Área de la placa base
A_2	Área de la zapata
CD	Costos directos
CI	Costos indirectos
CT	Costo total
CSS	Costo del sistema de secado
CS	Costo del secador
CMI	Costo por máquinas adicionales

LISTA DE ANEXOS

- ANEXO 1:** FAO. Ángulos de talud para diferentes granos
- ANEXO 2:** Catálogo SITI SPA para reductores de velocidad
- ANEXO 3:** Catálogo INTERMEC para transmisión por cadena de rodillos
- ANEXO 4:** Catálogo FAG para rodamientos.
- ANEXO 5:** Selección del quemador
- ANEXO 6:** Airflow Resistance
- ANEXO 7:** Perdidas de Presión en Tubería, Ductos y Accesorios
- ANEXO 8:** Selección de ventilador
- ANEXO 9:** Selección transporte vibratorio
- ANEXO 10:** Selección elevador de cangilones
- ANEXO 11:** Análisis estructural
- ANEXO 12:** Diagrama del sistema de control
- ANEXO 13:** Fotos de pruebas en prototipo

SUMARIO

El presente trabajo refleja el diseño concurrente de una secadora vertical intermitente para arroz con una capacidad de secado de 20 toneladas y una reducción del 2% de humedad por hora, en la cual los parámetros de diseño fundamentales son: la temperatura de secado, humedad inicial del grano, pérdidas de presión entre otras, los cuales influyen directamente en la eficiencia de la máquina. Es allí donde interviene el diseño concurrente, al realizar el diseño teórico y verificarlo con diferentes programas CAD, los mismos que permiten realizar un análisis de los elementos diseñados y comparar los resultados obtenidos, alcanzando un margen de error aceptable llevando a tomar estos datos como válidos en el diseño del equipo.

Con la finalidad de innovar las máquinas secadoras de arroz existentes se ha construido un prototipo a escala para realizar pruebas experimentales que determinan el tiempo óptimo de secado y reducir el porcentaje de humedad a los valores aceptables para el almacenamiento en silos. Los resultados experimentales demuestran la gran eficiencia del prototipo construido y estimulan a que en lo posterior se construyan y mejoren sistemas de secado como este.

Complementariamente se seleccionó los diferentes elementos y máquinas necesarias como: transportador vibratorio, elevador de cangilones, quemador de tamo, ventilador doble oído y ductos de aire para completar el sistema de secado, y optimizar el proceso.

Con los planos de construcción de los diferentes elementos constitutivos del secador podremos realizar una correcta manufactura de la máquina diseñada, optimizando material y tiempo de fabricación.

SUMMARY

The present work reflects the concurrent design of a vertical intermittent rice dryer with a capacity of 20 ton and a reduction of 2% per hour, in which the fundamental design parameters are: drying temperature, grain humidity and pressure losses among others which influence directly on the efficiency of the machine. There the concurrent design intervenes upon carrying out the theoretical design and verifying it with different CAD programs which permit to conduct an analysis of the designed elements and compare the results, reaching an acceptable error margin taking these data as valid for the equipment design.

To innovate the existing rice drying machines a scale prototype has been constructed in order to carry out experimental test determining the optimum drying time reducing the humidity percentages to acceptable values for silo storage. The experimental results show a great constructed prototype efficiency and stimulate further construction and improvement of such drying systems.

Complementary different elements and necessary machinery such as: vibrator transporter, bucket elevators, straw dryer, double-ear fan and air ducts to complete the drying system and optimize the process, were selected.

With the construction designs of the different constituting elements it impossible to carry out a correct designed machine manufacture optimizing manufacturing material and time.

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES

1.1 Antecedentes

La agricultura es un importante sector económico en el Ecuador. Los cereales entre ellos el arroz y maíz son dos de los principales cultivos comerciales de nuestro país. Por tanto, la mejora de estos, principalmente el arroz es importante para nosotros para brindar un producto sano y de buena calidad a los consumidores. En la producción de arroz el secado es fundamental para almacenar el producto, evitando la descomposición biológica y echando a perder gran parte de la cosecha

El secado natural ha sido siempre el medio de deshidratación de los productos, pero no siempre se cuenta con las condiciones climáticas favorables para desarrollar esta labor, lo que impide secar grandes volúmenes. En la actualidad esta necesidad ha conducido a desarrollar nuevos sistemas que permitan deshidratar un producto en un tiempo relativamente corto, obteniendo una mejor calidad, mayores réditos económicos al tener mayor producción y con ello mayores ventas.

El arroz al ser un producto de consumo masivo y al existir una gran producción en la región costa y sus diferentes zonas, el secado con la temperatura adecuada es una técnica que facilita y mejora la producción en las industrias de transformación y en las industrias almacenadoras de granos.

1.2 Justificación

1.2.1 Justificación técnica

La necesidad de mercado y la comercialización de arroz obligan a que el contenido de humedad en el grano sea del 12% ya sea para la venta o para el almacenamiento en silos. Este requerimiento nos guía a satisfacer esta necesidad, desarrollando el diseño de una secadora de gran capacidad y eficiencia, que cumpla con las normas técnicas y estándares internacionales.

1.2.2 Justificación económica

Debido al incremento de la producción de arroz, y la necesidad de secado rápido y óptimo existe en el mercado el interés de adquisición de secadoras, evitando la importación de estos equipos de países extranjeros como Colombia, Brasil, Alemania y China, las mismas que deben ser adaptadas a nuestro medio, incrementando el costo en su adquisición.

Por este motivo el diseño de este tipo de secadoras para la posterior construcción y comercialización permitirá mejorar los resultados que los sistemas convencionales, utilizando un proceso de secado óptimo, eficiente con bajos costos

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

- Proyectar el diseño concurrente de una secadora vertical intermitente de una capacidad de 20 Toneladas para secar gramínea de arroz.

1.3.2 Objetivos específicos

- Investigar y determinar el proceso de secado.
- Definir los parámetros funcionales y geometría general de la máquina
- Diseñar y seleccionar las partes y mecanismos principales del secador vertical intermitente de arroz.
- Validar el secador vertical intermitente de arroz, a través de pruebas experimentales.
- Diseñar el sistema de control y automatización de la secadora.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 El arroz (Oryza sativa)

El **arroz** es la semilla de la *Oryza sativa*. Se trata de un cereal considerado como alimento básico en muchas culturas culinarias (en especial la cocina asiática), así como en algunas partes de América Latina. Su grano corresponde al segundo cereal más producido del mundo, tras el maíz. Debido a que el maíz es producido para otros muchos propósitos que el del consumo humano, se puede decir que el arroz es el cereal más importante para la alimentación humana, y que contribuye de forma muy efectiva al aporte calórico de la dieta.

El Arroz pertenece a la familia de las *Gramíneas*. Necesita de zonas templadas y húmedas para crecer. Crecen en albuferas anegadas de agua.

El Arroz es originario del Asia tropical y de allí se extendió por toda Asia. Actualmente, se cultiva en muchos países de América, Asia, Europa y África, pero el principal productor de Arroz del mundo es China, que produce el 30% de la producción mundial.

2.1.1 Clasificación

2.1.1.1 Norma del Codex para el arroz

Codex Standard 1980 – 1995

Si el arroz se clasifica por el tamaño como grano largo, grano medio y grano corto, esta clasificación debería ajustarse a las especificaciones que figuran a continuación. Los comerciantes deberán indicar la opción de clasificación que escogen.

a) OPCIÓN 1: relación longitud/anchura del grano**a1) Arroz de grano largo**

- El arroz descascarado o el arroz descascarado sancochado cuya relación longitud/anchura es de 3,1 ó más.
- El arroz elaborado o el arroz sancochado cuya relación longitud/anchura es de 3,0 ó más.

a2) Arroz de grano medio

- El arroz descascarado o el arroz sancochado cuya relación longitud/anchura es de 2,1 a 3,0.
- El arroz elaborado o el arroz elaborado sancochado cuya relación longitud/anchura es de 2,0 a 2,9.

a3) Arroz de grano corto

- El arroz descascarado o el arroz sancochado cuya relación longitud/anchura es de 2,0 ó menos.
- El arroz elaborado o el arroz elaborado sancochado cuya relación longitud/anchura es de 1,9 ó menos.

b) OPCIÓN 2: longitud del grano

b1) El arroz de grano largo es el arroz cuya longitud del grano es de 6,6 mm ó más.

b2) El arroz de grano medio es el arroz cuya longitud del grano es de 6,2 mm ó más, pero menos de 6,6 mm.

b3) El arroz de grano corto es el arroz cuya longitud del grano es de menos de 6,2 mm

c) OPCIÓN 3: combinación de la longitud del grano y la relación longitud/anchura

c1) El arroz de grano largo: tiene

- Una longitud de más de 6,0 mm y una relación de longitud/anchura de más de 2, pero menos de 3, ó;

- Una longitud del grano de más de 6,0 mm y una relación longitud/anchura de 3 ó más.

c2) El arroz de grano medio tiene una longitud del grano de más de 5,2 mm pero no más de 6,0 mm y una relación longitud/anchura de menos de 3.

c3) El arroz de grano corto tiene una longitud del grano de 5,2 mm o menos y una relación longitud/anchura de menos de 2.

2.1.2 Composición física

El grano de arroz (arroz cascara o paddy) se compone de una cubierta protectora exterior, la cascara y la cariósida o fruto de arroz (arroz integral o pardo, llamado también arroz cargo o descascarillado) (Juliano y Bechtel 1985) (Figura 2). El arroz integral o pardo se compone de las capas exteriores: pericarpio, tegumento o cubierta seminal y nucela; del germen o embrión; y del endospermo. Este se compone de la capa de aleurona, consistiendo el endospermo propiamente dicho en la capa de subaleurona y en el endospermo amiláceo o interior. La capa de aleurona contiene al embrión. El pigmento se reduce al pericarpio (Juliano y Bechtel, 1985).

La cascarilla o gluma constituye un 20 por ciento del peso del arroz integral o pardo, aunque sus valores van del 16 al 28 por ciento. La distribución del peso del arroz pardo es la siguiente: pericarpio, 1-2 por ciento; aleurona, nucela y cubierta seminal 4-6 por ciento; germen 1 por ciento; escutelo 2 por ciento; y endospermo 90-91 por ciento (Juliano, 1972). La capa de aleurona varía de 1 a 5 capas celulares, más espesas en la parte dorsal que en la ventral y más gruesa en los arroces de grano corto que en los de grano largo (Del Rosario *et al.* 1968).

Tabla 2.1: PROPIEDADES FÍSICAS DEL ARROZ [1]

Fracciones	Densidad (g/ml)	Densidad a granel (g/ml)
Arroz cascara	1.17-1.23	0.56-0.64
Arroz integral	1.31	0.68
Arroz elaborado	1.44-1.45	0.78-0.85
Salvado de arroz	1.16-1.29	0.20-0.40
Cascara de arroz	0.67-0.74	0.10-0.16

2.1.3 Composición química

2.1.3.1 Almidón

El almidón es el principal elemento constitutivo del arroz elaborado pues alcanza un 90 por ciento de la materia seca. El almidón es un polímero de D-glucosa con enlace α - (1 – 4) y se compone normalmente de una fracción esencialmente lineal, la anulosa y de una fracción de ramificación, la amilopectina.

2.1.3.2 Proteínas

La proteína se determina llevando a cabo un micro digestión por el método de Kjeldahl para destilar amoníaco y luego usando el test colorimétrico del amoníaco en el digestor para determinar un contenido de nitrógeno, que se convierte en proteína aplicando el coeficiente 5,95. Este coeficiente se basa en un contenido de nitrógeno del 16,8 por ciento para la proteína principal del arroz elaborado (glutelina), y puede ser una estimación excesiva; algunas revaluaciones sugieren valores de 5,1-5,5 (5,17±0,25) (Moss. Huet y Baudet, 1988; Mossé, 1990) 5,24-5,66 (media de 537) (Hegstaci y Juliano, 1974) y 5,61 (Sosulski e Imafidon, 1990).

2.1.3.3 Lípidos

El contenido en lípidos o grasa del arroz se halla principalmente en la fracción del salvado (20 por ciento en seco), expresamente como lípidos o esferosomas en la capa de aleurona y en el salvado, pero también se halla presente de un 1,5 a un 1,7 por ciento en el arroz elaborado, sobre todo como lípidos no amiláceos extraídos mediante éter, cloroformetanol y butanol saturado de agua fría (Juliano y Goddard, 1986; Tanaka *et al.*, 1978). Los compuestos proteínicos, especialmente el núcleo, son ricos en lípidos (Choudhury y Juliano, 1980; Tanaka *et al.*, 1978). Los principales ácidos grasos son el linoleico, el oleico y el palmílico (Hemavathy y Prabhaker, 1987; Taira, Nakagahray Nagamine, 1988). Los ácidos grasos esenciales en el aceite de arroz tienen un 29-42 por ciento de ácido linoleico y un 0,8— 1.0 por ciento de ácido linolénico (Jaiswal, 1983). El contenido de ácidos grasos esenciales puede aumentar con la temperatura durante el desarrollo del grano pero a costa de una reducción del contenido total de aceite (Taira, y Fujii, 1979).

2.1.3.4 Polisacáridos no amiláceos

Los polisacáridos no amiláceos se componen de polisacáridos solubles en agua y de la fibra dietética insoluble (Juliano, 1985b). Pueden combinarse con el almidón y tener un efecto hipocolesterolémico (Norman, Ory y Mod, 1981, Norman *et al.*, 1984). El endospermo tiene un contenido menor de fibra dietética que el resto del arroz cascara (Shibuya, 1989) (Cuadro 18). Los valores señalados para la fibra neutro-detergente van de 0,7 a 2,3 por ciento (Juliano, 1985b) (Cuadro 14). Además, el endospermo o pared celular de arroz elaborado tiene un bajo contenido de lignina, pero un alto contenido de sustancias pécticas o pectina. La pectina del endospermo tiene un contenido de ácido urónico superior pero también una razón de arabinosa: xilosa inferior al de los otros tejidos del grano. La hemicelulosa del endospermo tiene también una menor razón arabinosa: xilosa que los otros tejidos del grano.

2.1.3.5 Volátiles

Los volátiles característicos del arroz cocido son el amoníaco, el sulfuro de hidrógeno y el acetaldehído (Ohata y Tanaka, 1965). Con la cocción, todos los arroces aromáticos contienen 2-acetil- 1-pirrolina como mayor principio aromático (Buttery *et al.*, 1983). Volátiles característicos de la ranciedad de la grasa son los aldehídos, especialmente el hexanol, y las cetonas.

Tabla 2.2: PROPIEDADES QUÍMICAS DEL ARROZ [1]

Fracciones	Proteína Cruda (gNx5.95)	Grasa Cruda (g)	Fibra Cruda (g)	Ceniza cruda (g)	Carbohidratos presentes (g)	Fibra neutro detergente (g)	Contenido de energía	
							(kJ)	(kcal)
Arroz cascara	5.8-7.7	1.5-2.3	7.2-10.4	2.9-5.2	64-73	16.4-19.2	1 580	378
Arroz integral	7.1-8.3	1.6-2.8	0.6-1.0	1.0-1.5	73-87	2.9-3.9	1 520-1 610	363-385
Arroz elaborado	6.3-7.1	0.3-0.5	0.2-0.5	0.3-0.8	77-89	0.7-2.3	1 460-1 550	349-373
Salvado de arroz	11.3-14.9	15.0-19.7	7.0-11.4	6.6-9.9	34-62	24-29	1 670-1 990	399-476
Cascara de arroz	2.0- 2.8	0.3-0.8	34.5-45.9	13.2-21.0	22-34	66-74	110-390	265-332

2.1.4 Determinación del porcentaje de humedad

La humedad se determina en una muestra de análisis separada de arroz limpio obtenido al pasar la muestra por una corriente de aire para remover las impurezas livianas, esta muestra se introduce en un medidor de humedad de granos electrónico, luego de medir la humedad la muestra se regresa al arroz en cascara limpio.

La humedad se expresa en enteros y decimos de porcentaje.

2.1.5 Porcentaje de consumo en las familias

La FAO (Food and Agriculture Organization) determino que el consumo humano a nivel mundial en los años 2006 y 2007 son de 367.2 y 372.2 Kg respectivamente dándonos un incremento en el consumo del 1.4% anual.

El Servicio de Información Agropecuaria del Ministerio de Agricultura y Ganadería Del Ecuador después de un análisis a nivel nacional obtuvo que el consumo per capital es de 38 kg/persona/año. [2]

2.1.6 Producción anual de arroz

El Servicio de Información Agropecuaria del Ministerio de Agricultura y Ganadería Del Ecuador, determinó que el cultivo del arroz en el Ecuador en los últimos años, se ha constituido en el más grande en extensión en nuestro territorio con cerca de 400 mil hectáreas anuales. En la Comunidad Andina, es el país con mayor superficie sembrada, lo sigue Colombia con 308.000 hectáreas, luego Perú con 206.000 hectáreas y por último Venezuela con 150.000 hectáreas.

Constituye en el país, el 11 % del PEA agrícola, el 9% del PIB agropecuario, el consumo per cápita es de 38 kg./persona/año, exporta hasta 120.000 toneladas a Colombia produciendo en los mejores casos US \$ 60 millones de dólares en las divisas de exportación, siendo el quinto producto en su orden.

La producción de arroz está concentrada en un 98% en las provincias: del Guayas con el 54 %; Los Ríos con el 40 % y Manabí con el 4 % principalmente. El 63% de la producción anual se recoge entre los meses de abril y junio, correspondiente a la siembra de invierno, mientras que la producción restante sale a partir de septiembre hasta fines de año (siembra de verano)

2.1.7 Incremento de producción

Según el Servicio de Información Agropecuaria del Ministerio de Agricultura y Ganadería Del Ecuador a partir de 1992 la superficie sembrada ha crecido a un ritmo del 7.4% anual (rendimiento sin variación), tres veces más que la tasa de crecimiento poblacional.

Tabla 2.3: ECUADOR: PRODUCCIÓN ANUAL DE ARROZ EN CÁSCARA SECO Y LIMPIO

Año	Superficie (Has.)	Producción (Tm)	Rend. (Tm/Ha)
1991	283246.9	691231.9	2.5
1992	309673.1	844120.5	2.9
1993	356328.4	1018021.5	3.1
1994	380068.6	1169057.9	3.3
1995	395709.5	1057369.3	2.8
1996	387889.1	1113213.6	3.0
1997	320199.0	885786.2	3.0
1998	262487.9	803060.3	3.0
2002	343936	1239269	3.1

Fuente: INEC y Proyecto SICA, Elaboración: Proyecto SICA (2002)

2.2 Secado

El secado es necesario para la conservación ulterior del grano, ya se trate de granos destinados a ser industrializados, es decir, descascarillados y blanqueados, o de granos destinados a la siembra; tiene como objetivo situar los granos en estado de equilibrio con el aire ambiente, este equilibrio se logra solo después de un tiempo muy largo, que varía en función de diversos factores ambientales: temperatura y humedad del aire cercano, duración de secado etc.; un

buen secado debe situar el grano entre el 12 y el 14% aproximadamente de humedad, en una atmosfera ambiente del 50 al 75% de humedad relativa.

En esta fase, después de la trilla, el secado puede ser complementario del secado anterior a la trilla o total.

El secado debe permitir la obtención de granos que se conservan el mayor tiempo posible sin pérdidas sensibles de sustancias, sin alteración de sus componentes y de su valor nutricional, ni transformación de calidades organolépticas. Además el secado debe permitir la obtención de más altos rendimientos en molinería e industrialización y el más elevado porcentaje posible de granos enteros, ya que las roturas reducen el valor comercial de los productos industrializados.

2.2.1 Introducción

El exceso de humedad contenida por los materiales puede eliminarse por métodos mecánicos (sedimentación, filtración, centrifugación). Sin embargo, la eliminación más completa de la humedad se obtiene por evaporación y eliminación de los vapores formados, es decir, mediante el secado térmico, ya sea empleando una corriente gaseosa o sin la ayuda del gas para extraer el vapor (Knoule, 1968).

Esta operación se utiliza ampliamente en la tecnología química y es muy común que sea la última operación en la producción precedente a la salida del producto resultante (Kasatkin, 1985) (Treybal, 1965). Es evidente que la eliminación de agua o en general de líquidos existentes en sólidos es más económica por acción mecánica que por acción térmica. La dificultad de los medios mecánicos surge cuando los productos finales y gran número de productos intermedios deben cumplir especificaciones rigurosas en cuanto a la humedad final. Habitualmente una centrífuga trabajando con grandes cargas de sólido húmedo dejará

humedades en torno al 10-20 %, aunque en casos excepcionales como la sal común o cloruro sódico se puede alcanzar el 1 %.

La operación de secado es una operación de transferencia de masa de contacto gas- sólido, donde la humedad contenida en el sólido se transfiere por evaporación hacia la fase gaseosa, en base a la diferencia entre la presión de vapor ejercida por el sólido húmedo y la presión parcial de vapor de la corriente gaseosa. Cuando estas dos presiones se igualan, se dice que el sólido y el gas están en equilibrio y el proceso de secado cesa.

2.2.2 Definiciones fundamentales

2.2.2.1 Contenido de humedad, base seca: X

Está definida por la siguiente expresión

$$\frac{\text{kg humedad}}{\text{kg solido seco}} \quad (2.1)$$

2.2.2.2 Contenido de humedad, base húmeda

Está definida por la siguiente expresión

$$\frac{\text{kg humedad}}{\text{kg solido seco}} = \frac{\text{kg humedad}}{\text{kg humedad} + \text{kg solido seco}} \quad (2.2)$$

2.2.2.3 Humedad de equilibrio: X*

Humedad del sólido cuando su presión de vapor se iguala a la presión de vapor del gas. Es decir, humedad del sólido cuando está en equilibrio con el gas.

2.2.2.4 Humedad libre: X - X*

Es la humedad del sólido; que es la humedad que está en exceso con relación a la humedad de equilibrio. Es ésta la humedad que se puede evaporar y depende de la concentración de vapor en la corriente gaseosa.

Existen otras definiciones como

2.2.2.5 Humedad límite

Que es la humedad del sólido que ejerce una presión de vapor de equilibrio menos que aquella que ejerce el líquido puro a la misma temperatura

2.2.2.6 Humedad no límite

Que es la humedad del sólido que ejerce una presión de vapor igual a la del líquido puro a la misma temperatura.

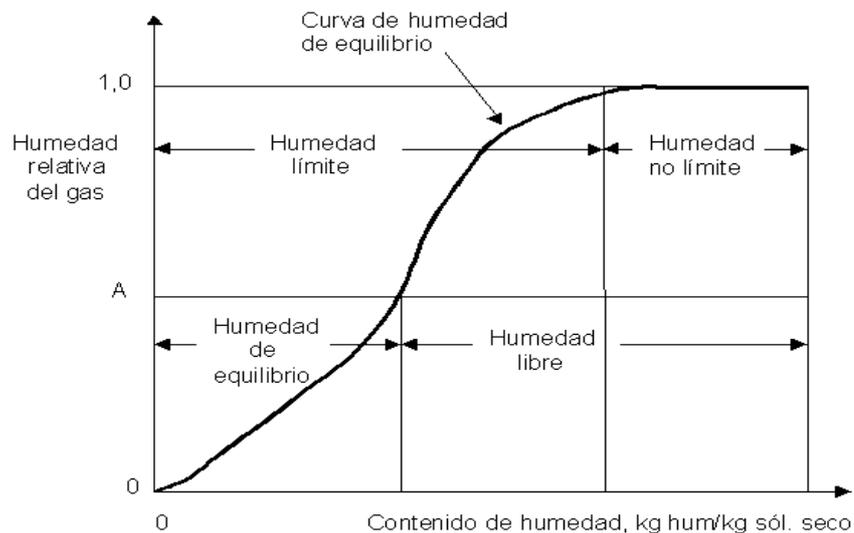


Figura 2.1: Tipos de humedades

2.2.3 Operaciones de secado

De modo general se pueden clasificar las operaciones de secado en continuas y discontinuas. En las operaciones continuas pasan continuamente a través del equipo tanto la sustancia a secar como el gas. La operación discontinua en la práctica se refiere generalmente a un proceso semicontinuo, en el que se expone una cierta cantidad de sustancia a secar a una corriente de gas que fluye continuamente en la que se evapora la humedad (Treybal, 1965).

Los equipos utilizados para secar se pueden clasificar también de acuerdo a cualquiera de estas categorías:

- I. **Métodos de operación:** Continuos ó Discontinuos.
- II. **Métodos de propiciar el calor necesario para la evaporación de la humedad:** En secaderos directos e indirectos
- III. **Naturaleza de la sustancia a secar:** Puede ser la sustancia un sólido rígido como la madera, un material flexible como el papel o la tela, un sólido granular tal como la masa de cristales, una pasta espesa o delgada o una solución. Es probable que la forma física de la sustancia y los distintos métodos de manipulación empleados, ejerzan la influencia más grande en el tipo de secadero a utilizar.

2.2.4 Mecanismos y cinética de secado, transferencia de masa y calor

Un elemento fundamental en el proceso de secado es el estudio de la intensidad de la transferencia de masa en el mismo. Para esto es necesario conocer los elementos más útiles de la transferencia de calor y masa que funcionen en los secaderos de contacto directo.

Según Madariaga (1995), esta depende de una serie de factores que van desde condiciones internas a externas.

Las condiciones externas están definidas por la resistencia a la transferencia de calor y de masa de la capa límite del gas y en el caso que predominen, el secado no dependerá de las características del sólido sino de las condiciones del gas y estará controlado por la transferencia de masa y calor entre el gas y la superficie del sólido, empleándose en la evaporación todo el calor que se recibe del gas, la cual se comporta como una superficie libre de agua.

Las condiciones internas están definidas, por la transferencia de calor y de masa a través del sólido. En el caso que predominen, es decir, que la resistencia a la transferencia de masa a través del material sea muy superior a la de la capa límite del gas, la difusión interna controlará el proceso y lo más importante será las propiedades del sólido.

Cuando se seca un sólido se producen dos procesos fundamentales y simultáneos:

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

Independientemente del mecanismo de transmisión de calor el cual puede ser por conducción, convección, radiación o una combinación de cualquiera de estos, el calor tiene que pasar primero a la superficie exterior y desde esta al interior del sólido. Excepto el secado por electricidad de alta frecuencia, que genera el calor intercambiante, esto conduce a la circulación de calor desde el interior hasta la superficie exterior (Menon and Mujundar, 1992) (Treybal, 1965) (Chemical. Eng. 1986). También se ha reportado otro tipo de secado llamado secado por sublimación.

En el secado por convección el calor necesario para la evaporación del líquido se transmite por un agente gaseoso o un vapor que pasa por encima del sólido o lo atraviesa.

En el secado por conducción el producto que debe secarse se encuentra en recipientes calentado o se desplaza por encima de estos. El calor también se difunde en el sólido a través de la conductividad del propio sólido (Chemical. Eng. 1980).

En el secado por radiación el calor se transmite por las superficies radiantes próximas.

En el secado dieléctrico la energía es generada en el interior del propio material mediante un campo electromagnético de alta frecuencia en la zona de microondas (De La Peña Vilar ,1994).

También se reporta en la literatura el secado por sublimación, denominando así al secado en estado de congelación al vacío profundo. Según el método de transmisión del calor este procedimiento es análogo al secado por conducción pero debido a sus peculiaridades el secado por sublimación se destaca como un grupo especial (Kasatkin, 1985).

2.2.5 Curvas fundamentales de secado

2.2.5.1 Curvas de velocidad de secado

Para determinar la velocidad de secado de un material, se procede colocando una muestra en una bandeja. Si se trata de material sólido, debe llenar por completo la base de la bandeja de tal manera que sólo quede expuesta a la corriente de aire de secado la superficie de dicho sólido. La pérdida en peso de humedad durante el secado puede determinarse a diferentes intervalos sin interrumpir la operación, colgando la bandeja en una balanza adaptada a un gabinete o a un ducto a través del cual fluye el aire de secado.

Al realizar experimentos de secado por lotes, deben observarse ciertas precauciones para obtener datos útiles en condiciones que se asemejen lo más posible a las que imperarán en las operaciones a gran escala.

La muestra no debe ser demasiado pequeña y debe introducirse en una bandeja similar a la que se usará en producción. La relación de superficie de secado a superficie de no secado (superficie aislada) así como la profundidad del lecho del sólido deben ser idénticas.

La velocidad, la humedad, la temperatura y la dirección del aire deben ser los mismos y constantes para simular un secado en condiciones invariables.

2.2.5.2 Conversión de los datos a curva de velocidad de secado

Los datos que se obtienen de un experimento de secado por lotes generalmente se expresan como peso total (W) del sólido húmedo (sólido seco más humedad) a diferentes tiempos de (t) horas en el periodo de secado. Estos valores pueden convertirse a datos de velocidad de secado con los siguientes procedimientos. Primero se recalculan los datos. Si (W) es el peso del sólido húmedo en [Kg] totales de agua más sólido seco y (W_s) es el peso del sólido seco en Kg. [3]

$$X_1 = \frac{W - W_s}{W_s} \frac{\text{kg. totales de agua}}{\text{kg. sólido seco}} \left(\frac{\text{lb totales agua}}{\text{lb sólido seco}} \right) \quad (2.3)$$

Habiendo establecido las condiciones de secado constante, se determinan el contenido de humedad de equilibrio, (X^*) [Kg humedad de equilibrio / kg de sólido seco]. Con esto se procede a calcular el valor del contenido de humedad libre (X) en [Kg de agua libre / kg de sólido seco] para cada valor de (X_t). [3]

$$X = X_t - X^* \quad (2.4)$$

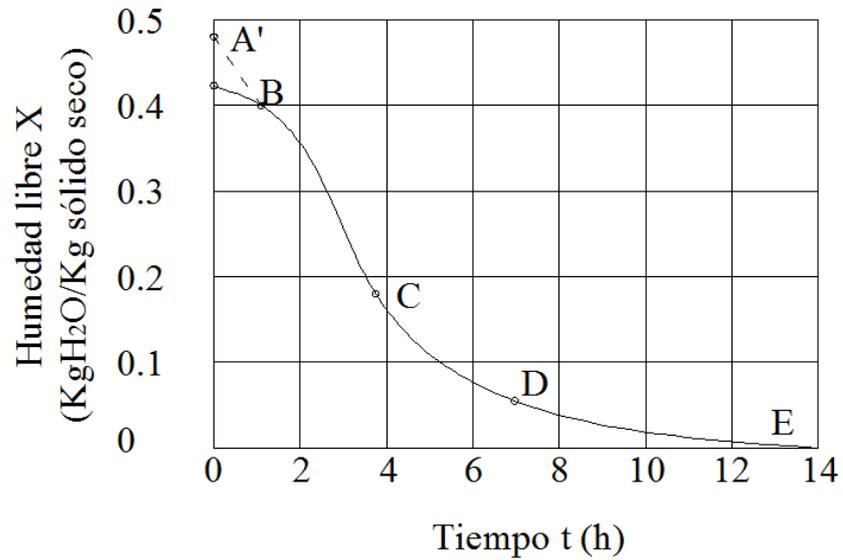
Usando los datos calculados con la ecuación # (4), se traza una gráfica del contenido de humedad libre (X) en función del tiempo (t) en [h], tal como se muestra en la Fig. 2a. Para obtener una curva de velocidad de secado a partir de esta gráfica, se miden las pendientes de las tangentes de la curva, lo cual proporciona valores de dX/dt para ciertos valores de (t). Se calcula entonces, la velocidad (R) para cada punto con la expresión: [3]

$$R = - \frac{L_s}{A} \frac{dX}{dt} \quad (2.5)$$

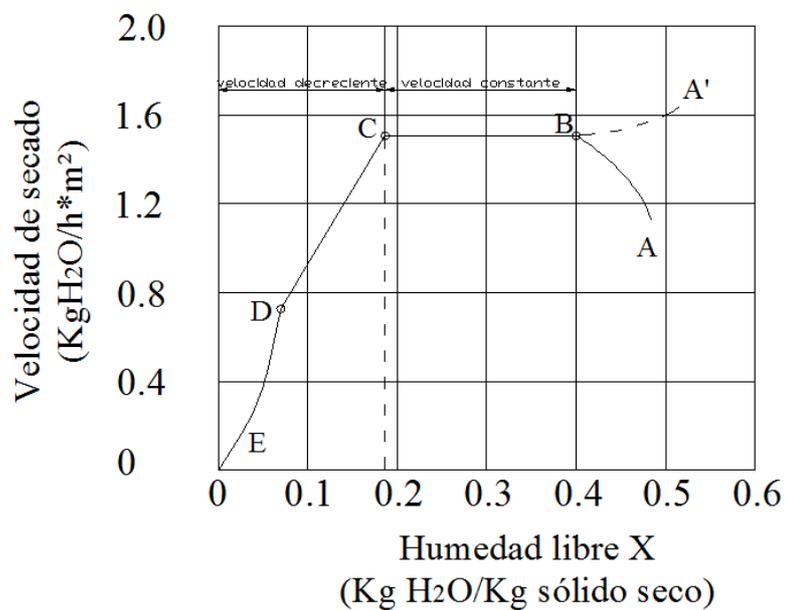
Donde R es la velocidad de secado en [$\text{kg H}_2\text{O/h m}^2$], (L_s) es [kg de sólido seco usado], y (A) es el área superficial expuesta al secado en [m^2]. Entonces, la curva de velocidad de secado se

obtiene graficando (R) en función del contenido de humedad, tal como se muestra en la Fig.

2b.



(a) Gráfica de los datos como humedad libre en función del tiempo.



(b) Velocidad de secado en función del contenido de humedad libre.

Figura 2.2: Curva típica de velocidad de secado para condiciones de secado constante [3]

2.2.5.3 Gráfica de la curva de velocidad de secado

En la Fig. 2b se muestra la curva de velocidad de secado para condiciones de secado constante. Empezando con un tiempo cero, el contenido inicial de humedad libre corresponde al punto (A). Al principio, el sólido suele estar a una temperatura inferior a la que tendrá al final, y la velocidad de evaporación irá en aumento. Al llegar al punto (B), la temperatura de la superficie alcanza su valor de equilibrio. Por otra parte, si el sólido está bastante caliente al principiar la operación, la velocidad de secado puede iniciarse en un punto (A').

Este periodo inicial de ajuste con estado inestable suele ser bastante corto y generalmente se ignora en el análisis de los tiempos de secado.

La curva de la Fig. 1a es recta entre los puntos (B) y (C), por lo que la pendiente y la velocidad son constantes durante este periodo. Este período de velocidad constante de secado corresponde a la línea (BC) en la Fig. 2b.

En el punto (C) de ambas gráficas, la velocidad de secado, comienza a disminuir durante el periodo de velocidad, decreciente, hasta llegar al punto D. En este primer periodo de velocidad decreciente, la velocidad corresponde a la línea (CD) en la Fig. 2b, y por lo general, es lineal.

En el punto (D), la velocidad de secado disminuye con más rapidez aún, hasta que llega al punto (E), donde el contenido de humedad de equilibrio es (X^*), y $X = X^* - X^* = 0$. En el secado de algunos materiales, la región (CD) puede no existir o bien constituir la totalidad del periodo de velocidad decreciente.

2.2.6 Homogeneidad del secado

Cuando se produce la evaporación superficial, debe haber un movimiento de humedad desde las profundidades del sólido hacia la superficie.

La naturaleza del movimiento influye en el secado en los períodos de caída del régimen (Menon & Mujundar, 1992).

A continuación se explicarán brevemente algunas de las teorías que se adelantaron para explicar el movimiento de la humedad y la relación de ésta con las curvas de régimen.

2.2.6.1 Difusión líquida

Se puede producir la difusión de la humedad líquida debido a los gradientes de concentración entre las profundidades del sólido, donde la concentración es alta y la superficie donde ésta es baja (Treybal, 1965).

2.2.6.2 Movimiento capilar

La humedad no límite en sólidos granulares y porosos tales como arcillas, pigmentos de pinturas y otros semejantes, se traslada a través de capilares e intersticios de los sólidos mediante un mecanismo que implica tensión superficial. Los capilares se extienden desde pequeños receptáculos de humedad dentro del sólido hasta la superficie de secado. A medida que se lleva a cabo el secado, al principio la humedad se traslada por capilaridad hacia la superficie con suficiente rapidez, siendo constante el régimen de secado.

2.2.6.3 Difusión de vapor

Especialmente si se suministra calor a una superficie de un sólido mientras en otra el secado continuo, se puede evaporar la humedad debajo de la superficie, difundiéndola hacia afuera como vapor. También se puede evaporar debajo de la superficie, las partículas de humedad

existentes en sólidos granulares en forma aislada de la porción mayor de humedad que fluye a través de los capilares.

2.2.6.3 Presión

Durante el secado debido a la concentración de las capas externas de un sólido, se puede compeler la humedad hacia la superficie. Usualmente solo podemos conjeturar sobre cuál de los mecanismos es el apropiado para cada sólido en particular, debiendo apoyarnos en el trabajo más o menos empírico de los regímenes experimentales de secado.

2.2.7 Sensibilidad del producto en el secado

El mecanismo del proceso de secado depende considerablemente de la forma de enlace de la humedad con el material: cuanto más sólido es dicho enlace, tanto más difícil transcurre el secado. Durante el secado el enlace de la humedad con el material se altera.

Las formas de enlace de la humedad con el material se clasifican en: químico, físico-químico y físico- mecánico (Kasatkin, 1985).

La humedad ligada químicamente es la que se une con mayor solidez al material en determinadas proporciones (estequiometrias) y puede eliminarse sólo calentando el material hasta altas temperaturas o como resultado de una reacción química. Esta humedad no puede ser eliminada del material por secado.

Durante el secado se elimina, como regla, sólo la humedad enlazada con el material en forma físico-química y mecánica. La más fácil de eliminar resulta la enlazada mecánicamente que a su vez se subdivide en: humedad de los macro capilares y micro capilares (capilares con el radio medio mayor y menor de 10-5 cm). Los macro capilares se llenan de humedad durante el contacto directo de ésta con el material, mientras que en los micros capilares la humedad penetra tanto por contacto directo, como mediante la adsorción de la misma en el medio

ambiente. La humedad de los macro capilares se elimina con facilidad no sólo por secado, sino que también empleando métodos mecánicos.

El enlace físico-químico une dos tipos de humedad que difieren por la solidez del enlace con el material: la humedad ligada osmóticamente y por adsorción.

La primera llamada también humedad de hinchamiento, se encuentra dentro de las células del material y se retiene por las fuerzas osmóticas. La segunda se retiene sólidamente sobre la superficie y en los poros del material. La humedad de adsorción requiere para su eliminación un gas con una energía considerablemente mayor que la utilizada para eliminar la humedad de hinchamiento. La existencia de estos tipos de humedad especialmente se manifiesta en materiales coloidales y poliméricos (Kasatkin, 1985).

2.2.8 Temperaturas óptimas en el secado de arroz

La temperatura del aire de secado es el parámetro de mayor flexibilidad en un sistema de secado a altas temperaturas e influye significativamente en el volumen, la eficiencia de secado y en la calidad del producto final. Un aumento de dicha temperatura significa un menor consumo de energía por unidad de agua evaporada y un mayor volumen de secado. En cambio, las temperaturas de secado más elevadas pueden causar daños térmicos más acentuados en los granos. La temperatura de secado, junto con los flujos de aire y de granos, determina la cantidad de agua evaporada en un secador. A continuación se muestra algunos valores recomendados para el secado.

Tabla 2.4: TEMPERATURA DE FUNCIONAMIENTO DE UN SECADOR DE CAPAS DELGADAS. [4]

Producto y uso a que se destina	Temperatura máxima recomendada para la desecación °C
Maíz desgranado para comercio	55
Grano para el consumo humano	57
Grano para elaboración y manufactura	60
Grano para semilla o para la fabricación de cerveza	43
Arroz para el consumo humano	43
Frijoles para el consumo humano	35

El valor de 43°C de temperatura de desecación tabulada, coincide con los datos manejados por INDUHORST en los sistemas de secado, por tal razón basaremos el diseño del secador con este valor.

2.2.9 Tiempos de secado

El tiempo de secado para el arroz se ha determinado por la experiencia de los productores de arroz en la región costa del país, debido a que no existen datos teóricos para este procedimiento, es así que la experiencia nos recomienda que se debe eliminar el 1% de humedad por hora la misma que puede variar dependiendo de las condiciones ambientales entre otras.

Para disminuir el tiempo total de secado se reducirá el 2% de humedad en el grano por hora.

CAPÍTULO III

3. PARÁMETROS FUNCIONALES Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

3.1 Análisis de soluciones existentes

En la Industria Arrocera del país se utiliza dos sistemas de secado el natural y el forzado, en el cual el natural está limitado a las condiciones climáticas del medio haciendo de esta labor poco productiva, por ende se utiliza el otro sistema para optimizar la producción y procesar grandes cantidades independientemente del clima.

En el secado forzado del arroz se emplean diferentes métodos, en la investigación se determino que en el país utilizan comúnmente dos tipos de secadoras como son: tipo caballete y secadora vertical intermitente de bandejas.

3.2 Descripción Del Problema

3.2.1 Justificación

Las investigaciones y recolección de datos para el diseño de la secadora de arroz fueron obtenidas en las ciudades de Palestina y Zamborondón, las mismas que se encuentran en la región costa del país a una altura de 0 msnm, en estas ciudades es muy común encontrar piladoras para el procesado de cereales, entre ellos el arroz.

El proceso de secado de arroz es muy común y debido a que este cereal es un producto de consumo masivo e indispensable para la dieta diaria de las personas, es por esta razón que se requiere conseguir un mejor proceso de secado en un menor tiempo.

3.2.2 Tecnología existente

La técnica mayormente utilizada es el secado natural, este proceso consiste en tender el arroz en una superficie de concreto y exponerlo a los rayos del sol, haciendo esta labor complicada y con un tiempo de secado no definida ya que el proceso depende de las condiciones climáticas.

También existe el secado forzado, este sistema tiene un gran inconveniente debido a que las diferentes maquinas para secado deben ser importadas, aumentando el costo en su adquisición, además a dichos equipos se les debe realizar acondicionamientos para que funcionen adecuadamente en el medio.

3.2.3 Aplicaciones de diseño

La secadora de arroz tiene como finalidad reducir el porcentaje de humedad contenida en el grano de unos 22 al 12 % de humedad, que es un porcentaje ideal para el almacenamiento en silos y para realizar otro tipo de proceso como el envejecido.

3.3 Metodología de diseño

Lista de deseos (D) y exigencias (E)

FUNCIONES

La máquina debe secar arroz del 22 al 12% de humedad aproximadamente E

La máquina debe tener una capacidad inicial de 20 Tn. E

La máquina debe tener la facilidad de aumentar su capacidad E

ENERGÍA

Los diferentes equipos deben utilizar energía eléctrica u otras alternativas D

Los motores son comandados y protegidos E

Debe tener variantes en generación de energía calórica E

SEGURIDAD

La máquina debe ir con las instrucciones de montaje, uso y mantenimiento E

La máquina debe tener un nivel de seguridad para preservar a las personas, E
instalación, funcionamiento, mantenimiento y reparación

Deberá tener un sistema de indicadores de fallas para evitar peligros en el D
funcionamiento

Se debe evitar el ingreso de elementos perjudiciales en el sistema ya que puede E
dañar elementos en los mecanismos.

ERGONOMÍA

El operador puede ser sustituido total o parcialmente por otra E

El período de entrenamiento para el uso adecuado de la maquina debe ser E
mínima

El acceso a los elementos del equipo, control y banco de trabajo debe ser lo más E
cómodo posible

Debe tener el menor impacto ambiental posible D

FABRICACIÓN

La máquina debe ser de fácil montaje y acople E

Las piezas que formen parte de la maquina serán de fácil manufactura D

Los materiales deben estar disponibles en el mercado E

Los materiales deben ser seleccionados con un diseño adecuado E

La máquina debe tener una buena estabilidad y rigidez E

Las transmisiones deben ser las más adecuadas para el funcionamiento general D
de la máquina

SEÑALES

Debe contar con señales sonoras y/o visuales para indicar el nivel mínimo de arroz D

Debe contar con señales sonoras y/o visuales para indicar el que el sistema funciona correctamente D

Debe contar con señales sonoras y/o visuales para indicar cualquier falla D

FUNCIONAMIENTO

La puesta en marcha de la maquina será posible cuando estén garantizadas las condiciones de seguridad para personas y elementos del equipo E

No debe generar ruidos mas allá de los permitidos en las normas ambientales D

MANTENIMIENTO

Las piezas deben ser fácilmente reemplazadas E

La máquina debe estar diseñada para que las operaciones de verificación, regulación, limpieza y sin necesidad de eliminar los sistemas de protección D

Contar un programa de mantenimiento preventivo D

3.4 Estructura de funciones

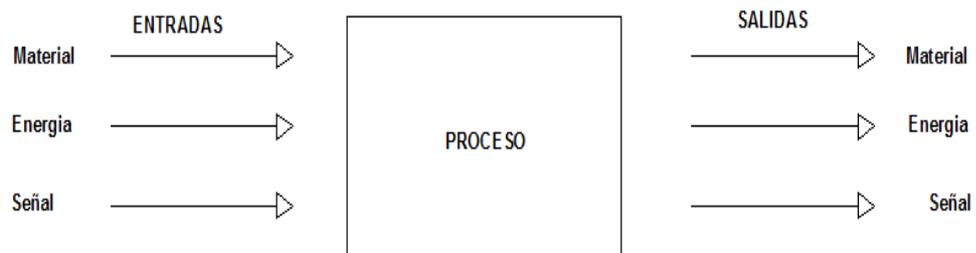


Figura 3.1: Abstracción de proceso [9]

3.4.1 Entradas

Materia: Ingreso de arroz a 22% de humedad

Energía: Para transportar, elevar, ventilar

Señal: Activada al inicio de funcionamiento.

3.4.2 Salidas

Materia: Arroz con menor humedad

Energía: Calor, ruido

Señal: Que indique que la maquina está funcionando

Se inicia el proceso con el llenado de la cámara de secado por medio de un elevador, el mismo que trasporta el producto desde la parte inferior hasta la tolva de admisión de arroz.

La generación de calor se produce en los quemadores de combustible sólido, líquido o gas, los mismos que calentaran el aire del ambiente hasta una temperatura óptima de secado, el ventilador obliga a pasar el aire caliente por medio de la cámara de secado.

Una vez seco el producto la descarga se lo realizara por un sistema de descarga adecuado.

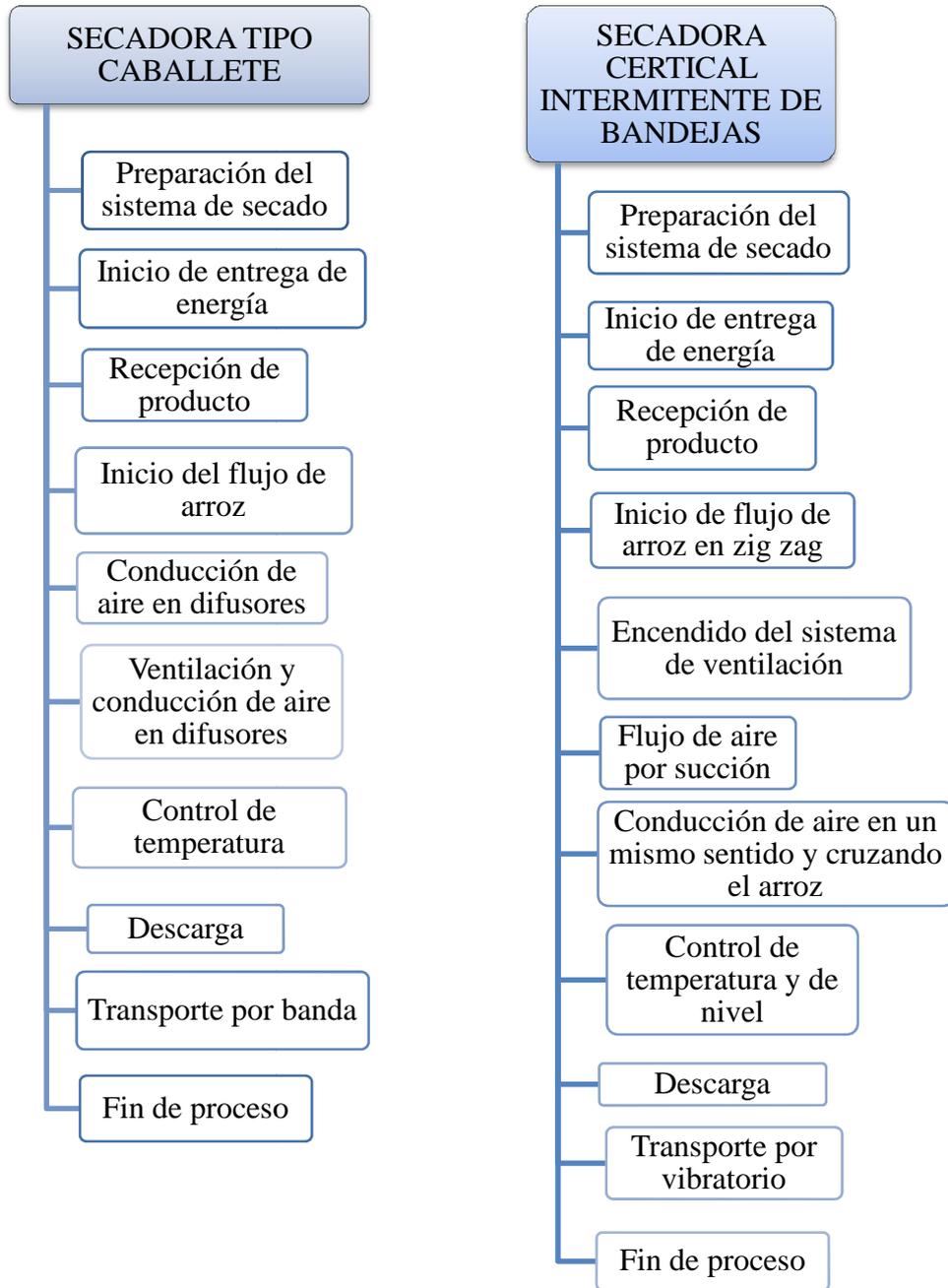


Figura 3.2: Propuestas de estructura de función

Tabla 3.1: MATRIZ MORFOLÓGICA

SISTEMA DE ALIMENTACION					
1.1	Captación de arroz	Manual	Automática		
1.2	Transporte de arroz al elevador	Manual	Automática		
1.3	Introducción de arroz en el elevador	Manual	Automática		
2	SISTEMA DE ELEVACION				
2.1	Energía motriz	Eléctrica	Hidráulica	Eólica	Animal
2.2	Mecanismos de transmisión	Cadena	Banda	Engranajes	
2.3	Tipo de elevación	Cangilón	Banda	Tornillo	Paletas
3	SISTEMA DE LLENADO				
3.1	Elementos de cámara	Caballote	Bandejas	Cámara	
3.2	Caída de producto en la cámara	Manual	Automática	Gravedad	
4	TRANSPORTE DE AIRE				
4.1	Tipo de ventilador	Axial	Centrifugo		
4.2	Control de temperatura	PIC	PLC	LABVIEW	
5	SISTEMA DE DESCARGA				
5.1	Descarga de producto	Gravedad	Mecánico	Neumático	
5.2	Transporte al elevador	Banda	Vibratorio	Tornillo	

Secadora tipo	Secadora vertical
Caballote	intermitente de bandejas

3.4.3 Descripción de componentes y funcionamiento

3.4.3.1 Secadora tipo caballete

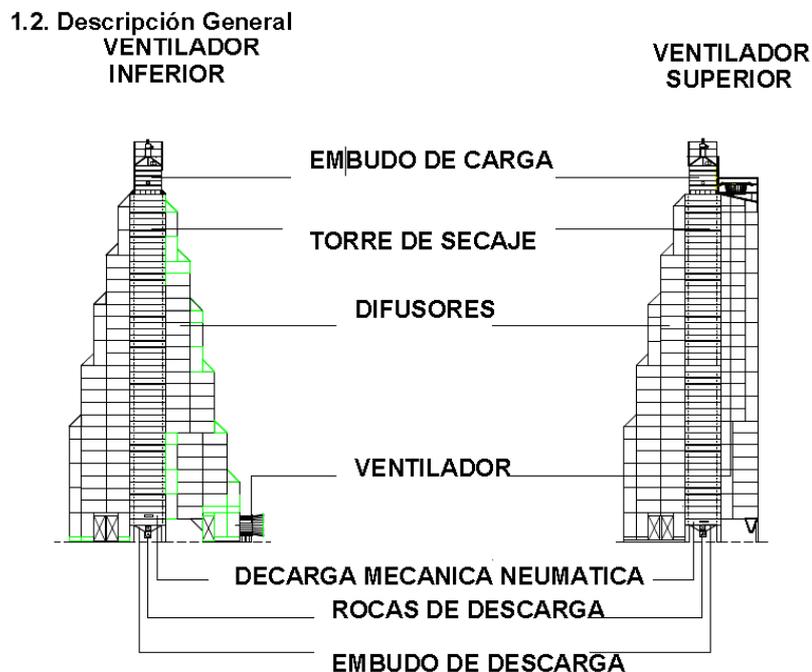


Figura 3.3: Descripción de componentes secadora tipo caballete

3.4.3.1.1 Embudo de carga

Es la cobertura del cuerpo del secador, apoya la tabulación de carga, siendo fabricado en chapas y perfiles de aceros soldados y o atornillados entre si, al recibir el producto la chapa además de amortiguar la caída del arroz homogeniza el llenado del secador.

3.4.3.1.2 Torre de secaje

Es local donde el arroz fluye recibiendo el aire de secado y enfriamiento, constituido por el montaje de ductos en forma de canales triangulares en números preestablecidos de columnas y líneas, atendiendo la capacidad estática necesaria para el flujo del arroz.

3.4.3.1.3 Difusores

Se constituye de chapas de cerramiento y refuerzos atornillados entre sí, unidos con masa de calafatear¹ en las uniones externas teniendo la finalidad de conducir y distribuir el aire durante

el secado, la puerta y tapas existentes en la estructura de chapas permite la manutención, la inspección y limpieza de los distribuidores del aire y del exaustor.

3.4.3.1.4 Ventiladores

Tipo axiales, son seleccionados para obtener los datos de vacío y presión de cada secador poseyendo tejido y tapa de protección el motor es compatible con la potencia necesaria de la selección del ventilador previendo accionamiento directo.

3.4.3.1.5 Descargas

La descarga neumática, proyectadas en cuadro de bandejas metálicas, que a través de su movimiento alternado permite el flujo del cereal atendiendo la capacidad nominal del secador.

3.4.3.1.6 Embudo de descarga

Fabricada en chapas de acero atornilladas entre sí con perfiles de hierro estructurales su función principal es el direccionamiento y dosaje del cereal para el transportador permitiendo en este un flujo uniforme.

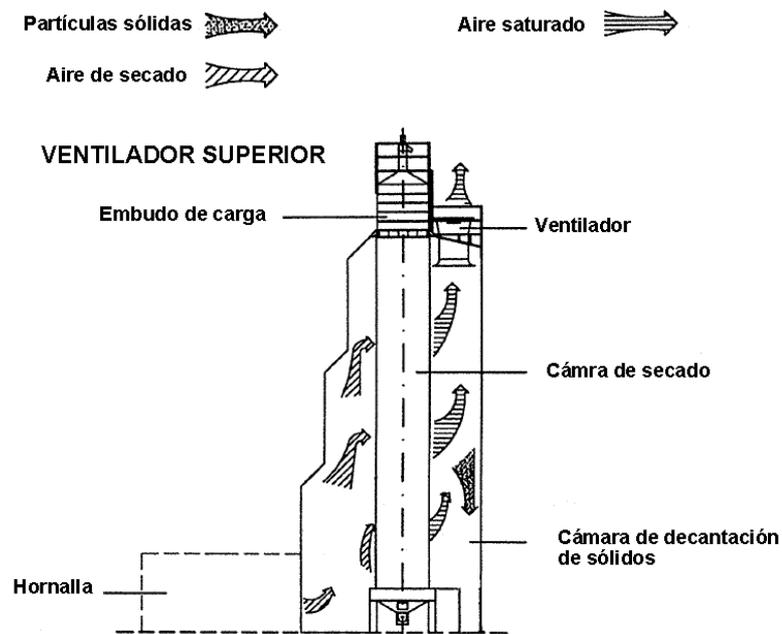


Figura 3.4: Descripción de funcionamiento

Se inicia el proceso con el llenado de la cámara de secado por medio de un elevador, el mismo que trasporta el producto desde la parte inferior hasta el embudo de descarga.

Como podemos observar en el grafico 6, la generación de calor se produce en las hornallas quemando combustible sólidos o combustible líquidos, los mismos que calientan el aire del ambiente hasta una temperatura optima de secado , el ventilador obliga a pasar el aire caliente por medio de la cámara de secado para ello se utiliza los difusores.

Una vez seco el producto la descarga se lo realiza mecánica o neumáticamente dependiendo del requerimiento del sistema. Hay que tomar en cuenta que el secado del producto se lo realiza en una sola pasada, es decir que el grano no abandona la cámara hasta obtener la humedad requerida.

3.4.3.2 Secadora vertical intermitente de bandejas

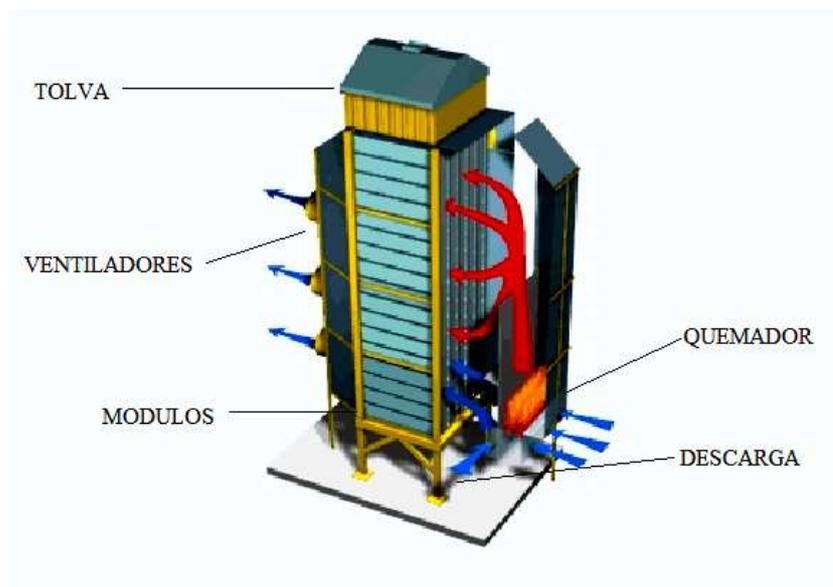


Figura 3.5: Descripción de componentes secadora vertical intermitente de bandejas

3.4.3.2.1 Mesa de descarga

Consta de 4 patas unidas en el centro de la mesa construidas en chapa laminada en frío y el portante de la tolva de descarga construida en chapa laminada

3.4.3.2.2 Módulos (cuerpos de secado)

Cada módulo consiste en columnas de secado de chapa galvanizada por las que circula el grano. Cada cuerpo tiene un chasis en chapa negra estampada y laminada que le confieren resistencia al ser autoportantes (ensamblados en fábrica y montados uno sobre otro mediante una grúa en el lugar de instalación) característica que permite ahorrar tiempo y reducir los riesgos de accidentes personales por trabajo en altura.

3.4.3.2.3 Las Bandejas de las columnas de secado

Están construidas en chapa galvanizada y portada por el chasis del módulo otorgándole gran rigidez estructural.

3.4.3.2.4 Tolva

Con visores y sensores de nivel capacitivos que con luces y sonidos indican niveles máximo y mínimo de grano.

3.4.3.2.5 Cámara de aire (para secado calor-frio o todo calor)

Compuertas de fácil manejo (cerrar – abrir) permiten, en segundos, modificar la circulación de aire frío de tal manera que se pueden realizar todas las variaciones, sea enfriando o todo calor permitiendo la recuperación de calor por enfriado inverso.

3.4.3.2.6 Ventiladores

De paletas de ángulo variable y de baja emisión sonora que funcionan por accionamiento directo.

3.4.3.2.7 Quemadores

Los quemadores son de llama continua y abarcan todo el ancho de la máquina resultando en una gran uniformidad de temperatura. El arranque y control es automático.

3.4.3.2.8 Descarga

El sistema de descarga es mecánico, su regulación de flujo de arroz se lo realiza a través de un eje dosificador.

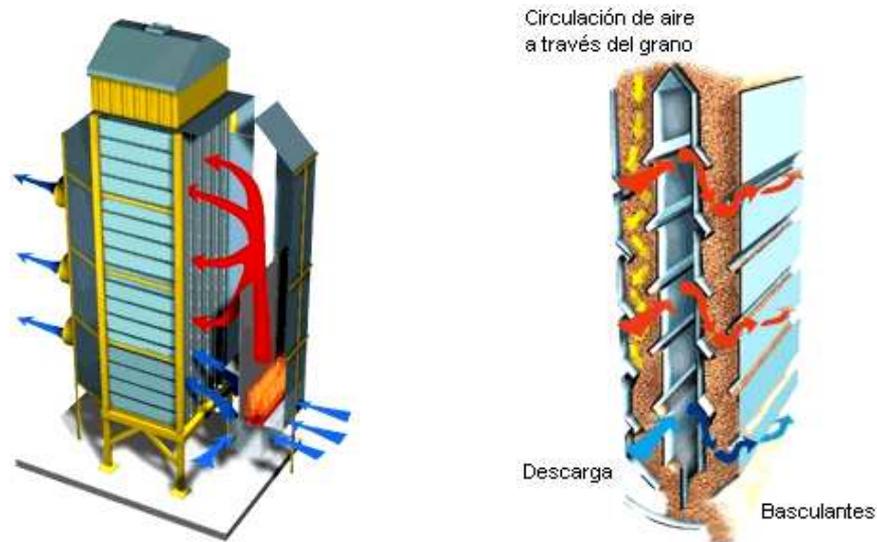


Figura 3.6: Descripción de funcionamiento secadora vertical intermitente de bandejas

Este tipo de secadoras permiten obtener la más alta calidad de secado al menor costo gracias al novedoso diseño de las columnas de flujo mixto. El grano, descende en zig - zag rotando sobre sí mismo, rodeado por una corriente de aire que fluye en su mismo sentido y cruzándolo.

Los ventiladores de baja emisión sonora y arranque directo dotan a las secadoras de un funcionamiento sencillo y un mantenimiento mecánico prácticamente innecesario.

El aire es calentado quemando combustible sólido, líquido o gas en una cámara de combustión, el aire caliente se mezcla homogéneamente en el difusor y es obligado a pasar por los módulos a través de los ventiladores. Hay que recalcar que para cada modulo hay un ventilador independiente.

3.4.4 Evaluación técnica

Tabla 3.2: VALORACIÓN TÉCNICA

EVALUACION TECNICA					
Parámetros		Factor de importancia (%)	Puntaje	Tipo Caballete	Vertical Inter.
1	Seguridad	100	10	10	10
2	Rendimiento	100	10	8	8
3	Facilidad de Fabricación	80	10	9	8
4	Accesorios	60	10	6	9
5	Facilidad de Manejo	80	10	9	9
6	Facilidad de Montaje	90	10	7	9
7	Expansión	100	10	7	10
8	Consumo de Energía	100	10	6	6
9	Lubricación	50	10	6	6
10	Mantenimiento	60	10	8	7
11	Total Puntos Alcanzados =		82	63.1	68.3
12	Porcentaje (%)		100	77	83

3.4.5 Evaluación económica

Tabla 3.3: VALORACIÓN ECONÓMICA

EVALUACION ECONOMICA					
Parámetros		Factor de importancia (%)	Puntaje	Tipo Caballete	Vertical Inter.
1	Materiales	100	10	5	7
2	Fabricación	100	10	7	7
3	Operación	50	10	10	10
4	Mantenimiento	80	10	7	7
5	Total Puntos Alcanzados =		33	22.6	24.6
6	Porcentaje (%)		100	68	75

3.4.6 Selección de la mejor alternativa

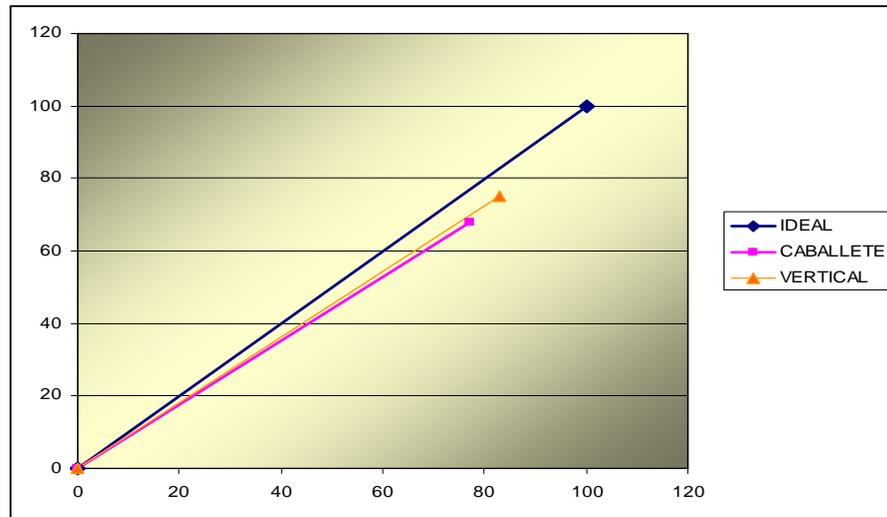


Figura 3.7: Selección de alternativa

Al evaluar las dos alternativas existentes se determina que tanto técnicamente así como económicamente la mejor propuesta es la secadora vertical intermitente de bandejas.

3.4.7 Descripción de la mejor alternativa

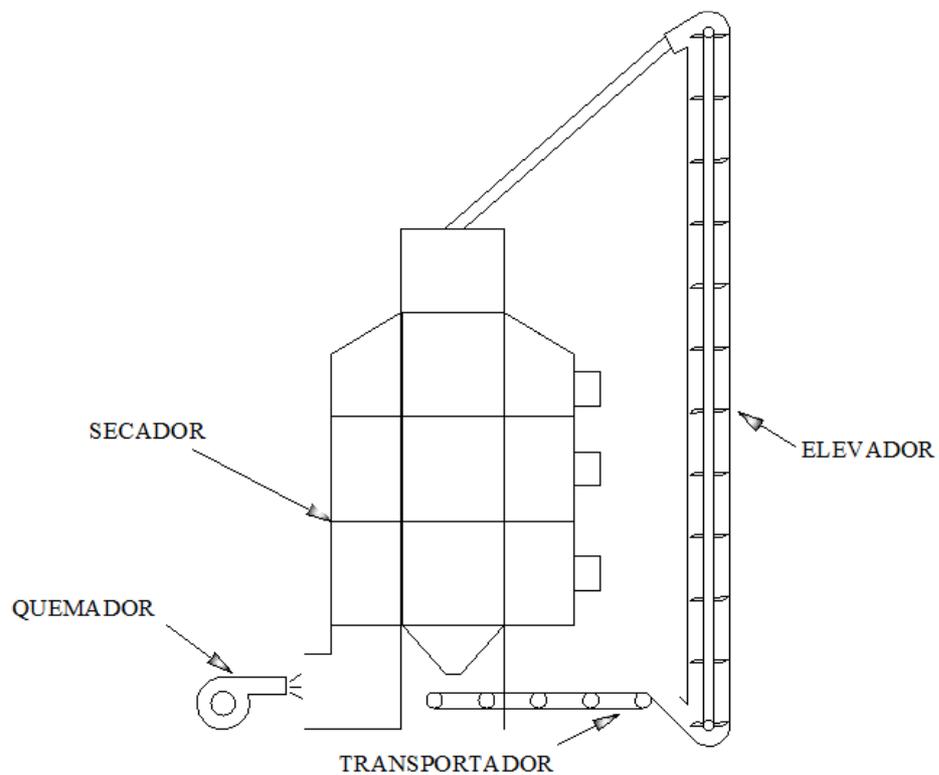


Figura 3.8: Secadora vertical intermitente de bandejas.

El proceso iniciara con la recolección de arroz en el terreno con una cosechadora, seguido se lo transporta a las piladoras, con ayuda de un elevador es transportado a un silo con aireación constante, aquí el grano será almacenado hasta el momento de ser llevado a la secadora, el porcentaje de humedad en el grano es del 22 % aproximadamente cuando sale de los silos hacia el secador.

El grano al salir del silo será transportado por un sistema automático hacia el elevador, el mismo que tiene la función de llevar una cantidad en un determinado tiempo, pasa por la cámara de secado en la cual se envía aire a 43°C desde una fuente de energía con lo cual el grano se reduce el 2% de humedad por cada pasada, la gramínea se desplaza verticalmente en zigzag por los módulos de secado chocando el aire caliente en contraflujo, la velocidad de avance del arroz está determinado por un eje dosificador, el mismo que está sujeto a un sistema de transmisión controlada por un motoreductor.

El arroz es transportado nuevamente hacia el elevador por un sistema de transporte que puede ser de bandas o vibratorios para comenzar un nuevo ciclo de secado, esto se lo realiza hasta obtener la humedad deseada.

CAPÍTULO IV

4. DISEÑO DE LA SECADORA

4.1 Cálculo del aire necesario.

Se determina el volumen de aire necesario para cada modulo, debido a que requerimos de un ventilador que proporcione el caudal necesario para el secado.

4.1.1 Cantidad de agua a eliminar

$$\text{Masa de la sustancia seca} = M_h - M_h = M_h \frac{100-w_1}{100} = M_s \quad [5] \quad (4.1)$$

Donde

M_h , masa húmeda

M_s , masa seca

w_1 , porcentaje de humedad

4.1.2 Masa de agua contenida inicialmente [5]

$$m_1 = M_h \frac{w_1}{100} \quad (4.2)$$

4.1.3 Masa de agua contenida al final [5]

$$\frac{w_2}{100} = \frac{m_2}{M_h \frac{100-w_1}{100} + m_2} \quad (4.3)$$

Donde

$$m_2 = \frac{w_2 M_h (100-w_1)}{100(100-w_2)} \quad (4.4)$$

Por lo que la cantidad de agua a eliminar será $m_1 - m_2 = W$

$$W = M_h \frac{w_1 - w_2}{100 - w_2} \quad (4.5)$$

Donde

W , es la masa de agua a eliminar

w_1, w_2 , porcentaje de humedad inicial y final respectivamente.

4.1.4 Humedad específica

Si el aire a su entrada tiene una temperatura t_1 y su estado higrométrico es e_1 , el contenido de agua (humedad específica) será. [5]

$$x_1 = 0.622 \frac{e_1 P_{1m}}{P_{at} - e_1 P_{1m}} \quad (4.6)$$

Donde

x_1 , humedad específica en el punto 1

P_{1m} , presión a temperatura 1

P_{at} , presión atmosférica

Y, si a la salida del secador los valores de su temperatura y estado higrométrico son, respectivamente, t_2 y e_2 , el contenido de agua (humedad específica) será:

$$x_2 = 0.622 \frac{e_2 P_{2m}}{P_{at} - e_2 P_{2m}} \quad (4.7)$$

Donde

x_2 , humedad específica en el punto 2

P_{2m} , presión a temperatura 2

P_{at} , presión atmosférica

4.1.5 Masa de aire seco

De manera que cada kilogramo de aire seco arrastrara $x_2 - x_1$ kg de agua, siendo necesarios, por lo tanto, A kg de aire seco: [5]

$$A = \frac{w}{x_2 - x_1} \text{ kg} \quad (4.8)$$

4.1.6 Calculo del volumen de aire húmedo.

Viene dada por: [5]

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{A}{1.293 \frac{P_{at} - (e_1 P_{t1})}{P_{at}} * \frac{273}{273 + t_1}} \quad (4.9)$$

La densidad expresada en la formula está basada en el cálculo por temperatura, es así que para una temperatura determinada es la densidad se determina por:

$$1.293 \frac{P_{at} - (e_1 P_{t1})}{P_{at}} * \frac{273}{273 + t_1} \quad (4.10)$$

4.1.6.1 Condiciones del aire

Tabla 4.1: DATOS DEL CICLO TÉRMICO

Temperatura promedio del aire en la región costa		
Humedad relativa a la temperatura		
Temperatura de ingreso del aire a la cámara de secado		
Presión de saturación a la temperatura de ingreso del aire (tablas de vapor)		
Humedad relativa a la temperatura		
Altura para secado		
Presión atmosférica		
Temperatura de salida de la cámara de secado		
Presión de saturación a la temperatura de salida del aire (tablas de vapor)		
Humedad relativa a la temperatura (asumido)		

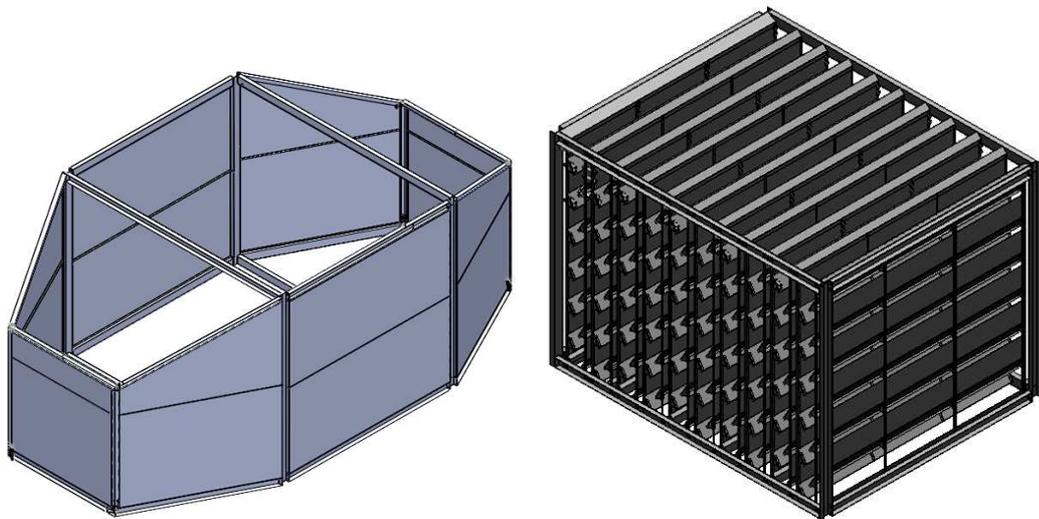


Figura 4.1: Módulo de la secadora



CARTA PSICROMÉTRICA
 TEMPERATURAS NORMALES
 UNIDADES DEL SISTEMA INTERNACIONAL
 PRESIÓN BAROMÉTRICA 101.325 kPa
 AL NIVEL DEL MAR

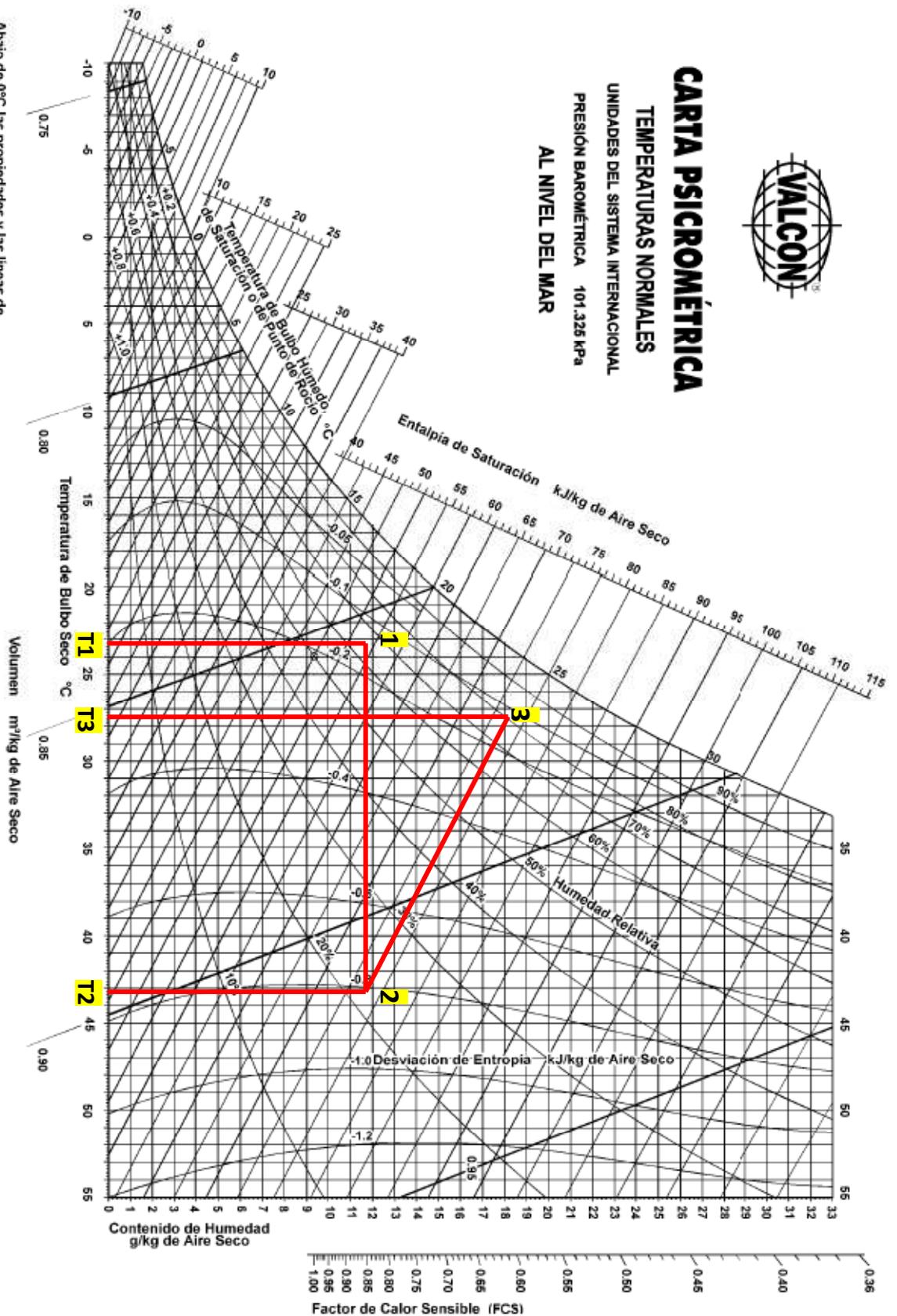


Figura 13.11 - Carta psicrométrica a temperaturas normales y presión barométrica de 101.325 kPa (al nivel del mar). Las unidades están en el sistema internacional (SI).

Figura 4.2: Carta psicrométrica con proceso de secado [6]

4.1.7 Masa de agua por módulo

Se determina la cantidad de agua a eliminar en el módulo.

$$W = M_h \frac{w_1 - w_2}{100 - w_2}$$

$$W = 5500 \frac{22 - 20}{100 - 20}$$

$$W = 137.5 \text{ kg}_{\text{agua}}/\text{Hora}$$

Este dato nos indica que para 5500kg de arroz tenemos que eliminar 137,5 kg de agua.

4.1.8 Contenido de agua (humedad específica)

Es la cantidad de agua que puede absorber el aire seco en las condiciones antes indicadas

Humedad específica en el punto 2 (carta psicrométrica)

$$x_1 = 0.622 \frac{e_2 P_{2m}}{P_{at} - e_2 P_{2m}}$$

$$x_1 = 0.622 \frac{0.23 * 0.088}{1.033 - 0.23 * 0.088}$$

$$x_1 = 0.0124 \text{ kg}_{\text{agua}}/\text{kg}_{\text{aire seco}}$$

Humedad específica en el punto 2

$$x_2 = 0.622 \frac{e_3 P_{3m}}{P_{at} - e_3 P_{3m}}$$

$$x_2 = 0.622 \frac{0.8 * 0.038}{1.033 - 0.8 * 0.038}$$

$$x_2 = 0.0188 \frac{kg_{agua}}{kg_{aire\ seco}}$$

Estos datos calculados se los puede verificar en la carta psicrométrica.

4.1.9 Masa de aire

$$A = \frac{w}{x_2 - x_1}$$

$$A = \frac{137.5}{0.0188 - 0.0124}$$

$$A = 21484.38 \frac{kg_{aireseco}}{Hora}$$

4.1.10 Volumen de aire húmedo (caudal)

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{A}{1.293 \frac{P_{at} - (e_1 P_{t1})}{P_{at}} * \frac{273}{273 + t1}}$$

$$V = \frac{21484.38}{1.293 \frac{1.033 - 0.23 * 0.088}{1.033} * \frac{273}{273 + 23}}$$

$$V = 18375.84 \frac{m^3}{h} = 5.1 \frac{m^3}{s} = 10815.61 CFM$$

Este es el volumen de aire húmedo que debe ingresar para calentarse y llegar a la temperatura de 43 °C para secar el contenido de arroz de un modulo.

4.2 Dimensionamiento de los módulos

4.2.1 Determinación del ángulo de talud

El ángulo de talud se define con el mínimo grado de inclinación para que un cuerpo resbale en una determinada pendiente, este ángulo depende de muchos factores como es el tipo de grano,

la rugosidad del grano y de la superficie de rodadura, para el arroz este Angulo lo tenemos tabulado, según la FAO este varía desde los 24 hasta los 26 grados de inclinación y con un coeficiente de frotamiento 0,394 a 0,601 en las paredes, según el **ANEXO 1**.

Tomando como punto de partida estos datos proporcionados por la FAO, hemos hecho varias pruebas experimentalmente, colocando un pedazo de plancha de acero galvanizado de 1.25 mm de espesor, controlada mediante un graduador, para determinar el ángulo apropiado debido a que nuestro producto va a estar con una humedad relativamente grande como lo podemos observar en el siguiente grafico

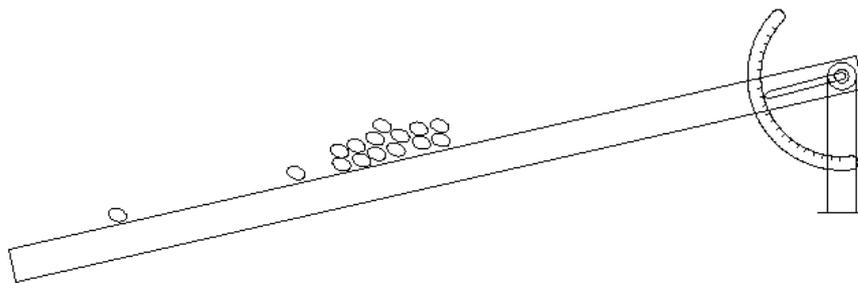


Figura 4.3: Superficie de rodadura para arroz

Según datos proporcionados por INDUHORTS y mediante la comprobación experimental hemos podido determinar que en ángulo apropiado para que el arroz se deslice con facilidad es de 36° , pero en el dimensionamiento de las secciones del módulo, se tomó un ángulo de 60° para evitar la compactación del grano que pudiese ocurrir entre las alas de las bandejas opuestas asegurando el flujo del producto

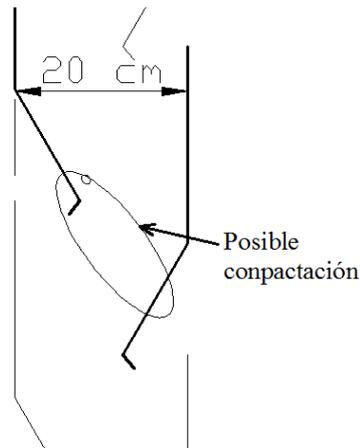


Figura 4.4: Sección de bandejas con posible compactación

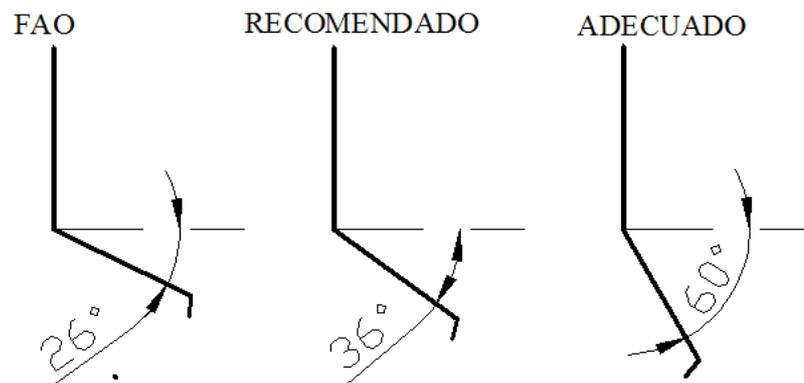


Figura 4.5: Comparación de ángulos de talud en bandejas conformadas

4.2.2 Secciones del módulo

Analizando los problemas de compactación del grano y para que los mismos no obstruyan el flujo del grano se optó una separación entre las bandejas de 20 cm, y de largo 2.44 m aprovechando toda la plancha de acero galvanizado y evitando pérdidas y mano de obra en el proceso de fabricación.

La distancia de separación entre las secciones de los módulos en es 10 cm, distancia que es adecuada para que el aire fluya a lo largo de las bandejas.

Para dimensionar el alto de cada modulo se tomo muy en cuenta la factibilidad de construcción, de movilización , así como la de montaje, considerando el aprovechamiento de las planchas de acero para el forro exterior, dando 2,4m la altura total de cada módulo.

En el ancho se tomo en cuenta la capacidad que tiene cada modulo, para ello se define el numero de secciones del mismo, como consecuencia se tomo la decisión de colocar 10 secciones dando un ancho de 3,1m.

Cabe recalcar que cada dimensionamiento del módulo se lo hizo optando por una infinidad de posibilidades, tomando en cuenta el mejor aprovechamiento del material, disminuyendo el desperdicio y reduciendo tiempos en la producción, además la facilidad de transporte y montaje , debido a que cada módulo saldrá de la fábrica completamente armado solo para montar en el sitio de trabajo.

4.3 Diseño de bandejas

Para determinar el peso que va a soportar cada bandeja se analizaran dos consideraciones de las cuales se escogerá la que produzca mayor carga sobre la bandeja

4.3.1 Primera consideración

La carga que se aplicara a cada bandeja será: el peso del arroz en cada sección del modulo, mas el peso del arroz en la tolva dividido para diez, (ya que son el numero de secciones en cada modulo) todo ese peso se dividirá para el numero de bandejas en cada sección que serán

$$W_{Tolva} = 3500kg$$

$$A_{Seccion\ de\ módulo} = 369968.527\ mm^2 = 0.3699m^2$$

$$V_{Seccion\ de\ módulo} = 0.3699 * 2.44 = 0.9025\ m^3$$

$$W_{Seccion} = 0.9025 \text{ m}^3 * 600 \text{ kg/m}^3 = 541.533 \text{ kg}$$

Número de secciones = 10

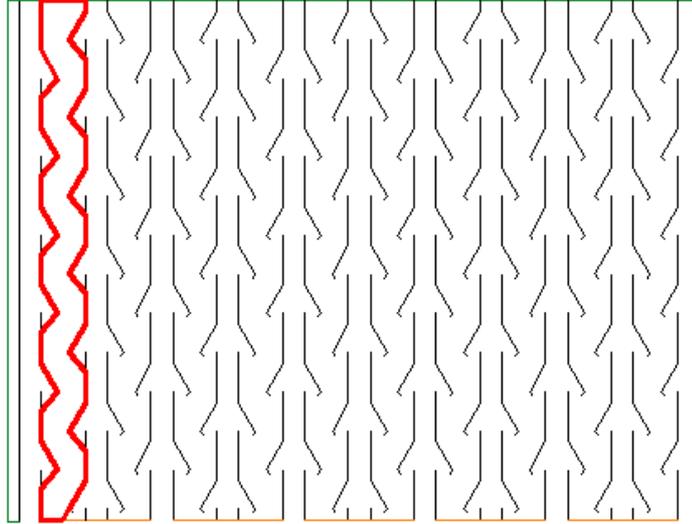


Figura 4.6: Sección del módulo de secado

Número de bandejas por sección = 13

$$q_{ma} = \frac{541.533 \text{ kg} + \frac{3500 \text{ kg}}{10}}{13} = 68.57 \text{ kg}$$

En resumen el peso del arroz en cada sección más el peso de la columna de arroz en la tolva se va distribuir para el número de bandejas

4.3.2 Segunda consideración

Se considera que la bandeja en la parte superior va a soportar una columna de arroz que va desde el punto medio de la bandeja hasta la altura de la tolva, y en la parte inferior el peso del arroz se distribuye uniformemente.

El ancho de la columna es: 75mm

La altura es 2.3m

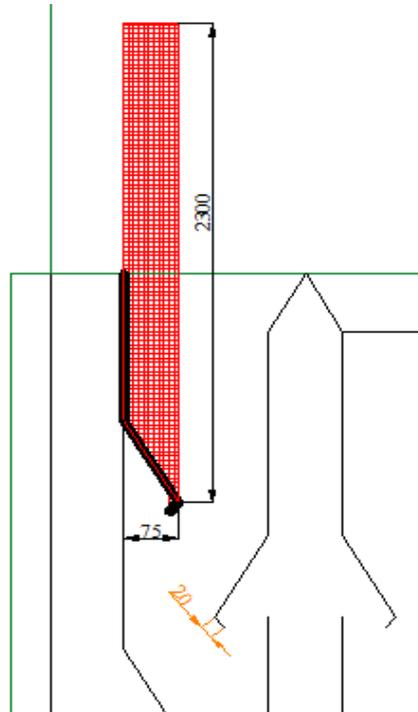


Figura 4.7: Sección para la segunda consideración

$$A = 0.075 * 2.44 = 0.183m^2$$

$$V = 0.183m^2 * 2.3m = 0.4209m^3$$

$$q_{ma} = V + \delta = 0.4209 * 600 = 252.54kg$$

Como podemos observar la segunda consideración es la más crítica por lo tanto las bandejas se diseñaran en base al segundo criterio.

$$W_{Bandeja} = 252.54 kg$$

Diseño estático.

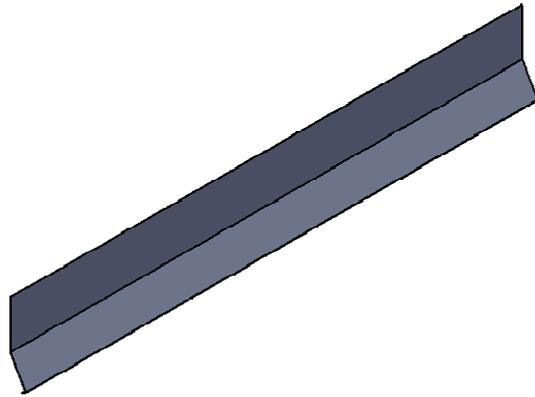


Figura 4.8: Vista en 3D de la bandeja a diseñar

Para seleccionar el espesor de la bandeja primeramente hacemos un análisis de la ala de la bandeja, la misma que se comprobará con los métodos de diseño aplicando el teorema de Tresca.

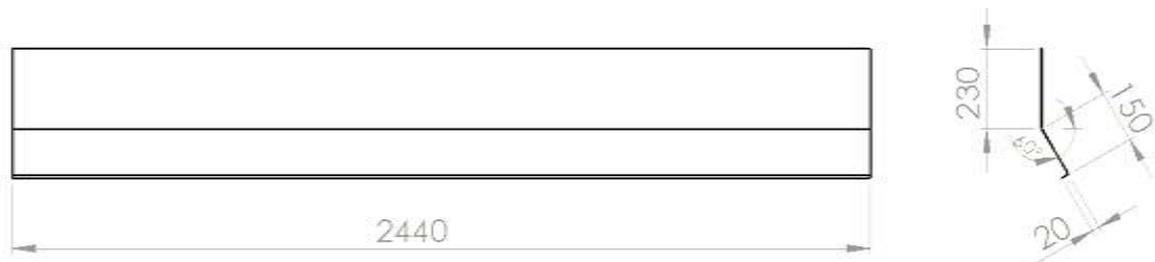


Figura 4.9: Descripción de datos de la bandeja

Como podemos observar en la vista lateral de la bandeja la fuerza del producto se aplica verticalmente, es decir en dirección de la gravedad, la carga aplicada en la bandeja debe ser perpendicular a la cara de la ala de la misma, para ello se realiza un análisis de fuerzas como podemos observar en el siguiente gráfico.

El peso del producto es considerado como una carga uniformemente distribuida a lo largo de la plancha doblada.

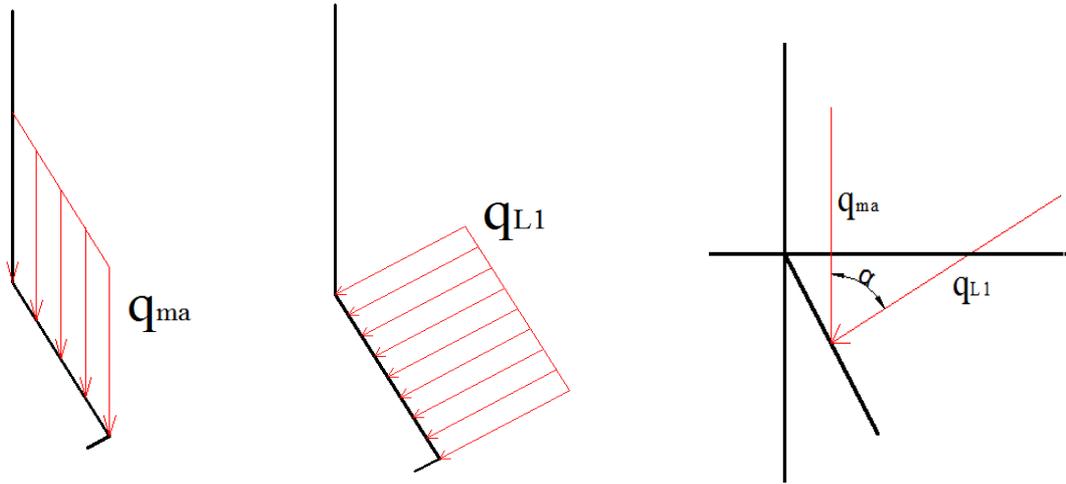


Figura 4.10: Representación de cargas en la bandeja

La carga lineal aplicada q_{L1} es determinada con el peso del arroz tomando la segunda consideración antes analizada.

$$q_{L1} = \frac{q_{ma} \cdot \cos \alpha}{l} \quad (4.11)$$

$$q_{L1} = \frac{252.54 \text{ kg} \cdot \cos(60^\circ)}{0.15 \text{ m}}$$

$$q_{L1} = 841.8 \text{ kg/m}$$

La fuerza producida por esta carga es

$$P_{L1} = q_{L1} \cdot l \quad (4.12)$$

$$P_{L1} = 841.8 \cdot 0.15$$

$$P_{L1} = 126.27 \text{ kg}$$

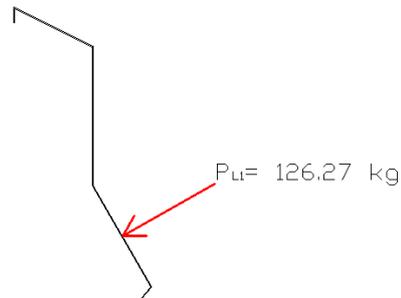


Figura 4.11: Carga puntual y perpendicular en la bandeja

Como se está analizando la zona del ala, se considera que la misma esta empotrada por lo tanto podemos girar los ejes de coordenada para poder analizarla de una mejor manera

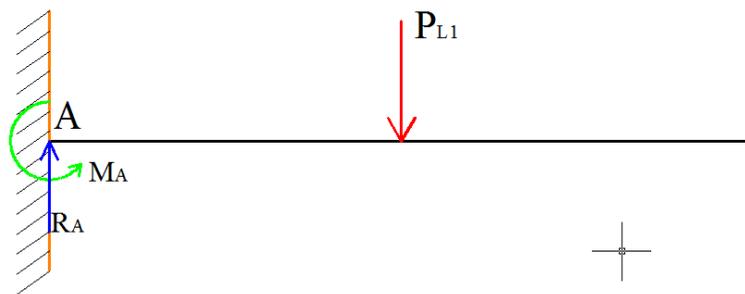


Figura 4.12: Cargas para diseño el diseño de la bandeja

$$\sum F_y = 0$$

$$R_A - P_{L1} = 0$$

$$R_A = 126.27 \text{ kg}$$

$$\sum M = 0$$

$$M_A - P_{L1} * \frac{l}{2} = 0$$

$$M_A = 126.27 * \frac{0,15}{2}$$

$$M_A = 9.47 \text{ kg} * m$$

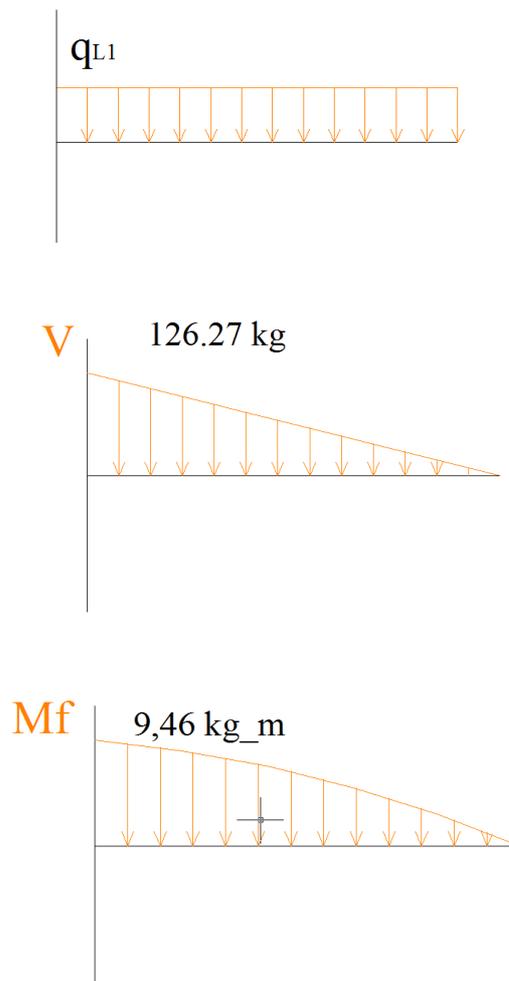


Figura 4.13: Diagrama de corte y de momento flector

4.3.3 Diseño estático

Para el diseño estático utilizaremos el teorema de Tresca [8]

$$\sqrt{\sigma_x^2 + 4\tau_{xy}^2} = \frac{S_y}{n} \quad (4.13)$$

$$\sigma_x = \frac{M_f * c}{I} \quad (4.14)$$

Donde

σ_x = Esfuerzo en x

M_f = Momento flector

$c = t/2 =$

$I =$ Momento de Inercia

$$\tau_{xy} = \frac{F}{Ac} \quad (4.15)$$

τ_{xy} = Esfuerzo de corte

$F =$ Fuerza de corte

$Ac =$ Área de corte

Datos

$M_f = 9.46 \text{ Kg}_m$

$c = t/2$

$$I = \frac{1}{12} * 2.44 * t$$

$$\sigma_x = \frac{M_f * c}{I}$$

$$\sigma_x = \frac{9.46 * t/2}{\frac{1}{12} * 2.44 * t}$$

$$\sigma_x = \frac{23.26}{t^2} \left(\text{kg}/\text{m}^2 \right)$$

$$\tau_{xy} = \frac{F}{Ac}$$

$$\tau_{xy} = \frac{126.27}{2.44 * t}$$

$$\tau_{xy} = \frac{51.57}{t}$$

Acero galvanizado

Límite elástico

$$S_y = 203.993 \text{ N}/\text{mm}^2$$

$$S_y = 2.08 \times 10^7 \text{ Kg}/\text{m}^2$$

En coeficiente de seguridad asumido es $n=1.5$

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

$$\sqrt{\left(\frac{23.26}{t^2}\right)^2 + 4\left(\frac{51.57}{t}\right)^2} = \frac{2.08 \times 10^7}{1.5}$$

$$t = 0,001295 \text{ m}$$

Resolviendo la ecuaciones sale un $t=1.295 \text{ mm}$,

Escogemos un $t=1.25\text{mm}$ ya que este espesor es comercial en el mercado, para ello el coeficiente de seguridad es $n=1.39$, aceptable en nuestro diseño.

Como el diseño del secador se basa en un diseño concurrente, estos resultados son comprobados mediante software, en nuestro caso utilizamos el SolidWorks Simulation Xpress, en el cual comprobaremos los parámetros de diseños antes mencionados como son el espesor y el factor de seguridad.

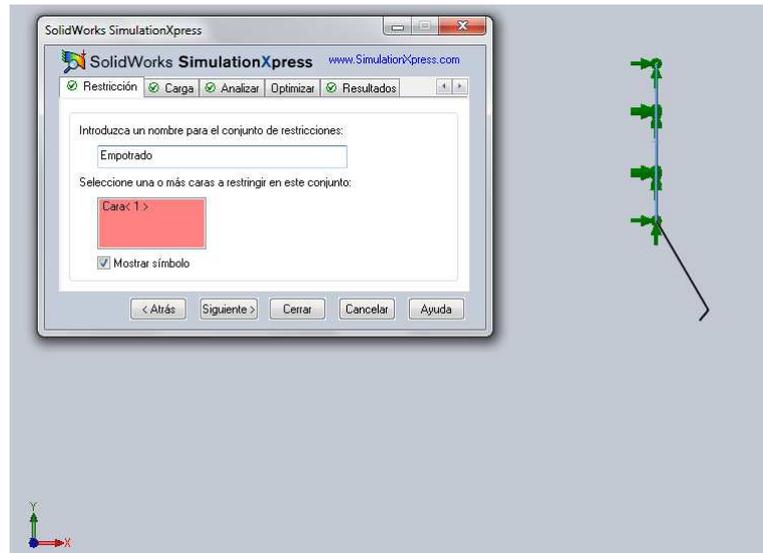


Figura 4.14: Aplicación de restricciones en el elemento en la cual en nuestro caso se toma a una cara como geometría fija (empotramiento)

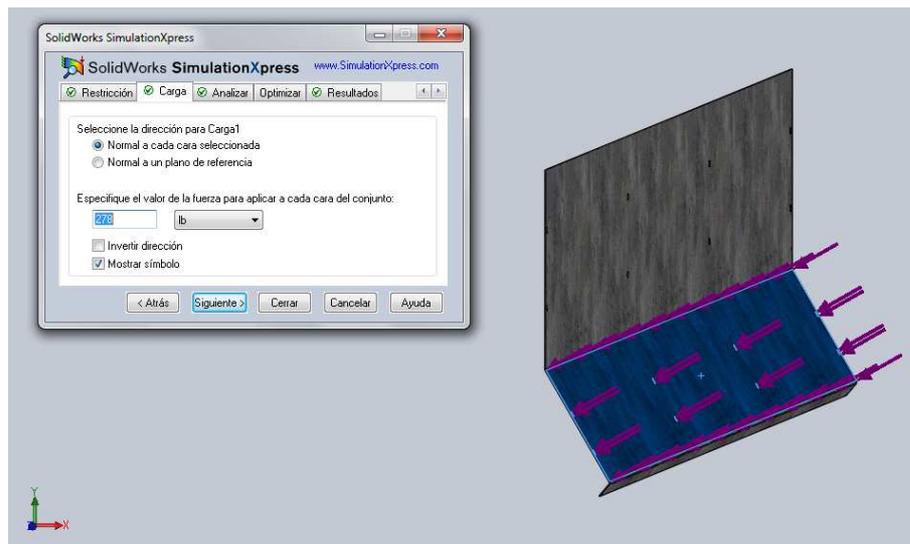


Figura 4.15: Aplicación de fuerzas sobre el ala de la bandeja

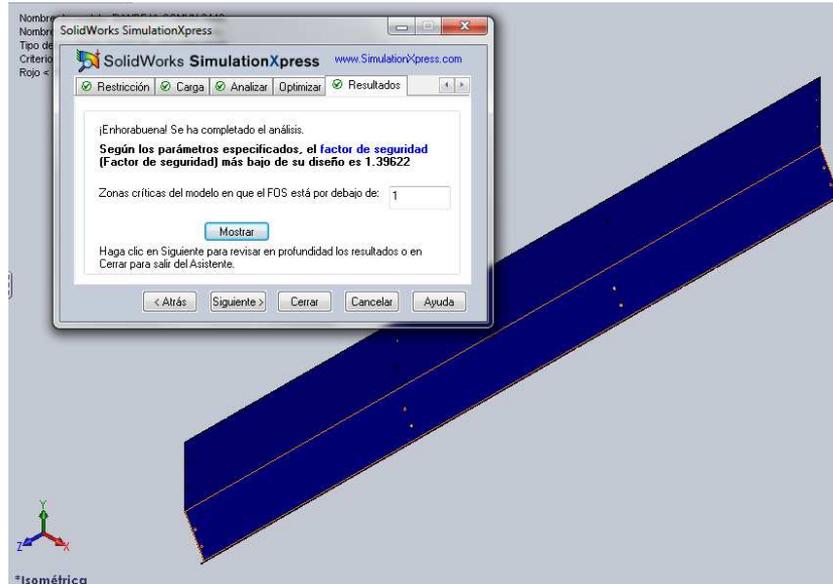


Figura 4.16: Factor de seguridad del elemento

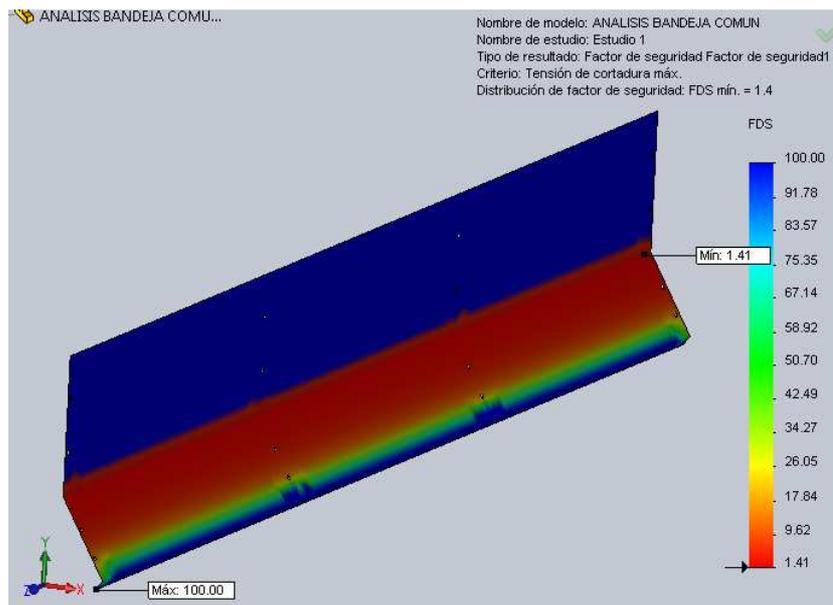


Figura 4.17: Zonas críticas del elemento

Analizando los resultados en el SolidWorks, observamos que el factor de seguridad calculado y el obtenido mediante el software es el mismo, por lo tanto se puede confiar en el análisis de cualquier elemento que se lo realice en el SolidWorks Simulation Xpress, y analizar estos resultados para las decisiones de diseño

4.3.4 Diseño a fatiga

Las cargas sobre las bandejas se van a comportar en una manera estática, es decir cuando el arroz fluya la magnitud de las fuerzas sobre el ala de la bandeja no van a cambiar por lo tanto se considera que el diseño es estático, pero no se debe dejar de realizar el diseño a fatiga para comprobar el comportamiento del elemento y tener una mayor seguridad en el diseño.

Como las bandejas van a estar carga y descarga se considera el siguiente ciclo de trabajo [8]

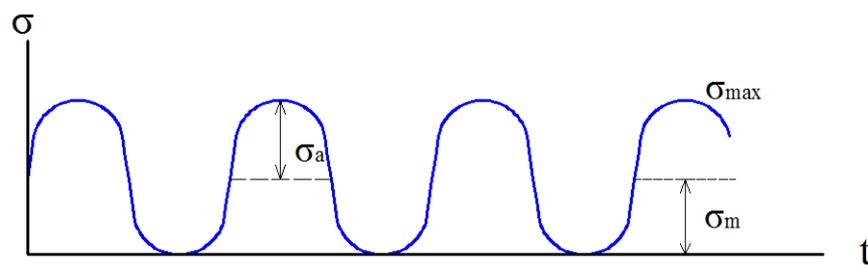


Figura 4.18: Tipo de fluctuación en la bandeja

$$\sigma_x = \sigma_{max} = 1.488 * 10^7 \left(\frac{kg}{m^2} \right)$$

$$\sigma_a = \sigma_m = \frac{\sigma_{max}}{2} = 7443200 \left(\frac{kg}{m^2} \right)$$

Con el espesor de $t=1.25\text{mm}$ comprobamos si este espesor resiste el diseño a fatiga

$$S_e = k_a * k_b * k_e * k_d * S_{ut} \quad (4.16)$$

$$S_{ut} = 0,5 * S_y \quad [8] \quad (4.17)$$

$$S_{ut} = 356,9 \left(\frac{N}{mm^2} \right)$$

$$S_{ut} = 0,35691 \text{ GPas}$$

$$S_{ut} = 3,641 * 10^7 \left(\frac{kg}{m^2} \right)$$

Donde

$$K_i = K_a * K_b * K_c * K_d * K_g * K_e. \text{ [8]}$$

$k_a =$ Factor de acabado

$$k_a = 0,72 \rightarrow \text{Laminado en caliente}$$

$$k_a = 0,85 \rightarrow \text{Estirado en frio}$$

$k_b =$ Factor de concentracion de esfuerzos

$$k_b = 1,189 * (d_e)^{-0,097} \quad (4.18)$$

$$d_e = 0,808 \sqrt{b * h} \quad (4.19)$$

$$d_e = 0,808 \sqrt{2,44 * 0,00125}$$

$$d_e = 44,25 \text{ mm}$$

$$k_b = 1,189 * (44,25)^{-0,097}$$

$$k_b = 1,189 * (44,25)^{-0,097}$$

$$k_b = 0,82$$

$k_c =$ Factor de confiabilidad

$$k_c = 0,75 \text{ para un } 99,9\% \text{ confiabilidad}$$

$k_d =$ Factor de confiabilidad

Reemplazando los datos en la ecuación tenemos

$$\text{---} \text{---} \text{---} \quad (4.20)$$

Reemplazando $t=1,25\text{mm}$ nos da un factor de seguridad de $n=0,85$

Como podemos observar tenemos un factor de confiabilidad bajo para compensar ello, colocamos apoyos en las bandejas.

Estos apoyos son pedazos de plancha doblas en tipo z como se muestra en la figura 4.22, esto va a ayudar a que el ala de la bandeja no fleje demasiado.

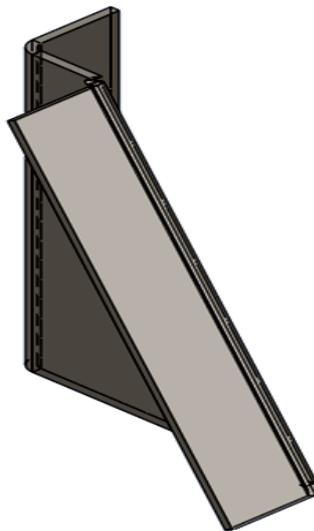


Figura 4.19: Apoyo Z

4.4 Deflexión de bandejas

Para determinar la deflexión en las bandejas se considera toda la carga aplicada en ella, el análisis se realiza para los siguientes casos:

4.4.1 Con dos apoyos para toda la distancia en la bandeja superior

Se toma en cuenta que los apoyos van a estar a una distancia de 2440mm, y se toma en cuenta la deflexión máxima que se da en el punto medio de la bandeja.

Cargas:

$$q_T = 690 \text{ kg/m}^2$$

$$q = 690 \text{ kg/m}^2 * 0.15\text{m}$$

$$q = 103.5 \text{ kg/m}$$

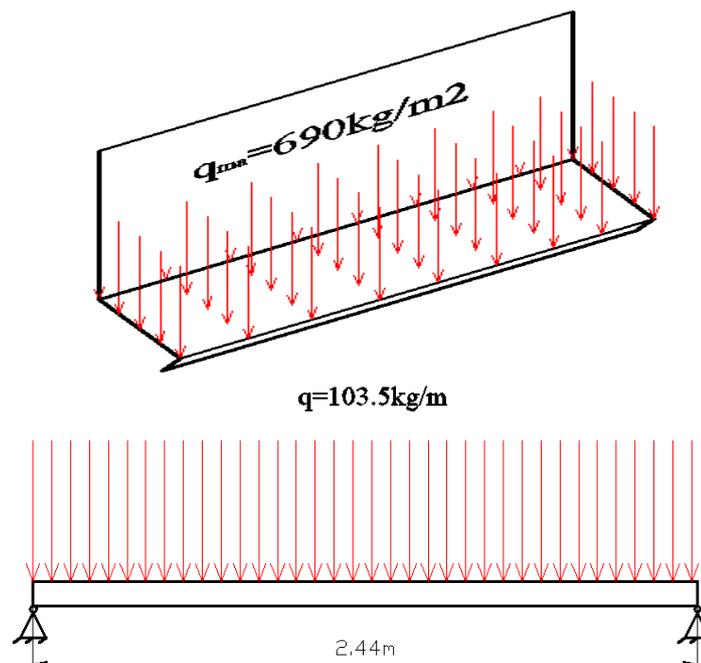


Figura 4.20: Cargas en la bandeja con 2 apoyos

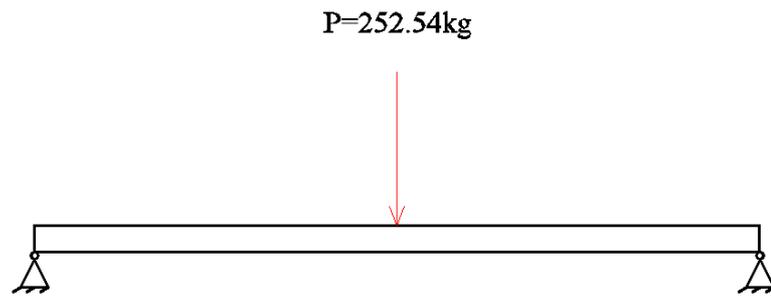


Figura 4.21: Carga puntual actuante

Perfil a analizar:

Se determina el momento de inercia del perfil de la bandeja, esta inercia es requerida en el cálculo de la flecha.

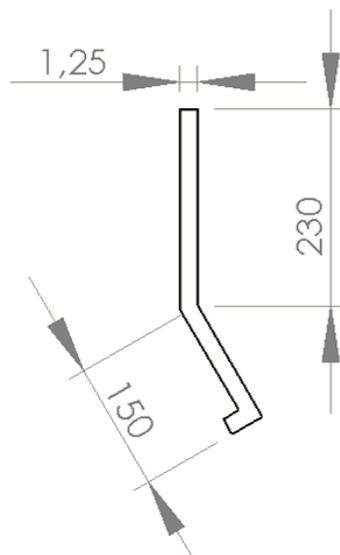


Figura 4.22: Perfil para análisis de flecha

Para determinar las propiedades de sección de la bandeja, la misma se la dibuja en Auto CAD, se la convierte a región y se determina las propiedades principales del perfil dibujado.

Según Auto CAD

Área: 499.6901

Perímetro: 802.0041

Bounding box: X: -1.2500 -- 75.0000

Y: -378.6977 -- 0.0000

Centroide: X: 16.9515

Y: -195.0926

Moments of inertia: X: 25013851.9566

Y: 466265.1247

Product of inertia: XY: -2812932.0178

Radii of gyration: X: 223.7381

Y: 30.5468

Principal moments and X-Y directions about centroid:

I: 94476.2090 along [0.1930 -0.9812]

J: 6223280.1502 along [0.9812 0.1930]

Tabla 4.2: DATOS NECESARIOS PARA EL CÁLCULO DE DEFLEXIÓN

Área	Perímetro	Centroide	Principales momentos de inercia
499.6901mm	802.0041mm	X: 16.9515 Y: -195.0926	I: 94476.2090 J: 6223280.1502

Por el material:

Acero galvanizado:

$$E = 2.08 \times 10^7 \text{ Kg/m}^2$$

Datos:

$$l = 2.44 \text{ m}$$

$$P = 252.54 \text{ kg}$$

$$q = 103.5 \text{ kg/m}$$

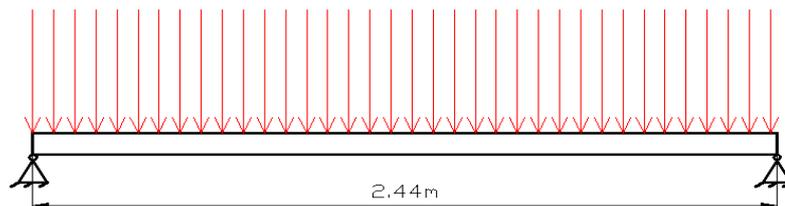


Figura 4.23: Visualización de carga para cálculo de flecha

$$R_a = \frac{P}{2} = 126.27 \text{ kg}$$

$$\sum M_f = R_a * x - qx * \frac{x}{2}$$

$$\sum M_f = 126.27 - \frac{103.5x^2}{2}$$

$$EIy'' = \sum M_f \quad (4.21)$$

$$EIy'' = 126.27 - \frac{103.5x^2}{2}$$

$$EIy' = \frac{126.27x^2}{2} - \frac{103.5x^3}{6} + C$$

$$EIy = \frac{126.27x^2}{6} - \frac{103.5x^3}{24} + Cx + D$$

Condiciones:

$$\text{Para } x = 0 \rightarrow \begin{matrix} y = 0 \\ \theta \neq 0 \end{matrix}$$

$$EIy = \frac{126.27x^2}{6} - \frac{103.5x^3}{24} + Cx + D$$

$$EI * 0 = \frac{126.27(0)^2}{6} - \frac{103.5(0)^3}{24} + C * 0 + D$$

$$D = 0$$

$$\text{Para } x = 2.44 \rightarrow \begin{matrix} y = 0 \\ \theta \neq 0 \end{matrix}$$

$$EIy = \frac{126.27x^3}{6} - \frac{103.5x^4}{24} + Cx + D$$

$$EI * 0 = \frac{126.27(2.44)^3}{6} - \frac{103.5(2.44)^4}{24} + C * 2.44 + D$$

$$C = -62.64$$

Ecuación de flecha:

$$EIy = \frac{126.27x^3}{6} - \frac{103.5x^4}{24} - 62.64x$$

Para $x = 1.22$

$$EIy = \frac{126.27x^3}{6} - \frac{103.5x^4}{24} - 62.64x$$

$$EIy = \frac{126.27 * 1.22^3}{6} - \frac{103.5 * 1.22^4}{24} - 62.64 * 1.22$$

$$y = -0.369m$$

$$y = 36.9\text{mm}$$

4.4.1.1 Con 2 apoyos adicionales

Al ser una carga distribuida uniforme y constante se realiza el análisis para la distancia inicial.

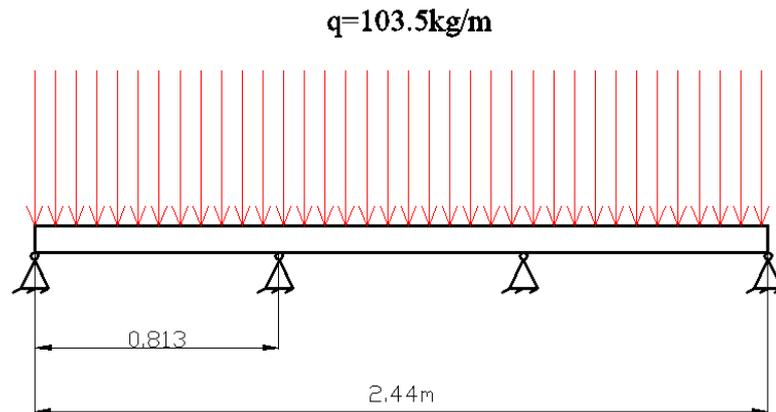


Figura 4.24: Cargas en la bandeja con 4 apoyos

Datos:

$$l = 0.813\text{m}$$

$$q = 103.5 \text{ kg/m}$$

$$R_a = \frac{P}{4} = 63.13\text{kg}$$

$$\sum M_f = R_a * x - qx * \frac{x}{2}$$

$$\sum M_f = 63.13 - \frac{103.5x^2}{2}$$

$$EIy'' = \sum M_f \tag{4.22}$$

$$EIy'' = 63.13 - \frac{103.5x^2}{2}$$

$$EIy' = \frac{63.13x^2}{2} - \frac{103.5x^3}{6} + C$$

$$EIy = \frac{63.13x^2}{6} - \frac{103.5x^3}{24} + Cx + D$$

Condiciones:

$$\text{Para } x = 0 \rightarrow \begin{matrix} y = 0 \\ \theta \neq 0 \end{matrix}$$

$$EIy = \frac{63.13x^2}{6} - \frac{103.5x^3}{24} + Cx + D$$

$$EI * 0 = \frac{63.13(0)^3}{6} - \frac{103.5(0)^3}{24} + C * 0 + D$$

$$D = 0$$

$$\text{Para } x = 2.44 \rightarrow \begin{matrix} y = 0 \\ \theta \neq 0 \end{matrix}$$

$$EIy = \frac{63.13x^3}{6} - \frac{103.5x^4}{24} + Cx + D$$

$$EI * 0 = \frac{63.13(2.44)^3}{6} - \frac{103.5(2.44)^4}{24} + C * 2.44 + D$$

$$C = 0.0049$$

Ecuación de flecha:

$$EIy = \frac{63.13x^3}{6} - \frac{103.5x^4}{24} + 0.0049x$$

Para $x = 0.4m$

$$EIy = \frac{63.13x^3}{6} - \frac{103.5x^4}{24} + 0.0049x$$

$$EIy = \frac{63.13 * 0.4065^3}{6} - \frac{103.5 * 0.4065^4}{24} + 0.0049 * 0.4065$$

$$y = 0.00456m$$

$$y = 4.56mm$$

Debido a que esta deflexión es mayor que $\frac{l}{300}$ según **la sección B7 AISC ANEXO 11**,

$\frac{l}{300} = 2.66$ procedemos a colocar refuerzos en el ala de la bandeja para evitar su deflexión.

Este valor se comprueba mediante software Solid Works Simulation que utiliza un programa de elementos finitos llamado COSMOS, se realiza un estudio estático del mismo, aplicando las cargas sobre el ala de la bandeja.

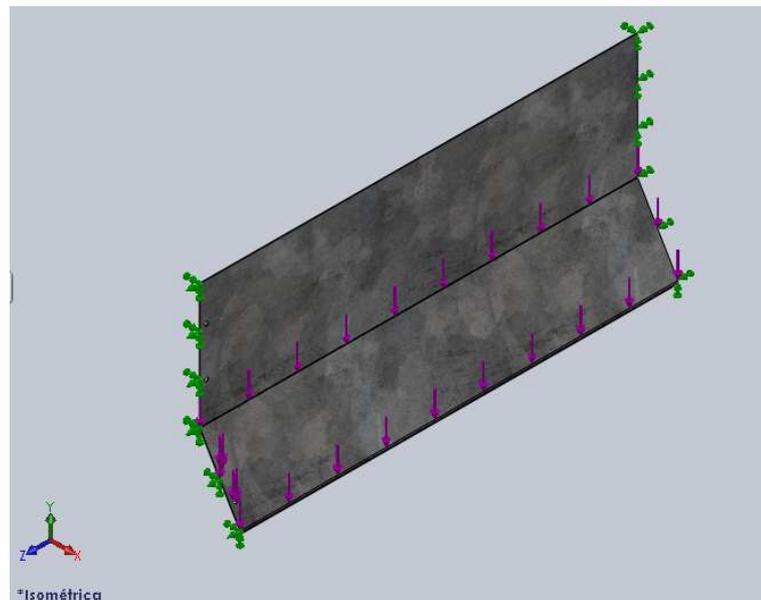


Figura 4.25: Aplicación de cargas sobre la bandeja mediante SolidWorks

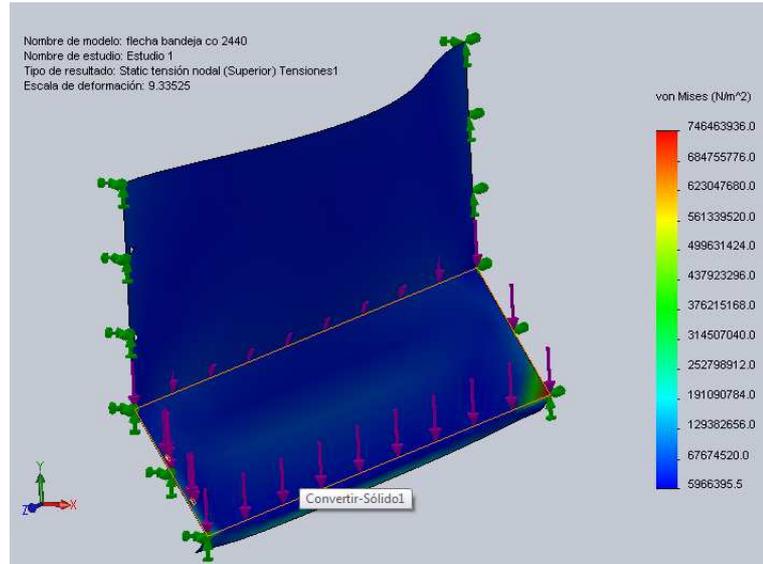


Figura 4.26: Gráfico de tensiones sobre la bandeja a una separación de 800mm

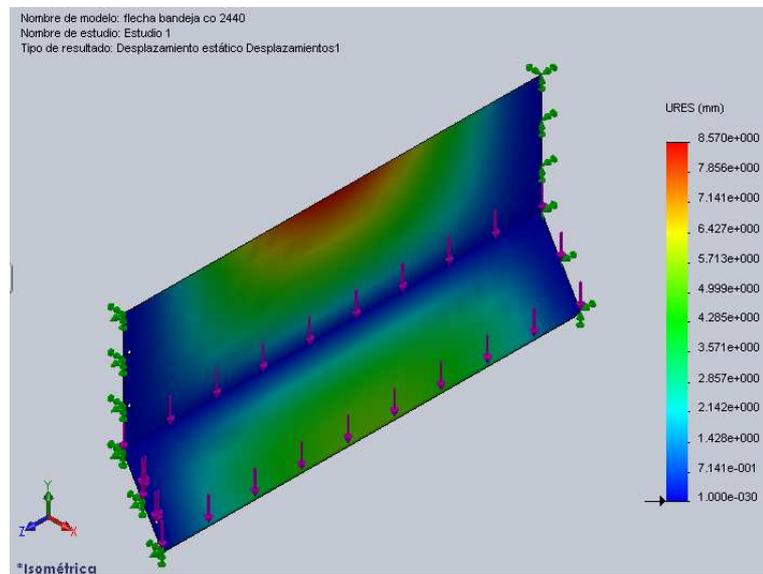


Figura 4.27: Deformaciones de la bandeja de 800mm

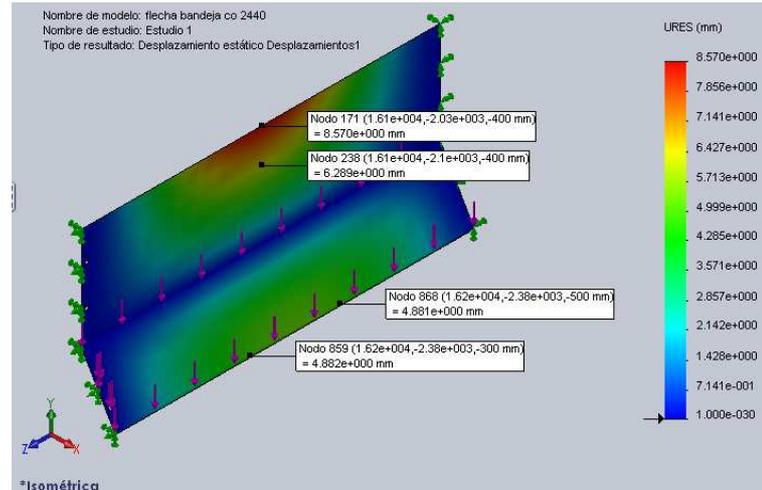


Figura 4.28: Gráfico de deformaciones con valores en puntos críticos

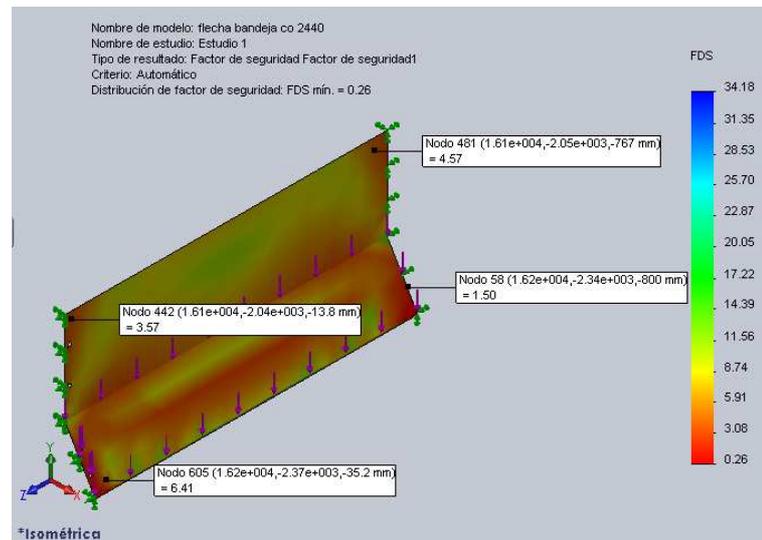


Figura 4.29: Factor de seguridad en la bandeja

4.4.2 Con 2 apoyos adicionales en la bandeja común

Al ser una carga distribuida uniforme y constante se realiza el análisis para la distancia inicial.

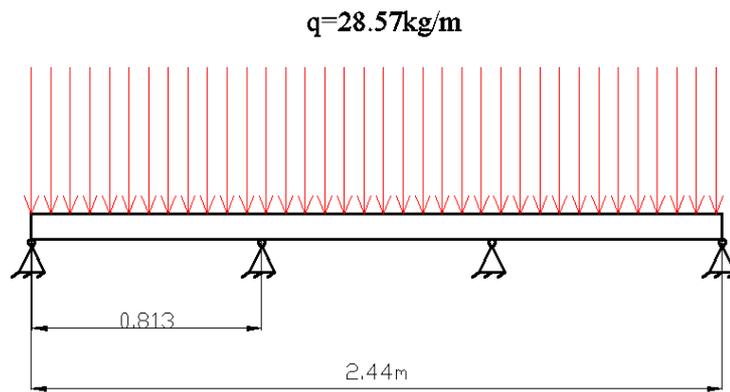


Figura 4.30: Cargas en la bandeja común con 4 apoyos

Datos:

$$l = 0.813\text{m}$$

$$q = 28.57\text{kg/m}$$

$$R_a = \frac{P}{4} = 17.42\text{kg}$$

$$\sum M_f = R_a * x - qx * \frac{x}{2}$$

$$\sum M_f = 17.42x - \frac{28.57x^2}{2}$$

$$Ely'' = \sum M_f \tag{4.23}$$

$$Ely'' = 17.42x - \frac{28.57x^2}{2}$$

$$Ely' = \frac{17.42x^2}{2} - \frac{28.57x^3}{6} + C$$

$$Ely = \frac{17.42x^3}{6} - \frac{28.57x^3}{24} + Cx + D$$

Condiciones:

$$\text{Para } x = 0 \rightarrow \begin{matrix} y = 0 \\ \theta \neq 0 \end{matrix}$$

$$EIy = \frac{17.42x^3}{6} - \frac{28.57x^3}{24} + Cx + D$$

$$EI * 0 = \frac{17.42(0)^3}{6} - \frac{28.57(0)^3}{24} + C * 0 + D$$

$$D = 0$$

$$\text{Para } x = 2.44 \rightarrow \begin{matrix} y = 0 \\ \theta \neq 0 \end{matrix}$$

$$EIy = \frac{17.42x^3}{6} - \frac{28.57x^3}{24} + Cx + D$$

$$EI * 0 = \frac{17.42(2.44)^3}{6} - \frac{28.57(2.44)^4}{24} + C * 2.44 + D$$

$$C = 0.00764$$

Ecuación de flecha:

$$EIy = \frac{17.42x^3}{6} - \frac{28.57x^3}{24} + 0.00764x$$

Para $x = 0.4m$

$$EIy = \frac{17.42x^3}{6} - \frac{28.57x^3}{24} + 0.00764x$$

$$EIy = \frac{17.42 * 0.4065^3}{6} - \frac{28.57 * 0.4065^4}{24} + 0.4065 * 0.00764$$

$$y = 0.00125m$$

$$y = 1.25\text{mm}$$

Como esta deflexión es aceptable ya que $\frac{l}{300} = 2.66$, por lo que las bandejas comunes no tendrán ningún problema para soportar esta carga.

Igual al los procedimientos anteriores estos valores son analizados en Solid Works Simulation.

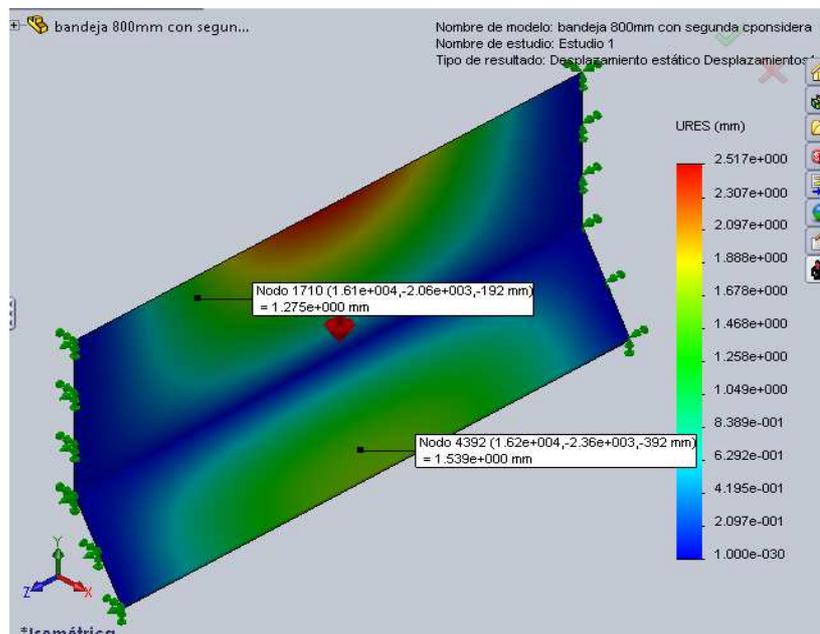


Figura 4.31: Deformaciones con bajo primera consideración

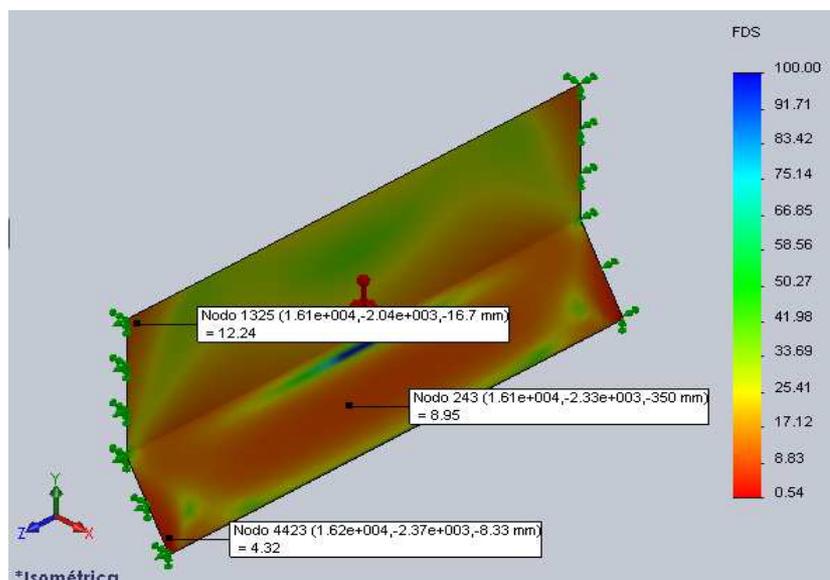


Figura 4.32: Factor de seguridad

Como podemos observar el SolidWorks Simulation, nos da todos los resultados necesarios para el diseño de un elemento, los mismos que comparando con el cálculo de flecha nos da datos similares en cuanto a deflexión, los errores que existen entre los resultados realizados manualmente y los resultados del COSMOS es debido a que el programa analiza de mejor manera la aplicación de la carga sobre el elemento, es decir analiza la forma y el lugar en donde esta aplicada la fuerza, en cambio manualmente se le considera al elemento como una viga, en la cual no se considera la forma solo propiedades de sección como es la inercia.

4.5 Dimensionamiento del eje dosificador

4.5.1 Diseño del eje del dosificador

Para el diseño del eje dosificador se considera el peso de arroz que actúa sobre el mismo cuyo valor es 102.04 kg, a continuación se calcula las reacciones para dibujar el diagrama de cortante y de momento flector.

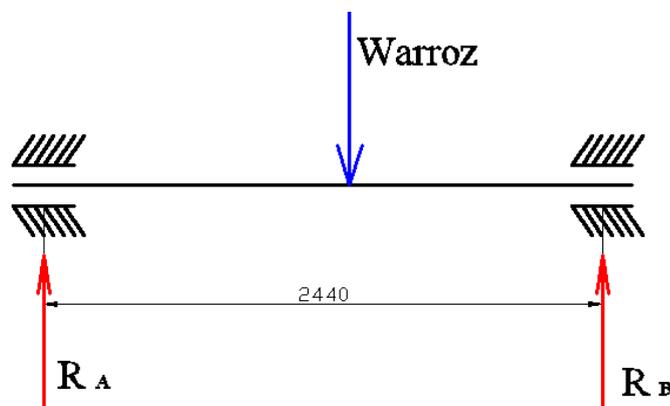


Figura 4.33: Visualización de cargas actuantes en el eje

$$\sum MA = 0$$

$$102.04 * 1.22 = RBF * 2.45$$

$$RBF = 51.02kg$$

$$\sum Fy = 0$$

$$RAF + RBF = Warroz$$

$$RAF = 51.02 \text{ kg}$$

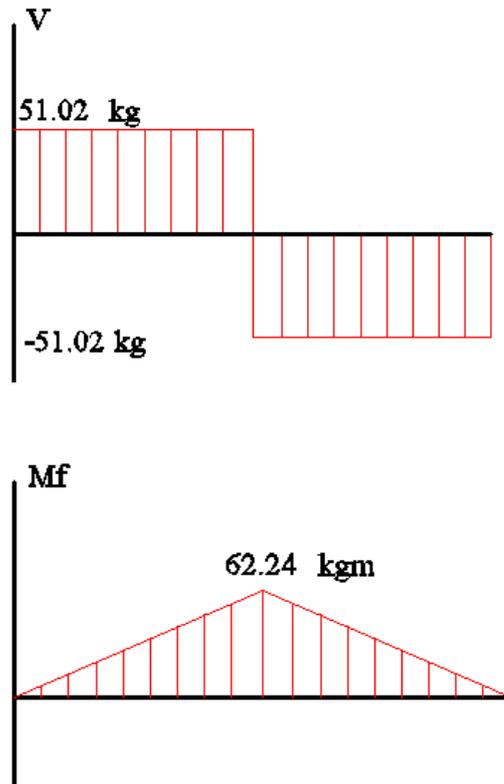


Figura 4.34: Diagrama de cortante y momento flector del eje

El eje va a tener una fluctuación con inversión completa por lo que se tiene:

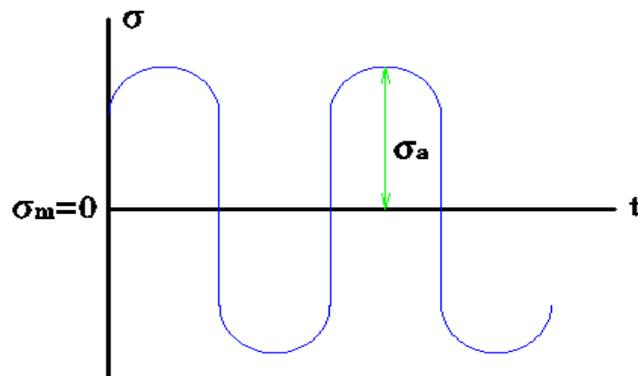


Figura 4.35: Fluctuación de carga en el eje [8]

Para vida infinita: [8]

$$\sigma_a = \frac{Se}{n} \quad (4.24)$$

$$\sigma_a = \frac{Mf * C}{I} \quad (4.25)$$

$$\sigma_a = \frac{62.24 \left(\frac{d}{2}\right)}{\pi \frac{d^4}{64}}$$

$$\sigma_a = \frac{32 * 62.24}{\pi d^3}$$

$$Se = Ki * Se'$$

$$Se' = 0.5 * Sut$$

$Sut = 395 \text{ MPa}$, para acero laminado en frio AISI 1020 (acero de transmisión)

$$Sut = 395 \text{ MPa} = 4.03 \times 10^7 \text{ kg/m}^2$$

Asumimos $Ki = 0.3$

$$Se = Ki * Se'$$

$$Se = 0.3 * (0.5 * 4.03 \times 10^7)$$

$$Se = 6045000 \text{ kg/m}^2$$

$$\sigma_a = \frac{Se}{n}$$

Se considera un $n = 1.5$ para un 50 % adicional de carga.

$$\frac{32 * 62.24}{\pi d^3} = \frac{6045000}{1.5}$$

$$d = 0.0539m = 53.9mm$$

Se toma un diámetro de eje de 50.8 mm con lo que verifica si resiste o no.

$$K_i = K_a * K_b * K_c * K_d * K_g * K_e \quad [8]$$

$K_a =$ factor por acabado

$$K_a = 0.85$$

$K_b =$ factor por tamaño

$$K_b = 0.869d e^{-0.097} \text{ Donde } d \text{ en pulgadas.}$$

$K_c =$ factor por confiabilidad

$$K_c = 0.897 \text{ para } R \text{ 90\%}$$

$K_d =$ factor por temperatura

$$K_d = 1$$

$K_g =$ otros factores

$$K_g = 1$$

$K_e =$ factor por concentracion de tensiones

$$K_e = \frac{1}{K_f}, \text{ con } K_f = 1.7 \text{ para mayorar esfuerzos.}$$

$$K_i = K_a * K_b * K_c * K_d * K_g * K_e$$

$$K_i = 0.358$$

$$Se = Ki * Se'$$

$$Se = 0.358 * (0.5 * 4.03 \times 10^7)$$

$$Se = 7213700 \text{ kg/m}^2$$

$$\sigma_a = \frac{Se}{n}$$

$$\frac{32 * 62.24}{\pi(0.0508)^3} = \frac{7213700}{n}$$

$$n = 1.4$$

Por lo que tomamos un eje de 2" de diámetro.

4.5.2 Diseño de los parámetros del eje dosificador

Al conocer el eje que soportara la carga ya descrita anteriormente se designa los siguientes parámetros tales como: número de aspas, longitud de aspas, velocidad.

Para determinar estos parámetros nos regimos en el siguiente análisis.

$$V = \left[\frac{\pi}{4} * (D^2 - d_i^2) - \#_{paletas} * a * b \right] * l * \beta \quad (4.26)$$

Donde

$$D = d_i + 2b \quad (4.27)$$

V = volumen desplazado por el eje dosificador

l = longitud del eje

β = porcentaje de llenado

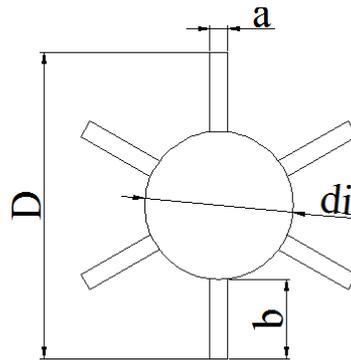


Figura 4.36: Elementos y dimensiones del eje dosificador

Entonces

$$V = \left[\frac{\pi}{4} * ((d_i + 2b)^2 - d_i^2) - \#_{paletas} * a * b \right] * l * \beta$$

Este es el volumen que desplaza el eje dosificador por cada revolución

O sea

$$V = \frac{\left[\frac{\pi}{4} * ((d_i + 2b)^2 - d_i^2) - \#_{paletas} * a * b \right] * l * \beta}{rev} \quad (3.28)$$

$$V = \left[\frac{\pi}{4} * ((0.0508 + 2 * 0.02)^2 - 0.0508^2) - 7 * 0.004 * 0.02 \right] * 2.44 * 0.9$$

$$V = 0.0074 \text{ m}^3 / rev$$

Donde:

$\beta = \% \text{ de llenado}$

$\beta = 0.9$ Solo se llena el 90%

$\dot{m} = 20 \text{ Ton}/h$ En total de la máquina

Cada sección

$$\dot{m}_i = 4 \text{ Ton/h} = 4000 \text{ kg/h}$$

$$\dot{V} = \frac{\dot{m}}{\delta} = \frac{4000 \text{ kg/h}}{600 \text{ kg/m}^3}$$

$$\dot{V} = 6.66 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\dot{V} = 0.111 \text{ m}^3/\text{min}$$

Como sabemos que el flujo es el volumen desplazado por la velocidad de desplazamiento tenemos

$$\dot{V} = V * \omega \quad (4.29)$$

$$\omega = \frac{\dot{V}}{V}$$

$$\omega = \frac{0.111 \text{ m}^3/\text{min}}{0.0074 \text{ m}^3/\text{rev}}$$

$$\omega = 15 \text{ rpm}$$

4.5.3 Verificación del factor de seguridad en el eje dosificador

El eje dosificador al estar conforma con las paletas, las mismas que ayudan a soportar la carga modificando el momento de inercia, con lo cual realizamos un nuevo cálculo de factor de seguridad.

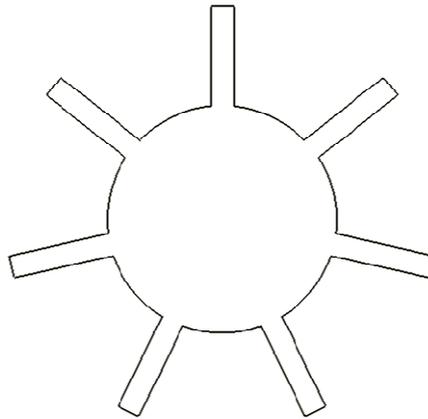


Figura 4.37: Sección del eje dosificador

Las propiedades de sección son determinadas mediante SolidWorks, las cuales se muestran en el siguiente grafico

Imprimir... Copiar Cerrar Opciones... Recalcular

Sistema de coordenadas de: -- predeterminado --

Elementos seleccionados: Cara<1>

Mostrar sistema de coordenadas de salida en la esquina de la vent

Las propiedades de sección de la cara seleccionada de momento de inercia

Área = 2731.61 milímetros²

Centro de gravedad con relación al origen del sistema de coordenadas d

X = 123.89
Y = 64.65
Z = 0.00

Momentos de inercia, del área, en el centro de gravedad: (milímetros ⁴

Lxx = 818853.92	Lxy = 0.00	Lxz = 0.00
Lyx = 0.00	lyy = 818853.92	lyz = 0.00
Lzx = 0.00	Lzy = 0.00	Lzz = 1637707.8

Momento polar de inercia, del área, en el centro de gravedad = 1637707.

Ángulo entre ejes principales y ejes de pieza = -0.00 °

Momentos principales de inercia, del área, en el centro de gravedad: (mi

Ix = 818853.92
Iy = 818853.92

Momentos de inercia del área, en el sistema de coordenadas de salida: (I

LXX = 12235722.15	LXY = 21878680.20	LXZ = 0.00
LYX = 21878680.20	LYY = 42745995.19	LYZ = 0.00
LZX = 0.00	LZY = 0.00	LZZ = 54981717

Figura 4.38: Propiedades de sección del eje dosificador

$$\sigma_a = \frac{Se}{n}$$

$$\sigma_a = \frac{Mf * C}{I}$$

$$\sigma_a = \frac{62.24(0.045)}{8 \times 10^{-7}}$$

$$Se = Ki * Se'$$

$$Se' = 0.5 * Sut$$

$Sut = 395 \text{ MPa}$, para acero laminado en frio AISI 1020 (acero de transmisión)

$$Sut = 395 \text{ MPa} = 4.03 \times 10^7 \text{ kg/m}^2$$

$$Ki = Ka * Kb * Kc * Kd * Kg * Ke \quad [8]$$

$$Ki = 0.358$$

$$Se = Ki * Se'$$

$$Se = 0.358 * (0.5 * 4.03 \times 10^7)$$

$$Se = 7213700 \text{ kg/m}^2$$

$$\sigma_a = \frac{Se}{n}$$

$$\frac{62.24(0.045)}{8 \times 10^{-7}} = \frac{7213700}{n}$$

$$n = 2.06$$

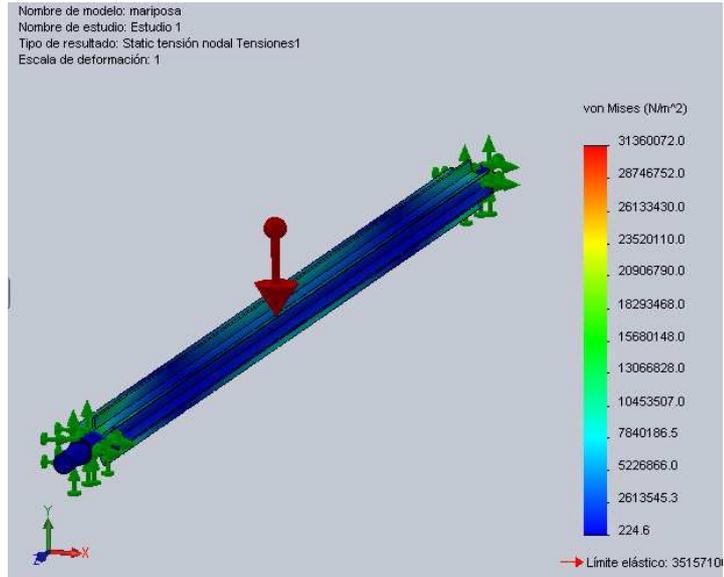


Figura 4.39: Tensiones en el eje dosificador

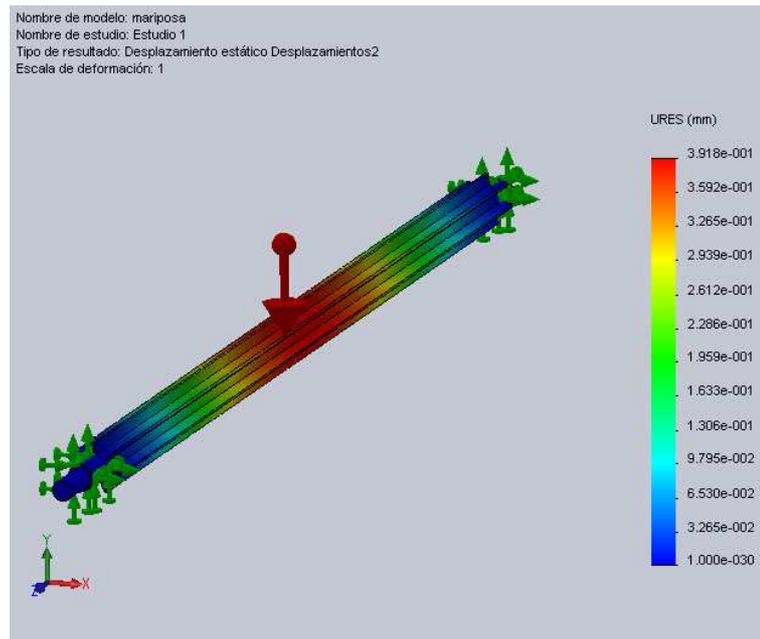


Figura 4.40: Gráfico de deformaciones

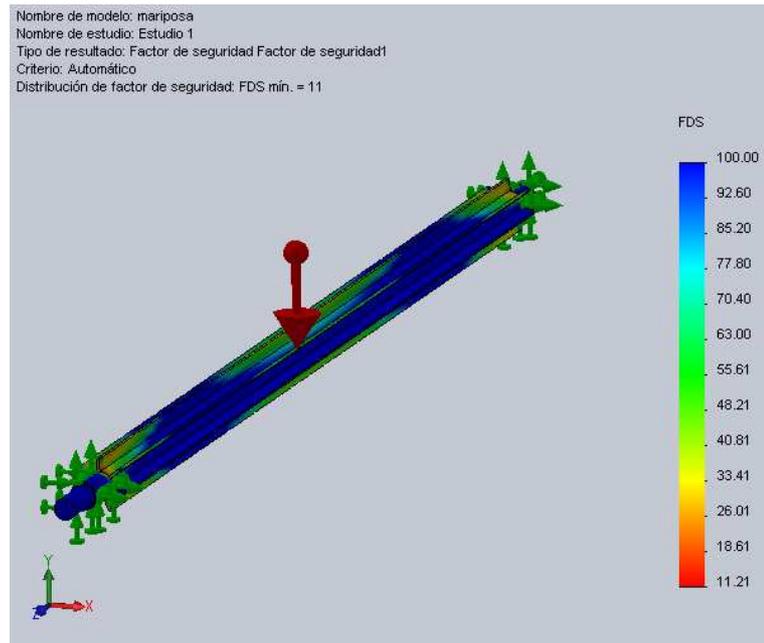


Figura 4.41: Factor de seguridad

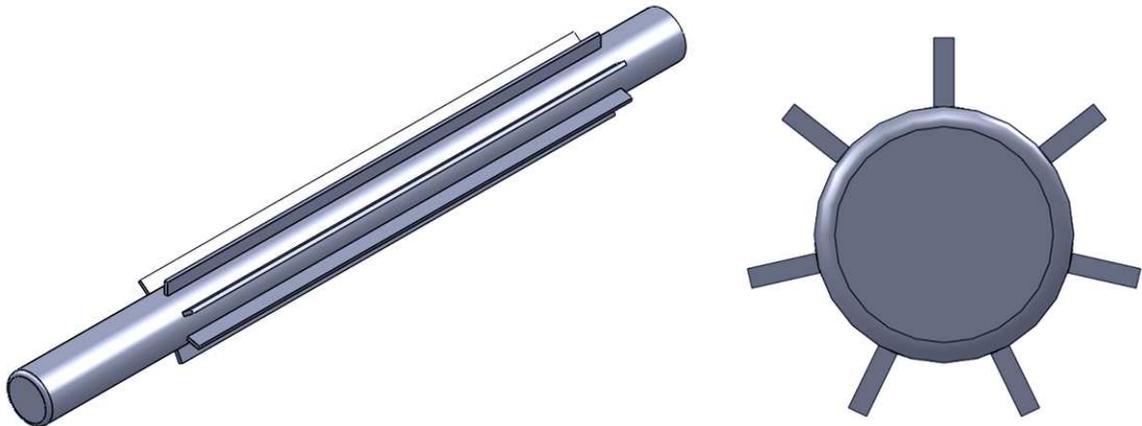


Figura 4.42: Vista del eje dosificador

Tabla 4.3: DATOS GENERALES DEL EJE DOSIFICADOR

Volumen de arroz a desplazar	Diámetro del eje	Dimensiones de las aspas	Numero de aspas	Velocidad de giro
4000 kg/h	2 in	20x2440x4	7	15rpm

4.6 Selección del reductor de velocidad.

Para seleccionar el moto-reductor se determina primeramente la carga que va a descargar el eje dosificador, como es conocida la sección de descarga tenemos:

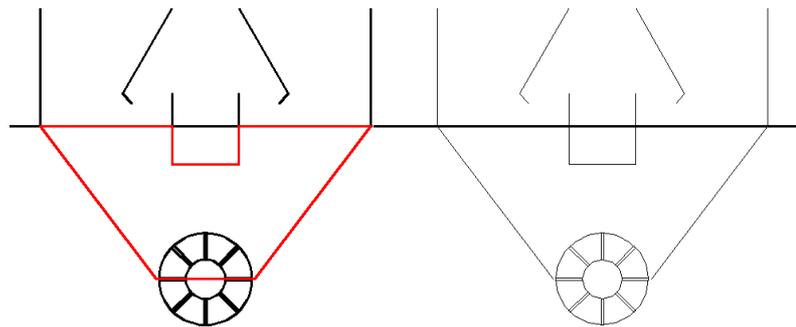


Figura 4.43: Área de análisis en la descarga

El área de descarga es de 69712.96 mm^2

Con este dato se calcula la cantidad de arroz a descargar.

$$V = A * L$$

$$V = 0.0697 * 2.44 \text{ [m}^3\text{]}$$

$$V = 0.17 \text{ m}^3$$

$$\rho = \frac{m}{V} \rightarrow m = V * \rho$$

$$m = 102.04kg$$

A continuación se determina el torque necesario para que el eje dosificador desplace esta cantidad de arroz.

Al ser conocido el diámetro del eje dosificador se determina el torque.

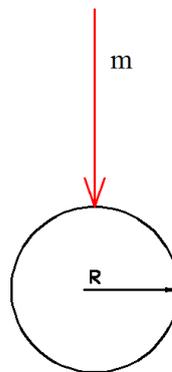


Figura 4.44: Descripción de datos para cálculo de torque

$$T = m * R \quad (4.30)$$

$$T = 102.04 * 0.0254$$

$$T = 2.591kg.m$$

Debido a que existen 5 ejes dosificadores y que la transmisión es por cadena se determina el torque total que debe proporcionar el reductor de velocidad, en este cálculo se considera que en cada transmisión se tiene una pérdida del 5% en el torque, con el fin de garantizar un correcto funcionamiento, de ahí la siguiente ecuación.

$$T_t = T * (1.05) + T * (1.05)^2 + T * (1.05)^3 + T * (1.05)^4 + T * (1.05)^5 \quad (4.31)$$

$$T_t = T * [(1.05) + (1.05)^2 + (1.05)^3 + (1.05)^4 + (1.05)^5]$$

$$T_t = 2.5918 * [(1.05) + (1.05)^2 + (1.05)^3 + (1.05)^4 + (1.05)^5]$$

$$T_t = 15.033kg.m$$

4.6.1 Selección de un reductor de velocidad según catálogo SITI SPA

ANEXO 2

Datos requeridos:

$$M_2 = T_t * fs \quad (4.32)$$

$M_2 =$ torque de seleccion

$fs =$ factor de servicio, se selecciona según **tabla pág. 13 ANEXO 2**

$T_t =$ torque requerido

$$M_2 = 15.033 * 1.50$$

$$M_2 = 22.55kg.m = 220.9N.m$$

$n = 15 rpm$

Con M_2 y n seleccionamos el reductor:

SITI MHL 30/3

Datos técnicos:

$$n_1 = 2800 rpm$$

$$n_2 = 48.4 rpm$$

$$M_2 = 283 N.m$$

$$HP_1 = 2$$

$$kW_1 = 1.5$$

$$sf = 0.93$$

$$RD = 0.955$$

4.6.2 Verificación

Se calcula la potencia requerida con el torque inicial.

$$HP_1 = \frac{M_2 * n_2}{7026 * RD} \quad (4.33)$$

Donde:

$n_2 =$ *velocidad angular* ; catalogo

$RD =$ *eficiencia dinámica*; catalogo

$$HP_1 = \frac{220.9 * 48.4}{7026 * 0.955}$$

$$HP_1 = 1.59 \text{ HP}$$

Como:

HP_1 *calculado* < HP_1 *tabulado* OK

El reductor de velocidad es:

Tabla 4.4: DATOS TÉCNICOS DEL MOTOREDUCTOR SELECCIONADO

Marca	Modelo	Potencia	Velocidad angular	Motor
SITI SPA	MHL 30/3	2 HP	48.4 rpm	71d/2

4.7 Calculo de la transmisión por cadenas.

La transmisión se realiza según el catálogo de INTERMEC, debido a que los elementos de este catálogo se los encuentra con facilidad en el mercado. ANEXO 3

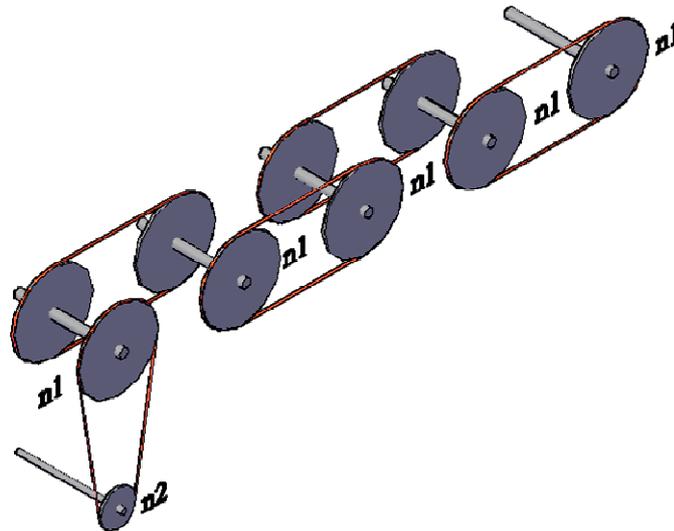


Figura 4.45: Representación del sistema de transmisión a diseñar

Los datos requeridos para el diseño de la transmisión son:

, esta potencia es la que eroga el reductor de velocidad

, a la salida del reductor de velocidad

, requerida en el eje dosificador

La distancia entre centros de los ejes es de 0.5m

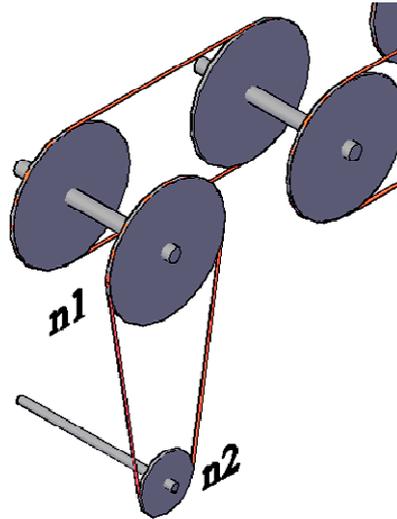


Figura 4.46: Descripción de la primera transmisión a analizar

4.7.1 Capacidad real o potencia de diseño

(4.34)

= factor de compensación es este caso al ser un motor eléctrico y una carga fluctuante entonces $= 1.3$

4.7.2 Determinación del número de cadena

Tabla para paso de 1" ANEXO 3

Con \quad y \quad , se selecciona para el piñón motriz:

80 B 16 con lubricación tipo A

$$Paso = 1 \text{ in}$$

4.7.3 Relación de transmisión

$$R = \frac{n_1}{n_2} \quad (4.35)$$

$$R = \frac{48.4}{15}$$

$$R = 3.22$$

4.7.4 Determinación del número de dientes del conducido

$$Z2 = Z1 * R \quad (4.36)$$

$$Z2 = 16 * 3.22$$

$$Z2 = 51.6$$

$$Z2 = 52$$

4.7.5 Longitud de la cadena

La distancia entre el centro del eje del motor hasta el eje del dosificador es de 19.7 in

$$2C + \frac{S}{2} + \frac{K}{C} \quad (4.37)$$

$$C = \frac{\text{distancia entre centros}}{\text{paso}} \quad (4.38)$$

$$S = Z1 + Z2 \quad (4.39)$$

$K = \text{valor tabulado, pag. 59 ANEXO 3}$

K se selecciona con D

$$D = Z2 - Z1 \quad (4.40)$$

$$C = \frac{19.7''}{1''}$$

$$C = 19.7''$$

$$S = 16 + 52 = 68$$

$$D = 52 - 16 = 36$$

Con $D = 36$ entonces $K = 32.83$ **tabla de los valores de K ANEXO 3**

$2(19.7) + \frac{68}{2} + \frac{32.83}{19.7} = 75.06$. Son 76 eslabones, aproximando por exceso. Este valor multiplicado por el paso se obtiene la longitud de la cadena.

$$76 * 1 = 76'' = 1.93 \text{ m}$$

La longitud de cadena requerida es de 1.93 m.

4.7.6 Selección de piñones

Piñón motriz: 80 B 16

Piñón conducido: 80 B 54

4.8 Transmisión por cadena para los 4 ejes de dosificación

En la descarga de la secadora se requiere que las cinco válvulas tengan la velocidad de 15 rpm.

No se tiene ningún problema con el torque ya que fue considerado la pérdida por transmisión en la selección del reductor de velocidad. Por lo que se tiene:

Al tener una relación de transmisión 1:1 se utiliza para estas transmisiones los siguientes piñones que se seleccionan del catalogo de INTERMEC.

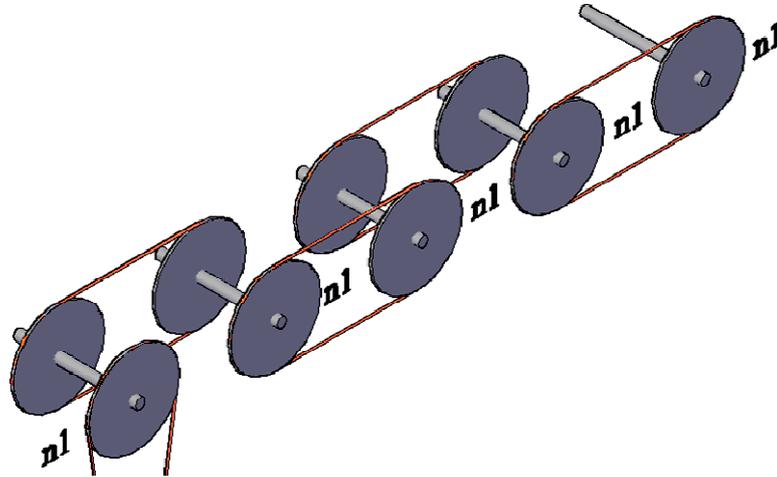


Figura 4.47: Representación de las 5 transmisiones de los ejes dosificadores

4.8.1 Capacidad real o potencia de diseño

= factor de compensación es este caso al ser un motor eléctrico y una carga fluctuante entonces $\phi = 1.3$

4.8.2 Determinación del número de cadena

Tabla para paso de 1" ANEXO 3

Con ϕ y ϕ , se selecciona para el piñón motriz:

80 B 26 con lubricación tipo A

$$Z1 = 26 \text{ dientes}$$

$$\text{Paso} = 1 \text{ in}$$

4.8.3 Relación de transmisión

$$R = \frac{n_1}{n_2}$$

$$R = \frac{15}{15}$$

$$R = 1$$

4.8.4 Determinación del número de dientes del conducido

$$Z2 = Z1 * R$$

$$Z2 = 16 * 1$$

$$Z2 = 26$$

4.8.5 Longitud de la cadena

La distancia entre dosificadores es de 600mm

$$2C + \frac{S}{2} + \frac{K}{C}$$

$$C = \frac{\text{distancia entre centros}}{\text{paso}}$$

$$S = Z1 + Z2$$

$K = \text{valor tabulado, pag. 59 ANEXO 3}$

K se selecciona con D

$$D = Z2 - Z1$$

$$C = \frac{23.62''}{1''}$$

$$C = 23.62''$$

$$S = 26 + 26 = 32$$

$$D = 26 - 26 = 0$$

Con $D = 0$ entonces $K = 0$

$2(23.62) + \frac{32}{2} + \frac{0}{31.49} = 63.24$. Son 64 eslabones, aproximando por exceso. Este valor multiplicado por el paso se obtiene la longitud de la cadena.

$$64 * 1 = 64'' = 1.63 \text{ m}$$

La longitud de cadena requerida es de 1.63 m.

4.8.6 Selección de piñones

Piñón motriz: 80 B 26

Piñón conducido: 80 B 26

Tabla 4.5: DATOS GENERALES DE LA PRIMERA TRANSMISIÓN

Velocidad del motor n1	Velocidad requerida n2	Piñón motriz	Piñón del conducido	Paso	Longitud de la cadena
48.4 rpm	15 rpm	80 B 16	80 B 54	1 in	1.93 m

Tabla 4.6: DATOS GENERALES DE LAS TRANSMISIONES IGUALES

Velocidad del motor n1	Velocidad requerida n2	Piñón motriz	Piñón del conducido	Paso	Longitud de la cadena por transmisión
15 rpm	15 rpm	80 B 26	80 B 26	1 in	1.63 m

Para la comprobación de los resultados de las relaciones de transmisión se procedió a la utilización del software Working Model, en la cual se simuló la transmisión del mecanismo de descarga

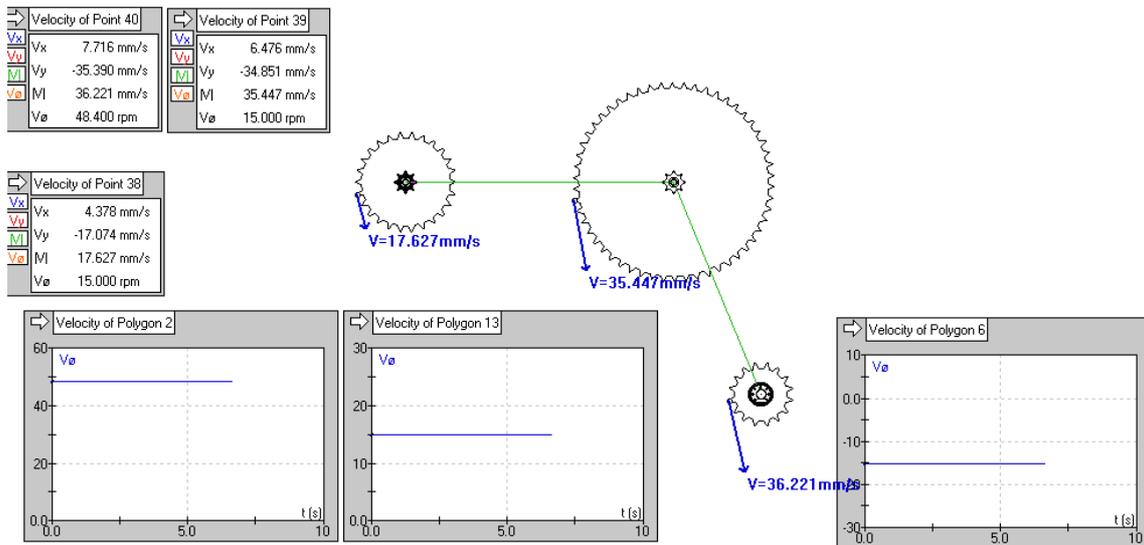


Figura 4.48: Datos obtenidos en Working Model

4.9 Selección de los rodamientos para ejes dosificadores

En los ejes dosificadores las cargas consideradas son el peso del arroz a descargar, y las fuerzas producidas por las cadenas.

Primeramente se determina la fuerza que produce la cadena, al tener varias transmisiones se hace el análisis en los planos xy y xz

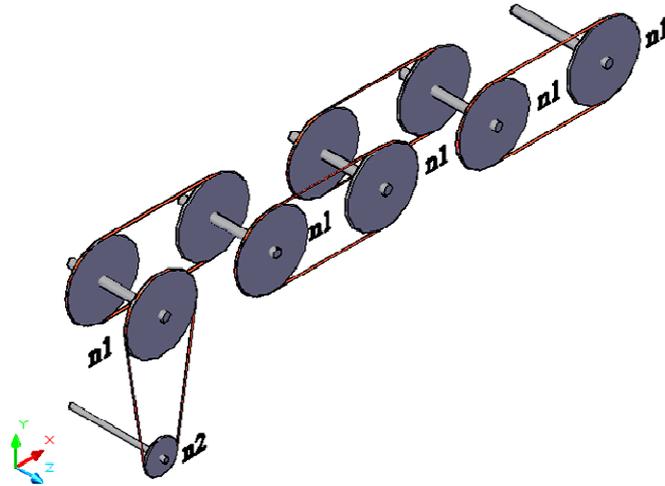


Figura 4.49: Representación en 3D de la transmisión

$$\text{-----} \quad (4.41)$$

Donde

= fuerza en la cadena

HP, es la potencia del reductor de velocidad

, es la velocidad de la cadena

$$\text{-----} \quad (4.42)$$

Z, es el numero de dientes

N, es el numero de revoluciones

4.9.1 Plano XY

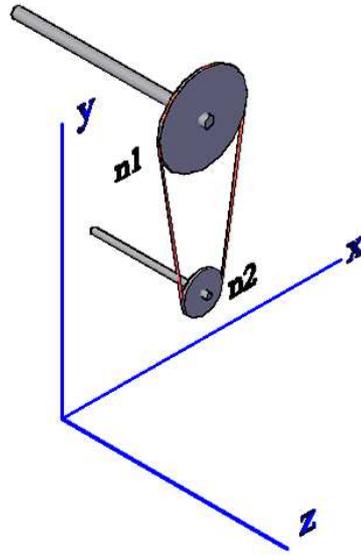


Figura 4.50: Visualización de la transmisión en el plano xy

4.9.2 Plano XZ

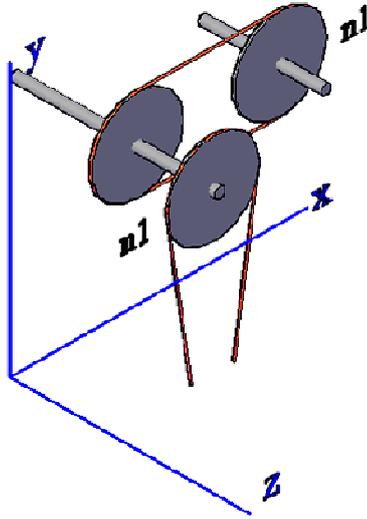


Figura 4.51: Visualización de la transmisión en el plano xz

4.9.3 Calculo de reacciones

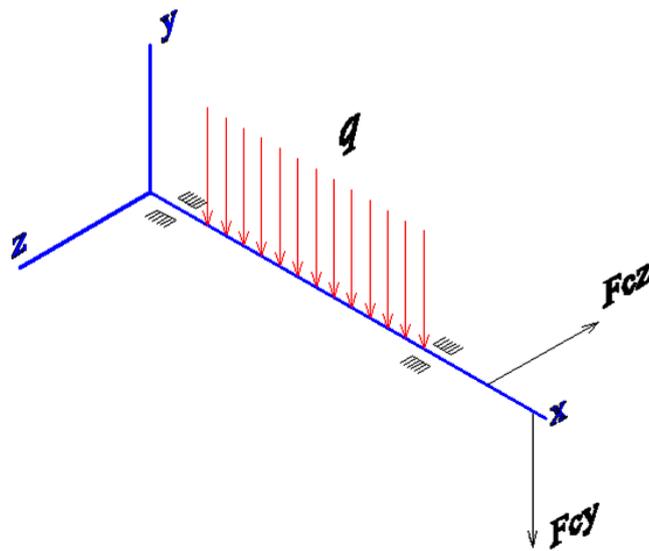


Figura 4.52: Cargas en el eje

4.9.3.1 Plano XY

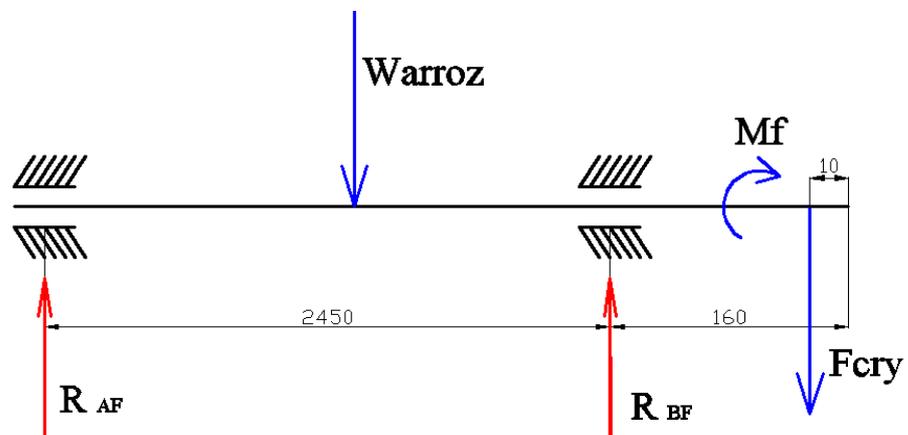


Figura 4.53: Cargas y reacciones en el plano xy

$$R_{BF} = 440.73 \text{ kg}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$R_{AF} + R_{BF} = W_{arroz} + F_{cy}$$

$$R_{AF} = 3.12 \text{ kg}$$

4.9.3.2 Plano XZ

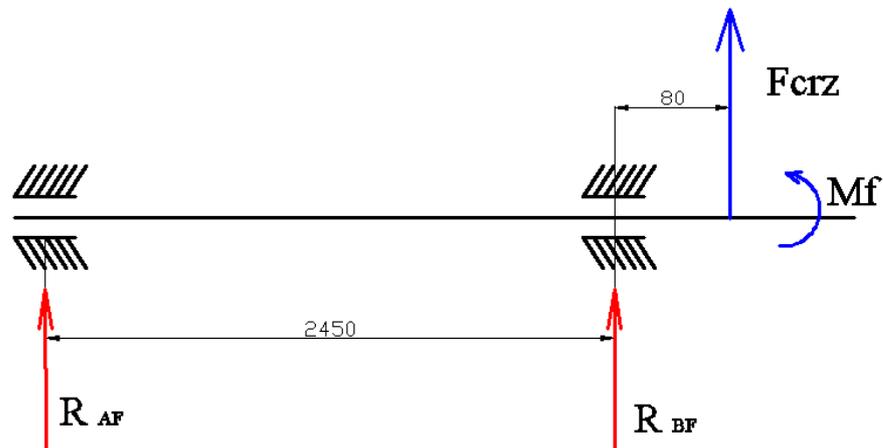


Figura 4.54: Cargas y reacciones en el plano xz

$$\sum M_A = 0$$

$$F_{cz} * D/2 + F_{cz} * 2.53 = -R_{BF} * 2.45$$

$$R_{BF} = -326.74 \text{ kg}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$R_{AF} + R_{BF} + F_{cz} = 0$$

$$R_{AF} = -R_{BF} - F_{cz}$$

$$R_{AF} = 20.92 \text{ kg}$$

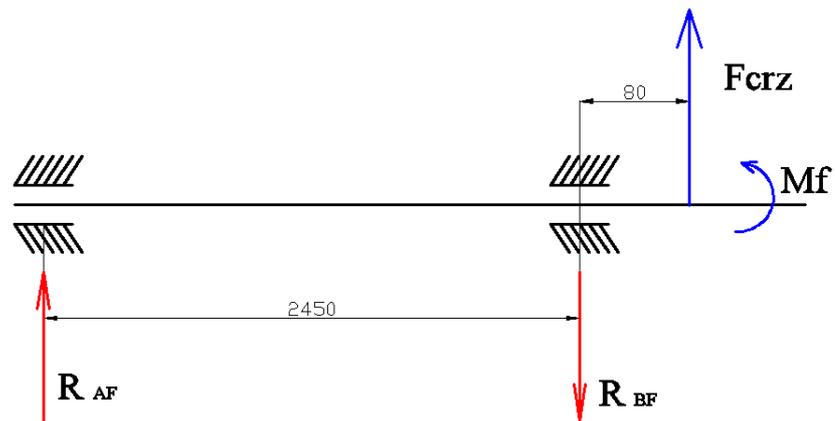


Figura 4.55: Cargas y reacciones verdaderas en el plano xz

4.9.4 Selección de rodamientos

4.9.4.1 Rodamiento A

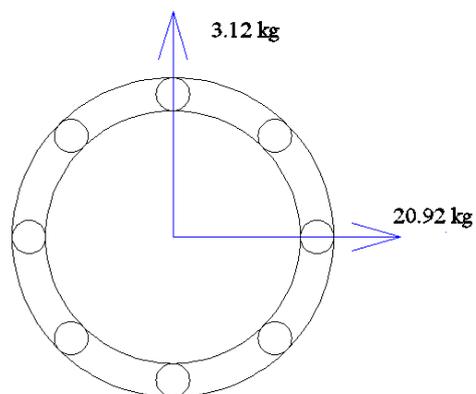


Figura 4.56: Cargas en rodamiento A

4.9.4.1.1 Carga radial

$$Fr = \sqrt{RAF_{xy}^2 + RAF_{xz}^2} \quad (4.43)$$

$$Fr = \sqrt{3.12^2 + 20.92^2} = 21.5 \text{ kg}$$

4.9.4.1.2 Carga axial

$$Fa = 0$$

$$C_{req} = \frac{fl}{fn} * P \quad (4.44)$$

Donde

C_{req} = capacidad de carga requerida

fl = factor de vida

fn = factor de velocidad

Carga radial equivalente

$$P = xFr + yFa \quad (4.45)$$

Como $Fa = 0$ entonces $y = 0$

$$P = Fr = 21.15 \text{ kg} = 0.207 \text{ KN}$$

Para rodamientos de rodillos según catalogo FAG ANEXO 4

$fl = 3.19$ para $ln = 24000h$, **Tabla fl ANEXO 4**

$fn = 1.22$ para $n = 17rpm$, **Tabla fn ANEXO 4**

$$C_{req} = \frac{fl}{fn} * P$$

$$C_{req} = \frac{3.19}{1.22} * 0.207$$

$$C_{req} = 0.541 \text{ KN}$$

Se selecciona el siguiente rodamiento: **ANEXO 4**

FAG NU 210 – E – TVP2

Datos técnicos:

$$C = 75 \text{ KN}$$

$$C_0 = 69 \text{ KN}$$

$$d = 50 \text{ mm}$$

4.9.4.1.3 Chequeo a carga estática

$$C_{0req} = f_s * Pr$$

$$C_{0req} = 1 * 0.541$$

$$C_{0req} = 0.541 \text{ KN}$$

$$C_0 \gg C_{0req} \rightarrow OK$$

4.9.4.2 Rodamiento B

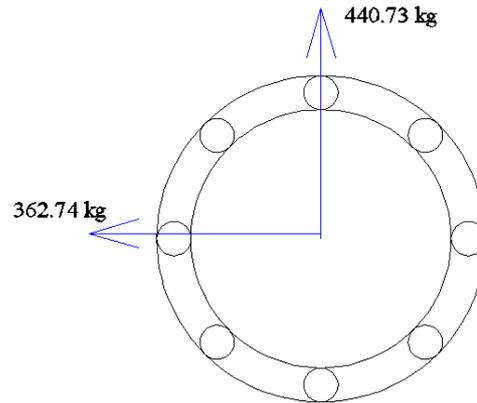


Figura 4.57: Cargas en rodamiento B

4.9.4.2.1 Carga radial

$$Fr = \sqrt{RAF_{xy}^2 + RAF_{xz}^2}$$

$$Fr = \sqrt{440.73^2 + 362.74^2} = 570.809 \text{ kg}$$

4.9.4.2.2 Carga axial

$$Fa = 0$$

$$C_{req} = \frac{fl}{fn} * P$$

Donde:

fl = factor de vida

fn = factor de velocidad

Carga radial equivalente

$$P = xFr + yFa$$

Como $F_a = 0$ entonces $y = 0$

$$P = Fr = 570.809 \text{ kg} = 5.59 \text{ KN}$$

Para rodamientos de rodillos según catalogo FAG **ANEXO 4**

$fl = 3.19$ para $ln = 24000h$, **Tabla de fl ANEXO 4**

$fn = 1.22$ para $n = 17rpm$, **Tabla de fn ANEXO 4**

$$C_{req} = \frac{fl}{fn} * P$$

$$C_{req} = \frac{3.19}{1.22} * 5.59$$

$$C_{req} = 14.6 \text{ KN}$$

Se selecciona el siguiente rodamiento: **ANEXO 4**

FAG NU 210 – E – TVP2

Datos técnicos:

$$C = 75 \text{ KN}$$

$$C_o = 69 \text{ KN}$$

$$d = 50\text{mm}$$

4.9.4.2.3 Chequeo a carga estática

$$C_{0req} = fs * Pr$$

$$C_{0req} = 1 * 14.6$$

$$C_{0req} = 14.6 \text{ KN}$$

$$C_0 \gg C_{0req} \rightarrow OK$$

Para evitar comprar rodamientos distintos se selecciona el siguiente rodamiento para todas los ejes dosificadores.

FAG NU 210 – E – TVP2

Datos técnicos:

$$C = 75 \text{ KN}$$

$$C_0 = 69 \text{ KN}$$

$$d = 50\text{mm}$$

4.9.4.3 Selección del soporte para rodamiento

Según el catalogo de rodamientos y soportes FAG se selecciono un **soporte – brida F11210** el mismo que será utilizado para todos los ejes dosificadores. (ANEXO 4)

Tabla 4.7: DATOS TÉCNICOS DEL RODAMIENTO Y SOPORTE

Rodamiento	Capacidad de carga dinámica	Capacidad de carga estática	Diámetro	Soporte de rodamiento
FAG NU 210 – E – TVP2	$C = 75 \text{ KN}$	$C_0 = 69 \text{ KN}$	$d=50\text{mm}$	F11210

4.10 Selección del sistema del quemador

Cabe destacar que el quemador a seleccionar esta complementado con un ventilador centrífugo doble oído el mismo que ayudara a obtener el caudal requerido y vencer las pérdidas de presión de los ductos.

Calculo de calor necesario:

$$\rho = 1.025 \frac{kg}{m^3}, \text{ Aire a } 43^{\circ}\text{C}$$

$$\dot{V} = 15.3 \frac{m^3}{s} \text{ Caudal total requerido.}$$

$$\dot{m} = \rho * \dot{V} \quad (4.46)$$

$$\dot{m} = 1.025 \frac{kg}{m^3} 15.30 \frac{m^3}{s} * \frac{3600s}{h}$$

$$\dot{m} = 56457 \frac{kg}{h}$$

$$Q = \dot{m} * cp * \Delta T \quad (4.47)$$

$$Q = 56457 \frac{kg}{h} * 1.0061 \frac{kJ}{kg^{\circ}\text{K}} * (43 - 23)^{\circ}\text{C}$$

$$Q = 1136028 \frac{kJ}{h}$$

4.10.1 Selección de un quemador de tamo marca MEPHISTO

Se selecciona un quemador de tamo mediano marca MEPHISTO con las siguientes características. **ANEXO 5**

Tabla 4.8: DATOS GENERALES DEL QUEMADOR DE TAMO MEPHISTO

Combustible	Tipo	Capacidad	Trasporte	Transmisión	Ventilador	Ventilador para cenizas
Tamo De Arroz	Mediano	500 sacas de arroz 10 a 30 toneladas de arroz.	1hp	1HP	1HP	Caudal: 0,18 m3/s Velocidad: 1750 rpm Potencia: 1HP

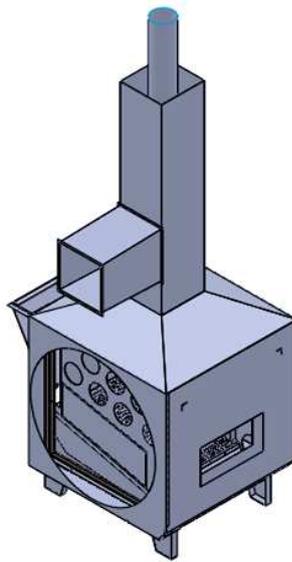


Figura 4.58: Quemadora de tamo marca MEPHISTO

4.11 Determinación de consumo de tamo

Para determinar el consumo de tamo se debe determinar primeramente la eficiencia del quemador.

4.11.1 Eficiencia del quemador

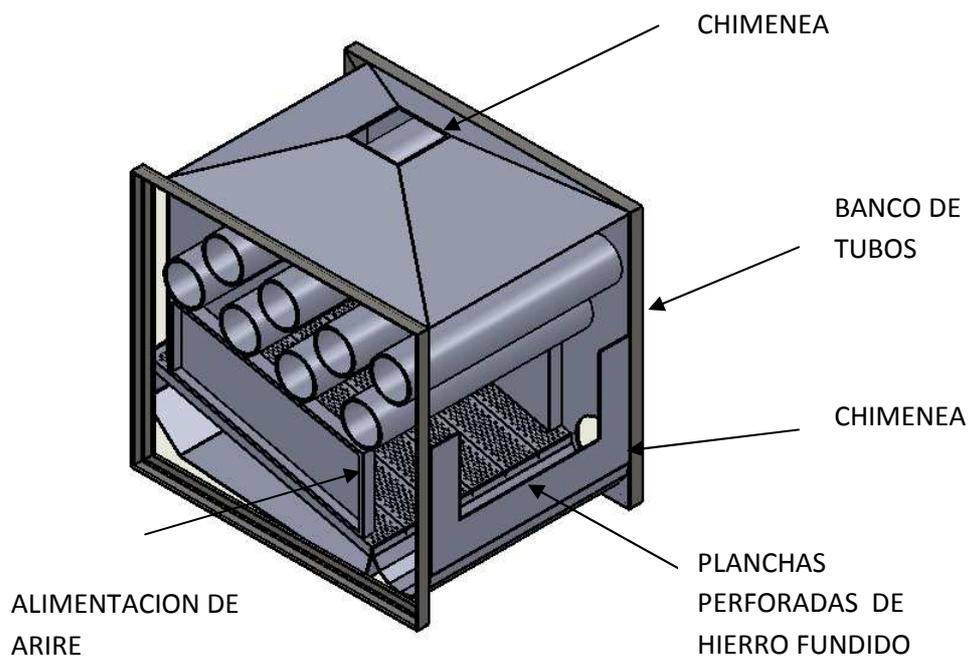


Figura 4.59: Elementos constitutivos de la quemadora de tamo marca MEPHISTO

Con los datos del quemador de la sección 4.11.1 se procede a determinar la eficiencia del quemador tomando datos reales de un quemador de tamo en donde se utilizaron elementos de medición provistos por la empresa INDUHORS

14.11.1.1 Elementos de medición utilizados

- Anemómetro
- Pirómetro Laser Digital
- Termocupla

14.11.1.2 Procedimiento

Primeramente se procedió a tomar las medidas de velocidad de flujo (aire), para lo cual utilizamos un anemómetro digital, el mismo que se colocó en la entrada de cada tubo, para de esta manera determinar un promedio de caudal en el banco de tubos

Luego con el pirómetro se tomó las medidas de temperatura tanto en el interior como en el exterior de cada uno de los tubos

Para poder conocer el consumo, primero se pesó las sacas de arroz y cada una de ellas pesa 43lb, luego se tomó las medidas de la tolva de alimentación y posteriormente procedimos a llenar con tamo de arroz, el espesor que disminuye conforme avanza el tiempo por el área de la tolva vendría a constituir el volumen consumido de tamo.

Con una termocupla se adquirió las medidas de temperatura del aire tanto en la entrada como en la salida del quemador

14.11.1.5 Desarrollo

14.11.1.5.2 Caudal de aire

Como los datos son tomados de un ventilador doble oído con las siguientes características:

Tabla 4.9: CARACTERÍSTICAS DEL VENTILADOR DOBLE OÍDO

Capacidad (sacas)	200..700
Modelo	BP-DE 15
CAUDAL (m ³ /s)	15.86
Presión (N/m ²)	572
Revoluciones (RPM)	995

La temperatura del aire medida por una termocupla en el momento de la adquisición de datos es de 32°C

Aire a 32°C

C_p= 1.00675 KJ / (Kg°K)

Densidad =1.03 kg/m³

14.11.1.5.3 Flujo de aire

$$\dot{m} = \dot{V} * \rho$$

$$\dot{m} = 15.86 * 1.03$$

$$\dot{m} = 16.33 \text{ kg/s}$$

14.11.1.5.4 Calor suministrado al aire

$$Q = \dot{m} * C_p * \Delta T$$

$$Q = 16.33 * 1.0084 * (50 - 32)$$

$$Q = 296.40 \text{ kJ/s}$$

14.11.1.5.5 El tiempo tomado 4 horas

$$4h = 14400s$$

$$Q = 296.40 \text{ kJ / s} * 14400 \text{ s}$$

$$Q = 4.2 \times 10^6 \text{ kJ}$$

14.11.1.6 Determinación de consumo

El consumo de tamo para el quemador es de 22 sacas en 4 horas

$$\text{Cada saca} = 43\text{lb} = 19,5 \text{ Kg}$$

$$\text{Total} = 22 * 19,5 = 429 \text{Kg}$$

Poder calorífico de la cascarilla = 13800KJ/kg

14.11.1.6.1 Calor producido por la cascarilla

$$Q = \dot{m} * \Delta h_o$$

$$Q = 429 * 13800$$

$$Q = 5.92 \times 10^6 \text{ kJ}$$

14.11.1.6.2 Eficiencia

$$\eta = \frac{Q_{\text{Aire}}}{Q_{\text{Tamo}}} \quad (4.48)$$

$$\eta = \frac{4.2 \times 10^6 \text{ kJ}}{5.92 \times 10^6 \text{ kJ}}$$

$$\eta = 70\%$$

La eficiencia del quemador es de 70%, el mismo que está calculado para las condiciones de trabajo habitual del quemador, este valor puede variar según las condiciones climáticas de la zona donde se secará el arroz, es decir que el consumo de tamo puede variar según. Con este valor procedemos a calcular el consumo de tamo para la secadora.

Consumo de tamo

Calor requerido

$$Q = 1136028 \frac{kJ}{h}$$

$$Q = 1136028 \frac{kJ}{h} * 4h$$

$$Q = 4.544x10^6 kJ$$

$$\eta = \frac{Q_{Aire}}{Q_{Tamo}}$$

$$Q_{Tamo} = \frac{Q_{Aire}}{\eta}$$

$$Q_{Tamo} = \frac{4.544x10^6}{0.70}$$

$$Q_{Tamo} = 6.49x10^6 kJ$$

$$Q_{Tamo} = \dot{m} * \Delta h_o$$

$$\dot{m} = \frac{Q_{Tamo}}{\Delta h_o} \tag{4.49}$$

$$\dot{m} = \frac{6.49x10^6 kJ}{13800 \frac{kJ}{kg}}$$

$$\dot{m} = 470kg$$

Como la base del cálculo está referida en 4 horas el consumo de tamo por hora es de:

$$\dot{m} = 117.6 \text{ kg/h}$$

4.12 Pérdidas de presión en sistema

4.12.1 Pérdida de presión por producto

Las normas ASHRAE nos ayudan a determinar la resistencia al flujo de aire por cantidad producto a secar utilizando la siguiente fórmula: [7]

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{aQ^2}{\ln(1+bQ)} \quad (4.50)$$

Donde:

$\Delta P = \text{presion (in de agua)}$

$L = \text{profundidad de producto (ft)}$

$Q = \text{tipo de flujo de aire (CFM/ft}^2\text{)}$

$a, b = \text{constantes empiricas [7]}$

Datos

$$Q_{as} = 10815.61CFM$$

$$m = 5500kg$$

$$\delta = 600 \text{ kg/m}^3$$

4.12.1.1 Determinación del volumen

$$\delta = \frac{m}{V} \quad (4.51)$$

$$V = \frac{m}{\delta}$$

$$V = \frac{5500kg}{600kg/m^3} = 9.16m^3$$

4.12.1.2 Determinación del área

$$A = \frac{V}{h} \quad (4.52)$$

h = altura de producto

$$A = \frac{9.16m^3}{0.25m} = 36.64m^2 = 394.38ft^2$$

4.12.1.3 Tipo de flujo de aire

$$Q = \frac{10815.61CFM}{394.38ft^2}$$

$$Q = 27.42 CFM/ft^2$$

Determinamos a y b de la **tabla 6 ANEXO 6** con el Q y el tipo de producto

$$a = 8.12 \times 10^{-4}$$

$$b = 6.71 \times 10^{-2}$$

$$L = 25cm = 0.82ft$$

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{aQ^2}{\ln(1+bQ)} \quad (4.53)$$

4.12.2 Pérdidas de presión por tubería de quemador

Datos:

, dato de campo

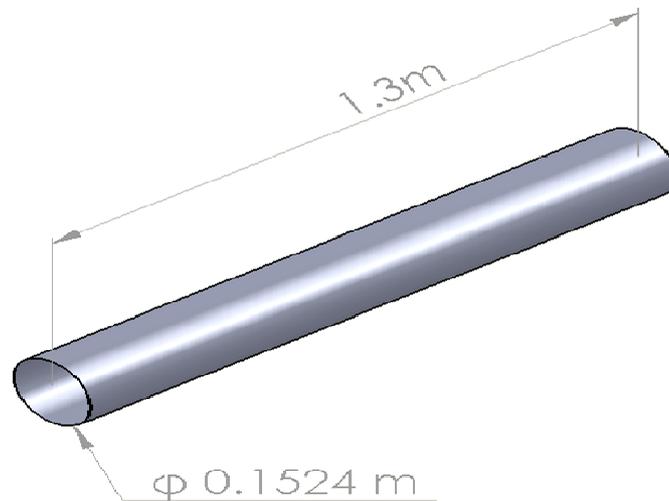


Figura 4.60: Tubería de 6 in del quemador

(4.54)

ΔP por 100m de longitud de tubería

Donde:

W = caudal en kilogramos por hora

d = diametro interior de la tubería en milímetros

\bar{V} = volumen específico del fluido en metros cúbicos por kilogramo

f = factor de fricción de la fórmula

4.12.2.1 Caudal que atraviesa por los tubos

$$A_t = \frac{\pi \phi^2}{4} \quad (4.55)$$

$$A_t = \frac{\pi(0.1524)^2}{4} = 0.01824m^2$$

$$Q_t = A_t * V_{mt}$$

$$Q_t = 7.44 \text{ m/s} * 0.01824m^2$$

$$Q_t = 0.1357 \text{ m}^3/\text{s}$$

4.12.2.2 Determinación de reynolds

$$Re = 354 \frac{W}{d\mu} \quad (4.56)$$

Donde:

μ = viscosidad absoluta (dinámica) en centipoises **Apéndice B – 2 ANEXO 7**

$$W = \rho_a * Q'_h * S_g \quad (4.57)$$

Donde:

ρ_a = densidad del fluido en kilogramo por metro cubico

$Q'_h = Q_t$ en metros cúbicos por hora

S_g = peso especifico de un gas respecto al aire

$$\rho_a = 1.1168 \text{ kg/m}^3, \text{ a } 43 \text{ }^\circ\text{C} \text{ Tabla A-18 ANEXO 7}$$

$$Q'_h = Q_t = 488.5 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$S_g = \frac{1.127}{1.01325} = 1.112$$

$$W = 1.1168 * 488.5 * 1.112$$

$$W = 606.65 \text{ kg/m}^3$$

$\mu = 0.195 \text{ centipoises}$ Apéndice A – 8 ANEXO 7

$$Re = 354 \frac{W}{d\mu}$$

$$Re = 354 \frac{606.65}{(152.4)(0.195)}$$

$$Re = 7226.4$$

$$\Delta P = 62530 \frac{fW^2\bar{V}}{d^5}$$

Con Reynolds en el **nomograma VII – b ANEXO 7**

$$f = 0.036$$

$$\bar{V} = \frac{1}{\rho_a}$$

$$\Delta P = 62530 \frac{fW^2}{d^5 \rho_a}$$

$$\Delta P = 62530 \frac{0.036(606.65)^2}{(152.4)^5 (1.1168)}$$

$$\Delta P = 0.009 \text{ bar}$$

$$\Delta P = 91.77 \text{ mmH}_2\text{O}$$

$$\Delta P_{1.3m} = 1.183 \text{ mmH}_2\text{O}$$

4.12.3 Pérdidas por ductos

Según **Tabla 14 – 19. ANEXO 7**

$$\Delta P = C * V_p \quad (4.58)$$

Donde:

C = coeficiente de fricción

V_p = presión de velocidad (in H₂O)

Datos:

$$Q_{mo} = 10815.61 \text{ CFM}$$

$$Q_T = 32446.83 \text{ CFM} = 15.30 \text{ m}^3/\text{s}$$

— —

4.12.3.1 Presión de velocidad

Tabla 14 – 19. ANEXO 7

—

(4.59)

—

4.12.4 Pérdidas en ducto principal de distribución

Con el caudal y el diámetro equivalente determinamos la pérdida de presión (**figura 8 – 2**)

ANEXO 7.

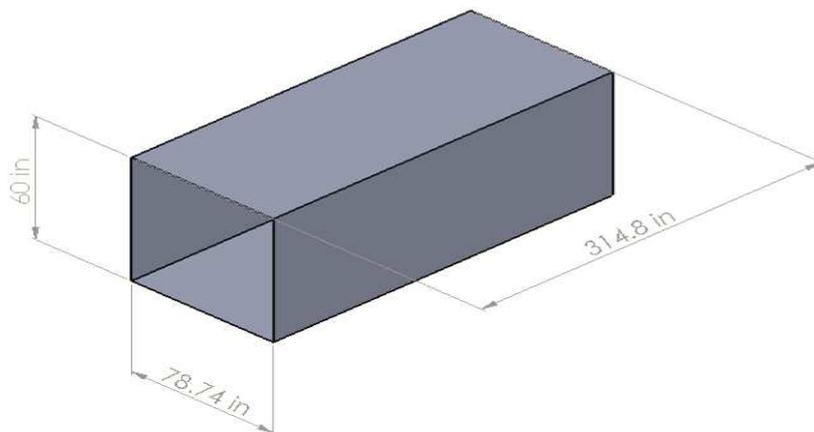


Figura 4.61: Ducto rectangular principal

$$Q_T = 32446.83CFM$$

$$d_{eq} = 1.3 \frac{(ab)^{0.625}}{(a+b)^{0.25}}$$

$$d_{eq} = 68.2 \text{ in}$$

$$L_d = 8 \text{ m} = 26.24 \text{ ft}$$

$$\Delta P = 0.01 \text{ in } H_2O, \text{ para } 100 \text{ ft}$$

$\Delta P = 0.254 \text{ mm } H_2O$, se considera este valor para mayorar la pérdida

4.12.5 Pérdida en ducto con obstrucción

Esta pérdida se toma por el cambio de sección a la entrada de los módulos.

$$\Delta P = C * V_p$$

Con los datos de la relación de L/R y el ángulo del elemento obstructor determinamos C

$$\frac{L}{R}$$

L = longitud del ducto

R = perímetro del ducto

Datos:

$$L = 2.4 \text{ m}$$

$$R = 2*1.5 + 2*2$$

$$R = 7 \text{ m}$$

$$\frac{L}{R} = \frac{2.4}{7} = 0.34$$

C = 2.3 Tabla 14 – 18 E ANEXO 7

4.12.6 Pérdida por accesorios

4.12.6.1 Pérdida en codos

4.12.6.1.1 Codo rectangular con radio

Con los datos de la relación de R/W y H/W determinamos C

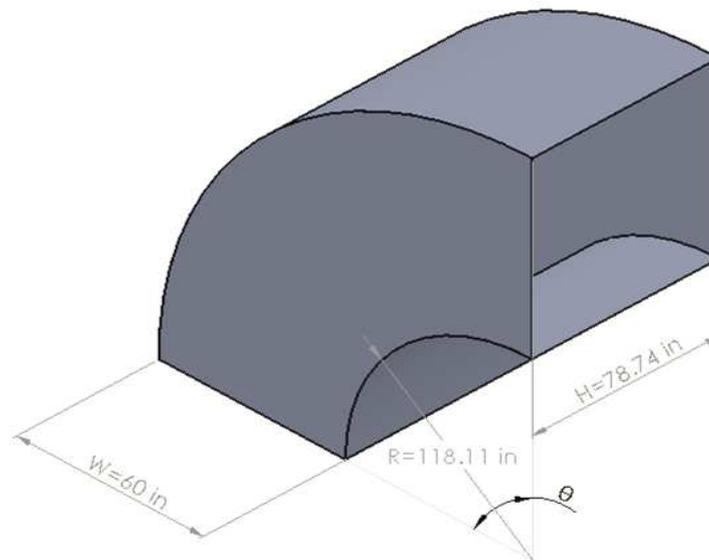


Figura 4.62: Codo rectangular con radio R

— —
 $C = 0.144$ **Tabla 14 – 10 F ANEXO 7**

4.12.6.1.2 Codo rectangular con convergencia y divergencia de flujo

Con los datos de la relación de W_1/W y H/W determinamos C

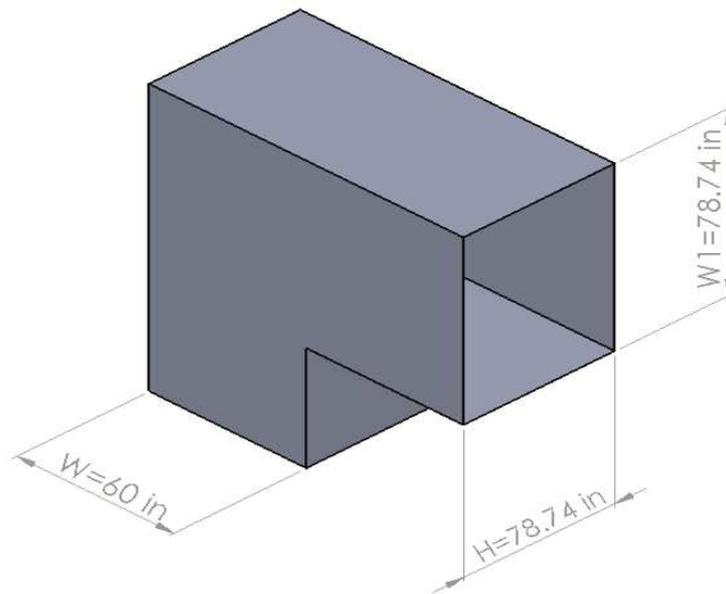


Figura 4.63: Codo rectangular con convergencia y divergencia de flujo

— —
 $C = 0.956$ **Tabla 14 – 10 E ANEXO 7**

$$\Delta P = 0.956 * 3.175$$

$$\Delta P = 1.52 \text{ mm } H_2O$$

4.12.7 Pérdidas en el sistema

La pérdida de presión total está dada por la suma de pérdidas por producto, por ductos y por accesorios teniendo:

$$\Delta P_T = \sum \Delta P_p \quad (4.60)$$

Donde:

ΔP_p , pérdidas parciales

$$\Delta P_T = 19.025 \text{ mm } H_2O$$

4.13 Selección de ventiladores

4.13.1 Ventilador doble oído

Este ventilador a seleccionar es el complemento del quemador de tamo, ya que con él se obtiene la mezcla adecuada de aire para obtener la temperatura de secado.

$$\Delta P_T = 19.025 \text{ mm } H_2O \quad (\text{Sección 4.12.7})$$

$V = 5.1 \text{ m}^3/\text{s}$ (Sección 4.1.10), como este ventilador proporciona todo el caudal requerido

para la secadora se tiene que el caudal total es de $Q = 15.30 \text{ m}^3/\text{s}$

La quemadora de tamo marca MEPHISTO tiene como complemento un ventilador centrífugo de doble aspiración marca JATUN HUAYRA de las siguientes características: **ANEXO 8**

**Tabla 4.10: CARACTERÍSTICAS DEL VENTILADOR JATUN HUAYRA
SELECCIONADO**

Capacidad (sacas)	200..700
MODELO	BP-DE 15
CAUDAL (m ³ /s)	15,86
Presión (N/m ²)	572
Revoluciones (RPM)	995
DISEÑO DE RODETE	
CAUDAL (m ³ /s)	7,93
Presión (N/m ²)	572
Revoluciones (RPM)	995
Diámetro Exterior (m)	0,84
Potencia (HP)	7,5
Número de paletas (u)	5
Núm. Paletas deseadas	8
Esp. Calculado (mm)	9
Espesor (mm)	8
Angulo entrada B1 (°)	15,3
Angulo salida B2 (°)	16,8
Paletas (u)	8
Grado de rendimiento(Eta)	0,776
Potencia (HP)	7,5
Velocidad circunf. (m/s)	16,6
Velocidad radial (m/s)	9,9

Este ventilador proporciona el caudal necesario a la temperatura de secado óptima, además que las pérdidas de presión en el sistema serán suplidas sin inconvenientes proporcionando un correcto funcionamiento del secador.

4.13.2 Ventiladores axiales

Con el caudal requerido y con la perdida de presión calculada se selecciona el ventilador del catalogo de la marca SOLER Y PALAU. **ANEXO 8**

$\Delta P_T = 19.025 \text{ mm H}_2\text{O}$ (Sección 4.2.2), pero al tener el ventilador centrifugo que supe todas las pérdidas, se considerara un 25% de las pérdidas totales para la selección del ventilador, siendo $\Delta P_T = 4.75 \text{ mm H}_2\text{O}$, este valor supe las perdidas luego que el aire atraviere el producto, es decir para la extracción de aire en la descarga.

$$V = 5.1 \text{ m}^3/\text{s} \quad (\text{Sección 4.1.10})$$

Según las graficas de selección observamos cual ventilador nos podría ser útil, y es aconsejable uno Tipo TGT.

El ventilador seleccionador tiene las siguientes características

Tabla 4.11: DATOS GENERALES DEL VENTILADOR SOLER Y PALAU SELECCIONADO

Marca	Modelo	Potencia	Velocidad	Peso
SOLER Y PALAU	TGT / 6 – 1000 – 3 /1.5 – a	1.5 HP	1150 rpm	55 kg

4.14 Selección del sistema de transporte

4.14.1 Parámetros

Cantidad a transportar: 20 Ton/h de arroz de la descarga al elevador

Tipo de arroz: Arroz paddy (arroz con cascara)

Longitud: 6m

Se seleccionara un transportador vibratorio del catalogo de JATARIG con tecnología alemana. **ANEXO 9**

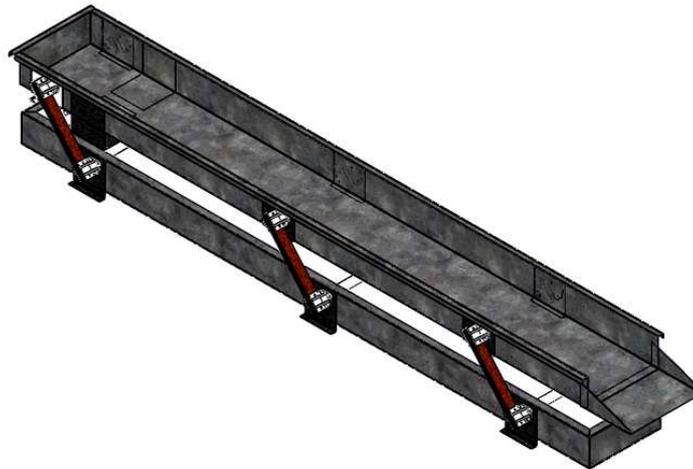


Figura 4.64: Transportador vibratorio JATARIG

Por las ventajas mostradas se selecciona una transportadora vibratoria marca JATARIG, con capacidad de 20 Ton/h, potencia de 1.5HP, longitud total de 6 m, construida en acero galvanizado para evitar corrosión.

**Tabla 4.12: DATOS GENERALES DEL TRANSPORTADOR VIBRATORIO
JATARIG SELECCIONADO**

Marca	Capacidad	Potencia	Longitud
JATARIG	20 - 30 Ton/h	1.5 HP	6m

4.15 Selección del sistema de elevación

4.15.1 Parámetros

Cantidad a elevar: 20 Ton/h de arroz de la descarga del transporte vibratorio hacia la tolva superior.

Se selecciona un elevador de cangilones según catálogo **JATARIG** con tecnología alemana.

ANEXO 10

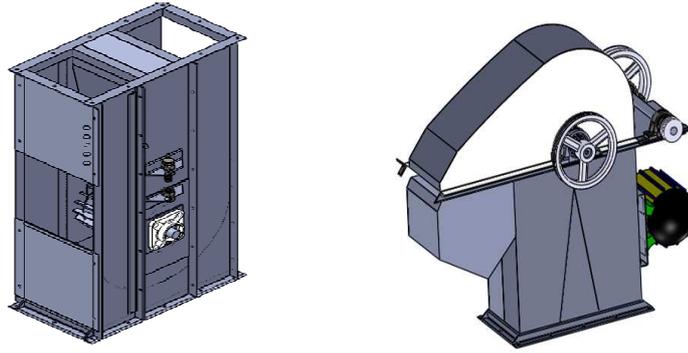


Figura 4.65: Bota y cabezal del elevador de cangilones

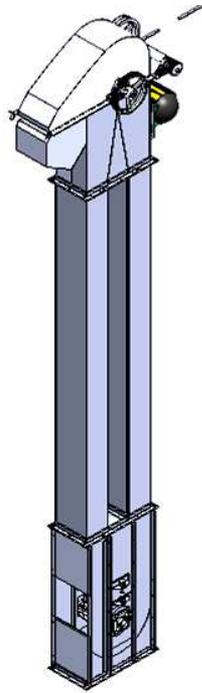


Figura 4.66: Elevador de cangilones JATARIG

Tipo de arroz: Arroz paddy (arroz con cascara)

Longitud: 14m

Se selecciona un elevador con las siguientes características:

Elevador de cangilones marca JATARIG con capacidad de 20 Ton/h, modelo ELEV 20, potencia de 3HP, longitud total de 14 m, construida en acero.

Tabla 4.13: DATOS GENERALES DEL ELEVADOR DE CANGILONES MARCA JATARIG

Marca	Modelo	Capacidad	Potencia	Longitud total
JATARIG	ELEV 20	20 Ton/h	3 HP	14 m

4.16 Análisis estructural

4.16.1 Determinación de cargas

4.16.1.1 Carga muerta por módulo

La carga muerta está determinada por los elementos que constituyen la estructura [9]

Tabla 4.14: ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN EL MÓDULO

DESCRIPCIÓN	# DE ELEMENTOS	PESO /U (kg)	PESO TOTAL X MÓDULO (kg)
Bandejas	120	9.570	1148.4
Apoyos Z	480	0.1169	56.112
Ángulos iguales	80	2	159.52
Pernos M6x16	2400	0.00603	14.472
Planchas	4	29.28	117.12
Ángulos	40	2	80
		Total	1575.62

4.16.1.2 Carga muerta por tolva

Tabla 4.15: ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN LA TOLVA

DESCRIPCION	# DE ELEMENTOS	PESO /U (kg)	PESO TOTAL X TOLVA (kg)
Planchas	6	29.28	175.68

4.16.1.3 Carga muerta por armazón lateral

Tabla 4.16: ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN EL ARMAZÓN LATERAL

DESCRIPCION	# DE ELEMENTOS	PESO /U (kg)	PESO TOTAL X ARMAZON LATERAL (kg)
Planchas	4	29.28	117.12

4.16.1.4 Carga por ventiladores

Peso por ventilador = 55 kg

La carga muerta total es de 6256.14kg, este valor incluye el valor de la base que es de 1072.27kg

4.16.2 Carga viva

4.16.2.1 Distribución de cargas

Para poder aplicar las cargas en el SAP tenemos que hacer una distribución trapezoidal de la carga, esto se lo realiza aplicando reglas de ingeniería civil al aplicarlas a columnas y armazones de hormigón armado.

4.16.2.2 Tolva

$$A = 3.1m * 2.44m = 7.56 m^2$$

$$p_1 = \frac{3500 \text{ kg}}{75600 \text{ cm}^2}$$

$$p_1 = 0.0478 \text{ kg/cm}^2$$

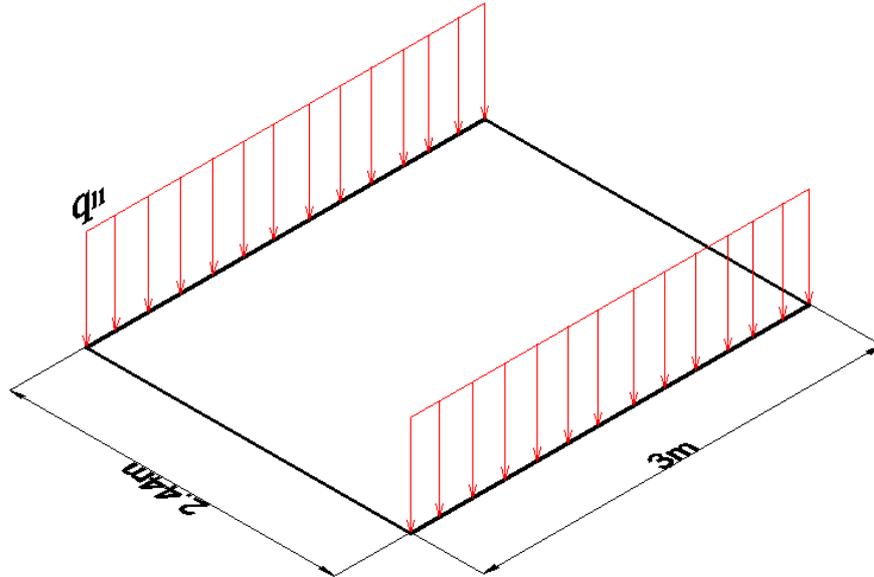


Figura 4.67: Distribución de áreas para las cargas actuantes en la tolva

Para calcular la carga distribuida multiplicamos la carga por la altura del trapecio y asignamos en los Frames del SAP

$$q_{l1} = p_1 * h \quad (4.61)$$

$$q_{l1} = 0.046 \text{ kg/cm}^2 * 1.22\text{m}$$

$$q_{l1} = 5.64 \text{ kg/cm}$$

Lo mismo lo realizamos para la carga trapezoidal opuesta que nos da el mismo valor

4.16.2.3 Módulos

$$A = 3.1\text{m} * 2.44\text{m} = 7.564 \text{ m}^2$$

$$p_2 = \frac{5500 \text{ kg}}{75640 \text{ cm}^2}$$

$$p_2 = 0.072 \text{ kg/cm}^2$$

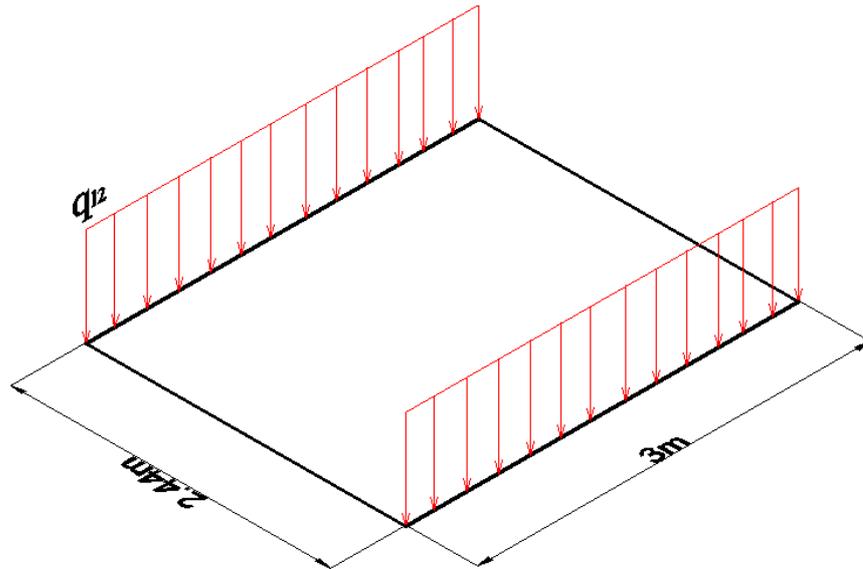


Figura 4.68: Distribución de áreas para las cargas actuantes en los módulos

Para calcular la carga distribuida multiplicamos la carga por la altura del trapecio y asignamos en los Frames del SAP

$$q_{l2} = p_2 * h \quad (4.62)$$

$$q_2 = 0.073 \text{ kg/cm}^2 * 1.22\text{m}$$

$$q_{l2} = 8.87 \text{ kg/cm}$$

4.16.3 Carga por viento

Para la determinar la carga por viento se usa la siguiente fórmula

$$P = C_e * I_w * C_q * q_s \quad (4.63)$$

Donde

P = presión de diseño por viento kg/cm^2

C_e = factor de ráfaga o exposición

I_w = factor de importancia

C_q = coeficiente de presión

q_s = presión del viento

Entonces:

$$q_s = 0.00256V^2$$

Donde:

$$q_s = lb/ft^2$$

$$V = mph$$

Según datos obtenidos del código ecuatoriano de la construcción la velocidad del viento en la zona donde va a trabajar la maquina es de 60 km/h . **ANEXO 11**

El claro de la estructura es de 2.44m

$$V = 60 \text{ km/h} = 37.28 \text{ mph}$$

$$q_s = 0.00256(37.28)^2$$

$$q_s = 3.56 \text{ lb/ft}^2 = 17.38 \text{ kg/m}^2$$

$$q_s = 17.38 \text{ kg/m}^2 * 2.44\text{m}$$

$$q_s = 42.41 \text{ kg/m} = 0.4241 \text{ kg/cm}$$

C_e = factor de ráfaga o exposición. **Tabla 16-G ANEXO 11**

Exposición tipo D por encontrarse a campo abierto

$C_e = 1.62$ para una altura de $40 \text{ ft} = 12 \text{ m}$

I_w = factor de importancia. **Tabla 16-k ANEXO 11**

$I_w = 1$ para una estructura común o almacén

C_q = coeficiente de presión. **Tabla 16-H ANEXO 11**

$C_q = 1.3$ para estructuras menores o iguales a 40 ft

Por lo tanto

$$P = C_e * I_w * C_q * q_s$$

$$P = 1.62 * 1 * 1.3 * 0.4241$$

$$P = 0.8933 \text{ kg/cm}$$

4.16.4 Carga por sismo

Se determina por la siguiente ecuación

$$V = \frac{Z * I * C}{R \phi_p \phi_E} * W \quad (4.64)$$

$$C = \frac{1.25 S^S}{T} \quad (4.65)$$

Donde

V = Cortante basal de diseño

Z = Coeficiente de zona

$\varphi_p \varphi_E$ = Factores de configuración estructural en planta y elevación

R = Factor de reducción de respuesta estructural

I = Factor de importancia

S = Coeficiente de suelo

T = Periodo de vibración

4.16.4.1 Coeficiente de reducción de respuesta estructural

Para estructuras de acero con elementos armados. **Tabla 7 ANEXO 11**

$$R = 7$$

4.16.4.2 Coeficiente de zona

Estas maquinas se van a ubicar el Daule que se ubica en la zona 3, **Tabla 1 ANEXO 11**

donde:

$$Z = 0.3$$

4.16.4.3 Factor de importancia

Al ser una estructura común. **Tabla 4 ANEXO 11**

$$I = 1.3$$

4.16.4.4 Coeficiente de suelos

Al tener un suelo intermedio el perfil es tipo S2, **Tabla 3 ANEXO 11**, entonces:

$$S = 1.2 \text{ y } C_m = 1.2$$

4.16.4.5 Factores de configuración estructural en planta y elevación

$\varphi_p \varphi_E = 1$, según **Tabla 5 y 6 ANEXO 11**

4.16.4.6 Periodo

El periodo se calcula por la fórmula

$$T = C_f * (h)^{3/4} \quad (4.66)$$

Donde:

$C_f = 0.09$ para pórticos de acero. **Pág. 13 del Código Ecuatoriano de la Construcción.**

$$h = 12m = 40ft$$

$$T = 0.058$$

Con estos datos determinar C

$$C = \frac{1.25S^S}{T}$$

$$C = \frac{1.25 * 1.2^{1.2}}{0.58}$$

$$C = 2.68 \leq 3 \text{ Ok}$$

$$V = \frac{Z * I * C}{R \varphi_p \varphi_E} * W$$

$$V = 0.12W$$

Debido a que en el montaje de un modulo sobre otro se presenta un perfil doble y al no tener una figura predeterminada en SAP, se debe determinar las propiedades para dicho perfil y estas deben ser ingresadas como un nuevo elemento general.

4.16.5 Análisis de perfil modificado de la estructura

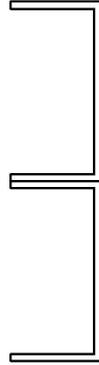


Figura 4.69: Perfil modificado

Según el programa AUTO CAD se tiene las siguientes propiedades:

Área: 1536.0000

Perímetro: 684.0000

Cuadro delimitador: X: 0.0000 -- 50.0000

Y: 0.0000 -- 200.0000

Centro de gravedad: X: 36.0208

Y: 100.0000

Momentos de inercia: X: 21563392.0000

Y: 2363392.0000

Producto de inercia: XY: 5532800.0000

Radios de giro: X: 118.4849

Y: 39.2258

Momentos principales y direcciones X-Y alrededor del centro de gravedad:

I: 370431.3333 a lo largo de [0.0000 -1.0000]

J: 6203392.0000 a lo largo de [1.0000 0.0000]

Tabla 4.17: DATOS OBTENIDOS PARA EL PERFIL MODIFICADO

Área	Perímetro	Centroide	Principales momentos de inercia	Radios de giro
1536.0mm	684.0mm	X: 36.0208 Y: 100.0000	I: 370431.3333 J: 6203392.0000	X: 118.4849 Y: 39.2258

4.16.6 Cargas ingresadas al programa SAP 2000

4.16.6.1 Carga muerta

Para la aplicación de la carga muerta se maximiza el factor de carga dividiendo el peso de la estructura completa para el valor de los perfiles del SAP ya que no se pueden modelar cada detalle de la estructura

$$factor = \frac{W_{completo}}{W_{sap}} \quad (4.67)$$

$$factor = \frac{6127.33\text{kg}}{3040}$$

$$factor = 2.057$$

4.16.6.2 Carga viva

4.16.6.2.1 Tolva

$$q_{l1} = 5.6 \text{ kg/cm}$$

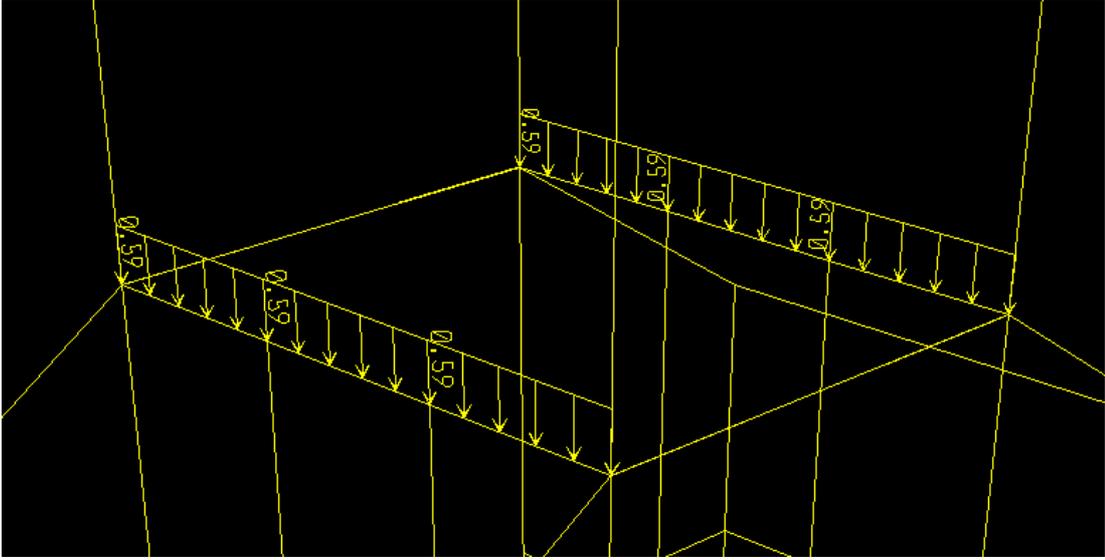


Figura 4.70: Carga viva aplicada en la tolva

4.16.6.2.2 Módulos

$$q_{l2} = 8.87 \text{ kg/cm}$$

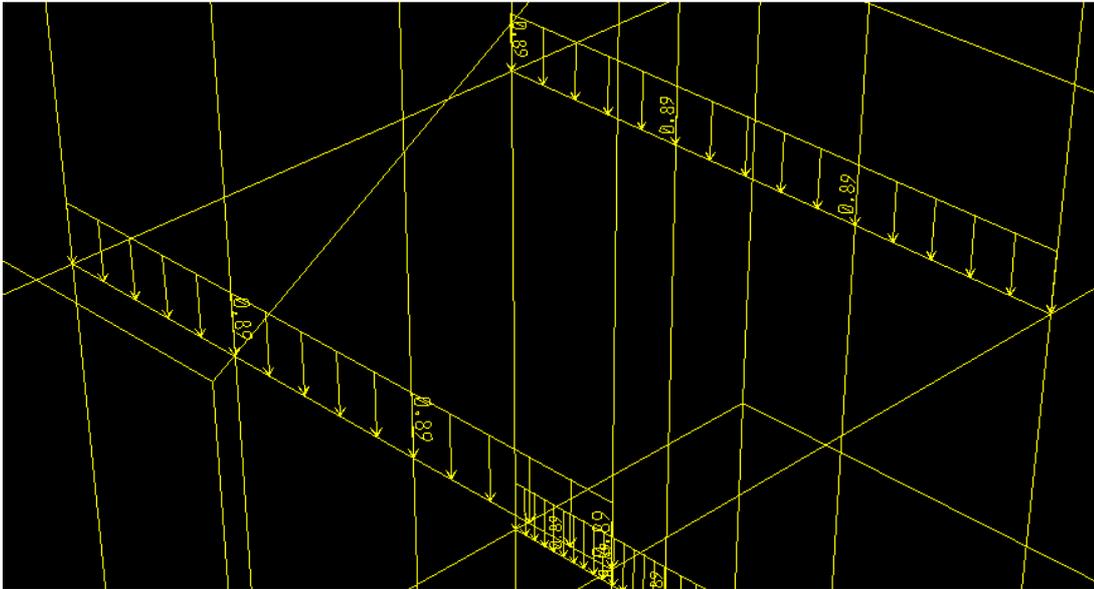


Figura 4.71: Carga viva aplicada a los módulos

4.16.6.3 Viento

$$P = 0.316 \text{ kg/cm}$$

4.16.6.4 Sismo

$$V = 0.12W$$

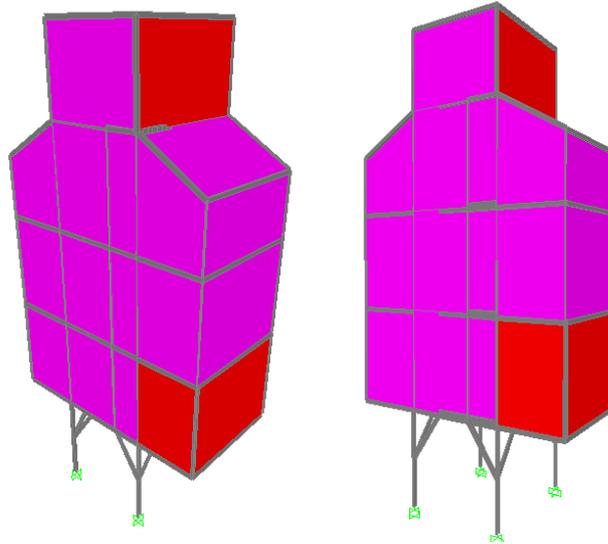


Figura 4.72: Representación en SAP 2000 de la estructura cubierta a analizar

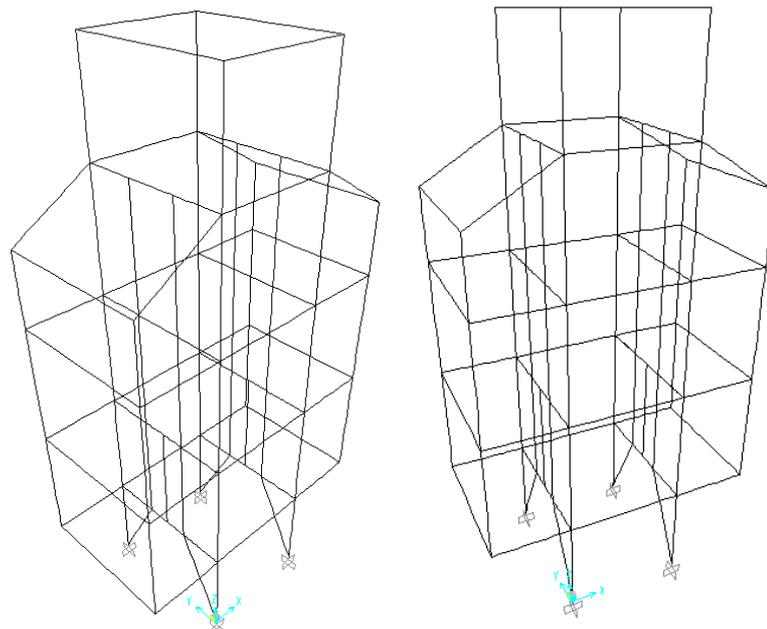


Figura 4.73: Representación en SAP 2000 de la estructura con los perfiles a analizar

4.16.7 Deformaciones según SAP 2000

Según el programa SAP2000 se tiene las siguientes deformaciones

4.16.7.1 Deformaciones por carga muerta

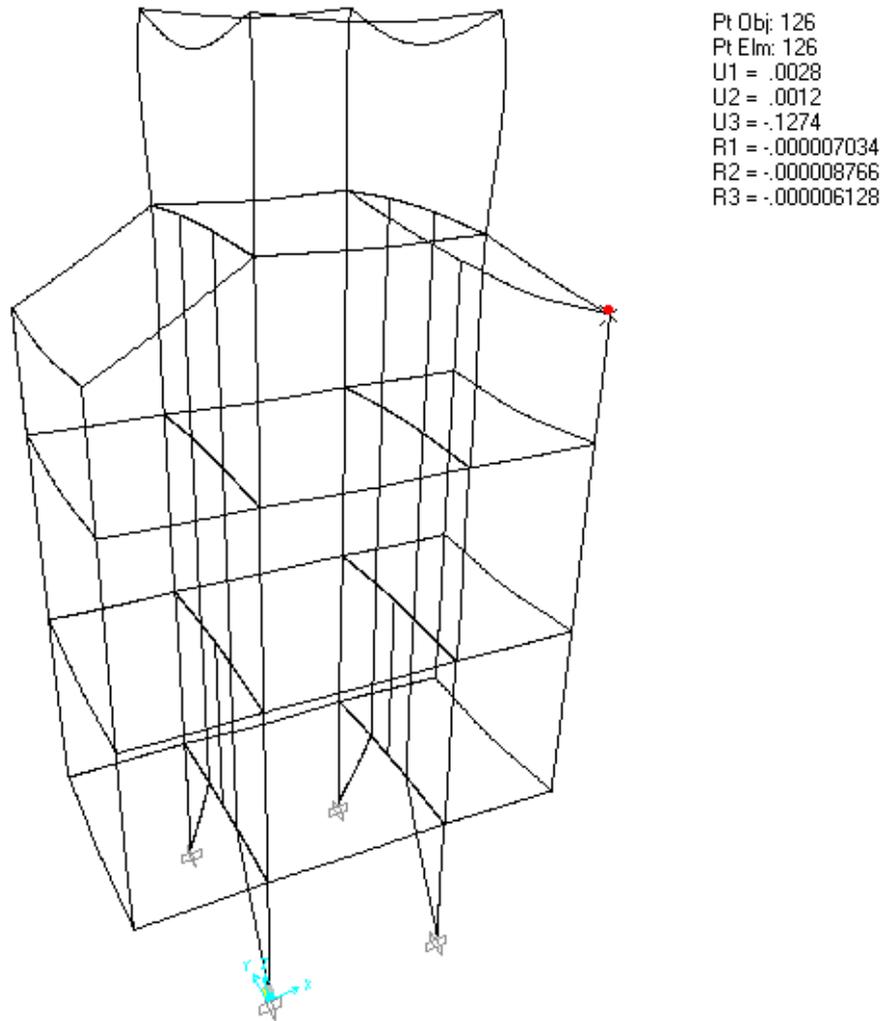


Figura 4.74: Esquema y resultados del análisis de carga muerta

4.16.7.2 Deformaciones por carga viva

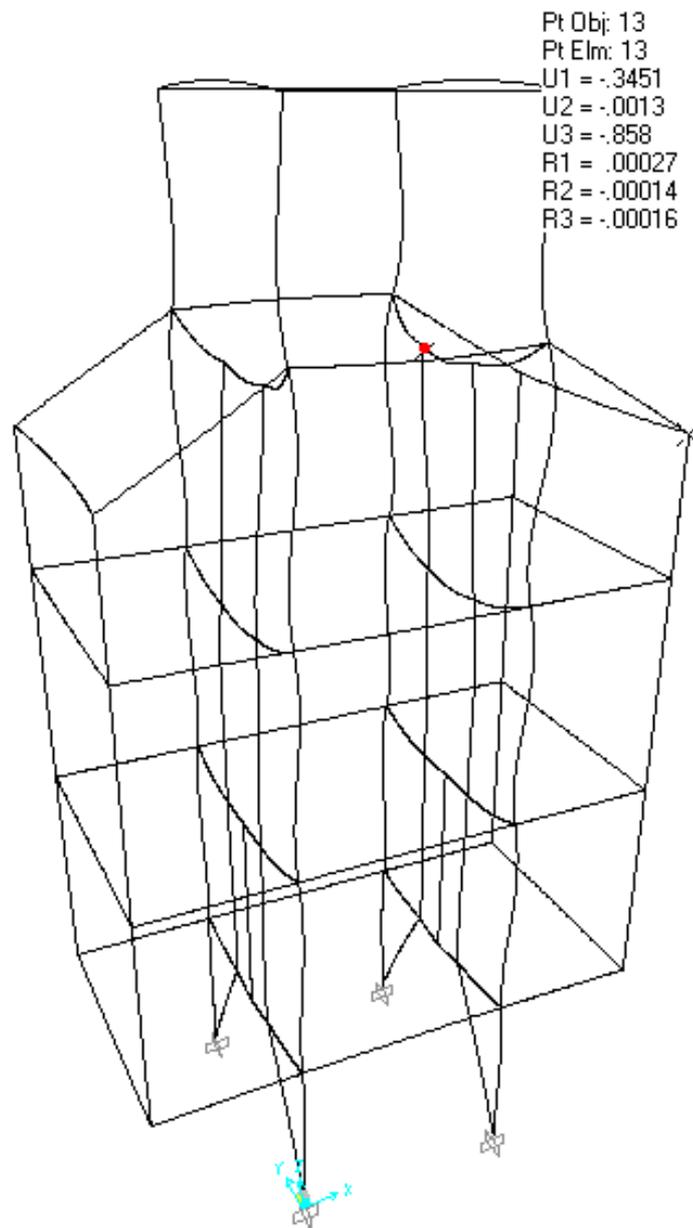


Figura 4.75: Esquema y resultados del análisis por carga viva

4.16.7.3 Deformaciones por viento

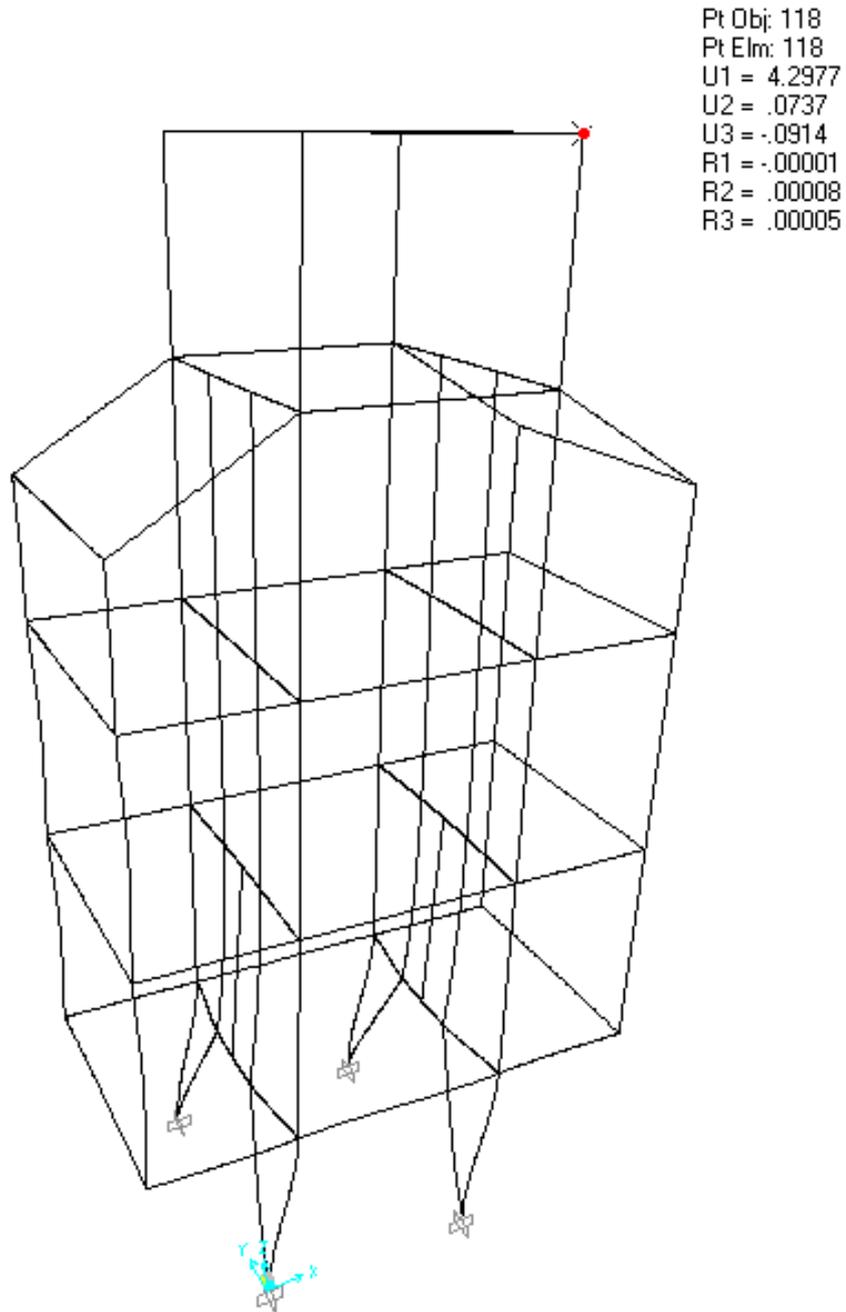


Figura 4.76: Esquema y resultados del análisis por viento

4.16.7.4 Deformaciones por sismo

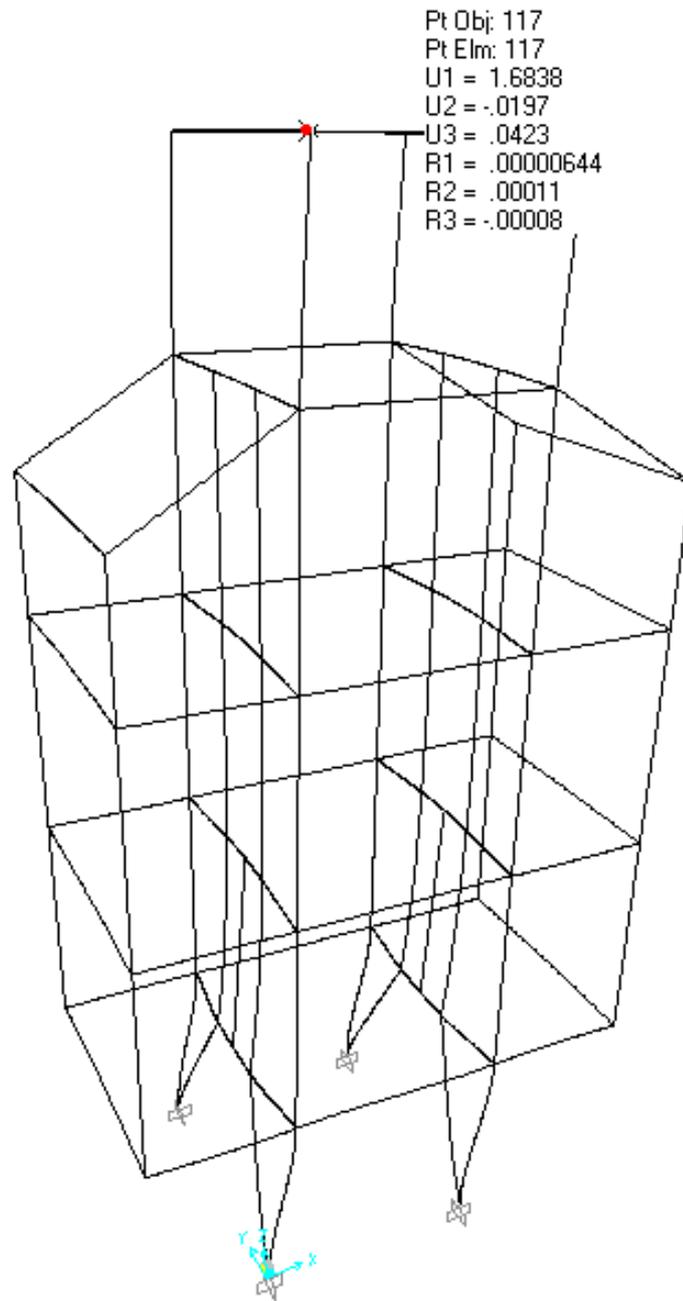


Figura 4.77: Esquema y resultados del análisis por sismo

4.16.7.5 Deformaciones por combinaciones de carga

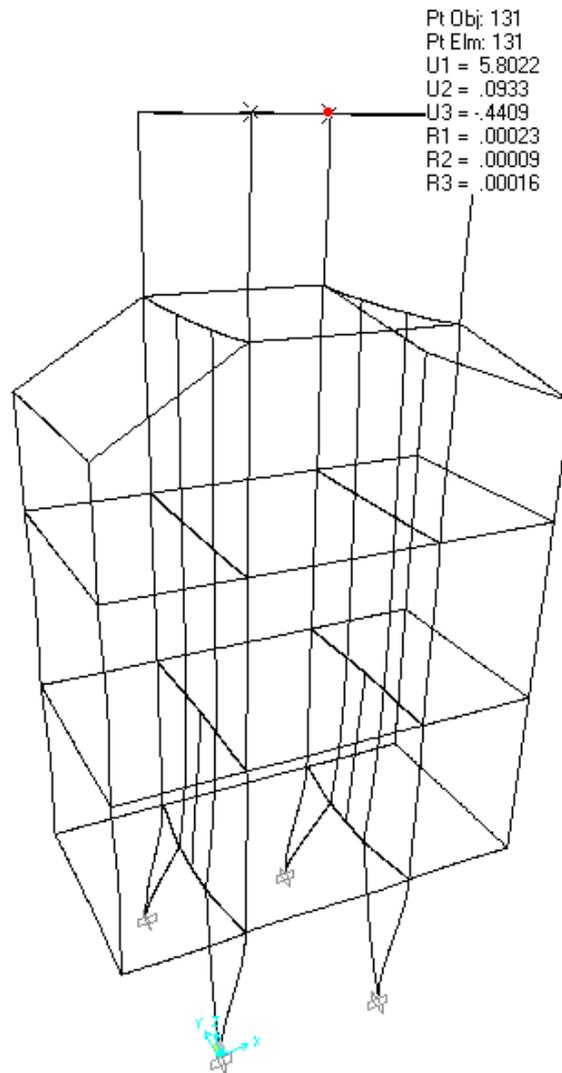


Figura 4.78: Esquema y resultados del análisis por combinación de carga

Se determina que el mayor desplazamiento es producido por combinaciones de carga siendo de 5.8 mm en la dirección x.

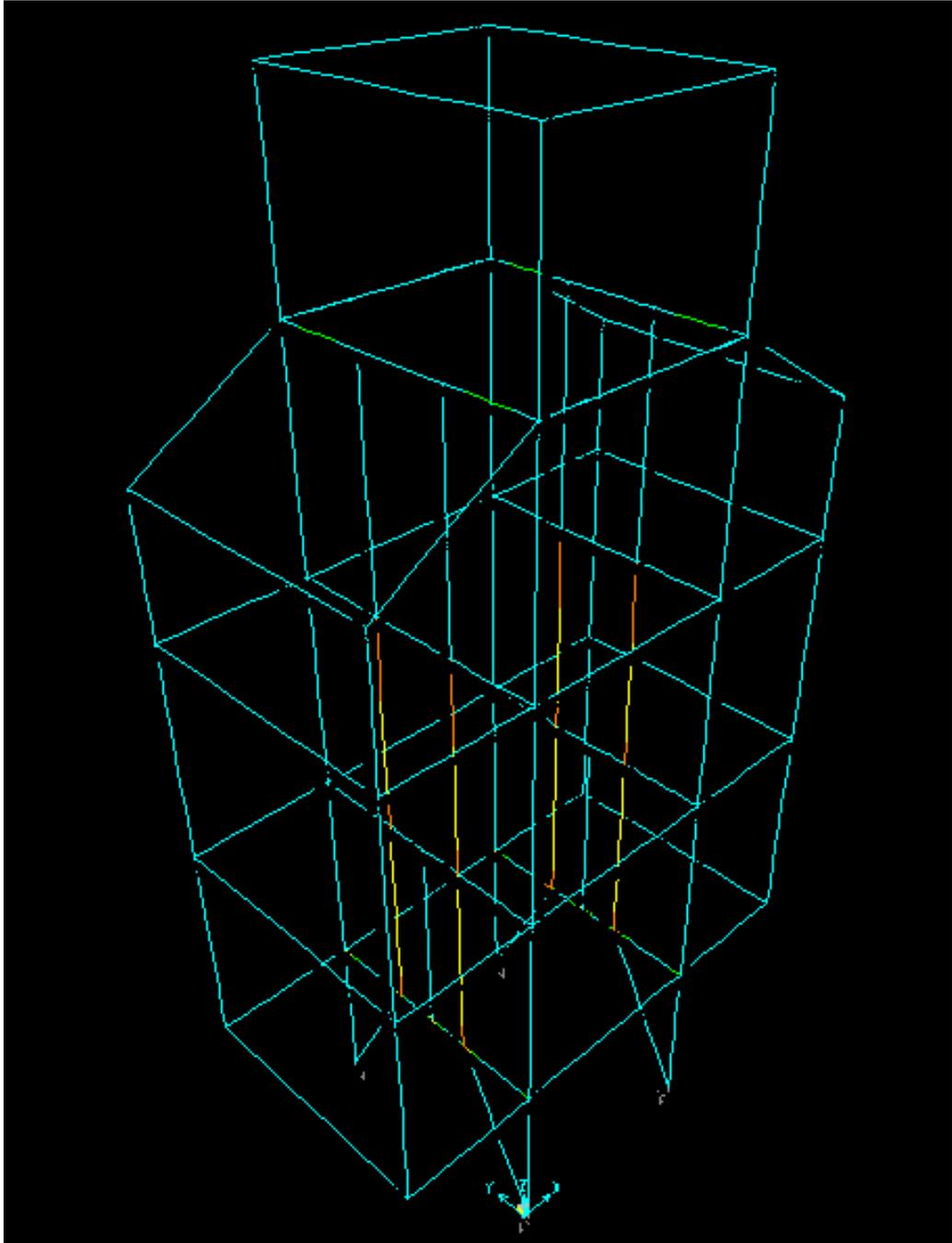


Figura 4.79: Zonas críticas en la estructura del secador.

Analizando los perfiles críticos del secador se obtuvo:

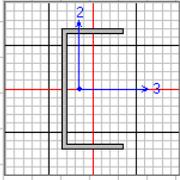
AISC-ASD89 STEEL SECTION CHECK							Units	
Combo : DSTL2							Kgf, mm, C	
Units : Kgf, mm, C								
								
Frame	: 951	Design Sect:	C100X50X4					
X Mid	: 2501.903	Design Type:	Column					
Y Mid	: 1000.000	Frame Type	: Moment Resisting Frame					
Z Mid	: 6552.002	Sect Class	: Non-Compact					
Length	: 312.500	Major Axis	: 0.000 degrees counterclockwise from local 3					
Loc	: 312.500	RLLF	: 1.000					
Area	: 768.000	SMajor	: 23633.920	rMajor	: 39.226	AVMajor	: 400.000	
IMajor	: 1181696.000	SMInor	: 5141.904	rMInor	: 15.530	AVMInor	: 400.000	
IMInor	: 185215.667	ZMajor	: 27664.000	E	: 20389.019			
Ixy	: 0.000	ZMInor	: 9261.440	Fy	: 25.311			
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS								
Location	P	M33	M22	U2	U3	T		
312.500	-2456.346	-1758.537	2225.905	0.631	-1.743	0.869		
PMH DEMAND/CAPACITY RATIO								
Governing Equation (H1-1)	Total Ratio	P Ratio	MMajor Ratio	MMInor Ratio	Ratio Limit	Status Check		
	0.945	= 0.795	+ 0.011	+ 0.139	0.950	OK		
AXIAL FORCE DESIGN								
	P Force	fa Stress	Fa Allowable	Ft Allowable				
Axial	-2456.346	3.198	4.022	15.186				
MOMENT DESIGN								
	H Moment	Fb Stress	Fb Allowable	Fe Allowable	Cm Factor	K Factor	L Factor	Cb Factor
Major Moment	-1758.537	0.074	6.749	1654.223	0.955	1.000	1.000	1.000
Minor Moment	2225.905	0.433	15.186	4.022	1.000	1.004	8.000	

Figura 4.80: Resultados de esfuerzos sobre el perfil crítico

Siendo este el punto más crítico en los resultados del análisis, no se observa que exista un sobreesfuerzo en el perfil, por lo tanto el diseño es aceptable para su construcción.

4.16.8 Diseño de la placa base

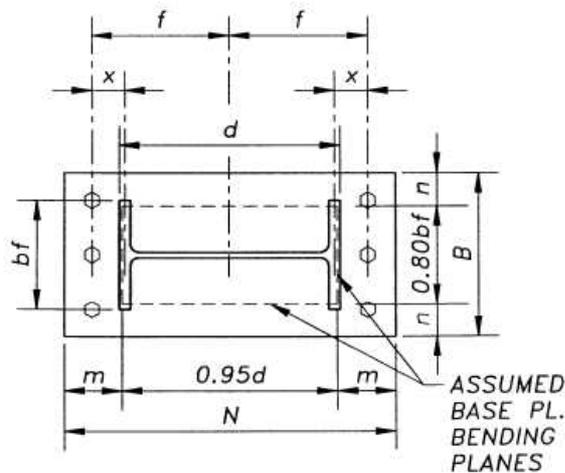


Fig. 1. Base Plate Design Variables

Figura 4.81: Variables para el diseño de la placa base

El diseño de la placa base se determina por las siguientes formulas según el método LRFD:

[12]

$$Pu = 1.2CM + 1.6CV \quad (4.68)$$

Donde:

Pu = carga factorizada

CM = carga muerta

CV = carga viva

$$Pu = \phi c(0.85f'cA1) \quad (4.69)$$

Donde:

$f'c$ = resistencia del concreto

$A1$ = área de la placa base

$$A1 = \frac{Pu}{fc * 0.85f'c}$$

$$A1 = \frac{Pu}{\phi c * (0.85f'c) \sqrt{\frac{A2}{A1}}} \quad (4.70)$$

Donde:

$A2$ = área de la zapata

$\sqrt{\frac{A2}{A1}}$ no sea > que 2

$$A1 = bf * d \quad (4.71)$$

$$\nabla = \frac{0.95d - 0.8bf}{2} \quad (4.72)$$

$$N = \sqrt{A1} + \nabla \quad (4.73)$$

$$B = \frac{A1}{N} \quad (4.74)$$

$$m = \frac{N - 0.95d}{2} \quad (4.75)$$

$$n = \frac{B - 0.8df}{2} \quad (4.76)$$

$$\phi c P p = 0.6(0.85 f' c A1) \sqrt{\frac{A2}{A1}} \quad (4.77)$$

$$X = \frac{4dbf}{(d+bf)^2} \frac{Pu}{\phi c P p} \quad (4.78)$$

$$\kappa = \frac{2\sqrt{X}}{1 + \sqrt{1-X}} \quad (4.79)$$

$$\kappa n' = \frac{\kappa \sqrt{dbf}}{4} \quad (4.80)$$

$$Treq = \iota \sqrt{\frac{2Pu}{0.9FyBN}} \quad (4.81)$$

Según el programa SAP

Tabla 4.18: DATOS OBTENIDOS PARA EL PERFIL MODIFICADO

Carga muerta	Carga viva
F1= 0.84 kg	F1= 0.66 kg
F2= 133.96 kg	F2= 1660.46
F3= 1513.82kg	F3= 4890 kg

Para el diseño se toma la carga axial perpendicular a la placa que es F3, el concreto tiene una resistencia especificada a compresión $f'c=3Ksi$, con una zapata de 8x8in.

$$Pu = 1.2 * 1513.82 + 1.6 * 4890$$

$$Pu = 9640.584kg = 21.25Klb$$

$$A1 = \frac{21.25}{0.6 * 0.85 * 3 * 2}$$

$$A1 = 6.94 \text{ in}^2$$

$$A2 = 8 * 8$$

$$A2 = 64 \text{ in}^2$$

$$\sqrt{\frac{A2}{A1}} = 3.03$$

Como A1 debe ser por lo menos igual al área de la columna, se toma este valor de la siguiente ecuación.

Perfil cuadrado 10x10x0.8mm

$$bf = 10cm = 3.93in$$

$$d = 10cm = 3.93in$$

$$A1 = bf * d$$

$$A1 = 3.93 * 3.93$$

$$A1 = 15.45 \text{ in}^2$$

$$\nabla = \frac{0.95d - 0.8bf}{2}$$

$$\nabla = \frac{0.95 * 3.93 - 0.8 * 3.93}{2}$$

$$\nabla = 0.295$$

$$N = \sqrt{A1} + \nabla$$

$$N = \sqrt{15.45} + 0.295$$

$$N = \sqrt{15.45} + 0.295$$

$$N = 4.22in$$

$$B = \frac{A1}{N}$$

$$B = \frac{15.45}{4.22}$$

$$B = 3.65$$

Se selecciona una placa base de 7x7in para cubrir toda el área de la columna.

$$m = \frac{N - 0.95d}{2}$$

$$m = \frac{6 - 0.95 * 3.93}{2}$$

$$m = 1.13in$$

$$n = \frac{B - 0.8df}{2}$$

$$n = \frac{6 - 0.8 * 3.93}{2}$$

$$n = 1.42 in$$

$$\phi cPp = 0.6(0.85f'cA1) \sqrt{\frac{A2}{A1}} = 0.6 * 0.85 * 3 * 6 * 6 * 2$$

$$\phi_c P_p = 110.16 \text{ Klb}$$

$$X = \frac{4dbf}{(d+bf)^2} \frac{Pu}{\phi_c P_p}$$

$$X = \frac{4 * 3.93 * 3.93}{(3.93 + 3.93)^2} \frac{21.25}{110.16}$$

$$X = 0.192$$

$$\kappa = \frac{2\sqrt{X}}{1 + \sqrt{1 - X}}$$

$$\kappa = \frac{2\sqrt{0.192}}{1 + \sqrt{1 - 0.192}}$$

$$\kappa = 0.44 \text{ in}$$

$$\kappa n' = \frac{\kappa \sqrt{dbf}}{4}$$

$$\kappa n' = \frac{0.44 \sqrt{3.93 * 9.93}}{4}$$

$$\kappa n' = 0.43 \text{ in}$$

$T_{req} = 1.13 \sqrt{\frac{2Pu}{0.9F_y B N}}$, como la placa base será construida en acero A36 entonces $F_y = 36 \text{ ksi}$.

$$T_{req} = 1.42 \sqrt{\frac{2 * 21.25}{0.9 * 36 * 6 * 6}}$$

$$T_{req} = 0.271 \text{ in} = 6.88 \text{ mm}$$

Se selecciona una placa base de $7 * 7 * 0.315 \text{ in}$

CAPÍTULO V

5. DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL

5.1 Sistema de control

5.1.1 Control de temperatura

5.1.1.1 Elemento primario de medición

Se emplea un sensor de temperatura el mismo que tiene conexión directa con el micro, este nos permitirá controlar la temperatura del aire que ingresa a las cámaras de secado proporcionando la información de control.

5.1.1.2 Controlador

Se selecciona un micro controlador el mismo que se encargara de proporcionar una selección de parámetros que controlen los diferentes elementos del secador para evitar en lo mínimo posible la manipulación de un operador

5.1.1.3 Elemento final de control

Los contactores constituyen el elemento final de control. Dado que la corriente máxima que circularán a través de las resistencias es de 23 A, se seleccionan relés de estado sólido con capacidad nominal de corriente igual a 30 A

5.1.2 Descripción del funcionamiento

Primeramente se toma en cuenta que la variable más importante a controlar es la temperatura ya que la misma no debe sobrepasar los 43 grados centígrados, esta variable se la controla desde el sistema de generación de calor que es la quemadora de tamo, idealmente se debería controlar el ingreso de cascarilla de arroz hacia la cámara de combustión, pero esto en la

realidad es muy difícil, hay que tomar en cuenta que en el momento de la instalación del sistema de secado la quemadora de cascarilla es calibrada para que nos entregue la temperatura requerida, pero para evitar cualquier contratiempo, en el ducto de descarga se ha colocado un motor, el mismo que da apertura o cierre a una rejilla, la cual deja ingresar aire ambiente, este aire frío se mezcla con el entregado para la secadora y produce una reducción de temperatura como se observa en la siguiente figura.

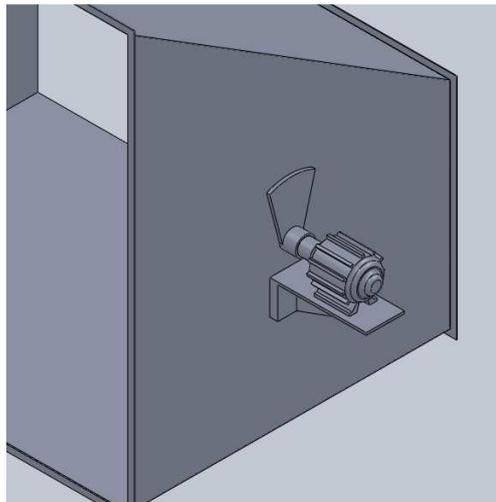


Figura 5.1: Control en el ducto de descarga (rejilla cerrada)

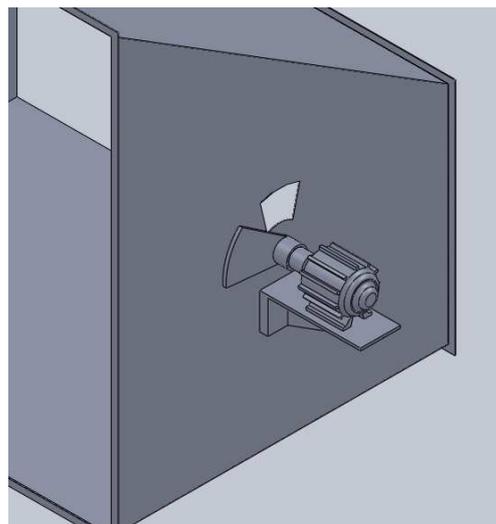


Figura 5.2: Control en el ducto de descarga (rejilla abierta)

En el diagrama del **ANEXO 12** se muestra el diseño del panel de control, el mismo que consta de tres sensores de temperatura D5 18B20 ubicados en diferentes lugares de la secadora, estos censan la temperatura y lo transmiten a un PIC 16F877A, en donde hace un promedio de las lecturas y lo compara con el valor ingresado que en nuestro caso como se trata de secado de arroz es de 43°C, si la temperatura es mayor a la adecuada envía una señal al PIC 16F628A , el mismo que está programado para que el motor paso a paso gire y a su vez abra la escotilla y permita el ingreso de aire a temperatura ambiente , cuando la temperatura es igual o menor a 43 °C envía otra señal para que cierre la escotilla en el ducto.

El motor paso a paso también se lo puede reemplazar con un servomotor que tiene más control en el giro pero la programación se la debe reemplazar con los parámetros requeridos.

5.1.3 Alternativas de control para la secadora

En la actualidad se tienen muchos controles que pueden aplicarse a estos sistemas, tales como autómatas eléctricos: relés contactores y timers de tipo mecánico o de estado sólido; autómatas programables: LOGO!, PLC

En la construcción de la secadora se ha empleado micro controladores a fin de usar estos componentes como alternativas de control pues entre sus ventajas se tienen:

- Nos dan una gran precisión en control de temperatura.
- Pueden manejar potencias moderadas sin necesidad de otros elementos adicionales.
- Gran variedad de componentes de acuerdo al tipo de control que se vaya a efectuar.
- Costo relativamente bajo y disponibilidad en el mercado nacional.

Tabla 5.1: ELEMENTOS ELECTRÓNICOS DEL SISTEMA DE CONTROL

NOMBRE	TIPO	NUMERO
MICROCHIP	PIC16F877A	1
MICROCHIP	PIC16F628A	1
DISPLAY	LCD 2X16	1
SENSORES TEMPERATURA	D5 18B20	3
PULSADORES	NA	6
TRANSISTORES	TIP 122	6
OCTOACOPLADORES	MOC 3021	3
DIODOS	LEDS	6
RELES	5A-12v	3
TRANSFORMADORES	7805	2
TRIAC	BT136-6000D	1
OSCILADOR	4MHZ	1
CAPACITORES	22 PICOFARADIOS	2
FUENTE DE PODER	110-220 A 12V	1
RESISTENCIAS	330R	10
RESISTENCIAS	4.7K	14
RESISTENCIAS	10R	1
CAJETIN	METÁLICO	1
CABLES	UTP (M)	2

5.1.4 Código de programación de los PIC

El presente código de programación es obtenido del programa MICRO CODE el cual nos ayuda a programar los microcontroladores PIC.

```
ADCON1=7
```

```
DEFINE OSC 4
```

```
Include "modedefs.bas"
```

'Sentencias de definición para el funcionamiento del LCD

```
DEFINE LCD_DREG PORTB
```

```
DEFINE LCD_BIT 0
```

```
DEFINE LCD_RSREG PORTB
```

```

DEFINE LCD_RSBIT 5
DEFINE LCD_EREG PORTB
DEFINE LCD_EBIT 4

'Declaración de Alias Entrada-Salida
PULS_1 VAR PORTA.0; Pulsador resistencias
PULS_2 VAR PORTA.1; Pulsador ventilador
PULS_3 VAR PORTA.2; Pulsador temp+
PULS_4 VAR PORTA.3; Pulsador temp-
PULS_5 VAR PORTB.7; Pulsador dosificador
VENTILACION VAR PORTD.1; ventilador
CALEFACCION VAR PORTE.0; Relé resistencias
COMUN VAR PORTA.5; Común PAP
LED_1 VAR PORTC.5; Led resistencias
LED_2 VAR PORTC.6; Led ventilador
LED_3 VAR PORTC.7; Led dosificador (PAP)
LED_4 VAR PORTD.4;
LED_5 VAR PORTD.5;
LED_6 VAR PORTD.6;
OW1 VAR PORTC.1
OW2 VAR PORTC.2
OW3 VAR PORTC.3

'Declaración de variables auxiliares
X VAR BYTE
Y VAR BYTE
Z VAR BYTE
TEMP_AMB VAR BYTE
TEMP_LIM_SUP VAR BYTE

```

TEMP_LIM_INF VAR BYTE

TEMP VAR BYTE

DEVICE VAR WORD

TEMP1 var word

TEMP2 var word

TEMP3 var word

DEG_C1 var word

DEG_C2 var word

DEG_C3 var word

SP VAR WORD

DUMMY1 var byte

DUMMY2 var byte

DUMMY3 var byte

DUMMY4 var byte

DUMMY5 var byte

DUMMY6 var byte

DUMMY7 var byte

DUMMY8 var byte

SIGNAL VAR WORD

TEMP_CONTROL var word

'Declaración de constantes (Manejo del DS1822)

CONVERT_TEMP CON \$44

READ_SCRATCHPAD CON \$BE

WRITE_SCRATCHPAD CON \$4E

COPY_SCRATCHPAD CON \$48

RECALL_E2 CON \$B8

READ_ROM con \$33

```

SKIP_ROM      con  $CC
MATCH_ROM     con  $55

'Iniciación del control

pause 500

LCDOUT $FE,1, "*****HINDUHORST*****"

LCDOUT $FE,$C0,"**JATUN HUAYRA**"

PAUSE 1000

pause 500

LCDOUT $FE,1, "*****SECADO*****"

LCDOUT $FE,$C0,"*****ARROZ*****"

PAUSE 1000

pause 500

LCDOUT $FE,1, "*****SETEAR*****"

LCDOUT $FE,$C0,"**TEMPERATURAS**"

PAUSE 1000

gosub CON_TEMP1: gosub GET_TEMP1
gosub CON_TEMP2: gosub GET_TEMP2

PAUSE 4000

Y=0: Z=0

SETEAR:

    LCDOUT $FE,1, "*****SETEAR*****"

    TEMP_AMB=43

    TEMP_LIM_SUP=TEMP_AMB

    TEMP_LIM_INF=TEMP_AMB

    SUBIR_BAJAR:

        IF PULS_3=0 THEN GOSUB AR: TEMP_LIM_SUP=TEMP_LIM_SUP+1: high
        LED_4: PAUSE 100: LCDOUT $FE,$C0," TEMP_SEC= ",dec TEMP_LIM_SUP: LOW
        LED_4

```

```
IF PULS_4=0 THEN GOSUB AR: TEMP_LIM_SUP=TEMP_LIM_SUP-1: high
LED_5: PAUSE 100: LCDOUT $FE,$C0," TEMP_SEC= ",dec TEMP_LIM_SUP: LOW
LED_5
```

```
IF PULS_1=0 THEN GOSUB AR: goto opciones; Pulsar cuando se ha alcanzado la
temp adecuada para volver al prog principal
```

```
IF TEMP_LIM_SUP>45 OR TEMP_LIM_SUP<40 THEN TEMP_LIM_SUP=43
```

```
goto SUBIR_BAJAR
```

OPCIONES:

```
pause 500
```

ENC_RESISTENCIAS:

```
LCDOUT $FE,1, "*****ENCENDIDO*****"
```

```
LCDOUT $FE,$C0,"**RESISTENCIAS**"
```

```
HIGH CALEFACCION:HIGH LED_1
```

```
CIRC_AIRE: ;Forzar circulación aire
```

```
IF PULS_2=0 THEN GOSUB AR: GOTO ENC_VENTILADOR
```

```
GOTO CIRC_AIRE
```

ENC_VENTILADOR:

```
LCDOUT $FE,1, "*****ENCENDIDO*****"
```

```
LCDOUT $FE,$C0,"***VENTILADOR***"
```

```
HIGH VENTILACION:HIGH LED_2
```

```
DOSIFICACION: ;Forzar circulación aire
```

```
IF PULS_5=0 THEN GOSUB AR: GOTO ENC_MOTOR
```

```
GOTO DOSIFICACION
```

ENC_MOTOR:

```
LCDOUT $FE,1, "*****ENCENDIDO*****"
```

```
LCDOUT $FE,$C0,"**DOSIFICACION**"
```

```
HIGH COMUN:HIGH LED_3
```

CONTROL_TEMP: ;Mantenimiento Temperatura

```

gosub CON_TEMP1: gosub GET_TEMP1
gosub CON_TEMP2: gosub GET_TEMP2
'gosub CON_TEMP3: gosub GET_TEMP3
TEMP_CONTROL=(DEG_C1+DEG_C2)/2;promedio
IF TEMP_CONTROL>TEMP_LIM_SUP THEN low CALEFACCION:low LED_1
IF TEMP_CONTROL<TEMP_LIM_INF THEN HIGH CALEFACCION:HIGH LED_1
goto CONTROL_TEMP
MEDICION_TEMPERATURA:
CON_TEMP1: ;Sensor 1
    owout OW1,1,[SKIP_ROM,CONVERT_TEMP]
    gosub CHECK_FOR_DONE1
return
CHECK_FOR_DONE1: ;Sensor 1
    pause 25
    owin OW1,4,[dummy1]
    if dummy1=0 then CHECK_FOR_DONE1
return
GET_TEMP1: ;Sensor 1
    owout OW1,1,[SKIP_ROM,READ_SCRATCHPAD]
    owin
OW1,0,[temp3.lowbyte,temp3.highbyte,dummy1,dummy1,dummy1,dummy1,dummy1,dummy1,dummy1]
    DEG_C1=Temp3/16 ;Temperatura Ambiente
    pause 500
    lcdout $FE,1," TEMP_S1: ",dec deg_C1,"oC "
    LCDOUT $FE,$C0," TEMP_S2: ",dec deg_C2,"oC "
    PAUSE 100
RETURN

```

```

CON_TEMP2: ;Sensor 2

    owout OW2,1,[SKIP_ROM,CONVERT_TEMP]

    gosub CHECK_FOR_DONE2

return

CHECK_FOR_DONE2: ;Sensor 2

    pause 25

    owin OW2,4,[dummy1]

    if dummy1=0 then CHECK_FOR_DONE2

return

GET_TEMP2: ;Sensor 2

    owout OW2,1,[SKIP_ROM,READ_SCRATCHPAD]

    owin
OW2,0,[temp3.lowbyte,temp3.highbyte,dummy1,dummy1,dummy1,dummy1,dummy1,dum
my1,dummy1]

    DEG_C2=Temp3/16 ;Temperatura Ambiente

    pause 500

    lcdout $FE,1," TEMP_S1: ",dec deg_C1,"oC "

    LCDOUT $FE,$C0," TEMP_S2: ",dec deg_C2,"oC "

    PAUSE 100

RETURN

CON_TEMP3: ;Sensor 3

    owout OW3,1,[SKIP_ROM,CONVERT_TEMP]

    gosub CHECK_FOR_DONE3

return

CHECK_FOR_DONE3: ;Sensor 3

    pause 25

    owin OW3,4,[dummy1]

    if dummy1=0 then CHECK_FOR_DONE3

```

```

return

GET_TEMP3:      ;Sensor 3

    owout OW3,1,[SKIP_ROM,READ_SCRATCHPAD]

    owin
OW3,0,[temp3.lowbyte,temp3.highbyte,dummy1,dummy1,dummy1,dummy1,dummy1,dum
my1,dummy1]

    DEG_C3=Temp3/16 ;Temperatura Ambiente

    pause 500

    lcdout $FE,1," TEMP_S3: ",dec deg_C3,"oC "

    PAUSE 100

RETURN

AR:

    IF PULS_1=0 THEN AR

    IF PULS_2=0 THEN AR

    IF PULS_3=0 THEN AR

    IF PULS_4=0 THEN AR

    IF PULS_5=0 THEN AR

    PAUSE 200

RETURN

END

```



Figura 5.3: Panel de control

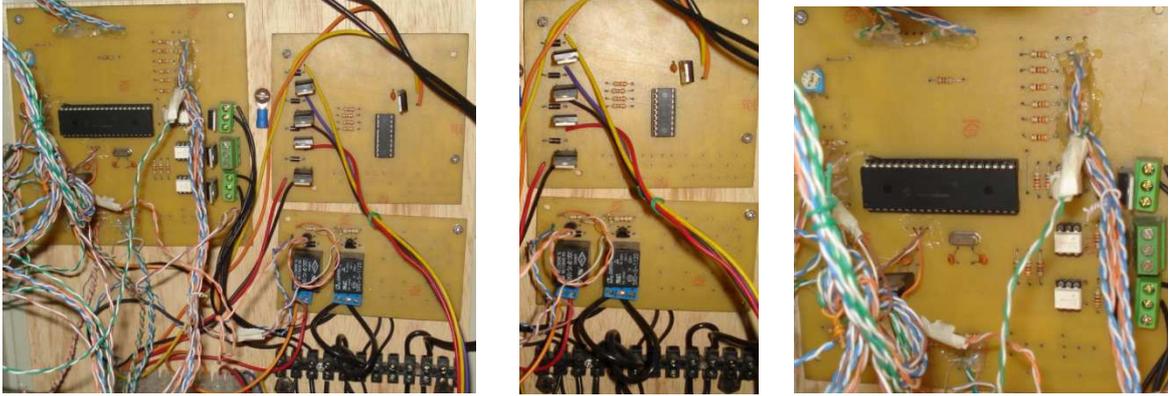


Figura 5.4: PCBs con elementos armados

CAPÍTULO VI

6. CONSTRUCCIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SECADOR

6.1 Construcción

6.1.1 Descripción del proceso de construcción

Durante el proceso de construcción de la maquina se deben tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

6.1.1.1 Recepción de materiales

Se efectuara la compra de la materia prima para la construcción del armazón en el menor tiempo posible. Se receptara el material bajo una revisión superficial del mismo observando que los espesores y dimensiones sean las requeridas en la compra

6.1.1.2 Construcción de la base del secador

Primeramente se toma en cuenta que es el soporte de la maquina, la estructura estará ensamblada mediante pernos y soldadura los cuales unen los perfiles C100x50x8, posteriormente se ensambla las bandejas de descarga para conjuntamente colocar las chumaceras y ejes dosificadores considerando las tolerancias entre estos elementos, la colocación del sistema de transmisión se la debe realizar analizando ajustes entre los ejes y piñones así como la distancia entre centros para luego colocar la cadena, finalmente se colocara la tolva de descarga observando que no exista fugas y que este bien sujeta al armazón.

6.1.1.3 Construcción de los módulos de secado

El armazón constituye la parte principal de los módulos en el cual van a estar sujetos una serie de elementos, las uniones entre los perfiles se los realizara con pernos M16x25 los mismos

que deben tener un apriete adecuado para la estabilización de la estructura, las diferentes bandejas se construirán mediante un proceso de corte y doblado según los planos, el ensamble de estos se los realizara por secciones debido a la dificultad en la construcción, el ventilador se soldara a la estructura tomando en cuenta que quede centrada, finalmente se colocara la cubierta en acero galvanizado la misma que será empernada a la estructura.

6.1.1.4 Construcción de la tolva

De igual manera el armazón de perfil C100x50x4 se ensamblara mediante corte y suelda de elementos, finalmente las paredes se soldaran a la estructura.

Tabla 6.1: PARTES CONSTITUTIVAS DEL SECADOR

SISTEMA	ELEMENTO	CANTIDAD	MATERIAL-MODELO
Base	Estructura	1	Acero A36
	Tapa Frontal	1	Acero A36 galvanizado
	tapa lateral	2	Acero A36 galvanizado
	Placa de Descarga	2	Acero A36 galvanizado
	Eje Dosificador	5	AISI 1020
	Tolva de Descarga	1	Acero A36
	Chumaceras	10	FAG UN 210-E-TVP2
	Piñón de cadena Común	8	80 B 26
	Piñón de cadena conducida	1	80 B 46
	Piñón de cadena motriz	1	80 B 16
	Ángulos 40x4 de Soporte	8	Acero A36
	Placa del Motor	1	Acero A36
	Pernos M16x25	50	ISO 4018
	Motoreductor	1	SITI MHL 30/3

SISTEMA	ELEMENTO	CANTIDAD	MATERIAL-MODELO
Módulo Inferior	Estructura Lateral	2	Perfil C100x50x4 A36
	Estructura Central	1	Perfil C100x50x4 A36
	Ventilador Axial	1	TGT/6-1000-3/1.5a
	Bandeja Común	120	Acero A36 galvanizado
	Bandeja Lateral	2	Acero A36 galvanizado
	Apoyos Z	480	Acero A36 galvanizado
	Ángulos 20x3	80	Acero A36
	Ángulos 40x4	20	Acero A36
	Tapas inclinadas	4	Acero A36 galvanizado
	Tapas laterales	6	Acero A36 galvanizado
	Tapas frontales	2	Acero A36 galvanizado
	Pernos M16x25	50	ISO 4018
	Pernos M6x16	2112	ISO 4018
Módulo Intermedio	Estructura Lateral	2	Perfil C100x50x4 A36
	Estructura Central	1	Perfil C100x50x4 A36
	Ventilador Axial	1	TGT/6-1000-3/1.5a
	Bandeja Común	120	Acero A36 galvanizado
	Bandeja Lateral	2	Acero A36 galvanizado
	Apoyos Z	480	Acero A36 galvanizado
	Ángulos 20x3	80	Acero A36
	Ángulos 40x4	20	Acero A36
	Pernos M16x25	50	ISO 4018
	Tapas inclinadas	4	Acero A36 galvanizado
	Tapas laterales	6	Acero A36 galvanizado
	Tapas frontales	2	Acero A36 galvanizado
	Pernos M6x16	2112	ISO 4018
Módulo Superior	Estructura Lateral	2	Perfil C100x50x4 A36
	Estructura Central	1	Perfil C100x50x4 A36
	Ventilador Axial	1	TGT/6-1000-3/1.5a
	Bandeja Común	120	Acero A36 galvanizado
	Bandeja Lateral	2	Acero A36 galvanizado
	Bandeja Superior	10	Acero A36 galvanizado
	Ángulos 20x3	80	Acero A36
	Ángulos 40x4	20	Acero A36
	Tapas inclinadas	4	Acero A36 galvanizado
	Tapas laterales	6	Acero A36 galvanizado
	Tapas frontales	2	Acero A36 galvanizado
	Pernos M6x16	2112	ISO 4018
	Tolva	Estructura	1
Tapa conformada frontal		4	Acero A36 galvanizado
Tapa conformada lateral		4	Acero A36 galvanizado
Tapa Inclinada superior		4	Acero A36 galvanizado
Tapa superior		1	Acero A36 galvanizado
Tapa Lateral		4	Acero A36 galvanizado

6.1.2 Operaciones tecnológicas

Para la construcción del secador fueron necesarias operaciones tecnológicas las cuales se detallan a continuación:

Tabla 6.2: OPERACIONES TECNOLÓGICAS REALIZADAS EN EL SECADOR

SISTEMA	ELEMENTO	N°	OPERACIÓN TECNOLÓGICA	TIEMPO
BASE	Estructura	1	Trazado	4
		2	Corte	4
		3	Soldado	2
	Tapa Frontal	4	Trazado	0.1
		5	Corte	0.1
	Tapa lateral	6	Trazado	0.1
		7	Corte	0.1
	Placa de Descarga	8	Trazado	0.1
		9	Corte	0.1
		10	Soldado	0.1
	Eje Dosificador	11	Corte	0.1
		12	Torneado	4
		13	Pulido	0.5
		14	Suelda	2
	Tolva de Descarga	15	Trazado	0.5
		16	Corte	3
		17	Soldado	3
	Placa del Motor	18	Trazado	0.15
		19	Corte	0.15
		20	Empernado	0.15
MÓDULO INFERIOR	Estructura Lateral	21	Trazado	4
		22	Corte	4
		23	Soldado	2
	Estructura Central	24	Trazado	2
		25	Corte	2
		26	Soldado	1
	Bandeja Común	27	Trazado	0.15
		28	Corte	0.15
		29	Doblado	0.2
	Bandeja Lateral	30	Trazado	0.15
		31	Corte	0.15
		32	Doblado	0.2
	Apoyos Z	33	Trazado	0.15
		34	Corte	0.15
		35	Doblado	0.2

SISTEMA	ELEMENTO	N°	OPERACIÓN TECNOLÓGICA	TIEMPO
MÓDULO INFERIOR	Tapas inclinadas	36	Trazado	0.15
		37	Corte	0.15
		38	Doblado	0.2
	Tapas laterales	39	Trazado	0.15
		40	Corte	0.15
		41	Doblado	0.2
	Tapas frontales	42	Trazado	0.15
		43	Corte	0.15
		44	Doblado	0.2
MÓDULO INTERMEDIO	Estructura Lateral	45	Trazado	4
		46	Corte	4
		47	Soldado	2
	Estructura Central	48	Trazado	2
		49	Corte	2
		50	Soldado	1
	Bandeja Común	51	Trazado	0.15
		52	Corte	0.15
		53	Doblado	0.2
	Bandeja Lateral	54	Trazado	0.15
		55	Corte	0.15
		56	Doblado	0.2
	Apoyos Z	57	Trazado	0.15
		58	Corte	0.15
		59	Doblado	0.2
	Tapas inclinadas	60	Trazado	0.15
		61	Corte	0.15
		62	Doblado	0.2
Tapas laterales	63	Trazado	0.15	
	64	Corte	0.15	
	65	Doblado	0.2	
Tapas frontales	66	Trazado	0.15	
	67	Corte	0.15	
	68	Doblado	0.2	

SISTEMA	ELEMENTO	N°	OPERACIÓN TECNOLÓGICA	TIEMPO
MÓDULO SUPERIOR	Estructura Lateral	69	Trazado	4
		70	Corte	4
		71	Soldado	2
	Estructura Central	72	Trazado	2
		73	Corte	2
		74	Soldado	1
	Bandeja Superior	75	Trazado	0.15
		76	Corte	0.15
		77	Doblado	0.2
	Bandeja Común	78	Trazado	0.15
		79	Corte	0.15
		80	Doblado	0.2
	Bandeja Lateral	81	Trazado	0.15
		82	Corte	0.15
		83	Doblado	0.2
	Apoyos Z	84	Trazado	0.15
		85	Corte	0.15
		86	Doblado	0.2
	Tapas inclinadas	87	Trazado	0.15
		88	Corte	0.15
		89	Doblado	0.2
	Tapas laterales	90	Trazado	0.15
		91	Corte	0.15
		92	Doblado	0.2
Tapas frontales	93	Corte	0.15	
	94	Doblado	0.2	
TOLVA	Estructura	95	Trazado	4
		96	Corte	8
		97	Soldado	6
	Tapa conformada frontal	98	Trazado	0.15
		99	Corte	0.15
		100	Doblado	0.2
	Tapa conformada lateral	101	Trazado	0.15
		102	Corte	0.15
		103	Doblado	0.2
	Tapa Inclinada superior	104	Trazado	0.15
		105	Corte	0.15
106		Doblado	0.2	
Tapa Lateral	107	Trazado	0.15	
	108	Corte	0.15	
	109	Doblado	0.2	
Tapa superior	110	Trazado	0.5	
	111	Corte	1	

6.1.3 Operaciones y montaje de la máquina

Para el montaje de la secadora se toma muy en cuenta que los módulos, la base y la tolva van ensamblados desde el taller, estas piezas son embarcadas a una plataforma con la ayuda de dos tecles colocados en la parte superior de las columnas de los galpones y son transportadas con cuidado hacia el lugar de instalación.

Para el desembarque la empresa cuenta con trípodes de carga que son fácilmente armables, los mismos que son transportados por la plataforma conjuntamente con la secador, por la limitación de altura, los tripotes solamente sirven para el desembarque de la secadora, aunque también nos sirve en el montaje de la base y del primer modulo.

Dependiendo la capacidad de secado los módulos aumentan, en nuestro caso la capacidad es de 20 Tm, teniendo una altura total de la secadora de 12m, por esta razón se sugiere contratar a grúas de gran capacidad.

Primeramente se debe tomar en cuenta el tipo de piso en la cual se va a armar la maquina, se sugiere que sea de hormigón armado con barras de sujeción ancladas a la base por motivo que el piso va a soportar una carga aproximada de 25000 kg que es la suma de la masa de arroz mas el peso de la secadora, estas barras van empernadas a una placa de acero donde se colocara las columnas de la base, una vez asegurada la base se procede a montar sobre la base el primer modulo de la secadora teniendo en cuenta que debe calzar perfectamente, se asegura mediante pernos que atraviesan los perfiles C de las armazones tanto de la base como de la secadora.



Figura 6.1: Montaje de base

El mismo procedimiento se realiza para los demás módulos, tomando la precaución de alinearlos correctamente, para ello es aconsejable utilizar un nivel.



Figura 6.2: Montaje de módulos

La tolva va soldada sobre el último módulo, aunque puede ser armada en el lugar de ensamblaje, esto es dependiendo de la altura total que pueda tener la secadora, es una alternativa si fuese el caso que no existiese una grúa lo suficientemente alta para la colocación de la tolva.



Figura 6.3: Montaje de tolva

Los sensores de temperatura y de nivel son colocados estratégicamente en diferentes puntos de la secadora, el sistema de control se lo colocara en la parte inferior accesible al operario.

El montaje del elevador de cangilones se lo realiza de la misma manera que la del secador, primero la bota, luego las canillas se unan sobre las otras hasta conseguir la altura adecuada y posteriormente el cabezal, donde luego se instalará los ductos de distribución de arroz.

El quemador de tamo conjuntamente con el ventilador doble oído se colocará con cuidado en la parte inferior lateral de la secadora, teniendo en cuenta que no debe existir fugas en los ductos que conectan con el difusor de aspiración.

El transporte vibratorio se colocara debajo de la tolva de descarga como de muestran en los planos de montaje, el mismo que transportará el arroz hacia el elevador.

6.1.4 Manual de mantenimiento

Como toda máquina, estas se desgastan y debe existir un mantenimiento adecuado para el buen funcionamiento de la misma, por lo tanto se recomienda:

- Limpiar los módulos de secado utilizando un compresor de aire, realizar la limpieza cada seis meses.
- Limpiar los ventiladores axiales debido a la exposición directa a pelusas.
- En el sistema de trasmisión se recomienda engrasar las cadenas cada mes, según su utilización.
- El chequeo permanente de rodamientos, y el cambio de los mismos después de 24000 horas de servicio.
- En el sistema de control se debe realizar una limpieza cada año teniendo cuidado con las partes sensibles.
- Revisar las bandejas, observar que no exista un deterioro por rozamiento, y si lo existiese reemplazarlas oportunamente para que no exista un agrietamiento y pueda existir un desfogue de arroz.
- Revisar instalaciones eléctricas cada seis meses, observando que no exista cables pelados o mal conectados.

TABLA 6.3: MANUAL DE MANTENIMIENTO PARA LA SECADORA

ELEMENTOS	OPERACIÓN	MENSUAL	SEMESTRAL	ANUAL	5 AÑOS
MÓDULO	Limpieza de módulos		x		
	Revisión de bandejas			x	
	Reemplazo de bandejas				x
	Pintura de la estructura			x	
BASE	Chequeo de rodamientos		x		
	Cambio de rodamientos				x
	Pintura de la estructura			x	
	Engrase de cadenas	x		x	
TOLVA	Pintura de la estructura			x	
VENTILADORES	Limpieza de aspas		x		
	Pintura de estructura			x	
	Conexiones		x		
SISTEMA DE CONTROL	Limpieza			x	
	Conexiones		x		
	Reemplazo de sensores				x

6.1.4.1 Problemas y soluciones

Los problemas que podrían presentarse dentro de la secadora son los siguientes:

Tabla 6.4: PROBLEMAS Y SOLUCIONES FRECUENTES EN EL SECADOR

PROBLEMA	CAUSA	POSIBLE SOLUCIÓN
No encendido del motoreductor	Desconexión	Verificar todas las conexiones eléctricas
	Conexión incorrecta	Verificar los diagramas de conexión del motor
	Voltaje inadecuado	Verificar si está conectado a 120V
	Fallo en el control	Verificar la conexión al sistema de control
No medición o medición incorrecta de temperatura	Termocuplas averiadas	Reemplazo de termocuplas
	Conexión incorrecta	Verificar la conexión al sistema de control
	Cables averiados	Reemplazar los cables de conexión
No encendido de ventiladores axiales	Desconexión	Verificar todas las conexiones eléctricas
	Conexión incorrecta	Verificar los diagramas de conexión del motor
	Atascamiento en alabes	Limpieza de alabes
	Fallo en el control	Verificar la conexión al sistema de control
No descarga del producto	Cadenas Averiadas	Reemplazo de cadenas
	Piñones rotos	Reemplazo de piñones
	Juego entre piñón y eje	Verificación de ajuste, reemplazo de chavetas
	Atascamiento del eje dosificador	Verificación de objetos extraños
Fuga de arroz	Desgaste de bandejas	Reemplazo de bandeja afectada
	Daños en la tolva de descarga	Rectificación de fugas
	Mala colocación del vibratorio	Ubicar los sistemas según planos
	Armado inadecuado de bandejas	Verificar apriete y ensamble en la sección defectuosa

6.1.5 Construcción del prototipo

La utilización de software de ingeniería no solo nos ayuda en el diseño de la maquinaria, sino también en la construcción de la misma, ya que indica planos, elementos y ensamblajes de construcción, construir la secadora es muy costosa y el tiempo que se demora en es muy largo, por ello se ha optado en construir un prototipo para realizar pruebas, para ello de igual manera se ha realizado los cálculos correspondientes en relación a una cantidad de 35 libras de arroz y la utilización del software SolidWorks para el diseño y construcción del mismo.

6.1.5.1 Partes principales del prototipo

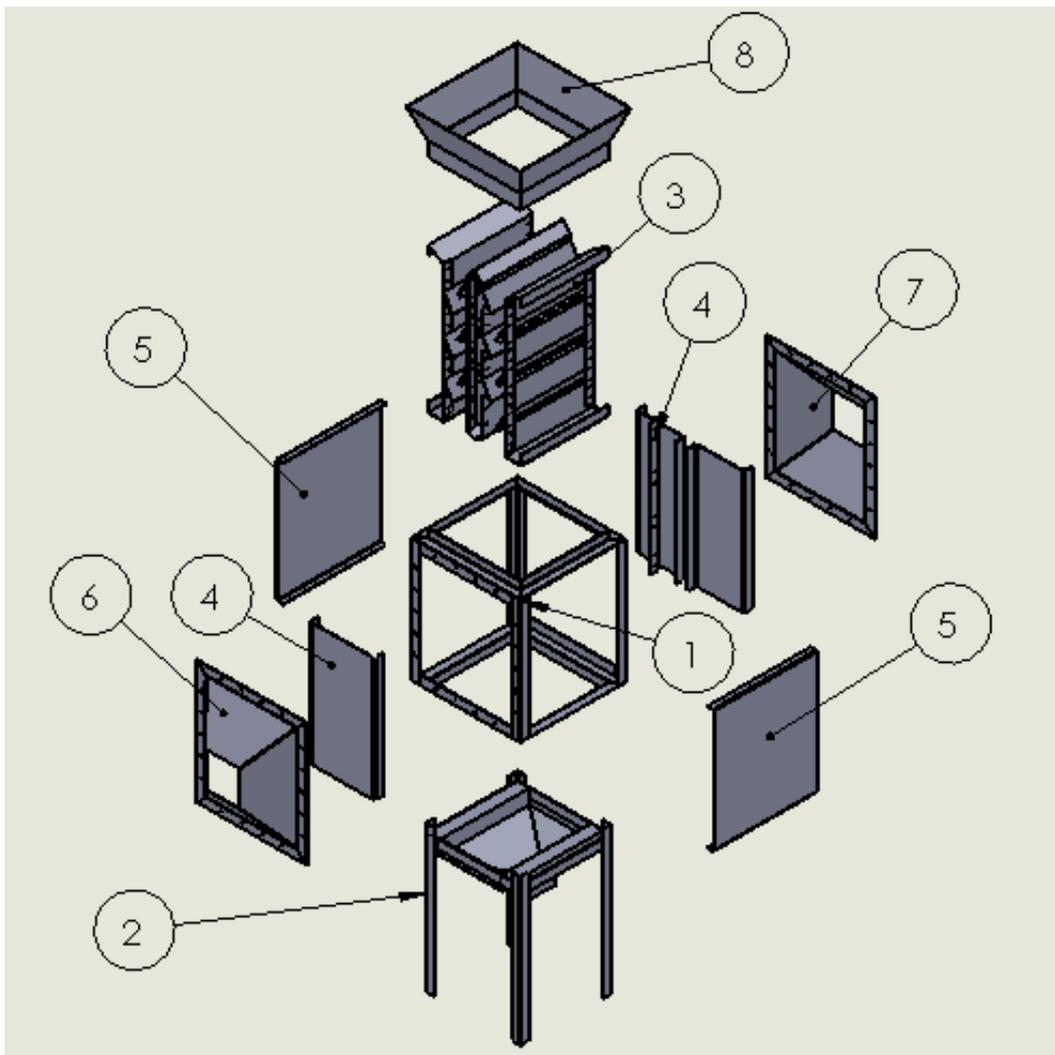


Figura 6.4: Partes constitutivas del prototipo

Tabla 6.5: ELEMENTOS DEL PROTOTIPO

N°	ELEMENTO
1	Armazón Central
2	Armazón Base
3	Conjunto de Bandejas
4	Tapas de sección
5	tapas laterales
6	Transición de admisión
7	Transición de descarga
8	Tolva

6.1.5.2 Proceso de construcción

Primeramente se debe armar es bastidor donde va a estar montado los módulos de secado para ello se debe pasar un plano de la estructura del mismo con dimensiones y tolerancias de ensamblado para que en lo posterior no exista interferencias en el armado del conjunto.

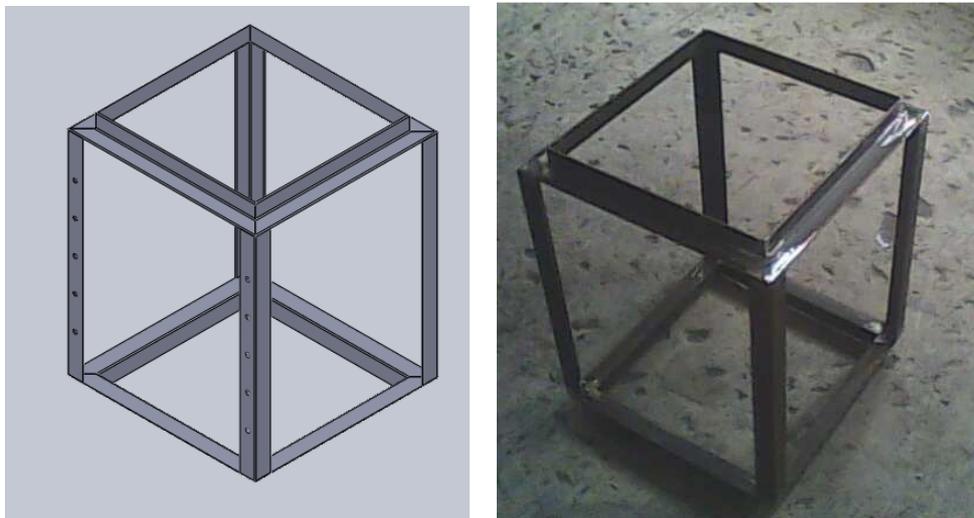


Figura 6.5: Gráficos de la estructura diseñada y de la estructura armada

En los elementos que son conformados el programa automáticamente nos puede general planos de dobles que en el SolidWorks se lo conoce como Chapa Metálica, teniendo en cuenta

que el diseñador debe conocer la capacidad de construcción del taller, para que en lo posterior si existe piezas complicadas de construir, él busque una solución alternativa.

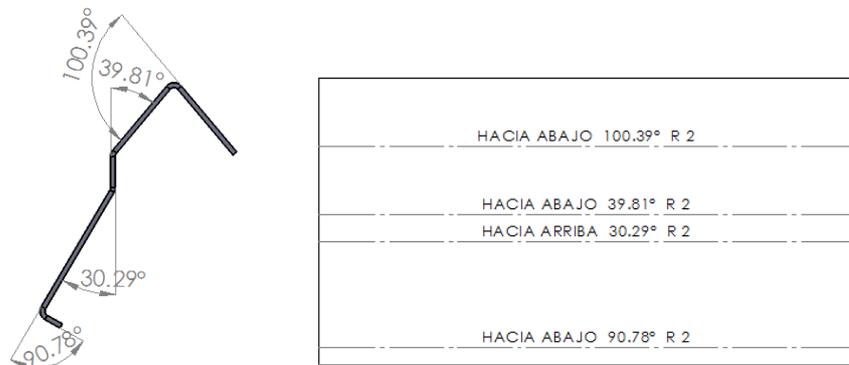


Figura 6.6: Planos de vista frontal y chapa metálica para conformado de bandejas

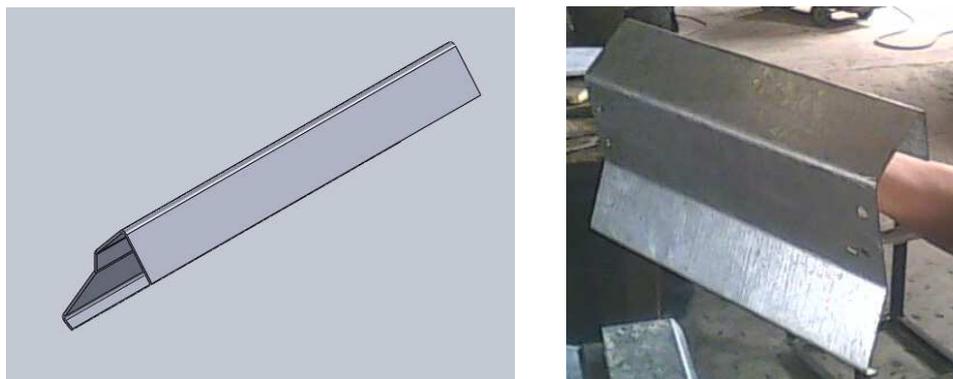


Figura 6.7: Vista en 3D de bandeja central y gráfico de plancha doblada

El siguiente grafico muestra una bandeja central en la cual no se pudo doblar completamente en el taller debido a que no existe una plegadora que satisfaga esta necesidad.

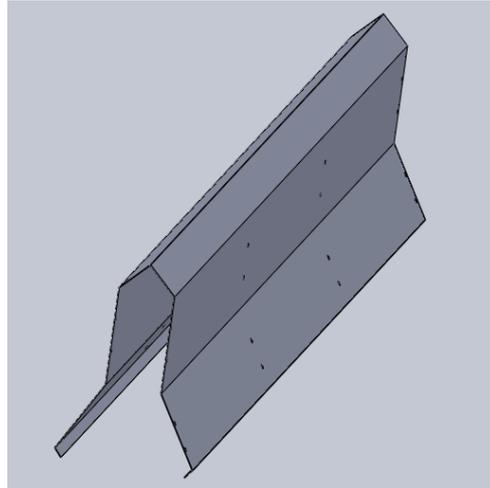


Figura 6.8: Gráfico de pieza central

Para ello se opto por construirla en dos partes

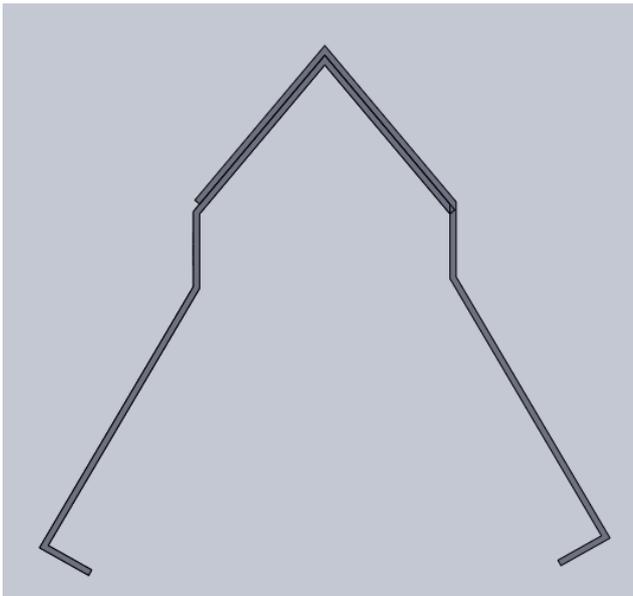


Figura 6.9: Ensamble de bandeja central

En la construcción de una maquinaria se debe incluir en los planos una vista explosionada de toda la maquina, para que el operario tenga una idea clara del ensamble de la misma, lo que nos ahorra tiempo en producción y desperdicio de material.

6.1.5.3 Operaciones tecnológicas realizadas

Tabla 6.6: OPERACIONES TECNOLÓGICAS REALIZADAS EN EL PROTOTIPO

SISTEMA	ELEMENTO	N°	OPERACIÓN TECNOLÓGICA	
Armazón Central	Angulo L 25X2	1	Corte	
		2	Suelda	
Armazón Base	Angulo L 25X2	3	Corte	
		4	Suelda	
	Platina 25x2	5	Corte	
		6	Suelda	
	Tolva de descarga	7	Trazado	
		8	Corte	
		9	Doblado	
		10	Suelda	
	Conjunto de Bandejas	Bandeja lateral	11	Trazado
			12	Corte
13			Doblado	
Bandeja común		14	Trazado	
		15	Corte	
		16	Doblado	
	Bandeja superior	17	Trazado	
		18	Corte	
		19	Doblado	
	Platina 25x2	20	Corte	
		21	Suelda	
	Tapas de sección	Tapa frontal	22	Trazado
23			Corte	
24			Doblado	
Tapas posteriores		25	Trazado	
		26	Corte	
		27	Doblado	
Tapas laterales		Tapa	28	Trazado
	29		Corte	
	30		Doblado	
Transición de admisión	Brida	31	Corte	
		32	Suelda	
	Transición	33	Trazado	
		34	Corte	
		35	Suelda	

SISTEMA	ELEMENTO	Nº	OPERACIÓN TECNOLÓGICA
Transición de descarga	Brida	36	Corte
		37	Suelda
	Transición	38	Trazado
		39	Corte
		40	Suelda
Tolva	Tolva	41	Trazado
		42	Corte
		43	Suelda

Se puede observar en el siguiente gráfico la construcción del prototipo, en la cual hacemos una comparación entre un modelo 3D realizado en un programa CAD y la máquina terminada.

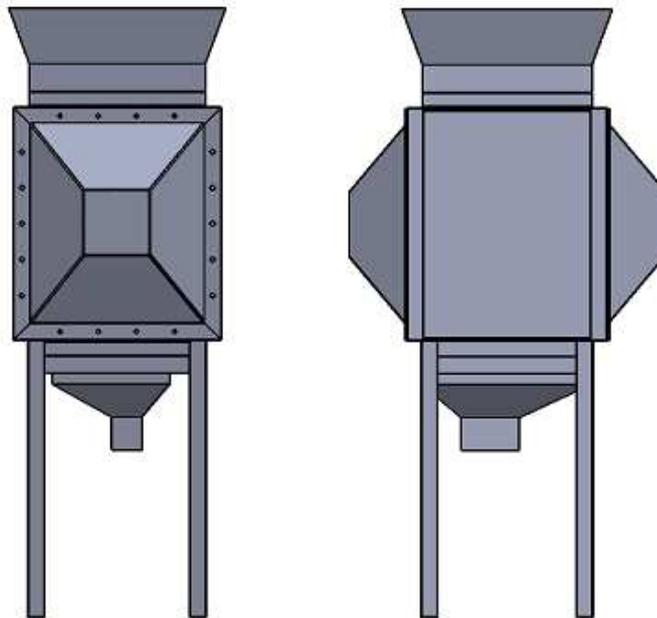


Figura 6.10: Gráfico del prototipo modelado en 3D

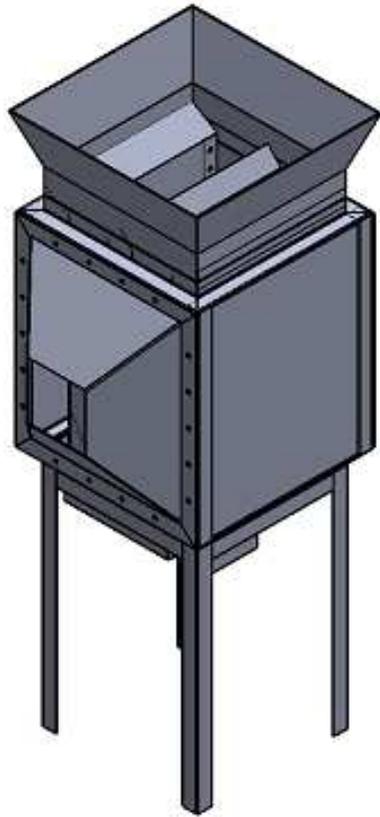


Figura 6.11: Gráfico del prototipo construido

6.2 Plan de pruebas realizadas

6.2.1 Variables a medir

Temperatura de grano

Humedad de grano

Temperatura ambiente

Tiempo de secado

6.2.2 Datos de arroz

Cantidad 43lbs

Caudal $0.0107 (m^3 / s) = 22.74 CFM$

6.2.3 Datos del prototipo

Capacidad

Módulos de secado = 35lb

Ventilador

Voltaje 110 V

Amperaje 0.16 Amp.

Velocidad $1.67 m/s$

Caudal $0.015 m^3/s$

Resistencias

Potencia = 600WATTS

Voltaje = 110 V

6.2.4 Experimentación

Con el prototipo construido se procedió a realizar una prueba de secado en la ciudad de Riobamba, el arroz se obtuvo del sector de Daule obteniendo los siguientes resultados:

6.2.4.1 Datos Iniciales

T ambiente= 24.1°C

T secado = 43°C

Hora inicio = 12h00

Hora final = 15h02

6.2.4.2 Toma de datos

Con la ayuda del medidor de humedad de granos facilitado por INDUHORST, se procedió a la toma de datos. **ANEXO 13**

Tabla 6.6: DATOS EXPERIMENTALES MEDIDOS

TIEMPO (min)	D1		D2		D3		D4		D5		PROMEDIO	
	Tg	% h	Tg	% h								
0	24.4	17.8	24.8	16.9	24.4	16.2	24.5	17.2	25.8	17	24.78	17.02
15	23.5	16.5	23.4	16.4	23.7	16.3	23.7	16	23.8	16.6	23.62	16.36
30	24.3	15.9	24.6	15.6	24.4	15.7	24.4	15.6	25	15.4	24.54	15.64
45	25.5	15.3	25.7	15.4	26.2	15.1	26.4	15.3	26.3	15.1	26.02	15.24
60	25.9	14.5	25	14.4	25.9	14	26.7	13.7	26.5	13.6	26	14.04
75	27.6	14	27.5	13.9	27.1	13.7	27.2	13.6	26.9	13.7	27.26	13.78
90	26.7	13.6	27.4	13.5	27.3	13.6	27.5	13.5	27.7	13.5	27.32	13.54
105	26.9	13.3	26.7	13.3	26.8	13.4	27.2	13.4	27.5	13.3	27.02	13.34
120	28.1	12.9	28.5	13.2	28.6	13	28.7	12.8	28.2	12.8	28.42	12.94
150	28.5	12.5	28.4	12.4	29.2	12.5	28.9	12.4	29.3	12.6	28.86	12.48
180	28.5	12.2	28.9	12.1	28.6	12	27.9	11.9	28.1	12.3	28.4	12.1

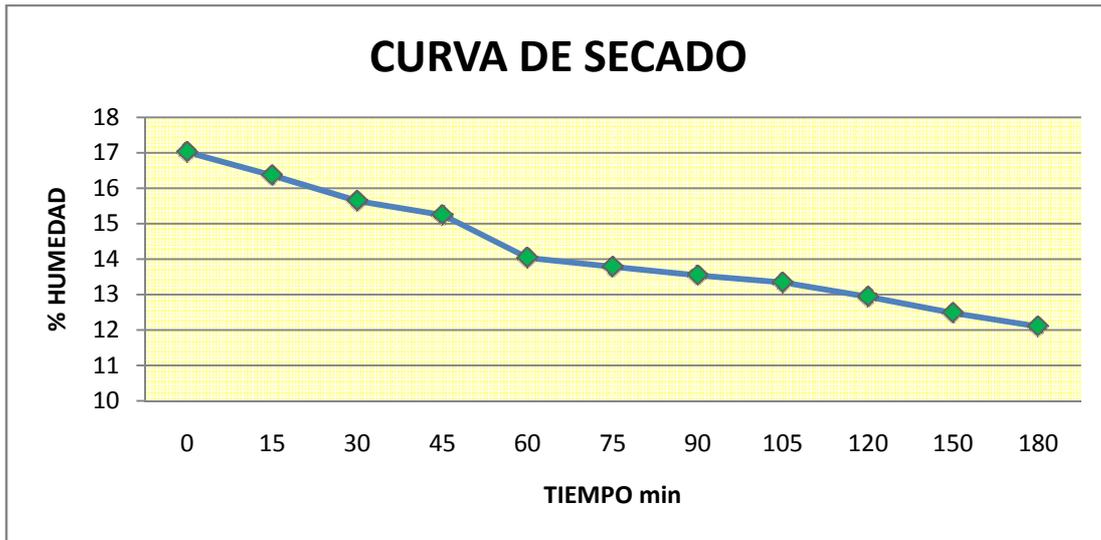


Figura 6.12: Curva de secado obtenida en el prototipo

Como se puede observar en la figura al principio la velocidad de secado es mayor debido a que el grano tiene una humedad superficial, seguidamente el porcentaje de reducción de humedad va disminuyendo conforme la humedad de grano es menor.

Con los datos obtenidos se determinó que la reducción de humedad es de 1.64% de humedad por hora, esto es ocasionado por razón que la cantidad de arroz supera la capacidad de secado del prototipo

CAPÍTULO VII

7. EVALUACIÓN ECONÓMICA

7.1 Valoración de los componentes del proyecto

7.1.1 Costos directos

7.1.1.1 Materiales utilizados

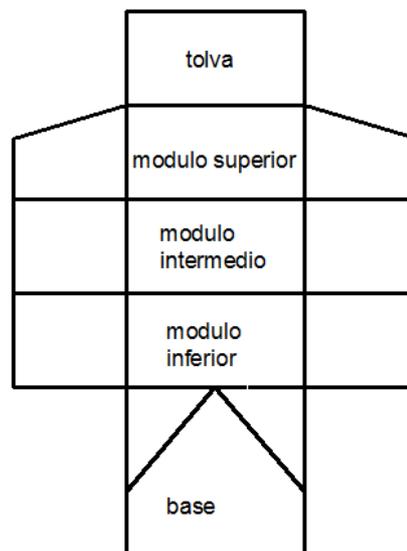


Figura 7.1: Módulos del secador

Tabla 7.1: MATERIALES DE LA TOLVA

MATERIAL	CANTIDAD
Plancha de acero galvanizado 1200x2440x1.25	12
Perfil c 100x50x4 (x6m)	8

Tabla 7.2: MATERIALES DEL MÓDULO SUPERIOR

MATERIAL	CANTIDAD
Plancha de acero galvanizado 1200x2440x1.25	80
Perfil c 100x50x4 (x6m)	12
Angulo l 20x2(x6m)	32

Tabla 7.3: MATERIALES DEL MÓDULO INTERMEDIO

MATERIAL	CANTIDAD
Plancha de acero galvanizado 1200x2440x1.25	84
Perfil c 100x50x4 (x6m)	12
Angulo 1 20x2(x6m)	32

Tabla 7.4: MATERIALES DEL MÓDULO INFERIOR

MATERIAL	CANTIDAD
Plancha de acero galvanizado 1200x2440x1.25	84
Perfil cuadrado c 100x100x8 (x6m)	12
Angulo 1 20x2(x6m)	32

Tabla 7.5: MATERIALES DE LA BASE

MATERIAL	CANTIDAD
Plancha de acero galvanizado 1200x2440x1.25	84
Plancha de acero galvanizado 1200x2440x2	18
Perfil c 100x50x4 (x6m)	12

Tabla 7.6: MATERIALES DEL DOSIFICADOR

MATERIAL	CANTIDAD
Eje de transmisión 2" x 6m	5
Platina 20x6000x4	35

Tabla 7.7: RODAMIENTOS Y CHUMACERAS

MATERIAL	CANTIDAD
Rodamiento FAG NU 210 – E – TVP2 (PARA 50mm DE DIAMETRO)	10
Chumacera soporte – brida F11210	10

Tabla 7.8: PIÑONES Y CADENAS

MATERIAL	CANTIDAD
Piñón motriz: 80 B 16	1
Piñón conducido: 80 B 54	1
Piñón motriz: 80 B 26	8
Longitud total de cadena de rodillos de paso 1" (m)	10

Tabla 7.9: PERNOS

MATERIAL	CANTIDAD
Pernos acero negro M6X16	8000
Pernos acero negro M16X20	500

Tabla 7.10: MOTOREDUCTOR

MATERIAL	CANTIDAD
Motoreductor SITI MHL 30/3	1

7.1.1.2 Costos de los materiales**Tabla 7.11: COSTOS INDIVIDUALES Y TOTALES DE LOS MATERIALES**

MATERIAL	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Plancha de Acero Galvanizado 1200X2440X1.25	344	29.44	10127.36
Plancha de Acero Galvanizado 1200X2440X2	18	59.94	1078.92
Tubo Cuadrado 100x100x8 (x6m)	12	61.13	733.56
Perfil C 100x50x4 (x6m)	32	51.33	1642.56
Perfil C 100x50x6 (x6m)	6	76.99	461.97
Ángulo L 20x2(x6m)	96	4.98	478.08
Eje de Transmisión 2" X 6m	2.5	143.76	359.40
Platina 20X6000X4	35	4.23	148.05
Rodamiento FAG NU 210 – E – TVP2 (PARA 50mm DE DIAMETRO)	10	52.31	523.1
Chumacera soporte – brida F11210	10	19.3	193

Piñón motriz: 80 B 16	1	23.3	23.3
Piñón conducido: 80 B 54	1	179.98	179.98
Piñón motriz: 80 B 26	8	57.12	456.96
Longitud Total de Cadena de Rodillos De Paso 1" (m)	10	129.58	1295.8
M6X16	8000	0.04	320
M16X20	500	0.05	25
Motoreductor SITI MHL 30/3	1	823.2	823.2
COSTO TOTAL			18870.24

7.1.1.3 Mano de obra

Tabla 7.12: COSTOS POR MANO DE OBRA

Estructura ocupacional	Número de empleados	Número de horas trabajadas	Remuneración por hora	Costo por empleado	Costo total
Jefe de taller	1	320	8	2560	2560
Soldador	3	160	8	1280	3840
Cortador	2	80	8	640	1280
Trabajadores	3	320	8	2560	7680
TOTAL					15360

7.1.1.4 Costos por automatización

El costo por automatización es de **2000.00** dólares en el que se contempla todos los elementos requeridos para automatizar la secadora.

7.1.1.5 Costo directo total

Tabla 7.13: COSTOS DIRECTOS

Costos directos	Costo individual
Materiales	18870.24
Mano de obra	15360
Automatización	2000
Costo directo total \$	36230.24

7.1.1.6 Costos indirectos

Para determinar el costo indirecto de la secadora se tomara en cuenta el 35% de los costos directos, dentro del 35% está considerado los costos por arrendamiento, imprevistos y utilidad en la venta de una secadora.

$$CI = CD * 0.35 \quad (7.1)$$

$$CI = 36230.24 * 0.35$$

$$CI = 12680.58\$$$

7.1.1.7 Costo total del secador

El costo de la secadora esta dado por la suma de los costos directos más los indirectos de lo que tenemos que el costo total del proyecto es de:

$$CT = CD + CI \quad (7.2)$$

$$CT = 36230.24 + 12680.58$$

$$CT = 48910.82\$$$

7.1.1.8 Máquinas adicionales

Tabla 7.14: COSTOS DE LAS MÁQUINAS ADICIONALES

MATERIAL	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Quemadora de Tamo Mediana	1	7990	7990
Ventilador Doble Oído BP DE 15	1	5570	5570
Transportadora Vibratoria Para 20 TON/H	1	2019	2019
Elevador de Cangilones ELEV-20	1	6197	6197
Ventilador Axial de 1.5 HP (5.7m ³ /S, 20mmca)	3	2125	6375
		COSTO TOTAL	28151

7.1.1.9 Costo total del sistema de secado

$$CSS = CS + CMI \quad (7.3)$$

$$CSS = 48910.82 + 28151$$

$$CSS = 77061.82\$$$

El costo total del sistema de secado es 77061.82\$

El costo de una secadora producida en el país es \$48910.82; este valor recupera la inversión realizada por la empresa que construirá esta maquinaria.

Cabe destacar que si comparamos los precios de producción de este sistema en el país, es más económico que importar una maquina con características similares de otro lugar que tiene un valor aproximado de 68000 dólares (MEGA).

CAPÍTULO VIII

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 Conclusiones

- En el presente trabajo se proyectó el diseño de una secadora vertical intermitente con bandejas y flujo de aire continuo. Para determinar cada propiedad y parámetro de secado se definió el caudal, temperatura, materiales a utilizar en el diseño.
- En el proceso de secado de arroz el parámetro principal a considerar es la temperatura de secado que no debe sobrepasar los 45°C ya que existiría un resquebrajamiento del arroz.
- El estudio de cada elemento constitutivo de la secadora, cumple una función específica dentro del proceso de secado. Con la ayuda de software de ingeniería se diseñó y seleccionó los diferentes elementos, mecanismos y máquinas adicionales para definir el sistema de secado integral.
- Debido a que la empresa no cuenta con un el diseño de un ventilador axial que cumpla con los requerimientos para el proceso de secado; se optó por la selección de un ventilador comercial del catálogo SOLER y PALAU.
- El costo de fabricación de los sistemas de secado de granos generalmente son altos, y por tal razón se está realizando comparaciones de maquinaria similar, para diseñar y construir secadoras de arroz con características adecuadas en el país que resulten más económicos que las importadas.
- Se diseñó un sistema de control, el mismo que ayuda a automatizar la máquina para que el operador no tenga inconvenientes durante el arranque, y el funcionamiento de la secadora, garantizando que el producto final tenga las características adecuadas para su posterior proceso.

- Al ser una maquina totalmente desmontable nos da una gran ventaja en comparación de otros sistemas, ya que permite una gran flexibilidad para realizar un mantenimiento optimo sin la necesidad de invertir más dinero y tiempo en este proceso.
- Mediante el diseño de la secadora se ha querido establecer un direccionamiento de la Ingeniería Mecánica hacia la industria alimenticia, que en nuestro país carece de tecnología, lo cual ha ocasionado grandes atrasos a nivel de producción y competitividad de las industrias que desarrollan esta clase de equipos.
- Al realizar este trabajo de grado se puede demostrar que utilizando las herramientas computacionales modernas podremos ahorrar tiempo y lograr mejor precisión en el diseño de elementos, mecanismos y partes que constituyen la maquina secadora, debido a que se puede verificar los resultados teóricos con los experimentales y obtener un diseño confiable de la maquina.

8.2 Recomendaciones

- La construcción de un prototipo permite simular el proceso de secado y validarlo con pruebas de campo; para así demostrar que cumple con las expectativas de diseño y eficiencia.
- Debido a que el requerimiento de la empresa era utilizar un quemador de tamo se realizo el diseño de esta manera, pero si se requiere optimizar mas la secadora se debería instalar un sistema de quemado de GLP el cual nos permitiría obtener la temperatura de secado en un menor tiempo.

- Se debe instalar un regulador de temperatura en el ducto de salida del quemador para obtener una temperatura constante de secado en cualquier condición climática para evitar el resquebrajamiento del grano.
- Al tener arroz paddy se corre el riesgo que las bandejas se desgasten por rozamiento, principalmente en el modulo superior; es por esta razón que se debe realizar un mantenimiento cuando las bandejas pierdan la superficie de galvanizado, se recomienda cambiarlas.
- Se recomienda realizar las pruebas de secado bajo condiciones de diseño del prototipo para comprobar los cálculos realizados.
- Al desarrollar proyectos de diseño en el campo Agro Industrial nos permite obtener una visión y perspectiva de la Ingeniería Mecánica en nuestro país, ya que no se cuenta con la tecnología avanzada en este campo.

Por ello recomendamos a los futuros profesionales a orientarse en este sector productivo en pro del desarrollo del país, generando nuevas fuentes de trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] FAO: Food American Organization. And IRRI: Instituto Internacional de Investigación Sobre el Arroz.: El Arroz En La Nutrición, Roma, Bienvenido O. Juliano, 1994, pp. 39 – 53.
- [2] SECADO DE GRANOS www.fao.org
- [3] Geankoplis, Christie.: Procesos De Transporte Y Operaciones Unitarias. Quinta impresión. México. Editorial CONTINENTAL S.A. 1991. Pp. 451 – 456.
- [4] Hall. D.W. Manipulación y Almacenamiento de Granos Alimenticios en las Zonas Tropicales y Subtropicales. FAO 1971. Pp.85, 86.
- [5] Arco, Vicente.: Termotecnia, Calor Industrial, Transferencias, Producción Y Aplicaciones. España. Editorial Mitre. 1984. Pp.311 – 326.
- [6] Cartas psicrométrica
- [7] ASHRAE, Normas.: Physiological Factors in Drying and Storing Farm Crops. The preparation of this chapter is assigned to TC 2.2, Plants and animal environment. Ecuación (16). Tabla 6.
- [8] Shigley, Josep.: Diseño en Ingeniería Mecánica. México. 3 ed. en español. McGRAW-HILL. Pp.306 – 327
- [9] Novillo, Geovanny.: Apuntes De Estructuras Metálicas, Diseño por Esfuerzos Admisibles. Escuela superior politécnica de Chimborazo. 2009. 53p.
- [10] Valenzuela, Ramiro.: Apuntes de Aire Acondicionado y Ventilación Industrial. Escuela Superior politécnica de Chimborazo. 2003. p.
- [11] Crane. Flujo De Fluidos En Válvulas, Accesorios y Tuberías. México. McGRAW-HILL. 1988. 198p.
- [12] McCormac, Jack.: Diseño de estructuras de Acero Metodo LRFD. Mexico. 2 ed. En español. Alfaomega. 1998. Pp 201-212.

BIBLIOGRAFÍA

- Angladete, André.: El Arroz. 1 ed. Barcelona-España. BLUME. 1969.
- Arco, Vicente.: Termotecnia, Calor Industrial, Transferencias, Producción Y Aplicaciones. España. Editorial Mitre. 1984.
- ASHRAE, Normas.: Physiological Factors in Drying and Storing Farm Crops. The preparation of this chapter is assigned to TC 2.2, Plants and animal environment.
- Cartas psicrométrica.
- Crane. Flujo De Fluidos En Válvulas, Accesorios y Tuberías. México. McGRAW-HILL. 1988.
- FAG, Catálogo.: Tablas Y Diagramas Para Selección De Rodamientos.
- FAO: Food American Organization. And IRRI: Instituto Internacional de Investigacion Sobre el Arroz.: El Arroz En La Nutrición, Roma, Bienvenido O. Juliano, 1994.
- Geankoplis, Christie.: Procesos De Transporte Y Operaciones Unitarias. Quinta impresión. México. Editorial CONTINENTAL S.A. 1991.
- Hall. D.W. Manipulación y Almacenamiento de Granos Alimenticios en las Zonas Tropicales y Subtropicales. FAO 1971.
- Intermec, Catálogo.: La Transmisión De Potencia Por Cadena De Rodillos. 3 ed. Colombia. 2003.
- McCormac, Jack.: Diseño de Estructuras de Acero Método LRFD. México. 2 ed. En español. Alfaomega. 1998.
- Novillo, Geovanny.: Apuntes De Estructuras Metálicas, Diseño por Esfuerzos Admisibles. Escuela superior politécnica de Chimborazo. 2009.
- Secap.: El Secado de la Madera. Ecuador. Editorial Alemania F.
- Shigley, Josep.: Diseño en Ingeniería Mecánica. México. 3 ed. en español. McGRAW-HILL.
- SITI SPA, Catálogo.: Helical Inline Gearboxes. Italia. 2003.

Tablas de Vapor.: Propiedades Termodinámicas, Viscosidad Y Conductividad Térmica Del Agua Y Del Vapor. México. Editorial Representaciones Y Servicios De Ingeniería, S.A. 1961.

Topolanski, Eugenio y AID: Agencia De Desarrollo Internacional.: El Arroz Su Cultivo y Producción. Buenos Aires, Argentina. Editorial Hemisferio Sur. 1975.

Valenzuela, Ramiro.: Apuntes de Aire Acondicionado. Escuela superior politécnica de Chimborazo. 2008.

Valenzuela, Ramiro.: Apuntes de Aire Acondicionado y Ventilación Industrial. Escuela superior politécnica de Chimborazo. 2003.

8° Congreso Iberoamericano De Ingeniería Mecánica. Metodología del Diseño Aplicada a la Obtención de una Maquina Agrícola. Ecuador. 2007.

LINKOGRAFÍA

SECADORAS DE GRANOS

www.mega.com

http://www.secadorasmega.com.ar/prod_TC30_es.htm

2009 – 09 – 15

SECADO DE GRANOS

www.fao.org

<http://www.fao.org/docrep/X5041S/x5041S09.htm>

2009 – 10 – 25

PRODUCCIÓN DE ARROZ

http://www.google.com.ec/url?sa=t&source=web&cd=2&ved=0CBoQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.inec.gov.ec%2Fdocument_library%2Fget_file%3FfolderId%3D150466%26name%3DDLFE13945.pdf&rct=j&q=inec+y+proyecto+sica&ei=scMHTMeUJIL6lwf9rnzDg&usg=AFQjCNH4jjOz8iuj_W1BEuyCV_D6k2nzXA

2009 – 10 – 30