

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería Mecánica



Diseño y construcción de un secador de cardamomo tecnificado

Trabajo de graduación en la modalidad de megaproyecto  
presentado por Oscar Fuentes y Luken Lejarraga para optar al grado  
académico de Licenciados en Ingeniería Mecánica

Guatemala

2019







UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería Mecánica



Diseño y construcción de un secador de cardamomo tecnificado

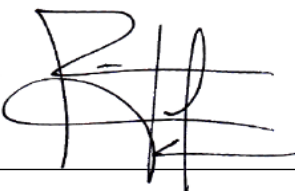
Trabajo de graduación en la modalidad de megaproyecto  
presentado por Oscar Fuentes y Luken Lejarraga para optar al grado  
académico de Licenciados en Ingeniería Mecánica

Guatemala

2019

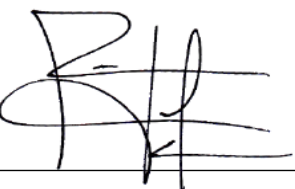


Vo.Bo.:

(f)  \_\_\_\_\_

Ing. Rony Herrarte


Tribunal Examinador:

(f)  \_\_\_\_\_

Ing. Rony Herrarte

(f)  \_\_\_\_\_

Ing. Victor Hugo Ayerdi

(f)  \_\_\_\_\_

Ing. Andrés Viau

Fecha de aprobación: Guatemala, 4 de diciembre de 2,019



# CONTENIDO

LISTA DE ILUSTRACIONES .....	xiii
LISTA DE TABLAS .....	xvii
RESUMEN .....	xix
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. OBJETIVOS.....	3
A. GENERAL DEL PROYECTO.....	3
B. GENERAL (MÓDULO DE “INGENIERÍA EN SISTEMAS”) .....	3
C. ESPECÍFICOS (MÓDULO DE “INGENIERÍA EN SISTEMAS”) .....	3
D. GENERAL (MÓDULO DE “POTENCIA”).....	3
E. ESPECÍFICOS (MÓDULO DE “POTENCIA”).....	3
III. JUSTIFICACIÓN.....	5
IV. MARCO TEÓRICO.....	7
A. ACERCA DEL CARDAMOMO .....	7
B. EL CARDAMOMO EN GUATEMALA .....	7
C. CLASIFICACIÓN.....	7
D. PROCESO DE SECADO DEL CARDAMOMO.....	7
E. SECADORES DE CARDAMOMO .....	8
1. COMPONENTES.....	8
2. TIPOS DE SECADORES .....	8
F. INGENIERÍA EN SISTEMAS .....	9
1. FASES DE LA INGENIERÍA EN SISTEMAS .....	9
2. METODOLOGÍA DE INGENIERÍA EN SISTEMAS .....	10
3. REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA .....	12
4. VERIFICACIÓN Y VALIDACIÓN DE REQUERIMIENTOS .....	13
5. MITIGACIÓN DE RIESGOS .....	13
G. TRANSMISIÓN DE POTENCIA MECÁNICA .....	15
1. TRANSMISIÓN CON BANDAS EN V .....	17
H. FUENTES DE CALOR.....	21

1.	GAS .....	21
2.	LEÑA .....	25
3.	RESISTENCIAS ELÉCTRICAS .....	26
I.	SOPLADORES Y VENTILADORES DE AIRE .....	26
1.	PARTES DE UN SOPLADOR O VENTILADOR .....	26
2.	TIPOS DE VENTILADORES DE AIRE .....	27
3.	TRANSMISIÓN POR CORREA VERSUS TRANSMISIÓN DIRECTA.....	30
J.	TENSIÓN DE BANDA EN MOTOR .....	31
K.	VIBRACIONES MECÁNICAS .....	32
1.	CONTROL DE VIBRACIONES .....	32
2.	CONTROL DE FRECUENCIAS NATURALES .....	33
3.	AMORTIGUAMIENTO .....	33
4.	AISLAMIENTO DE VIBRACIÓN.....	34
L.	Equipo De Seguridad.....	34
V.	ANTECEDENTES.....	37
A.	PROCESOS DE SECADO EN COBÁN.....	37
B.	UNIDAD DE VENTILACIÓN DE AIRE.....	38
C.	FUENTES DE CALOR.....	39
D.	CONSUMO DE LEÑA EN GUATEMALA.....	40
VI.	METODOLOGÍA .....	43
A.	CRONOGRAMA DE TRABAJO .....	43
B.	MATRIZ DE REQUERIMIENTOS, VERIFICACIÓN Y VALIDACIÓN .....	43
A.	MATRIZ DE RIESGO .....	45
C.	METODOLOGÍA PARA DISEÑO DEL SISTEMA DE POTENCIA .....	47
D.	CÁLCULOS PRELIMINARES .....	47
1.	CÁLCULO DE TORQUE .....	50
E.	SELECCIÓN DE VENTILADOR O SOPLADOR .....	50
F.	SELECCIÓN DE UNIDAD DE POTENCIA.....	52
G.	SELECCIÓN DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA MECÁNICA.....	54

H.	DISEÑO PRELIMINAR .....	55
1.	POSICIONAMIENTO DEL QUEMADOR.....	56
I.	PRIMER DISEÑO .....	57
J.	SEGUNDO DISEÑO.....	58
1.	POSICIONAMIENTO DEL QUEMADOR.....	59
K.	TERCER DISEÑO .....	61
L.	CUARTO DISEÑO .....	63
M.	ANÁLISIS DE SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA .....	65
1.	REQUISITOS DE FUERZA Y PAR DE POTENCIA.....	65
1.	SELECCIÓN DE FAJAS DE TRANSMISIÓN EN "V" .....	66
2.	DISEÑO DE EJE.....	71
3.	ANÁLISIS DE EJE DE TRANSMISIÓN.....	72
4.	DURABILIDAD DE BANDAS.....	80
5.	ANÁLISIS ESTRUCTURAL .....	82
N.	ANÁLISIS DE VIBRACIONES MECÁNICAS.....	87
O.	CONSTRUCCIÓN DE SISTEMA DE POTENCIA.....	89
1.	MODIFICACIÓN DE VENTILADOR.....	89
2.	CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURA DEL SISTEMA DE POTENCIA .....	92
3.	CONSTRUCCIÓN DE DIFUSOR.....	95
4.	CONSTRUCCIÓN DE GUARDA.....	97
P.	SELECCIÓN DE QUEMADOR DE GAS .....	99
Q.	CIRCUITO DE GAS.....	101
R.	ANÁLISIS FINANCIERO.....	102
S.	PRUEBAS DE INTEGRACIÓN.....	103
VII.	RESULTADOS.....	105
A.	CRONOGRAMA DE TRABAJO .....	105
B.	ANÁLISIS FINANCIERO.....	106
C.	MATRIZ DE REQUERIMIENTOS, VERIFICACIÓN Y VALIDACIÓN .....	107
1.	REVISIÓN DEL REQUERIMIENTO FTD-03 .....	109

2.	ANÁLISIS DEL REQUERIMIENTO FF-01 .....	112
3.	PRUEBAS DEL REQUERIMIENTO OPCV-01 .....	114
D.	MATRIZ DE RIESGO .....	115
E.	RESULTADOS DE FLUJO DE AIRE .....	117
F.	CALEFACCIÓN DE AIRE .....	119
G.	AISLAMIENTO Y REDUCCIÓN DE VIBRACIONES MECÁNICAS.....	120
VIII.	CONCLUSIONES.....	123
A.	INGENIERÍA EN SISTEMAS.....	123
B.	SISTEMA DE POTENCIA .....	123
IX.	RECOMEDACIONES .....	125
A.	INGENIERÍA EN SISTEMAS.....	125
B.	SISTEMA DE POTENCIA .....	125
X.	BIBLIOGRAFÍA.....	127
XI.	ANEXOS.....	129
A.	PLANES DE MITIGACIÓN DE LOS RIESGOS .....	129
B.	ACTIVIDADES DE VERIFICACIÓN .....	131
C.	TABLA DE POSIBLES CAUSAS DE LOS RIESGOS .....	134
D.	COSTOS DEL SECADOR.....	136
E.	MANUAL DE SEGURIDAD DE PRUEBAS .....	137
F.	ELEMENTOS PARA EL CONTROL Y COMBUSTIÓN DE GAS PROPANO.....	145

## LISTA DE ILUSTRACIONES

1.	Ciclo de Ingeniería de Sistemas .....	12
2.	Matriz de riesgo probabilidad-consecuencia.....	15
3.	Tensiones en la banda en V .....	19
4.	Quemador abierto de tiro natural .....	22
5.	Quemador de tiro forzado .....	23
6.	Quemador de premezclado con inyector.....	23
7.	Quemador con mezclado en tobera controlado por aire.....	24
8.	Instalación típica de tubería de gas .....	25
9.	Partes de un ventilador centrífugo .....	27
10.	Partes de un ventilador axial.....	27
11.	Ventilador radial .....	28
12.	Ventilador centrífugo con álabes curvos hace adelante .....	28
13.	Ventilador centrífugo con álabes curvos hacia atrás.....	28
14.	Ventilador de flujo mezclado.....	29
15.	Ventilador de flujo cruzado .....	30
16.	Base de motor ajustable .....	31
17.	Mecanismos de tensión de bandas en base del motor .....	31
18.	Secador cilíndrico en Senahú, Alta Verapaz.....	37
19.	Secador de pila de geometría recatangular en Senahú, Alta Verapaz .....	37
20.	Motor Diesel de 12 hp en Senahú, Alta Verapaz.....	38
21.	Ventilador centrífugo de secador en Senahú, Alta Verapaz.....	39
22.	Unidades de ventilación de secadores en Senahú, Alta Verapaz .....	39
23.	Quemador atmosférico en la entrada de un ventilador centrífugo .....	39
24.	Quemador artesanal de gas para secadora de 70 quintales .....	40
25.	Línea de control de gas de secadora de 70 quintales .....	40
26.	Proceso de diseño de sistema de potencia.....	47
27.	Hoja técnica de ventilador centrífugo de doble entrada.....	52
28.	Diseño preliminar .....	55
29.	Vista superior de diseño preliminar .....	56
30.	Posicionamiento de quemador en diseño preliminar .....	56
31.	Configuración del segundo diseño.....	57
32.	Vista inferior de mecanismo de tensión del segundo diseño .....	58
33.	Vista frontal de entrada de ventilador .....	59

34.	Vista lateral de ventilador centrífugo no corregido .....	59
35.	Primera iteración de ducto de adición de calor .....	60
36.	Resultado de velocidad para primera iteración de ducto de quemador.....	60
37.	Resultados primera iteración de quemador cerrado.....	61
38.	Soporte de motor .....	61
39.	Guías para carrileras del motor.....	62
40.	Mecanismo de tensión .....	63
41.	Diseño de guarda para sistema de transmisión de potencia .....	63
42.	Iteración final de ducto de quemador.....	64
43.	Diseño de difusor.....	64
44.	Encendedor de gas para ignición de quemador.....	65
45.	Soporte de quemador y punto de ignición de gas .....	65
46.	Tabla de selección de geometría de banda.....	68
47.	Disposición de elementos sobre eje, primer iteración.....	71
48.	Disposición de elementos sobre eje, segunda iteración .....	71
49.	Fuerzas sobre el eje de transmisión .....	74
50.	Diagrama del sistema simplificado.....	75
51.	Diagrama de cuerpo libre de eje .....	75
52.	Cargas sobre el eje en el software ANSYS.....	76
53.	Soporte de eje en software ANSYS .....	77
54.	Mallado del sistema del eje de transmisión de potencia .....	77
55.	Deformación del sistema de transmisión de potencia .....	78
56.	Deformación de eje.....	78
57.	Factor de seguridad de eje .....	79
58.	Punto de factor de seguridad mínimo .....	79
59.	Esfuerzo equivalente sobre eje de transmisión .....	79
60.	Esfuerzo máximo sobre eje, análisis de elementos finitos .....	80
61.	Simplificación de tuercas y varilla roscada .....	82
62.	Superficies curvas en perfiles .....	83
63.	Superficies curvas de perfiles corregidas en software ANSYS .....	83
64.	Seccionamiento de perfiles en ANSYS .....	83
65.	Soportes en modelo de elementos finitos.....	84
66.	Condiciones de modelo de elementos finitos.....	84
67.	Deformación resultante de estructura .....	85
68.	Esfuerzo equivalente sobre estructura .....	85

69.	Zonas de mayor esfuerzo equivalente en estructura .....	86
70.	Factor de seguridad para estructura .....	86
71.	Punto con menor factor de seguridad en la estructura .....	86
72.	Gráfico de frecuencias modales de estructura.....	87
73.	Amortiguadores de caucho empleados .....	88
74.	Desmontaje de elementos del ventilador .....	89
75.	Referencia de la entrada abierta.....	89
76.	Posicionamiento de la referencia en cara cerrada de la voluta.....	90
77.	Trazo de la referencia sobre la superficie de corte.....	90
78.	Apertura de segunda entrada de aire en la voluta .....	90
79.	Doblado de chapa metálica .....	91
80.	Puntos de soldadura en sección circular .....	91
81.	Soldadura de sección circular a nueva entrada de voluta.....	91
82.	Nueva pintura de voluta.....	92
83.	Soldadura de marco principal de estructura.....	92
84.	Posicionamiento de ventilador centrífugo en la estrucura .....	92
85.	Posicionamiento del motor en la estructura .....	93
86.	Soldadura de perfiles angulares restante en la base del motor .....	93
87.	Perfiles de mecanismo de tensión sujetos al marco principal .....	94
88.	Mecanismo de nivelación de estructura soldado.....	94
89.	Estructura de unidad de potencia pintada .....	94
90.	Doblado de lamina para elaboración de difusor.....	95
91.	Ensamblaje de laminas del difusor sobre el sistema .....	95
92.	Geometría de difusro cerrada.....	96
93.	Perforación de tubo de 4" y soldadura de tuercas de 3/8" .....	96
94.	Soldadura de tubo de alojamiento de quemador a estructura del difusor.....	96
95.	Difusor completo acoplado al quemador .....	97
96.	Soldadura de los primeros tres elementos de la estructura de la guarda .....	97
97.	Malla colocada en su sitio para soldadura .....	97
98.	Cierre de geometría soldadura de angulares .....	98
99.	Refuerzo de guarda .....	98
100.	Guarda instalada en sistema de potencia .....	98
101.	Diagrama de dimensiones de quemador tipo soplete .....	100
102.	Quemador atmosférico PYPESA QA14 .....	101
103.	Cronograma diciembre 2018- mayo 2019 .....	105

104.	Cronograma mayo 2019- octubre 2019 .....	105
105.	Cronograma octubre 2019 - noviembre 2019 .....	106
106.	Primer propuesta de diseño.....	109
107.	Segunda propuesta de diseño.....	109
108.	Tercera revisión de diseño .....	110
109.	Cuarta revisión de diseño.....	110
110.	Mecanismo interno de recirculación.....	111
111.	Recirculación instalada.....	111
112.	Primera iteración de distribución de flujo.....	112
113.	Segunda iteración de distribución de flujo.....	112
114.	Tercera iteración de distribución de flujo .....	113
115.	Cuarta iteración de distribución de flujo.....	113
116.	Flujo vectorial de distribución de flujo diseño final .....	114
117.	Módulo de potencia correctamente acoplado.....	114
118.	Motor aislado de vibraciones y tornillos de ajuste fino .....	115
119.	Matriz de verificación y validación según la probabilidad y la consecuencia. ....	116
120.	Lecturas del anemómetro en la salida de difusor .....	117
121.	Velocidad de flujo en el difusor.....	117
122.	Apertura de flujo en difusor.....	118
123.	Medición de velocidad angular en eje del motor .....	119
124.	Llama del quemador expuesta al flujo de aire .....	119
125.	Coloración de superficie cercana al quemador .....	120
126.	Temperatura mas alta registrada en la recámara de secado .....	120
127.	Punta tuerca izquierda MOD 970 .....	145
128.	Regulador de presión REGO 1-15 psi .....	145
129.	Manguera flexible de 5 metros con recubrimiento de acero inoxidable .....	145
130.	Manómetro Winters de 0 a 30 psi .....	145

## LISTA DE TABLAS

1.	Criterio valoración de probabilidad-consecuencia .....	14
2.	Secciones de bandas en “V” estándar.....	17
3.	Dimensiones de conversión de longitud.....	17
4.	Factores de servicio sugeridos Ks para transmisiones de banda V.....	18
5.	Algunos parámetros de bandas en V .....	19
6.	Parámetros de durabilidad para algunas secciones de banda en V .....	20
7.	Tipos de ventiladores axiales .....	29
8.	Eficiencia de ventiladores y sopladores .....	30
9.	Requerimientos funcionales .....	44
10.	Requerimientos operacionales.....	44
11.	Requerimientos limitantes .....	45
12.	Valoración de riesgos .....	46
13.	Matriz de ponderación para selección de unidad de potencia .....	53
14.	Matriz de ponderación para selección de sistema de transmisión de potencia .....	54
15.	Factores de servicio.....	67
16.	Diámetros mínimos de polea recomendados .....	69
17.	Extracto de distancia entre centros para bandas Gates .....	69
18.	Potencia nominal por banda de sección AX.....	70
19.	Potencia añadida por banda para relación de velocidades.....	70
20.	Materias para manufactura de eje.....	72
21.	Valores para análisis de fuerzas .....	73
22.	Factores seleccionados para análisis de fuerzas en bandas .....	73
23.	Montaje de ventilador.....	75
24.	Montaje de impeler.....	76
25.	Valores de segunda iteración para la durabilidad de las banda .....	81
26.	Frecuencias naturales de estructura .....	88
27.	Capacidades aproximadas de quemadores PYPESA en miles de BTU por hora .....	100
28.	Dimensiones de quemadores tipo soplete.....	100
29.	Costos resumidos.....	102
30.	Significado de colores en cronograma .....	106
31.	Proyección de ganancias a 6 meses con el secador .....	107
32.	Indicadores de rentabilidad .....	107
33.	Matriz de verificación y validación de requerimientos .....	108



## RESUMEN

En conjunto con Centro de Estudios Agrícolas y Alimenticios (CEAA) se busca trabajar un secador de cardamomo para pequeños productores de cardamomo con el cual puedan aumentar su productividad y calidad de producto, llevando a cabo el proceso de secado ellos mismos. Se realizará una investigación de los secadores existentes actualmente en la región para determinar sus capacidades, requerimientos, modalidades y funcionamiento. En base a la información que recolectada en campo en esta investigación se hará un diseño para fabricar un secador adaptable a las necesidades de comunidades de pequeños productores. Una vez el diseño cumpla todos los requerimientos se procederá a la fabricación, manufactura y ensamble del secador. Se realizarán pruebas de funcionamiento para verificar su correcto funcionamiento conforme a los objetivos fijados. Se espera terminar con un prototipo de secador funcional que esté adaptado a las necesidades de las comunidades de pequeños productores.

El módulo “ingeniería en sistemas” tuvo como objetivo llevar el trabajo al éxito por medio de un cronograma en el cual se debió asegurar la compatibilidad de todos los módulos que componen la máquina. Esto a través de una matriz de verificación y validación de los diferentes tipos de requerimientos que fue la máquina a lo largo del proceso. Parte de esto requiere tener un plan de contingencia en caso cualquier cosa que no tenga el resultado esperado o que surjan imprevistos, así poder mitigarlos y poder entregar en el tiempo estipulado para el proyecto. La persona encargada de la ingeniería en sistemas debe de verificar que cada módulo esté cumpliendo con los tiempos y con los requerimientos solicitados.

Este módulo también incluyó la elaboración de un manual de operación para el usuario, complementado con las medidas de seguridad para el operador y del funcionamiento del secador de cardamomo. Con este manual se espera que se pueda extender la vida útil del secador y reducir los riesgos de operación, siempre brindando un producto de calidad de la manera más eficiente.

El módulo de “sistema potencia y combustión, y análisis vibraciones mecánicas” consiste principalmente en dos sistemas divididos en el sistema de potencia mecánico y sistema de combustión de gas. En el sistema de potencia mecánica se seleccionó la unidad de potencia (motor de combustión interna) según los requerimientos y se diseñó el sistema para la transmisión de potencia. En el sistema de combustión de gas, se diseñó el sistema de manejo y control del flujo de gas al secador, integrando elementos necesarios como válvulas, quemadores, tuberías, entre otros elementos. Y en el análisis de vibraciones mecánicas se realizó un análisis de vibraciones a las que se encuentra sometido el sistema. Y el segundo sistema consiste en el control y sistema combustión de gas para el aporte de calor al secador.



# I. INTRODUCCIÓN

El cardamomo conforma uno de los principales productos de exportación de Guatemala, ocupando el puesto 13 entre los productos más exportados del país. Actualmente el cardamomo es la tercer especia más cara del mundo y Guatemala es principal exportador a nivel mundial de la misma. Siendo sus principales clientes los países árabes

Gracias al clima de la región, húmedo y caluroso, se favorece el cultivo de la semilla. La zona de mayor producción se encuentra en los departamentos de Huehuetenango, Quiché, Alta Verapaz, Petén, Zacapa e Izabal, en el norte del país. Donde al menos al menos 350.000 familias que siembran directamente la semilla, más otros miles que participan en otros procesos de la producción. Y como parte de dichos procesos de producción se encuentra el proceso de secado el cual consiste, en reducir la humedad del cardamomo desde un 80% hasta un 10%. Porcentaje de humedad al cual este ya puede ser almacenado, clasificado y embalado para su consumo final. Actualmente, el secado de cardamomo en Guatemala se lleva a través de máquinas secadoras desarrolladas por medio de conocimiento empírico. Por lo que se propone llevar a cabo la manufactura de una máquina secadora de granos de cardamomo tecnificada, que mejore la calidad en el secado a la vez que se desarrolla un diseño de secador que pueda ser operado y adquirido por comunidades de trabajadores de cardamomo. De forma que aquellas personas que siembran y cosechan el mismo adquieran beneficio económico del proceso de secado.

Para que la finalidad del módulo en Ingeniería de Sistemas se cumpliera, se creó una matriz de requerimientos la cual fue monitoreada constantemente. En esta matriz se incluyeron todos los módulos tomando en cuenta sus respectivos requerimientos y colocándoles el código correspondiente a cada uno. Este módulo ejecutó diferentes métodos de verificación y validación de los requerimientos planteados en la matriz. Además de lo mencionado anteriormente, este debió encargarse de coordinar a los demás módulos del proyecto. Para lograr la correcta coordinación se calendarizaron reuniones de trabajo para relacionar y conectar los distintos módulos y trabajar en una sola línea de trabajo. El fin último de este módulo fue organizar los diferentes módulos para que el trabajo del proyecto fuera eficiente, productivo y enfocado a los objetivos generales del proyecto. A través de la metodología de verificación y validación se pretendió que se lograran cumplir todos los requerimientos de cada módulo a lo largo del proceso de diseño. Ya que el proceso de diseño requirió de varias iteraciones, se tuvieron calendarizadas fechas límites para verificar y validar los requerimientos, por lo que existieron revisiones previas a la fecha límite debido a rediseños del secador.

En el módulo “sistema potencia y combustión, y análisis vibraciones mecánicas”, se llevó a cabo la elaboración de un diseño y construcción de uno de los componentes principales de una máquina secadora de cardamomo, como lo es el sistema de potencia que provee de un flujo de aire caliente a una temperatura y tasa de flujo específica, de forma eficiente, segura e innovadora.



## II. OBJETIVOS

### A. GENERAL DEL PROYECTO

Diseñar y manufacturar un secador tecnificado de cardamomo orientado a pequeños productores que sea capaz de secar 10 quintales de cardamomo cereza.

### B. GENERAL (MÓDULO DE “INGENIERÍA EN SISTEMAS”)

- Diseñar sistemas de transmisión y generación de potencia mecánica y termodinámica, que cumplan los requerimientos necesarios para el proceso de secado de cardamomo.
- Diseño según desarrollo de análisis de vibraciones mecánicas en el sistema.

### C. ESPECÍFICOS (MÓDULO DE “INGENIERÍA EN SISTEMAS”)

- Realizar un cronograma eficiente para que los módulos funcionen y vayan acorde el tiempo estipulado.
- Crear un manual para el usuario para el uso y mantenimiento adecuado para el uso de la máquina.
- Definir la seguridad reglamentaria para la correcta operación de la secadora de cardamomo.
- Realizar cálculo financiero de los gastos que se realizarán para la construcción del secador de cardamomo.
- Realizar un plan de mitigación de riesgos para que el proceso de diseño y manufactura se realicen dentro del tiempo establecido.

### D. GENERAL (MÓDULO DE “POTENCIA”)

- Aplicar la metodología de ingeniería en Sistemas para poder coordinar la compatibilidad de los módulos de la secadora de cardamomo

### E. ESPECÍFICOS (MÓDULO DE “POTENCIA”)

- Diseño y manufactura de un sistema de transmisión de potencia, para el movimiento de un ventilador centrífugo de aire, capaz de soportar las cargas generadas por la unidad de potencia sobre el mismo.
- Diseño y manufactura de sistemas de manejo, control e ignición de gas, cumpliendo con la conducción de calor al sistema requerida para el secado.
- Garantizar seguridad para el operador en el funcionamiento del sistema de transmisión de potencia, así como en el manejo de gas.
- Selección y análisis de una unidad de potencia efectiva, viable y rentable en su operación considerando las condiciones del entorno de desempeño.

- Garantizar la operación de los elementos mecánicos del sistema de potencia para una vida útil de al menos 2 años, bajo condiciones operacionales especificadas.
- Garantizar operación del sistema bajo las condiciones de vibraciones mecánicas desarrolladas por la unidad de potencia.

### III. JUSTIFICACIÓN

Guatemala es uno de los principales países productores y exportadores de cardamomo en el mundo. Los principales campos de cultivo de esta especia se encuentran en las regiones norte y noroccidental del país, por las favorables condiciones de ambiente de estas hacia el cardamomo. A la vez, tales condiciones provocan que dicho fruto sea recolectado con porcentajes de humedad relativa altos, aspecto desfavorable para su exportación. Actualmente el proceso de secado se lleva a cabo de manera artesanal en centros de acopio o por empresas dedicadas a su exportación en cantidades relativamente grandes (4000lb-5000lb) por proceso de secado. Estos centros de secado tienen una estructura establecida en la que el pequeño productor debe transportar su producción de cardamomo hasta el centro de acopio (en la mayoría de los casos a pie y por distancias extensas) para poder venderla. La principal desventaja de esta estructura es el bajo retorno que obtiene el productor, ya que el precio del grano húmedo (cereza) es bajo en comparación al del grano seco (pergamino), esto aunado al rápido deterioro del grano cereza obliga a los pequeños productores a vender su producción cereza a precios bajos.

Por tanto, se planteó la creación de un secador de cardamomo tecnificado para pequeños productores de cardamomo, con el objetivo que estos productores puedan llevar a cabo por sí mismos un mejor proceso de secado, y con ello obtener un mejor retorno económico de su producto. A la vez, que la calidad del cardamomo sea aumentada en el mejoramiento del proceso de secado. Para esto se sugiere la fabricación de un secador de una capacidad de secado de 10 quintales que se pueda instalar en una comunidad de varios labradores de cardamomo, que les permita llevar a cabo el proceso de secado de forma independiente de los centros grandes de acopio. Y evitando el deterioro del cardamomo cereza al ser operable con bajas cantidades.

Para poder llevar a cabo correctamente un proyecto en el cual están involucrados diferentes módulos siempre es necesario que exista un sistema o metodología para que la ingeniería se lleve a cabo correctamente. Por esta razón se implementó la ingeniería en sistemas. La ingeniería en sistema tuvo la finalidad de estructurar un plan de trabajo tomando en cuenta los funcionamientos básicos del proyecto, para que todos los módulos se llevaran a cabo bajo los mismos lineamientos y que funcionaran correctamente entre sí. También la persona a cargo del módulo de Ingeniería en sistemas tiene que analizar la interacción del proyecto con su entorno, tomando en cuenta limitaciones externas que afecten al funcionamiento o diseño del proyecto, algunas de las limitaciones son: tamaño de la máquina para su transporte, costos, capacidad de funcionamiento, instalaciones requeridas para el funcionamiento de la máquina, entre otros.

El módulo de “sistema potencia y combustión, y análisis vibraciones mecánicas” se requiere para garantizar que se cumplan diferentes requerimientos de operación. Parte importante del proceso de secado, se llevará a cabo creando un flujo de aire determinado por un análisis termodinámico. Y este flujo se generará por medio de un ventilador. Por lo que el sistema de potencia mecánica cumple la tarea de garantizar el movimiento del ventilador a la velocidad correcta, para crear el flujo deseado de forma efectiva. Por otro lado, el sistema de combustión de gas busca garantizar flujo y combustión adecuada de gas al secador, para proveer la cantidad de

calor necesaria establecida por el análisis termodinámico. Y el análisis de vibraciones mecánicas, se hace necesario para garantizar el correcto funcionamiento de los elementos mecánicos, sometidos a vibraciones, por un período establecido.

## IV. MARCO TEÓRICO

### A. ACERCA DEL CARDAMOMO

El cardamomo (*Elettaria cardamomum*) es la variedad más buscada y la cultivada en Guatemala, al igual que otra especie, de mayor tamaño (*Amomum subulatum*), la cual es cultivada en la zona del Nepal y noroeste de la India. Ambas especies, al igual que el jengibre, pertenecen a la familia de las Zingiberáceas. Y este es el fruto de una planta herbácea perenne, que puede alcanzar los cuatro metros de altura; originaria de la India y llevada después a Europa y posteriormente a América. (MAGA, 2014)

Las especies utilizadas para el cardamomo son nativas de Asia tropical y subtropical. Las primeras referencias al cardamomo se encuentran en Sumer y en las literaturas ayurvédicas de la India. Hoy en día, también se cultiva en Guatemala, Malasia y Tanzania. El plantador de café alemán Oscar Majus Kloeffer introdujo el cardamomo indio (kerala) al cultivo en Guatemala antes de la Primera Guerra Mundial; para el año 2000, ese país se había convertido en el mayor productor y exportador de cardamomo del mundo, seguido por la India. (AGEXPORT, 2019)

### B. EL CARDAMOMO EN GUATEMALA

En Guatemala, la producción de cardamomo se concentra principalmente en cinco departamentos: Alta Verapaz, Baja Verapaz, Izabal, Huehuetenango y Quiché, en todos los departamentos productores, se estima que en 2012 se alcanzó una producción de 38.000 toneladas métricas, lo que situó al país como el principal exportador mundial de esta especie. Si bien en Guatemala se cosecha durante todo el año, debido a sus excepcionales condiciones climáticas, la mayor cosecha se recoge entre septiembre y marzo, lo que también es una ventaja, ya que permite complementar las ventanas dejadas por India, Nepal, China y Vietnam, que para sus producciones dependen mucho de las condiciones de las lluvias irregulares de la región. (MAGA, 2014)

### C. CLASIFICACIÓN

Para la comercialización el producto se clasifica de la siguiente manera:

- Cardamomo cereza: Es el producto verde recién cortado, que no ha sufrido ningún cambio físico.
- Cardamomo pergamino: Es el fruto que ha sido expuesto a un proceso de secado en el beneficio.
- Cardamomo oro: Residuo encontrado en el proceso de secado y colado del pergamino. (Mazariegos, 2006)

### D. PROCESO DE SECADO DEL CARDAMOMO

El proceso de secado de cardamomo en Guatemala se lleva a cabo por medio de máquinas secadoras de cardamomo, las cuales llevan el fruto del cardamomo en cereza al fruto pergamino, el cual ya se encuentra seco y en un estado adecuado para su venta al exportador y consumidor.

## E. SECADORES DE CARDAMOMO

Un secador de cardamomo es una máquina que controla la humedad relativa de los granos de cardamomo, con el objetivo de evaporar la humedad que contienen los granos recién cosechados. De forma que los granos secos puedan ser almacenados durante mayor tiempo. Los secadores de cardamomo pueden variar en geometría tamaño y componentes. Ello depende principalmente del tipo de secador y del volumen de grano de cardamomo que se desea.

Todas estas pilas secadoras son fabricadas artesanalmente, habiendo ya talleres formales en los municipios de la región que se dedican exclusivamente a la fabricación de todo lo concerniente a las pilas secadoras de cardamomo. (Aguilar, 2016)

### 1. COMPONENTES

Los secadores de cardamomo, en su mayoría, se componen de diferentes elementos básicos. Como lo son una fuente de calor, un generador de flujo de aire (ventilador) y un espacio para el almacenamiento de los granos de cardamomo (o pila). En Guatemala, específicamente en la zona de Cobán, los secadores consisten en un espacio confinado para la combustión leña (la fuente de calor), que luego pasa por un intercambiador de calor en el que circula aire impulsado por un ventilador. Luego, el aire con una temperatura más alta se desplaza hacia la parte inferior del espacio de almacenamiento de cardamomo, en el cual es forzado a fluir a través de una lámina perforada sobre la cual se encuentra el cardamomo. Por lo cual, el aire, fluye a su vez, a través de los granos de cardamomo y luego es expulsado hacia el exterior.

### 2. TIPOS DE SECADORES

Los tipos de secadores se dividen, principalmente, según la fuente de calor utilizada para elevar la temperatura del aire. En Cobán existen tres tipos de secadores predominantes ordenados según su presencia:

- Secadores con combustión de leña
- Secadores con combustión de gas Kerosene
- Secadores con combustión de aceite Diesel (Wellmann, 2015)

#### a. SECADORES DE LEÑA

Los secadores de leña se caracterizan por tener una pila de geometría circular y por poseer un espacio confinado para la combustión de la leña. En este, los gases de combustión atraviesan unos tubos que conforman un intercambiador de calor. Y dicho intercambiador entrega calor al aire, impulsado por un ventilador. Y luego el aire, a mayor temperatura, ingresa a la pila de secado en donde atraviesa los granos en un flujo que se da de abajo hacia arriba.

#### b. SECADORES DE GAS

Los secadores con combustión de gas se caracterizan por poseer un quemador atmosférico en la entrada, o en la salida, de un ventilador centrífugo que impulsa el aire. Estos no necesitan de un intercambiador de calor

para elevar la temperatura del aire de entrada al secador. Sin embargo, si requieren de un circuito de gas, para el manejo y control de gas.

### c. SECADORES DE ACEITE DIESEL

Popularmente se le conoce como dispositivos de calefacción. Es la unidad encargada de incinerar el combustible diésel. Esta tiene varias aberturas, las cuales hacen que gaste cerca de dos galones por hora; cerca de las aberturas se hallan situados dos varillas o electrodos que causan una chispa que prepara el paso de la ignición. (Wellmann, 2015)

## F. INGENIERÍA EN SISTEMAS

La ingeniería en sistemas se puede definir de formas diferentes, pero una manera general de definirla es que es una guía de la ingeniería de un sistema complejo, en el cual esta debe diseñar, construir y gestionar los esfuerzos técnicos para la realización de un proyecto. Esta debe de buscar un balance entre el costo, tiempo, desempeño y llevarlo de la mano con el riesgo involucrado, para poder entregar los requerimientos que el proyecto posee. El encargado de ingeniería en sistemas debe de tomar el papel de guía, ya que en cualquier proceso siempre existen diversos caminos que tomar. Es por lo que debe guiar de la manera más eficiente posible, guardando siempre que todos los diversos subsistemas o partes del mismo cuidando una relación entre sí que cumplan con los requerimientos del objetivo final. (Kossiakoff, 2011)

### 1. FASES DE LA INGENIERÍA EN SISTEMAS

Para la elaboración del sistema, como de los subsistemas se debe tener cierto orden. La ingeniería en sistemas entiende el sistema y subsistemas como un todo, analizando desde afuera, en otras palabras, su interacción con otros sistemas o su entorno, así como sus interacciones internas al sistema (subsistemas). Ya que en los sistemas complejos se requieren diferentes disciplinas de la ingeniería, la ingeniería en sistemas debe encargarse de darle un seguimiento individual a cada una de las disciplinas, para que cada elemento individual que se incluya en el sistema complejo pueda funcionar correctamente entre los demás subsistemas y en el sistema complejo. (Kossiakoff, 2011)

Para que el sistema complejo se lleve a cabo correctamente, todos los subsistemas deben de ir desarrollándose entrelazados entre sí para que se vaya avanzando en conjunto y que no queden partes incompletas, comprometiendo el tiempo de finalización del sistema. Para esto se divide el proyecto en fases. Se debe cumplir el orden de estas fases, así se podrá obtener mejores resultados y el trabajo se vería facilitado si se hace conforme a estas. Las fases sugeridas para un sistema complejo son 2 generales y 6 específicas.

#### a. FORMULACIÓN

Pre-fase A, Estudio de conceptos: Se crea un espectro de ideas y alternativas de sistemas similares existentes que hagan algo similar o lo mismo al sistema que se quiere realizar. En esta pre-fase se comienzan a definir los requisitos del proyecto, conceptos para su realización e identificación de tecnologías potenciales para el mismo.

Fase A, Desarrollo del concepto de tecnología: En esta fase se determina la viabilidad y el deseo de realizar el proyecto. Se establecen las bases del mismo, creando un concepto final del fin del proyecto, los requerimientos por nivel y de la estructura del desarrollo de nuevas tecnologías.

Fase B, Diseño preliminar e Implementación de tecnologías: Para definir el proyecto se deben establecer lineamientos bases capaces de cumplir las necesidades de la misión. Se debe desarrollar la estructura del producto, requerimientos y generar un diseño preliminar para cada estructura y producto necesario.

## b. IMPLEMENTACIÓN

Fase C, Diseño final y fabricación: Para terminar el diseño final del sistema (y los sistemas asociados), se debe fabricar el hardware y codificar el código. Se debe generar un diseño final para cada estructura del producto.

Fase D, Ensamblaje del sistema, integración, prueba y funcionamiento: Ensamblar e integrar los productos para crear el sistema confiando que van a cumplir los requerimientos del sistema. Se debe de implementar el producto, ensamblar, integrar y probar.

Fase E, Operación y sostenimiento: Orientar el proyecto con el objetivo inicial y mantenerlo sustentado la mayor cantidad de tiempo posible según las operaciones planeadas.

Fase F, Finalización: Se entregan resultados finales, se debe de iterar la fase E hasta que se hayan obtenido los resultados requeridos. (Kossiakoff, 2011)

## 2. METODOLOGÍA DE INGENIERÍA EN SISTEMAS

Este es un método que es una aplicación sistemática del método científico a la Ingeniería de un sistema complejo. Consiste en cuatro actividades básicas aplicadas sucesiva e iterativamente hasta completar cada fase. (Kossiakoff, 2011)

Análisis de requerimientos (Definición del problema)

- Ensamblaje y organización de todas las condiciones de entradas, incluyendo requerimientos, planes y modelos de la fase anterior.
- Identificación del “por qué” de todos los requerimientos en términos de necesidades operacionales, restricciones, entorno u otro nivel de objetivos.
- Clarificación de los requerimientos de que tiene que hacer cada sistema, que tan bien debe hacerlo y que restricciones de cumplir
- Corregir todo lo necesario y cuantificar todos los requerimientos las veces que sea necesario.

### Definición funcional (Análisis funcional y de asignación)

#### Definición funcional

- Sintetización de posibles diseños que puedan cumplir las funciones requeridas, teniendo el más práctico y funcional de todos.
- Partir los bloques en sistemas funcionales.
- Definir interacciones entre los elementos funcionales de cada bloque.

#### Definición física (síntesis, análisis físico y asignación)

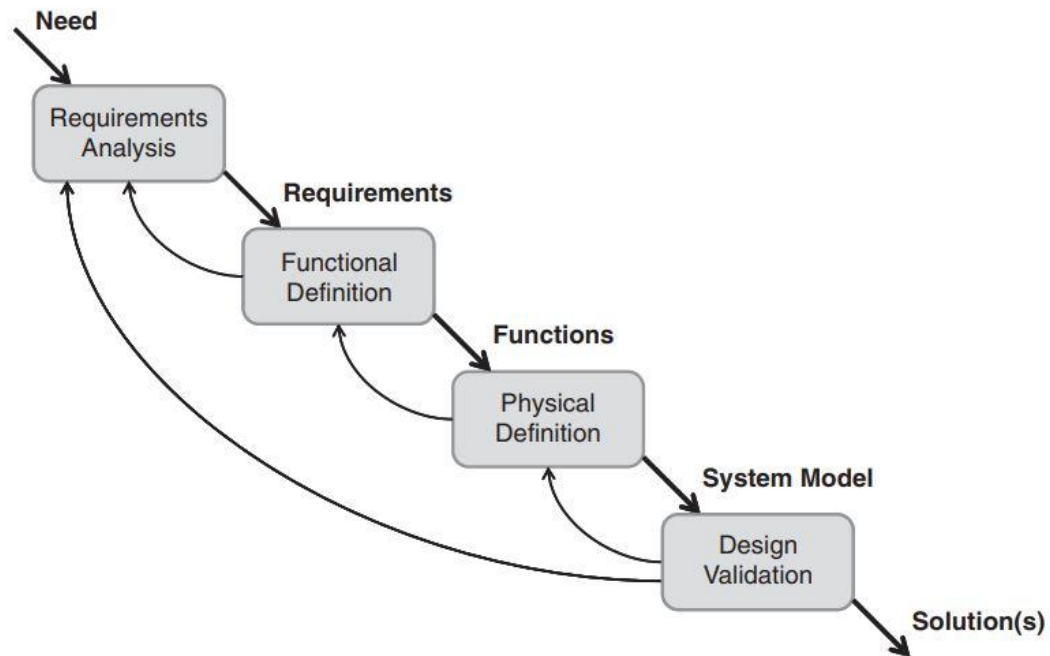
- Seleccionar la mejor forma de abordar el problema a resolver por medio de intercambio de lo predefinido y priorizar criterios para obtener el mejor balance entre desempeño, riesgo, costo y cronograma.
- Sintetizar el número de alternativas de componentes del sistema, que representen una variedad de abordajes para el diseño incorporando las funciones requeridas, siempre buscando la forma más práctica y eficiente para la interacción de bloques y subdivisiones.
- Elaborar un diseño al nivel necesario de detalle.

#### Validación de diseño (verificación y evaluación)

- Diseñar modelos del entorno del sistema (lógicos, matemáticos, simulados y físicos) que reflejen los aspectos significantes de los requerimientos y restricciones.
- Simulaciones o pruebas y análisis de solución del sistema para modelos conforme el entorno.
- Iterar las veces que sea necesario para revisar el modelo del sistema, o para revisar los requerimientos del sistema hasta que todas las restricciones sean totalmente compatibles.

(Kossiakoff, 2011)

Ilustración 1. Ciclo de Ingeniería de Sistemas



Fuente: (Kossiakoff, 2011)

### 3. REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA

Una de las tareas más importantes de ingeniería de sistemas es establecer los requerimientos del sistema. Los requerimientos nos ayudan a tener una idea clara de lo que se quiere lograr con el proyecto. Los requerimientos son una herramienta que nos ayuda a concretar conceptos operacionales y llegar a nuestros objetivos. Para poder llevar a cabo de una manera eficiente y correcta los requerimientos se clasifican en tres rubros principales:

- **Requerimientos funcionales:** Definen que tan bien nuestro sistema debe operar para encontrar a nuestros objetivos.
- **Requerimientos operacionales:** Estos determinan como el sistema opera y cómo van a interactuar los usuarios para cumplir con el objetivo del mismo.
- **Limitaciones:** Estos limitan costo, calendarización e implementación de las técnicas disponibles para el diseñador del sistema.

Establecer los requerimientos al comienzo del proyecto es algo importante ya que nos da una buena guía de lo que se quiere lograr, sin embargo, esto es una tarea iterativa. Se recomienda tener una constante revisión de los requerimientos y modificarlos si es necesario ya que durante el proceso hay cosas que no se tomaron en cuenta al comienzo del proyecto. Todos los requerimientos se deben basar en las necesidades del usuario o

cliente, por lo que debe haber una buena comunicación a lo largo del proyecto para poder modificar y definir los requerimientos según sea necesario. (Larson, 1999)

#### 4. VERIFICACIÓN Y VALIDACIÓN DE REQUERIMIENTOS

La Ingeniería en Sistemas también está encargada de poder llevar un control y supervisión de todas las actividades relacionadas con el proceso de diseño y manufactura. Existen cuatro formas para verificar y validar para así poder asegurarse de que se cumplan todos los requisitos con la calidad y desempeño deseado. (JAXA, 2015) Los cuatro métodos son los siguientes:

- **Análisis:** Es la utilización de modelos matemáticos y técnicas analíticas para predecir el comportamiento y desempeño de algún diseño. Este modelo matemático puede ser simulado en una computadora o algún otro sistema electrónico. Este se utiliza cuando no se tiene una prueba simple o algún instrumento que pueda validar un requerimiento.
- **Inspección:** Es la examinación visual o por medio de un instrumento de un producto final realizado. Esto se utiliza generalmente para verificar características físicas o especificaciones de algún fabricante. Por ejemplo, si se requiere un signo de precaución pegado en una zona caliente, se verifica por medio de inspección que tenga este requerimiento
- **Prueba:** Este se utiliza para verificar los requerimientos que sean de funcionalidad y con su entorno. Se utiliza el sistema o parte del mismo para validar el requerimiento.
- **Revisión:** Consiste en revisar los planos y documentos del diseño del sistema.

#### 5. MITIGACIÓN DE RIESGOS

Otra labor relevante para la Ingeniería de Sistemas para el proyecto es la mitigación de los riesgos del mismo. Un plan de mitigación de riesgos hace que la misión o proyecto tenga más posibilidades de éxito. Esto tiene tres pasos principales los cuales son: determinar cuáles son los riesgos de la misión, determinar la forma apropiada para la mitigación de los riesgos y monitorear los riesgos de cerca. Para un proyecto relativamente pequeño como este, tener un plan de mitigación de riesgos puede ayudar muchísimo a reducir costos por imprevistos, con el cronograma y con los diferentes módulos del sistema. (Brumbaugh & y E. Lightsey, 2013)

Según lo que nos dicen Brumbaugh & Lightsey, el encargado de ingeniería de sistemas del proyecto tiene la responsabilidad mayor sobre el éxito del proyecto y la mitigación de riesgos, sin embargo, todos los miembros del equipo deben participar en la mitigación de las causas de los riesgos. Para esto, recomiendan que se nombren responsables para cada causa encontrada, ya que los responsables son los que tienen el mayor conocimiento en el área de la causa del riesgo. Por consiguiente, la responsabilidad recaerá en los encargados del subsistema o módulo de la causa del riesgo. (Brumbaugh & y E. Lightsey, 2013)

Luego de tener identificados los riesgos, las causas y tener nombrados a los responsables. Se debe asignar a cada causa de cada riesgo un valor de probabilidad de ocurrencia y un valor de consecuencia que podrán

tener si sucedieran los riesgos. Estos valores se dan en una escala de 1 a 5, siendo 1 lo menos probable o crítico y 5 lo más probable y crítico. Para obtener los valores de estos se deben tomar por los encargados de los subsistemas y el encargado de la Ingeniería de sistemas. (Brumbaugh & y E. Lightsey, 2013)

El libro de la NASA para la Ingeniería de sistemas sugiere establecer un formato de cómo se valoran la probabilidad y consecuencias. Para poder establecer esto se definen claramente con que criterio se le da el valor de probabilidad para este proyecto, se utilizó el que utiliza la NASA. Siendo conformado como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1: Criterio valoración de probabilidad-consecuencia

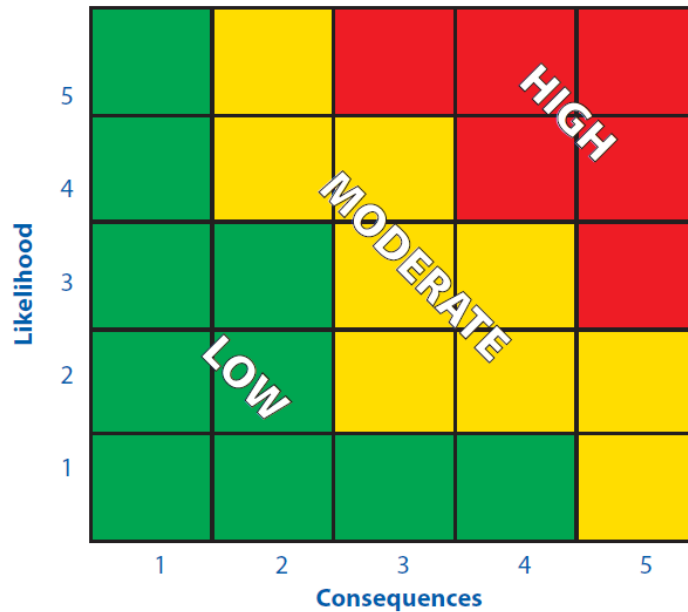
Color del riesgo	Nivel de impacto
Bajo riesgo (Verde)	Tiene muy bajo impacto o nulo impacto en el incremento de costos, en el cronograma o degradación de desempeño final. Es un riesgo aceptable.
Riesgo moderado (Amarillo)	Tiene potencial de tener un impacto en costos, cambios en el cronograma o en el desempeño final.
Alto riesgo (Rojo)	Es muy probable que vaya a causar impacto significativo en el costo, en el cronograma o desempeño final. Se debe tomar acción adicional y prioridad alta al manejo y control del requerimiento

Fuente: NASA, 2017

Después de haberles agregado el valor de probabilidad y de consecuencia se debe priorizar cada riesgo. Para esto, se obtiene el producto del valor de probabilidad con el valor de la consecuencia de cada causa. Luego se deben de ordenar el resultado obtenido de este producto de mayor a menor. Para así asignarle una prioridad numérica de 1 a la causa que tenga el valor más alto, el valor de 2 a la segunda más alta y así sucesivamente hasta haber terminado con todas las causas. Es posible que se repitan los valores de prioridad numérica. (Brumbaugh & y E. Lightsey, 2013)

Por último, se debe trazar el diagrama L-C, en donde se debe de poner todos los riesgos del sistema. La posición de cada riesgo depende de su probabilidad y de su consecuencia obtenida. El diagrama es de 5X5 en donde el eje horizontal pertenece al valor de la consecuencia y el vertical al de la probabilidad. El riesgo quedará donde se intersectan estos valores. Conforme se van intersectando los valores, se van determinando su posición y su criticidad en la tabla como se muestra en la Ilustración 2. En la cual se clasifican los riesgos con criticidad baja, moderada y alta.

Ilustración 2. Matriz de riesgo probabilidad-consecuencia



Fuente: (NASA, 2007)

## G. TRANSMISIÓN DE POTENCIA MECÁNICA

La transmisión de potencia desde una fuente, tal como un mecanismo o un motor, a través de una máquina para tener un impulso de salida, es una de las tareas más comunes que se asignan a una maquinaria. Un medio eficiente para transmitir la potencia es a través del movimiento rotatorio de un eje, soportado por cojinetes. Se pueden incorporar engranes, bandas, poleas o catarinas (ruedas dentadas) de cadena a fin de proporcionar cambios de velocidad y par de torsión entre ejes. La mayoría de los ejes son cilíndricos (sólidos o huecos) e incluyen diámetros de paso con hombros para alojar la posición y soporte de los cojinetes, engranes, etcétera. El diseño de un sistema para transmitir potencia requiere de atención al diseño y selección de cada uno de los componentes (engranes, cojinetes, eje, etc.). No obstante, como es a menudo el caso en el campo del diseño, estos componentes no son independientes. (Budynas & Nisbett, 2012)

No existe una secuencia precisa de pasos para algún proceso de diseño. Por su naturaleza, el diseño es un proceso iterativo en el que es necesario realizar algunas selecciones tentativas y construir un esquema previo para determinar las partes cruciales del mismo. Sin embargo, puede ahorrarse mucho tiempo si se comprenden las dependencias entre las piezas del problema, pues ello le permite al diseñador conocer las partes que serán

afectadas por cualquier cambio. En esta sección únicamente se presenta un esbozo, con una breve explicación de cada paso. En las secciones subsiguientes se explicarán detalles adicionales. (Budynas & Nisbett, 2012)

- Requisitos de potencia y par de torsión. Las consideraciones sobre potencia deben abordarse en primer lugar, ya que esto determinará las necesidades globales de dimensionamiento de todo el sistema. Cualquier relación de par de torsión o velocidad necesaria de entrada o salida deben determinarse antes de abordar las dimensiones de engranes/poleas.
- Especificación de engranes. A continuación, pueden abordarse las relaciones necesarias de engranes y cuestiones de transmisión de par de torsión con la selección de los engranes adecuados. Observe que todavía no es necesario un análisis completo de fuerzas correspondiente a los ejes, en la medida en que se requieren sólo las cargas transmitidas para especificar los engranes.
- Diseño del eje. Se debe especificar el diseño general del eje, lo cual incluye la ubicación axial de los engranes y cojinetes. Es necesario tomar las decisiones acerca de cómo transmitir el par de torsión desde los engranes hasta el eje (cuñas, lengüetas, etc.), además de cómo mantener los engranes y cojinetes en su sitio (anillos de retención, ajustes de presión, tuercas, etc.). No obstante, en este punto no es necesario dimensionar estos elementos, puesto que sus tamaños estándar permiten estimar los factores de concentración de esfuerzos.
- Análisis de fuerzas. Una vez que se conocen los diámetros de engrane/polea, así como las ubicaciones axiales de engranes y cojinetes, pueden elaborarse los diagramas de cuerpo libre, fuerza de corte y diagramas de momentos. También pueden determinarse las fuerzas en los cojinetes.
- Selección del material del eje. Debido a que el diseño de fatiga depende de manera tan importante de la elección del material, por lo regular es más fácil efectuar primero una selección razonable del material, para después verificar si los resultados son satisfactorios.
- Diseño del eje para esfuerzo (estático y de fatiga). En este punto, un diseño de esfuerzo del eje debería tener un aspecto muy semejante al de un problema de diseño típico del capítulo sobre ejes. Se conocen los diagramas de momento de flexión y fuerza de corte, pueden predecirse las ubicaciones críticas, se pueden utilizar concentraciones aproximadas de esfuerzo y determinarse estimaciones de los diámetros del eje.
- Diseño del eje para deflexión. En razón de que el análisis de deflexión depende de toda la geometría del eje, se reserva hasta este momento. Con toda la geometría del eje estimada, las deflexiones críticas en las ubicaciones de cojinetes y engranes pueden verificarse mediante análisis.
- Selección de cojinetes. Ahora pueden seleccionarse cojinetes específicos de un catálogo para satisfacer los diámetros estimados de ejes. Los diámetros pueden ajustarse ligeramente, cuanto sea necesario para satisfacer las especificaciones del catálogo.
- Selección de cuñas y anillos de retención. Con los diámetros del eje configurados en valores estables, pueden especificarse cuñas y anillos de retención adecuados en tamaños estándar. Este paso puede involucrar ligeros cambios en el diseño global si se supusieron factores de concentración de esfuerzo razonables en los pasos anteriores.

- Análisis final. Una vez que todo se ha especificado, iterado y ajustado cuanto sea necesario para cualquier parte específica de la tarea, un análisis completo de principio a fin proporcionará una verificación final, así como factores específicos de seguridad para el sistema real. (Budynas & Nisbett, 2012)

## 1. TRANSMISIÓN CON BANDAS EN V

Los fabricantes estandarizaron las dimensiones de la sección transversal de las bandas en V y designaron cada sección con una letra del alfabeto para los tamaños en pulgadas. Las dimensiones métricas se designan mediante números. (Budynas & Nisbett, 2012)

Para especificar una banda en V se proporciona la letra de sección de la banda, seguida por la circunferencia interior en pulgadas (las circunferencias estándar se proporcionan en la Tabla 2. Por ejemplo, B75 es una banda con sección B que tiene una circunferencia de 75 pulgadas.

Tabla 2 Secciones de bandas en “V” estándar

Sección de la banda	Ancho $a$ , pulg	Espesor $b$ , pulg	Diámetro mínimo de polea, pulg	Intervalo de potencias (hp), una o más bandas
A	$\frac{1}{2}$	$\frac{11}{32}$	3.0	$\frac{1}{4}$ -10
B	$\frac{21}{32}$	$\frac{7}{16}$	5.4	1-25
C	$\frac{7}{8}$	$\frac{17}{32}$	9.0	15-100
D	$1\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	13.0	50-250
E	$1\frac{1}{2}$	1	21.6	100 y mayores

Fuente: Budynas, 2012

Comúnmente para realizar el cálculo de la longitud de la banda se basa en la longitud de paso. Y para cualquier sección de banda, la longitud de paso se obtiene realizando la suma de la circunferencia menor y una cantidad tabulada (Tabla 3), la cual depende de la sección de la faja. Por ejemplo, una banda A60 tiene una longitud de paso de 61.3 pulgadas. (Budynas & Nisbett, 2012)

Tabla 3 Dimensiones de conversión de longitud.

Sección de la banda	A	B	C	D	E
Cantidad a sumar	1.3	1.8	2.9	3.3	4.5

Fuente: Budynas, 2012

Los diámetros mínimos recomendados para la polea se definen en la Tabla 2. A su vez para obtener mejores resultados las bandas en V deben funcionar a una alta velocidad. Por ejemplo, 4 000 pies/min se considera una

buena velocidad, sin embargo, pueden presentarse problemas si esta trabaja a una velocidad superior a 5 000 pies/min o por debajo de 1 000 pies/min. (Budynas & Nisbett, 2012)

La longitud de paso  $L_p$  se calcula a través de la siguiente ecuación, donde  $C$  = la distancia entre centros,  $D$  = el diámetro mayor y  $d$  = el diámetro menor.

$$L_p = 2C + \pi(D + d)/2 + (D - d)^2/(4C) \quad (1)$$

$$C = 0.25 \left\{ \left[ L_p - \frac{\pi}{2}(D + d) \right] + \sqrt{\left[ L_p - \frac{\pi}{2}(D + d) \right]^2 - 2(D - d)^2} \right\} \quad (2)$$

Comúnmente con bandas plan no se limita la distancia entre centros, sin embargo, con bandas en V no se recomienda trabajar grandes distancias entre centros. Esto debido a la excesiva vibración que se genera en la parte floja de la banda, la cual reduce considerablemente la vida útil de la misma. En general, la distancia entre centros no deberá ser mayor que tres veces la suma de los diámetros de la polea y no debe ser menor que el diámetro de la polea mayor. (Budynas & Nisbett, 2012)

La potencia de diseño  $H_d$  está dada por:

$$H_d = H_{nom} K_s n_d \quad (3)$$

Donde  $H_{nom}$  es la potencia nominal,  $K_s$  el factor de servicio (obtenido de la Tabla 4) y  $n_d$  el factor de diseño.

Tabla 4 Factores de servicio sugeridos  $K_s$  para transmisiones de banda V

Maquinaria impulsada	Fuente de potencia	
	Características del par de torsión normal	Par de torsión alto o no uniforme
Uniforme	1.0 a 1.2	1.1 a 1.3
Impacto ligero	1.1 a 1.3	1.2 a 1.4
Impacto medio	1.2 a 1.4	1.4 a 1.6
Impacto pesado	1.3 a 1.5	1.5 a 1.8

Fuente: Budynas, 2012

Un fenómeno que posee mayor importancia en el diseño de bandas V, es la tensión inducida por la flexión de las bandas sobre las poleas. Lo cual se conoce como tensión centrífuga  $F_c$  la cual está dada por:

$$F_c = K_c \left( \frac{V}{1\,000} \right)^2 \quad (4)$$

En la cual  $K_c$  está dada por la Tabla 5. Y “V” está dada por la ecuación 5.

$$V = \frac{\pi d n}{12} \quad (5)$$

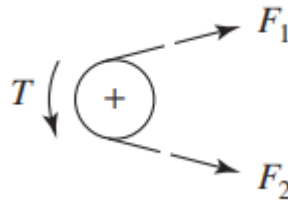
Tabla 5 Algunos parámetros de bandas en V

Sección de la banda	$K_b$	$K_c$
A	220	0.561
B	576	0.965
C	1 600	1.716
D	5 680	3.498
E	10 850	5.041
3V	230	0.425
5V	1098	1.217
8V	4830	3.288

Fuente: Budynas, 2012

También se tiene que la potencia que se transmite por banda está dada por  $\Delta F = F_1 - F_2$ , donde las fuerzas corresponden a la Ilustración 3. Y para el cálculo de  $\Delta F$  se tiene la Ecuación 6.

Ilustración 3 Tensiones en la banda en V



Fuente: Budynas, 2012

$$\Delta F = \frac{63\,025 H_d/N_b}{n(d/2)} \quad (6)$$

Y luego, para la tensión mayor  $F_1$  se tiene la siguiente ecuación.

$$F_1 = F_c + \frac{\Delta F \exp(f\varphi)}{\exp(f\varphi) - 1} \quad (7)$$

Donde  $f$  es el coeficiente de fricción efectivo y  $\varphi$  es el ángulo de cobertura. La Gates Rubber Company declara que su coeficiente de fricción efectivo es de 0.5123 para ranuras.

Y el ángulo de cobertura en la polea más pequeña se calcula a través de la ecuación 8.

$$\varphi = \pi - \text{sen}^{-1}\left(\frac{D - d}{2C}\right) \quad (8)$$

Las correlaciones de durabilidad (vida) se complican por el hecho de que la flexión induce esfuerzos de flexión en la banda; la tensión correspondiente en la banda que induce el mismo esfuerzo de tensión máximo es de  $F_{b1}$  en la polea impulsora y  $F_{b2}$  en la polea impulsada. Tales tensiones equivalentes se suman a  $F_1$ . (Budynas & Nisbett, 2012)

$$T_1 = F_1 + (F_b)_1 = F_1 + \frac{K_b}{d} \quad (9)$$

$$T_2 = F_1 + (F_b)_2 = F_1 + \frac{K_b}{D} \quad (10)$$

Donde  $K_b$  se obtiene de la Tabla 5. Luego la ecuación de la relación tensión-pasada según la emplea la Gates Rubber Company, es de la forma:

$$T^b N_p = K^b \quad (11)$$

Donde  $N_p$  es el número de pasadas y  $b$  es aproximadamente 11. La durabilidad de la banda se puede calcular por medio de la regla de Miner, que suma el daño ocasionado por los dos picos de tensión, para lo cual se debe hacer uso de la Tabla 6. (Budynas & Nisbett, 2012)

Tabla 6 Parámetros de durabilidad para algunas secciones de banda en V

Sección de la banda	$10^8$ a $10^9$ picos de fuerza		$10^9$ a $10^{10}$ picos de fuerza		Diámetro mínimo de polea, pulg
	$K$	$b$	$K$	$b$	
A	674	11.089			3.0
B	1 193	10.926			5.0
C	2 038	11.173			8.5
D	4 208	11.105			13.0
E	6 061	11.100			21.6
3V	728	12.464	1 062	10.153	2.65
5V	1 654	12.593	2 394	10.283	7.1
8V	3 638	12.629	5 253	10.319	12.5

Fuente: Budynas, 2012

La ecuación para el valor de  $N_p$  se presenta en la siguiente ecuación.

$$N_p = \left[ \left( \frac{K}{T_1} \right)^{-b} + \left( \frac{K}{T_2} \right)^{-b} \right]^{-1} \quad (12)$$

Y para la vida en horas

$$t = \frac{N_p L_p}{720 V} \quad (13)$$

## H. FUENTES DE CALOR

Para la operación de los secadores de granos de cardamomo se utiliza un flujo de aire calentado por una fuente calor que varía según el tipo de secador y las condiciones de operación. Los secadores en Guatemala operan principalmente con tres diferentes fuentes de calor, las cuales son: el gas licuado de petróleo (GLP), la leña y resistencias eléctricas. (Wellmann, 2015)

### 1. GAS

El gas de petróleo licuado o conocido comercialmente como GLP es un grupo de hidrocarburos derivados de procesos de petróleo crudo o gas natural, que son gases a temperaturas normales y presiones atmosféricas pero que se vuelven líquidos con una caída moderada de temperatura o presión, o ambas. Con esa característica, a veces el GLP se conoce como un "producto límite de hidrocarburos". (Bin Zakaria, Mustafa, & Mat, 2006)

El gas de petróleo licuado es una mezcla de hidrocarburos de petróleo que consiste principalmente en propano y butano y también puede existir en sus componentes individuales como propano puro o butano. Además de los componentes principales, otros componentes menores, que pueden existir en el GLP, son propileno, butileno y butadieno, y estos componentes menores dependen principalmente de sus fuentes. Estadísticamente, en el mercado, el 75 por ciento del GLP se deriva del gas natural y el 25 por ciento del petróleo crudo. (Bin Zakaria, Mustafa, & Mat, 2006)

#### a. Combustión de gas

La combustión de gas es un proceso que en apariencia puede ser sencillo, pero que en la práctica comprende un procedimiento más difícil y requiere cuidado. Y una razón para ello, es que la flama en muchos tipos de gas tiene poca luminosidad por lo que es difícil de observar en un espacio confinado. Otra es la acumulación del gas sin quemarse por resultado de fugas dentro de un espacio cerrado como un horno (o en este caso, un secador), o por pérdida de fuego dentro de los quemadores, el cual no lo hace visible y por tal motivo no será notado por los operadores dando por consecuencia una explosión. (Ponte, 2009)

#### b. Quemadores de gas

Los quemadores industriales son los dispositivos que permiten realizar la reacción de combustión entre el combustible y el comburente de manera controlada y regulable, asegurando la aportación adecuada de ambos para conseguir la potencia calorífica especificada, y distribuyendo la zona de reacción y la circulación de los productos de combustión de modo que se transfiera a la carga, del modo más eficiente posible, todo el calor producido. (Ponte, 2009)

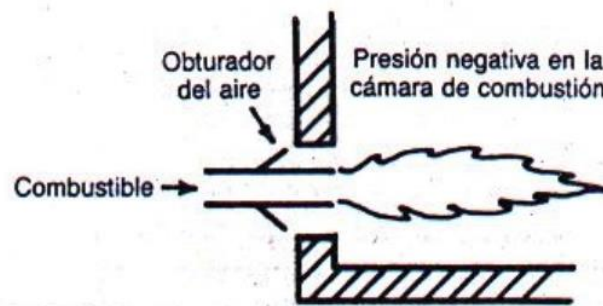
La combustión de gas es un proceso que en apariencia puede ser sencillo, pero que en la práctica comprende un procedimiento más difícil y requiere cuidado. Y una razón para ello, es que la flama en muchos tipos de gas tiene poca luminosidad por lo que es difícil de observar en un espacio confinado. Otra es la acumulación del gas sin quemarse por resultado de fugas dentro de un espacio cerrado como un horno (o en este caso, un

secador), o por pérdida de fuego dentro de los quemadores, el cual no lo hace visible y por tal motivo no será notado por los operadores dando por consecuencia una explosión. (Ponte, 2009)

En la industria existen diferentes tipos de quemadores, lo cuales varían según sus requerimientos, condiciones de operación y tipo de gas.

- Quemadores abiertos de tiro natural (atmosféricos): Se caracterizan por producir una presión negativa en la cámara de combustión que causa el tiro (o aspiración) del aire necesario, usualmente a través de obturadores ajustables colocados alrededor de las toberas de combustible. La aspiración hacia la cámara puede ser natural (por efecto de chimenea) o inducida por un ventilador de aspiración (extractor). El mezclado de combustible y aire puede ser deficiente, y quizás no exista control de la relación combustible a aire. El retroajuste para inyectar aire de combustión precalentado es difícil.

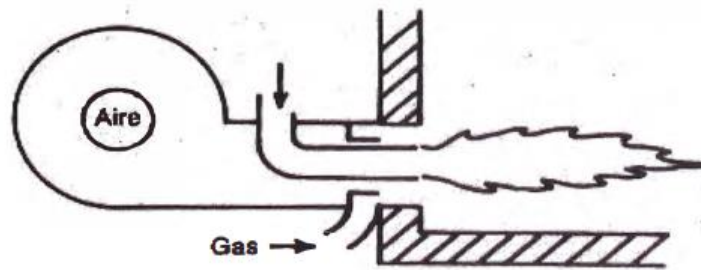
Ilustración 4 Quemador abierto de tiro natural



Fuente: Ponte, 2009

- Quemadores sellados mecánicos (aire inducido): No tienen entradas intencionales de aire libre alrededor de la tobera, ni entradas de aire en forma de persiana en la pared de la cámara de combustión. Todo el flujo de entrada de aire usualmente es controlado por un ventilador de inyección (ventilador de tiro forzado) que impulsa el aire a través de tubos o de una caja de aire. Estos quemadores suelen tener una mayor caída de presión de aire en la tobera, de modo que las velocidades del aire son mayores y por tanto son mejores el mezclado y el control de la configuración de la flama. Es posible medir el flujo de aire que resulta fácil el control automático de la relación aire.

Ilustración 5 Quemador de tiro forzado



Fuente: Ponte, 2009

- Sistema de quemador con premezclado: Pueden encontrarse en cualquiera de las configuraciones anteriores. Gas y aire se mezclan completamente corriente arriba de la tobera de la flama. Los pequeños quemadores industriales de paso múltiple de este tipo facilitan la dispersión de una pequeña cantidad de calor sobre un área extensa, por ejemplo, cubas, rodillos, calderas pequeñas y placas móviles, y para el procesamiento a baja temperatura de productos movilizados por transportador. Los grandes quemadores de puerta única con premezclado han sido sustituidos por quemadores con mezclado por tobera. Es posible controlar mejor la relación combustible - aire con el uso de mezcladores aspiradores (la inyección de aire aporta la energía necesaria para atraer la proporción adecuada de gas). Muchas unidades pequeñas tienen sopladores de tamaño menor que el necesario, en virtud de que por aspiración en el horno se obtiene aire secundario. El aumento en los costos de los combustibles hace económicamente impráctico el uso innecesario de exceso de aire en tales configuraciones.

Ilustración 6 Quemador de premezclado con inyector

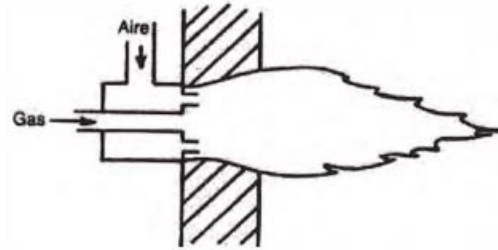


Fuente: Ponte, 2009

- Sistema de quemador con mezclado en tobera: En este dispositivo se mezclan gas y aire al entrar a la cámara de combustión por la boquilla de la flama. Tales sistemas permiten el uso de una amplia variedad de relaciones combustible - aire, formas de flama y combustibles. Para procesos que requieren ambientes especiales, pueden operar con mezclas muy ricas (exceso de combustible de 50%) o muy pobres (exceso de aire de 1500%). Pueden construirse de modo que las velocidades sean muy grandes, para mejorar aún más la transferencia de calor por convección. En otros se usan efectos centrífugos y

de otra clase para hacer que la flama siga el contorno de una pared refractaria adyacente, y de este modo mejorar la radiación por las paredes.

Ilustración 7 Quemador con mezclado en tobera controlado por aire



Fuente: Ponte, 2009

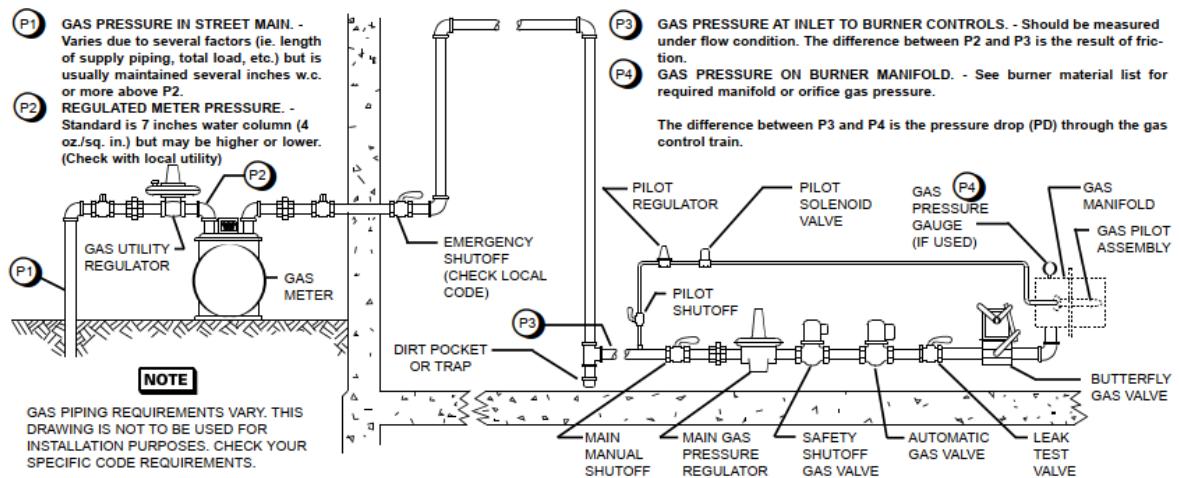
### c. Componentes de un circuito de gas

Los distintos elementos que componen un circuito de gas varían según las condiciones de operación y el objetivo que tenga el mismo. Sin embargo, existen componentes mínimos que se requieren para el manejo y control de gas de forma segura y eficiente.

- **Válvula reguladora de presión:** Los reguladores son dispositivos de control independientes que utilizan la energía del sistema controlado para funcionar. Un regulador reductor de presión mantiene una presión de salida deseada al tiempo que proporciona el caudal de flujo necesario para satisfacer la demanda aguas abajo. La presión que mantiene el regulador es el parámetro de presión de salida (punto de referencia) del mismo.
- **Válvula (o llave) de paso:** Una válvula de gas es un dispositivo de control que permite o impide el paso del combustible del tanque o cilindro hacia la red de tubería y los equipos. Las válvulas más utilizadas en instalaciones de gas son las válvulas de bola la cual es una llave de paso que sirve para regular el flujo del gas. Se le llama “de bola” porque tiene un mecanismo regulador situado en el interior, el cual, tiene forma de una esfera perforada.
- **Arresto (o antirretroceso) de flama:** Es un dispositivo que se opone a la propagación del frente de flama o lo extingue (retroceso o descomposición). También recibe el nombre de apagallamas. Y existen de dos tipos, hidráulicos y secos. Los hidráulicos consisten en un recipiente con agua, el cual es atravesado por el gas y en el caso de un retroceso de flama el agua forma una barrera y evita que se desplace hacia el suministro de gas. El dispositivo o válvula seca se basa en el fenómeno de la tela, rejilla o malla metálica que detiene el paso de una flama como en la antigua lámpara Davy de los mineros o la rejilla empleada sobre el trípode en los mecheros Bunsen. (INSST, 2019)

La disposición de elementos a su vez depende del sistema, sus componentes y el propósito del mismo. En la Ilustración 8, se presenta una instalación típica de gas, con aplicaciones industriales, que cumple con la norma ANSI Z223.1.

Ilustración 8 Instalación típica de tubería de gas



Fuente: OEM Boiler Parts, 2014

## 2. LEÑA

La madera (o leña) para fines energéticos puede provenir de varias fuentes, entre otras, los bosques naturales, las plantaciones forestales, los árboles fuera de los bosques, los residuos de la extracción forestal y de las industrias procesadoras madereras, además de otros residuos madereros.

Toda la madera (cuando se mide libre de cenizas y de humedad) contiene alrededor de 50 por ciento de carbono, 44 por ciento de oxígeno y 6 por ciento de hidrógeno. El contenido de humedad afecta enormemente el valor calorífico de la madera. Por ejemplo, la madera “verde” (es decir, recién cortada) tiene un valor calorífico de unos 8,2 megajoules por kilogramo (MJ/kg); mientras la madera secada al aire libre (con un contenido de humedad de 10–20 por ciento) tiene un valor calorífico de alrededor de 16 MJ/kg (que corresponde, aproximadamente a 0,382 kg de equivalente en aceite, o 4,4 kWh). La madera secada al horno tiene un valor calorífico de unos 18 MJ/kg. En comparación, por ejemplo, la energía necesaria para cocinar en los hogares de India (tras tomar en cuenta la eficiencia térmica de las estufas de leña) se ha calculado en unos 7 MJ por hogar por día. (FAO, 2019)

La madera se puede utilizar como combustible directamente en su forma original o después de procesarla o transformarla en carbón vegetal, pellets, briquetas o astillas/virutas, o en los diferentes productos líquidos o gaseosos.

El dendrocombustible es, en general, el tipo de combustible más barato y disponible a nivel local para la cocina y la calefacción, especialmente entre los grupos de bajos ingresos de los países en desarrollo. En general, el uso tradicional de dendrocombustible en los hogares disminuye al aumentar los ingresos y cuando la gente empieza a utilizar otros combustibles o a la electricidad. (FAO, 2019)

### 3. RESISTENCIAS ELÉCTRICAS

El calentamiento por resistencia eléctrica se utiliza para calentar sólidos, líquidos y gases por contacto, convección natural y forzada y radiación en casi todas las áreas imaginables de la industria.

Los elementos de calentamiento eléctrico deben tener una alta resistividad para que las dimensiones puedan ser consistentes con un diseño compacto y resistencia mecánica, manteniendo la corriente a valores aceptables; idealmente debería haber solo una pequeña variación de resistividad con la temperatura para evitar problemas de control y operativos. El material del elemento debe tener un punto de fusión más alto que la temperatura de operación requerida, que a su vez es más alta que la temperatura máxima del horno o pieza de trabajo, y debe tener una alta resistencia a la corrosión por oxidación y otros efectos químicos. (Dryden, 1982)

### I. SOPLADORES Y VENTILADORES DE AIRE

Los ventiladores, sopladores y compresores se diferencian por el método utilizado para mover el aire y por la presión del sistema contra el que deben operar. Prácticamente cualquier dispositivo que produzca una corriente de aire por el movimiento de superficies amplias puede llamarse un ventilador. Los ventiladores caen bajo la clasificación general de "turbomaquinaria" y tienen un impulsor giratorio al menos parcialmente encerrado en una carcasa estacionaria. Los ventiladores son similares en muchos aspectos a las bombas. Ambas son turbomáquinas que transfieren energía a un fluido que fluye. Y es fácil distinguir entre ventiladores y bombas: las bombas manejan líquidos, los ventiladores manejan los gases.

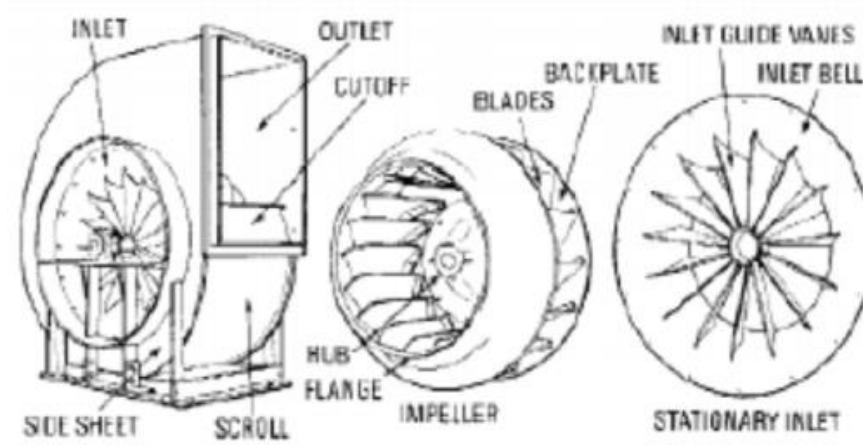
#### 1. PARTES DE UN SOPLADOR O VENTILADOR

Las partes principales de un soplador o ventilador son:

1. Impeller
2. Aspas (paletas o álabes)
3. Shroud (en inglés)
4. Eje (hub)
5. Voluta o caracol (housing)
6. Entrada (inlet)
7. Salida de aire (outlet)
8. Paletas de guía (guide vanes)

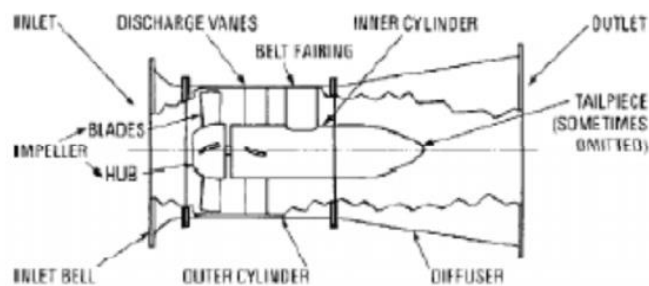
La carcasa centrífuga incluye placa lateral (side plate) y hojas de desplazamiento (scroll sheets). Y la carcasa de los ventiladores axiales incluye el cilindro exterior e interior, el tubo de la correa

Ilustración 9 Partes de un ventilador centrífugo



Fuente: Nagpurwala, 2019

Ilustración 10 Partes de un ventilador axial



Fuente: Nagpurwala, 2019

## 2. TIPOS DE VENTILADORES DE AIRE

Los ventiladores se clasifican según la dirección que tome el flujo de aire a través del “impeller”. Por tanto, los ventiladores se clasifican en: flujo axial, centrífugo o radial, flujo mezclado y de flujo cruzado. (Nagpurwala, 2019)

Ventiladores centrífugos: El aire entra en paralelo al eje del ventilador, gira a través del mismo a 90 grados y se descarga radialmente a través de los álabes. La fuerza de la cuchilla es tangencial, lo que hace que el aire gire con las cuchillas y la presión principal se atribuye a esta fuerza centrífuga. (Nagpurwala, 2019)

En estos, gran parte de la velocidad del aire se convierte en presión, y a su vez posee la capacidad de entregar altas presiones en condiciones de alta temperatura y de humedad y suciedad en el aire. Los ventiladores centrífugos a su vez se pueden clasificar, según la geometría de sus álabes, de la siguiente forma:

- Radial: Tienen altas presiones estáticas (hasta 1400 mm de columna de agua) y pueden manejar corrientes de aire muy contaminadas. Muy adecuado para altas temperaturas y velocidades de punta de álabes medias.

Ilustración 11 Ventilador radial



Fuente: Nagpurwala, 2019

- Álabes curvados hacia adelante: Los ventiladores curvados hacia adelante se utilizan en entornos limpios y funcionan a temperaturas más bajas. Muy adecuado para baja velocidad de punta en las álabes y alto flujo de aire a presiones más bajas.

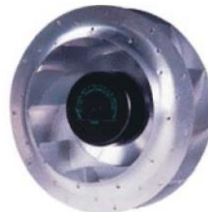
Ilustración 12 Ventilador centrífugo con álabes curvos hace adelante



Fuente: Nagpurwala, 2019

- Álabes curvados hacia atrás: Los ventiladores inclinados hacia atrás son más eficientes que los ventiladores curvos hacia adelante. También conocido como “sin sobrecarga” porque los cambios en la presión estática no sobrecargan el motor.

Ilustración 13 Ventilador centrífugo con álabes curvos hacia atrás



Fuente: Nagpurwala, 2019

Ventiladores de flujo axial: El aire fluye a través del impulsor en paralelo y a una distancia constante del eje. El aumento de presión es proporcionado por la acción directa de las cuchillas.

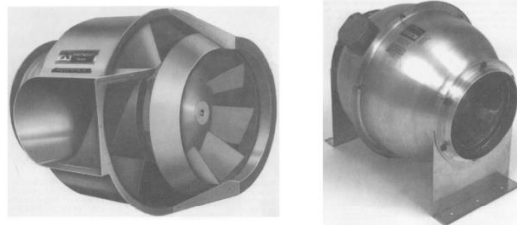
Tabla 7 Tipos de ventiladores axiales

Tipo	Características	Aplicaciones típicas
Hélice	Baja presión, alto flujo, baja eficiencia, eficiencia máxima cerca del punto de suministro de aire libre (presión estática cero)	Circulación de aire, ventilación, escape.
Tubo axial	Presión media, flujo alto, mayor eficiencia que el tipo de hélice, inmersión en la curva de flujo de presión antes del punto de presión pico	HVAC, hornos de secado, sistemas de escape.
Paleta axial	Alta presión, flujo medio, inmersión en la curva de flujo de presión, el uso de paletas guía mejora los escapes de eficiencia	Aplicaciones de alta presión, incluidos los sistemas de climatización

Fuente: Nagpurwala, 2019

Ventiladores de flujo mezclado: El aire entra en paralelo al eje del ventilador y gira a través de un ángulo que puede variar de 30 a 90 grados. El aumento de presión se debe en parte a la acción directa de la pala y en parte a la acción centrífuga.

Ilustración 14 Ventilador de flujo mezclado



Fuente: Nagpurwala, 2019

Ventiladores de flujo cruzado: El aire ingresa al impulsor en una parte de la periferia externa, fluye hacia adentro y sale en otra parte de la periferia externa.

Ilustración 15 Ventilador de flujo cruzado



Fuente: AIRTECNICS, 2017

Tabla 8 Eficiencia de ventiladores y sopladores

<b>Tipo de ventilador</b>	<b>Pico de rango de eficiencia</b>
Ventiladores centrífugos	
Perfil de aire (Airfoil), álabes curvos hace atrás o inclinada	79-83
Radial modificado	72-79
Radial	69-75
Soplador de presión	58-68
Curvado hacia adelante	60-65
Ventiladores axiales	
Pelata axial	78-85
Tubo axial	67-72
Propela	45-50

Fuente: Nagpurwala, 2019

### 3. TRANSMISIÓN POR CORREA VERSUS TRANSMISIÓN DIRECTA

La transmisión por correa presenta las siguientes ventajas:

- Flexibilidad en las velocidades de operación.
- La corriente de aire que pasa sobre el motor lo enfría.
- Los ventiladores de gran tamaño pueden funcionar a bajas velocidades mientras que el motor funciona a velocidades más altas, lo que resulta en una operación económica

La transmisión directa presenta las siguientes ventajas:

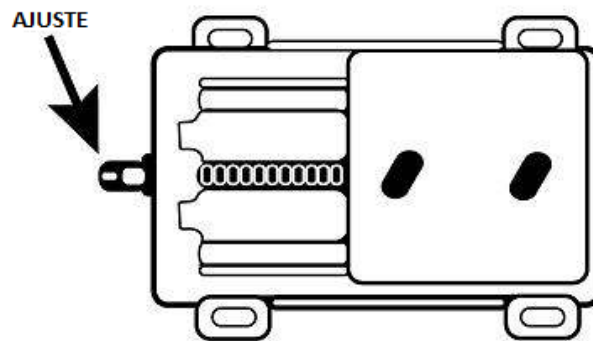
- Menor cantidad de componentes que resulta en menores costos

- No requiere chequeos regulares para ajustar el cinturón
- Mayor eficiencia del ventilador ya que no hay deslizamiento debido a la transmisión por correa.
- Resulta en más flujo ya que el motor no obstruye el flujo
- La flexibilidad de rendimiento del accionamiento de la campana se puede obtener mediante cuchillas de paso ajustable y un número creciente de cuchillas.

## J. TENSIÓN DE BANDA EN MOTOR

Las bases del motor para transmisiones por correa deben ser resistentes y poder montarse en cualquier posición. La figura muestra una base de motor deslizante ajustable.

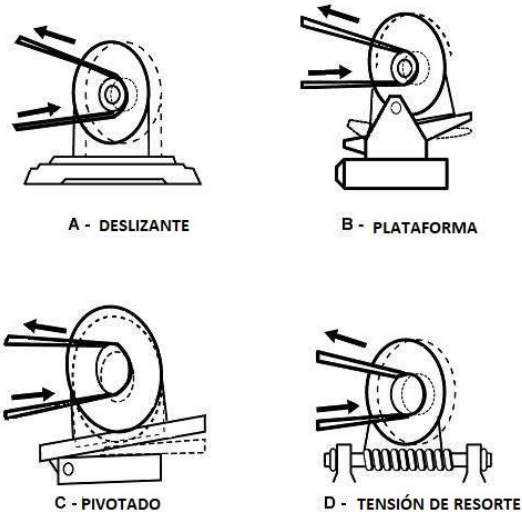
Ilustración 16 Base de motor ajustable



Fuente: ODISIE, 2019

Cuando se realiza el ajuste en la base, se mantiene la alineación de la banda. Las roscas de los tornillos y las guías deslizantes deben mantenerse limpias.

Ilustración 17 Mecanismos de tensión de bandas en base del motor



Fuente: ODISIE, 2019

La Ilustración 17 A también es un método deslizante para la alineación de la correa. En este ejemplo, los pernos de la base del motor se aflojan y el motor se empuja o tira con la mano, o mediante el uso de pernos de elevación montados en la base de la unidad. La Ilustración 17 B usa una base giratoria para el ajuste de la correa, mientras que la Ilustración 17 C usa un punto de pivote en un extremo del bastidor del motor. La Ilustración 17 D usa una tensión de resorte para el ajuste de la correa. (ODESIE, 2019)

## K. VIBRACIONES MECÁNICAS

A cualquier movimiento que se lleva a cabo repetidas veces después de un intervalo de tiempo se llama vibración u oscilación. Ejemplos de ello son el vaivén de un péndulo o el movimiento de una cuerda pulsada en un instrumento. La teoría de la vibración tiene que ver con el estudio de los movimientos oscilatorios de los cuerpos y las fuerzas asociadas con ellos. (Rao, 2010)

Por lo común un sistema vibratorio incluye un medio para almacenar energía potencial (resorte o elasticidad), un medio para conservar energía cinética (masa o inercia) y un medio por el cual la energía se pierde gradualmente (amortiguador). La vibración de un sistema implica la transformación de su energía potencial en energía cinética y de ésta en energía potencial, de manera alterna. Si el sistema se amortigua, una parte de su energía se disipa en cada ciclo de vibración y se le debe reemplazar por una fuente externa para que se mantenga un estado de vibración estable. (Rao, 2010)

La vibración se puede clasificar de varias maneras. Algunas de las clasificaciones importantes son las siguientes:

- Vibración libre. Si se deja que un sistema vibre por sí mismo después de una perturbación inicial, la vibración resultante se conoce como vibración libre. Ninguna fuerza externa actúa en el sistema. La oscilación de un péndulo simple es un ejemplo de vibración libre. (Rao, 2010)
- Vibración forzada. Si un sistema se somete a una fuerza externa (a menudo, una fuerza repetitiva), la vibración resultante se conoce como vibración forzada. La oscilación que aparece en máquinas como motores Diesel es un ejemplo de vibración forzada. (Rao, 2010)

### 1. CONTROL DE VIBRACIONES

En muchas situaciones prácticas, es posible reducir mas no eliminar las fuerzas dinámicas que provocan vibraciones. Se pueden utilizar varios métodos para controlar vibraciones. Entre ellos, los siguientes son importantes:

1. Controlar las frecuencias naturales del sistema y evitar la resonancia bajo excitaciones externas.
2. Impedir la respuesta excesiva del sistema, incluso en resonancia, con la introducción de amortiguamiento o un mecanismo disipador de energía.
3. Reducir la transmisión de las fuerzas de excitación de una parte de la máquina a otra por medio de aisladores de vibración.

4. Reducir la respuesta del sistema con la adición de un neutralizador de masa auxiliar o absorbedor de vibración.

## 2. CONTROL DE FRECUENCIAS NATURALES

Se sabe que siempre que la frecuencia de excitación coincide con una de las frecuencias naturales del sistema, ocurre resonancia. La característica más prominente de la resonancia es un desplazamiento grande. En la mayoría de los sistemas mecánicos y estructurales, los grandes desplazamientos indican esfuerzos y deformaciones indeseablemente grandes, los cuales pueden provocar la falla del sistema. De ahí que en cualquier sistema se deben evitar las condiciones de resonancia. En la mayoría de los casos, la frecuencia de excitación se puede controlar, porque es impuesta por requerimientos funcionales del sistema o máquina. Por tanto, se debe concentrar el trabajo en controlar las frecuencias naturales del sistema para evitar la resonancia. (Rao, 2010)

La frecuencia natural de un sistema se puede cambiar variando ya sea la masa  $m$  o la rigidez  $k$ . En muchos casos prácticos, sin embargo, la masa no se puede cambiar con facilidad, puesto que su valor está determinado por los requerimientos funcionales del sistema. Por consiguiente, la rigidez del sistema es el factor que con más frecuencia se cambia para modificar sus frecuencias naturales. (Rao, 2010)

## 3. AMORTIGUAMIENTO

En muchos sistemas prácticos, la energía vibratoria se convierte gradualmente en calor o sonido. Debido a la reducción de energía, la respuesta, como el desplazamiento del sistema, se reduce gradualmente. El mecanismo mediante el cual la energía vibratoria se convierte gradualmente en calor o sonido se conoce como amortiguamiento. Y el amortiguamiento se modela de forma práctica como uno de los siguientes tipos:

- Amortiguamiento viscoso: Este se presenta cuando un sistema mecánico vibra en un medio fluido como aire, gas, agua o aceite, la resistencia ofrecida por el fluido en el cuerpo en movimiento hace que se disipe la energía. En el amortiguamiento viscoso, la fuerza de amortiguamiento es proporcional a la velocidad del cuerpo vibratorio. (Rao, 2010)
- Amortiguamiento de Coulomb o de fricción en seco: Para este tipo de amortiguamiento la fuerza de amortiguamiento es de magnitud constante, pero de dirección opuesta a la del movimiento del cuerpo vibratorio. Es resultado de la fricción entre superficies que al frotarse están secas o no tienen una lubricación suficiente. (Rao, 2010)
- Amortiguamiento debido a un material o sólido histérico: Sucede cuando un material se deforma, absorbe o disipa energía. El efecto se debe a la fricción entre los planos internos, los cuales se resbalan o deslizan a medida que ocurren las deformaciones. (Rao, 2010)

#### 4. AISLAMIENTO DE VIBRACIÓN

El aislamiento de la vibración es un procedimiento mediante el cual se reducen los efectos indeseables de vibración. Básicamente, implica la inserción de un miembro elástico (o aislador) entre la masa vibratoria (equipo o carga útil) y la fuente de vibración de modo que se logre una reducción de la respuesta dinámica del sistema sometido a condiciones específicas de excitación por vibración. Se dice que un sistema de aislamiento es activo o pasivo según si se requiere o no potencia externa para que el aislador realice su función. Un aislador pasivo se compone de un miembro elástico (rigidez) y un disipador de energía (amortiguamiento). En tanto que un aislador activo se compone de un servomecanismo con un sensor, un procesador de señales y un actuador. El aislamiento de vibración se puede utilizar en dos tipos de situaciones. En el primer tipo, el cimiento o base de una máquina vibratoria se protege contra grandes fuerzas desbalanceadas. En el segundo tipo, el sistema se protege contra el movimiento de su cimiento o base. (Rao, 2010)

#### L. EQUIPO DE SEGURIDAD

Para todo tipo de trabajo que involucre maquinaria, material pesado o trabajo físico se debe utilizar equipo de protección adecuado para garantizar la seguridad de los operarios. Existen normativas del equipo mínimo de seguridad para los trabajadores (llamado EPI). Según el reglamento EPI (UE) 2016/42, creada por la Unión europea, define como EPI a todo equipo que lleve el operario sujeto a sí mismo que le proteja de uno o varios riesgos que puedan amenazar su seguridad o salud. (INSST, 1989)

##### 1. PROTECCIÓN AUDITIVA

El equipo de protección auditiva tiene como fin reducir el nivel de ruido (medido en decibeles) al que un operario o trabajador se expone. Si un trabajador se expone a niveles de 85 dB o superiores de manera continua, es recomendable utilizar el uso de tapones para oído individuales. (Comisión Europea, 2019)

##### 2. PROTECCIÓN OCULAR

Este tipo de protección es recomendable para cualquier trabajo en el que el obrero corra riesgo de que cualquier partícula pueda ocasionarle daño en el ojo. Ya que se trabajará con ventilador y materia que proviene de la naturaleza, se recomiendan gafas del tipo integral. Se recomiendan ya que puede haber riesgo de polvo, partículas residuales del cardamomo entre otras, salgan volando y dañen los ojos del operario. (HSE, 2015)

##### 3. CALZADO DE PROTECCIÓN

El calzado de protección debe de mantener al operador seguro de un golpe de impacto o de compresión en los pies. A la hora de trabajar con el secador, el operario corre riesgo de que una bandeja de 55Lbs le caiga al pie, lo cual puede ocasionarle lesiones en los pies. Por esto se recomienda utilizar botas de punta de acero.

#### 4. PROTECCIÓN PARA MANOS

Existen distintos tipos de protección para manos y el tipo que se escoja depende mucho de su aplicación. Para la manipulación del secador, el equipo de protección para manos tiene como función proteger las manos de temperaturas de 80 °C o inferiores. Para esto se necesitan guantes de nivel 1 (para manipular objetos a 100°C o menor temperatura) de material de soporte textil sin costuras a base de fibras poliamidas. (Professionel, 2019)



## V. ANTECEDENTES

### A. PROCESOS DE SECADO EN COBÁN

En el mes de noviembre del año 2018 se llevó a cabo una visita de campo a Senahú, poblado del departamento de Alta Verapaz, donde existe bastante actividad agrícola en torno al cardamomo. En esta región, principalmente se lleva a cabo el proceso de secado a través de dos tipos de secadores: los secadores convectivos de leña de geometría redonda y los secadores convectivos de gas, de geometría rectangular. Ambos, con un flujo de aire inducido por un ventilador centrífugo de una entrada, impulsado por motores Diesel de 12 caballos de potencia.

Ilustración 18 Secador cilíndrico en Senahú, Alta Verapaz



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 19 Secador de pila de geometría recatangular en Senahú, Alta Verapaz



Fuente: Elaboración propia

Los secadores cilíndricos fueron los más numerosos durante la visita a Senahú. Todos presentan un motor Diesel, ventilador centrífugo, ductos de gas y un quemador atmosférico o intercambiador de calor con espacio de combustión de leña.

Y el principio de funcionamiento para todos los secadores es el mismo. Introducir el cardamomo en una estructura contenedora, con el fondo de compuesto por lámina perforada. Luego se enciende el quemador o fuente de calor (como la leña), el cual eleva la temperatura del flujo de aire a una magnitud entre 40 y 50 grados centígrados. Este aire caliente posteriormente es impulsado por el ventilador centrífugo a través de la lámina perforada y a través del cardamomo. Y por último el flujo de aire, luego de haber atravesado y circularado por el cardamomo, es desechado a la atmósfera. Este ciclo se lleva a cabo durante un tiempo aproximado de 36 horas, hasta que el cardamomo reduce su humedad desde un 6% hasta 3%.

## B. UNIDAD DE VENTILACIÓN DE AIRE

La unidad motriz de las máquinas secadoras de cardamomo es muy similar en cada una, ya que la mayoría trabaja con un motor Diesel de 12 caballos de potencia.

Ilustración 20 Motor Diesel de 12 hp en Senahú, Alta Verapaz



Fuente: Elaboración propia

Y todos los ventiladores observados en la región trabajan con un ventilador centrífugo radial de una única entrada. El cual trabaja para proveer de una alta presión al flujo de aire, de forma que este sea capaz de fluir entre la capa de cardamomo contenida en la pila. Como referencia se llevó a cabo una medición en la cual para un secador de 70 quintales el aire circulaba a una velocidad de aproximadamente 15 m/s en una sección cuadrada de 0.4 metros de cada lado. Por lo que el flujo volumétrico se encontraba alrededor de 2.4 m<sup>3</sup>/s.

Ilustración 21 Ventilador centrífugo de secador en Senahú, Alta Verapaz



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 22 Unidades de ventilación de secadores en Senahú, Alta Verapaz



Fuente: Elaboración propia

### C. FUENTES DE CALOR

La fuente de calor varía comúnmente según el secador, sin embargo, en la mayoría de secadores utilizados en Senahú, se observó que utilizaban la leña como fuente de calor para calentar el flujo de aire.

Ilustración 23 Quemador atmosférico en la entrada de un ventilador centrífugo



Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, aquellos que hacían uso de la combustión de gas como fuente de calor, colocaban el quemador en dos posiciones diferentes: en la entrada del ventilador y en el ducto de salida del ventilador. Cabe mencionar que aquellos quemadores confinados en el ducto de ventilación poseen el inconveniente extinguirse su llama debido al alto flujo de aire. Por ejemplo, el quemador de la Ilustración 24, poseía dicho problema, por lo que le estaba siendo adaptado un piloto que fuera capaz de encender la llama, al detectar la extinción de la misma. El quemador artesanal de la Ilustración 24, a su vez tenía la característica de ser una llama de gran longitud y de coloración amarilla.

Ilustración 24 Quemador artesanal de gas para secadora de 70 quintales



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 25 Línea de control de gas de secadora de 70 quintales



Fuente: Elaboración propia

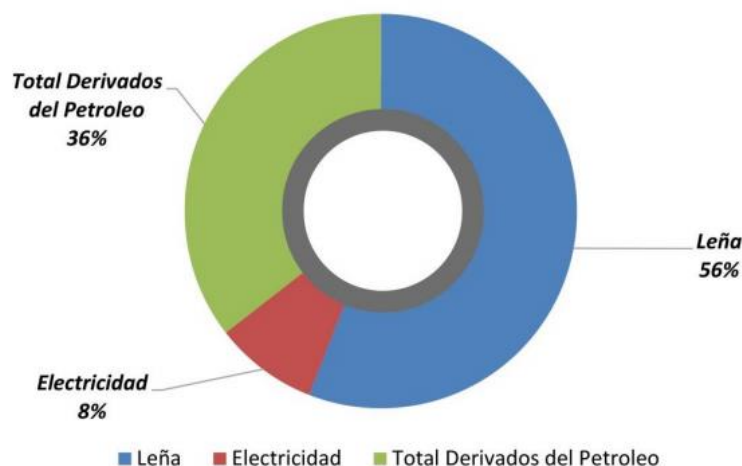
## D. CONSUMO DE LEÑA EN GUATEMALA

Guatemala posee un territorio suficientemente fértil para las actividades agropecuarias y forestales características de un país cercano al trópico, sin embargo, la situación socioeconómica de las familias guatemaltecas influye en el uso de leña en el subsector residencial, convirtiéndolo en el energético de mayor uso en Guatemala. (Ministerio de Energía y Minas, 2018)

En Guatemala, la leña aún comprende para la población una fuente importante de energía, tanto para llevar a cabo la cocción de alimentos como para brindar calor a los hogares. Y es utilizada, no únicamente a un nivel doméstico, sino también comprende una fuente importante de energía para algunas industrias, como lo son: ladrilleras, carboneras, panaderías y agroindustria. (Aguilar, 2016)

Esta fuerte presencia de la leña como fuente de energía se puede ver reflejada en el consumo energético nacional del 2017. En el cual, del total de la energía final consumida en el 2017, la fuente energética de mayor consumo fue la leña, con un 55.96%, seguido de los derivados del petróleo.

Figura 1. Consumo final de energía en Guatemala para el año 2017.



Fuente: Balance Energético 2017, Ministerio de Energía y Minas

Datos del Instituto Nacional de Bosques (Inab) señalan que es más caro pagar la leña que el consumo mensual de gas, Rodríguez refiere que la situación en el país se debe a que son los miembros de las familias los que salen a recolectarla, principalmente niños.

En Guatemala dos tercios de la población usa leña y según un registro del 2013, cada año se consumen unos 27 millones de metros cúbicos de leña, que equivalen alrededor de US\$600 millones. (Rosa Bolaños, 2017)



## **VI. METODOLOGÍA**

### **A. CRONOGRAMA DE TRABAJO**

Al inicio del proyecto se estructuró un cronograma con el plan de trabajo a desarrollar. El objetivo de este cronograma es tener una estructura para el desarrollo del proyecto y para verificar los avances que se fueron teniendo. Para elaborar este cronograma se comenzó por definir la fecha de entrega. Luego de tener la fecha de entrega, se tenía que ver qué era lo que se quería construir y tener claro cuál era el alcance del proyecto y las limitantes. Como cualquier proyecto en el que se tiene un cliente, se comenzó por definir los requerimientos de la persona que quería el secador. Al comienzo del proyecto solo se tenía una vaga idea de lo que se quería por lo que se comenzó por una visita a Cobán a ver secadores existentes y así ver de qué se trataba el proyecto.

Luego de esta visita, se procedió a plantear los requerimientos que el cliente necesitaba como mínimo, así poder comenzar a idear un diseño que mejor cumpliera sus expectativas. Luego de la iteración de diseños, se debía proceder a la adquisición de los materiales. El proceso de compras en la universidad suele ser muy complicado y tardado por eso al comienzo del proyecto se le dio a este un mes. Luego se había planeado trabajar en las vacaciones de medio año la construcción y manufactura. Seguido de esto, se esperaba poder realizar las pruebas de funcionamiento, así implementar mejoras leves y terminar con el secador.

### **B. MATRIZ DE REQUERIMIENTOS, VERIFICACIÓN Y VALIDACIÓN**

La matriz de requerimientos se construyó en base a los requerimientos solicitados por parte de Luis Andrés Arévalo (encargado del proyecto de cardamomo) y los integrantes del grupo de fabricación del secador para poder determinar cuáles eran las limitantes operacionales, funcionales y las limitantes para el desarrollo del secador para que este llegara a cumplir con estos y se entregara un producto final acorde con lo solicitado y estipulado en esta matriz.

Los requerimientos están basados en la literatura mencionada en el marco teórico. Se clasificaron según la responsabilidad de cada módulo y de la capacidad de los mismos de cumplirlos exitosamente. Existen requerimientos que son responsabilidad de todos como se indica en los que son de esa naturaleza, esto se debe a la complejidad y a que de cierta manera todos están involucrados en el logro de este requerimiento.

Tabla 9: Requerimientos funcionales

Código	Requerimiento	Módulo	Verificación
FTD-01	El secador debe tener una capacidad máxima de 10 quintales (1000lbs)	Todos	R
FTD-02	El secador debe ser modular (se pueden secar de 1-10 quintales)	Todos	R
FTD-03	Se debe implementar un sistema de recirculación parcial	Todos	R
FPCV-01	Se debe utilizar gas propano para calentar el aire de secado	PCV	R
FE-01	La estructura debe ser capaz de soportar las cargas	E	A, R y P
FPCV-02	Se debe utilizar un motor a gasolina o Diesel para propulsar la gasolina	PCV	R
FF-01	El flujo de aire debe ser capaz de secar el cardamomo lo más uniforme posible	F	A, R y P
FF-02	El condensado no daña el cardamomo	F	A y P

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10: Requerimientos operacionales

Código	Requerimiento	Módulo	Verificación
OIS-01	La operación debe ser segura para el operario con respecto al gas propano	IS	R
OTD-01	El cardamomo debe tener el menor contacto posible con los gases de escape del motor	Todos	R
OE-01	Las bandejas no deben de exceder 55 kg (peso total= peso gaveta + peso del grano)	IS y E	R
OIS-02	En el manual debe estar indicado el equipo de protección personal de los operarios	IS	R
OE-02	Se debe tener algún mecanismo para recopilar el "Oro " del cardamomo	E	R
OIS-03	El manual debe de indicar el mantenimiento adecuado para su correcto funcionamiento	IS	R
OPCV-01	El funcionamiento del secado no debe ser afectado por las vibraciones del motor	PCV	P
OIS-04	Debe tener señales de precaución donde sea necesario	IS	R
OE-03	Los materiales del secador no deben contaminar el secador	E	R
OTD-02	La maquinaria debe de ser operada por al menos dos personas	Todos	R

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11: Requerimientos limitantes

Código	Requerimiento	Módulo	Verificación
LTD-01	Los materiales deben estar disponibles en Guatemala	Todos	I
LE-01	La construcción no debe ser demasiado compleja para replicar	E	I
LTD-02	Los repuestos deben ser accesibles en Guatemala	Todos	I
LE-02	La altura de la bandeja más alta no debe exceder los 2 metros por seguridad del operario	E	R
LE-03	El secador debe poder separarse en módulos para poder ser transportado en pickup con palangana de área de 1.5 X 1.5 metros	Todos	R

Fuente: Elaboración propia

Donde:

FT: Análisis de Fluidos y Termodinámica  
 PCV: Módulo Potencia, Combustión y Vibraciones  
 E: Módulo de Estructura  
 IS: Módulo Ingeniería en Sistemas  
 R: Revisión de diseño  
 I: inspección  
 P: Pruebas  
 A: Análisis

## A. MATRIZ DE RIESGO

Para la realización de este proyecto se sugirió implementar la matriz de riesgo para tener planes de contingencia en caso llegase a ocurrir algún riesgo y así poder mitigar y solucionar de una manera más eficiente y evitar los riesgos lo mayor posible. Estos riesgos fueron identificados como grupo al comienzo de la fase de diseño, pero a lo largo del desarrollo del proyecto fueron surgiendo nuevos riesgos y se fueron implementando en la misma.

En las siguientes tablas se detallan los riesgos identificados durante el diseño del secador. Las causas de los riesgos también fueron incluidas (ver Anexo C). Para cada riesgo se le asignó la manera en la que se va a mitigar. Para esto se le asignó una letra conforme el tipo de mitigación que se va a tomar si llega a suceder el riesgo. Se utiliza la letra “M” significando que se va a mitigar el riesgo. Esto significa reducir o eliminar las causas y consecuencias del riesgo. Se utilizó la letra “C” que significa control, las causas y consecuencias se tratan de controlar lo más que se pueda. La letra “A” que quiere decir que el riesgo es aceptado y se continúa con el proceso. Y por último la letra “E” que significa estudiar, ya que a se requiere saber más del riesgo y su mitigación correcta y favorable. En algunos casos se escogió más de un tipo de mitigación por riesgo.

El código del riesgo está dado según las iniciales del módulo encargado del riesgo. A los riesgos de Estructura se les dio la letra “E”, a los de Fluidos y termodinámica “FT”, a los del sistema en general “SI”, a los de potencia y combustión “PC” y por último a los de vibraciones “V”.

En el Anexo A se encuentra una tabla con las mitigaciones que se previeron antes de realizar el proyecto. De ser ejecutada alguna se modificó conforme se haya procedido a realizar la mitigación.

Tabla 12: Valoración de riesgos

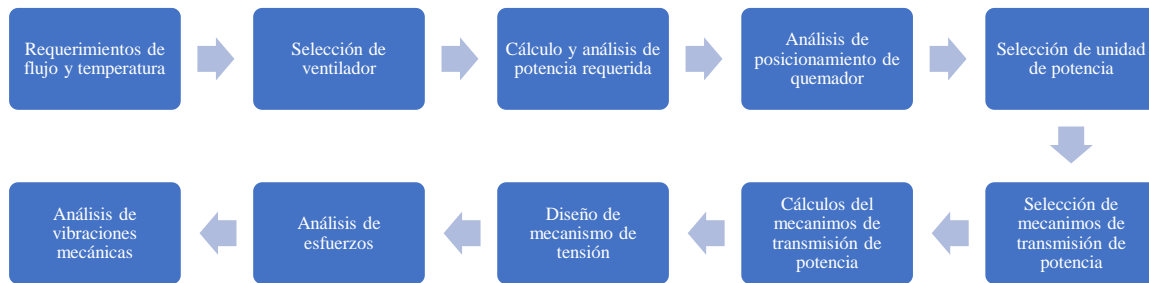
Código	Riesgo	Probabilidad	Consecuencia	Mitigación
E-01	La estructura no cumple con los estándares necesarios	2	5	M, E
E-02	Los componentes no permanecen fijados en su posición	1	3	M, E
E-03	Cambios de geometría	4	4	M, E, A
FT-01	El flujo de aire no es suficiente para secar el cardamomo	3	5	M, E
FT-02	El Flujo de aire quema el cardamomo	3	4	M, E
FT-03	El flujo de aire no es distribuido de una manera homogénea	3	4	M, E, A
FT-04	Análisis de flujo y termodinámica se excede de iteraciones causando retraso en la manufactura	4	4	C, A
FT-05	El flujo de aire no recorre el área estipulada	4	5	C
PC-01	El motor no es capaz de entregar la potencia requerida	3	5	M, E
PC-02	El ventilador no es capaz de entregar el flujo de aire requerido	3	4	M, E
SI-01	Los diferentes componentes no pueden ser acoplados entre sí	2	5	M
SI-02	La estructura o alguno de los componentes resulta dañado	2	4	C
SI-03	No es posible transportar en módulos el secador	2	3	C
SI-04	Las compras se atrasan	4	5	C, A
SI-05	Los materiales se agotan/no hay en existencia	2	4	C
SI-06	Proveedores no cumplen con lo estipulado	3	5	M, E
SI-07	Rediseño excesivo	3	4	C, A
SI-08	El taller no está disponible para trabajar	4	4	C, A
V-01	Las vibraciones del motor afectan la estructura de una manera crítica	3	4	C, A

Fuente: Elaboración propia

## C. METODOLOGÍA PARA DISEÑO DEL SISTEMA DE POTENCIA

Para realizar el diseño del sistema de potencia del secador de granos de cardamomo se estableció un orden lógico de los pasos a seguir. Este busca ilustrar un proceso que permite avanzar en cada etapa de diseño con el menor problema posible. Además, expone como la dependencia que existe entre los distintos elementos del sistema. Ya que, al no seguir un orden lógico, se pueden encontrar errores como incompatibilidad en las distintas etapas de diseño.

Ilustración 26 Proceso de diseño de sistema de potencia



Fuente: Elaboración propia

La unidad de potencia se trabajó como una unidad independiente de la estructura de la recámara de secado para los granos de cardamomo. Por ello, para facilitar el trabajo de cada módulo, de forma paralela, se especificó únicamente el área y posición de acople de la unidad de potencia con la estructura de la recámara de secado.

## D. CÁLCULOS PRELIMINARES

Para llevar a cabo los cálculos preliminares de la potencia requerida se hizo necesario definir los supuestos para llevar a cabo dichos cálculos.

Supuestos: Para el análisis preliminar se considera que se trabajará con un flujo estacionario e incompresible. Esta decisión se ha hecho con el objetivo de simplificar las relaciones de conservación de masa y poder aplicar conceptos de la ecuación de Bernoulli.

Flujo de aire requerido

$$\dot{V} = 0.8 \text{ m}^3/\text{s}$$

Diámetro mínimo de eje

$$D_{min} = 1 \text{ pulgada} = 25.4 \text{ mm}$$

Área de salida (sección cuadrada)

$$\text{Área} = 0.16 \text{ m}^2$$

Altura de máquina

$$\text{Altura} = 3m$$

Flujo másico de aire

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

Sabiendo que la densidad del aire es  $\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$  se obtiene el flujo másico.

$$\dot{m} = 1.225 \text{ kg/m}^3 \times 0.8 \text{ m}^3/\text{s} = 0.98 \text{ kg/s}$$

Cálculo de potencia requerida para tomar el aire del ambiente e ingresarlo al sistema

$$\dot{m} \left( \frac{P_1}{\rho} + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2} + gz_1 \right) + \dot{W}_{\text{ventilador}} = \dot{m} \left( \frac{P_2}{\rho} + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2} + gz_2 \right) + \dot{E}_{\text{mec,perdida}}$$

Se tiene que la presión en la entrada y salida del ventilador es la misma por lo que

$$\dot{W}_{\text{ventilador}} = \dot{m} \left( \alpha_2 \frac{V_2^2}{2} + gz_2 \right) + \dot{E}_{\text{mec,perdida}}$$

$$\dot{W}_{\text{ventilador}} - \dot{E}_{\text{mec,perdida}} = \dot{W}_{\text{ventilador,u}}$$

$$\dot{W}_{\text{ventilador,u}} = \dot{m} \left( \alpha_2 \frac{V_2^2}{2} + gz_2 \right)$$

$$z_2 = 3m$$

Si el flujo en una entrada o una salida es un flujo turbulento totalmente desarrollado en un tubo, se recomienda usar.

$$\alpha_2 = 1.05$$

$$V_2 = 5 \text{ m/s}$$

$$\dot{W}_{\text{ventilador,u}} = (0.98 \text{ kg/s}) \left[ (1.05) \frac{(5 \text{ m/s})^2}{2} + (9.81 \text{ m/s}^2)(3 \text{ m}) \right] = 41.704 \text{ W}$$

En el sistema existen distintos elementos que se oponen al flujo de aire. En este caso, elementos como el cardamomo y las gavetas presenta la mayor resistencia a este flujo de aire. Por lo que, para llevar a cabo el análisis de la potencia requerida para hacer pasar el aire a través del sistema, posee dos procedimientos principales en el análisis preliminar. Un cálculo de la caída de presión en el sistema debido a los elementos y el cálculo de la potencia en el eje del ventilador considerando su eficiencia

En el primer paso se realizó un cálculo con la ecuación de Bernoulli, para encontrar la caída de presión. En este la presencia de elementos se interpreta como una reducción en el área que posee el aire para su flujo. Para este análisis se toma el supuesto que el área se reduce en un 90%.

$$A_2 = 0.90A_1$$

$$V_1A_1 = V_2A_2$$

$$V_2 = \frac{V_1A_1}{A_2} = \frac{V_1A_1}{0.15A_1} = \frac{V_1}{0.15} = 50m/s$$

Luego se realiza el análisis de Bernoulli considerando que aquí se elevará una altura determinada, correspondiente a la altura de la estructura.

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + gz_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + gz_2$$

Cálculo de caída de presión

$$P_1 - P_2 = \rho \left[ \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + gz_2 \right]$$

$$\Delta P = 701.2 Pa$$

Con esta caída de presión obtenida lo que se busca es compensarla a través del incremento de presión producido por el ventilador. Para lo cual se tiene la siguiente expresión.

$$\mu_f = \frac{dp \cdot \dot{V}}{P}$$

Para esta expresión se toman los siguientes parámetros:

$$\mu_f = \text{eficiencia de ventilador}$$

$$dp = \text{incremento de presión en ventilador}$$

$$\dot{V} = \text{flujo volumétrico de aire}$$

$$P = \text{potencia requerida}$$

Sabiendo esto, se iguala la presión incrementada en el ventilador al valor obtenido en la caída de presión obtenida anterior mente. Y se escoge una eficiencia para el ventilador de 65% que es un parámetro promedio para un ventilador centrífugo.

$$P = \frac{dp \cdot \dot{V}}{\mu_f} = \frac{(701.2 Pa)(0.8 m^3/s)}{0.65} = 863.02 W$$

Por tanto, la potencia preliminar total requerida en el eje del ventilador es:

$$P_{total} = 863.02 W + 41.704 W = 904.72 W \text{ ó } 1.22 HP$$

## 1. CÁLCULO DE TORQUE

Los datos proporcionados por el proveedor del ventilador aseguran que este proporciona 2,840 cfm de caudal, con una columna de agua de 1.25 pulgadas, esto operando a 1200 rpm. Y, además, se especifica que se requiere una potencia de 2 hp en el eje del ventilador para que el ventilador sea capaz de entregar estos parámetros.

Conociendo la potencia requerida en el ventilador se puede obtener el par de torsión. Ya que la potencia requerida se define como el producto del par de torsión y la velocidad angular. (Budynas & Nisbett, 2012)

$$H = T \cdot \omega$$

Con dicha ecuación se obtiene una expresión para torque como el cociente de la potencia sobre la velocidad angular.

$$T = \frac{H}{\omega}$$

Ingresando los datos del motor y realizando las conversiones al sistema internacional se obtiene.

$$T = \frac{(2hp) \frac{745.7 W}{1 hp}}{(1200 rpm) \cdot \frac{2\pi rad}{1 rev} \cdot \frac{1 min}{60 s}} = 11.86 N \cdot m$$

## E. SELECCIÓN DE VENTILADOR O SOPLADOR

La selección del ventilador posee una relación directa con las características de flujo de aire requerido en la cámara de secado y las características del aire que entra al ventilador. En este caso a diferencia de la mayoría de sistemas de secado en Guatemala, el flujo de aire no estaría forzado a atravesar los granos de cardamomo, sino que este tiene la capacidad de fluir en medio de las bandejas que contienen el cardamomo. Lo cual significa que la caída de presión no sería tan significativa como lo es en la mayoría de sistemas convencionales implementados en la actualidad en Cobán. Sin embargo, si se requeriría de un caudal cercano a un metro cúbico por segundo de aire, como se planteó previamente en los cálculos preliminares. Y, además, con respecto a las características del aire en la entrada del ventilador, se tenía que en esta entrada ingresaría el aire a alta temperatura debido a que, como se plantea en el primer diseño, se buscó realizar el calentamiento del flujo colocando el quemador en la entrada del ventilador. Lo cual significaría que el ventilador debería soportar dicha carga térmica en la entrada y en parte de su estructura.

Luego, a partir de los cálculos preliminares se inició el análisis del tipo de ventilador que se podría implementar. Y como se mencionó, en el secador habría una caída relativamente baja de presión, pero con capacidad para generar un alto flujo de aire.

En principio se decidió entre ventiladores centrífugos y axiales. Al evaluar el requerimiento de soportar una alta temperatura en la entrada, se encontró que, en gran parte de los ventiladores axiales, se presenta la condición que rodamientos o elementos como chumaceras se encuentran en la entrada de aire, por lo que este componente debería de ser capaz de soportar la carga térmica generada por el quemador. Intentar trabajar con dicha condición sería muy difícil, impráctico y dañino para los componentes móviles del eje. Por tanto, se determinó que no se trabajaría con ventiladores axiales. Al evaluar los ventiladores centrífugos se encuentran tipos de ventiladores que son capaces de cumplir con las condiciones propuestas, incluido el requerimiento de carga térmica. Y es utilizar un ventilador centrífugo de una entrada, como se implementa en varios secadores de cardamomo actualmente. Sin embargo, en lugar de implementar un ventilador centrífugo radial, se planteó el uso de un ventilador centrífugo con los álabes inclinados hacia atrás. El cual tiene alta eficiencia, y un alto gasto volumétrico, pero con un corto rango de cantidades de volumen a trabajar.

Luego se investigó la oferta del mercado. Y a pesar de la variedad existente de ventiladores, la selección se limita en gran medida a la disponibilidad existente de los mismos en el mercado. Con ello, se encontró que la gran parte del mercado se concentra en ventiladores centrífugos radiales para manejar altas presiones, ya que son esas las condiciones requeridas para una gran cantidad de aplicaciones en la industria. Y también se encontró una amplia oferta de ventiladores axiales de propela, ya que son muy comúnmente utilizados para tareas de ventilación de espacios de gran volumen. Sin embargo, se encontró un proveedor que afirmó tener un ventilador centrífugo de una entrada, que cumplía con los requerimientos, sin embargo, este a diferencia del propuesto, era de álabes inclinados en el sentido del giro.

Posteriormente, cercano a la fecha de entrega se detectó un problema de manufactura por parte del proveedor. El impeler utilizado correspondía a un ventilador centrífugo de doble entrada que, si entregaba el caudal requerido, pero que se encontraba instalado en la voluta de un ventilador centrífugo de una única entrada. A pesar de las condiciones del ventilador, se decidió trabajar con el mismo, y realizar las modificaciones correspondientes para obtener el caudal que debe de entregar según las especificaciones del fabricante. Ya que, sin la apertura de su otra entrada, este entregaría aproximadamente la mitad del caudal. Y a su vez, se debió modificar el posicionamiento del quemador de gas, ya que se tienen chumaceras en las entradas de flujo de aire.

Los datos del fabricante se especifican en la Ilustración 27, y los datos del ventilador se encuentran encerrados en el recuadro con línea negra. Los parámetros requeridos de flujo según los datos obtenidos por Moris Polanco son:

- Caída de presión de 150 Pa (0.6 pulgH<sub>2</sub>O)
- Caudal de 1.25 m<sup>3</sup>/s (2 649 CFM)

Lo cual, si el ventilador se hace trabajar de forma correcta no debería presentar ningún inconveniente ya que como se puede observar, con un motor de 2 hp y haciéndolo rotar a 1200 rpm, podría proveer un caudal de aire de hasta 2 840 CFM, con una caída de presión muy superior de 1.25 pulgH2O.

Ilustración 27 Hoja técnica de ventilador centrífugo de doble entrada

Wheel Dia. (in.)	Wheel Width (in.)	Housing H (in.)	Housing W (in.)	Housing D (in.)	Disch. H (in.)	Disch. W (in.)	CFM Air Delivery @ Static Pressure Shown					Blower RPM	Motor HP	I		
							0.25"	0.5"	0.625"	0.75"	1.00"				1.25"	
7 1/2	9 1/2	16 1/16	9 3/16	14 1/16	6 5/16	9 3/16	1090	—	—	—	—	—	690	1/4	7 1/2	
		16 1/16	9 3/16	14 1/16	6 5/16	9 3/16	# 1365	1190	—	—	—	—	917	1/2	7 1/2	
		16 1/16	9 3/16	14 1/16	6 5/16	9 3/16	# 1590	1425	1250	—	—	—	990	1/2	7 1/2	
		16 1/16	9 3/16	14 1/16	6 5/16	9 3/16	# 1920	1750	1625	1330	—	—	1106	3/4	7 1/2	
		16 1/16	9 3/16	14 1/16	6 5/16	9 3/16	# 2190	2055	1935	1665	1350	—	1212	1	7 1/2	
		16 1/16	9 3/16	14 1/16	6 5/16	9 3/16	# 2535	2430	2335	2105	1870	—	1358	1 1/2	7 1/2	
	9 1/2	9 1/2	14 3/16	9 3/16	12 1/2	6 5/16	9 3/16	1040	—	—	—	—	—	706	1/2	7 1/2
			14 3/16	9 3/16	12 1/2	6 5/16	9 3/16	# 1200	—	—	—	—	—	897	1/2	7 1/2
			14 3/16	9 3/16	12 1/2	6 5/16	9 3/16	# 1565	1450	—	—	—	—	1041	1/2	7 1/2
			14 3/16	9 3/16	12 1/2	6 5/16	9 3/16	# 1780	1690	—	—	—	—	1182	3/4	7 1/2
			14 3/16	9 3/16	12 1/2	6 5/16	9 3/16	# 2020	1850	1250	—	—	—	1324	1	7 1/2
			14 3/16	9 3/16	12 1/2	6 5/16	9 3/16	# 2300	2225	2120	2000	—	—	1458	1 1/2	7 1/2
9 1/2	9 1/2	16 1/16	11 1/16	14 1/16	6 5/16	11 1/16	1550	—	—	—	—	—	700	1/4	7 1/2	
		16 1/16	11 1/16	14 1/16	6 5/16	11 1/16	# 2070	1920	1800	—	—	—	959	1/2	7 1/2	
		16 1/16	11 1/16	14 1/16	6 5/16	11 1/16	# 2420	2310	2170	—	—	—	1068	3/4	7 1/2	
		16 1/16	11 1/16	14 1/16	6 5/16	11 1/16	# 2620	2570	2460	2220	—	—	1150	1	7 1/2	
		16 1/16	11 1/16	14 1/16	6 5/16	11 1/16	# 3050	2980	2940	2730	2540	—	1300	1 1/2	7 1/2	
		16 1/16	11 1/16	14 1/16	6 5/16	11 1/16	# 3320	3280	3220	3100	2910	—	1406	2	7 1/2	
8	10 1/2	18 1/16	10 1/2	16 5/16	7	10 1/2	1250	—	—	—	—	—	565	1/4	7 1/2	
		18 1/16	10 1/2	16 5/16	7	10 1/2	1530	—	—	—	—	—	625	1/2	7 1/2	
		18 1/16	10 1/2	16 5/16	7	10 1/2	# 1940	1650	1210	—	—	—	833	1/2	7 1/2	
		18 1/16	10 1/2	16 5/16	7	10 1/2	# 2280	2050	1780	—	—	—	907	3/4	7 1/2	
		18 1/16	10 1/2	16 5/16	7	10 1/2	# 2670	2470	2280	1750	—	—	1000	1	7 1/2	
		18 1/16	10 1/2	16 5/16	7	10 1/2	# 3050	2940	2745	2350	1820	—	1100	1 1/2	7 1/2	
10 1/2	13 1/2	18 1/16	10 1/2	16 5/16	7	10 1/2	# 3440	3330	3180	2850	2440	—	1200	2	7 1/2	
		18 1/16	13 1/2	16 5/16	7	13 1/2	1230	—	—	—	—	—	534	1/4	7 1/2	
		18 1/16	13 1/2	16 5/16	7	13 1/2	1650	—	—	—	—	—	593	1/2	7 1/2	
		18 1/16	13 1/2	16 5/16	7	13 1/2	# 2050	1600	—	—	—	—	795	1/2	7 1/2	
		18 1/16	13 1/2	16 5/16	7	13 1/2	# 2450	2050	1620	—	—	—	857	3/4	7 1/2	
		18 1/16	13 1/2	16 5/16	7	13 1/2	# 2700	1980	—	—	—	—	1000	1	7 1/2	
10 1/2	13 1/2	18 1/16	13 1/2	16 5/16	7	13 1/2	# 3300	2740	1980	—	—	—	1100	1 1/2	7 1/2	
		18 1/16	13 1/2	16 5/16	7	13 1/2	# 3390	2840	—	—	—	—	1200	2	7 1/2	
		18 1/16	13 1/2	16 5/16	7	13 1/2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

Fuente: FAMAINDUSTRIAL, 2019

## F. SELECCIÓN DE UNIDAD DE POTENCIA

Para la selección de la unidad de potencia se debe tomar en consideración distintos aspectos que no se limitan a las condiciones operacionales, sino que también analiza el costo, la huella de carbono, la inversión inicial y seguridad en la implementación del mismo. Por lo que se debe analizar cada uno en estos aspectos para así tomar una decisión que a su vez se enfoque en el cumplimiento de los objetivos del proyecto.

Tabla 13 Matriz de ponderación para selección de unidad de potencia

Unidad de potencia		Costo por KWh	Generación de vibraciones	Huella de carbono	Seguridad de operación	Inversión inicial	Total
	Ponderación	25%	15%	15%	25%	20%	100%
<b>Gasolina</b>	Calificación	7	4	5	6	8	
	Puntuación	1.75	0.6	0.75	1.5	1.6	6.2
<b>Diesel</b>	Calificación	8	2	3	8	8	
	Puntuación	2	0.3	0.45	2	1.6	6.35
<b>Gas (GLP)</b>	Calificación	6	4	7	5	5	
	Puntuación	1.5	0.6	1.05	1.25	1	5.4

Fuente: Elaboración propia

La unidad de gasolina presenta grandes ventajas, en la actualidad existe un fácil acceso a la gasolina en las distintas zonas de Cobán. El principio de funcionamiento de los motores de gasolina es bastante conocido debido a la fuerte presencia de motocicletas para la locomoción de los habitantes en muchas regiones del interior del país, y por ello, también se puede afirmar que incluso existe conocimiento de cómo realizar reparaciones o acerca de cómo resolver un problema con el mismo. Sin embargo, los motores de gasolina presentan un peligro latente que cobra gran importancia para este proyecto, y es el uso de un combustible altamente inflamable, el cual genera un gran riesgo al tenerse en cuenta que, de forma simultánea, se estará trabajando con un quemador de gas. De forma que una chispa o ceniza generada por el quemador puede suponer un peligro para el manejo del combustible.

La unidad de potencia a base de gas (GLP), tiene la capacidad de poder trabajar con el mismo circuito gas establecido para el control de combustión de gas en el quemador. El gas propano presenta una combustión más limpia, al generar escasos subproductos de combustión, y el costo de gas es relativamente bajo. Sin embargo, en Guatemala no existe un mercado para motores de gas, el kit de cambio de un motor de gasolina a gas es costoso y prácticamente inexistente en Guatemala, y motores de gas entregan considerablemente menos potencia y torque que incluso un motor de gasolina.

Por otra parte, los motores eléctricos tienen grandes capacidades y características que los hacen una unidad de potencia muy versátil, eficiente y segura. Los motores eléctricos por su parte, no generan su movimiento rotatorio debido a una combustión, si no que generan su movimiento rotacional a través de una fuente de energía eléctrica, siendo de esta forma considerablemente más seguro que las dos unidades de potencia anteriormente mencionadas. Además, los motores eléctricos generan muchas menos vibraciones mecánicas, se pueden conectar directamente eje a eje con un ventilador y le puede ser implementado un equipo para el control preciso de la velocidad de rotación del eje, como un variador de frecuencia, con lo cual se puede controlar el flujo de aire. Sin embargo, a pesar de las diversas ventajas que este pueda tener, se debe tener en mente que el sitio donde se desea instalar el secador no cuenta con acceso a energía eléctrica. Por lo que se tendrían que implementar soluciones como la integración de un generador eléctrico a base de combustible que en su mayoría

operan durante un máximo de 9 horas, o la implementación de paneles solares, que limitarían el horario de trabajo del secador. Todo ello produce un alza en la inversión inicial, que a su vez se estarían limitando las capacidades de funcionamiento de la unidad de potencia.

Luego se encuentran los motores Diesel, que ya en la actualidad, son muy comúnmente utilizados para proveer de movimiento rotacional a ventiladores para el secado de granos. Los motores Diesel, tienen una eficiencia de combustión superior a los motores de gasolina, estos proveen de un alto torque y comúnmente manejan una velocidad angular del eje inferior a los motores de gasolina, lo cual evita manejar una alta relación de velocidades en las poleas. El combustible Diesel es bastante accesible en muchas zonas de Cobán, debido a la afluencia de los vehículos tipo pickup que utilizan el mismo. Debido a ello, estos motores muchas veces ya son conocidos, y se tienen mejores probabilidades de trabajar con personas con conocimientos previos sobre el manejo de los mismos. Además, el combustible Diesel presenta una las alternativas de motores de combustión interna más seguras, debido a sus propiedades químicas que prácticamente hacen que este se comporte como un combustible ignífugo ante la presencia de una chispa o que requiera de una temperatura muy alta para su combustión. Los motores Diesel a su vez suponen la mayor fuente de vibraciones mecánicas de las alternativas propuestas y también poseen la mayor huella de carbono de estos (aunque, cercana a la huella de carbono de la gasolina). A pesar de ello estos motores, poseen muy buenas características que facilitan su implementación al sistema, su efectividad y rentabilidad.

Teniendo en mente la gran importancia de la seguridad en el manejo de la unidad de potencia, su versatilidad y sus bajos costes de operación, el motor Diesel es la alternativa seleccionada para la proveer de potencia mecánica al sistema.

## G. SELECCIÓN DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA MECÁNICA

Para selección del sistema de transmisión de potencia se tiene principalmente dos alternativas: la transmisión de potencia a través de bandas flexibles y la transmisión a través de cadena. Cabe mencionar que, debido a criterio de ingeniería, no se estudió la alternativa de implementar engranes, debido a su muy alto coste y condiciones de operación que no requieren de la eficiencia, precisión y capacidad para transmitir potencia a través de engranes.

Tabla 14 Matriz de ponderación para selección de sistema de transmisión de potencia

<b>Tipo de transmisión de potencia</b>	<b>Costo</b>	<b>Facilidad de alineación</b>	<b>Aislamiento de vibraciones</b>	<b>Eficiencia de transmisión</b>	<b>Generación de ruido</b>	<b>Total</b>	
	Ponderación	20%	15%	30%	25%	10%	100%
<b>Banda V</b>	Calificación	8	8	8	7	8	
	Puntuación	1.6	1.2	2.4	1.75	0.8	7.75
<b>Cadena</b>	Calificación	6	5	4	9	5	
	Puntuación	1.2	0.75	1.2	2.25	0.5	5.9

Fuente: Elaboración propia

Las cadenas, poseen muy buena capacidad para soportar altas cargas, son altamente eficientes, poseen bajo costo de mantenimiento, producen menor carga en el eje que las bandas y poseen muy buena capacidad para soportar diversas condiciones ambientales. Sin embargo, a su vez transmiten mejor las vibraciones mecánicas, son más ruidosas y presentan un costo mayor en la inversión inicial.

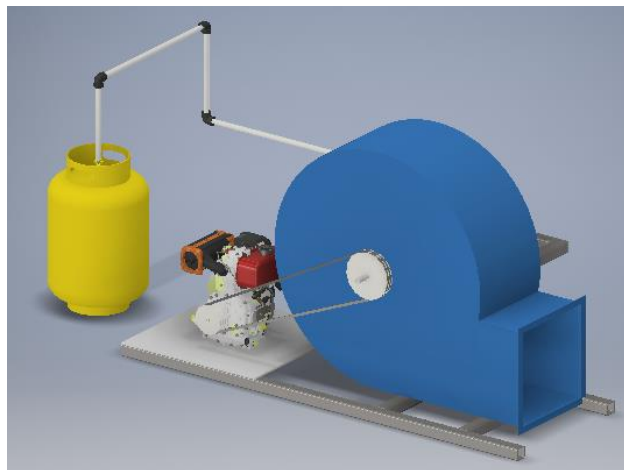
Las bandas por su parte, son más silenciosas, reducen la vibración, tienen un bajo coste de mantenimiento y principalmente absorben las fluctuaciones de carga por golpes, aumentando la vida de la maquinaria o equipo con el cual se esté trabajando. Dicha propiedad de las bandas cobra gran importancia en el diseño ya que el ventilador no ha sido diseñado para soportar una alta carga de vibraciones mecánicas, por lo que la capacidad de aislar las vibraciones generadas por el motor Diesel, hacia el ventilador es un aspecto muy importante. Además, el bajo coste de las mismas, reduce la inversión inicial lo cual mejora la rentabilidad del mismo, lo cual se puede alcanzar sin comprometer la funcionalidad y capacidad de transmisión de potencia.

Por ello, considerando las condiciones de operación, de baja carga, con presencia relativamente alta generación de vibraciones mecánicas y coste inferior a la implementación de cadenas. Se elige mecanismo de transmisión de potencia las bandas flexibles con geometría “V”.

## H. DISEÑO PRELIMINAR

Para el diseño preliminar únicamente se presentó un enfoque en la disposición de elementos, con dimensiones preliminares y el montaje más simple que se pudiera realizar, con el objetivo de una fácil fabricación y economía en el costo de los materiales. Una ilustración del mismo se presenta en la Ilustración 28.

Ilustración 28 Diseño preliminar



Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar, en este diseño preliminar se tiene la transmisión por medio de bandas V, el motor de gasolina se apoya sobre una lámina calibre 10, que a su vez se encuentra sujeta a una estructura de perfiles



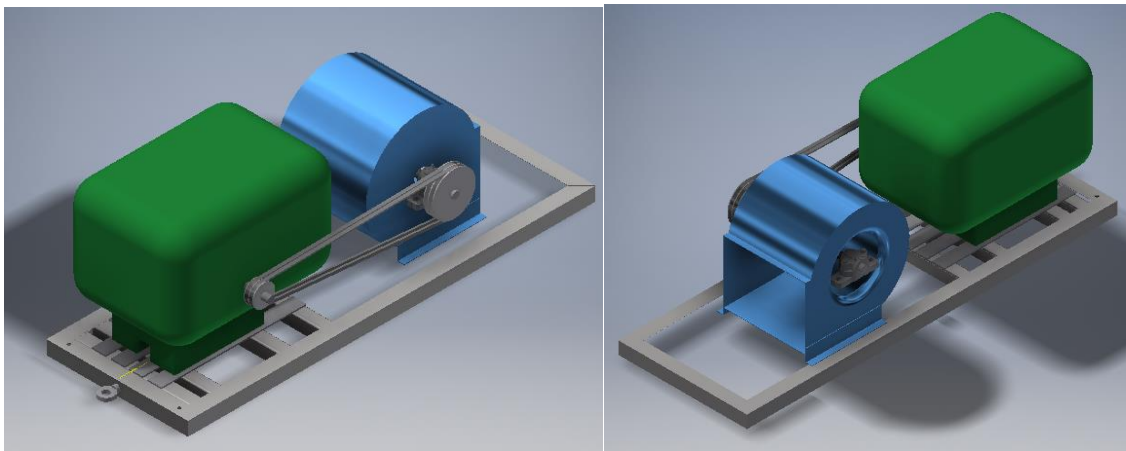
## I. PRIMER DISEÑO

Para este primer diseño se tuvieron dimensiones de un ventilador centrífugo que según datos del proveedor cumplía con los requerimientos establecidos. Con los datos del ventilador cotizado, se realizaron las cotizaciones correspondientes para una unidad de potencia y se tomaron datos de la geometría de la misma para realizar configuraciones de posicionamiento con los componentes existentes.

En este diseño ya se plantea un mecanismo para la tensión de la banda. Para este sistema se eligió el mecanismo deslizante. A diferencia de otros mecanismos como el “pivotado” o el de “plataforma”. El mecanismo “deslizante”, tiene una carrera relativamente amplia a lo largo de la cual puede ser desplazada la unidad de potencia. Dicho aspecto presenta una gran ventaja ya que en caso sea requerido realizar un cambio de las poleas, o incluso la banda, este mecanismo se ajusta con mayor facilidad a los nuevos requerimientos y a geometrías nuevas. Además, presenta una ventaja significativa en la manufactura ya que no posee una geometría compleja, y para su construcción no se requieren elementos con características muy específicas, como el mecanismo de tipo “resorte”, que requiere de un resorte con un constante de elasticidad en un rango adecuado para realizar la tensión de forma apropiada.

Para este diseño se planteó la siguiente configuración. La misma consiste en correderas deslizantes conformadas por un perfil hembra de 2”x2”x3/16”, las cuales se apoyan sobre perfiles cuadrados de 2”x2”x1/8”.

Ilustración 31 Configuración del segundo diseño

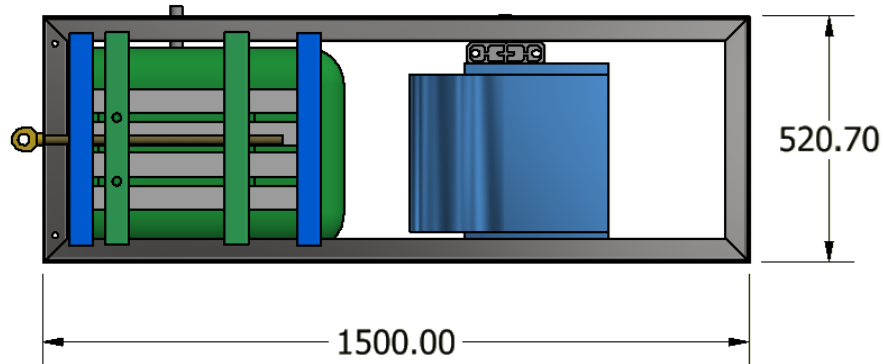


Fuente: Elaboración propia

En este se hizo un planteamiento formal del mecanismo de tensado para la banda que transmite la potencia. En la Ilustración 32, los dos perfiles cuadrados en color azul se encuentran soldados al marco principal de la estructura (en tono gris), a la vez que se encuentran soldados a las cuatro hembras. En tanto que los perfiles cuadrados, en tono verde, no se encuentran soldados a ningún elemento, y solo se encuentran atornillados al motor en medio de los perfiles hembra, y atornillados al tornillo de ajuste, en tono amarillo. El principio de funcionamiento de este sistema es manejar la tensión de la banda moviendo la unidad motriz hacia atrás al girar

el tornillo de ajuste en sentido horario. En la misma ilustración se puede observar que llevada a cabo una corrección de dimensionamiento, la longitud del sistema de potencia se redujo aproximadamente 42 centímetros.

Ilustración 32 Vistainferior de mecanismo de tensión del segundo diseño



Fuentes: Elaboración propia

## J. SEGUNDO DISEÑO

En el segundo diseño se presentó un cambio significativo que transformó en gran medida el diseño trabajado hasta este punto. Dicho cambio se presentó en la manufactura del ventilador centrífugo. Ya que se decidió trabajar con ventilador centrífugo de baja presión y doble entrada, que reduce el área ocupada por el sistema de potencia. Sin embargo, el ventilador adquirido poseía la voluta (o carcasa) incorrecta, por lo que se realizó la modificación de la misma para poder obtener los parámetros de operación del impeler especificados por el fabricante.

Como se puede observar en la Ilustración 33, el ventilador tiene el plato en la sección central del impeler. Lo cual significa que el ventilador es capaz de tomar aire por ambas caras de su voluta. Sin embargo, en la Ilustración 34, se puede observar como una de las caras se encuentra totalmente cerrada por la geometría de la voluta del ventilador.

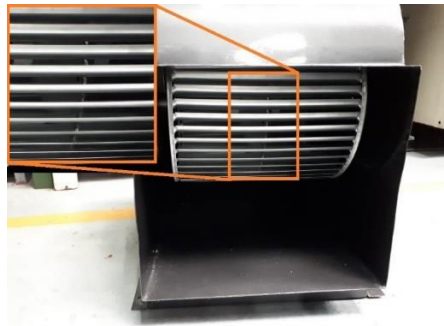
Debido a la imposibilidad en el cambio del ventilador, se debió realizar un cambio en el diseño. Y dicho cambio comprendió los siguientes puntos a tomar en cuenta para su funcionamiento con el sistema:

- El ventilador ya no puede recibir el aire caliente proveniente del quemador, debido a la presencia de una chumacera, que sería dañada con facilidad.
- El ventilador, en el estado recibido, no entrega si quiera todo el flujo volumétrico para el cual fue diseñado, ya que una de sus dos entradas se encontraba sellada.
- El sistema de recirculación recirculará a través de una sola entrada del ventilador.

Luego de comprender los cambios que conllevaría la adaptación de un ventilador centrífugo de doble entrada, se decidió que se realizaría la apertura del otro rostro de la voluta y para que sea posible obtener los

2,600 cfm mínimos que se requieren en el sistema. Luego de llevar a cabo la apertura de esta sección, se debió cambiar en la posición del quemador. Debido a que el ventilador no podía tener una entrada de aire a alta temperatura, debido a la posición de una de las chumaceras, el quemador se debió ubicar posteriormente al ventilador centrífugo. Lo cual a su vez conlleva dificultades ya que, debido al alto flujo de aire, se corre mayor riesgo que la llama se apague.

Ilustración 33 Vista frontal de entrada de ventilador



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 34 Vista lateral de ventilador centrífugo no corregido



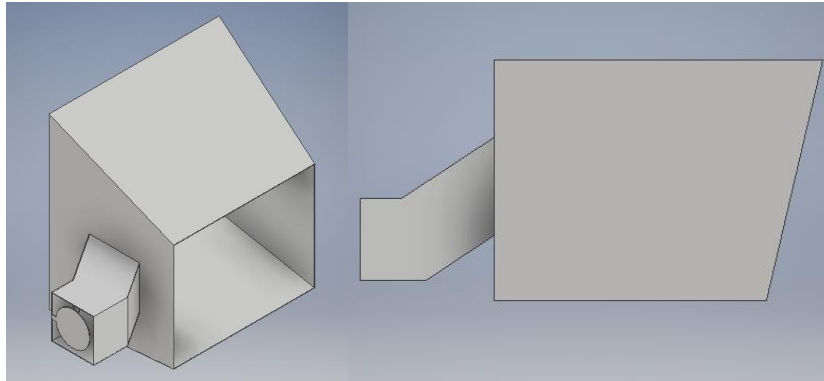
Fuente: Elaboración propia

## 1. POSICIONAMIENTO DEL QUEMADOR

En esta ocasión el posicionamiento del quemador, se planteó que fuera en la sección del difusor que conectaría el ventilador con la entrada del secador. Sin embargo, no era deseado que la llama estuviera sometida directamente al flujo de aire. Por lo cual se analizó la posibilidad que la llama proviniera, de una de las paredes del difusor. Dicha idea se planteó bajo la hipótesis que la alta velocidad del flujo de aire, proveniente del ventilador, crearía un vacío en el ducto donde se hallaría alojado el quemador, de forma que el aire no apagaría la llama, sino que incluso podría generar un fenómeno de succión.

Para la evaluación de dicha alternativa, se tomó como herramienta de evaluación la realización de análisis de elementos finitos, por medio del software Autodesk CFD, que proveyeran de una aproximación al comportamiento del fluido en esta sección. Para la primera iteración se propuso la geometría mostrada en Ilustración 35.

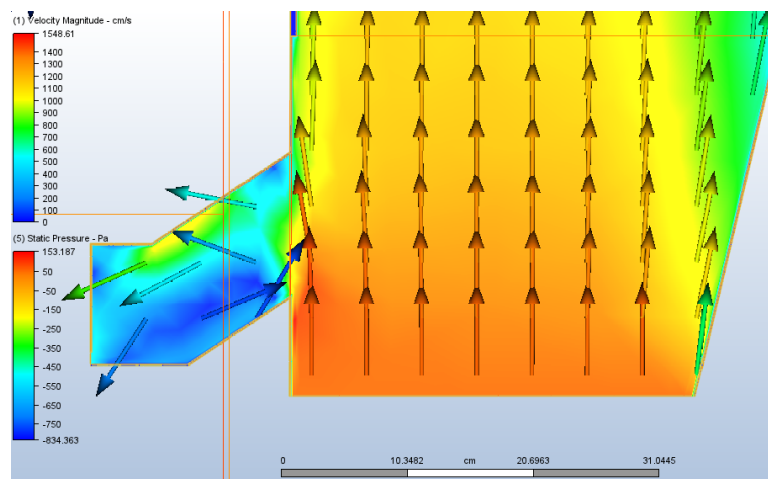
Ilustración 35 Primera iteración de ducto de adición de calor



Fuente: Elaboración propia

Para realizar estos análisis se especificaron distintas condiciones de frontera. Primero, se estableció en la entrada del difusor un caudal de aire de  $1.25 \text{ m}^3/\text{s}$ , y luego en el ducto de entrada del quemador se fijó una presión estática de cero debido a que este está expuesto a la presión atmosférica al igual que el ducto de salida de la recámara de secado. Al llevar a cabo el análisis el resultado de mayor interés fue la velocidad del flujo de aire y su dirección.

Ilustración 36 Resultado de velocidad para primera iteración de ducto de quemador

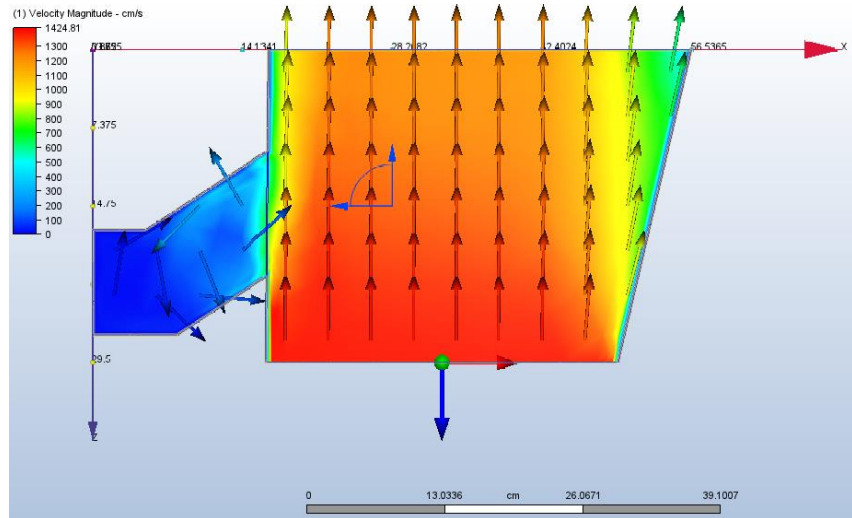


Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la figura Ilustración 36 la velocidad del aire en el ducto del quemador se reduce significativamente respecto al flujo de aire en el difusor, alcanzando incluso los  $100 \text{ cm/s}$ , a comparación de los

poco más de 1 000 cm/s en el difusor. Y se observa que flujo forma un vórtice en el ducto del quemador, generando un flujo giratorio en el mismo. A pesar del resultado, se buscó la forma de reducir aún más el flujo que estaría cerca del quemador. Y se realizó otro análisis con la geometría principal de la primera iteración, sin embargo, se modificó de forma que el quemador ocupara la totalidad del ducto en donde se alojaría el quemador.

Ilustración 37 Resultados primera iteración de quemador cerrado



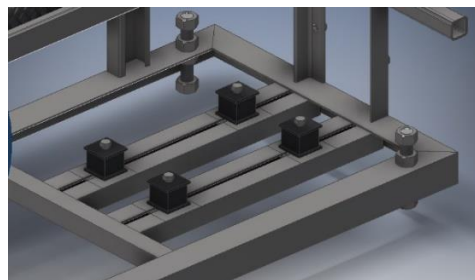
Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la Ilustración 37, la velocidad de flujo de aire en el ducto de adición de calor se redujo más teniendo en mayor parte del mismo, una velocidad de 100 cm/s.

## K. TERCER DISEÑO

Para la tercera iteración, se llevaron a cabo distintos cambios en el mecanismo de tensión de la banda, así como la estructura que soporta el motor. Se cambió la configuración de elementos sobre la estructura principal de la unidad de potencia, de forma que se evitará el uso de hembras en el soporte del motor. Con la nueva configuración el motor se encuentra soportado por cuatro angulares de 1 ¼” x 1 ¼” x 3/16”, que proveen de mayor rigidez a la estructura.

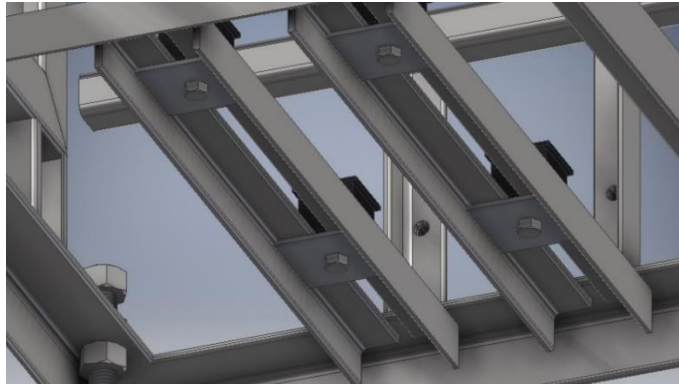
Ilustración 38 Soporte de motor



Fuente: Elaboración propia

El ajuste entre los perfiles debe ser muy exacto para permitir el movimiento de los tornillos a través de los mismos. Por lo tanto, se diseñaron pequeñas placas cuadradas debajo de los perfiles, que se sujetan a los tornillos y que a la vez se ajustan de forma precisa entre los perfiles para evitar el movimiento lateral que pudo quedar entre los tornillos y el espacio entre los perfiles.

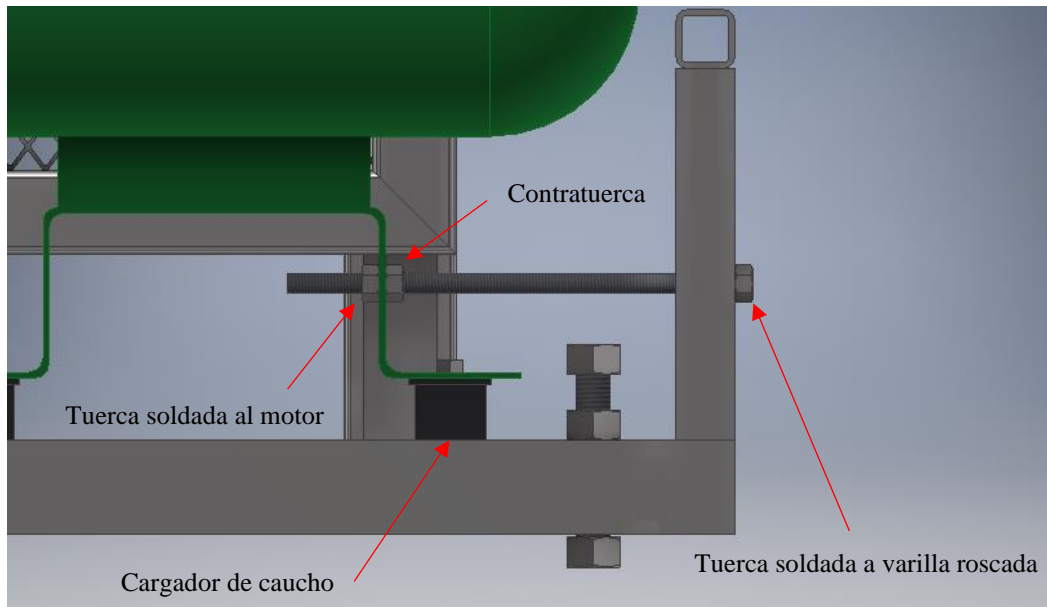
Ilustración 39 Guías para carrileras del motor.



Fuente: Elaboración propia

En este punto se cuenta con los elementos que aislarán las vibraciones mecánicas provenientes del motor Diesel, los cuales consisten en cargadores de caucho que serían colocados en los cuatro puntos de apoyo del motor, sin embargo, se observó que, con la carga y tensión de la faja, dichos cargadores se encontrarían sometidos a un esfuerzo cortante. Debido a que dichas condiciones de esfuerzo son inadecuadas para estos cargadores, se buscó cambiar el mecanismo de tensión del motor, de forma que los cargadores ya no se encontrarán sometidos a dichas cargas. Para ello fueron agregados elementos estructurales por medio de los cuales la tensión se llevaba a cabo directamente a la base del motor por medio de varilla roscada de 7/16", como se observa en la Ilustración 40.

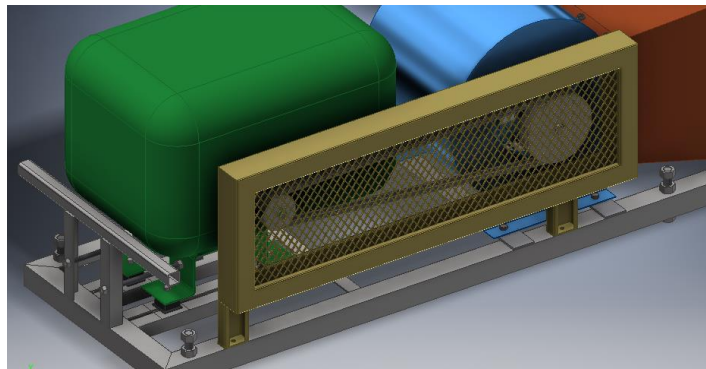
Ilustración 40 Mecanismo de tensión



Fuente: Elaboración propia

Además, se implementó el diseño de una guarda para el sistema de transmisión de potencia que mejore las condiciones de operación y seguridad para el operador, y sea reducido al máximo las posibilidades de accidentes por exposición a elementos mecánicos móviles. Un diseño previo de la misma se muestra en la Ilustración 41.

Ilustración 41 Diseño de guarda para sistema de transmisión de potencia



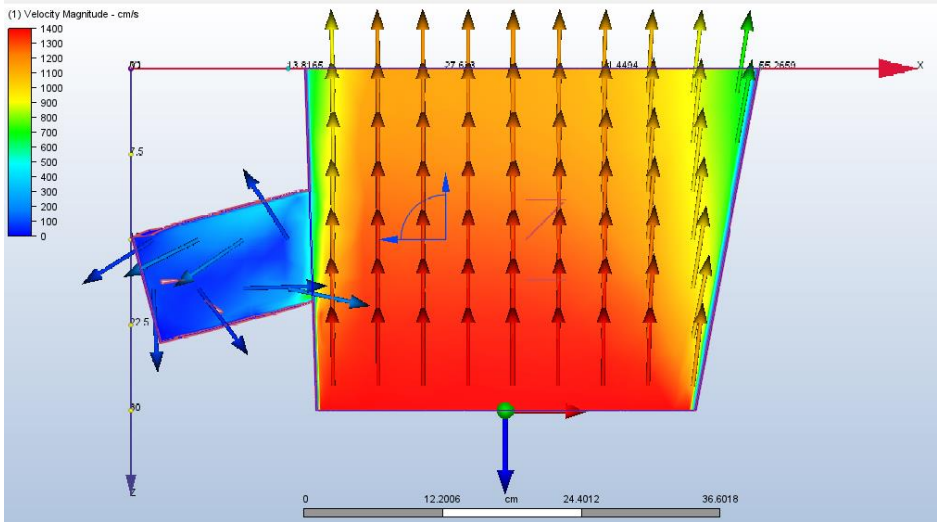
Fuente: Elaboración propia

## L. CUARTO DISEÑO

En la cuarta iteración del diseño los elementos que presentaron cambios fueron la guarda de los elementos de transmisión y el ducto de alojamiento del quemador para la adición de calor. La guarda fue modificada a una geometría más simple que facilita su manufactura a la vez que se mejoró su rigidez.

Y el ducto de alojamiento del quemador también fue simplificado en su geometría. Con lo cual el ducto se simplifico a un tubo circular de 4"x1/8", a 15 grados respecto a la superficie de unión. Y se realizó el análisis del mismo en Autodesk CFD, para tener una aproximación de su funcionamiento.

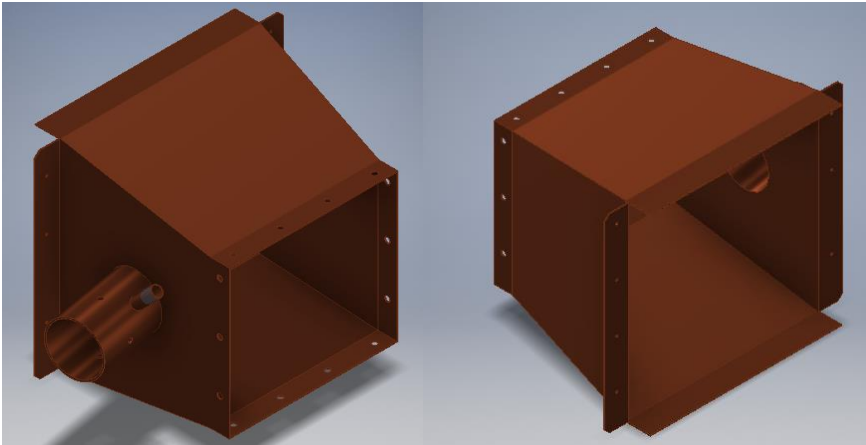
Ilustración 42 Iteración final de ducto de quemador



Fuente: Elaboración propia

Como se observa, el flujo sigue siendo bajo, por lo que se acepta esta geometría para la construcción final ya que la misma posee una fabricación más simple y permite acomodar de mejor forma los elementos en la estructura, debido a que no interfiere con el ducto de recirculación. A esta geometría final se le hace adición de algunos elementos para mejorar la sujeción del quemador, como lo son tornillos que sujetan el quemador al ducto de alojamiento, y la unión de un tubo de 3/4" roscado a través del cual se realiza la ignición de gas por medio de un encendedor o mechero de gas como el que se muestra en Ilustración 44.

Ilustración 43 Diseño de difusor



Fuente: Elaboración propia

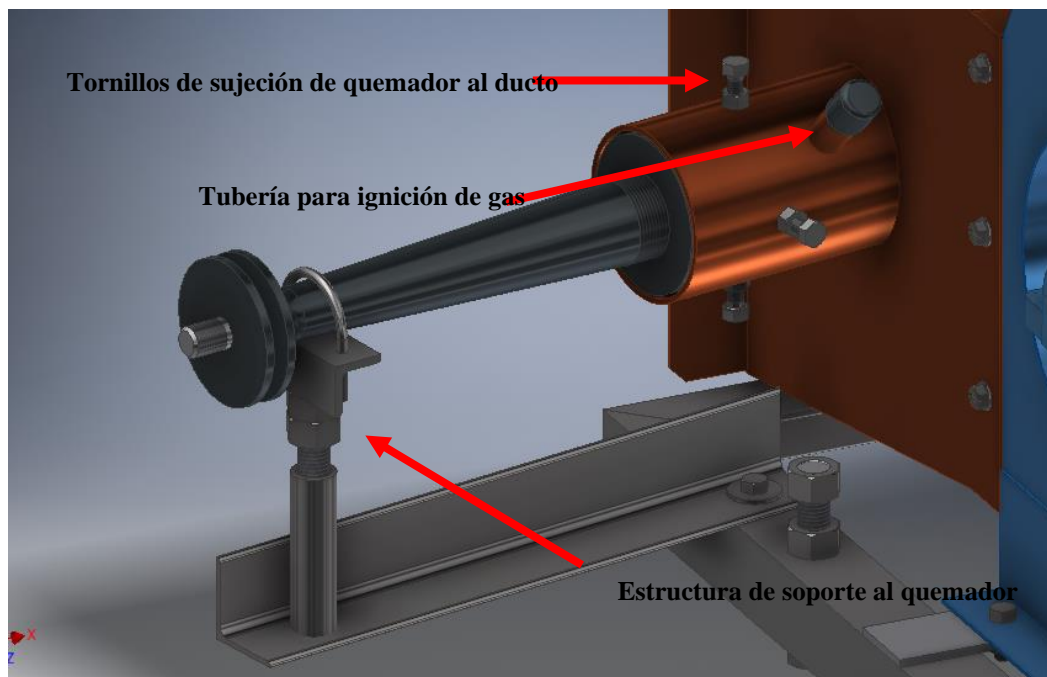
Ilustración 44 Encendedor de gas para ignición de quemador



Fuente: NOVEX GUATEMALA, 2019

Para el quemador también se adicionó un sistema de soporte unido a la estructura principal, para brindarle mayor rigidez y garantizar que el mismo mantenga su posición. Tanto el sistema de sujeción de la tubería circular como la estructura de apoyo del quemador se observan en Ilustración 45.

Ilustración 45 Soporte de quemador y punto de ignición de gas



Fuente: Elaboración propia

## M. ANÁLISIS DE SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA

### 1. REQUISITOS DE FUERZA Y PAR DE POTENCIA

Debido a que en un principio los requerimientos finales para el sistema, no son conocidos con precisión, se optó por llevar a cabo una serie de cálculos preliminares en base a las condiciones de operación esperadas, con

el objetivo de tener un diseño preliminar de los diferentes elementos que componen el sistema de transmisión de potencia. Y poseer una aproximación cercana a los valores finales, para que posteriormente, únicamente sea requerido llevar a cabo ajustes mínimos en el diseño de los distintos elementos. A la vez, que se hace uso de dicho diseño preliminar, para la búsqueda y cotización de los elementos requeridos.

Para llevar a cabo los cálculos preliminares en el sistema de transmisión de potencia, primero se hizo uso de los principios básicos de la mecánica clásica, y se realizó un cálculo de la potencia requerida para impulsar el aire (el fluido de trabajo), a las condiciones de operación preliminar establecida.

## 1. SELECCIÓN DE FAJAS DE TRANSMISIÓN EN "V"

La unidad motriz seleccionada es un motor Diesel de 5 hp, sin embargo, la potencia de la carga obtenida es de aproximadamente 2 hp. Por lo que, aunque el motor sea operado a plena marcha, la totalidad de la potencia del mismo no será exigida por el sistema, debido a que la carga es menor. Y, por tanto, la tensión de la faja no será misma que una carga que si requiere la potencia total del motor. De forma que, si se lleva a cabo la selección de fajas únicamente considerando la potencia del motor sería un procedimiento ineficiente debido a que se llevaría a cabo un proceso de diseño para una magnitud de potencia que no se desarrolla en el sistema. Y las bandas quedarían con una magnitud de sobredimensionamiento no justificable. Por tanto, para realizar dicho cálculo, se tomará la potencia de carga, como también lo indica el fabricante Gates en su "Heavy Duty V-Belt Drive Design Manual". Y se garantiza que la unidad de potencia tenga la capacidad de entregar el torque exigido por la carga, en este caso, del ventilador.

Con la potencia establecida se lleva a cabo la selección de bandas según lo indica el manual del fabricante, en este caso Gates. Debido a que, de dicho fabricante, son las bandas que se han encontrado en el mercado nacional. Para este análisis se seleccionan la serie de bandas Hi-Power II Belts, la cuales consisten en bandas multipropósito, capaces de resistir contacto con aceite y calor, ozono, luz solar, diversas condiciones climáticas y el "envejecimiento" de la banda.

El primer paso para el diseño del sistema de bandas consiste en la selección de un factor de servicio, para la obtención de la potencia de diseño. Para ello, se tiene la Tabla 15 proveída por Gates. Para el sistema planteado se tiene que la unidad motriz es un motor Diesel de un cilindro, y en el caso del secador, este debe ser capaz de operar durante un día completo. Por tanto, el factor de servicio correspondiente a las condiciones planteadas es de 1.4.

Tabla 15 Factores de servicio

DriveN Machine	DriveR					
	<b>AC Motors:</b> Normal Torque, Squirrel Cage, Synchronous, Split Phase. <b>DC Motors:</b> Shunt Wound. <b>Engines:</b> Multiple Cylinder Internal Combustion.*			<b>AC Motors:</b> High Torque, High Slip, Repulsion-Induction, Single Phase, Series Wound, Slip Ring. <b>DC Motors:</b> Series Wound, Compound Wound. <b>Engines:</b> Single Cylinder Internal Combustion.*		
	Line shafts		Clutches			
	Intermittent Service	Normal Service	Continuous Service	Intermittent Service	Normal Service	Continuous Service
	3-5 Hours Daily or Seasonal	8-10 Hours Daily	16-24 Hours Daily	3-5 Hours Daily or Seasonal	8-10 Hours Daily	16-24 Hours Daily
Dispensing, Display Equipment Instrumentation Measuring Equipment Medical Equipment Office, Projection Equipment	1.0	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3
Agitators: Liquid Appliances, Sewing Machines, Sweepers Conveyors: Belt, Light Package Fans: Up to 10 HP Hand Tools (Power) Machine Tools: (Light) Drill Presses, Lathes, Saws Screens: Drum, Oven Woodworking Equipment: Band Saws, Drills, Lathes	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4

Fuente: Gates, 2010

Se tiene que la potencia de diseño es el producto del factor de servicio y la potencia requerida.

$$Potencia\ de\ diseño = (Factor\ de\ servicio) \times (Potencia\ requerida) \quad (14)$$

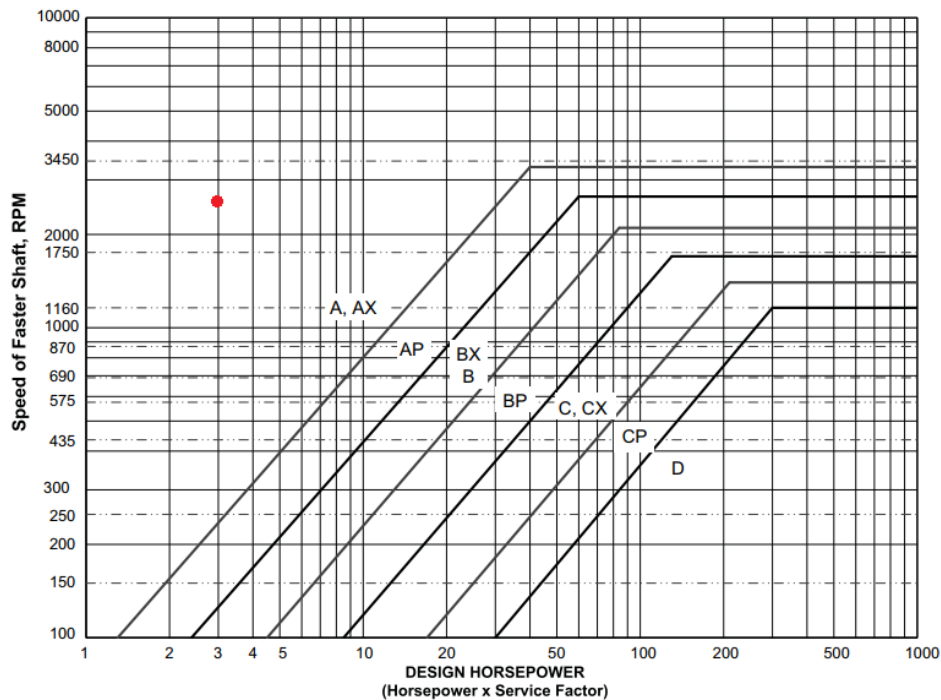
$$Potencia\ de\ diseño = 1.4 \times (2hp) = 2.8\ hp \quad (15)$$

Luego para determinar el tipo de banda a trabajar se utiliza la Ilustración 46. En la cual se debe deben cruzar la potencia de diseño en el eje de las abscisas con la velocidad angular, en rpm, de la polea más rápida. Para lo cual se toman los 2.8 caballos obtenidos con anterioridad y la velocidad del motor Diesel, que se fija en 2,600 rpm. A su vez, en la Ilustración 46, se marca con un punto de color rojo, la ubicación aproximada en la tabla, que correspondería a los datos establecidos. Y, por tanto, la geometría de banda seleccionada es la geometría A/AX. Específicamente se seleccionará la geometría AX, debido a que esta es una banda dentada que permite soportar mayor carga gracias a su capacidad para refrigerarse con el flujo de aire a través de los “dientes” de la banda.

La velocidad a la que debe operar el ventilador centrífugo, para garantizar el flujo y presión especificados por el fabricante es de 1,200 rpm. Por lo que relación de velocidades es el cociente de la velocidad angular del eje del motor sobre la velocidad angular del eje del ventilador

$$Relación\ de\ velocidades = \frac{2600\ rpm}{1200\ rpm} \approx 2.17 \quad (16)$$

Ilustración 46 Tabla de selección de geometría de banda



Fuente: Gates, 2010

Luego de consultar las dimensiones de poleas, manejadas en el mercado nacional, se determinó que lo más favorable es aproximar la relación de 2.17 a 2. Con ello, obtener la relación de velocidades con la combinación de dos poleas se hace más práctico y, además se estaría girando el ventilador ligeramente a una velocidad angular superior, de 1300 rpm. Lo cual resulta favorable, ya que puede presentarse un ligero aumento en el caudal de aire, que puede ser integrado como un factor de seguridad.

Una vez determinada la relación de velocidades se debe realizar la selección de poleas según recomendaciones del fabricante, dentro de las cuales se especifica principalmente, el diámetro mínimo de polea, según la potencia del motor y su velocidad angular. Para las bandas Hi-Power II, se provee la Tabla 16. En la misma se encuentra encerrado en un recuadro rojo los parámetros entre los cuales se recomienda el diámetro mínimo de polea para el sistema. Con lo cual el diámetro mínimo seleccionado para el sistema es de 3 pulgadas, ya que es una medida accesible en el mercado y al poseer un diámetro menor presenta un menor costo de las poleas a utilizar.

Para determinar la longitud de la banda se puede realizar por medio de un cálculo teórico o en este caso por medio de los datos tabulados por el fabricante. Para ello, se debe buscar la tabla que corresponde a la geometría de banda AX y seguido, buscar la combinación de poleas que se apega más a la selección realizada previamente. En la Tabla 17 se puede encontrar precisamente la combinación de poleas planteadas. Y para el sistema de transmisión de potencia se tiene una distancia entre centros de 28 pulgadas. Por lo que según los datos de Gates corresponde utilizar una banda de 69 pulgadas de longitud. Y posee un factor de corrección de potencia de 1.0.

Tabla 16 Diámetros mínimos de polea recomendados

Motor Horse-power	Motor RPM (60 cycle and 50 cycle Electric Motors)						Motor Horse-power
	575 485*	690 575*	870 725*	1160 950*	1750 1425*	3450 2850*	
1/2	2.5	2.5	2.2	—	—	—	1/2
3/4	3.0	2.5	2.4	—	—	—	3/4
1	3.0	3.0	2.4	2.4	2.2	—	1
1 1/2	3.0	3.0	2.4	2.4	2.4	2.2	1 1/2
2	3.8	3.0	3.0	2.4	2.4	2.4	2
3	4.5	3.8	3.0	3.0	2.4	2.4	3
5	4.5	4.5	3.8	3.0	3.0	2.6	5
7 1/2	5.2	4.5	4.4	3.8	3.0	3.0	7 1/2
10	6.0	5.2	4.6	4.4	3.8	3.0	10
15	6.8	6.0	5.4	4.6	4.4	3.8	15
20	8.2	6.8	6.0	5.4	4.6	4.4	20
25	9.0	8.2	6.8	6.0	5.0	4.4	25
30	10.0	9.0	6.8	6.8	5.4	—	30
40	10.0	10.0	8.2	6.8	6.0	—	40
50	11.0	10.0	9.0	8.2	6.8	—	50
60	12.0	11.0	10.0	9.0	7.4	—	60
75	14.0	13.0	10.5	10.0	9.0	—	75
100	18.0	15.0	12.5	11.0	10.0	—	100
125	20.0	18.0	15.0	12.5	11.5†	—	125
150	22.0	20.0	18.0	13.0	—	—	150
200	22.0	22.0	22.0	—	—	—	200
250	22.0	22.0	—	—	—	—	250
300	27.0	27.0	—	—	—	—	300

Fuente: Gates, 2010

Tabla 17 Extracto de distancia entre centros para bandas Gates

Sheave Outside Diameters		Sheave Datum Diameters		Speed Ratio	A	A	A	A	A	A
Small Sheave	Large Sheave	Small Sheave	Large Sheave		AX	AX	AX	AX	AX	AX
3.95	6.95	3.20	6.20	1.87	66	67	68	69	70	71
4.15	7.35	3.40	6.60	1.88	26.2	26.7	27.2	27.7	28.2	28.7
4.35	7.75	3.60	7.00	1.88	25.7	26.2	26.7	27.2	27.7	28.3
2.95	5.15	* 2.20	4.40	1.90	25.3	25.8	26.3	26.8	27.3	27.8
4.95	8.95	4.20	8.20	1.90	28.4	28.9	29.4	29.9	30.4	30.9
6.95	12.75	6.20	12.00	1.90	23.8	24.3	24.8	25.3	25.8	26.3
3.15	5.55	* 2.40	4.80	1.91	19.1	19.6	20.1	20.7	21.2	21.7
3.35	5.95	* 2.60	5.20	1.91	28.0	28.5	29.0	29.5	30.0	30.5
5.35	9.75	4.60	9.00	1.91	27.5	28.0	28.5	29.0	29.5	30.0
3.55	6.35	* 2.80	5.60	1.92	22.9	23.4	23.9	24.4	24.9	25.4
3.75	6.75	3.00	6.00	1.92	27.0	27.5	28.0	28.5	29.0	29.5
6.15	11.35	5.40	10.60	1.92	26.5	27.0	27.5	28.0	28.5	29.0
					20.9	21.4	21.9	22.4	22.9	23.4

Fuente: Gates, 2019

Con la combinación de poleas seleccionada e interpretando la Tabla 18, se obtiene una potencia nominal por banda de 3.53 hp. A la que luego se le suma una potencia por banda que depende de la velocidad y la relación de velocidades manejada en la banda. La misma se encuentra tabulada en la Tabla 19, la cual corresponde a 0.76 hp. Y por tanto la potencia total por banda es de 3.53 hp más 0.76 hp, lo cual tiene como resultado 4.29 hp.

Tabla 18 Potencia nominal por banda de sección AX

**Rated Horsepower per belt for AX Section Tri-Power Molded Notch V-Belts**

RPM of Faster Shaft	Basic Horsepower per Belt for Small Sheave Datum Diameter																				
	2.20	2.40	2.60	2.80	3.00	3.20	3.40	3.60	3.80	4.00	4.20	4.40	4.60	4.80	5.00	5.20	5.40	5.60	5.80	6.00	6.20
950	1.07	1.28	1.48	1.68	1.88	2.08	2.27	2.46	2.65	2.84	3.03	3.21	3.40	3.58	3.76	3.94	4.11	4.29	4.46	4.64	4.82
1160	1.20	1.45	1.69	1.92	2.16	2.39	2.62	2.84	3.07	3.29	3.50	3.72	3.94	4.15	4.36	4.57	4.77	4.98	5.18	5.38	5.58
1425	1.35	1.64	1.92	2.20	2.47	2.75	3.02	3.28	3.54	3.80	4.06	4.31	4.56	4.81	5.05	5.29	5.53	5.77	6.00	6.23	6.4
1750	1.50	1.84	2.17	2.50	2.82	3.14	3.45	3.76	4.07	4.37	4.67	4.96	5.25	5.53	5.81	6.09	6.36	6.63	6.90	7.16	7.4
2850	1.79	2.28	2.76	3.23	3.69	4.14	4.57	5.00	5.42	5.83	6.23	6.62	7.00	7.36	7.72	8.07	8.41	8.74	9.05	9.36	9.6
3450	1.84	2.40	2.94	3.47	3.99	4.49	4.97	5.44	5.90	6.34	6.77	7.18	7.58	7.96	8.32	8.67	9.00	9.32	9.62	9.90	10
200	0.36	0.41	0.47	0.52	0.58	0.63	0.68	0.73	0.78	0.83	0.89	0.94	0.99	1.04	1.09	1.13	1.18	1.23	1.28	1.33	1.38
400	0.60	0.70	0.80	0.90	0.99	1.09	1.18	1.27	1.37	1.45	1.55	1.64	1.73	1.82	1.91	2.00	2.09	2.18	2.28	2.35	2.4
600	0.80	0.94	1.07	1.21	1.35	1.48	1.61	1.75	1.88	2.01	2.13	2.26	2.39	2.51	2.64	2.76	2.89	3.01	3.13	3.25	3.3
800	0.95	1.14	1.32	1.49	1.66	1.83	2.00	2.17	2.33	2.50	2.66	2.82	2.98	3.14	3.30	3.45	3.61	3.75	3.92	4.07	4.2
1000	1.10	1.32	1.53	1.74	1.95	2.15	2.35	2.56	2.75	2.95	3.14	3.34	3.53	3.72	3.91	4.09	4.28	4.45	4.64	4.82	5.0
1200	1.23	1.48	1.72	1.97	2.21	2.44	2.68	2.91	3.14	3.37	3.59	3.81	4.03	4.25	4.47	4.68	4.89	5.10	5.31	5.51	5.7
1400	1.34	1.62	1.90	2.17	2.45	2.71	2.98	3.24	3.50	3.75	4.01	4.26	4.50	4.75	4.99	5.23	5.46	5.70	5.93	6.16	6.3
1600	1.43	1.75	2.06	2.36	2.67	2.96	3.26	3.55	3.83	4.11	4.39	4.67	4.94	5.21	5.47	5.73	5.99	6.25	6.50	6.75	6.9
1800	1.52	1.86	2.20	2.54	2.87	3.19	3.51	3.83	4.14	4.45	4.75	5.05	5.35	5.64	5.92	6.20	6.48	6.76	7.03	7.29	7.5
2000	1.59	1.96	2.33	2.70	3.06	3.41	3.75	4.09	4.43	4.76	5.09	5.41	5.72	6.03	6.34	6.64	6.93	7.22	7.51	7.79	8.0
2200	1.65	2.06	2.45	2.84	3.23	3.60	3.97	4.34	4.70	5.05	5.39	5.73	6.07	6.40	6.72	7.03	7.34	7.65	7.95	8.24	8.5
2400	1.70	2.14	2.56	2.98	3.38	3.78	4.18	4.56	4.94	5.31	5.68	6.04	6.39	6.73	7.06	7.39	7.72	8.03	8.34	8.64	8.9
2600	1.75	2.21	2.66	3.10	3.53	3.95	4.36	4.77	5.17	5.56	5.94	6.31	6.67	7.03	7.38	7.72	8.05	8.37	8.69	8.99	9.2
2800	1.79	2.27	2.74	3.20	3.66	4.10	4.53	4.96	5.37	5.78	6.17	6.56	6.93	7.30	7.66	8.00	8.34	8.67	8.99	9.29	9.5
3000	1.81	2.32	2.81	3.30	3.77	4.24	4.69	5.13	5.56	5.98	6.38	6.78	7.17	7.54	7.90	8.25	8.59	8.92	9.24	9.54	9.8
3200	1.83	2.36	2.88	3.39	3.88	4.36	4.82	5.28	5.72	6.15	6.57	6.98	7.37	7.75	8.11	8.46	8.80	9.13	9.44	9.74	10
3400	1.84	2.39	2.93	3.46	3.97	4.48	4.95	5.41	5.87	6.31	6.73	7.14	7.54	7.92	8.29	8.64	8.97	9.29	9.59	9.88	10

Fuente: Gates, 2019

Tabla 19 Potencia añadida por banda para relación de velocidades

RPM of Faster Shaft	Additional Horsepower per Belt for Speed Ratio									
	1.00 to 1.02	1.03 to 1.07	1.08 to 1.13	1.14 to 1.21	1.22 to 1.30	1.31 to 1.44	1.45 to 1.64	1.65 to 2.01	2.02 to 3.00	3.01 and over
950	0.00	0.04	0.08	0.12	0.16	0.20	0.24	0.28	0.32	0.36
1160	0.00	0.05	0.10	0.15	0.19	0.24	0.29	0.34	0.39	0.44
1425	0.00	0.06	0.12	0.18	0.24	0.30	0.36	0.42	0.48	0.54
1750	0.00	0.07	0.15	0.22	0.29	0.37	0.44	0.51	0.58	0.66
2850	0.00	0.12	0.24	0.36	0.48	0.60	0.71	0.83	0.95	1.07
3450	0.00	0.14	0.29	0.43	0.58	0.72	0.86	1.01	1.15	1.30
200	0.00	0.01	0.02	0.03	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08
400	0.00	0.02	0.03	0.05	0.07	0.08	0.10	0.12	0.13	0.15
600	0.00	0.03	0.05	0.08	0.10	0.13	0.15	0.18	0.20	0.23
800	0.00	0.03	0.07	0.10	0.13	0.17	0.20	0.23	0.27	0.30
1000	0.00	0.04	0.08	0.13	0.17	0.21	0.25	0.29	0.33	0.38
1200	0.00	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40	0.45
1400	0.00	0.06	0.12	0.18	0.23	0.29	0.35	0.41	0.47	0.53
1600	0.00	0.07	0.13	0.20	0.27	0.33	0.40	0.47	0.53	0.60
1800	0.00	0.08	0.15	0.23	0.30	0.38	0.45	0.53	0.60	0.68
2000	0.00	0.08	0.17	0.25	0.33	0.42	0.50	0.58	0.67	0.75
2200	0.00	0.09	0.18	0.28	0.37	0.46	0.55	0.64	0.73	0.83
2400	0.00	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90
2600	0.00	0.11	0.22	0.33	0.43	0.54	0.65	0.76	0.87	0.98
2800	0.00	0.12	0.23	0.35	0.47	0.58	0.70	0.82	0.93	1.05

Fuente: Gates, 2019

Por último, para determinar la cantidad de poleas a utilizar se realiza el cociente de la potencia de diseño sobre la potencia total por banda.

$$Cantidad\ de\ bandas = \frac{2.8\ hp}{4.29\ hp} = 0.65$$

Debido a que el resultado del cociente es inferior a 1, se puede determinar que una sola banda es necesaria. Con ello, el factor de seguridad para la banda es:

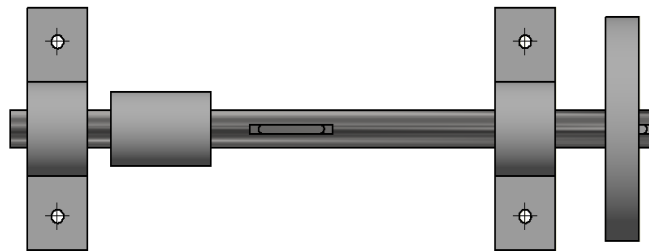
$$f_s = \frac{Potencia\ por\ banda \times Cantidad\ de\ bandas}{Potencia\ de\ diseño} = \frac{4.29\ hp \times 1}{2.8} = 1.53$$

## 2. DISEÑO DE EJE

El eje utilizado convencionalmente para ventiladores, es un eje sólido con una única sección circular a lo largo del mismo. Esto posee ciertas ventajas, como un coste de mecanizado inferior debido a su geometría simple, la facilidad de implementar elementos al eje que transfieren carga a través de cuñas y fácil disponibilidad en el mercado para encontrar material con los requerimientos que sean establecidos. Sin embargo, los ejes sólidos no poseen la geometría más eficiente en términos de cantidad de material y la resistencia del eje.

En la primera iteración para el diseño del eje se tuvo la siguiente disposición de elementos sobre el eje.

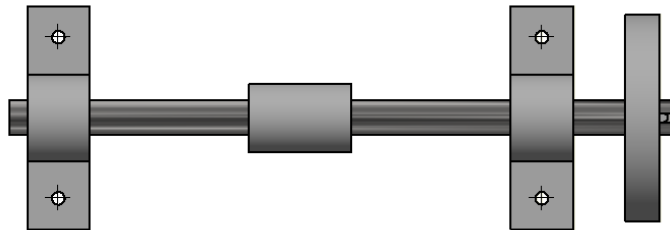
Ilustración 47 Disposición de elementos sobre eje, primer iteración



Fuente: Elaboración propia

Debido a cambios necesarios por el tipo de ventilador utilizado, la configuración se cambió a la siguiente.

Ilustración 48 Disposición de elementos sobre eje, segunda iteración



Fuente: Elaboración propia

En ambas configuraciones los elementos sobre el eje no cambian. Por tanto, se tienen dos cuñas para la transmisión del par de torsión, así como 2 chumaceras.

### 3. ANÁLISIS DE EJE DE TRANSMISIÓN

#### a. SELECCIÓN DE MATERIAL

Considerando la materia prima disponible en el mercado, los principales materiales considerados para la fabricación del eje, se presentan en la Tabla 20. Como se puede observar las materias propuestas son aceros, ya que debido a los períodos prolongados de operación y aplicación semi-industrial, se busca tener un mejor rendimiento a largo plazo y un mayor factor de seguridad ante los esfuerzos producidos las cargas en el eje.

Tabla 20 Materias para manufactura de eje

Materia prima	Características
Acero AISI 7210	Acero aleado para cementación, con un núcleo de alta resistencia. Se usa para casos donde se requiere alta dureza y resistencia al desgaste superficial combinado con buena tenacidad del núcleo.
Acero AISI 1018	Acero de bajo carbón rolado en frío hasta diámetros de 4" y laminado en caliente en medidas superiores a ésta.
Acero AISI 1045	Es un acero de medio contenido de carbón. Este acero se puede utilizar en todo tipo de aplicaciones, donde se requiera soportar esfuerzo por encima de los 600 Mpa. Buena tenacidad. Alta uniformidad.
Acero AISI 8620	Acero especial para cementación. Se caracteriza por retener carbonos para crear una superficie con alta dureza y un núcleo tenaz que le permite soportar altos esfuerzos de torsión, después del tratamiento térmico.

Fuente: Elaboración propia

El AISI 7210, posee un costo muy alto que no se justifica para las aplicaciones de este proyecto y aumentaría considerablemente el valor de la inversión inicial. El AISI 8620, posee muy buena resistencia a la torsión y mejora en gran medida sus propiedades a través de tratamientos térmicos. Y luego, entre AISI 1018 y AISI 1045, el segundo presenta mejores propiedades al ser un acero de medio carbono a diferencia del AISI 1018. El AISI 1045 posee una muy buena resistencia a los esfuerzos, la cual se encuentra muy por encima a los expuestos a los creados por las cargas del sistema, y además posee un costo inferior a las dos primeras materias primas expuestas. Por tanto, el acero seleccionado para el eje es el acero AISI 1045.

#### b. ANÁLISIS DE FUERZAS

Para el análisis de fuerzas sobre el eje se hace uso del análisis teórico de fuerzas sobre bandas presentado con anterioridad, en la literatura de "Diseño en Ingeniería mecánica de Shigley". Para llevar a cabo dicho análisis se tienen los datos presentados en la Tabla 21.

Tabla 21 Valores para análisis de fuerzas

Parámetro	Magnitud	
d (diámetro menor)	3	pulg
D (diámetro mayor)	6	pulg
n (velocidad angular)	2600	rpm

Fuente: Elaboración propia

Con los datos de la se puede obtener la velocidad periférica de la banda dada por la ecuación 5.

$$V = \frac{\pi(3 \text{ pulg})(2,600 \text{ rpm})}{12} = 2042 \text{ pies/min}$$

Luego se tienen los factores indicados en la Tabla 22. Lo cuales están basado en los criterios expuestos en el libro de “Diseño de Ingeniería mecánica de Shigley”, a excepción de la cantidad de bandas Nb.

Tabla 22 Factores seleccionados para análisis de fuerzas en bandas

Factor	Magnitud
Nb	1
Ks	1.4
Kc	0.561
Nd	1.2

Fuente: Elaboración propia

Al tener una potencia nominal de 2 hp. La potencia de diseño según la literatura es de:

$$H_d = (2 \text{ hp})(1.2)(1.4) = 3.36 \text{ hp}$$

El valor de la fuerza que transmite la potencia por banda es:

$$\Delta F = \frac{63\,025 (3.36 \text{ hp})/(1)}{(2\,600 \text{ rpm})(3 \text{ pulg}/2)} = 54.30 \text{ lbf o } 241.53 \text{ N}$$

La longitud de la banda se calcula en este caso a través de la ecuación 2.

$$L_p = 2(28 \text{ pulg}) + \pi(6 \text{ pulg} + 3 \text{ pulg})/2 + (6 \text{ pulg} - 3 \text{ pulg})^2/(4 \times 28 \text{ pulg})$$

$$L_p = 70.22 \text{ pulg}$$

Siendo la magnitud final de la longitud de la banda, el valor de la longitud de la banda obtenido, más la cantidad de la circunferencia interior correspondiente a la sección de la banda. Se realiza la corrección del valor Lp.

$$L_p = 70.22 \text{ pulg} + 1.3 \text{ pulg} = 71.52 \text{ pulg}$$

Seguido, se calcula el valor de la tensión centrífuga  $F_c$  a través de la ecuación 4.

$$F_c = (0.561) \left( \frac{2\,042 \text{ pies/min}}{1\,000} \right)^2 = 2.34 \text{ lbf}$$

El ángulo de cobertura en la polea pequeña en el sistema se calcula por medio de la ecuación 8.

$$\varphi = \pi - \text{sen}^{-1} \left( \frac{6 \text{ pulg} - 3 \text{ pulg}}{2 (28 \text{ pulg})} \right) = 3.034 \text{ radianes}$$

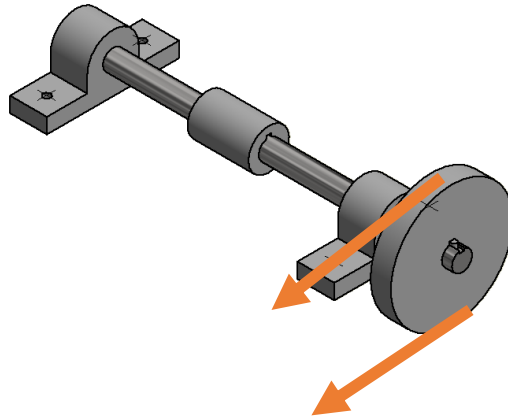
Ya con los datos obtenidos con anterioridad se puede obtener el valor de la tensión mayor  $F_1$  y de la tensión menor  $F_2$ .

$$F_1 = 2.34 \text{ lbf} + \frac{(54.30 \text{ lbf}) \cdot \exp(0.5123 \cdot 3.034 \text{ rad})}{\exp(0.5123 \cdot 3.034 \text{ rad}) - 1} = 71.18 \text{ lbf}$$

$$F_2 = 71.18 \text{ lbf} - 54.30 \text{ lbf} = 16.89 \text{ lbf}$$

Una vez obtenidas estos valores de tensión se puede realizar un diagrama de cuerpo libre para el eje. Sabiendo que las fuerzas de tensión  $F_1$  y  $F_2$ , actúan como se muestra en la Ilustración 49.

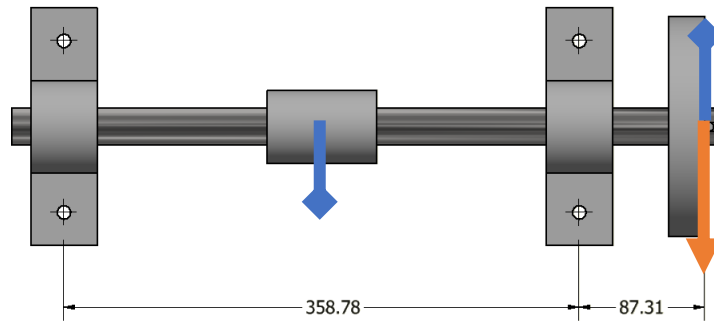
Ilustración 49 Fuerzas sobre el eje de transmisión



Fuente: Elaboración propia

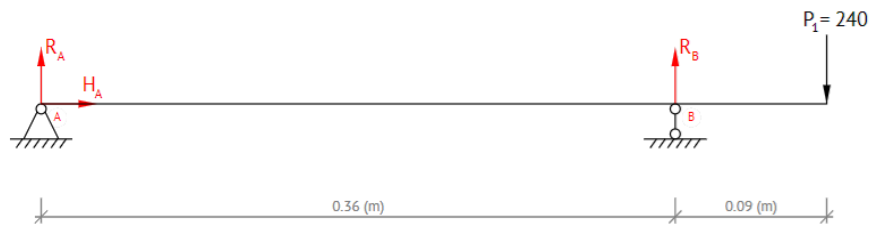
Sin embargo, para realizar el análisis se simplificó el sistema desplazando ambas fuerzas al centro del eje y especificando la torsión que generan las mismas en este punto del eje.

Ilustración 50 Diagrama del sistema simplificado



Fuente: Elaboración propia

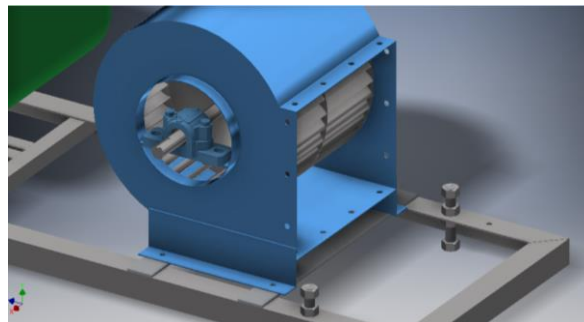
Ilustración 51 Diagrama de cuerpo libre de eje



Fuente: Elaboración propia

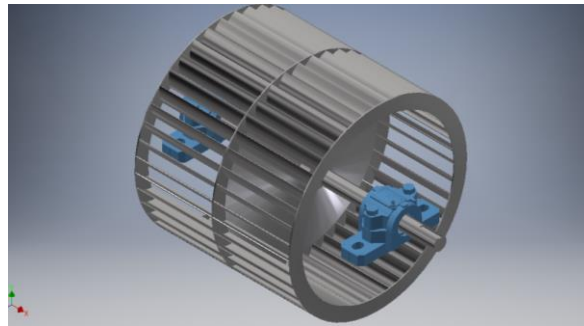
Luego para el análisis del eje de transmisión de potencia del sistema se realizó un análisis de elementos finitos. Para este se debe considerar que el eje posee una geometría circular con diámetro de una pulgada. El material del mismo es un Acero 1045 muy comúnmente usado en la industria para la manufacturación de ejes. Posee 2 cuñeros de  $\frac{1}{4}$  de pulgada. Y a través de las 2 secciones con cuña transmite la potencia de una polea (que tiene como fuente de potencia un motor de 5 hp), a un ventilador centrífugo.

Tabla 23 Montaje de ventilador



Fuente: Elaboración propia

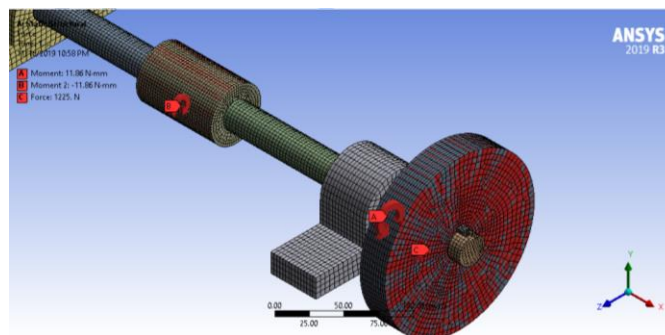
Tabla 24 Montaje de impeler



Fuente: Elaboración propia

Las condiciones para este fueron, colocar cargas de 11.86 Nm en el acople que simboliza el ventilador, y en el de la polea. Ya que el sistema gira a una velocidad constante, ambas se deben contrarrestar y poseer la misma magnitud. Y también se colocó la fuerza en la polea equivalente a las tensiones provocadas por las bandas “V” que transmiten la potencia.

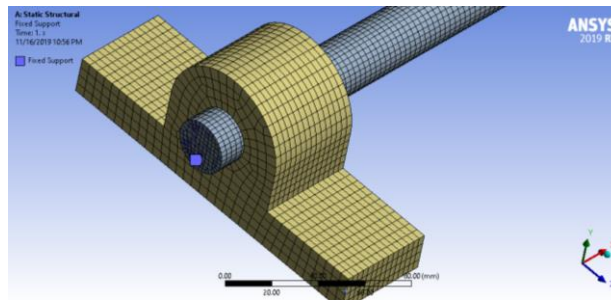
Ilustración 52 Cargas sobre el eje en el software ANSYS



Fuente: Elaboración propia

Luego de llevar a cabo una prueba, ANSYS arrojó un error en el cual indicaba que el sistema presentaba movimiento. Por tanto, se añadió un Fixed support en el extremo libre del eje. Este no debe afectar significativamente el análisis ya que, en esta sección el momento sobre el eje debe ser cercano a cero.

Ilustración 53 Soporte de eje en software ANSYS

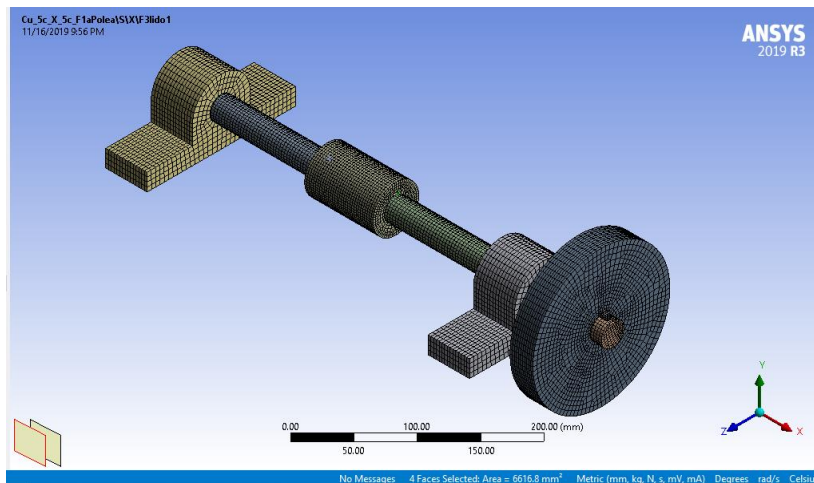


Fuente: Elaboración propia

Luego se colocaron soporte sin fricción en las chumaceras y un soporte fijo en un vértice de la geometría de las chumaceras. Esto con el objetivo que se de alguna forma las chumaceras puedan pivotar. Ya que, en aplicaciones reales, los rodamientos en las chumaceras permiten que el eje, pivote ligeramente, a una magnitud no perceptible. Si esta corrección no se hace, todo el momento queda soportado por la primera chumacera, lo cual no es así.

Para comenzar se tenía un ensamblaje en Inventor, sin embargo, las chumaceras poseían una geometría muy compleja que podía complicar el mallado, así que se simplificó dibujando unas chumaceras de geometría simplificada con dimensiones lo más similares posible. Luego se hicieron geometrías simplificadas de la misma forma para el acople del ventilador y de la polea.

Ilustración 54 Mallado del sistema del eje de transmisión de potencia

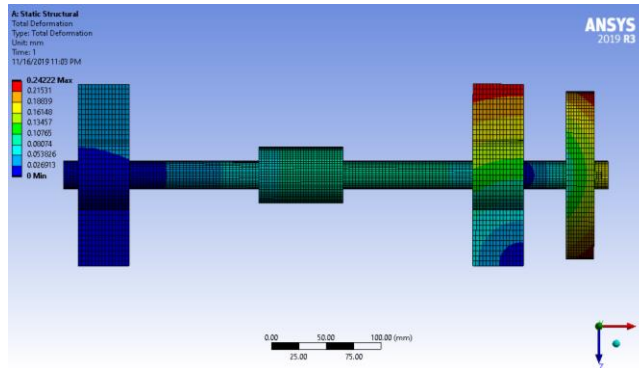


Fuente: Elaboración propia

La calidad general del mallado fue reducida significativamente por las geometrías circulares de la polea y chumaceras, sin embargo, estas no son relevantes en el análisis. Aun así, el promedio del Skewness es de 0.13573, lo cual es inferior a 0.25, por lo que es aceptable. Por otro lado, la ortogonalidad si se encuentra muy cercana a 1, con un valor 0.97815. Lo cual indica una buena calidad.

Para la deformación se obtuvo el siguiente resultado. Debido a la configuración de los soportes, en la primera chumacera se tiene como resultado una alta deformación. Sin embargo, esto solo se hizo para obtener un soporte pivotado. Pero las chumaceras no son el objeto de análisis, así que esto es irrelevante.

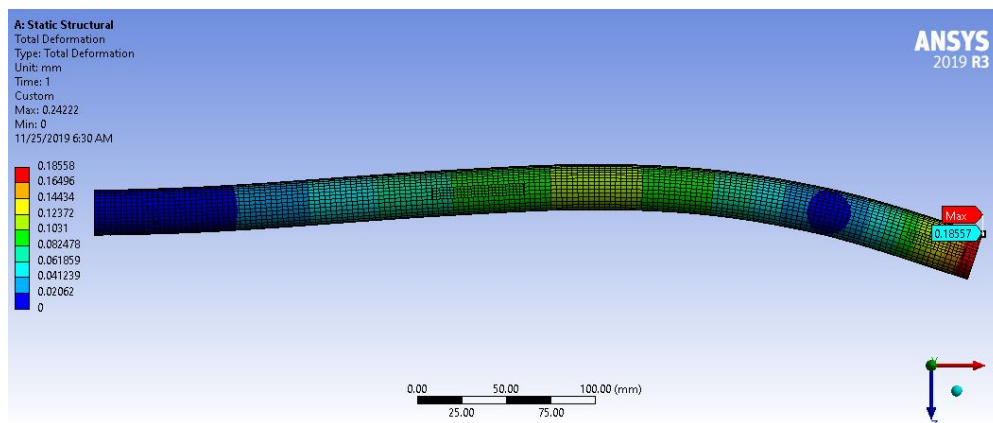
Ilustración 55 Deformación del sistema de transmisión de potencia



Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, si se analiza el eje (objeto de estudio), se obtiene el resultado esperado. Como se observa, los soportes propuestos permitieron obtener el comportamiento que se buscaba, y era tener un apoyo simple en las chumaceras. Por lo que la deflexión se presentaría entre las chumaceras, y la máxima en el extremo del eje que soporta la polea, como se observa en la Ilustración 56.

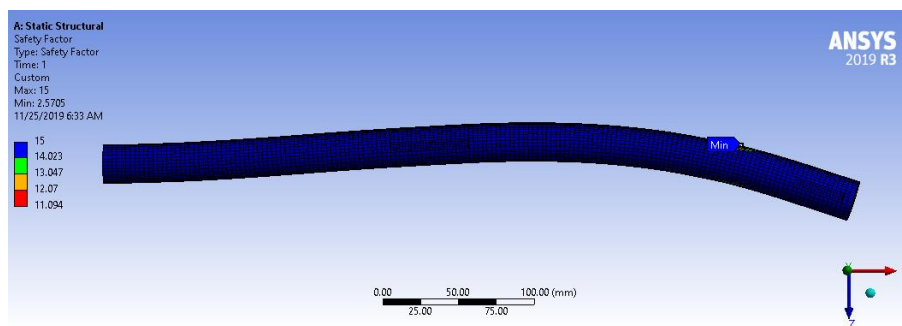
Ilustración 56 Deformación de eje



Fuente: Elaboración propia

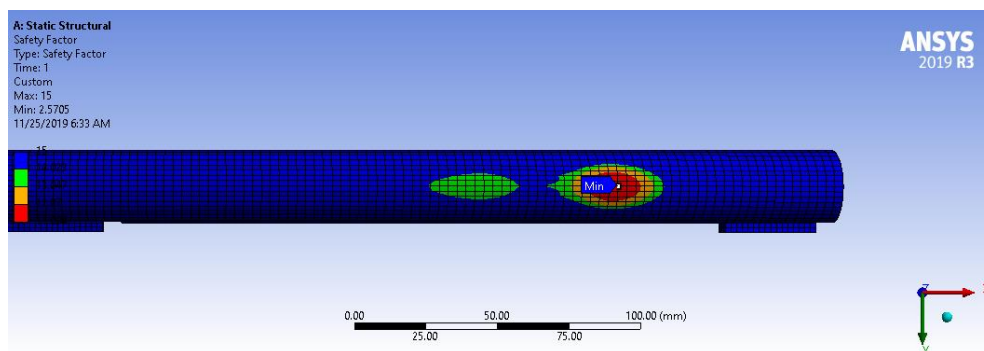
La deformación máxima obtenida a través de este análisis es de 0.18558 milímetros lo cual, es un resultado aceptable debido a dicha deformación posee una magnitud que no afecta de forma significativa el correcto funcionamiento del sistema. Acerca del factor de seguridad a carga estática, el eje obtuvo un factor de seguridad mínimo de 11.094 y en promedio un factor de seguridad de 14.991.

Ilustración 57 Factor de seguridad de eje



Fuente: Elaboración propia

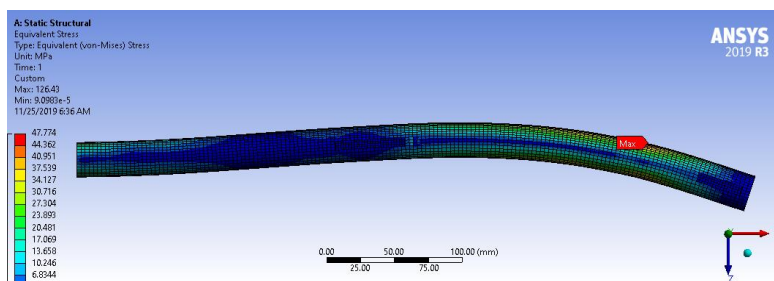
Ilustración 58 Punto de factor de seguridad mínimo



Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, el esfuerzo máximo se encuentra cercano a la chumacera del lado de la polea.

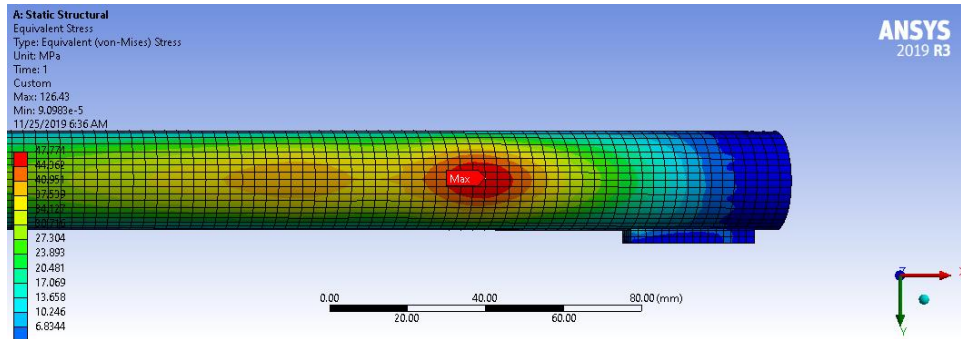
Ilustración 59 Esfuerzo equivalente sobre eje de transmisión



Fuente: Elaboración propia

En detalle se puede ver en la Ilustración 60, como el esfuerzo máximo sobre el eje es de 47.774 MPa. Y dicho punto coincide con el punto con el menor factor de seguridad

Ilustración 60 Esfuerzo máximo sobre eje, análisis de elementos finitos



Fuente: Elaboración propia

#### 4. DURABILIDAD DE BANDAS

Para el cálculo de la durabilidad (vida) de las bandas primero se estima el criterio de horas de operación mínimas durante las cuales estas deben trabajar. Debido a que se especificó al menos 2 años de vida útil, las horas de operación de la misma deben cumplir este requerimiento. Para este estudio, se supondrá que el secador opera principalmente durante 4 meses del año (que dura la temporada de cosecha de cardamomo), durante esos cuatro meses se realizan 5 ciclos de secado a la semana (), y para cada proceso de secado se estima un período de trabajo de 24 horas.

Por lo que las horas requeridas para garantizar su operación durante dos años es:

$$\text{Horas requeridas} = (2 \text{ años})(4 \text{ meses/año})(5 \text{ ciclos/semana})(4 \text{ semanas/mes})(24 \text{ horas/ciclo})$$

$$\text{Horas requeridas} = 3,840 \text{ horas}$$

Por tanto, la banda debe garantizar su operación por al menos 2,304 horas de trabajo. Con lo cual, se comienza el cálculo obteniendo los valores de T1 y T2.

$$T_1 = 71.18 \text{ lbf} + \frac{220}{3 \text{ pulg}} = 144.52 \text{ lbf}$$

$$T_2 = 71.18 \text{ lbf} + \frac{220}{6 \text{ pulg}} = 107.85 \text{ lbf}$$

El número de ciclos para 1 banda AX69.

$$N_P = \left[ \left( \frac{674}{144.52} \right)^{-11.089} + \left( \frac{674}{107.85} \right)^{-11.089} \right]^{-1} = 25 \ 064 \ 488.64$$

$$t = \frac{(25 \ 064 \ 488.64)(70.21 \text{ pulg})}{720 (2042 \text{ pies/min})} = 1 \ 197.04 \text{ horas}$$

Como se puede observar las horas de vida útil con una banda no son suficientes para operar con la misma banda durante un período de 2 años. Lo cual significa que se requiere realizar un reemplazo de la misma dentro de este período.

$$\text{Vida util en ciclos de secado de una banda} = \frac{1\ 197\ \text{horas}}{24\ \text{horas} / \text{ciclode secado}} = 49.875\ \text{ciclos} \approx 49\ \text{ciclos}$$

A través del cálculo anterior se puede determinar que, si se trabaja con una banda, se debe realizar el cambio de la misma aproximadamente cada 49 ciclos de secado. En caso no se desee realizar un cambio de banda, se realiza una segunda iteración, ahora con dos bandas, con el objetivo de determinar si esta cantidad de bandas es suficiente para operar sin necesidad de reemplazo durante el período de 2 años. Sin embargo, para dicha iteración, cambian los valores de F1, F2 y consecuentemente los valores de T1 y T2. Los valores obtenidos para la segunda iteración se tabulan en la Tabla 25.

Tabla 25 Valores de segunda iteración para la durabilidad de las banda

Variable	Valor	
F1	36.76	lbf
F2	9.61	lbf
T1	110.09	lbf
T2	73.43	lbf
Np	5.26E+08	pasadas

Fuente: Elaboración propia

Con lo cual, el resultado de las horas de trabajo para 2 bandas es de:

$$t = \frac{(5.26 \times 10^8)(70.21\ \text{pulg})}{720\ (2042\ \text{pies}/\text{min})} = 25\ 122\ \text{horas}$$

Con el cambio en la cantidad de bandas, de 1 banda a 2 bandas, se garantiza la vida de cada banda por un período superior a 2 años. Sin embargo, la implementación de 2 bandas conlleva la implementación de poleas de 2 bandas las cuales presentan un costo superior. Por lo que se pueden presentar dos alternativas para garantizar la vida útil del sistema de transmisión por un período de 2 años:

1. Utilizar poleas de 2 bandas y, por tanto, 2 bandas que puedan funcionar durante 2 años si necesidad de reemplazo.
2. Utilizar 1 banda y poleas de una banda de forma que se realice el reemplazo de la misma, de forma anual.

Para el montaje de este prototipo se optó por la segunda opción, ya que la misma garantiza el funcionamiento durante una temporada de secado, y permite un reemplazo económico y más práctico en la etapa de pruebas. Ya que en caso sea requerido un mayor flujo de aire y una mayor velocidad angular en el eje del ventilador, el

reemplazo de alguna polea o longitud de banda no representará un costo mayor. Sin embargo, al final finalizar por completo la etapa de pruebas y calibración de todo el secador, se recomienda implementar 2 bandas para la transmisión de potencia, para reducir el período de reemplazo de las bandas.

## 5. ANÁLISIS ESTRUCTURAL

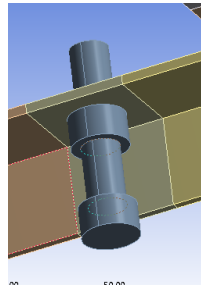
La estructura sobre la cual se encuentra montado el sistema de potencia tuvo su conclusión en el tercer diseño. Es importante recordar que la estructura debe soportar:

- La fuerza ejercida por el peso del motor y sus componentes.
- La fuerza ejercida por el peso del ventilador.
- Las vibraciones generadas por el motor de 5hp a 2600 rpm.

Para llevar a cabo el análisis estructural de este, se optó por realizar un análisis de elementos finitos a través del software ANSYS 2019 R3. Para realizar el análisis se primero se llevó a cabo la preparación del modelo 3D.

Primero fueron simplificadas las geometrías que podían generar problemas en el mallado. En este caso, algunas de estas geometrías se encontraban en las tuercas, ya que, debido a sus geometrías hexagonales, y bordes curvos se hace complicado para el algoritmo de ANSYS ajustar el mallado. Por lo tanto, estas geometrías fueron cambiadas en software CAD a geometrías más simples, basadas en cilindros.

Ilustración 61 Simplificación de tuercas y varilla roscada

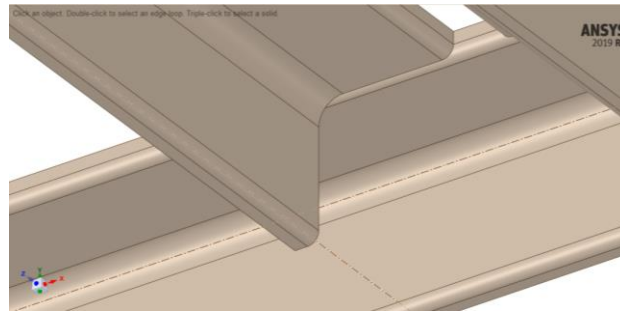


Fuente: Elaboración propia

Como siguiente paso se prepararon los perfiles angulares por generados por el software Inventor, los cuales poseen secciones y caras curvas que pueden ser removidas para mejorar el mallado por ANSYS. Por lo que estas fueron retiradas en el software.

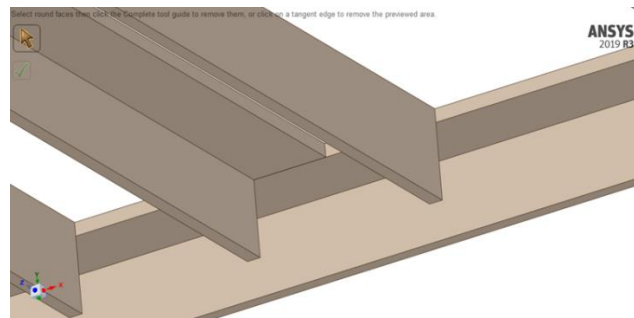
La geometría resultante de la modificación de superficies de los bordes de los perfiles se muestra en la Ilustración 63. También para la preparación del mallado se seccionaron pequeñas partes en los perfiles donde existía un agujero. Ya que el mallado se hace muy irregular y se reduce la calidad del mismo, dicho cambio se puede observar en la Ilustración 64.

Ilustración 62 Superficies curvas en perfiles



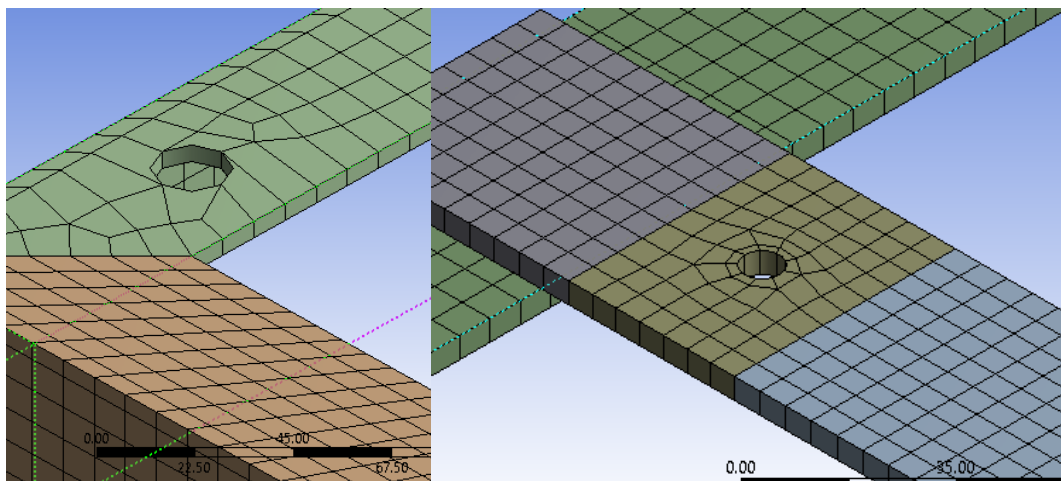
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 63 Superficies curvas de perfiles corregidas en software ANSYS



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 64 Seccionamiento de perfiles en ANSYS

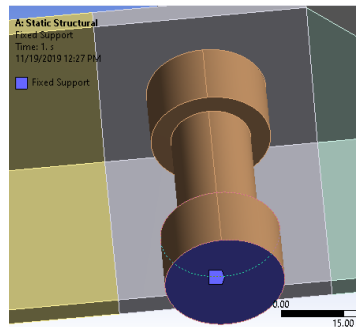


Fuente: Elaboración propia

Posteriormente se especificaron métodos de mallado en el sistema. Para lo cual se utilizó en gran medida el método de Multizona, con el cual se generan geometrías hexagonales que proveen de buenos resultados de resolución en el modelo matemático planteado por el software ANSYS. También se especificó el dimensionamiento de los elementos en los componentes de la estructura, y se especificaron dimensiones más pequeñas para los agujeros como se muestra a la izquierda en la Ilustración 64.

Al concluir con el mallado, se realizó un análisis estático estructural (Static Structural). Para el mismo se especificaron soportes fijos en las caras de los cuatro tornillos de graduación sobre los cuales se apoya la estructura, como se puede observar en la Ilustración 65.

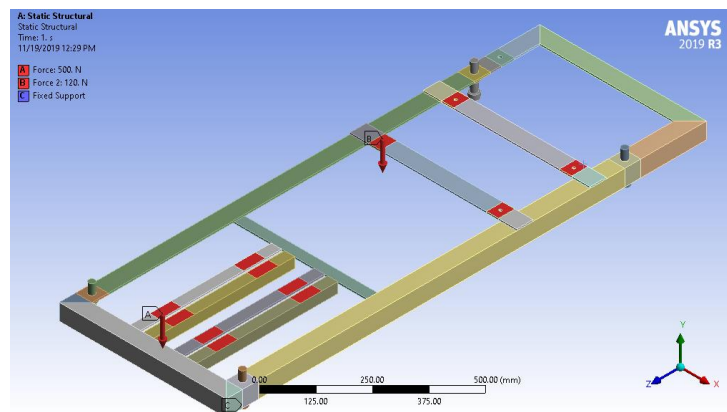
Ilustración 65 Soportes en modelo de elementos finitos



Fuente: Elaboración propia

Posteriormente fueron agregadas las cargas ejercidas sobre la estructura como los son el peso del motor y el del ventilador. Para especificar las regiones sobre las cuales se ejercen estas fuerzas previamente se hizo un seccionamiento de las superficies en el software CAD. Resultando el modelo como se muestra en la

Ilustración 66 Condiciones de modelo de elementos finitos

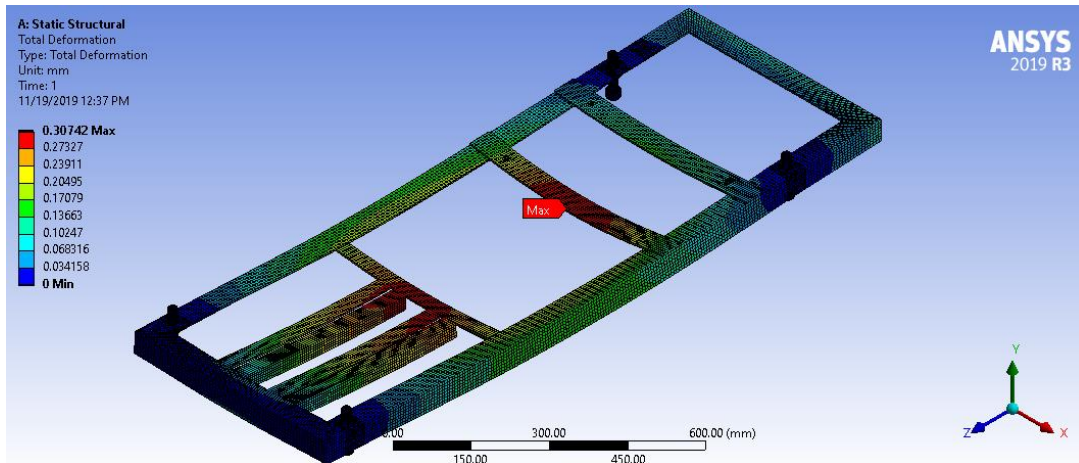


Fuente: Elaboración propia

Y una vez especificadas las condiciones para el análisis, se seleccionan los análisis que se desean llevar a cabo para el sistema propuesto. Para el cual se eligieron la deformación total, el esfuerzo equivalente (Von-Mises) y el factor de seguridad. Con lo cual únicamente resta realizar la resolución del sistema.

Al concluir la resolución del sistema se obtiene deformación con comportamiento descrito en la Ilustración 67. Para el cual se obtiene una deformación máxima de 0.30742 milímetros lo cual no afecta de ninguna forma la operación del sistema. Y, por tanto, se acepta dicha deformación.

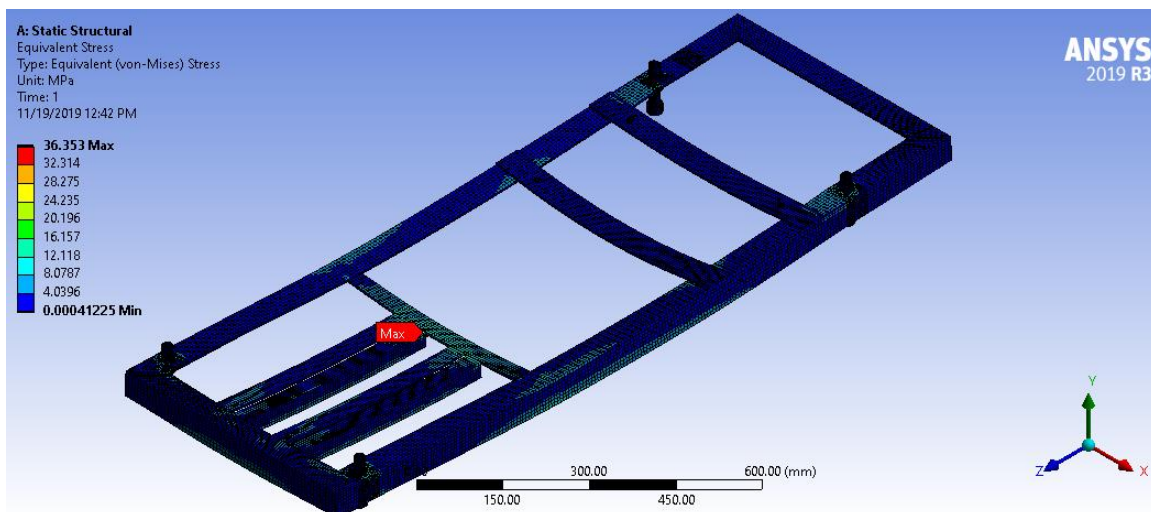
Ilustración 67 Deformación resultante de estructura



Fuente: Elaboración propia

Para el esfuerzo equivalente se obtuvo el comportamiento descrito en la Ilustración 68. Y el valor máximo para el esfuerzo equivalente es de 36.353 MPa. Los cuales se encuentran en la unión de los perfiles de 1¼" x 1¼" x 3/16".

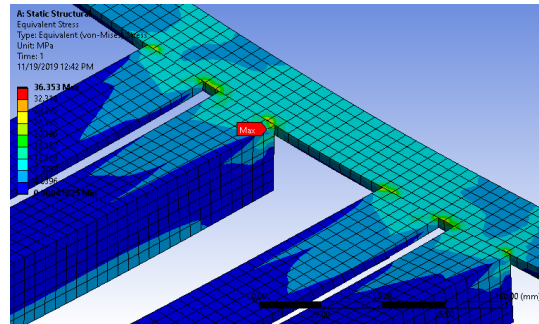
Ilustración 68 Esfuerzo equivalente sobre estructura



Fuente: Elaboración propia

En la Ilustración 69 se puede observar con mayor detalle los puntos donde el esfuerzo equivalente posee mayor magnitud. Y esto posee gran importancia debido a que a en estos puntos la unión se da por medio de soldadura. Por tanto, se debe prestar especial atención a la calidad de la misma, ya que existe una concentración de esfuerzos en la misma.

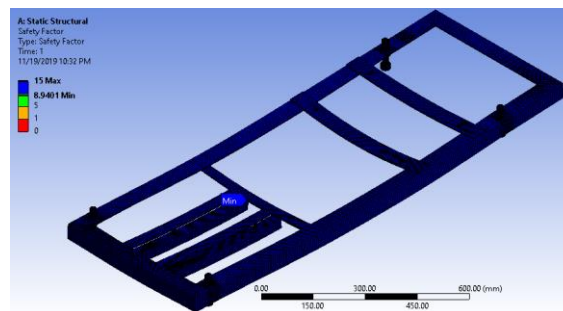
Ilustración 69 Zonas de mayor esfuerzo equivalente en estructura



Fuente: Elaboración propia

Luego, para el factor de seguridad se obtuvo un valor promedio de 14.999, lo cual se puede observar en la Ilustración 70. Por otra parte, el valor mínimo para el factor de seguridad es de 8.9401

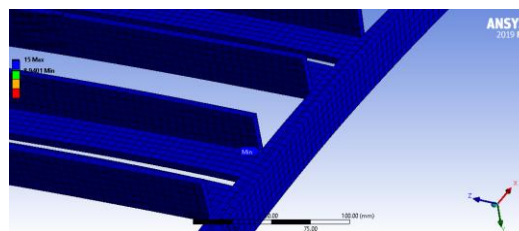
Ilustración 70 Factor de seguridad para estructura



Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la Ilustración 71 de nuevo el punto crítico con menor magnitud de factor de seguridad es la unión de los perfiles 1¼” x 1¼” x 3/16”, la cual se realiza por medio de soldadura.

Ilustración 71 Punto con menor factor de seguridad en la estructura



Fuente: Elaboración propia

## N. ANÁLISIS DE VIBRACIONES MECÁNICAS

Para comenzar se identifica el tipo de vibración mecánica presentado. Para este se presenta una vibración forzada generada por un motor de combustión interna Diesel de 5 caballos, que trabaja en forma estacionaria a 2 600 rpm. Para este sistema se busca impedir la excesiva respuesta a resonancia y reducir la transmisión de fuerzas de excitación del motor a la estructura del sistema de potencia.

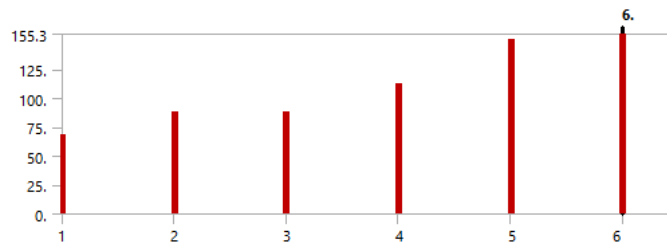
Para el control de la respuesta a resonancia, debido a que se espera que el motor trabaje a la misma velocidad, lo que se puede variar es la rigidez de la estructura. Por lo cual se diseñó una estructura y se llevó a cabo un análisis modal de elementos finitos con el software ANSYS. El objetivo del mismo es garantizar que no exista riesgo que las vibraciones generadas por el motor Diesel, hagan entrar en resonancia la estructura, de forma que la misma pudiese presentar una alta amplitud de oscilación. Para este análisis se hizo uso de los resultados obtenidos en el análisis estructural estático. Por lo que el análisis modal se realizó con precarga, ya que estas son condiciones cercanas a las condiciones reales bajo las cuales se encontrará sometido el sistema.

La frecuencia a la cual genera vibraciones el motor se encuentra directamente relacionada con la velocidad a la cual gira el motor. Para este sistema se estima que el motor trabaje a 2,600 rpm, que es la potencia especificada por el fabricante a la cual entrega su máxima potencia. Por lo cual la frecuencia de oscilación sería:

$$\text{Frecuencia de vibración} = \frac{2,600 \text{ rev}}{1 \text{ min}} \times \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ seg}} = 43.3 \text{ Hz} \quad (17)$$

Por tanto, significa que si una de las frecuencias modales se encuentra en una magnitud cercana a 43.3 Hz se correrá el riesgo que la estructura entre en resonancia. Sin embargo, al realizar el análisis modal se obtuvieron los resultados expuestos en la Tabla 26 e Ilustración 72.

Ilustración 72 Gráfico de frecuencias modales de estructura



Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la Tabla 26, la frecuencia más cercana a la frecuencia de vibración del motor, es de 67.961 Hz, los cuales se encuentran distantes de la frecuencia generada por el motor. Por tanto, se puede determinar que la frecuencia de vibración del motor no presentará problemas de resonancia.

A su vez, cabe recalcar la importancia de los datos obtenidos a través de este análisis. Ya que si se hubiese implementado un motor de otras características, como un motor de gasolina, que comúnmente manejan una

velocidad de 3,600 rpm, se hubiese obtenido una frecuencia de oscilación de 60 Hz. La cual ya se encuentra considerablemente más cercana a la frecuencia del primer modo.

Tabla 26 Frecuencias naturales de estructura

Modo	Frecuencia (Hz)
1	67.961
2	87.706
3	88.543
4	112.17
5	151.11
6	155.3

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente se analizaron mecanismos para el amortiguamiento y aislamiento de vibraciones mecánicas. Debido a la falta de energía eléctrica y la potencia del sistema se consideraron únicamente mecanismos de amortiguamiento pasivos. De este tipo se encuentra, los sistemas de amortiguamiento viscosos, los de fricción en seco y los compuestos por un sólido histerético. De estos sistemas de amortiguamiento el que mejor se adapta, debido a su fácil instalación, bajo coste y accesibilidad en el mercado, son los amortiguadores compuestos por un sólido histerético, con más precisión, amortiguadores de caucho. Estos amortiguadores, son conocidos comúnmente en el mercado nacional como “cargadores de caucho”. Para el sistema de potencia propuesto se utilizaron 4 cargadores de caucho colocados en los 4 puntos de apoyo del motor Diesel.

Ilustración 73 Amortiguadores de caucho empleados



Fuente: Elaboración propia

Cabe mencionar que la elección de una banda “V” para la transmisión de potencia cumple una tarea muy importante en el aislamiento de vibraciones mecánicas entre la unidad de potencia y el ventilador. Ya que las bandas “V”, al estar compuestas de un material elástico, poseen la capacidad de absorber parte de las vibraciones mecánicas generadas por el motor Diesel.

## O. CONSTRUCCIÓN DE SISTEMA DE POTENCIA

### 1. MODIFICACIÓN DE VENTILADOR

Antes de comenzar con la construcción de la estructura se debía modificar el ventilador para realizar la apertura de la otra entrada de aire. Para lo cual se desmontaron todos los elementos integrados al ventilador, como lo con las chumaceras y el impeler.

Ilustración 74 Desmontaje de elementos del ventilador



Fuente: Elaboración propia

Luego de desensamblar los elementos del ventilador. Se hizo una referencia sobre cartón, de la posición del soporte de la chumacera de la entrada abierta, así como de la circunferencia misma, de forma que pudiera ser utilizada en la otra cara, cerrada para trazar un círculo que sea simétrico respecto al plano medio de la voluta.

Ilustración 75 Referencia de la entrada abierta



Fuente: Elaboración propia

Con la referencia realizada como se observa en la Ilustración 75, luego se procede a recortar el círculo de cartón por la línea que hace referencia a la hembra en la entrada que soporta la chumacera. Para luego ubicar ambas partes a los lados del perfil angular que soporta la chumacera del otro lado, como se observa en la Ilustración 76.

Ilustración 76 Posicionamiento de la referencia en cara cerrada de la voluta



Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, una vez ubicada la geometría del círculo en la superficie de apertura, se realiza el trazo del contorno del círculo para posteriormente proceder a realizar el corte obteniendo el resultado de la.

Ilustración 77 Trazo de la referencia sobre la superficie de corte



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 78 Apertura de segunda entrada de aire en la voluta



Fuente: Elaboración propia

Con la nueva entrada abierta, se procede a realizar en la sección tubular de la nueva entrada de aire. Realizando un doblado de chapa metálica en frío, hasta obtener una geometría circular de diámetro cercano a 8 pulgadas como se observa en la Ilustración 79.

Ilustración 79 Doblado de chapa metálica



Fuente: Elaboración propia

Luego se cortan los dos segmentos circulares divididos por el perfil angular en la voluta, y se realiza la soldadura de cada uno, comenzando por colocar puntos de soldadura, y luego realizan la soldadura completa.

Ilustración 80 Puntos de soldadura en sección circular



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 81 Soldadura de sección circular a nueva entrada de voluta



Fuente: Elaboración propia

Con lo cual únicamente resta, lijar la soldadura, para mejorar el acabado de la misma y repintar la voluta.

Ilustración 82 Nueva pintura de voluta



Fuente: Elaboración propia

## 2. CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURA DEL SISTEMA DE POTENCIA

Para la construcción de la estructura se comenzó con la geometría más grande, la cual corresponde al marco principal de geometría rectangular sobre el cual se montan la mayoría de elementos.

Ilustración 83 Soldadura de marco principal de estructura



Fuente: Elaboración propia

Una vez cerrada la geometría del marco principal, se realizó la soldadura de las hembras (según el plano dado), para ubicar el ventilador, y en función a este colocar el motor de Diesel.

Ilustración 84 Posicionamiento de ventilador centrífugo en la estructura



Fuente: Elaboración propia

Con la ubicación del ventilador fija, luego se posiciona el motor montándolo únicamente sobre los 2 perfiles angulares externos, para asegurar que los mismos sean fijados con soldadura, correctamente alineados. A la vez que se verifica la alineación de los ejes.

Ilustración 85 Posicionamiento del motor en la estructura



Fuente: Elaboración propia

A continuación, se procede a colocar los dos perfiles angulares restantes, dejando como espaciamiento los tornillos que sujetaran el motor, en este caso los de los cargadores.

Ilustración 86 Soldadura de perfiles angulares restante en la base del motor



Fuente: Elaboración propia

Después de haber sido soldados todos los perfiles que soportan el motor se fijan con soldadura los 2 perfiles angulares que de  $1\frac{1}{4} \times 1\frac{1}{4} \times 3/16$ . Que conformarán el mecanismo de tensión del motor. Y se perforan los agujeros alineados de estos 2 perfiles, con la estructura base del motor, que se encuentra sujeta al mismo. De forma que se puedan pasar varillas roscadas alineadas, desde la estructura hasta el motor.

Ilustración 87 Perfiles de mecanismo de tensión sujetos al marco principal



Fuente: Elaboración propia

Se perforan los 4 agujeros de  $\frac{3}{4}$  de pulgada, para colocar las varillas roscadas de nivel en la estructura. Se realiza la soldadura de las 4 tuercas a la estructura previo a soldar las tuercas en la parte superior e inferior, de la varilla roscada, que impiden que estas sean desenroscadas y se desprendan de la estructura.

Ilustración 88 Mecanismo de nivelación de estructura soldado



Fuente: Elaboración propia

Y por último se concluye con la pintura de la estructura, cuando se haya asegurado de haber soldado todos los elementos.

Ilustración 89 Estructura de unidad de potencia pintada



Fuente: Elaboración propia

### 3. CONSTRUCCIÓN DE DIFUSOR

Para la construcción del difusor se imprimieron a escala 1 a 1, cada una de las caras del difusor, luego estas se trazaron sobre lámina de calibre 16, se cortaron, y posteriormente se les realizó los dobleces necesarios para obtener la geometría deseada. Para realizar los dobleces se marcaron las líneas de doblado con pulidora, de forma superficial, y posteriormente se calentaron con oxiacetileno para facilitar el doblado como se observa en Ilustración 90.

Luego se procedió a realizar la soldadura de las cuatro láminas previamente dobladas, tomando constantemente como referencia la posición final del difusor, de forma que se realicen los ajustes pertinentes en cada proceso de soldadura, de forma que se garantice el correcto acople del componente. También se recomienda posicionar las láminas que componen el difusor, en su posición final sobre el sistema, de forma que se realicen puntos de soldadura con las láminas colocadas sobre la estructura como se muestra en la Ilustración 91.

Ilustración 90 Doblado de lamina para elaboración de difusor



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 91 Ensamblaje de laminas del difusor sobre el sistema



Fuente: Elaboración propia

Luego de cerrar la geometría, se puede desmontar de la estructura. Con lo cual se comienza a trabajar el ducto que aloja el quemador. Para este, se corta un tubo circular de 4"x1/8", en un extremo recto, y en otro a un ángulo de 15 grados.

Ilustración 92 Geometría de difusor cerrada



Fuente: Elaboración propia

Después se le perforaron 4 agujeros de 7/16" alrededor del tubo, cada 90 grados respecto al eje geométrico del tubo, y a 1 1/2" del corte recto del mismo. Posteriormente se sueldan 4 tuercas de 3/8" en cada agujero perforado y, por último, se realiza la soldadura del tubo de 4 pulgadas a la estructura del difusor

Ilustración 93 Perforación de tubo de 4" y soldadura de tuercas de 3/8"



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 94 Soldadura de tubo de alojamiento de quemador a estructura del difusor



Fuente: Elaboración propia

Luego de realizar el trabajo de pintura y sujeción del quemador el sistema queda montado de la siguiente forma.

Ilustración 95 Difusor completo acoplado al quemador



Fuente: Elaboración propia

#### 4. CONSTRUCCIÓN DE GUARDA

Para la construcción de la guarda se utilizó perfil C (tipo costanera) de 4"x2"x1/8", malla tipo PR calibre 16 y perfil angular de 2"x2"x1/8". Y la fabricación para esta consiste en construir un marco rectangular con el perfil C al cual se le pueda ser soldada la malla. Para ello primero se recortaron todos los elementos que compondrán la guarda. Luego se soldaron 3 perfile de la guarda, con el objetivo que se pueda deslizar y soldar la malla en la parte interna de la estructura.

Ilustración 96 Soldadura de los primeros tres elementos de la estructura de la guarda



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 97 Malla colocada en su sitio para soldadura



Fuente: Elaboración propia

Para la soldadura de la malla primero se soldó la malla a los perfiles cortos de la estructura de la guarda. Luego se soldó el perfil restante que compone la estructura, se soldaron angulares perforados a través de los cuales se sujetara la guarda a la estructura de la unidad de potencia y por último se soldó un refuerzo en la parte posterior, el cual se sujetó a otro de los perfiles de la estructura principal de la unidad de potencia.

Ilustración 98 Cierre de geometría soldadura de angulares



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 99 Refuerzo de guarda



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 100 Guarda instalada en sistema de potencia



Fuente: Elaboración propia

## P. SELECCIÓN DE QUEMADOR DE GAS

Para la selección del quemador de gas propano (GLP), se deben tener distintos aspectos en consideración, además de aquellos que rigen las condiciones operacionales, como lo son la disponibilidad en el mercado y la facilidad y versatilidad para su operación. En este sentido, la mayor oferta en el mercado nacional (Guatemala), es de quemadores atmosféricos y de aire inducido. Sin embargo, las geometrías en las cuales se presentan son muy variadas, y dependen en gran medida de su aplicación.

Por otra parte, desde la perspectiva operacional, se deben considerar los siguientes aspectos y características requeridas para el quemador:

- Falta de acceso a electricidad para inducir aire por medio de otro ventilador.
- Amplio rango de operación en la magnitud de aporte de calor al sistema.
- Facilidad para ser operado y versatilidad en sus posibles posiciones de instalación.
- Operación efectiva ante presencia de un alto flujo de aire.
- Que el mismo sea accesible y asequible en el mercado nacional.

Debido a que la llama puede ser expuesta a un alto flujo de aire, se recomienda la implementación de un quemador de alta presión. Dicha llama debido a sus características, es apagada con mayor dificultad, a diferencia de una llama de baja presión, como se utilizaría en equipo para cocción de alimentos o calentadores domésticos. A su vez, debido a la falta de electricidad para su operación, no se puede utilizar equipo para la inducción de aire. Se analizó la posibilidad de inducir aire por medio del mismo ventilador centrífugo del sistema de potencia. Sin embargo, su adaptación supone un trabajo muy laborioso y además se tendría un escaso control sobre la mezcla de aire-combustible.

Tomando este conjunto de aspectos en consideración, se llevó a cabo la selección de un quemador atmosférico de tipo soplete. A través, de los datos proveídos por Moris Polanco, el rango de aporte de calor al sistema puede variar desde los 230,000 Btu/h hasta los 340,000 Btu/h. La oferta de quemadores de un proveedor se expone en la Tabla 27, donde el los modelos de quemador con prefijo QA, corresponden a los quemadores atmosféricos. Y como se puede observar el quemador de dimensiones menores que trabaja en el rango propuesto corresponde al modelo QA-14, el cual es seleccionado para ser trabajado en el presente proyecto.

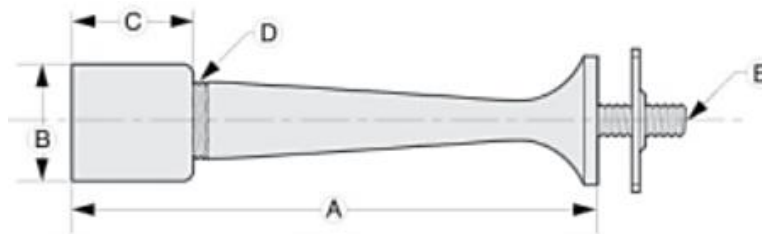
Tabla 27 Capacidades aproximadas de quemadores PYPESA en miles de BTU por hora

Diferentes presiones de trabajo / Working Pressure (BTU per hour)							
Modelo Model	Esprea Orifice	11" W.C.	1 lb	2 lb	5 lb	10 lb	20 lb
QD-21	62	10.5	15.9	23.0	36.3	51.2	71.6
QD-22	37	47.0	150.9	212.3	337.6	478.3	700.9
QD-24	26	140.0	296.7	416.9	657.4	931.1	1,317.4
QA-11	70	4.9	9.5	13.3	21.2	29.9	43.5
QA-12	64	8.0	14.5	20.5	32.5	46.0	63.9
QA-13	50	36.0	56.3	79.3	125.3	176.5	250.7
QA-14	43	44.0	104.9	145.8	230.2	324.9	460.4
QA-15	33	81.0	173.9	248.1	393.9	555.1	782.7
QA-16	26	140.0	296.7	416.9	657.4	931.1	1,317.4
QA-17	7/32"		590.0	833.9	1,319.9	1,869.3	2,634.7

Fuente: PYPESA, 2019

El quemador QA-14 posee las dimensiones especificadas en la Tabla 28, acorde al diagrama en la Ilustración 101. Dichos datos son de gran importancia ya que según las dimensiones que tenga este, se plantea el posicionamiento y sujeción del quemador en el sistema.

Ilustración 101 Diagrama de dimensiones de quemador tipo soplete



Fuente: PYPESA, 2019

Tabla 28 Dimensiones de quemadores tipo soplete

N° Parte	Modelo	Esprea / Orifice		Dimensiones en mm / Dimensions in mm						
		LP	Natural	A	B	C	D (NPT)		E (NPT)	
002E700	QA-11	70	60	180	37	54	12.7	1/2"	3.1	1/4"
002E701	QA-12	64	42	215	57	74	25.4	1"	12.7	1/2"
002E702	QA-13	50	30	240	86	73	31.7	1 1/4"	12.7	1/2"
002E703	QA-14	43	25	370	95	88	38.1	1 1/2"	12.7	1/2"
002E704	QA-15	33	20	480	130	105	50.8	2"	12.7	1/2"
002E705	QA-16	26	15	590	122	112	76.2	3"	12.7	1/2"
002E706	QA-17	7/32"	5/16"	770	155	150	101.6	4"	25.4	1"

Fuente: PYPESA, 2019

Ilustración 102 Quemador atmosférico PYPESA QA14



Fuente: PYPESA, 2019

## Q. CIRCUITO DE GAS

Para la elaboración del circuito de gas se tiene una gran limitante que dificulta la implementación de un sistema completo para el manejo de gas, y es la no disponibilidad de energía eléctrica en el sitio de operación. Esta limitante restringe el uso de accesorios en el circuito de gas, que mejoran el control y eficiencia del mismo. A pesar de la existencia de algunos accesorios completamente mecánicos para el control y combustión de gas. Estos en algún punto requieren del recurso eléctrico, como por ejemplo el pilotaje de una válvula o el funcionamiento de sensores, entre otros.

Por tanto, para el diseño del circuito de gas de este sistema, únicamente se hizo uso de elementos básicos disponibles en el mercado, pero que permiten el funcionamiento adecuado, eficiente y seguro del gas. Por tanto, los elementos son:

1. Tanque de gas propano (GLP)
2. Una punta REGO contra tuerca izquierda MOD 970.
3. Regulador de presión REGO 597-FA de 1 a 15 psi.
4. Válvula de arresto de llama Weldmaster NPT ¼"
5. Conector macho 3/8" x ¼"
6. Una Tee rosca NPT 3/8"
7. Conector hembra-hembra 3/8" x ¼"
8. Manómetro de acero inoxidable NPT ¼" de 0 a 30 psi
9. Manguera flexible de 5 metro, recomendadamente con recubierta de acero inoxidable
10. Conector macho 3/8" x ½"
11. Llave de bola ½ roscada
12. Quemador atmosférico QA-14

Cabe mencionar que para controlar el flujo de gas se recomienda hacer uso del regulador de presión y no las llaves de paso, ya que estas no están diseñadas para tener un control preciso del flujo. Además, que el calor aportado por el quemador se regula a través de la presión, como se expone en la Tabla 27.

## R. ANÁLISIS FINANCIERO

Al terminar la fase de construcción y pruebas se realizó un análisis financiero, en el cual se calculó el tiempo en el que se va a recuperar la inversión en el secador y en su funcionamiento. Para esto se tomaron en cuenta los costos de los materiales, el costo del equipo descartable, precio de combustible, precio del gas propano, precio del cardamomo promedio y cantidad de cardamomo vendido. Hay que recalcar que no se tomó en cuenta el costo de fabricación ya que el proyecto está pensado en brindar acceso a la fabricación del secador. Los costos más resumidos se detallan en la Tabla 2 si se desea ver a detalle ver en el Anexo D donde se incluye la utilidad de cada gasto los costos menores son todos aquellos que no excedieron los Q.1,000.00 y que se gestionaron a través de una caja chica.

Tabla 29: Costos resumidos

Producto	Costo Total
Fabricación de bandejas en lámina INOX de 2mm con perforaciones de 6mm	Q. 15,600.00
Turbina de baja presión	Q. 4,000.00
Motor de 5HP Diesel	Q. 4,500.00
Paneles aislantes térmicos	Q. 5,645.14
Perfiles (todos los tipos)	Q. 2,671.91
Componentes y Sistema de gas	Q. 1,704.20
Laminas (todos los tipos)	Q. 253.40
Costos Menores	Q. 8,072.15
Total	Q. 42,446.80

Fuente: Elaboración propia

El precio del combustible Diesel fue tomado del promedio del histórico diario del Diesel desde enero del año 2017 hasta el 11 de noviembre del 2019 teniendo un precio promedio de Q. 20.36 galón. El precio del gas propano se tomó el promedio de precio según la DIACO del 2016 para el 2019 actualmente teniendo un total de Q. 400.00 las 100lbs de gas propano. También se utilizó el precio del cardamomo en cereza (húmedo) que fue el promedio del último año que fue de Q.910.00 por quintal y Q. 5,925.00 para el promedio del quintal de cardamomo en pergamino (seco).

También se realizó el cálculo esperando las peores condiciones de operación en el que 80% del cardamomo es seco efectivo y el 20% se toman como perdidas por producto tierno, mal manejo u otros inconvenientes que suelen pasar desde el proceso de cosecha del cardamomo. También se sobre estimó el consumo del gas, ya que el consumo de este depende de las condiciones ambientales y la humedad que tiene el grano.

El costo del mantenimiento se obtuvo según la recomendación de realizar el servicio al motor. Para los demás componentes se decidió trabajar según un mantenimiento correctivo, esta estrategia se eligió ya que este tipo de mantenimiento ya que el diseño tiene como objetivo desgastar los elementos rodantes de las chumaceras

del ventilador y únicamente hacer cambio cuando esto sea necesario. Además, una estrategia del tipo preventivo aumentaría los costos mensuales del secador.

La tasa de inflación utilizada fue del valor promedio del año 2018 y lo que va del año 2019(octubre) según el banco de Guatemala, con un valor de 3.79%. Este porcentaje se utilizó para poder determinar el valor de las ganancias de los meses posteriores a la compra del secador, todo lo anterior con la finalidad de encontrar el valor presente neto.

Para determinar el valor presente se utiliza la siguiente ecuación:

$$VP = \frac{VF}{(1 + i)^n}$$

Donde:

VP= *Valor presente*

VF = *Valor futuro*

*i* = Tasa de interés (inflación)

N = número de periodos analizados

## S. PRUEBAS DE INTEGRACIÓN

Una vez terminados los módulos se procedió a unificar los diferentes componentes del secador, así se podía iniciar con las pruebas de integración. Durante estas pruebas se evaluó que el secador funcionara correctamente. Estas pruebas duraron una semana, en las cuales se realizaron pruebas del módulo de potencia, de flujo de aire, funcionamiento del quemador, distribución del aire, pruebas de secado con capacidades diferentes. Se evaluó el desempeño del secador y se realizaron cambios cuando fueron necesarios.

Para estas pruebas se utilizó el manual de seguridad de pruebas que se encuentra en el anexo E. Estas consistieron en probar los módulos por separado y finalmente en conjunto. Verificando el desempeño de este.



## VII. RESULTADOS

### A. CRONOGRAMA DE TRABAJO

El cronograma de trabajo fue diseñado con el fin de tener la menor cantidad de retrasos posibles y también para poder mantener control de los avances del secador. Las fechas no están especificadas ya que estas irán en la matriz de verificación y validación de los requerimientos. El cronograma fue revisado cada dos semanas aproximadamente para verificar el progreso del proyecto.

El cronograma no se logró cumplir debido a varios inconvenientes externos del grupo como la falta de definición del director del proyecto que se definió hasta el mes de mayo retrasando en los requerimientos base del proyecto. Luego otros inconvenientes que se tuvieron fue el retraso de las órdenes de compra ya que era un proceso muy extenso y tardado por parte de la Universidad. También otra causa del retraso fue la falta de espacio en el taller de metalmecánica para trabajar y la falta de lugar para realizar las pruebas.

Ilustración 103: Cronograma diciembre 2018- mayo 2019

Etap	Descripción	Porcentaje de Duración	Porcentaje de avance	Diciembre				Enero				Febrero				Marzo				Abril				Mayo				Actividades a realizar/Realizadas Según Etapa
				1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
1	Investigación y Visita de Campo	10.00%																									P R E	Etapa 1: Se investigará de todo el proceso de secado del cardamomo y sus requerimientos. También se hará una visita para recopilar información requerida para la realización del proyecto.
2	Diseño Preliminar	7.50%	17.50%																								P R E	Etapa 2: Se diseñará el prototipo incluyendo todas sus partes y requerimientos con ayuda de la información recopilada.
3	Primera Evaluación de Diseño	7.50%	25.00%																								P R E	Etapa 3: Se hará un análisis de los cambios que sean necesarios en el diseño para el correcto funcionamiento.
4	Rediseños, y Evaluación de Diseño y Presupuesto	15.00%	40.00%																								P R E	Etapa 4: Se hacen los cambios necesarios en el primer diseño para mejor desempeño de funcionamiento. Se realiza presupuesto.

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 104. Cronograma mayo 2019- octubre 2019

Etap	Descripción	Porcentaje de Duración	Porcentaje de avance	Mayo				Junio				Julio				Agosto				Septiembre				Octubre				Actividades a realizar/Realizadas Según Etapa
				1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
5	Gestión de Compras, Recolección de Materiales	20.00%	60.00%																								P R E	Etapa 5: Se comprarán todos los materiales.
6	Manufactura	20.00%	80.00%																								P R E	Etapa 6: Se hará el proceso de construcción y manufactura del secador.

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 105. Cronograma octubre 2019 - noviembre 2019

Etap	Descripción	Porcentaje de Duración	Porcentaje de avance	Octubre				Noviembre				Diciembre				Enero				Febrero				Marzo				Actividades a realizar/Realizadas Según Etapa			
				1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
7	Pruebas de Prototipo	7.50%	87.50%																											P R E	<b>Etapa 7:</b> Se relajarán las primeras pruebas de funcionamiento de la máquina.
8	Implementación de Cambios Requeridos	3.00%	90.50%																											P R E	<b>Etapa 8:</b> Se harán mejoras en el prototipo inicial para un mejor funcionamiento.
9	Instalación Final	3.00%	93.50%																											P R E	<b>Etapa 9:</b> Se instalará la máquina.
10	Desempeño	6.50%	100.00%																											P R E	<b>Etapa 10:</b> Se observará el desempeño de la maquina en la localidad y se le reailzaran ajustes si son requeridos.

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 30 se puede observar el significado del código de letras utilizados y del código de color según el cronograma.

Tabla 30. Significado de colores en cronograma

Letra	Significado	Color
<b>P</b>	Programado	Amarelo
<b>R</b>	Reprogramado	Azul
<b>E</b>	Ejecutado	Verde

Fuente: Elaboración propia

## B. ANÁLISIS FINANCIERO

En la Tabla 31 se muestra la proyección de gastos y ganancias durante los primeros 6 meses de operación del secador. Con este cálculo se encontró el periodo en el que se recuperaría la inversión inicial del secador únicamente con las ganancias que se generarán al tener operando el secador. El resultado nos muestra que se comenzarán a ver ganancias reales de la inversión a partir del cuarto mes de operación. Como se observa en la Tabla 31 se tienen ingresos de Q. 10,882.31 para los meses en los que se realiza el servicio mayor al motor y un ingreso de Q. 11,128.00 para los meses en los que se realiza el servicio menor.

Tabla 31: Proyección de ganancias a 6 meses con el secador

	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
Sistema completo	-Q42,446.80	-	-	-	-	-
Costo de operación	-Q9,016.16	-Q9,139.00	-Q9,016.16	-Q9,139.00	-Q9,016.16	-Q9,139.00
Mantenimiento	-Q201.60	-Q324.44	-Q201.60	-Q324.44	-Q201.60	-Q324.44
Equipo de Seguridad	-Q740.00					-Q740.00
Compra de cardamomo cereza	-	-	-	-	-	-
Venta de cardamomo pergamino	Q109,200.00	Q109,200.00	Q109,200.00	Q109,200.00	Q109,200.00	Q109,200.00
Flujo mensual	Q129,545.76	Q129,545.76	Q129,545.76	Q129,545.76	Q129,545.76	Q129,545.76
Valor Presente	-Q32,058.80	Q10,882.31	Q11,128.00	Q10,882.31	Q11,128.00	Q10,142.31
Ganancias Totales en VP		Q10,814.08	Q11,058.23	Q10,814.08	Q11,058.23	Q10,078.72
		-Q21,244.72	-Q10,186.49	Q627.59	Q11,685.81	Q21,764.53

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 32 se puede observar dos indicadores utilizados para la rentabilidad del proyecto. La tasa interna de retorno (TIR) con un valor de 21% el cual nos demuestra que el dinero invertido generará ganancias mayores que cualquier método de ahorro.

Tabla 32: Indicadores de rentabilidad

Indicador	Valor
TIR (Tasa Interna de Retorno)	21%
VNA (Valor Neto Actual)	Q 9,105.11

Fuente: Elaboración propia

### C. MATRIZ DE REQUERIMIENTOS, VERIFICACIÓN Y VALIDACIÓN

Todas las verificaciones se realizaron a lo largo del proyecto, incluyendo la parte de diseño como la fase de manufactura y pruebas. A continuación, se encuentra la Tabla 33 se muestra la fecha de validación de los requerimientos. En el anexo B se encuentra detallada la actividad realizada durante cada revisión, análisis o prueba.

Tabla 33: Matriz de verificación y validación de requerimientos

Fecha de revisión	Código	Módulo	Tipo de requerimiento	Método de verificación
30/05/2019	FTD-01	Todos	Funcional	Revisión
30/05/2019	FTD-02	Todos	Funcional	Revisión
30/05/2019	FTD-03	Todos	Funcional	Revisión
30/05/2019	FPCV-01	PCV	Funcional	Revisión
19/11/2019	FE-01	E	Funcional	Análisis, revisión y pruebas
3/09/2019	FPCV-02	PCV	Funcional	Revisión
30/05/2019	FF-01	F	Funcional	Análisis
20/11/2019	OIS-01	IS	Operacional	Revisión
18/11/2019	OTD-01	Todos	Operacional	Revisión
20/11/2019	OE-01	IS y E	Operacional	Revisión
10/11/2019	OIS-02	IS	Operacional	Revisión
8/11/2019	OE-02	E	Operacional	Revisión
10/11/2019	OIS-03	IS	Operacional	Revisión
29/10/2019	OPCV-01	PCV	Operacional	Pruebas
09/12/2019	OIS-04	IS	Operacional	Revisión
30/08/2019	OE-03	E	Operacional	Revisión
20/11/2019	OTD-02	Todos	Operacional	Revisión
4/09/2019	LTD-01	Todos	Limitantes	Inspección
30/05/2019	LE-01	E	Limitantes	Inspección
19/05/2019	LTD-02	Todos	Limitantes	Inspección
4/09/2019	LE-02	E	Limitantes	Revisión
17/11/2019	LE-03	Todos	Limitantes	Revisión

Fuente: Elaboración propia.

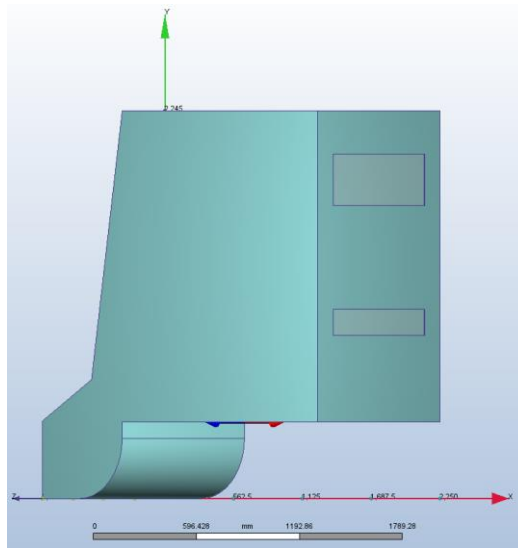
A continuación, se dará un ejemplo de verificación de un requerimiento que requería cada tipo de verificación.

## 1. REVISIÓN DEL REQUERIMIENTO FTD-03

Este requerimiento fue a solicitud de Luis Arévalo (Encargado del proyecto), en el cual nos indicó que era necesario la implementación de recirculación en el secador. Por las características del grano y del proceso del secado se decidió implementar recirculación parcial. Los diseños se fueron contemplando de la mano del requerimiento FF-01.

Primera revisión: La primera propuesta de diseño se realizó a grandes rasgos. En este diseño no se contempló la recirculación.

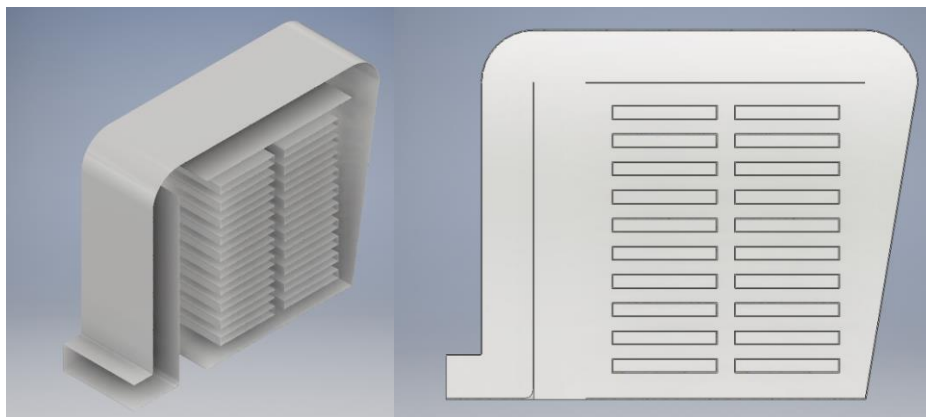
Ilustración 106: Primer propuesta de diseño



Fuente: Polanco, 2019

Segunda revisión: Se introdujo la recirculación en el diseño. Pero la distribución de aire era complicada y no la requerida.

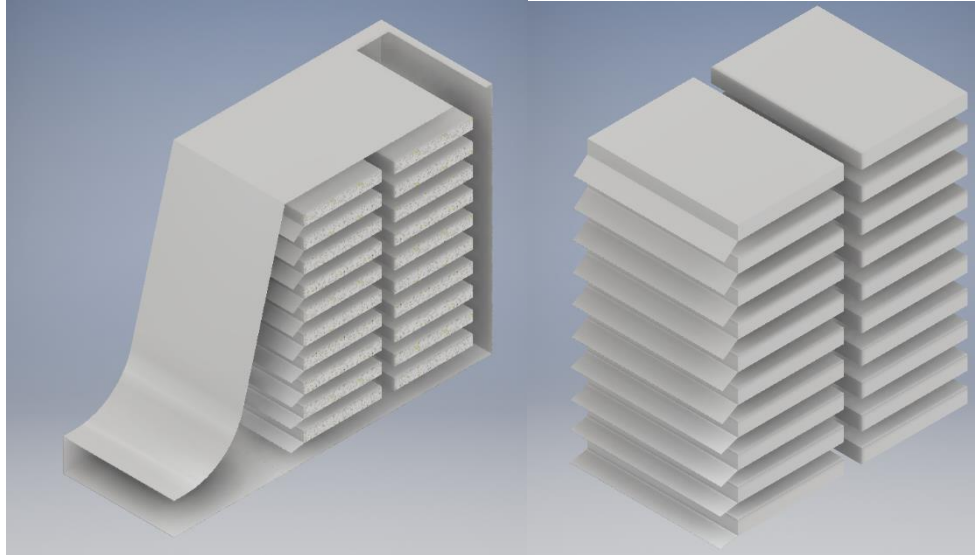
Ilustración 107: Segunda propuesta de diseño



Fuente: Polanco, 2019

Tercera revisión: En este diseño se contemplaba la recirculación desde la entrada del motor. Se decidió que este tipo de recirculación iba a ser la seleccionada pero requería mejoras en la distribución de aire.

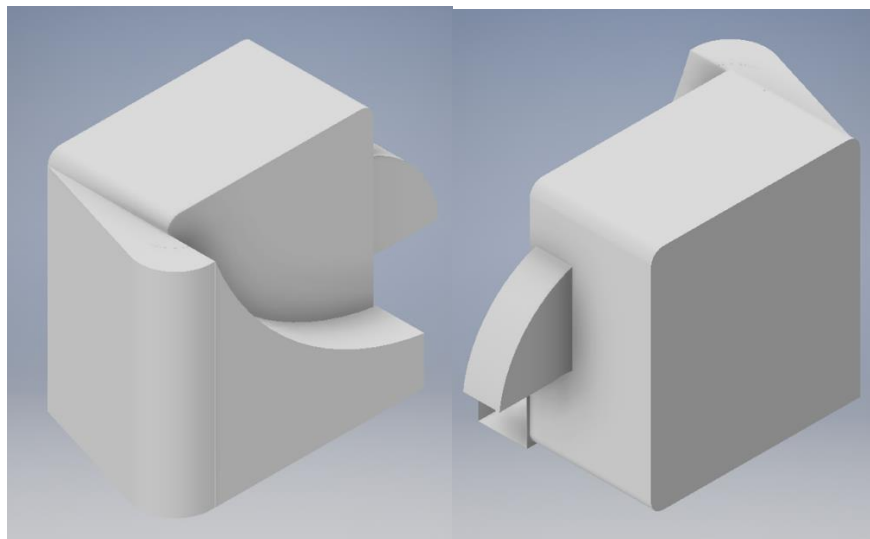
Ilustración 108: Tercera revisión de diseño



Fuente: Polanco, 2019

Cuarta revisión: Este fue el diseño final en el que se incluía la recirculación parcial, tomando en cuenta el comportamiento del grano en cuanto la pérdida de humedad para implementar la recirculación cuando fuera conveniente.

Ilustración 109: Cuarta revisión de diseño



Fuente: Polanco, 2019

Ilustración 110: Mecanismo interno de recirculación



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 111: Recirculación instalada



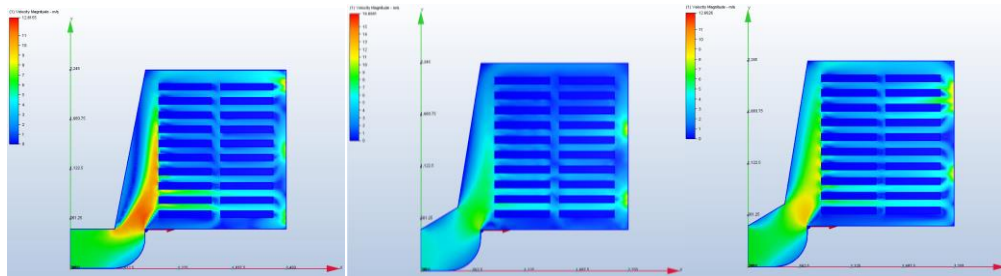
Fuente: Elaboración propia

## 2. ANÁLISIS DEL REQUERIMIENTO FF-01

El requerimiento tiene como objetivo que el secado sea lo más homogéneo posible en el secador. Se busca que el secado sea de esta manera para que sea uniforme en todas las bandejas y así evitar la rotación y maniobra del cardamomo durante el secado. Este requerimiento va mucho de la mano del diseño del secador ya que se cambian las geometrías para mejorar el secado.

Primer análisis: Se evaluó la primera geometría propuesta con diferentes variantes. Esta geometría lograba bastante la distribución, pero la entrada de aire generaba complicaciones para la fabricación.

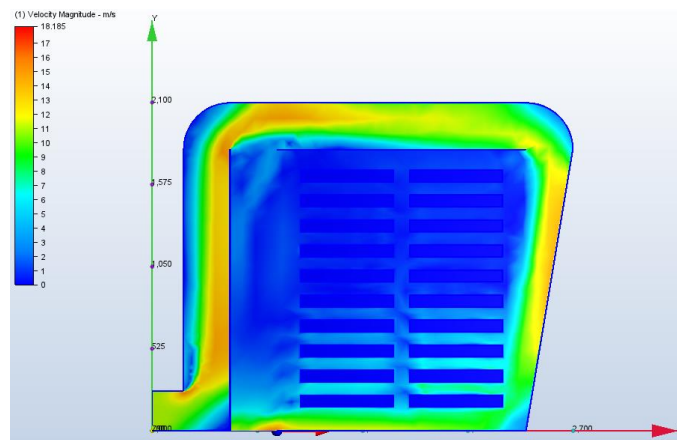
Ilustración 112: Primera iteración de distribución de flujo



Fuente: Polanco, 2019

Segundo análisis: Este diseño fue el primero que contemplaba la recirculación parcial y se corrigió el inconveniente de la geometría de entrada a la recámara del secado. Sin embargo, el aire no se distribuía correctamente en las bandejas.

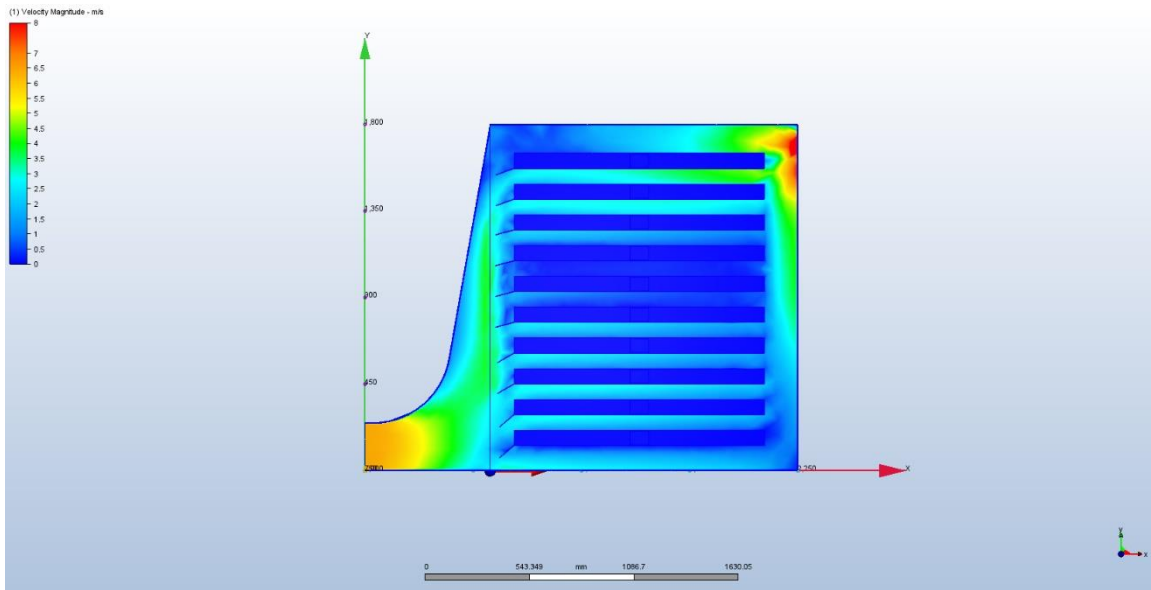
Ilustración 113: Segunda iteración de distribución de flujo



Fuente: Polanco, 2019

Tercer análisis: Se pensó en una rampa para la distribución del aire. Pero tenía una tendencia a que las bandejas superiores recibieran más flujo que las medias e inferiores.

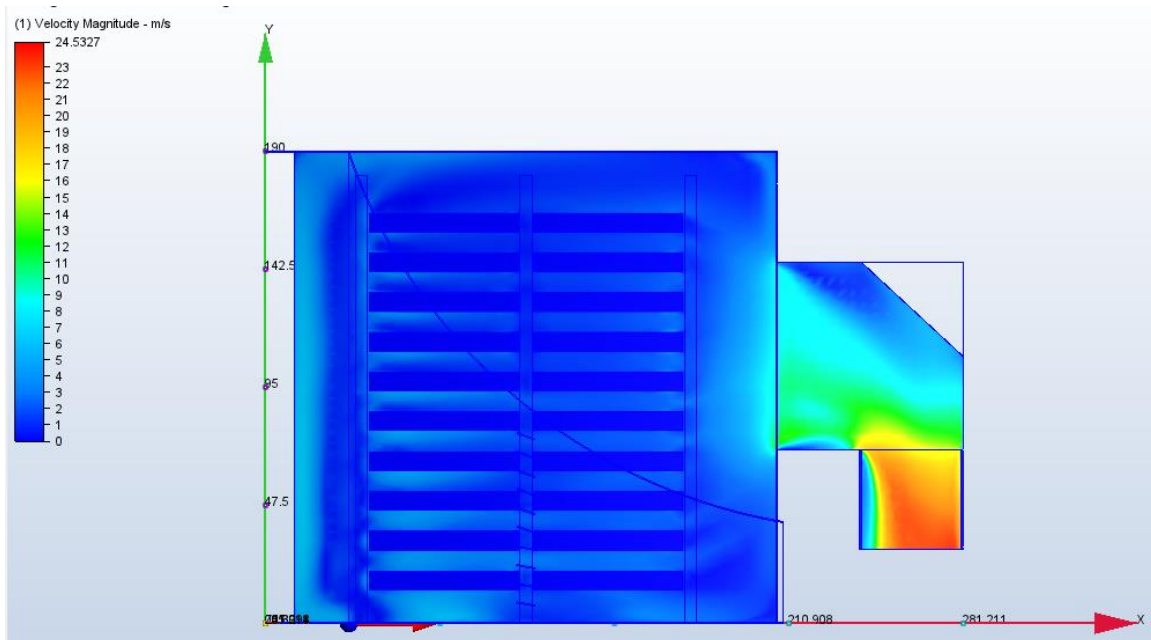
Ilustración 114: Tercera iteración de distribución de flujo



Fuente: Polanco, 2019

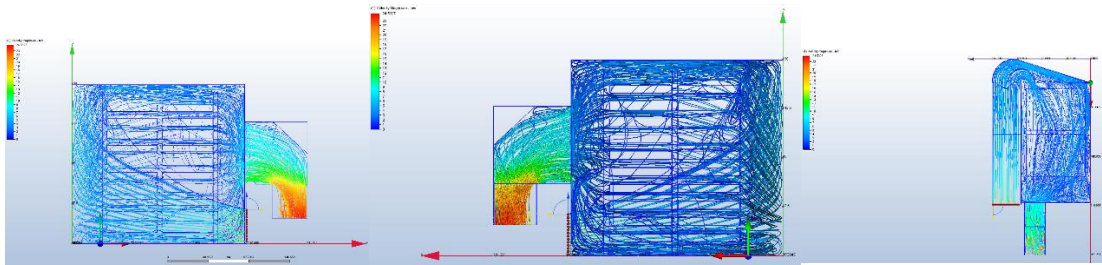
Cuarta revisión: Esta fue la geometría definitiva. Según el análisis CFD se lograba una distribución homogénea a lo largo de todas las bandejas.

Ilustración 115: Cuarta iteración de distribución de flujo



Fuente: Polanco, 2019

Ilustración 116: Flujo vectorial de distribución de flujo diseño final



Fuente: Polanco, 2019

### 3. PRUEBAS DEL REQUERIMIENTO OPCV-01

Este requerimiento era necesario ya que la existencia de las vibraciones afecta la vida útil de todos los componentes a los que se les transmitan las mismas. Este requerimiento solo se podía verificar hasta hacerse las pruebas del módulo de potencia.

Prueba del requerimiento: Se probó el secador con todos los componentes acoplados del módulo de potencia. El motor estaba debidamente acoplado a la estructura utilizando unos amortiguadores como aislantes de vibración como se muestra en la Ilustración 117. También en la fase de diseño se contempló tornillos de ajuste fino para que la faja se pudiera tensar correctamente.

Ilustración 117: Módulo de potencia correctamente acoplado



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 118: Motor aislado de vibraciones y tornillos de ajuste fino



Fuente: Elaboración propia

#### D. MATRIZ DE RIESGO

Después de haber clasificado los riesgos según su probabilidad y su consecuencia se procedió a ingresarlo en la tabla de clasificación por color de semáforo con sus respectivos códigos conforme al riesgo asignados como se puede ver en la metodología. Al haber terminado el proyecto esta tabla se consolidó como se muestra en la Ilustración 119.

Ilustración 119: Matriz de verificación y validación según la probabilidad y la consecuencia.

Probabilidad	5					
	4				E-03, FT-04, SI-08	SI-04, FT-05
	3				FT-02, FT-03, PC-02, SI-07, V-01	PC-01, FT-01, SI-06
	2			SI-03	SI-02, SI-05	E-01, SI-01
	1			E-02		
		1	2	3	4	5
		Consecuencia				

Criticalidad	Alta	
	Mediana	
	Baja	

Fuente: Elaboración propia

Para cada riesgo identificado se pensó en un plan de mitigación. Estos planes de mitigación se realizaron pensando en las posibles soluciones para los mismos. Para los riesgos que se debió ejecutar alguna mitigación se colocó la actividad realizada. Para ver todos los planes de mitigación vea el anexo C.

## E. RESULTADOS DE FLUJO DE AIRE

Para obtener el flujo de aire generado por el ventilador se midió la velocidad del flujo de aire a través de un anemómetro. Este se colocó en distintos puntos de la salida del difusor pequeño que se encuentra sujeto directamente al ventilador. Y al conocerse el área de la sección por la cual circula el aire, se obtuvieron los datos para el caudal de aire.

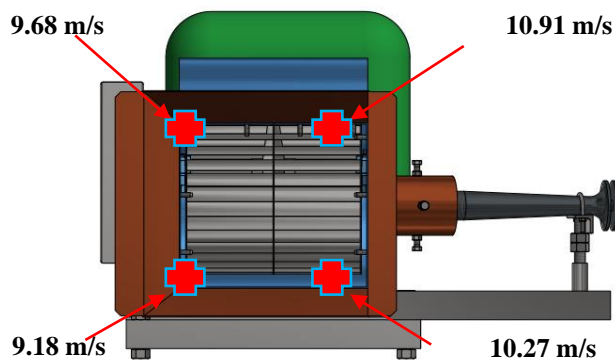
Ilustración 120 Lecturas del anemómetro en la salida de difusor



Fuente: Elaboración propia

En la Ilustración 121, se muestran las velocidades promedio del flujo de aire en 4 puntos de la salida del difusor del ventilador centrífugo, en el cual la sección cuadrada es de 0.4 m x 0.395 m.

Ilustración 121 Velocidad de flujo en el difusor

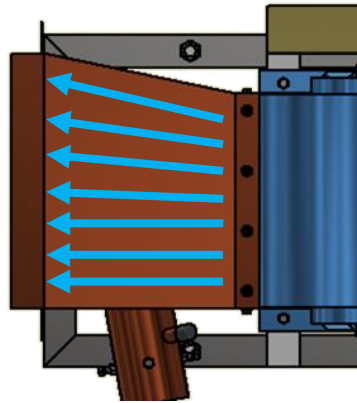


Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la Ilustración 121, el flujo de aire en los puntos superiores posee ligeramente una mayor magnitud. Esto en gran medida es producido por el sentido del movimiento rotacional del ventilador. Ya que, en la salida del mismo, el movimiento de los álabes es de abajo hacia arriba. Por lo cual la dirección de

flujo tiende ligeramente a aumentar en la parte superior. Y, por otra parte, también se observó, tomando de nuevo la Ilustración 121 como referencia, que la región derecha del difusor fluye a una magnitud ligeramente superior a la región izquierda de la salida del difusor. Esto se produjo debido a que en la región izquierda el fluido se debe expandir hacia afuera, en tanto que en la región derecha el fluido puede continuar la dirección recta de que posee el flujo al salir del ventilador. Para ilustrar dicho fenómeno, se presenta la Ilustración 122.

Ilustración 122 Apertura de flujo en difusor

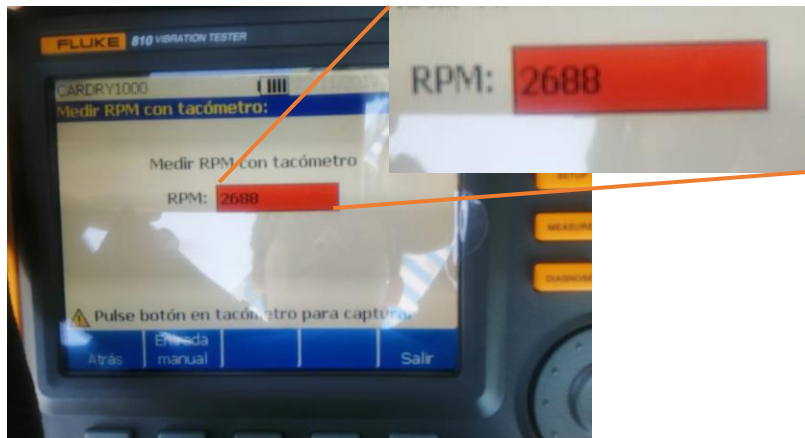


Fuente: Elaboración propia

Con la velocidad del flujo se puede determinar el caudal de aire. Para lo cual, se requiere el área de la sección, en la cual se realizó la medida con anemómetro, y la velocidad. Para determinar ambas variables, se tiene que la sección interna de la salida del difusor es de 0.395 metros por 0.40 metros,  $0.158 \text{ m}^2$  de área, y que la velocidad promedio del flujo de aire es de  $10.01 \text{ m/s}$ . Sabiendo que el caudal es el producto del área por la velocidad, se tiene como resultado que el caudal de aire es de  $1.582 \text{ m}^3/\text{s}$ . Por tanto, el valor del caudal se encuentra  $0.33 \text{ m}^3/\text{s}$ , o 26.6%, por encima del flujo especificado como requerimiento, por lo cual se cumplió con dicho requerimiento.

También se hizo una medición de la velocidad angular del eje del motor para garantizar que el eje del ventilador rote a la velocidad especificada por el fabricante para entregar el flujo de aire necesario en el sistema. Para esta medición se utilizó el tacómetro del instrumento analizador de vibraciones Fluke 810.

Ilustración 123 Medición de velocidad angular en eje del motor



Fuente: Elaboración propia

## F. CALEFACCIÓN DE AIRE

La llama del quemador de gas, proveniente desde la cara lateral del difusor no se apagó durante las 25 horas de la prueba de secado. La coloración de la llama fue todo el tiempo de un tono azul y esta, en ningún momento retrocedió por el ducto de combustión de gas. Se observó un fuerte calentamiento de la superficie del difusor, la cual se encontraba expuesta a la llama en la parte interna del mismo, cambiando el color de la pintura de alta temperatura e incluso desprendiendo la misma en muy pequeñas áreas, lo cual comenzó a suceder pasada la primera hora de secado, posteriormente no se observaron cambios significativos. La estructura del difusor mantuvo su forma más no su apariencia. Durante el secado el impeler no presentó elevación de temperatura considerable, a pesar de la cercanía del quemador. Luego de una inspección, al concluir el período de secado, el impeler no presentó ninguna deformación o daño.

Ilustración 124 Llama del quemador expuesta al flujo de aire



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 125 Coloración de superficie cercana al quemador



Fuente: Elaboración propia

La temperatura trabajada en la salida del flujo de aire varió desde los 50 hasta los 85 grados Celsius, y la temperatura en la recámara de secado varió desde los 45 hasta los 75 grados Celsius. El regulador de presión, del flujo de gas, permitió con facilidad y precisión el ajuste de la temperatura del aire. Y el proceso de ignición de llama se realizó repetidas veces con facilidad por medio de un encendedor o mechero de gas.

Ilustración 126 Temperatura mas alta registrada en la recámara de secado



Fuente: Elaboración propia

El calentamiento de la lámina calibre 16 del difusor al deteriorar la pintura demostró que la superficie de la misma se encontraba a una temperatura superior a 200 grados centígrados ya que esta es la temperatura soportada por la pintura de alta temperatura utilizada. Con este resultado, es importante recalcar que pesar que se indica el uso de guantes de seguridad para realizar la ignición del quemador, se debe señalar el área caliente de la lámina para evitar accidentes por quemaduras.

## G. AISLAMIENTO Y REDUCCIÓN DE VIBRACIONES MECÁNICAS

Se realizó el montaje de la unidad de potencia sin la implementación de cargadores de caucho o algún elemento para la reducción de vibraciones mecánicas. Con lo cual, se observó como la unidad de potencia junto con la estructura, se desplazaron sobre el suelo de concreto. Posteriormente, se realizó la instalación de los cargadores de caucho en los 4 puntos de apoyo del motor, y con ello se observó como el montaje conservó su posición sobre el suelo y como se redujeron la oscilación sobre la banda V de transmisión de potencia. Luego

de la instalación del mecanismo de tensión de faja, se observó un ligero aumento en las vibraciones de la estructura de montaje, sin embargo, no lo suficiente para desplazar la base y motor de su posición inicial.

La estructura parte soportó correctamente las cargas estáticas ya que no se observó ningún tipo de deformación que fuera considerable o que afectara el funcionamiento del sistema. Y durante la operación del motor se observó una reducción significativa de vibraciones mecánicas en la estructura, al tener acoplados los elementos de amortiguación de caucho. La estructura mantiene su posición, sin embargo, existe aun vibración que muy posiblemente sea transmitida a través del mecanismo de tensión. Ya que en este existe una interfaz rígida que une el motor con la estructura del sistema de potencia, lo cual es una potencial oportunidad de mejora. Y durante las 25 horas de operación no se presentó comportamiento alguno en la estructura que indicara que la misma estuviera vibrando cerca de alguna de sus frecuencias naturales.



## VIII. CONCLUSIONES

### A. INGENIERÍA EN SISTEMAS

1. El cronograma de trabajo, ver Ilustraciones No. 3, No. 4 y No.5, se hizo lo posible por cumplirlo en su totalidad. Todas las actividades que por diversas razones no se pudieron cumplir en el tiempo estipulado fueron reprogramadas (observar Tabla 30). A causa de esto se trabajó de forma dinámica, adelantando o posponiendo actividades para afectar lo menos posible la fecha de entrega del proyecto.
2. Se elaboró un manual, en el cual se incluye los requisitos de seguridad para el manejo del secador, explicación de su funcionamiento, soluciones a posibles fallos, descripción breve de sus partes y se agregaron imágenes para facilitar la comprensión de las instrucciones. Se entregará una copia digital y una impresa a los dueños del proyecto.
3. El equipo de seguridad necesario para la operación del secador según la literatura citada es el uso obligatorio de tapones de oído, guantes de seguridad para manipulación de las bandejas, lentes protectores (cuando se manipula el cardamomo seco) y por último se recomienda el uso de botas de punta de acero mientras se manipula el cardamomo en las bandejas.
4. Se realizó la proyección de las ganancias asumiendo la cantidad de secado de cardamomo que se iba obtener, asumiendo que la cantidad y calidad del secado eran las mismas en todos los meses, en esta proyección se determinó que las ganancias se comenzarían a percibir a los 3 meses de tener el secador funcionando. El costo total del secador fue de Q. 42,446.
5. La elaboración de matriz de riesgo fue de utilidad a lo largo del proyecto, sin embargo, muchas cosas no suceden como se espera aún imaginándose los peores escenarios. Con la matriz de riesgos se logró identificar los posibles puntos débiles del proyecto y tener planes en caso algo pudiera salir mal. A lo largo del proyecto existen muchos imprevistos que a veces está fuera de las manos, pero siempre existen opciones para compensar y reducir el impacto que pueda tener una falla y para esto fue de utilidad esta matriz.

### B. SISTEMA DE POTENCIA

1. Para el sistema de potencia se implementó un motor Diesel de 5 caballos, que transmite su potencia por medio de una banda AX69 y poleas de 3 y 6 pulgadas que hacen girar un ventilador centrífugo a aproximadamente 1 340 rpm.
2. Se diseñó con éxito un mecanismo de adición de calor en el interior del ducto de flujo, el cual trabajó de forma continua durante 25 horas sin extinguir su llama ante la presencia del flujo de aire.
3. Se garantizó la seguridad del operador en el funcionamiento del sistema de transmisión de potencia por medio de la construcción de una guarda de seguridad, que protege al operador del contacto con elementos móviles.
4. Se seleccionó una unidad de potencia a base de combustible Diesel, de 5 caballos, evaluada bajo criterios de seguridad, rentabilidad y efectividad en su operación

5. Se diseñó y construyó un sistema de ventilación de aire caliente a través de un ventilador centrífugo de doble entrada con capacidad de entregar un caudal máximo de  $1.58 \text{ m}^3/\text{s}$ .
6. Se construyó de forma efectiva una estructura móvil capaz de reducir las vibraciones mecánicas transmitidas desde un motor Diesel de 5 caballos de potencia al resto de elementos del sistema de potencia y equipo de ventilación, a través de la implementación de cargadores de caucho en la base del motor.
7. Se implementó un circuito de control y combustión de gas, con la capacidad de elevar la temperatura un flujo de aire de  $1.25 \text{ m}^3/\text{s}$  en un rango de 40 grados centígrados hasta temperaturas superiores a 85 grados centígrados.
8. Se ensambló e integró un circuito de gas capaz de realizar una combustión de gas eficiente y segura, a través de elementos de control y seguridad, para el manejo de gas.
9. Se construyó una estructura capaz de soportar las cargas estáticas de los elementos mecánicos de un sistema de transmisión y generación de potencia, luego de realizar un análisis de elementos finitos y obtener un factor de seguridad de 8.94.
10. Se establecieron los procedimientos y tareas para garantizar la correcta operación del sistema de transmisión de potencia.

## **IX. RECOMEDACIONES**

### **A. INGENIERÍA EN SISTEMAS**

1. Para personas que vayan a realizar proyectos que complementen a este, se recomienda realizar una investigación exhaustiva sobre el grano y todas sus características, ya que esto es muy determinante para obtener la mejor calidad del producto final en el proceso de secado.
2. Ya que se realizaron proyecciones de las ganancias proporcionadas por el secador, se recomienda realizar un análisis financiero en base a los ingresos reales del secador. Así se podrá saber rentabilidad verdadera del mismo.
3. Debido a que el grano del cardamomo tiene un alto potencial de mejoras en todo su proceso, se recomienda seguir con la investigación ya que esto puede generar un gran impacto positivo en el desarrollo del país.
4. El secador fue hecho a base de gas propano y un motor de combustión. Se recomienda que si se tiene acceso a electricidad, que se utilice un motor eléctrico para impulsar el ventilador y para la fuente de calor utilizar resistencias. Esto también para poder implementar controladores eléctricos que harían el secador más simple, eficiente y mejor.
5. Si se desea reducir los costos de fabricación, se recomienda utilizar otro material que no sea acero inoxidable para las bandejas, ya que este es un producto bastante caro en comparación de otras alternativas en el mercado.

### **B. SISTEMA DE POTENCIA**

1. Debido a la posición del quemador se observó una elevación de temperatura bastante alta que calienta la lámina del difusor, por lo que se recomienda implementar una lámina de mayor calibre para el difusor y un material aislante en la superficie externa ya que desde esta se irradia calor al exterior, el cual se pierde del sistema.
2. Estudiar alternativas para tensión del motor que permitan aislar por completo las vibraciones horizontales generadas por dicha unidad potencia.
3. Estudiar a profundidad la integración o modificación de motores de combustión interna, para trabajar con gas propano, asegurando la capacidad de entrega de potencia a la unidad de ventilación.
4. Analizar alternativas para implementar un sistema de control de temperatura necesidad requerir de energía eléctrica.
5. Analizar la implementación de un quemador de alta presión lineal, de forma que se pueda obtener una combustión más eficiente de gas.
6. Trabajar un diseño capaz de derivar de aire proveniente de la unidad de ventilación, para inyectar aire a un quemador de aire inducido, y mejorar la eficiencia de combustión de gas.

7. Mejorar la implementación de un mecanismo o sistema de reducción y/o aislamiento de vibraciones mecánicas provenientes de la unidad de potencia.
8. Proponer un diseño de ventilador centrífugo de fácil fabricación para operar una unidad de ventilación que sea capaz de entregar el flujo y presión requerida para el secado de granos de cardamomo.

## X. BIBLIOGRAFÍA

- AGEXPORT. (20 de Junio de 2019). *Acerca del Cardamomo*. Obtenido de Agexport Cardamomo: <http://cardamomo.gt/index.php/acerca-de/>
- Aguilar, C. (2016). *Consumo de leña en el proceso de secado de cardamomo*. Guatemala.
- Bin Zakaria, Z., Mustafa, A., & Mat, H. (2006). *HEAT AND MASS TRANSFER STUDIES IN LIQUEFIED PETROLEUM GAS STORAGE OPERATIONS*. Skudai: Universiti Teknologi Malaysia.
- Brumbaugh, K., & y E. Lightsey. (2013). *Aplication of risk Management to University CubeSat Missions*. Austin, Texas.
- Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2012). *Diseño en ingniería mecánica de Shigley* (9na ed.). Mc Graw Hill.
- Cegel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2011). *Transferencia de calor y masa, fundamentos y aplicaciones*. México, D.F.: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Comisión Europea. (15 de Julio de 2019). *Estándares Europeos*. Obtenido de <https://ec.europa.eu>
- Dryden, I. (1982). *The Efficient Use of Energy* (2da ed.). Butterworth-Heinemann.
- FAO. (2013). Código de prácticas para prevenir y reducir la contaminación del cacao por ocratozina A. doi:CAC/RCP 72-2013
- FAO. (11 de julio de 2019). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Obtenido de Conjunto de Herramientas para la Gestión Forestal Sostenible (GFS): <http://www.fao.org/sustainable-forest-management/toolbox/modules/wood-energy/in-more-depth/es/>
- Gates. (2010). *Heavy Duty V-Belt Drive Design Manual*. Denver: Gates Corporation.
- HSE, H. a. (2015). *Personal Protective Equipment at Work*.
- INSIVUMEH . (2010). *INSIVUMEH* . Obtenido de <http://www.insivumeh.gob.gt/estaciones/ALTA%20VERAPAZ/Coban/Humedad%20Relativa%20COBAN.htm>
- INSST. (10 de agosto de 2019). *NTP 132: Válvulas antirretroceso de llama*. Obtenido de Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo I: [https://www.insst.es/documents/94886/326801/ntp\\_132.pdf/98555c6b-90a9-4c93-8988-430607908051](https://www.insst.es/documents/94886/326801/ntp_132.pdf/98555c6b-90a9-4c93-8988-430607908051)
- INSST, I. N. (1989). *Personal PRotective Equipment*.
- JAXA, A. E. (2015). *JEM Payload Accomodation Handbook*.
- Kossiakoff, A. S. (2011). *Systems Engineering Principles and Practice* (Vol. 83). John Wiley & Sons.

- Larson, W. J. (1999). *Spacecraft Subsystems. Space Mission, Analysis, and Design*. El Segundo, California: Kluwer Academic Publishers.
- Ligorria, M. (2005). *Programa de Comercialización de los Productores de Cardamomo del Municipio de Panzos A. V. que Sirva de Elite para la Productividad*. Tesis Lic. En Admin. de Empresas, Guatemala, Guatemala.
- MAGA. (2014). *Perfil Comercial Cardamomo*. Guatemala. Obtenido de Ministerio de Agricultura y Ganadería.
- Mazariegos, M. (2006). *Diagnóstico socioeconómico, potencialidades productivas y propuestas de inversión. "Organización empresarial (producción de cardamomo)" municipio de Chisec departamento de Alta Verapaz*. Guatemala, Guatemala: USAC.
- Ministerio de Energía y Minas. (Noviembre de 2018). *Política Energética 2019-2050*. Guatemala, Guatemala.
- Ministerio de Energía y Minas. (20 de abril de 2019). *Precios Combustible Nacionales*. Obtenido de MEM: <http://www.mem.gob.gt/hidrocarburos/precios-combustible-nacionales/>
- Nagpurwala, Q. H. (12 de septiembre de 2019). *Fans and Blowers*. Obtenido de Ramaiah School of Advanced Studies: <http://164.100.133.129:81/econtent/Uploads/06a-PT11-Fans%20and%20Blowers%20%5BCompatibility%20Mode%5D.pdf>
- NASA. (2007). *NASA Systems Engineering Handbook*. Washington D.C.: NASA.
- ODESIE. (2 de septiembre de 2019). *BELT DRIVES*. Obtenido de ODESIE Technology Transfer Services: <https://www.myodesie.com/wiki/index/returnEntry/id/3065>
- OEM Boiler Parts. (2014). *Burner Manual for Gas and Pressure Atomizing Light Oil Fuel Systems*. Tulsa: John Zink.
- Polanco, M. (2019). *Diseño e Implementación de un Sistema de Calefacción y Ventilación de un Secador Tecnificado de Cardamomo*.
- Ponte, J. J. (2009). *Conversión de las calderas de pretoleo R-500 a gas natural en una planta textil*. Lima, Perú.
- Professional, M. (21 de Julio de 2019). *Selección de Guantes Térmicos*. Obtenido de [http://www.mapa-pro.es/fileadmin/user\\_upload/GUIA\\_DE\\_SELECCION\\_GUANTES\\_TERMICOS.pdf](http://www.mapa-pro.es/fileadmin/user_upload/GUIA_DE_SELECCION_GUANTES_TERMICOS.pdf)
- Rao, S. S. (2010). *Vibraciones Mecánicas*. Pearson Education, Inc.
- Rosa Bolaños. (15 de Junio de 2017). *Leña cubre 55% del consumo energético del país*. Obtenido de Prensa Libre: <https://www.prensalibre.com/economia/lea-cubre-55-del-consumo-de-energia/>
- Wellmann, W. L. (2015). *ESTUDIO PARA MEJORAR EL DISEÑO DE SECADORAS*. Guatemala.
- Y, C., & J, C. (2006). *Mecánica de Fluidos - Fundamentos y Aplicaciones*. McGRAW HILL.

## XI. ANEXOS

### A. PLANES DE MITIGACIÓN DE LOS RIESGOS

Código	Explicación de mitigación	Mitigación
<b>E-01</b>	Se realizaron iteraciones de diseño. Ya que el secador debía ser modular para el transporte, esto permitía que se pudieran modificar los módulos sin afectar demasiado a otros módulos. Los cambios se hicieron con la mejor conveniencia posible para no afectar costos reducir el impacto en tiempo lo mayor posible.	M, E
<b>E-02</b>	Si en caso fuese a suceder, reforzar con métodos de sujeción según requiera.	M, E
<b>E-03</b>	Para esto fue conveniente que el secador tuviera módulos para el transporte como se mencionó en E-01. Se hicieron adaptaciones según surgían imprevistos.	M, E, A
<b>FT-01</b>	Se dimensionó el ventilador y el motor ligeramente superior a lo requerido. Si llegase a ocurrir, se deben hacer adaptaciones.	M, E
<b>FT-02</b>	Para esto el quemador de gas debe ser graduable para la temperatura del aire.	M, E
<b>FT-03</b>	Para esto se implementaron paletas con ángulo modificable en el difusor por si era requerido redireccionar el aire.	M, E, A
<b>FT-04</b>	Ya que esto es importante y no se puede hacer mucho se decide aceptar el riesgo y realizar las corridas con el mayor tiempo de anticipación posible.	C, A
<b>FT-05</b>	Este va en conjunto con la mitigación de los códigos FT-03 y el FT-01.	C
<b>PC-01</b>	Se verificará la relación de las poleas y las rpms del motor. Se corrigió el tamaño de la polea y se aceleró el motor.	M, E
<b>PC-02</b>	Se verificará la relación de las poleas y las rpms del motor. Se corrigió el tamaño de la polea y se aceleró el motor.	M, E
<b>SI-01</b>	Se deben rediseñar y ajustar a lo que ya se tiene. Se deben hacer modificaciones. Pero para no llegar a este punto se evaluó bien el diseño.	M
<b>SI-02</b>	Al momento de transportar el secador, se colocará un embalaje para su protección	C

Continuación de planes de mitigación de los riesgos

<b>Código</b>	<b>Explicación de mitigación</b>	<b>Mitigación</b>
<b>SI-03</b>	Se debe diseñar bien en módulos el secador. Si no se puede hacer así en algún módulo, debe ser capaz de al menos caber dentro de un pickup adicional.	C
<b>SI-04</b>	Si las compras se atrasan mucho, se prestará dinero y que después sea repuesto por la Universidad cuando ya den autorización del pago.	C, A
<b>SI-05</b>	Para los materiales muy específicos se buscarán al menos dos proveedores o alternativas distintas por si en caso alguna opción no cumpla.	C
<b>SI-06</b>	Dependiendo de la naturalidad del caso se deberá devolver, cambiar o adaptar el componente con falla. Se sugiere ser específico en las órdenes de compra y tenerlo todo por escrito.	M, E
<b>SI-07</b>	Agilizar el proceso de diseño para no afectar demasiado al cronograma.	C, A
<b>SI-08</b>	Se tiene como segunda opción trabajar en el taller de Marco Archila.	C, A
<b>V-01</b>	Se buscarán métodos para amortiguar las vibraciones.	C, A

## B. ACTIVIDADES DE VERIFICACIÓN

<b>Código</b>	<b>Actividad de verificación</b>	<b>Verificación</b>
<b>FTD-01</b>	Revisión de planos y diseños de Autodesk Inventor.	Revisión de Diseño (R)
<b>FTD-02</b>	Revisión de planos y diseño de Autodesk Inventor	Revisión de Diseño (R)
<b>FTD-03</b>	Revisión de planos y diseño de Autodesk Inventor y Análisis de CFD (Fluidos).	Revisión de Diseño (R)
<b>FPCV-01</b>	Revisión de diseño y fuente de calor para el secado. Se verificaron los cálculos para la selección de quemador.	Revisión de Diseño (R)
<b>FE-01</b>	Realizar un análisis ANSYS para determinar el factor de seguridad de la estructura del secador.	Análisis (A), Revisión de Diseño (R) y Prueba (P)
<b>FPCV-02</b>	Revisión de diseño. Se verificaron los cálculos para la determinación del motor requerido.	Revisión de Diseño (R)
<b>FF-01</b>	Se revisó CFD de análisis de fluidos con flujo de forma vectorial.	Análisis

Continuación de actividades de verificación

<b>Código</b>	<b>Requerimiento</b>	<b>Verificación</b>
<b>OIS-01</b>	Se verificó la presencia de fugas en las diferentes conexiones del sistema de gas y que las válvulas y acoples estuvieran en estado óptimo.	Revisión de Diseño (R)
<b>OTD-01</b>	Se verificó el diseño en el cual la cámara de secado es ajena a los gases de escape del motor.	Revisión de Diseño (R)
<b>OE-01</b>	Se verificó con el cálculo preliminar del peso con el grano húmedo y se pesó con el grano en una balanza digital.	Revisión de Diseño (R)
<b>OIS-02</b>	Se verificó que estuviera incluido en las indicaciones del manual.	Revisión de Diseño (R)
<b>OE-02</b>	Se revisaron los diseños y la implementación del mecanismo para recoger el Oro.	Revisión de Diseño (R)
<b>OIS-03</b>	Se verificó que estuviera incluido en las indicaciones del manual.	Revisión de Diseño (R)
<b>OPCV-01</b>	Se hizo prueba del motor instalado y se verificó que no afectara el funcionamiento del secador.	Prueba (P)
<b>OIS-04</b>	Se inspeccionó al haber terminado el secador.	Inspección (I)
<b>OE-03</b>	Se verificó que los materiales estuvieran debidamente pintados y que no tuvieran algún contacto con contaminantes el producto.	Revisión de Diseño (R)
<b>OTD-02</b>	Se verificó que sí podía ser manipulada por dos personas.	Prueba(P)

Continuación de actividades de verificación

<b>Código</b>	<b>Requerimiento</b>	<b>Verificación</b>
<b>LTD-01</b>	Durante el proceso de cotización y compras, se debía tener al menos tres proveedores por parte o componente a comprar.	Inspección (I)
<b>LE-01</b>	Durante la fabricación se verificó que no fuera tan compleja y así incluirla en el manual de fabricación.	Inspección(I)
<b>LTD-02</b>	Para las partes que tienen desgaste, se aseguró que se tenía disponibilidad de repuestos.	Inspección(I)
<b>LE-02</b>	Se verificó en planos y en el producto final.	Revisión de Diseño (R)
<b>LE-03</b>	Revisión de planos y verificación al transportar.	Revisión de Diseño (R)

### C. TABLA DE POSIBLES CAUSAS DE LOS RIESGOS

<b>Código</b>	<b>Causa</b>
<b>E-01</b>	La estructura no cumple con los requerimientos
<b>E-01</b>	La estructura no soporta las cargas
<b>E-01</b>	La estructura no se puede transportar en el pickup
<b>E-01</b>	Los materiales no cumplen los requerimientos alimenticios
<b>E-02</b>	No se realizó una buena soldadura
<b>E-02</b>	No se colocaron bien los tornillos/tuercas
<b>E-03</b>	No se hicieron correctamente los diseños
<b>E-03</b>	Geometrías demasiado complejas de realizar
<b>E-03</b>	Falta de recursos
<b>FT-01</b>	El motor no entrega la suficiente potencia
<b>FT-01</b>	El ventilador no genera el flujo requerido
<b>FT-01</b>	El quemador no genera la temperatura requerida
<b>FT-02</b>	La llama del quemador es demasiado caliente
<b>FT-02</b>	No está bien calibrada la temperatura
<b>FT-02</b>	El flujo de aire es muy alto
<b>FT-03</b>	El análisis CFD está mal hecho
<b>FT-03</b>	Los ductos de aire no dirigen correctamente el aire
<b>FT-03</b>	El motor no entrega la suficiente potencia
<b>FT-03</b>	El ventilador no genera el flujo requerido
<b>FT-03</b>	Los ductos de aire están mal diseñados
<b>FT-04</b>	La computadora no tiene la potencia requerida
<b>FT-04</b>	El diseño es muy complejo
<b>FT-04</b>	Cambios de diseño o geometrías imprevistos
<b>FT-05</b>	El análisis CFD está mal hecho
<b>FT-05</b>	Los ductos de aire no dirigen correctamente el aire
<b>FT-05</b>	El motor no entrega la suficiente potencia
<b>FT-05</b>	El ventilador no genera el flujo requerido
<b>FT-05</b>	Los ductos de aire están mal diseñados
<b>PC-01</b>	No está a la velocidad adecuada
<b>PC-01</b>	No tiene combustible
<b>PC-01</b>	Está mal dimensionado
<b>PC-02</b>	El motor no entrega la suficiente potencia
<b>PC-02</b>	El ventilador está mal fabricado
<b>PC-02</b>	El ventilador está mal dimensionado
<b>SI-01</b>	Mala gestión de módulos
<b>SI-01</b>	Falta de comunicación
<b>SI-02</b>	Mal método de transporte
<b>SI-02</b>	Mala sujeción al transportar

Continuación de tabla de posibles causas de los riesgos

<b>Código</b>	<b>Causa</b>
<b>SI-02</b>	Accidente causado por el método de transporte
<b>SI-03</b>	Mala gestión de módulos
<b>SI-03</b>	Falta de comunicación
<b>SI-03</b>	Falta de verificación de requerimientos
<b>SI-04</b>	Mala gestión de tiempo
<b>SI-04</b>	El área de compras se demora
<b>SI-04</b>	Falta de decisión
<b>SI-05</b>	Mala gestión de tiempo
<b>SI-05</b>	Mala gestión de compras
<b>SI-06</b>	Falta de seguimiento
<b>SI-06</b>	Falta de comunicación
<b>SI-06</b>	Mala decisión de proveedor
<b>SI-07</b>	Malos análisis
<b>SI-07</b>	Falta de revisión de requerimientos
<b>SI-07</b>	Mal diseño
<b>SI-08</b>	Horario de clases de estudiantes
<b>SI-08</b>	Otros proyectos ocupan el taller
<b>SI-08</b>	Encargados del taller no disponibles
<b>V-01</b>	Mal aislamiento del motor
<b>V-01</b>	Desalineación del motor-ventilador
<b>V-01</b>	Mal dimensionamiento de faja
<b>V-01</b>	Mal ajustada la faja

## D. COSTOS DEL SECADOR

Producto	Utilidad	Establecimiento	Dirección establecimiento	Telefono	Orden de Compra No.	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
Fabricación de bandejas en lámina INOX de 2mm con perforaciones 6mm								
Es de los componentes principales para el secado. Aquí se coloca el cardamomo a secar y cumple con requerimientos alimenticios.								
REGO PUNTA POL CON TUERCA IZO.		TEIN S. A.			76052	20	Q. 780.00	Q. 15,600.00
REGULADOR REGO A.P. 597-FC 2045 3,500,000 BTU						1	Q. 40.00	Q. 40.00
CONECTOR MACHO 3/8 X 1/4		Representaciones	20 CALLE 23-70			1	Q. 350.00	Q. 350.00
MANGUERA FLEXIBLE PVIAGSA DE 5.00 MT		Guatemala Tecas E	ZONA 10	(502)23665347	76029	1	Q. 39.20	Q. 39.20
CONECTOR MACHO 3/8 X 1/2		Internacionales S. A.	GUATEMALA			1	Q. 110.00	Q. 110.00
LLAVE DE BOLA 1/2 ROSCADA IUSA						1	Q. 35.00	Q. 35.00
PIVESA QUEMADOR						1	Q. 150.00	Q. 150.00
						1	Q. 980.00	Q. 980.00
TURBINA DE BAJA PRESION: DIAMETRO 10 5/8 X 10 5/8 , CFM 2,840, PRESION 1.25 SP, RPM 1200, TAMAÑO 18 3/16 X 13 1/8 X 16 9/16, SALIDA 13 1/8X 10, EJE 1"								
Es el componente encargado de brindar el flujo de aire con el que se seca el cardamomo.								
		EDGAR AUGUSTO MARROQUIN LUNA	2 AVENIDA 23-46, ZONA 12		76786	1	Q. 4,000.00	Q. 4,000.00
MOTOR MARCA NIKOSKAR DE SHP COMBUSTION DIESEL, ARRANQUE MANUAL DE SIGUEÑA (MANIVELA)								
Este componente se utiliza para impulsar la turbina generadora de aire.								
		IMPORTADORA HIDRAULICA DUBON, S.A	2DA. CALLE 3-32 ZONA 9	(502)23829000	76743	1	Q. 4,500.00	Q. 4,500.00
LAMINA GALVANIZADA USA CAL2BRX8P								
Lamina para ductos.								
TUBO GALV. ESTRUCTURAL 2 X 2 CH18						5	Q. 050.68	Q. 253.40
PERFIL ANGULAR 2"x3/16"x6M						6	Q. 132.66	Q. 795.96
PERFIL ANGULAR 1 1/4"x3/16"x6M		Aceros de Guatemala S. A.	GUATEMALA	(502)23908813	76355	1	Q. 176.09	Q. 176.09
PERFIL HEMBRA 2"x3/16"x6M						8	Q. 107.59	Q. 860.72
PERFIL HEMBRA 2"x1/8"x6M						2	Q. 86.78	Q. 173.56
TUBO ESTRUCTURAL 2"x6M 1.5MM						2	Q. 59.81	Q. 119.62
						4	Q. 136.49	Q. 545.96
CUBIERTA C/24MTZ CON PANELES AISLADOS SUPERWALL DE 1.5" C/NUCLEO AISLANTE DE POLIURETANO, AMBAS CARAS CON LAMINA GALVANIZADA PRE_PINTADA AL HORNO BLANCO RAL 9010 CAL.26								
El aislante térmico permite que se conserve la temperatura generada dentro del secador.								
		APLYTEK, S.A.	CALZ. LA PAZ 7MA. CALLE 3-24, ZONA 18 INTERBODEGAS, OFIBODEGAS NO. 20	(502)23047700	76530	1	Q. 5,645.14	Q. 5,645.14
Gastos Varios								
Estos gastos o costos son todos aquellos que eran menores de Q. 1,000.00 que no requerían orden de compra para su ejecución. Se incluye material, equipo y algunas herramientas. Cosas como el gas, los tornillos, brocas, etc.								
					Caja chica	-	-	Q. 8,072.15
							<b>Total</b>	<b>Q. 42,446.80</b>

Con Iva

## E. MANUAL DE SEGURIDAD DE PRUEBAS

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería Mecánica



## Protocolo de pruebas y seguridad de secador tecnificado de cardamomo

Elaborado por:

Luken Lejarraga Gutiérrez - 15354

Guatemala, 2019

Para determinar el correcto funcionamiento del secador se realizarán diferentes pruebas, en el siguiente informe se detallará en qué consistirán las pruebas y sus respectivos procedimientos y medidas de seguridad para todas las personas involucradas en estas.

Antes de realizar cualquier prueba se le informará al encargado de seguridad (Nelson Aldana) para que se mantenga alerta en caso de cualquier emergencia, también se tendrá informado al profesor en turno encargado (Edgar, Gustavo o Carlos) del taller en el momento de las pruebas en caso sea necesario que se necesite su apoyo. También se contará con un botiquín equipado con utensilios de atención prehospitalaria en caso se llegaran a necesitar. También se contará con un extintor de polvo químico seco (ABC) por si existe algún conato de incendio causado por el gas, el motor o el producto dentro del secador.

Posterior a cada prueba se hará una inspección al secador para verificar el estado del mismo y que todos los componentes estén en donde deben de estar o que no presenten algún daño que pueda lastimar o perjudicar a cualquier persona.

### **Números de Emergencia**

Taller metalmecánica

44389331, Edgar, Gustavo o Carlos

Bomberos Municipales de Guatemala: 123

Bomberos Voluntarios: 122

#### Contactos de emergencia para Luken Lejarraga

Anabella de Lejarraga  
50619690

Seguro: Beneficencia Española (Hospital-El Pilar)  
Asociado No. 3629-03

#### Contactos de emergencia para Marco Archila

Verónica Sandoval  
5157-0883

#### Contactos de emergencia para Oscar Fuentes

Oscar Fuentes  
4532 6483

#### Contactos de emergencia para Moris Polanco

Milton Polanco  
4224 4883

#### Encargado de seguridad de UVG

Nelson Aldana  
2507-1500 Ext.21467

## Medidas generales de seguridad:

1. Se instaló el secador de cardamomo en un área bajo un toldo para que el secador no se moje o que sea dañado por la naturaleza.
2. El secador fue instalado en el parqueo No.1 de la universidad con señalización para que nadie ajeno al secador se acerque al mismo. Se adjunta una imagen de cómo fue colocado:



3. Se despejará el área de todo elemento que pueda servir como combustible para evitar conatos de incendio.
4. Se contará con un extintor tipo ABC de polvo químico seco por si llegara haber un conato de incendio.
5. Se verificará que todas las partes relacionadas con el gas propano estén correctamente ensambladas para evitar fugas de este.
6. Se verificará el correcto acoplamiento y sujeción de todos los componentes que puedan generar vibración (elementos rotativos como el ventilador y el motor).
  - a. Antes de hacer las pruebas se encenderá el motor y dejará correr por 1 minuto para verificar que nada vibre o se mueva de su lugar.
7. Durante las pruebas se deberá utilizar botas de punta de acero.
8. Las personas que tengan contacto con elementos calientes deben usar guantes de protección.
  - a. Bandejas
  - b. Difusor
9. Se colocarán rótulos de seguridad y obstáculos (cintas de seguridad amarillas) para que personas ajenas al proyecto no se acerquen al secador.

Cantidad	Material	Disponibilidad (✓)
2	Par de guantes de cuero o soldadura.	
5	Quintales de cardamomo o similar	
2	Tanques de gas propano	
1	Desarmador plano	
1	Llave 14	
1	Extintor ABC de polvo químico seco de 6 kg o superior	
1	Medidor de vibraciones	
1	Anemómetro	
1	Tacómetro y analizador de vibraciones	
3	Termómetros analógicos	
20	Loggers de temperatura y humedad	
1	Botiquín de primeros auxilios	

## Pruebas del motor, ventilador y flujo de aire

Medidas de seguridad:

1. Los estudiantes involucrados deberán utilizar botas de punta de acero, bata y lentes de protección.
2. Debe de haber un estudiante con el mismo equipo de protección mencionado anteriormente con el extintor listo.

Procedimiento

1. Se debe probar el motor antes de haberlo acoplado al ventilador
  - a. Para encender el motor se debe seguir los pasos estipulados a continuación:
    - i. Abrir la llave de paso de combustible.
    - ii. Enganche la palanca de descompresión como se muestra en las siguientes imágenes.

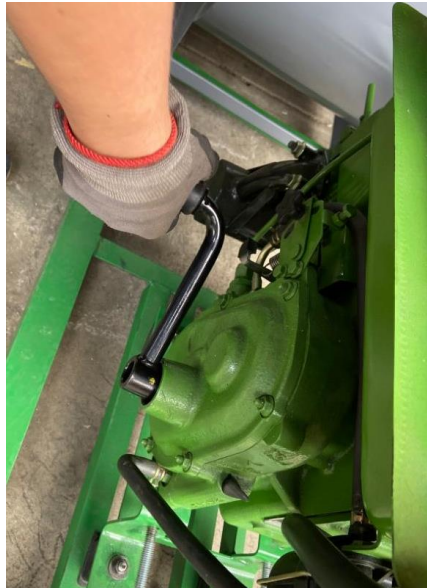


- iii. Retire el bloque de aire del sistema del combustible, aflojando la tubería de alta presión en el lado del inyector. Abrir la manija hasta que salga la burbuja de aire, luego re-apriete el tornillo.



- iv. Colocar el mando de velocidad en la máxima posición.

- v. Arrancar el motor agarrando con la mano derecha la manivela de arranque como se muestra en la imagen, hasta que se escuche un sonido de “parloteo” desde el inyector el cual indica que entró combustible en la cámara de combustión. Gradualmente mover la manivela con más velocidad. Cuando este en su máxima velocidad, destrabar la palanca de descompresión mientras sigue moviendo la manivela de arranque. Repetir cuantas veces sea necesario.



- vi. El motor debe encender.
  - vii. Para apagar el motor simplemente colocar el mando de velocidad en su posición más baja.
2. Se debe acoplar el motor al ventilador por medio de una faja, se tensará la misma por medio de unos tornillos para ajuste fino que tiene la montura del motor.
  3. Se prenderá el motor a una velocidad baja para verificar que esté correctamente acoplado por 1 minuto.
  4. Una vez verificado el acoplamiento se apagará el motor.
  5. Se procederá a poner el anemómetro en el punto de interés.
  6. Se prenderá el ventilador a velocidad de operación.
  7. Los puntos de interés son: Salida de ventilador, salida de rampa, entrada a bandeja y salida de bandeja. Se colocará el anemómetro cada dos bandejas al comienzo y al final. Para colocar o mover el anemómetro se debe repetir el paso 5, 6 y 7.
  8. En cada punto se debe de tomar los datos correspondientes.
  9. Realizar cambios si es necesario.
  10. Repetir pasos desde el paso 5.

# Pruebas del quemador

Medidas de seguridad:

1. El estudiante deberá utilizar botas de punta de acero, bata y lentes de protección.
2. Debe haber un estudiante con el mismo equipo de protección y el extintor listo en caso de cualquier percance.

Procedimiento

1. Se debe verificar que todo este acoplado correctamente antes de prender la llama. Para verificar esto, se deberá abrir la llave de paso del gas, se utilizará agua con jabón en todas las uniones. Si salen burbujas significa que hay fugas. Al terminar se debe cerrar la llave. En la siguiente imagen se muestra como se realiza la prueba:



2. Se colocará los termómetros y loggers en los puntos de interés (salida ventilador, entrada a bandejas y final de bandejas).
3. Se debe abrir la llave del gas.
4. Se encenderá la llama.
5. Se calibrará el tamaño de llama.
6. Se verificará que el quemador esté bien instalado en sus sujeciones y con la fibra de vidrio bien colocada para que no se regrese la llama. Se verificará a través de la ventana que se tiene en el difusor.
7. Se prenderá el ventilador a velocidad baja.
8. Se incrementará la velocidad del ventilador gradualmente para calibrar la llama simultáneamente.

## Pruebas de secado

Para las pruebas de secado, dependiendo de la disponibilidad del grano se harán las pruebas. Se hará una prueba con la mitad de la capacidad total del secador (por 16-20 horas). Siempre debe haber al menos dos personas supervisando el secador a lo largo de las pruebas, teniendo extinguidor ABC cerca por seguridad.

Para las pruebas se requieren aproximadamente 3 galones y medio para la prueba de 16-20 horas. Al motor Diesel le cabe un galón de combustible el cual está indicado a funcionar por 6 horas continuas. Para esto se tendrá un tanque de Diesel de 5 galones portátil y uno de un galón por si es necesario extra de combustible.

Ya que el motor no es capaz de realizar las corridas completas con un solo tanque, se debe echar combustible cada 5 horas y media para asegurar el funcionamiento continuo (se llenará prendido). Según las normas de seguridad de la OSHA, el Diesel clasifica como combustible no inflamable (a temperatura y presiones normales), no se requiere tomar precauciones adicionales para prevención de incendios. (OSHA, 2010)

Toda la información y datos de importancia para los resultados se llevarán en una hoja de cálculo, que les servirán al Sistema de Calefacción y Ventilación

Medidas de seguridad:

1. Los estudiantes involucrados deberán utilizar botas de punta de acero, bata, lentes de protección y tapones para oídos.
2. Debe de haber un estudiante con el mismo equipo de protección mencionado anteriormente con el extintor listo.

Procedimiento

1. Se debe probar el motor antes de haberlo acoplado al ventilador
2. Se debe acoplar el motor al ventilador verificando que los tornillos estén bien apretados
3. Se prenderá el motor a una velocidad baja para verificar que esté correctamente acoplado por un minuto.
4. Una vez verificado el acoplamiento se apagará el motor.
5. Se colocará el cardamomo o grano a fin en las bandejas de manera homogénea.
6. Se colocarán loggers en cada bandeja.
7. Se colocarán los termómetros en los puntos de interés.
8. Se procederá a poner el anemómetro en el punto de interés.
9. Se prenderá el quemador.
10. Se prenderá el ventilador gradualmente calibrando la llama.
11. Se prenderá el ventilador a velocidad de operación.
12. Se efectuarán las pruebas de secado, se estima que el tiempo de secado debe de ser de 26 horas aproximadamente.
13. Se debe monitorear el desarrollo del secado a lo largo del proceso, verificando el correcto funcionamiento de todos los componentes involucrados y aparatos de medición.
14. Se anotarán los resultados obtenidos.

## F. ELEMENTOS PARA EL CONTROL Y COMBUSTIÓN DE GAS PROPANO

Ilustración 127 Punta tuerca izquierda MOD 970



**970**

Fuente: REGO, 2018

Ilustración 128 Regulador de presión REGO 1-15 psi



Fuente: REGO, 2018

Ilustración 129 Manguera flexible de 5 metros con recubrimiento de acero inoxidable



Fuente: PYGASA, 2019

Ilustración 130 Manómetro Winters de 0 a 30 psi

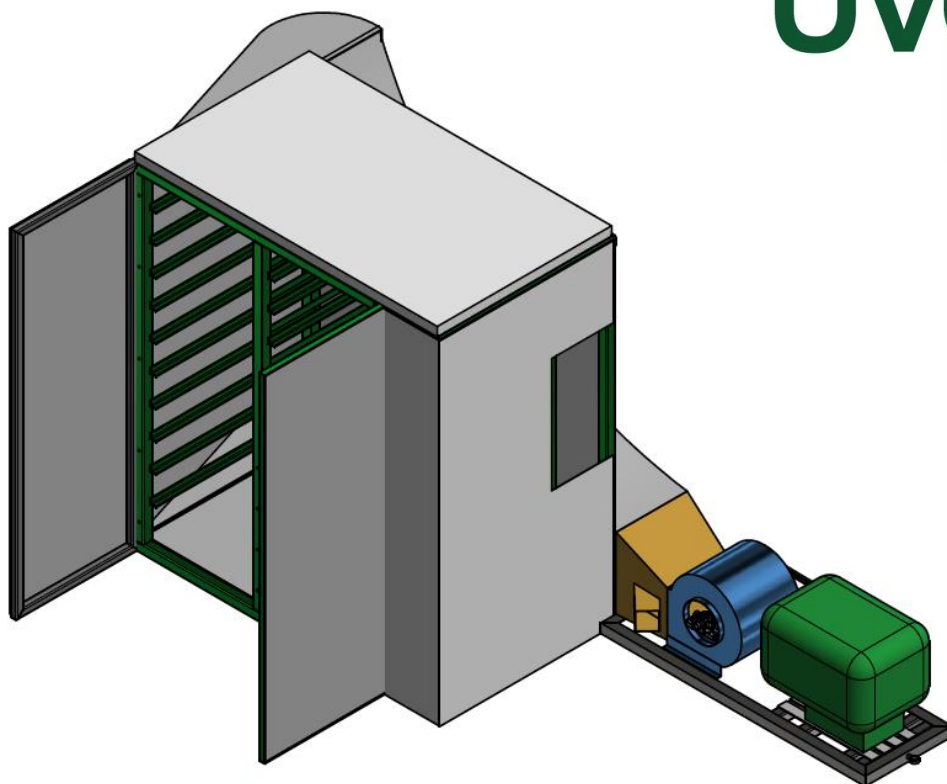


Fuente: Mainco, 2019



# Secador tecnificado de cardamomo

**UVG** | UNIVERSIDAD  
DEL VALLE  
DE GUATEMALA



## TABLA DE CONTENIDOS

Prefacio_____	3
Objetivos de este manual_____	3
Instalación_____	4
Partes del secador_____	5
Operación del secador_____	6
Normas de seguridad sara el usuario_____	6
Pictogramas_____	7
Antes de comenzar se debe de revisar_____	8
Colocación del cardamomo_____	9
Secado_____	10
Mantenimiento_____	21
Mantenimiento del motor_____	21
Mantenimiento sistema de gas_____	22
Mantenimiento ventilador_____	22
Solución de problemas_____	23

# PREFACIO

## OBJETIVOS DE ESTE MANUAL

Este manual tiene como objetivo asistir al proceso de instalación y operación del secador tecnificado de cardamomo, así como tener una guía para que el usuario pueda obtener el mayor provecho del secador y sacar el mejor producto posible.

La cámara de secado consta de 20 gavetas, cada una soporta un **máximo de 50 lbs** de cardamomo para secar, una entrada de aire y una salida de aire en la que en las primeras horas de secado sale el aire húmedo y posteriormente se recircula el aire. Las paredes de la cámara de secado son de material aislante térmico, con el fin de tener la menor cantidad de pérdidas de calor dentro de la cámara de secado.

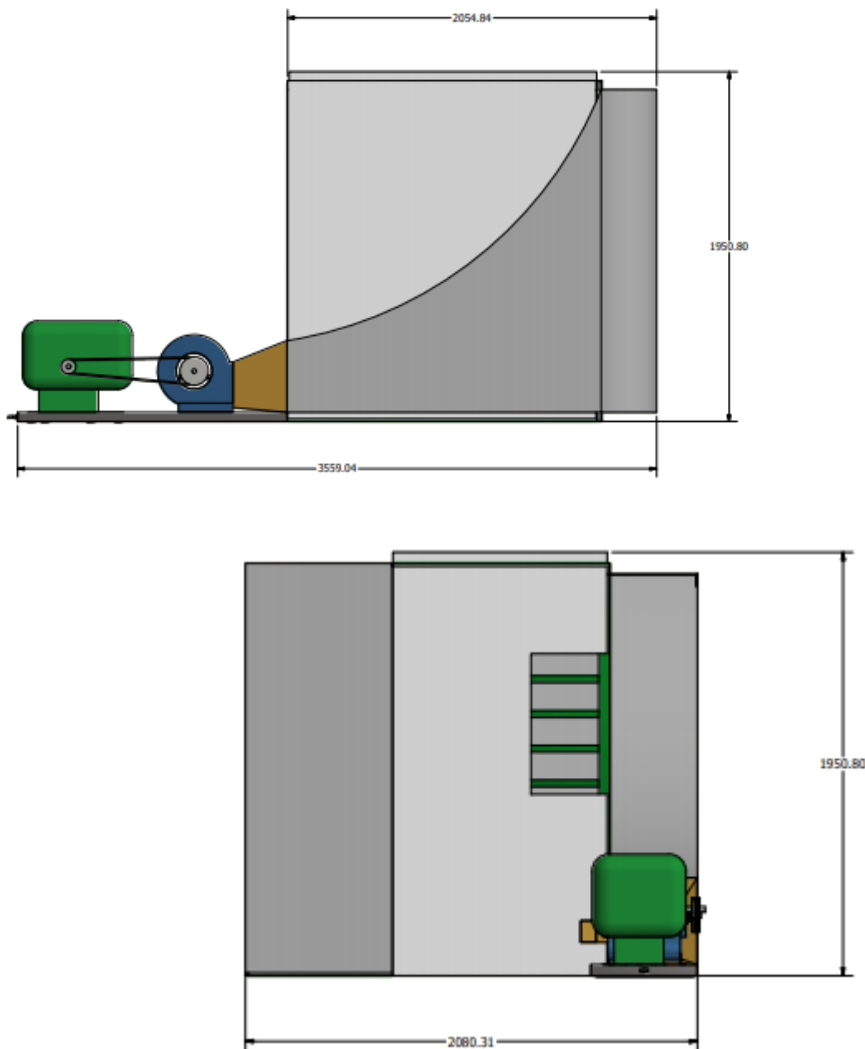
# INSTALACIÓN

## 1. Notas generales sobre el área de instalación

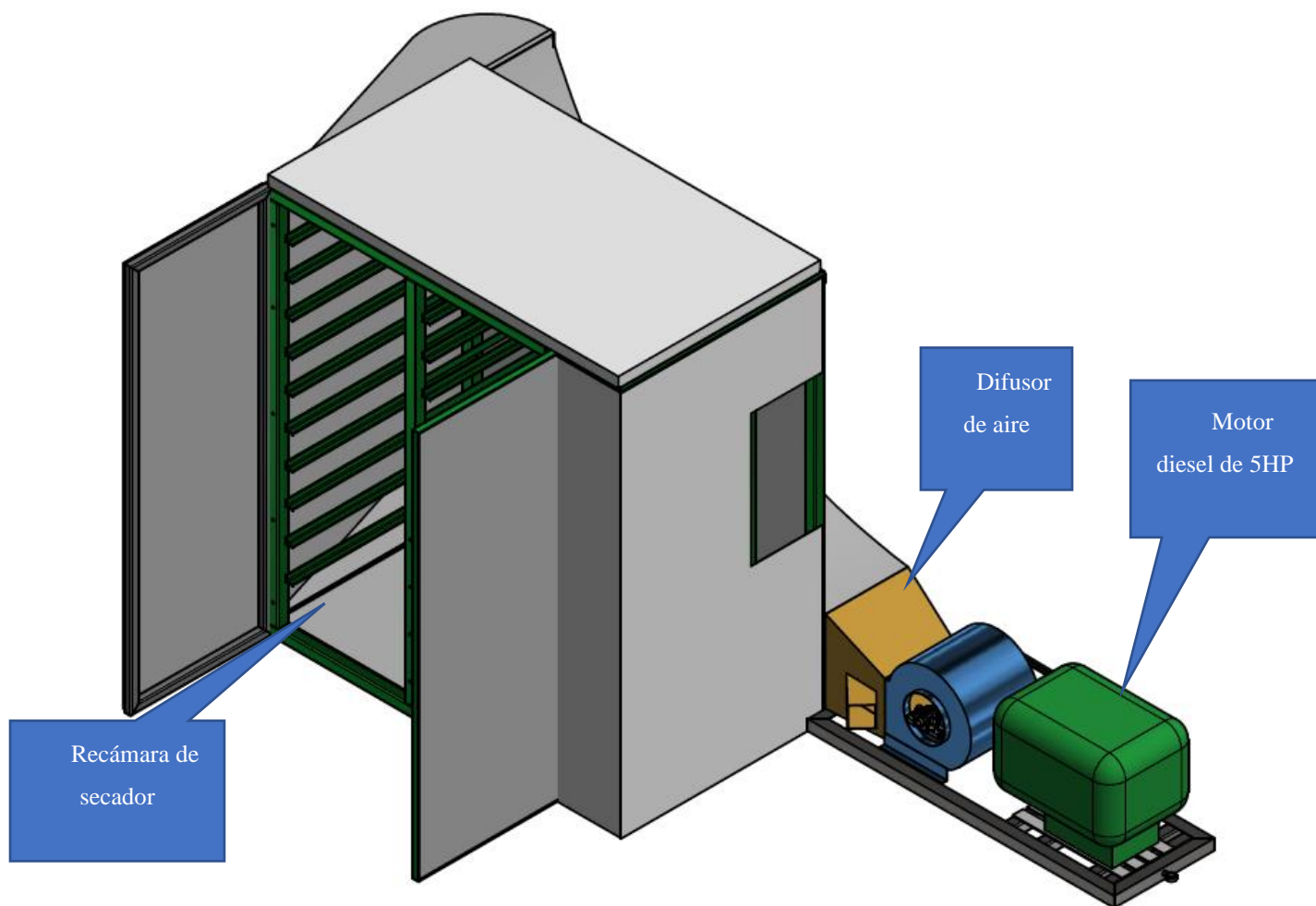
- El terreno debe de estar nivelado, plano y compacto.
- Se recomienda tener el secador bajo techo para evitar corrosión o deterioro causado por el ambiente.
- Se debe procurar mantener el área despejada de objetos u materiales combustibles para evitar accidentes o posibles causas de incendio.

## 2. Instalación del secador

El secador consta de 6 módulos los cuales se transportan por separado y se unifican de una manera sencilla en el lugar de interés. Para poder instalar el secador y poder maniobrar a la hora de utilizarlo se recomienda que se tenga un área de **6 metros de largo, 4 metros de ancho y 3 metros de altura como mínimo.**



## PARTES DEL SECADOR



# OPERACIÓN DEL SECADOR

## NORMAS DE SEGURIDAD PARA EL USUARIO

1. La máquina sólo deberá ser utilizada como se establece en este manual.
2. Se recomienda fuertemente no fumar en donde se instalará el secador.
3. Antes de utilizar el secador, debe asegurarse que esté firme en una superficie plana para el correcto funcionamiento.
4. El secador debe ser operado por personas mayores a los 18 años de edad.
5. La llave de paso del gas debe mantenerse cerrada SIEMPRE que no esté en uso el quemador.
6. El uso de tapones para oídos es obligatorio.
7. Se debe de utilizar el equipo de protección ocular siempre que se vayan a abrir las puertas con el flujo de aire prendido.
8. Se recomienda que en la manipulación del cardamomo se utilice botas de punta de acero o similar, lentes de protección y guantes de cuero o similar para superficies calientes.
9. El secador fue diseñado para secar CARDAMOMO, no debe ser utilizado para secar ropa, comida u cualquier otra cosa que no sea cardamomo.
10. Antes de colocar el cardamomo, verificar que no haya objetos extraños en las bandejas o en el sistema de recogido del oro.
11. Cada día antes de utilizar el secador se debe verificar el correcto funcionamiento del motor y del ventilador.
12. Antes de utilizar el secador, se recomienda capacitar a los usuarios del secador para evitar accidentes, malos usos y eficiencia del proceso.



Se recomienda no fumar para evitar catástrofes

# Pictogramas

**USO OBLIGATORIO**



**DE TAPONES  
AUDITIVOS**

El uso de tapones auditivos es obligatorio.

Se recomienda el uso de gafas de protección durante la manipulación del cardamomo.



Se recomienda utilizar guantes de protección mientras se manipulan las bandejas.

Se recomienda utilizar botas de punta de acero mientras se manipulan las bandejas.



**PELIGRO  
SUPERFICIE  
CALIENTE**

Superficie caliente

## ANTES DE COMENZAR, SE DEBE REVISAR:

1. Que el sistema de gas esté bien acoplado. Se pueden verificar las fugas utilizando agua con jabón en todas las juntas y uniones del sistema de gas como se muestra a continuación.



2. Se debe verificar que el quemador este bien apretado en su posición.



3. Se recomienda verificar que el motor si contenga Diesel.
4. Verificar que todos los módulos estén bien acoplados.

## COLOCACIÓN DEL CARDAMOMO

El secador está diseñado para operar con como máximo 10 quintales de cardamomo húmedo. Este puede secar una cantidad menor a 10 quintales. Se recomienda secar los 10 quintales si es posible para mejorar el rendimiento de costos.

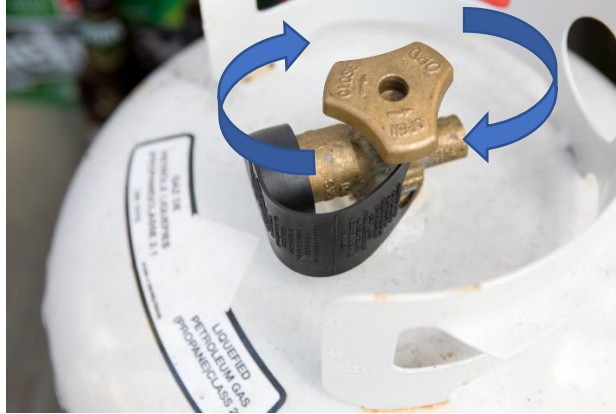
Cada bandeja tiene la capacidad para 55 libras de cardamomo en cereza. Se deben de llenar todas las bandejas con la misma cantidad. Por ejemplo, si se tienen 5 quintales se debe de colocar en cada bandeja aproximadamente 27.5 lbs en cada una, así el secado se realiza igual en todas las bandejas y más rápido a que si se llenaran sólo unas bandejas. Como se muestra la siguiente imagen.



## SECADO

### A.) Encender el sistema

1. Verificar que todas las llaves de gas estén cerradas.



2.) Abrir la llave del tanque de gas primero.



3.) Abrir la llave de seguridad que se encuentra arriba del regulador.



4.) Abrir a la mitad de camino la llave del quemador.



5.) Quitar el tapón de acceso para prender el quemador. (mantener el tapón cerca) Si ha estado en funcionamiento el secador, utilizar guantes de protección.



6.) Prender la llama con un encendedor o fósforo largo. Una vez esté encendido el quemador, colocar el tapón de nuevo.

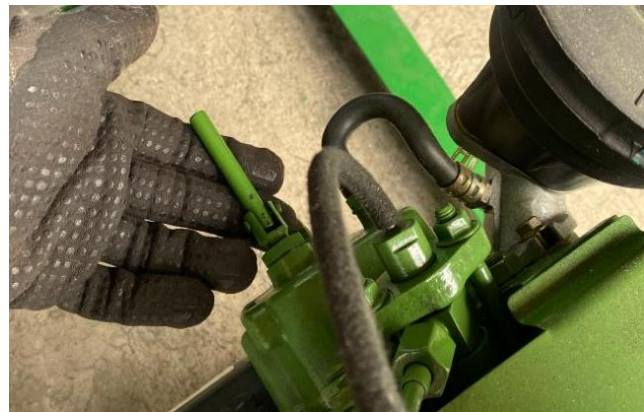


7.) Una vez encendido el quemador, abrir la llave del quemador al máximo.



8.) Encender el motor. (Para ver detalle de las partes del motor ver Anexo al final del manual.)

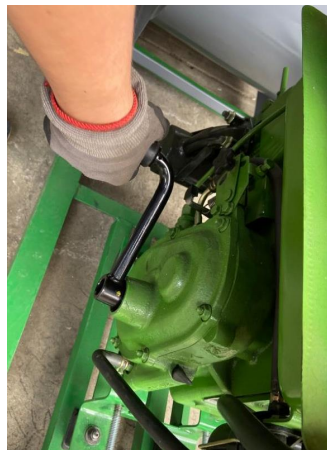
- i. Abrir la llave de paso de combustible.
- ii. Enganche la palanca de descompresión como se muestra en las siguientes imágenes.



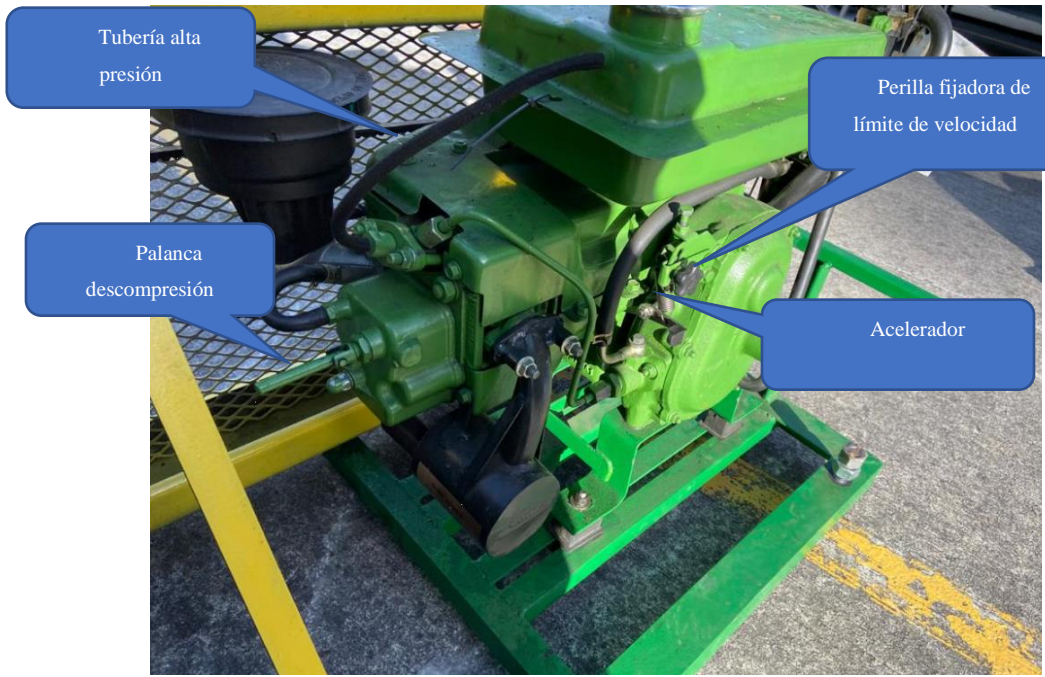
- iii. Retire el bloque de aire del sistema del combustible, aflojando la tubería de alta presión en el lado del inyector. Abrir la manija hasta que salga la burbuja de aire, luego reapriete el tornillo.
- iv. Colocar el mando de velocidad en la máxima posición.



- v. Arrancar el motor agarrando con la mano derecha la manivela de arranque como se muestra en la imagen, hasta que se escuche un sonido de “parloteo” desde el inyector el cual indica que entró combustible en la cámara de combustión. Gradualmente mover la manivela con más velocidad. Cuando este en su máxima velocidad, destrabar la palanca de descompresión mientras sigue moviendo la manivela de arranque. Repetir cuantas veces sea necesario.



- vi. El motor debe encender.
- vii. Para apagar el motor simplemente colocar el mando de velocidad en su posición más baja.
- viii. A continuación, se detallan las partes del motor.



9.) Regular la temperatura en el regulador controlando el manómetro. Si se encuentran abiertas todas las llaves del gas el manómetro debe estar ligeramente arriba de 0 PSI. Debe de mantenerse así, un poco arriba (Imagen1). Para regular la temperatura se realiza como se muestra en las imágenes 2 y 3.

Imagen 1. Manómetro.



Imagen 2. Para bajar la temperatura se mueve en sentido anti horario.



Imagen 3. Para subir la temperatura se mueve en sentido horario.



- 10.) Para apagar todo se debe proceder como sigue
- a. Cerrar la llave del quemador.
  - b. Apagar el motor.
  - c. Cerrar la llave del cilindro.
  - d. Se debe de abrir de nuevo la llave del quemador para que salga el resto del gas que quedó en la tubería (30 segundos)
  - e. Dejar todas las llaves en posición de cerrado.

## B.) Controles en el secado

### 1.) Temperaturas

El secador tiene tres termómetros colocados en los puntos de interés para el control de temperaturas. Se utiliza el regulador de presión del cilindro para regular la misma. Se debe de ir regulando la temperatura según el criterio del operador.

### 2.) El secador cuenta con un sistema de recirculación.

Este sistema de recirculación busca ahorrar el consumo de gas cuando ya se haya removido suficiente humedad en el cardamomo. Para saber cuando hay que activarlo debe haber una diferencia de temperatura mayor de  $10^{\circ}\text{C}$  entre la entrada de aire y la salida de aire. La posición de la recirculación se coloca como en las siguientes imágenes:

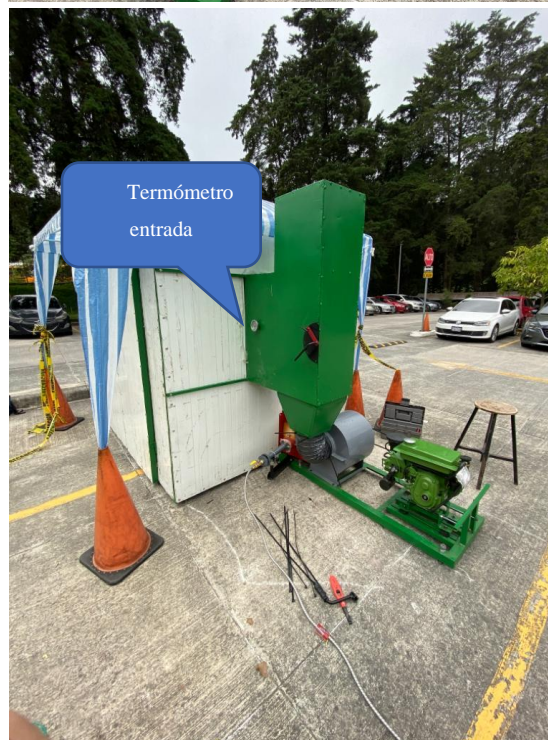
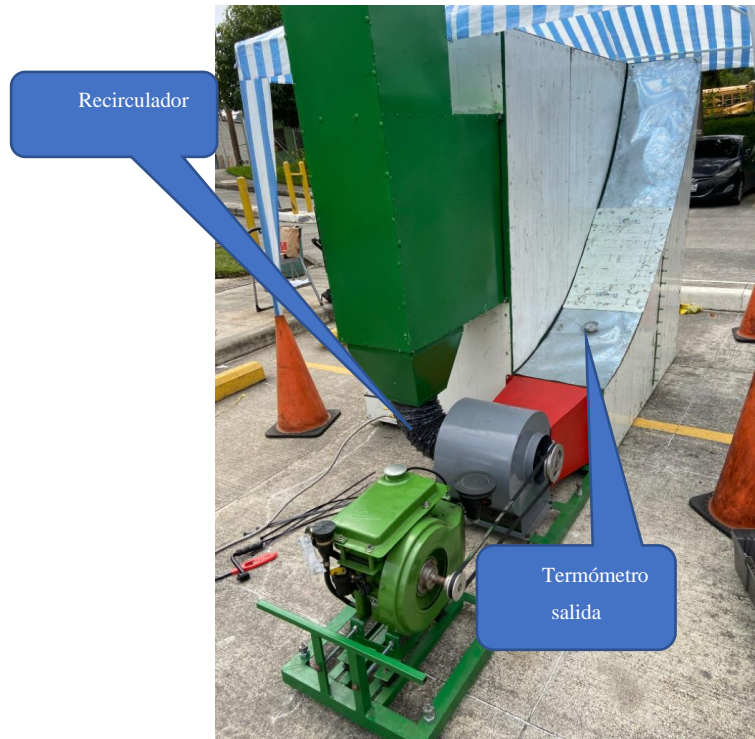
Recirculación desactivada



Recirculación activada



En la siguiente imagen se muestra la posición de los termómetros de interés para la correcta temperatura interna.



# **MANTENIMIENTO**

## **MANTENIMIENTO DEL MOTOR**

El sistema de potencia posee distintos elementos que requieren de una constante inspección y tareas de mantenimiento para garantizar su funcionamiento a los parámetros requeridos, así como extender la vida de todos los elementos, sin comprometer su rendimiento y eficiencia. Para ello, se requiere llevar a cabo tareas rutinarias que componen el plan de mantenimiento. Para este motor se deben realizar dos tipos de mantenimiento. Uno cada 100 horas y otro cada 500 horas.

### **Mantenimiento de 100 horas**

1. Limpiar filtro de combustible Diesel.
2. Limpiar caja de cigüeñal y cambiar el aceite lubricante.
3. Cambios de aceite sólo deben realizarse cuando el motor está caliente.
4. Cambiar el cartucho del filtro si esta tapado o dañado.
5. Revisar si están apretados las tuercas (de la base y de acople)
6. Revisar si el alzálvulas se encuentra bien ajustado y ajustar de ser necesario.
7. Limpiar filtro de aire con un cepillo suave. Cepillar frecuentemente si es zona de mucho polvo.

### **Mantenimiento de 500 horas**

1. Limpiar el tanque de combustible y el grifo de combustible.
2. Limpiar el escape y el silenciador.
3. Cambiar el filtro de combustible. El cambio de este filtro depende de la contaminación del combustible. Pero como máximo se debe utilizar 500 horas. Antes de cambiar el elemento se debe de apagar el flujo de combustible.
4. Limpiar la caja del cigüeñal con combustible limpio.
5. Limpiar la boquilla.
6. Revisar si el alzálvulas se encuentra bien ajustado y ajustar de ser necesario.
7. Revisar los anillos del pistón.

## MANTENIMIENTO SISTEMA DE GAS

El sistema de gas no requiere mantenimiento. Solo se debe mantener en buen estado las mangueras y revisar las conexiones siempre que se va a utilizar (como se indicó anteriormente).

## MANTENIMIENTO VENTILADOR

Ya que este componente no necesita mayor mantenimiento y no tiende a fallar, se debe hacer un mantenimiento correctivo. Las poleas, faja, chumaceras y rodamientos se deben cambiar cuando estos se noten degradados o cuando fallen. Se recomienda tener un repuesto de la faja y poleas. Para las chumaceras, si se cambia una, se recomienda cambiar las dos.

## SOLUCIÓN DE PROBLEMAS

Razón	Causa	Solución
<b>Problemas con el motor</b>		
No hay suministro del inyector	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. La palanca de la velocidad está en la posición de apagado.</li> <li>2. No hay combustible en el tanque.</li> <li>3. Orificio de ventilación se encuentra tapado.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Colocar la palanca de velocidad a la carga máxima.</li> <li>2. Echar combustible</li> <li>3. Cambiar el repuesto de ventilación.</li> </ol>
Fracaso de suplemento de combustible al mover la manivela de arranque y funcionamiento incorrecto del inyector	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Filtro de combustible tapado.</li> <li>2. Bloqueo por vapor (temperatura de combustible muy caliente)</li> <li>3. Combustible muy denso</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cambiar filtro.</li> <li>2. Enfriar el combustible</li> <li>3. Drenar el combustible y rellenar con el combustible correcto.</li> </ol>
El sonido de inyección no se escucha	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Boquilla de inyector defectuosa.</li> <li>2. Bomba de inyector defectuosa</li> <li>3. Petróleo en lugar de Diesel en el tanque.</li> <li>4. Entrada de aire bloqueada.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Chequear/cambiar boquilla de inyector.</li> <li>2. Revisar/Reparar/Cambiar bomba</li> <li>3. Drenar petróleo y llenar con Diesel.</li> <li>4. Revisar sistema por algún bloqueo.</li> </ol>
Compresión pobre	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Defecto del componente de descompresión.</li> <li>2. Despeje de incorrecto de válvula</li> <li>3. Válvulas no están en la posición correcta</li> <li>4. Cabeza del cilindro floja</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Revisar/ajustar/cambiar el dispositivo de descompresión.</li> <li>2. Ajustar la válvula de despeje.</li> <li>3. Revisar/ reparar/ sustituir válvulas.</li> <li>4. Apretar las cabezas de los tornillos del cilindro.</li> </ol>

	<ol style="list-style-type: none"> <li>5. Anillos del pistón atascados</li> <li>6. Marcas de sobrecalentamiento en cilindro y pistón.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>5. Revisar los anillos y limpiar el pistón.</li> <li>6. Revisar otros componentes dañados por excesos de temperatura.</li> </ol>
<b>Problemas con el quemador</b>		
No enciende	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. No hay gas</li> <li>2. Llaves se encuentran cerradas.</li> <li>3. No se está acercando lo suficiente la llama de encendido.</li> <li>4. No está bien conectado el sistema</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cambiar cilindro.</li> <li>2. Abrir llaves.</li> <li>3. Acercar más la llama.</li> <li>4. Conectar correctamente las uniones</li> </ol>
Temperatura inadecuada	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Está muy alta la presión</li> <li>2. Está muy baja la presión</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Baje la presión con el regulador de presión</li> <li>2. Suba la presión con el regulador de presión.</li> </ol>
<b>Problemas de flujo de aire</b>		
Flujo de aire inadecuado	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Relación de las poleas incorrecta</li> <li>2. RPMS del motor inadecuadas</li> <li>3. Rodamientos en mal estado.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cambiar la polea que corresponda.</li> <li>2. Acelerar o desacelerar el motor según se requiera (no superar 2600 RPMS)</li> <li>3. Cambiar rodamientos.</li> </ol>