



**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y  
URBANISMO**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA  
MECÁNICA ELÉCTRICA**

**TESIS**

**DISEÑO DE UNA MÁQUINA SECADORA DE GRANOS  
DE ARROZ PORTÁTIL CON CAPACIDAD DE SILO DE  
7 M<sup>3</sup> PARA LOS PEQUEÑOS PRODUCTORES  
ARROCEROS DE LA REGIÓN LAMBAYEQUE – PERÚ**

**PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
MECÁNICO ELECTRICISTA**

**Autor:**

Bach. Cotrina Vilchez Jorge Alexander

**Asesor:**

Mg. Alvarado Silva Carlos Alexis

**Línea de investigación:**

Ingeniería de Procesos Productivos

**Pimentel – Perú**

**2019**

---

**Bach. Cotrina Vilchez Jorge Alexander**

Presentado a la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad Señor de Sipán  
para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico Electricista

**APROBADO POR:**

---

**Mg. Juan Carlos Vives Garnique**

**Presidente jurado de tesis**

---

**Mg. Silvia Yvone Gastiaburú Morales**

**Secretario del Jurado de tesis**

---

**Mg. Carlos Alexis Alvarado Silva**

**Vocal del Jurado de tesis**

**Pimentel – 2019**

## **Dedicatoria**

*A Dios por permitirme avanzar con salud y siempre al lado de mi familia, a mi padre y madre por el esfuerzo que hicieron para ayudarme a convertirme en un profesional, a mi hermano y hermana por ser la fuente de mi constante deseo de superación, a todos los seres queridos cercanos a mí, abuelos, tíos, primos y amigos, por siempre esperar grandes cosas de mi persona.*

## **Agradecimiento**

*Gracias a Dios por permitirme vivir un logro más junto a mi familia y seres queridos, a mis padres por permitirme estudiar lo que me apasiona y darme ánimos en los momentos difíciles, a mis hermanos por la increíble paciencia, amor y motivación que me brindan para seguir adelante, a mi abuelo, primo, amigos del barrio, compañeros de la universidad, asesores muchas gracias.*



## **RESUMEN**

El presente proyecto de investigación contemplará el diseño de una máquina secadora de granos de arroz portátil basado en los requerimientos de los pequeños productores arroceros de la región Lambayeque, mediante el cálculo analítico basado en teorías científicas de diseño mecánico, así mismo se realizará el diseño, simulación y ajuste de parámetros en el software de ingeniería SOLIDWORKS.

Se diseñó la secadora porque se tiene la necesidad de satisfacer los requerimientos de los pequeños productores de contar con una máquina portátil para el secado de granos y así aumentar el valor de su producción, optimizando el proceso de secado tradicional, obteniendo valores adecuados de humedad en un menor tiempo.

El objetivo es diseñar una máquina secadora de granos de arroz portátil con capacidad de silo de 7 m<sup>3</sup> utilizando como combustible la cascarilla de arroz.

La máquina secadora de granos de arroz portátil consiste en un sistema compacto de remolque, que soportará los diferentes componentes que trabajando al unísono brindaran las bondades de una secadora industrial de arroz, pero optimizando dimensiones buscando cumplir con las normativas vehiculares vigentes.

***Palabras clave:*** Solidworks, Transferencia de Calor, Simulación, Diseño.

## ABSTRACT

This undergraduate thesis deals with the design of a portable rice grain drying machine based on the requirements of small rice producers in the Lambayeque region, by means of an analytical calculation based on scientific theories of mechanical design, it will also take also carried out the design, simulation and configuration of parameters in the SOLIDWORKS engineering software.

The dryer was designed because there is a need to meet the requirements of small producers to have a portable machine for grain drying and thus increase the value of their production, optimizing the traditional drying process, obtaining adequate humidity values in less time. The objective is to design a portable rice grain drying machine with a capacity of 7m<sup>3</sup> silo using the rice husk as fuel.

The portable rice grain dryer machine consists of a compact towing system, which will support the different components that working in unison will provide the benefits of an industrial rice dryer, but optimizing dimensions seeking to comply with current vehicle regulations.

***Keywords:*** *Solidworks, Heat Transfer, Simulation, Design.*

## SIMBOLOGÍA

$v_{cc}$  = volumen de la cámara de combustión

$v_g$  = volumen del gas

$v_{cz}$  = volumen de la ceniza

$CE$  = Consumo energetico en Kw

$\dot{m}_w$  = flujo másico de agua a evapora en Kg<sub>de agua</sub>/Hora

$Q_{ma}$  = Calor minimo para evaporar 1Kg de agua en Kcal/kg

$H_f$  = Humedad final del grano al que se quiere llegar 13%

$H_i$  = Humedad inicial del grano

$R_{gs}$  = Rendimiento del grano seco en Kg/hora

$\dot{m}_c$  = flujo masico de cascarilla a quemar en Kg/s

$t$  = tiempo estimado para la limpieza del horno (28800 segundos = 8 horas)

$\rho_{cz}$  = densidad de la ceniza Kg/cm<sup>3</sup>

$\omega$  = humedad específica

$h$  = entalpía

$\dot{m}_a$  = flujo másico de aire para la secadora

$\dot{m}_{a-est.}$  = flujo másico de aire estequiométrico

$Q_a$  = caudal de aire en m<sup>3</sup>/seg

$Q_g$  = cuadal de gases de combustión m<sup>3</sup>/seg

$\dot{m}_{gas}$  = flujo másico de gases de combustión

$T_{g-sal}$  = temperatura de gases de salida

$T_f$  = temperatura de capa límite

$\mu_g$  = viscosidad dinámica kg/m \* s

$Re$  = Número de Reynolds

$Nu$  = Número de Nusselt

$A_{fr}$  = Area frontal de entrada de aire según geometria seleccionada

$n_0$  = Efectividad de la temperatura con una superficie con aletas.

$R_f$  = Factor de impureza.

$R_w$  = Resistencia por conduccion.

$M$  = Numero de pasos

$C$  = Capacidad de carga de material ft<sup>3</sup>/h

$W =$  Densidad del material lbs/ft<sup>3</sup>

$F_F =$  Factor de helicoidal

$F_m =$  Factor de material

$F_P =$  Factor de paletas

$D =$  Diametro exterior del tornillo en m

$d =$  Diametro del tubo en m

$S =$  Paso del tornillo en m

$n =$  Velocidad de giro en RPM

$f =$  Factor de material (capacidad de llenado del canal)

$\rho =$  Densidad del material en kg/m<sup>3</sup>

$\beta =$  Coeficiente en funcion al angulo de inclinación

$P_h(z) =$  Presion horizontal en funcion de la profundidad

$z =$  Profundidad

$S =$  Seccion de la tolva

$\mu =$  Coeficiente de rozamiento del material con la pared

$U =$  Perimetro del silo

$K_s =$  Relacion entre presiones Verticales y Horizontales

$P_{v0} =$  Presiones verticales actuantes sobre el fondo plano

$C_b =$  Coeficiente de mayoracion en el fondo, desigualdad de cargas, 1.2

## Índice

I.	INTRODUCCIÓN .....	14
1.1.	Situación problemática .....	14
1.1.1.	Internacional .....	14
1.1.2.	Nacional .....	15
1.1.3.	Local .....	16
1.2.	Antecedentes de la investigación .....	22
1.2.1.	Antecedentes .....	22
1.3.	Formulación del problema .....	26
1.4.	Delimitaciones de la investigación .....	26
1.5.	Hipótesis .....	26
1.6.	Objetivos .....	26
1.6.1.	Objetivo General .....	26
1.6.2.	Objetivo Específico .....	26
1.7.	Justificación .....	27
1.7.1.	Justificación económica .....	27
1.7.2.	Justificación ambiental .....	27
1.7.3.	Justificación social .....	28
1.7.4.	Justificación técnica .....	28
1.8.	Definición de términos básicos .....	28
1.9.	Marco teórico .....	29
1.9.1.	Teorías relacionadas al tema .....	29
1.9.2.	Tipos de secado: .....	34
1.9.3.	Bases teóricas científicas .....	40
II.	MATERIALES Y MÉTODOS .....	54
2.1.	Tipo y diseño de investigación .....	54
2.2.	Variables y datos .....	54
2.2.1.	Variables .....	54
2.2.2.	Procedimiento para la recolección de datos .....	55
III.	RESULTADOS .....	56
3.1.	Identificación de necesidades .....	56
3.2.	Especificaciones de diseño de secadora de granos portátil .....	57
3.2.1.	Lista de exigencias .....	57
3.2.2.	Condiciones de Operación. ....	62
3.3.	Estructura de Funciones .....	62
3.3.1.	Procesos Técnicos .....	62
3.3.2.	Representación de Estructura de Funciones .....	64
3.4.	Desarrollo de la Matriz Morfológica. ....	65
3.5.	Alternativas de Solución .....	66
3.6.	Evaluación Técnico - Económica de los Conceptos de Solución .....	68
3.7.	Matriz morfológica para diseño técnico general .....	70

3.8.	Diseño y Cálculo de los Sistemas Principales. ....	72
3.8.1.	Diseño del horno:.....	72
3.8.2.	Silo de Tratamiento de Secado. ....	98
3.8.3.	Diseño del tornillo Transportador Horizontal: .....	111
3.8.4.	Diseño del tornillo Transportador Vertical: .....	123
3.8.5.	Sistema de Recepción de Grano. ....	129
3.8.6.	Sistema de Chasis – Remolque.....	137
3.8.7.	Mecanismos y accesorios complementarios .....	144
3.8.8.	Configuración Final de Máquina, Secadora de Granos Portátil. ....	148
3.9.	CONCLUSIONES .....	149
3.10.	RECOMENDACIONES .....	150
3.11.	BIBLIOGRAFIA .....	151
3.12.	ANEXOS .....	153

## Lista de Figuras

FIGURA 1. ORGANIZACIÓN DEL MINAGRI .....	17
FIGURA 2. PRODUCCIÓN DE ARROZ EN EL PERÚ.....	18
FIGURA 3. LAMBAYEQUE CUENTA CON 8 TONELADAS POR HECTAREA DE RENDIMIENTO EN EL CULTIVO DE ARROZ.....	18
FIGURA 4. MÉTODO DE COSECHA CONVENCIONAL EN LAMBAYEQUE .....	19
FIGURA 5. EN EL GRAFICO SE OBSERVA QUE EN JUNIO SE DA EL MAYOR PORCENTAJE DE COSECHA. ....	21
FIGURA 6. FOTO DE ARROZ CÁSCARA TOMADA EN CAMPO. ....	29
FIGURA 7. PARTES QUE COMPONEN EL CUERPO DEL ARROZ CÁSCARA. ....	30
FIGURA 8. FLUJO DE GAS SOBRE LECHO ESTÁTICO .....	35
FIGURA 9. FLUJO A TRAVÉS DE UN LECHO SÓLIDO.....	35
FIGURA 10. SECADO ROTATORIO.....	35
FIGURA 11. LECHO FLUIDIZADO .....	36
FIGURA 12. SECADERO FLASH.....	36
FIGURA 13. SECADOR DE BANDEJAS.....	37
FIGURA 14. SECADOR ROTATORIO HORIZONTAL. ....	37
FIGURA 15. SECADOR DE TÚNEL.....	37
FIGURA 16. SECADOR DE TAMBOR.....	38
FIGURA 17. SECADOR DE LECHO FLUIDIZADO. ....	38
FIGURA 18. SECADOR EN TANDAS.....	38
FIGURA 19. SILO SECADOR.....	39
FIGURA 20. SECADO EN PAMPAS .....	39
FIGURA 21. SE OBSERVA LOS COMPONENTES DE UN TORNILLO TRANSPORTADOR CONVENCIONAL.....	42
FIGURA 22. PRESIONES SOPORTADAS POR EL SILO .....	45
FIGURA 23. EXCENTRICIDAD EN SILOS .....	47
FIGURA 24. TIPOS DE INTERCAMBIADORES DE CALOR .....	49
FIGURA 25. DIAGRAMA DE ANÁLISIS DE FALLAS .....	50
FIGURA 26. ESFUERZOS DE VON MISES .....	51
FIGURA 27. FLUJO DE PROCESOS .....	55
FIGURA 28. SECUENCIA DE PROCESOS .....	62
FIGURA 29. ESTRUCTURA DE FUNCIONES .....	64
FIGURA 30. EL CONCEPTO DE SOLUCIÓN 1 .....	66
FIGURA 31. <i>EL CONCEPTO DE SOLUCIÓN 2</i> .....	67
FIGURA 32. <i>EL CONCEPTO DE SOLUCIÓN 3</i> .....	67
FIGURA 33. LA SOLUCIÓN ÓPTIMA .....	69
FIGURA 34. ESTADOS DEL AIRE EN SECADORA.....	76
FIGURA 35. BALANCE DE ENERGÍA.....	81
FIGURA 36. DISTRIBUCIÓN DE TUBOS.....	84
FIGURA 37. FACTOR DE CORRECCIÓN .....	89
FIGURA 38. MODELADO 3D DEL HORNO.....	90
FIGURA 39. RUTA DE TUBOS .....	91
FIGURA 40 DATOS INICIALES.....	91
FIGURA 41 MATERIAL SELECCIONADO .....	92
FIGURA 42. NUEVAS DIMENSIONES.....	94
FIGURA 43. NUEVAS DIMENSIONES DEL HORNO.....	95
FIGURA 44. TEMPERATURA DE GASES EN HAZ DE TUBOS .....	97
FIGURA 45. TEMPERATURA DE AIRE DE SECADO .....	97
FIGURA 46. GEOMETRÍA DE SILO .....	98
FIGURA 47. MEDIDAS GENERALES DEL SILO .....	101
FIGURA 48. GEOMETRÍA DEL SILO.....	103
FIGURA 49. UBICACIÓN DEL SILO.....	103
FIGURA 50. SELECCIÓN DE MATERIAL DE SILO, MODELADO 3D EN SOLIDWORKS.....	104
FIGURA 51. SELECCIÓN DE MATERIAL DE SOPORTES, MODELADO 3D EN SOLIDWORKS .....	105
FIGURA 52. SIMULACIÓN DE ANÁLISIS ESTÁTICO EN SOLIDWORKS .....	105
FIGURA 53. MALLADO DE SILO .....	106
FIGURA 54. SOPORTE INFERIOR DEL SILO.....	108

FIGURA 55. MALLA CON SOPORTE INFERIOR.....	108
FIGURA 56. GRÁFICO DE DESPLAZAMIENTO EN NODOS .....	110
FIGURA 57. TORNILLO HORIZONTAL .....	118
FIGURA 58. SELECCIÓN DE MATERIAL .....	118
FIGURA 59. APOYOS Y FUERZAS .....	119
FIGURA 60. D.C.L.....	119
FIGURA 61. ESPESOR DE HELICOIDAL .....	121
FIGURA 62. DESPLAZAMIENTO ESTÁTICO .....	121
FIGURA 63. CARACTERÍSTICAS SINFIN .....	123
FIGURA 64. MALLA DE ANÁLISIS .....	126
FIGURA 65. ANÁLISIS DE PANDEO .....	128
FIGURA 66. TOLVA DE RECEPCIÓN.....	129
FIGURA 67. GEOMETRÍA DE TOLVA.....	129
FIGURA 68. POSICIÓN DE DESCARGA.....	130
FIGURA 69. DISTRIBUCIÓN DE PRESIONES.....	132
FIGURA 70. PRESIONES EN PARED INCLINADA.....	134
FIGURA 71. TOLVA Y MARCOS .....	135
FIGURA 72. MALLADO DE TOLVA Y MARCOS .....	135
FIGURA 73. DEFORMACIÓN A LO LARGO DE LA TOLVA.....	137
FIGURA 74. CONFIGURACIÓN VEHICULAR .....	139
FIGURA 75. ESQUEMA DE VIGA .....	140
FIGURA 76. D.C.L DE VIGA PRINCIPAL.....	140
FIGURA 77. FUERZAS RESULTANTES .....	141
FIGURA 78. DIAGRAMA DE FUERZA CORTANTE Y MOMENTO FLECTOR.....	141
FIGURA 79. CHASIS.....	143
FIGURA 80. UBICACIÓN SISTEMA DE DESCARGA.....	144
FIGURA 81. POSICIONES DE DESCARGA .....	144
FIGURA 82. ESCALERA DE ACCESO .....	145
FIGURA 83. SUMINISTRADOR DE CASCARILLA .....	147
FIGURA 84. CICLÓN COLECTOR DE POLVOS.....	147
FIGURA 85. CONFIGURACIÓN FINAL DE SECADORA DE GRANOS.....	148

### Lista de tablas

<b>Tabla 1</b> Regiones con mayor producción.....	17
<b>Tabla 2</b> Rendimiento por hectárea .....	19
<b>Tabla 3</b> Productores de arroz cáscara (según IV CENAGRO).....	20
<b>Tabla 4</b> Número de molinos a nivel nacional.....	20
<b>Tabla 5</b> Composición aproximada del arroz con cáscara.....	30
<b>Tabla 6</b> Humedad de almacenamiento del arroz.....	32
<b>Tabla 7</b> Temperatura máxima de secado.....	33
<b>Tabla 8</b> Tipos de secado .....	35
<b>Tabla 9</b> Clasificación de secadoras .....	37
<b>Tabla 10</b> Los rpm según los distintos materiales.....	43
<b>Tabla 11</b> Coeficientes de relleno según el tipo de carga a transportar.....	43
<b>Tabla 12</b> Propiedades de materiales ensilados .....	46
<b>Tabla 13</b> Cosechadoras predominantes .....	56
<b>Tabla 14</b> Número de productores, y rendimiento por hectárea.....	56
<b>Tabla 15</b> Lista de exigencias .....	57
<b>Tabla 16</b> <i>Matriz Morfológica de secadora de granos</i> .....	65
<b>Tabla 17</b> Evaluación técnica.....	68
<b>Tabla 18</b> Evaluación económica.....	68
<b>Tabla 19</b> Matriz morfológica Diseño general.....	70
<b>Tabla 20</b> Configuración técnica de la máquina secadora de arroz .....	71
<b>Tabla 21</b> Calor mínimo para evaporar un kg de agua .....	73
<b>Tabla 22</b> Cuadro resumen.....	75



<b>Tabla 23</b> Estados del aire en proceso de secado de arroz:.....	76
Tabla 24.....	77
<b>Tabla 25</b> Cuadro resumen estados del aire .....	79
<b>Tabla 26.</b> <i>Separación de tubos</i> .....	87
Tabla 27. Resultados de simulación horno 1.....	93
Tabla 28. Resultados simulación horno redimensionado.....	96
<b>Tabla 29</b> Remolques.....	100
<b>Tabla 30</b> Características del mallado .....	106
<b>Tabla 31</b> Resultados de análisis estático 1 del silo .....	107
<b>Tabla 32</b> Resultado del análisis estático 2 del silo.....	109
<b>Tabla 33</b> Características del material a granel:.....	111
<b>Tabla 34</b> Tamaños máximos de partícula en función del diámetro de helicoidal .....	112
<b>Tabla 35</b> Tabla de velocidades máximas.....	113
<b>Tabla 36</b> Medidas de transportador helicoidal .....	114
<b>Tabla 37</b> Selección de bujes .....	114
<b>Tabla 38</b> Capacidad torsional de componentes .....	116
<b>Tabla 39</b> Potencia por rpm .....	117
<b>Tabla 40</b> Resultado de análisis 1.....	120
<b>Tabla 41</b> Resultado de análisis 2.....	122
<b>Tabla 42</b> Resultado de análisis FEA. ....	127
<b>Tabla 43</b> Tabla de presiones en caras verticales.....	132
<b>Tabla 44</b> Resultados simulación estática.....	136
<b>Tabla 45</b> Masa de componentes sobre el chasis: .....	137
<b>Tabla 46</b> <i>Pesos máximos por eje</i> .....	139
<b>Tabla 47</b> Datos de fuerza cortante y momento flector.....	142
<b>Tabla 48.</b> Catálogo de vigas .....	143
<b>Tabla 49</b> Requisitos del ventilador centrífugo.....	146

## I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Situación problemática

#### 1.1.1. Internacional

En Alemania, el principal problema contenido en este país respecto al arroz cáscara es que debido a los altos porcentajes de humedad (24 a 26% según la estación en base húmeda) el grano es muy susceptible a los ataques de microorganismos, insectos y plagas generando pérdidas cuantitativas y un deterioro cualitativo del grano.

Los altos contenidos de humedad presente en el grano los vuelven rancios, mohosos y amarillos, haciendo necesario contar con un proceso de secado eficiente a temperatura controlada con grados de humedad óptimos (Bonazzi & Courtois, 2011).

En Cuba, se desarrollaron investigaciones en el Secadero Enrique Troncoso perteneciente a la Empresa Agroindustrial de Granos Los Palacios, en el cual se pudieron constatar que los granos que llegan a los molinos, no cuentan con los parámetros óptimos de cosecha, así como tampoco con la humedad requerida para el pilado, es por ello que en sus procesos de secado es de vital importancia tener en cuenta que no se está tratando con materia homogénea.

La investigación se resume en una comparativa entre la calidad final del grano en relación al método de secado empleado, siendo el método “A” un secado a temperatura constante de 37 °C y la variante “B” con un secado tradicional (Pampas de secado), concluyendo que se logra una mayor eficiencia al contar con un 2% menos de quebrados.

Adicionalmente durante el proceso de estudio, se percibieron marcadas deficiencias en el proceso de secado tradicional, como la dificultad por mantener una temperatura constante de secado, y al evaluar la calidad molinera basados en la proporción de grano que permanece entero o en tres cuartos, se generan pérdidas por no tomar en cuenta el tiempo de exposición dependiendo del grado de humedad, afectando la disponibilidad de arroz blanco de calidad en Cuba (Ipsán *et al.*, 2013).

En países asiáticos como Camboya, es particularmente importante la seguridad alimentaria, puesto que deficiencias en esta, incurren en pérdidas que limitan la oferta y afectan la producción.

Dentro de los procesos alimentarios tenemos el almacenamiento de granos, el cual se ve seriamente afectado por la humedad, formando un ambiente que propicia la proliferación de

hongos, lo cual a su vez genera una posible acumulación de aflatoxina B1 (AFB1) la cual es perjudicial para el consumo humano.

Por consiguiente, la contaminación del arroz cáscara es producto de un ineficiente manejo de las condiciones pos cosecha que, debido a las características climáticas en Camboya, como en otros países de Asia, son propicias para el crecimiento de hongos que pueden causar la muerte (*Vichet et al.*, 2017).

### **1.1.2. Nacional**

En San Martín-Tarapoto, el secado natural forma parte del proceso de producción de arroz, siendo considerada como la segunda región productora de arroz en el ámbito nacional con un 30% de área sembrada en el año 2014.

Partiendo de la necesidad de aumentar la producción y productividad, es requerido que el grano cuente con determinado grado de humedad para un almacenamiento seguro, que no sea superior al 14%.

El proceso de secado natural, resulta económico al no estar sujeto a medios tecnológicos para su realización, pero depende directamente de las condiciones psicométricas del aire, las cuales no se pueden anticipar, obteniendo un secado disparejo y deficiente (*Julon, 2014*).

En Arequipa, actualmente se sabe que el secado artificial de granos forma parte de un proceso muy divulgado, que acarrea algunos inconvenientes en lo referente a costos y calidad.

Dado que el proceso de secado es necesario para el almacenamiento seguro de los granos, los productores se ven en la necesidad de realizarlo de diversas formas (secado natural o artificial) según los recursos con los que se cuente, ya sean de carácter económicos, de tiempo o espacio disponible para el proceso.

El costo del secado artificial es elevado, considerando el precio de inversión de una secadora y los gastos propios de importación sumado a estos la desatención del gobierno por no buscar una solución tecnológica.

Así mismo los productores, al momento de la cosecha reúnen granos húmedos provenientes de todas sus tierras de cultivos, los cuales deben ser secados de manera rápida, esto representa un cuello de botella que, para la mayoría de plantas de acopio de semillas, por no contar con las instalaciones adecuadas para abastecer su producción (*Catacora et al.*, 2011).

### **1.1.3. Local**

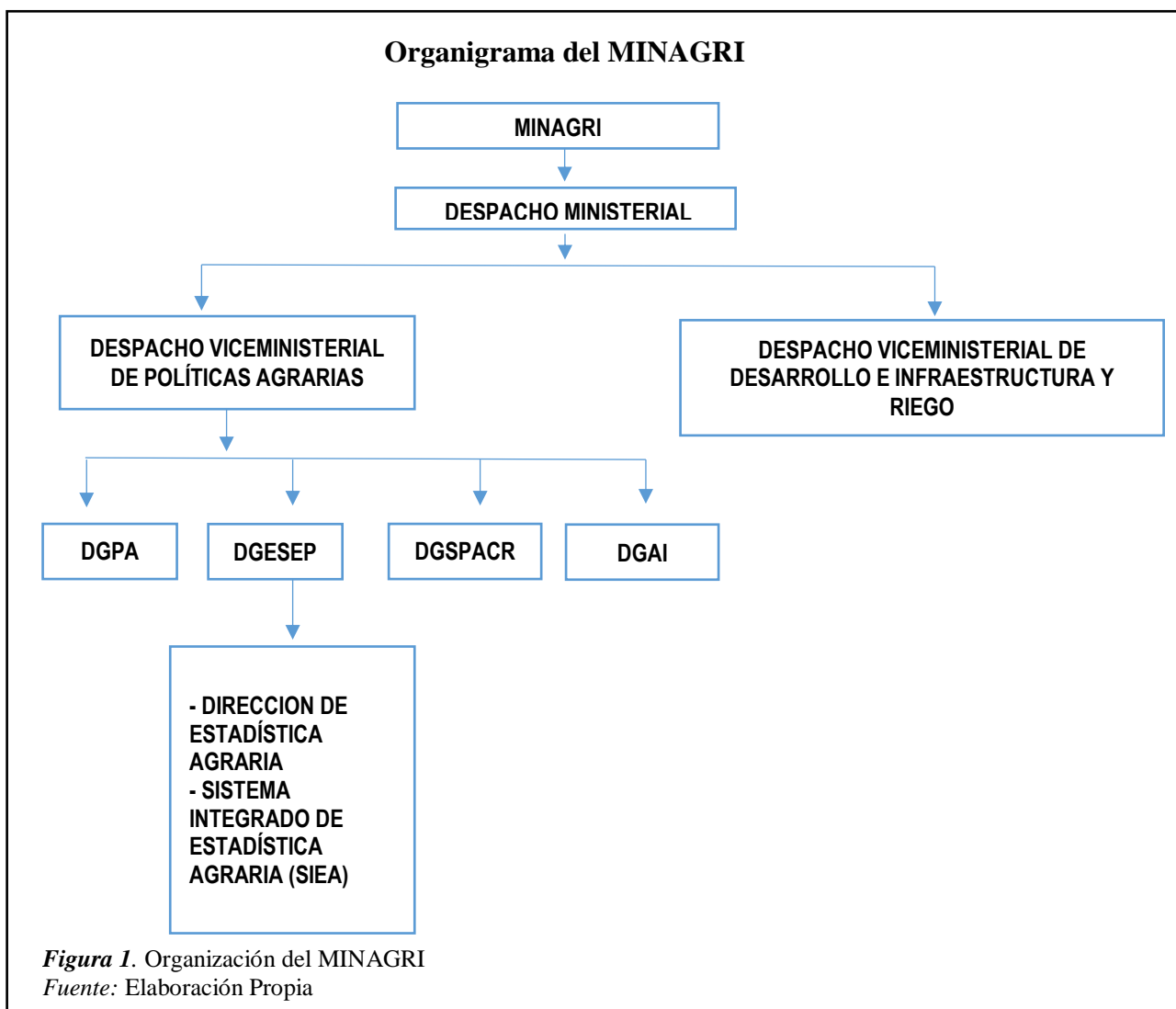
El ministerio de agricultura y riego (MINAGRI) es un organismo del poder ejecutivo, fue creado el 31 de diciembre de 1942 bajo ley N° 9711 como ente rector en materia agraria con personería jurídica de derecho público y constituye un pliego presupuestal.

Actualmente ejerce su competencia a nivel nacional, en las siguientes materias:

- Tierras de uso agrícola y de pastoreo, tierras forestales y tierras erizas con aptitud forestal.
- Recursos forestales y su aprovechamiento.
- Flora y fauna.
- Recursos hídricos.
- Infraestructura agraria.
- Riego y utilización de agua para uso agrario.
- Cultivos y crianzas.
- Sanidad, investigación, extensión, transferencia de tecnología y otros servicios vinculados a la actividad agraria.

Cuenta con dos despachos; El despacho viceministerial de desarrollo de infraestructura y riego y el despacho viceministerial de políticas agrarias; este último cuenta con cuatro direcciones: Dirección General de Políticas Agrarias (DGPA), Dirección General de Seguimiento y Evaluación de políticas (GGESEP), Dirección General de Saneamiento de la Propiedad Agraria y Catastro Rural (DGSPACR) y Dirección General de Articulación Intergubernamental (DGAI), (ver *figura 1*).

La DGESEP a su vez cuenta con la Dirección de Estadística Agraria, la cual en conjunto con el Sistema Integrado de Estadística Agraria (SIEA) y la DGPA se encargan de la publicación de informes, anuarios y boletines estadísticos de la producción agrícola y ganadera a nivel nacional, así como también de publicaciones diarias de boletines de abastecimientos y precios de los principales productos de pan llevar.

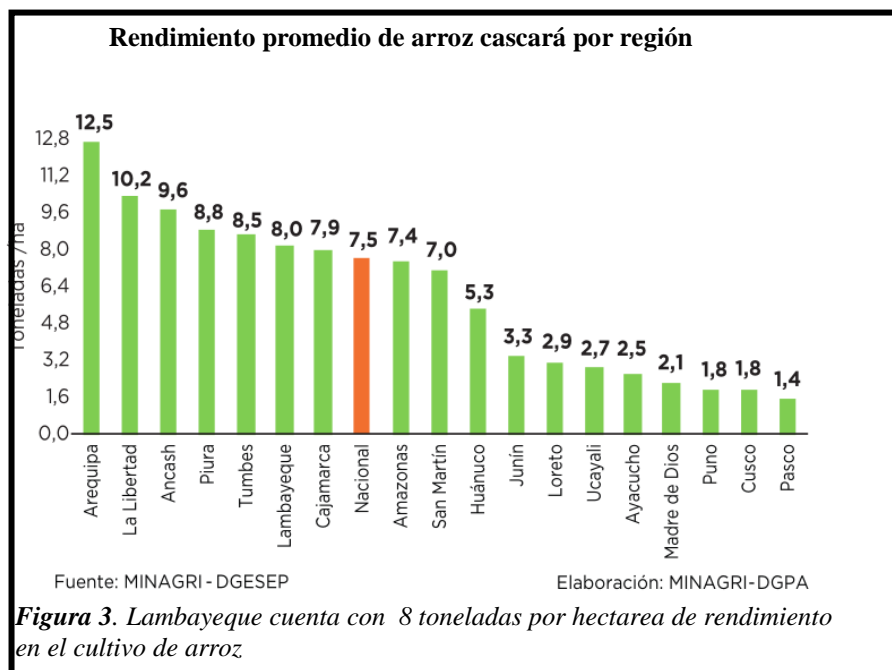
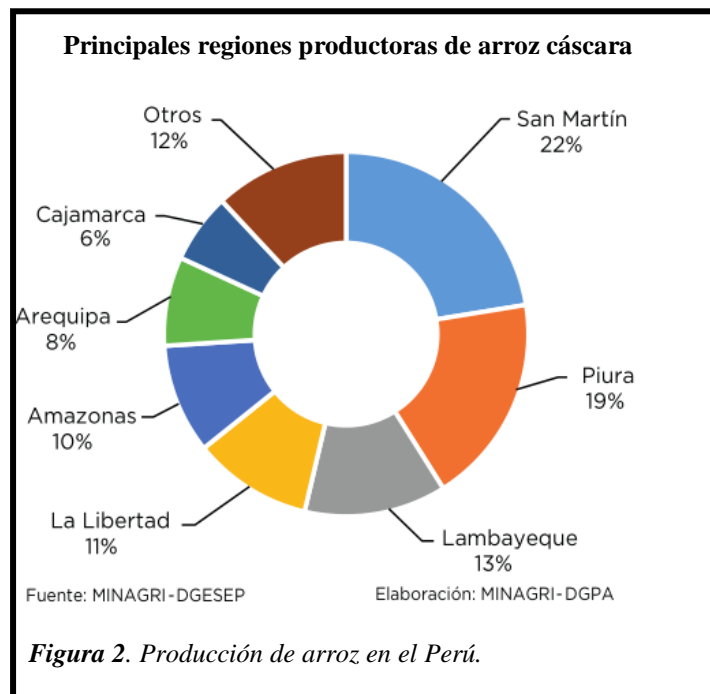


La región Lambayeque según MINAGRI-DGPA en su última publicación del “Informe del Arroz” es la tercera región productora a nivel nacional, con una producción de 399 038 toneladas que representa el 13% de la producción anual (ver tabla 1), teniendo un rendimiento en promedio de 8 T/ha (toneladas por hectárea).

**Tabla 1** Regiones con mayor producción

Región	Sup. Cosecha (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t/ha)	Precio en chacra (S/ x Kg)
San Martín	101 255	710 287	7,01	1,03
Piura	67 373	589 687	8,75	1,24
Lambayeque	49 831	399 038	8,01	1,28
La Libertad	32 857	334 920	10,19	1,29
Amazonas	41 567	307 947	7,41	1,03
Arequipa	19 939	250 051	12,54	1,22
Cajamarca	24 886	195 641	7,86	1,13
<b>Nacional</b>	<b>419 563</b>	<b>3 165 749</b>	<b>7,55</b>	<b>1,15</b>

Fuente: MINAGRI – DGESEP



Sin embargo, según ANDINA, Agencia Peruana de Noticias en una publicación del día 05 de mayo del 2016 la Junta de usuarios Chancay – Lambayeque desarrollo un plan de capacitación y transferencia de tecnología del cultivo de arroz, con el objetivo de optimizar el uso del agua y mejorar los rendimientos del cereal.

Generando buenos resultados en parcelas demostrativas del cultivo de arroz, superando los niveles de producción por hectárea normalmente obtenidos, como se observa en la *Tabla 2*

se realizaron 3 pruebas en diferentes parcelas obteniendo valores satisfactorios, sin embargo en la actualidad con el cambio de gestión que se realizó en la junta de usuarios y debido al coste de la implementación de las técnicas para la optimización del uso del agua en cultivo de arroz, se sigue sembrando y cosechando de manera convencional (*Figura 4*), siendo entonces que la producción promedio por hectárea en la región es de entre 7.5 y 8 toneladas.

**Tabla 2** Rendimiento por hectárea  
Según plan de capacitación y transferencia de tecnología del  
Cultivo de arroz – Junta de usuarios Chancay – Lambayeque.

# PARCELA	PROPIETARIO	RENDIMIENTO
01	José Esquerre Sencio	13,335 T/hectárea
02	Fundo José Gabriel Olivos Farro	12,268 T/hectárea
03	Fundo de Rafael Llauce Sandoval	11 T/hectárea

Fuente: Elaboración Propia



Según el último Censo Nacional Agropecuario (CENAGRO, 2012) se cuenta con 70 741 productores de arroz cáscara a nivel nacional, de los cuales 1 795 se encuentran en la región Lambayeque, *tabla 3*, teniendo así un 2.55% de participación en la producción nacional, así mismo según MINAGRI-DGPA hasta el 2016 se tuvo registro de 98 molinos en la región Lambayeque.

**Tabla 3** Productores de arroz cáscara (según IV CENAGRO)

Región	N° Productores	Participación (%)
Piura	19 066	27,06 %
San Martín	10 535	14,95 %
Loreto	10 367	14,71 %
Cajamarca	4 769	6,77 %
Ucayali	4 463	6,33 %
Arequipa	3 634	5,16 %
Amazonas	3 360	4,77 %
Huánuco	3 247	4,61 %
La Libertad	2 856	4,05 %
Tumbes	1 797	2,55 %
Lambayeque	1 795	2,55 %
Madre de Dios	1 588	2,25 %
Pasco	1 237	1,76 %
Ancash	905	1,28 %
Junín	411	0,58 %
Cusco	387	0,55 %
Puno	33	0,05 %
Ayacucho	19	0,03 %
Lima	2	0,00 %
<b>Total general</b>	<b>70 471</b>	<b>100 %</b>

Fuente: INEI

**Tabla 4** Número de molinos a nivel nacional.

REGIÓN	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Piura	103	108	109	107	108	108
Lambayeque	72	88	91	92	95	98
Arequipa	73	78	76	76	76	76
La Libertad	64	72	75	73	71	71
San Martín	59	58	58	56	56	56
Amazonas	52	55	55	55	55	55
Cajamarca	44	36	36	36	36	36
Loreto	25	33	32	31	31	31
Madre de Dios	29	26	26	27	28	28
Ucayali	18	18	21	22	22	22
Tumbes	17	17	17	17	17	17
Huánuco	14	14	15	12	13	13
Junín	12	11	11	10	10	10
Cusco	5	5	8	8	8	8
Ancash	4	5	7	7	7	7
<b>TOTAL</b>	<b>591</b>	<b>624</b>	<b>637</b>	<b>629</b>	<b>633</b>	<b>636</b>

Fuente: MINAGRI - DGESEP

Sin embargo, actualmente se puede revisar en el portal web del MINAGRI, según OGPA/OEP (Oficina Nacional de Producción Agraria / Oficina de Estrategias y Políticas) “el número de productores ascendió de 70 471 a 100 000 productores a nivel nacional”, de otro lado según DGIA (Dirección General de Información Agraria) la industria molinera provee la mayor parte del financiamiento para el cultivo de arroz. Los molinos habilitan con dinero, insumos y asistencia técnica a los productores arroceros de la Costa y Selva Alta; esto hace que los productores queden comprometidos a venderles su producción al momento



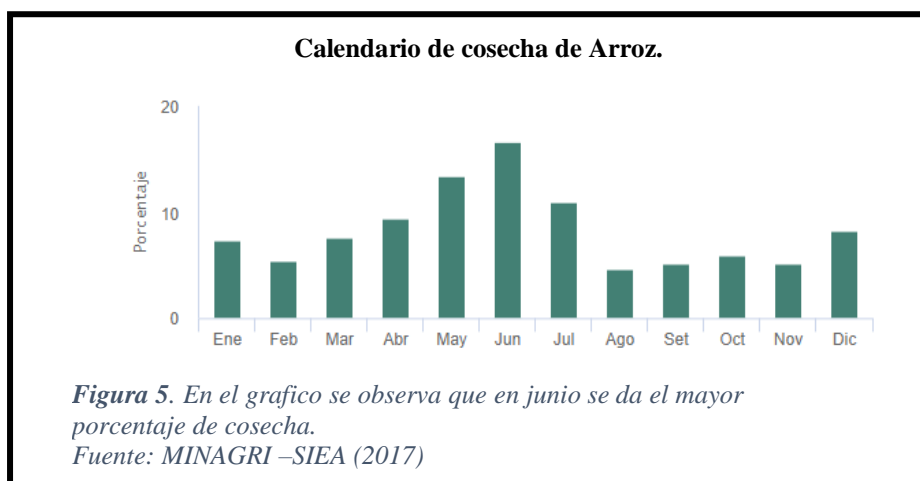
de la cosecha. De esta manera, los intereses que cobran los molinos a los productores se ha convertido en uno de los ingresos más importantes junto a los que se registran por servicio de pilado.

En ese sentido la industria molinera de la selva se ve expuesta a una fuerte competencia por parte de los molinos de Lambayeque, los que, debido a su capacidad instalada ociosa, para ser rentables tienen la necesidad de trabajar con los productores de arroz de la selva (San Martín, Amazonas y Cajamarca) con lo cual se aseguran mayores ingresos por concepto de interés y servicios de pilado y comercialización de arroz”

Por lo cual los pequeños productores arroceros de Lambayeque se ven exigidos aún más por los productores de la selva a vender a los molinos de la región un arroz de calidad y de valores óptimos de humedad para una menor pérdida de granos (quebrado) en el proceso de pilado.

Actualmente en la región Lambayeque existen más de 1800 productores arroceros en su mayoría pequeños productores, al igual que existe un mercado amplio de máquinas agrícolas para brindar el servicio de cosecha, en su mayoría cada propietario cuenta con 2 máquinas que tienen una capacidad de cosecha de 2.5 hectáreas por jornada de trabajo (8 horas) cada una, teniendo así un rendimiento de cosecha de 5 hectáreas/día, y con una producción promedio por hectárea de 8 toneladas, **esto se estima en una necesidad de secado de arroz con cáscara de 7 m<sup>3</sup> por hora.**

Los mayores índices de cosecha se dan en los meses de abril a julio, siendo el mes de junio el de mayor producción como se observa en la *figura 5*, una vez cosechado el arroz, se pasa a llenar en sacos el grano de arroz cáscara, para posteriormente llevarlo en su gran mayoría a pampas de secado al aire libre, y un menor porcentaje a molinos que cuentan con secadora de granos industriales.



Puesto que los pequeños agricultores no cuentan con los recursos económicos para la adquisición de maquinaria industrial para el secado de su producción, teniendo que muchas veces alquilar el servicio de secado “pampas de secado” o no tener otra opción más que vender su producto a un bajo costo a los grandes molinos (pagándoles de acuerdo al grado de humedad; a mayor humedad menor costo) que cuentan con secadora de granos industrial. Dato que se corroboró al visitar la empresa comercial más grande de la región: GINSAC IMPORT SAC, identificada con RUC: 20487725286, ubicada en la carretera panamericana norte km 790 – Chiclayo, que actualmente está representada por su gerente el Sr. Demetrio Guevara Bernal, el cual nos derivó con el representante comercial del área de molinería: Tec. Werner Ortecho Rivera, especialista en línea de producción arroceras, quien brindó el asesoramiento técnico – comercial, extendiendo una cotización (ver anexo 1) de secadora de granos modelo 5HXG-30T, la cual es la más pequeña comercialmente que se distribuye en la región Lambayeque, la cual fue adquirida por el molino DON JULIO SAC, identificado con RUC: 20480185995, ubicada en Car. Panamericana Norte Km. 783 Mocce. Su costo asciende a \$180 300.00 (*ciento ochenta mil trescientos dólares americanos*), monto que claramente el agricultor no puede costear, ya que a esto se le suma una serie de factores técnicos como, contar con la potencia contratada suficiente, el tamaño de la máquina excede por mucho a su producción, motivo por el cual surge la necesidad de poder contar con una máquina secadora de granos de arroz con una capacidad apropiada para los pequeños productores arroceros de la región Lambayeque, secadora que debe estar presente al momento de la cosecha puesto que es donde se realiza la compra-venta del arroz con cáscara, dato por el cual se desea una máquina portátil que permita el fácil transporte y acceso a las zonas de cosecha.

## **1.2. Antecedentes de la investigación**

### **1.2.1. Antecedentes**

#### ***1.2.1.1. Internacional***

En Ecuador el grano de arroz cuenta con un porcentaje elevado de humedad al ser cosechado, por lo cual es necesario secarlo para su almacenamiento seguro, este proceso se realiza de manera artesanal o industrial, ambos métodos de secado provocan que cierta parte de la cosecha sea desestimada porque se quema o se pierde la calidad (arroz quebrado), siendo el principal problema el alto consumo energético de las máquinas

industriales además del coste elevado, y en el caso del secado artesanal el gran periodo de tiempo que toma, y su dependencia de las condiciones climáticas.

Puesto que la producción queda condicionada por factores externos (estación climática, zona de cultivo, infraestructura de riego, ciclo vegetativo, clase de suelo), se aplicó una tecnificación a la agricultura con el objetivo de ayudar al agricultor a acelerar sus procesos. Entonces se realizó un proyecto de factibilidad para la instalación de un sistema de secado de arroz a través de colectores solares, mostrando que, de ser implementado, impactaría positivamente en los pequeños productores de arroz del Cantón de Daule, generando un aumento mensual de 338.25 dólares mensuales, sin contar que ya no se tendrán pérdidas de producto que rondaban entre el 25 y 30% de todo el producto a secar (Flores y García, 2016).

En Cuba secar arroz al aire libre es uno de los métodos que se ha utilizado desde hace muchos años, pero en producción a gran escala tiene sus limitaciones (alto costo laboral, la falta de control del proceso de secado, necesidad de grandes espacios, posible degradación, reacciones microbiológicas, infestación de insectos, etc.), lo cual pone como única alternativa el uso de secadoras industriales, las cuales acarrear un alto consumo energético, que muchas veces el pequeño productor no puede asumir.

Por lo que se diseñó un prototipo de secador solar el cual contaba con un ventilador alimentado por un motor diésel de 4 hp que sirvió para extraer todo el aire húmedo de la cabina de secado que aprovechaba la radiación solar para el proceso.

Mostrando excelentes resultados, el prototipo brindo una tasa de reducción de humedad de 0.84%/h, y analizándose también la masa antes del secado con 120.28 kg de arroz cáscara se logró una reducción de 14,88 kg de agua y el consumo del combustible del ventilador fue de tan solo 2.75 L, mostrando que el prototipo ayudo significativamente a los productores a pequeña escala (*Morejón, Tsujimoto, y Watahiki, 2011*).

En Colombia se realizó el estudio de comportamiento térmico de 3 secadoras solares en régimen pasivo de flujo, en la costa del caribe colombiano, analizándose 3 prototipos, mediante experiencias de campo y simulación computacional, analizándose balances de energía en cada componente de los prototipos y registrando los datos atmosféricos de la locación en cada prueba.

Para el diseño de los prototipos se utilizó madera de pino en la estructura y cuerpo de la máquina, y para la superficie de colección se usó lámina de zinc corrugada para mayor

superficie y partiendo de ello se optó por 3 tipos de diseño, mixto (pre-calentador, cubierta transparente, chimenea), indirecto (colector, cubierta opaca, chimenea), directo (cubierta transparente, chimenea).

El programa utilizado para el cálculo fue SIMUSOL con el cual se obtuvo gráficos y cuadros comparativos que permitieron la interpretación de los resultados.

Al medir la temperatura en cada prototipo, se obtuvo lo siguiente, en diseño mixto, 40 °C por encima de la temperatura ambiente, en indirecto 35°C por encima de la temperatura ambiente y en el diseño directo 20°C respecto al ambiente. Adicionalmente la humedad relativa del interior y exterior de los 3 prototipos arroja una buena diferencia, con lo cual se obtiene un buen indicio de la capacidad de deshidratación de los prototipos.

Finalmente, con ayuda del software y con los datos obtenidos en las pruebas de campo se pudo obtener la eficiencia instantánea de los 3 prototipos con los siguientes resultados, prototipo mixto 44.3%, indirecto 32.5%, y directo con 25.5% de eficiencia térmica.

Las ventajas de los secadores solares son muchas pero su elevado costo de inversión inicial juega en su contra, lo que muchas veces limita su uso (*Mealla y Morales, 2017*).

#### *1.2.1.2.Local*

**Caso Piladora Nuevo Horizonte SAC:** En el presente trabajo de investigación de tipo cuantitativo pre-experimental, se agrupo el arroz en la costa y selva, dado que son homogéneas entre sí en cuanto a su geometría promedio, difiriendo en humedades, mostrando que el arroz en la selva presenta 23 a 25% de humedad y en la costa de 18 a 20% de humedad, por lo cual se procedió a realizar un estudio de la cantidad de sacos secados al día en secado natural y después con el sistema propuesto de lecho fluidizado, el sistema de lecho fluidizado empleado funciona manteniendo en suspensión los granos a secar por medio de un flujo continuo de gas (aire caliente), con el cual el proceso de secado se realiza de manera más homogénea, manteniendo siempre un control de la velocidad del flujo de gas y la temperatura de entrada.

Con el objetivo de mejorar el proceso de secado de arroz cáscara, y así reducir el contenido de humedad a un rango aceptable dado por la norma técnica de Indecopi el cual es de entre 13 a 14%, controlando la temperatura en cada etapa del proceso (*Sifuentes Guerrero, 2015*).

**Caso Implementación de un prototipo secador automatizado de tipo invernadero con tiro forzado para el secado de arroz con una capacidad de 1 kg:** Dado que el problema de secado en la región Lambayeque radica en la implementación de una práctica artesanal en el cual no se puede tener un control de la temperatura a la que está sometida el grano y al mismo tiempo no se pudo lograr uniformidad en la distribución del calor, y por lo mencionado anteriormente se obtiene en el proceso de pilado un alto porcentaje de granos quebrados conocidos como ÑELEN que abarca un 31.44% del total de granos puestos a secar de manera natural.

Con lo cual diseñaron un prototipo de capacidad de 1kg, utilizando el diseño tipo invernadero, que consta de una estructura de acrílico y un sistema de ventilación controlado por arduino, que permitió extraer el aire húmedo de la cabina y mostrar los resultados en una pantalla LCD y así observar la humedad del aire en la cámara; la que en un inicio mostraba 55.2% de humedad, hasta un 21.1% en 3.5 horas de funcionamiento, con temperaturas que promedian los 34.3 °C hasta los 64.2 °C.

Y de esta manera brindar una solución alternativa a las que tenemos en el mercado actual y proponer alternativas tecnológicas a los productores de la región Lambayeque (Gaona Barboza & Torres Chapoñan, 2017).

**Caso Molino El Pirata S.A.C:** En el molino El Pirata S.A.C que se encuentra ubicado en el departamento de Lambayeque, se aprecia un déficit en la medición de la humedad del grano de arroz, lo cual alteraba el proceso de secado y envejecido, generando en algunos casos pérdidas de la calidad del producto final, puesto que no se tomaba en cuenta la humedad relativa en contraste con la humedad del grano, se generaba mayor gasto energético al tener al grano en el proceso de secado durante un periodo mayor del necesario para cumplir con el objetivo de secado.

Frente a esta problemática, se diseñó un sistema que controla la humedad basándose en la temperatura para el proceso de secado de arroz, llegando a la conclusión que de ser implementado su diseño se lograría un aumento en la producción del 25% gracias a un control exacto de la temperatura del grano y de su humedad.

El principal aporte de este proyecto fue brindar un sistema automatizado del proceso de secado, que toma registro de la temperatura y humedad tanto interna como externa para obtener resultados en tiempo real, y puesto que la forma tradicional de operar de la empresa era usando controles manuales, se generaba un alto índice de errores humanos variando la

temperatura en un rango de 40 a 45 °C y una humedad del 30 a 36%, por lo que se generaba un aumento en el tiempo de secado (Balcázar Rodas & Tesén Bravo, 2015).

### **1.3. Formulación del problema**

¿Cuál será la configuración geométrica más viable de una secadora de granos de arroz portátil con capacidad de silo de 7m<sup>3</sup>, que funciona con cascarilla de arroz, para los pequeños productores arroceros de la región Lambayeque?

### **1.4. Delimitaciones de la investigación**

El presente proyecto de investigación contemplará el diseño de una máquina secadora de granos de arroz portátil basado en los requerimientos de los pequeños arroceros de la región Lambayeque mediante el cálculo analítico basado en teorías científicas de diseño mecánico, así mismo se realizará el diseño, simulación y ajuste de parámetros en software de ingeniería SOLIDWORKS, así como también se seleccionarán componentes y se realizará los metrados correspondientes al diseño de la máquina.

### **1.5. Hipótesis**

No aplicable.

### **1.6. Objetivos**

#### **1.6.1. Objetivo General**

Diseñar una máquina secadora de granos de arroz portátil con capacidad de silo de 7 m<sup>3</sup> utilizando como combustible la cascarilla de arroz para cubrir las necesidades requeridas por los pequeños productores arroceros de la región Lambayeque.

#### **1.6.2. Objetivo Específico**

- a) Determinar el estado del arte en torno a secadoras de grano de arroz.  
Identificar las variables principales del proceso de secado de granos de arroz.
- b) Determinar la capacidad y dimensiones óptimas para el diseño de la máquina secadora portátil.
- c) Evaluar las posibles configuraciones de la máquina, para su posterior diseño.

- d) Realizar el cálculo analítico basado en teorías de diseño mecánico a los elementos más críticos para sus posterior dimensionamiento y selección de componentes de la máquina.
- e) Modelar los elementos en software CAD/CAE.
- f) Analizar mediante software FEA los elementos más críticos del sistema.
- g) Elaborar planos de fabricación e ingeniería de detalle.

## **1.7. Justificación**

El presente proyecto de investigación se desarrollará porque se tiene la necesidad de satisfacer los requerimientos de los pequeños productores arroceros de contar con una máquina portátil para el secado de granos y así aumentar el valor de su producción, optimizando el proceso de secado tradicional, obteniendo valores adecuados de humedad en un menor tiempo.

### **1.7.1. Justificación económica**

El diseño propuesto será menos costoso que adquirir una máquina de similares capacidades técnicas que el mercado ofrece, como se detalló en la realidad problemática. Al introducir al mercado Lambayecano una máquina de las capacidades que se ajustan a la producción de la región, potencializará el servicio de secado de granos a través del alquiler de la máquina, ya que por su morfología (portátil) se prestaría muy bien para brindar dicho servicio, aportando así a dinamizar la economía de la región.

### **1.7.2. Justificación ambiental**

Se plantea reducir la contaminación mediante el uso de los productos derivados del proceso del arroz como lo es la cascarilla como combustible para el horno de la secadora portátil, que al no ser utilizada en su mayoría acaba por quemarse a la intemperie de manera no controlada produciendo así cenizas con alto contenido de sílice ( $\text{SiO}_2$ ) y en otros casos simplemente almacenada hasta su descomposición produciendo gran cantidad de emisiones de gas metano ( $\text{CH}_4$ ) al ambiente.

### **1.7.3. Justificación social**

Con la introducción de la máquina en el proceso de secado brindará mejores condiciones de trabajo y seguridad, viéndose así los beneficios reflejados en mejorar la calidad de vida de los operadores.

El uso de la tecnología para reemplazar procesos artesanales impacta de forma positiva a la sociedad, optimizando el proceso de secado de granos, dándole un mejor tratamiento al producto desde una fase temprana de su industrialización y posterior consumo humano.

### **1.7.4. Justificación técnica**

El presente proyecto ayudará a potenciar la eficiencia e innovación tecnológica, con el diseño de la máquina secadora de granos portátil, poniéndola a disposición de los pequeños productores de la región Lambayeque, al introducir al proceso de secado tradicional una máquina portátil para dicho fin, el proceso de secado se realizará de manera más técnica, lo cual ayudará a que el grano no este expuesto a la intemperie, lo cual conlleva a tener contacto con agentes externos que podrían contaminar el grano como hongos, excremento de aves y roedores, etc.

## **1.8. Definición de términos básicos**

- a) Secadora de granos: Es una máquina agrícola que tiene como función principal reducir el porcentaje de humedad de los granos, para posteriormente almacenarlos de manera segura (libre de hongos).
- b) Tornillo sinfín: dispositivo mecánico utilizado en distancias pequeñas como como transportador de materiales a granel.
- c) Planta procesadora: instalaciones que cuentan con máquinas que forman una línea de producción donde se realiza la transformación de la materia prima (granos en cáscara) hasta envasado de arroz para su comercialización y consumo.
- d) Pilado de arroz: proceso en que el grano pasa por diferentes etapas como: prelimpieza, descascarado, pulimiento y abrillantado, clasificación por tamaño y clasificación por color.
- e) Secado artesanal: actividad que realizan los productores de arroz para reducir la humedad de su producción, comúnmente la realizan en pampas, extendiendo el grano en la superficie y removiéndolo gradualmente durante su exposición al sol.



- f) Cosechadora de arroz: máquina agrícola motorizada encargada de realizar la cosecha, cuenta con sistema de corte, sistema de trilla, sistema de retrilla, sistema de zarandeo y sistema de descarga.

## 1.9. Marco teórico

### 1.9.1. Teorías relacionadas al tema

#### 1.9.1.1. El arroz:

Es uno de los tres cereales que más se consume, principalmente como grano entero. El arroz es la semilla de la planta *Oryza sativa* (Figura 6). Se trata de un cereal considerado como alimento básico en muchas culturas, en especial la cocina asiática, así como en algunas partes de América Latina. El arroz es el segundo cereal más cultivado en el mundo, después del maíz y es responsable del aporte calórico de una quinta parte de las calorías consumidas en el mundo por los seres humanos (Universidad nacional autónoma de México, 2013).

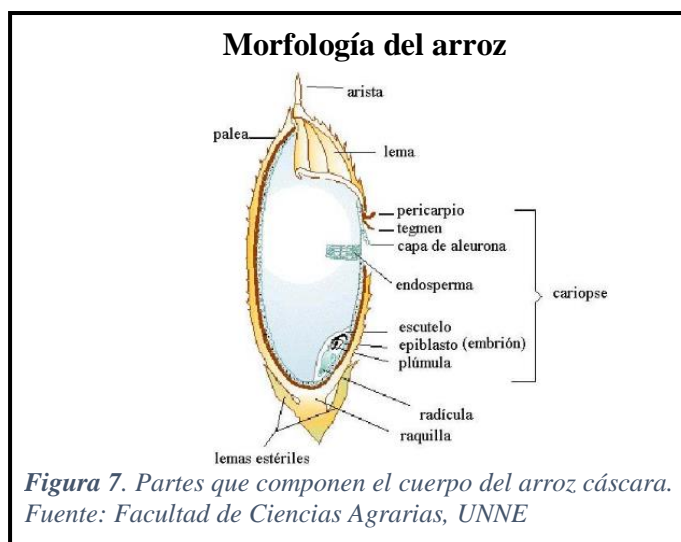


#### 1.9.1.2. Morfología:

En climas templados y subtropicales el arroz cultivado (*Oryza sativa*) se considera una planta anual semi-acuática. Sin embargo, en climas tropicales el arroz puede sobrevivir como perenne al rebrotar luego de realizada la cosecha (esta capacidad de rebrote puede emplearse para realizar una segunda cosecha o bien para emplearlo como forraje para pastoreo ganadero).

El grano de arroz, comúnmente llamado semilla, recién cosechado está formado por el cariópse y por cáscara, esta última compuesta de glumas. Industrialmente se considera al *arroz cáscara* aquel comprendido por el conjunto de cariópse y glumas (*Figura 7*).

A su vez el cariópse, está formado por el embrión, el endosperma, capas de aleurona (tejido rico en proteínas), tegmen (cubierta seminal), y el pericarpio (cubierta del fruto) (*Olmos, 2006*).



### 1.9.1.3. Composición química:

Entre las fracciones del grano de arroz, el salvado posee el máximo contenido energético y proteico y la cáscara el mínimo. En la *Tabla 5*, se muestra la composición aproximada del arroz con cáscara y de sus fracciones de elaboración al 14% de humedad (*Rodríguez Almarza, 2007*).

**Tabla 5** Composición aproximada del arroz con cáscara Y fracciones de elaboración al 14% de humedad.

Fracciones	Proteína Cruda (gN*5,95)	Grasa Cruda (g)	Fibra cruda (g)	Ceniza Cruda (g)	Carbohidratos Presentes (g)	Energía (kcal)	Densidad (g/ml)
Arroz con cáscara	5,8-7,7	1,5-2,3	7,2-10,4	2,9-5,2	64-73	378	1,17-1,23
Arroz integral	7,1-8,3	1,6-2,8	0,6-1,0	1,0-1,5	73,0-87,0	363-385	1,31
Arroz elaborado	6,3-7,1	0,3-0,5	0,2-0,5	0,3-0,8	77,0-89,0	349-373	1,44-1,46
*Salvado de arroz	11,3-14,9	15,0-19,7	7,0-11,4	6,6-9,9	34,0-62,0	399-476	1,16-1,29
**Cáscara de arroz	2,0-2,8	0,3-0,8	34,5-45,9	13,2-21,0	22,0-34,0	265-332	0,67-0,74

\*Salvado de arroz se refiere a las capas de pericarpio, legumento y aleurona, mencionada en el estudio como pulido.  
\*\* Cáscara de arroz incluye a las capas externas de grano que son la palea y la lema.

Fuente: Rodríguez Almarza, 2007

#### ***1.9.1.4. Temporadas de cultivo:***

El mes más destacado de siembra en el Perú es febrero con aproximadamente un 16.6% mientras que el mes con el menor porcentaje es abril con un 4.2% de siembra de arroz.

Los productores escogen el arroz porque es un cultivo muy resistente, no requiere mucho cuidado, pero si abundante agua. Asimismo, su periodo vegetativo es corto, entre 100 y 130 días (*Ministerio de agricultura y riego, 2017*).

#### ***1.9.1.5. Procesos de pilado del arroz:***

Una vez que el arroz ya ha cumplido el tiempo necesario para que se desarrolle y está cosechado, se requiere que este pase por un proceso industrial conocido como “pilado” donde se obtendrá arroz blanco. La cantidad de arroz blanco que se obtenga del proceso está determinada por el rendimiento del molino.

- Recepción de la Materia Prima
- Secado: Se realiza de forma natural o industrial llegando a un porcentaje de humedad de entre 13.5% a 14% de humedad.

La duración de secado es de 48 horas (natural) con la finalidad de que se enfríen los almidones y pueda cristalizar. Por tal motivo va a disminuir el quebrado a la hora de procesar.

- Pre-Limpia
- Descascarado
- Separación de cáscara
- Pulido
- Clasificador
- Selectora
- Envasado
- Almacenamiento

#### ***1.9.1.6. Rendimiento del arroz:***

La proporción de cada una de las fracciones es aproximadamente de cascarilla 20%, pulido 4 – 10%, endosperma 70-75%. Con respecto al rendimiento industrial el arroz elaborado entero obtenido en el procesamiento de arroz es variable dependiendo de las variedades usadas, los métodos de cosecha, los tratamientos post-cosecha aplicados y la

calidad del proceso industrial. El arroz elaborado tiene un rendimiento de 52-70%, el hollejo (salvado de arroz) 16-25%, de pulido 10-12%, el cual a su vez se compone de afrecho (3%), harinilla (5-8%) y germen (2%), el porcentaje de granos quebrados es de 15-20% y de puntillas 2% (Rodríguez Almarza , 2007).

#### **1.9.1.7.Importancia del secado:**

El secado de grano, la preparación como limpieza y selección del mismo, es muy importante para guardarlo y para el éxito de cualquier método de almacenamiento. Si el grano húmedo se almacena sin que el aire pase a través de éste, se calentará, respirará más rápido y producirá más calor y humedad; por lo tanto, el grano caliente, se deteriorará más rápido.

Si el grano está húmedo el calor aumenta más rápido, los hongos se desarrollan velozmente y puede germinar. Desde hace mucho tiempo, se sabe que la carne, el pescado y las frutas se pueden preservar mediante el previo secado y posteriormente se usan como alimentos, ya que no se deterioran, aunque permanezcan almacenados durante mucho tiempo. Esto se debe a que los procesos vitales ocurren en forma muy lenta cuando hay poca humedad, lo mismo ocurre con el grano. El grano bien secado del todo no se deteriora (*Postcosecha.net, 2018*).

#### **1.9.1.8.Niveles seguros de humedad del grano:**

Los granos almacenados no deben de tener más que una cierta cantidad de humedad. Aunque la cantidad de humedad que el grano puede retener durante el almacenamiento cambia, dependiendo de las condiciones de éste, se han establecido algunos porcentajes de seguridad en relación con lo que pueden contener los granos en la *tabla 6* (*Postcosecha.net, 2018*).

**Tabla 6** *Humedad de almacenamiento del arroz*

<b>Tipo de Grano</b>	<b>Contenido máximo de humedad para un almacenamiento de un año (o menos) a humedad relativa del 70% y a una temperatura de 27°C</b>
<b>Maíz</b>	13.5 %
<b>Arroz con cáscara</b>	14.0 %
<b>Arroz sin cáscara</b>	13.0 %
<b>Sorgo</b>	13.5 %
<b>Frijol</b>	13.5 %

*Fuente: postcosecha.net*

### 1.9.1.9. *Temperatura de secado:*

Se tienen que respetar las temperaturas seguras del secado. Cualquiera que sea el método usado para secar el grano, se debe de tener cuidado de que la temperatura de secado no sea demasiado alta (temperatura máxima de secado según el grano en *tabla 7*), ya que causa daño físico a las semillas. Esto hace que decrezca el rendimiento de la molienda e incluso la cantidad proteica del grano (*Postcosecha.net, 2018*).

**Tabla 7** *Temperatura máxima de secado*

Uso	Temperatura máxima °C
Maíz para producir harina	60 °C
Granos para sembrar	40 °C
Arroz para alimento	45 °C
Frijol para alimento	35 °C

Fuente: *postcosecha.net*

La temperatura de secado, depende del uso que se le dará al grano. El secado del grano a temperaturas bajas da por lo general un grano de mejor calidad que cuando se utilizan temperaturas altas. También se deben usar temperaturas bajas para secar el grano muy húmedo. Es mejor tardarse un poco más y usar temperaturas no muy altas para secar el grano, que correr el riesgo de dañar o quemar el grano (*Postcosecha.net, 2018*).

### 1.9.1.10. *Temperatura del producto durante el secado ( $T_p$ )*

Para hallar la temperatura a la que se encuentra el producto (temperatura límite de enfriamiento) durante el proceso de secado, se hará uso de la carta psicrométrica (*Anexo 2*), de donde se obtiene 30°C para la temperatura de 65°C (Esta viene a ser la temperatura de bulbo húmedo).

### 1.9.1.11. *Velocidad de secado*

El concepto de velocidad de secado es algo diferente al de tiempo de permanencia, pero está relacionado.

Se entiende por velocidad de secado a los puntos de humedad que se extraen en una unidad de tiempo, generalmente una hora.

Era común expresar que no convenía extraer más de 5 puntos/hora en el caso del maíz, y valores menores para el trigo y otros granos. Si la extracción no alcanzaba con 5 puntos/hora (por ejemplo, de 22 a 14%) se recomendaba hacer dos pasadas por la secadora, ya que

velocidades mayores podían afectar la calidad del grano y originar falta de uniformidad en el secado.

Pero la velocidad de secado es también dependiente del tipo de grano, pues algunos granos se secan con mayor facilidad.

Puede afirmarse que las semillas pequeñas pierden su humedad con mayor facilidad que las más grandes (*Alberto de Dios, 1996*).

#### ***1.9.1.12. Medición de la humedad de los granos:***

Para determinar la humedad de los granos se utilizan aparatos medidores de humedad llamados "humedímetros", empleados durante el acopio de granos, los cuales deben estar correctamente calibrados.

Muchos de estos humedímetros, trabajan por capacitancia eléctrica, y también pueden dar origen a varios errores, como que:

- El humedímetro no está adecuadamente calibrado.
- No efectuar las correcciones por temperatura de los granos.

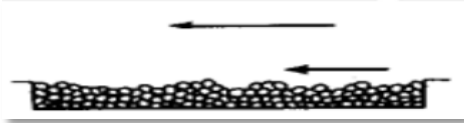
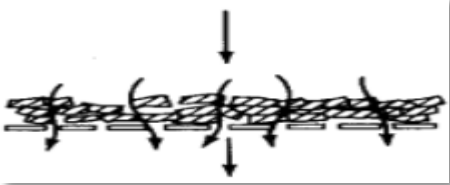

No tener en cuenta el revenido del grano (*Alberto de Dios, 1996*).

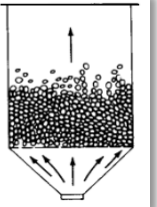
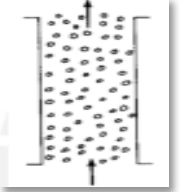
Afortunadamente existen hoy en el mercado nuevos medidores de humedad, más precisos y que hacen automáticamente la corrección por temperatura, y con una correcta implementación se pueden dar valores reales del porcentaje de humedad del grano.

#### **1.9.2. Tipos de secado:**

El secado de granos de arroz, al igual que otros productos como el maíz, desde sus orígenes se realizaba a través del método convencional, que era aprovechando las grandes pampas y la radiación solar para extraer la humedad, en algunos casos era necesario esperar a que el producto este completamente seco antes de la cosecha, esto no presentaba mayor inconveniente, pero con la llegada de la industrialización y la creciente demandando del arroz y otros granos, y esto sumado a la aparición de las cosechadoras automáticas, provocó que esperar a que el producto este completamente seco genere un cuello de botella que se superó acelerando el proceso de secado, utilizando técnicas de ingeniería y estudios del comportamiento de los diferentes granos para optimizar el proceso (*ver tabla 8*).

Tabla 8 Tipos de secado

Tipos de secado:		
Tratamiento de sólidos en los secadores:		En los equipos de contacto de gas-sólido, los sólidos pueden encontrarse en cualquiera de las condiciones siguientes:
Flujo paralelo de gas con lecho estático	El gas circula por toda la superficie del producto ubicado en un lecho laminar, formando una película continua sobre este, este proceso se conoce como circulación superficial.	 <p>Figura 8. Flujo de gas sobre lecho estático</p>
Flujo perpendicular de gas con lecho estático	El gas circula a través de un lecho de sólidos granulares gruesos que pueden o no estar en movimiento y que están soportados sobre una rejilla (Figura 9). Como en el caso del secado con circulación superficial, la velocidad del gas se mantiene baja para evitar el arrastre de partículas sólidas.	 <p>Figura 9. Flujo a través de un lecho sólido</p>
Flujo perpendicular de gas con movimiento rotatorio	Los sólidos descienden en forma de lluvia a través de una corriente de gas que se mueve lentamente (Figura 10), con frecuencia dando lugar a un arrastre no deseado de las partículas finas. El flujo del gas es transversal (Caballero, 2015).	 <p>Figura 10. Secado rotatorio</p>

<p>Lecho fluidizado</p>	<p>El gas pasa a través de los sólidos en flujo a contracorriente con una velocidad suficiente para fluidizar el lecho (<i>Figura 11</i>). Inevitablemente se produce arrastre de las partículas más finas.</p>	 <p><i>Figura 11. Lecho fluidizado</i></p>
<p>Secado en flash con flujo paralelo</p>	<p>Los sólidos son totalmente arrastrados por una corriente de gas de gran velocidad y son neumáticamente transportados desde un dispositivo de mezcla hacia un separador mecánico (<i>Figura 12</i>).</p>	 <p><i>Figura 12. Secadero flash</i></p>

Fuente: (Caballero, 2015)

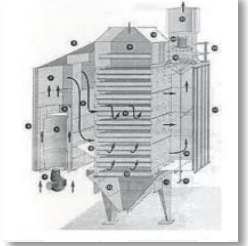
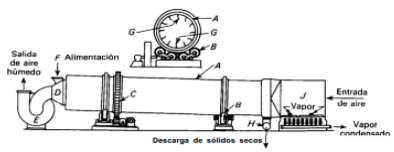
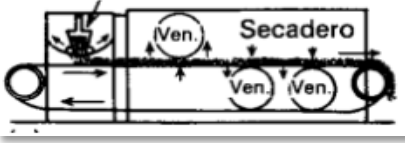


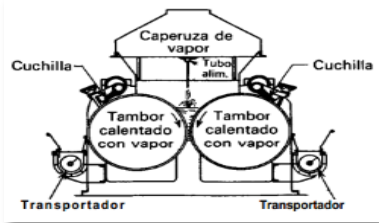
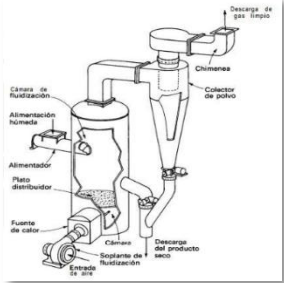
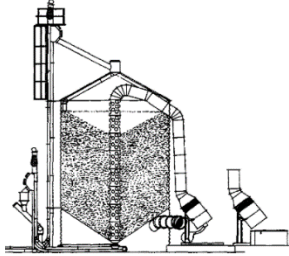
### 1.9.2.1. Clasificación de secadores

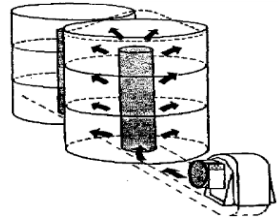

Existen secadores continuos y otros por carga; unos mantienen agitado el sólido y otros no. Los equipos de secado pueden clasificarse en secadores en los que los sólidos se encuentran directamente expuestos a un gas caliente (generalmente aire), y secadores en los que el calor es transmitido al sólido desde un medio externo (intercambiador de calor) (Caballero, 2015).

A continuación, se muestran algunos tipos de secadores utilizados en la industria en la *tabla 9*:

*Tabla 9* Clasificación de secadoras

<p>Secador de bandejas o armario:</p>	<p>De régimen intermitente, formado por una cámara metálica rectangular que contiene unos soportes móviles sobre los que se apoyan los bastidores con los productos a secar (<i>Figura 13</i>), cada uno con un número de bandejas poco profundas (10 a 100 mm de profundidad). El aire caliente circula entre las bandejas por tiro forzado, siendo previamente calentado por medio de intercambio de calor.</p>	 <p><i>Figura 13. Secador de bandejas</i></p>
<p>Secador rotatorio:</p>	<p>Secador de flujo continuo, posee una cáscara cilíndrica que gira sobre sus soportes y trabaja con una ligera inclinación respecto a la horizontal (<i>Figura 14</i>), los gases avanzan en el sentido de la descarga, éstos ayudan al material a avanzar; pero también pueden ir en contra sentido.</p>	 <p><i>Figura 14. Secador Rotatorio Horizontal.</i></p>
<p>Secador de túnel:</p>	<p>Se asemejan a los secadores de bandeja, pero tienen un funcionamiento semi-continuo. Aquí las bandejas se cargan sobre carretillas que se trasladan a lo largo del túnel de secado como en la <i>figura 15</i>, con gases calientes que pasan sobre la superficie de cada bandeja con un flujo que puede ser a contracorriente, en paralelo o una combinación de ambos.</p>	 <p><i>Figura 15. Secador de túnel</i></p>

<p>Secador de tambor:</p>	<p>Un secador de tambor consiste en uno o más rodillos metálicos calentados, en cuya superficie exterior se evapora hasta sequedad una delgada capa de líquido (<i>Figura 16</i>). El sólido seco es retirado de los rodillos a medida que éstos giran lentamente.</p>	 <p><i>Figura 16. Secador de tambor.</i></p>
<p>Secador de lecho fluidizado:</p>	<p>Son aquellos secadores en los que los sólidos están fluidizados por el gas caliente (<i>Figura 17</i>). La mezcla y transmisión de calor son muy rápidas. Los granos húmedos se introduce por la parte superior del lecho, el producto seco se retira lateralmente cerca del fondo.</p>	 <p><i>Figura 17. Secador de lecho fluidizado.</i></p>
<p>Secadora en tandas:</p>	<p>En este sistema, el secado reside en colocar el grano húmedo en la secadora, mantenerlo en ella hasta que es secado, y luego enfriado en la misma (<i>figura 18</i>). Posteriormente, el grano es extraído, y la secadora se vuelve a llenar con otra tanda generando un flujo semi-continuo (<i>Alberto de Dios, 1996</i>).</p>	 <p><i>Figura 18. Secadora en tandas</i></p>

<p>Silos secadores:</p>	<p>Se trata de un sistema de secado en silo con aire natural y/o baja temperatura diseñado para el secado de granos especiales de alto valor y altas exigencias de calidad. Como su nombre lo indica el grano es secado mientras permanece inmóvil dentro de un silo (<i>Figura 19</i>) y se fuerza la circulación de aire en condiciones ambientales o apenas calentados (<i>De la Torre, 2015</i>).</p>	 <p><i>Figura 19. Silo secador</i></p>
<p>Secadoras solares y artesanales:</p>	<p>Se emplea el uso de la energía solar para secar los granos en patios, playas o canchas donde se vuelcan y distribuyen los granos húmedos expuesto en capas de pocos centímetros y con una remoción periódica, siendo un método lento y poco eficiente (<i>Alberto de Dios, 1996</i>).</p>	 <p><i>Figura 20. Secado en pampas</i></p>

### 1.9.3. Bases teóricas científicas

#### 1.9.3.1. Parámetros de secado

##### A. Psicrometría

El caso más importante de las mezclas gas-vapor lo constituye el aire húmedo o aire atmosférico, que es una mezcla de aire seco y vapor de agua. Los procesos en los que interviene el aire húmedo tienen una gran importancia en meteorología, así como en los casos particulares del aire acondicionado y del secado. Para poder entender este fenómeno es necesario definir los siguientes términos (Caballero, 2015).

##### B. Humedad Relativa ( $\phi$ )

Es el cociente de la presión parcial del vapor en la mezcla ( $P_v$ ), entre la presión de saturación del vapor a la temperatura de la mezcla ( $P_s$ ).

Representada también como la cantidad de humedad que el aire contiene ( $m_v$ ) respecto a la cantidad máxima de humedad que el aire puede contener a la misma temperatura ( $m_g$ ).

$$\phi = \frac{P_v}{P_s} = \frac{m_v}{m_g}$$

*Ecuación 1 Humedad Relativa*

##### C. Humedad absoluta o específica ( $\omega$ )

Se define como: "el cociente entre la masa de vapor ( $m_v$ ) y la masa de aire seco ( $m_a$ ). Representada también como la masa de vapor de agua presente en una unidad de masa de aire seco, *kg de vapor de agua/kg aire seco*.

$$\omega = \frac{m_v}{m_a}$$

$$\omega = 0.622 \frac{P_v}{P_s} = 0.622 \frac{P_v}{P - P_v} = 0.622 \phi \frac{P_s}{P - P_s}$$

*Ecuación 2 Humedad absoluta*

##### D. Temperatura de Bulbo Seco (TBS)

Temperatura que indicaría un termómetro al ser colocado en una mezcla. Es la temperatura ordinaria del aire atmosférico (Caballero, 2015).

### **E. Temperatura de Bulbo Húmedo (TBH)**

Temperatura indicada por un termómetro que tiene su bulbo sensor humedecido e inmerso en una corriente de aire húmedo.

En el caso del aire atmosférico (o aire ambiente o aire húmedo) la temperatura de bulbo húmedo es, para todos los propósitos prácticos, igual a la temperatura de saturación adiabática (Caballero, 2015).

### **F. Transferencia de Calor**

Durante el secado se produce la transmisión de calor para evaporar el líquido y la transferencia de masas entre el cuerpo secado y el aire.

La transferencia de calor se realiza entre dos puntos o regiones a distintas temperaturas, de tres maneras diferentes (Caballero, 2015).

### **G. Conducción**

Es la transmisión de calor a través de un medio sólido, líquido o gaseoso, debido al movimiento de las moléculas. El flujo de calor por conducción está dado por la siguiente expresión:

$$\dot{q}_k = -kA \left[ \frac{dT}{dx} \right]$$

*Ecuación 3 Conducción*

Dónde:

$\dot{q}_k$  = flujo de calor por conducción, en W

A = Área de la superficie de transferencia de calor, en m<sup>2</sup>

dT/dx = Gradiente de temperatura en la dirección x, en °C/m

k = Conductividad térmica del material, en w/m°C

### **H. Convección**

Es la Transmisión de calor que tiene lugar entre una superficie y un fluido en movimiento en contacto con ella. El flujo de calor está dado por la siguiente expresión:

$$\dot{q}_c = h_c A (T_s - T_\infty)$$

*Ecuación 4 Convección*

Dónde:

$T_{\infty}$  = Temperatura de referencia en el fluido, en °C

$\dot{q}_c$  = flujo de calor por convección, en W

$h_c$  = Coeficiente de transmisión de calor por convección, en  $w/m^2\text{°C}$

$A$  = Área de la superficie de transferencia de calor, en  $m^2$

$T_s$  = Temperatura de la superficie, en °C

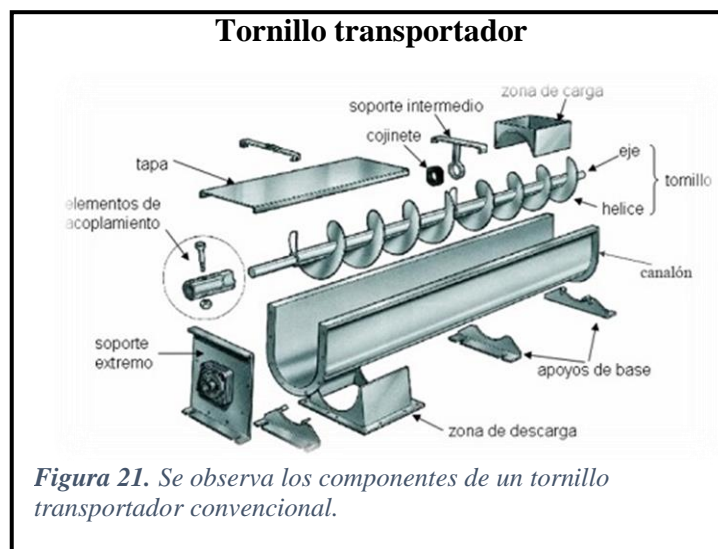
## I. Radiación

Generalmente el calor por radiación puede ser despreciado cuando la temperatura de trabajo se encuentra debajo de 600 °C, pues su valor no es significativo (Caballero, 2015).

### 1.9.3.2. Tornillos transportadores

#### A. Componentes del sistema:

El sistema de transporte de tornillo sin fin consta de una hélice montada sobre un eje dentro de un canal (ver figura 21), que gracias a un grupo motriz produce un movimiento rotatorio que da un movimiento lineal a los diferentes productos a granel que se encuentren en su interior. Para materiales y productos normales, la hélice del tornillo transportador está fabricado en chapa de acero al carbono de 3 a 4 mm de espesor, el paso y las características del material, así no el número de rpm con el cual debe contar, están directamente relacionados con el material a transportar. (Rodríguez Galbarro, 2018)



### B. Velocidad de giro del tornillo:

Según el material que se desea transportar, el rpm con las que contará el tornillo tendrán que variar, esto en función a si el material es ligero o pesado.

Una aproximación generalizada nos dice que:

**Tabla 10** Los rpm según los distintos materiales

<b>Materiales ligeros</b>	<b>n ≈ 50 rpm</b>
<b>Materiales pesados</b>	<b>n &lt; 150 rpm</b>

*Fuente: Ingemecanica*

En general, se cumple que la velocidad de giro de un transportador de tornillo es inversamente proporcional al peso a granel del material, al grado de abrasividad y al diámetro propio del tornillo. (Rodríguez Galbarro, 2018)

### C. Capacidad de transporte:

- Área de relleno del canalón:

$$S = \lambda \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

*Ecuación 5 Área de llenado de tornillo transportador*

Donde:

*S = Area de relleno del transportador, en m<sup>2</sup>*

*D = Diametro del canal del transportador, en m*

*λ = Coeficiente de relleno de la seccion en función al material*

**Tabla 11** Coeficientes de relleno según el tipo de carga a transportar.

<b>Tipo de carga</b>	<b>Coeficiente de relleno, λ</b>
<b>Pesada y abrasiva</b>	0.125
<b>Pesado y poco abrasiva</b>	0.25
<b>Ligera y poco abrasiva</b>	0.32
<b>Ligera y no abrasiva</b>	0.4

*Fuente: Ingemecanica*

- Velocidad de desplazamiento del transportador:

Está directamente relacionado con el paso del tornillo y con su velocidad de giro.

$$V = \frac{p \cdot n}{60}$$

*Ecuación 6 Velocidad de desplazamiento*

Donde:

*V = Velocidad de desplazamiento del transportador en m/s*

*p = Paso del tornillo o paso de helice, en m*

*n = Velocidad de giro del eje del tornillo, en r.p.m.*

#### **D. Potencia de accionamiento:**

Se compone de la suma de 2 componentes principales:

$$P = P_H + P_N$$

*Ecuación 7 Potencia de accionamiento*

Donde:

*P = Potencia de accionamiento*

*P<sub>H</sub> = Potencia necesaria para el desplazamiento Horizontal del material*

*P<sub>N</sub> = Potencia de accionamiento del tornillo vacío*

#### **E. Capacidad de torque del eje del transportador:**

Está directamente relacionado con la potencia en HP

$$\text{Torque} = \frac{63.025 * P}{rpm}$$

*Ecuación 8 Torque*

Donde:

*P = Potencia de accionamiento*

*rpm = Revoluciones por minuto*

#### **1.9.3.3. Tolvas y silos:**

El objetivo del diseño de un silo es minimizar el área a utilizar para mantener determinado material almacenado de manera ordenada y alejado de posibles contaminantes, usualmente se almacenan sólidos granulares que tienden a fluir.



“A diferencia del almacenamiento de fluidos, el almacenamiento de sólidos provoca que se generen presiones en las paredes del contingente debidas al rozamiento interno del material, y al de este con las paredes. De igual modo que las condiciones de carga y descarga hacen que el flujo del material por el interior del silo genere situaciones críticas para la estructura” (EMAN, 2017).

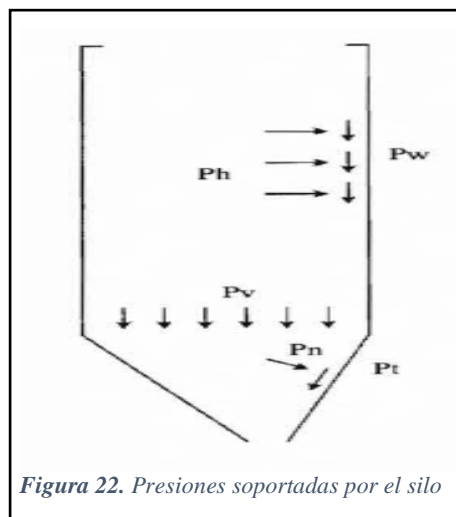
Entre los principales problemas del cálculo de silos y tolvas esta la imposibilidad de tratar las presiones de fluidos de los diferentes materiales granulares, como presiones hidrostáticas, entonces con el objetivo de brindar un sistema general de cálculo aceptado mundialmente como correcto, todo cálculo y diseño de silos y tolvas esta normado según el Eurocódigo 1 específicamente en el apartado 4.

Teniendo como consideraciones básicas el cálculo de presiones estáticas del silo y las respectivas presiones de llenado y vaciado del mismo.

Según el Eurocódigo, en primer lugar, cabe mencionar donde se definen el campo de aplicación de la norma, estas son:

- La forma de la sección transversal de los silos.
- El llenado produce unos efectos de inercia y unas cargas de impacto despreciables.
- El diámetro máximo de las partículas del material almacenado
- El material almacenado está suelto (con baja cohesión) o muy cohesionado.
- La excentricidad del material almacenado debida al llenado.

El Eurocódigo utiliza para las cargas de llenado de silos el método de Janssen de 1895, con la salvedad de que la norma determina de manera directa la constante de rozamiento del material como una constante mediante hallada mediante ensayo del material a almacenar con lo cual las presiones quedan expresadas como en la *figura 22*.



### A. Cálculo de presión horizontal:

$$P_h(z) = \frac{\rho * S}{\mu * U} * C_z(z)$$

*Ecuación 9*

Con parámetros:

$$C_z(z) = 1 - e^{(-z/z_0)}$$

*Ecuación 10*

$$z_0 = \frac{S}{K_s * \mu * U}$$

*Ecuación 11*

Donde:

$P_h(z)$  = Presión horizontal en función de la profundidad

$z$  = Profundidad

$\rho$  = Densidad del arroz

$S$  = Sección de la tolva

$\mu$  = Coeficiente de rozamiento del material con la pared

$U$  = Perímetro del silo

$K_s$  = Relación entre presiones Verticales y Horizontales

El coeficiente de rozamiento  $\mu$ , y la relación de presiones  $K_s$  se obtienen de tablas proporcionadas por el Eurocódigo1.

*Tabla 12 Propiedades de materiales ensilados*

Material	Densidad $\gamma$ kN/m <sup>3</sup>	Relación de presiones $K_{s,m}$	Coefficiente de rozamiento $\mu_m$ acero	Coefficiente de rozamiento $\mu_m$ hormigón	Coefficiente de mayoración de la carga $C_0$
<b>Cebada</b>	8.5	0.55	0.35	0.45	1.35
<b>Cemento</b>	16	0.50	0.40	0.50	1.40
<b>Clinker cemento</b>	18	0.45	0.45	0.55	1.40
<b>Arena seca</b>	16	0.45	0.40	0.50	1.40
<b>Harina</b>	7	0.40	0.30	0.40	1.45
<b>Cenizas volantes</b>	14	0.45	0.45	0.55	1.45
<b>Maíz</b>	8.5	0.50	0.30	0.40	1.40
<b>Azúcar</b>	9.5	0.50	0.45	0.55	1.40
<b>Trigo</b>	9	0.55	0.30	0.40	1.30
<b>Carbón</b>	10	0.50	0.45	0.55	1.45

*Fuente: (Eurocódigo, 1998)*

## B. Cálculo de presiones resultantes:

Se determina las diferentes presiones tanto en pares verticales como en paredes inclinadas, la presión de llenado se compone de una presión fija y de una presión libre llamada carga local, la presión fija se calcula mediante la siguiente expresión:

$$P_p = 0.2 \beta * P_h$$

*Ecuación 12*

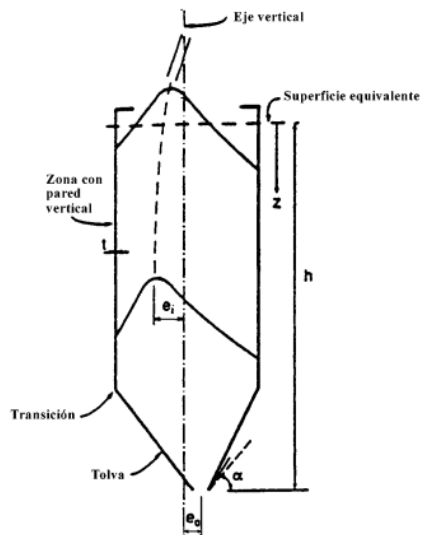
Siendo:

$$\beta = 1 + 4 \frac{e_i}{d_c}$$

Donde:

$e_i$  y  $d_c$  = *representan la excentricidad del silo o tolva*

Las variables mencionadas anteriormente se representan en la *figura 23*:



*Figura 23. Excentricidad en silos*

En el cuerpo del silo se componen de una presión fija y una presión local. Las presiones debidas al rozamiento y las presiones horizontales, se calculan multiplicando las correspondientes presiones de llenado con los coeficientes que intensifican dichas presiones para obtener un factor de seguridad en el diseño.

La presión local de vaciado se aplica igual que para el llenado, pero con el valor adicional, dónde  $\beta$  mantiene el mismo valor que para las presiones de llenado. En la tolva se aplican las mismas cargas que en el llenado, pero añadiendo una sobrecarga en la zona más cercana

a la transición, el valor de esa sobrecarga es el doble de la presión horizontal debida al llenado en la zona de transición.

#### *1.9.3.4. Transferencia de calor y principios de termodinámica:*

##### **A. Primera ley de la termodinámica:**

También conocida como principio de conservación de la energía, expresa que en el curso de un proceso, la energía no se puede crear ni destruir; solo cambia su morfología. Por tal motivo, toda porción de energía debe tomarse en cuenta en el proceso, es decir:

$$E_{ent} - E_{sal} = \Delta E_{sistema}$$

*Ecuación 13*

##### **B. Balance de energía para sistemas de flujo estacionario:**

“La mayor parte de los volúmenes de control se analizan en condiciones estacionarias de operación” tal y como lo menciona (Cengel, 2011).

Por lo tanto, la cantidad de energía que entra en un volumen de control en todas las formas (calor, trabajo, transferencia de masa) para un proceso de flujo estacionario debe ser igual a la cantidad de energía que sale de él.

$$\dot{Q} = \dot{m}\Delta h = mc_p\Delta T$$

*Ecuación 14*

Donde:

$$\dot{Q} = \text{Razon de transferencia neta de calor}$$

$$\dot{m} = \text{Gasto masico de un fluido}$$

##### **C. Intercambiadores d calor:**

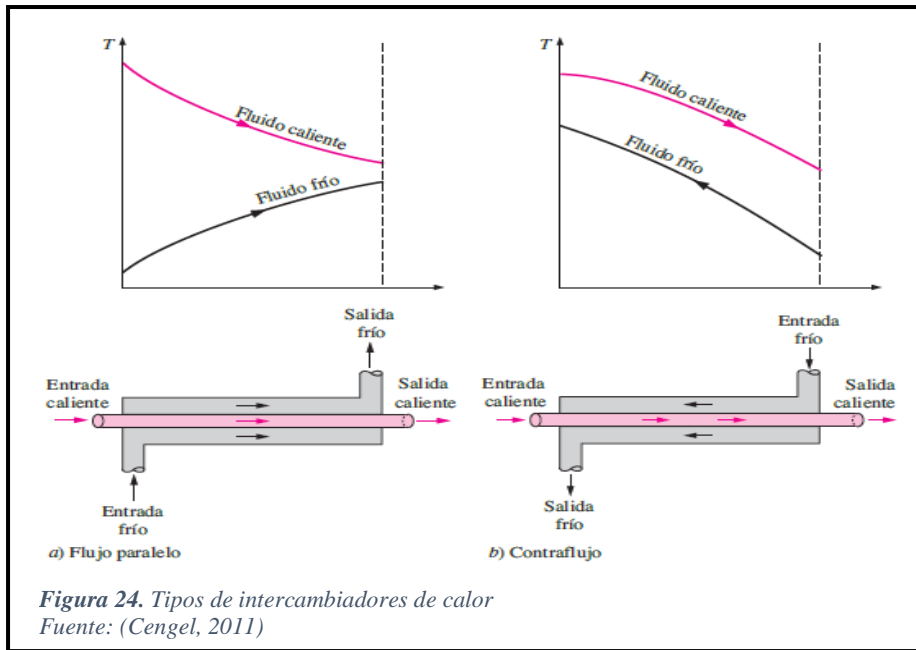
Son aparatos que facilitan el intercambio de calor entre dos fluidos que se encuentran a temperaturas diferentes y evitan al mismo tiempo que se mezclen entre sí, característica muy útil cuando se quiere evitar posibles contaminaciones, y mantener el sistema completamente aislado.

Para intercambiadores de calor tenemos diferentes geometrías para distintas aplicaciones, cada una con sus respectivas ventajas y desventajas y es trabajo del ingeniero a cargo seleccionar la correcta para cada situación con lo cual tenemos:

- Intercambiador de flujo paralelo

- Intercambiador de contra flujo

Se puede apreciar las diferencias en la *figura 24*:



Como es el caso de máquinas térmicas complejas, se calcula el coeficiente global de transferencia de calor  $U$ , en la ecuación xx se expresa la razón de transferencia de calor entre los fluidos en función del coeficiente global de transferencia:

$$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{R} = UA_s \Delta T = U_i A_i \Delta T = U_o A_o \Delta T$$

*Ecuación 15*

Donde el  $U$  queda expresado en función de las entalpías:

$$\frac{1}{U} \approx \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_o}$$

*Ecuación 16*

### 1.9.3.5. Resistencia de materiales:

“La resistencia es una propiedad o característica de un elemento *mecánico*. Esta propiedad resulta de la identidad del material, del tratamiento y procesamiento incidental para crear su geometría, y de la carga” (Budynas & Nisbett, 2008).

El objetivo de conocer las características del material que se tiene a disposición, es de gran valor para un ingeniero puesto que para diseñar y posteriormente construir cualquier sistema mecánico que funcione tal cual se espera, es diseñarlo bajo ciertas condiciones de trabajo que el material debe soportar.

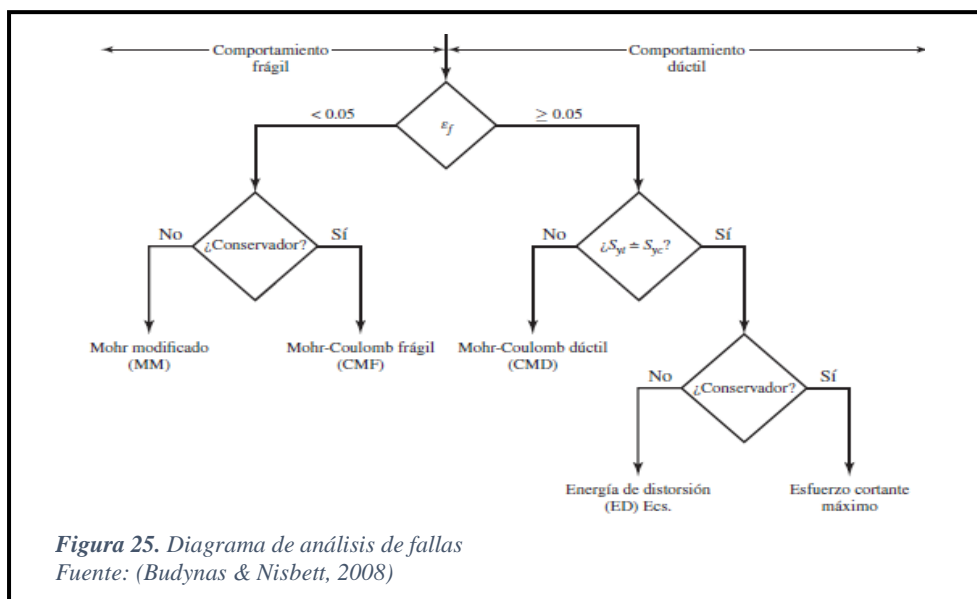
Con el objetivo de crear diseño confiable se presentan diferentes métodos de diseño teniendo como premisa base la falla que puede tener dicho diseño con lo que tenemos lo siguiente:

### A. Teorías de falla:

Se puede clasificar estas teorías según el material a analizar:

- **Materiales dúctiles (criterios de fluencia)**
  - Esfuerzo cortante máximo (ECM)
  - Energía de distorsión (ED)
  - Mohr Coulomb dúctil (CMD)
- **Materiales frágiles (criterios de fractura)**
  - Esfuerzo normal máximo (ENM)
  - Mohr Coulomb frágil (CMF)
  - Mohr modificada (MM)

Con el objetivo de hacer mucho más sencilla la selección de una o varias teorías por la cual analizar un elemento el libro de Shigley nos proporciona el siguiente diagrama (ver figura 25):

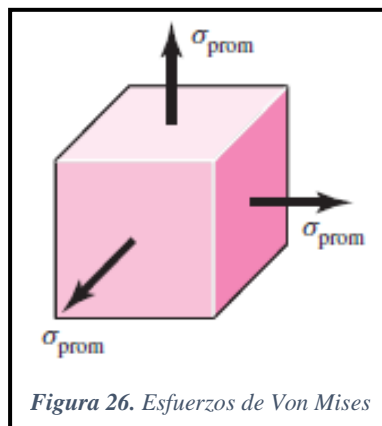


Puesto que el análisis realizado en esta tesis se enfoca en el método de análisis de falla por la teoría de la energía de distorsión, es donde más énfasis se pondrá en comparación con los otros métodos presentados anteriormente.

- **Teoría para la falla Energía de distorsión (ED)**

“La teoría de la energía de distorsión se originó debido a que se comprobó que los materiales dúctiles sometidos a esfuerzos hidrostáticos presentan resistencias a la fluencia que exceden en gran medida los valores que resultan del ensayo de tensión simple. Por lo tanto, se postuló que la fluencia no era un fenómeno de tensión o compresión simples, sino más bien, que estaba relacionada de alguna manera con la distorsión angular del elemento esforzado” (Budynas & Nisbett, 2008).

El estado de esfuerzos que se muestra en la *figura 26*:



Donde la fórmula que lo representa es:

$$\sigma_{prom} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3}$$

*Ecuación 17*

En el caso del estado general de esfuerzo dado por la ecuación anterior se puede relacionar directamente con la fluencia del material de la siguiente manera:

$$\left[ \frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2} \right]^{1/2} \geq S_y$$

*Ecuación 18*

De ser el caso de una tensión simple la fluencia se da cuando  $\sigma \geq S_y$ . Por lo tanto, puede considerarse como un esfuerzo sencillo, equivalente o efectivo del estado general total del esfuerzo dado por  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  y  $\sigma_3$ . Por lo general, este esfuerzo efectivo se llama esfuerzo von Mises, en honor del doctor R. von Mises, quien contribuyó a elaborar la teoría. Así, la ecuación, de la fluencia, puede escribirse como:

$$\sigma' = \left[ \frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2} \right]^{1/2}$$

*Ecuación 19*

#### **1.9.3.6. Definición básica de mecanismos:**

“El concepto de mecanismo hace referencia a la totalidad que forman los diversos componentes de una maquinaria y que se hallan en la disposición propicia para su adecuado funcionamiento” (Pérez Porto & Gardey, 2012).

#### **A. Tipos de movimiento en un mecanismo:**

- Movimiento lineal: Es el desplazamiento de un cuerpo en línea recta o en una dirección determinada.
- Movimiento rotatorio o circular: Es el desplazamiento de un cuerpo que sigue una trayectoria circular.
- Movimiento alternativo: Es el desplazamiento de un cuerpo hacia delante y hacia atrás, a lo largo de una línea (un reloj de cuco, un pistón de un motor de explosión).
- Movimiento oscilante: Es el desplazamiento de un cuerpo hacia delante y hacia atrás según una trayectoria curva, que describe un arco de circunferencia. Un ejemplo lo proporciona el péndulo.

En general existen un sinnúmero de mecanismos con el cual trabajar, y cuyo propósito es hacer que un conjunto de componentes trabaje de manera sincronizada a fin de llevar una tarea a cabo de la manera más eficiente, por lo cual en esta tesis se contemplará en el apartado final el uso de estos sistemas de una manera somera y centralizada.

#### **1.9.3.7. Análisis de elementos finitos:**

En la mayoría de los problemas de análisis mecánico, solemos tomar de manera muy simplificada cualquier componente con el objetivo de analizarlo y obtener valor



bastantes semejantes a lo que sucedería en la realidad, pero dado que muchas veces estas simplificaciones nos alejan de los valores reales y muchas veces los cálculos que asumimos no son los más exactos para ciertas situaciones, y obtener datos fiables simplemente se lograría mediante métodos numéricos o la experimentación, y en ambos casos demanda de tiempo y gasto de dinero, con lo cual aparece el método de análisis por elementos finitos que consta de tratar a un componente mecánico real como una estructura elástica continua (un continuo). “El método de análisis por elementos finitos, conocido como FEA por sus siglas en inglés, divide (“discretiza”), la estructura en pequeñas subestructuras (elementos) de tipo elástico, bien definidas pero finitas. Al emplear funciones polinomiales, en conjunto con operaciones matriciales, el comportamiento elástico continuo de cada elemento se desarrolla en términos del material y las propiedades geométricas del elemento. Las cargas se pueden aplicar dentro del elemento (gravedad, dinámica, térmica, etc.), en la superficie del elemento o en los nodos del mismo. Estos nodos son las entidades fundamentales de gobierno del elemento, en la medida en que el nodo es donde se conecta un elemento con los otros, donde finalmente se establecen las propiedades elásticas de los mismos, donde se asignan las condiciones de frontera y donde, por último, se aplican las fuerzas (de contacto o cuerpo)” (Budynas & Nisbett, 2008).

Todo este análisis sigue siendo un proceso largo y tedioso que gracias a las computadoras se simplifico bastante ya que lo resuelve de manera simultánea, ahorrándonos mucho tiempo.

#### **A. Generación de malla:**

La red de elementos y nodos que “discretizan” una región se conoce como malla, el proceso de mallado cumple un rol muy importante puesto que mientras más fina sea la malla el resultado obtenido después del análisis será más preciso.

Existen tres formas de generar una malla:

- **Generación manual de mallas**, método intensivo que requiere de mucha labor, es muy poco utilizada.
- **Generación semiautomática de mallas**, con la creación de algoritmos y la delimitación de las condiciones de frontera, se considera semiautomática puesto que es necesario delimitar las zonas a mallar.
- **Generación automatizada de mallas**, Este tipo de mallado es el que actualmente los softwares utilizan para reducir el tiempo de mallado y logrando mejores resultados que los anteriormente mencionados.

## **B. Técnicas de modelado:**

“Con los actuales paquetes de CAD y generadores automáticos de mallas, es una tarea cómoda crear un modelo sólido y enmallar el volumen con elementos finitos. Con las velocidades de computación actuales y con sobrada memoria de trabajo computacional, es muy fácil crear un modelo con números extremadamente grandes de elementos y nodos. Las técnicas antiguas de modelado de elemento finito parecen pasadas de moda e innecesarias. No obstante, puede gastarse mucho tiempo de manera innecesaria en un modelo sumamente complejo cuando uno mucho más sencillo funcionaría” (Budynas & Nisbett, 2008). Por tal motivo es trabajo del ingeniero determinar la necesidad de presión en las diversas aplicaciones, con el objetivo de reducir tiempo y lograr los mismos resultados satisfactorios

## **II. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.1. Tipo y diseño de investigación**

#### **A. Tipo de la investigación.**

El tipo de la investigación adoptada será tecnológica puesto que se pretende diseñar una máquina para optimizar el proceso de secado, contribuyendo así a la innovación, sustituyendo el proceso artesanal y las deficiencias que este acarrea.

### **2.2. Variables y datos**

#### **2.2.1. Variables**

##### **a) Independientes:**

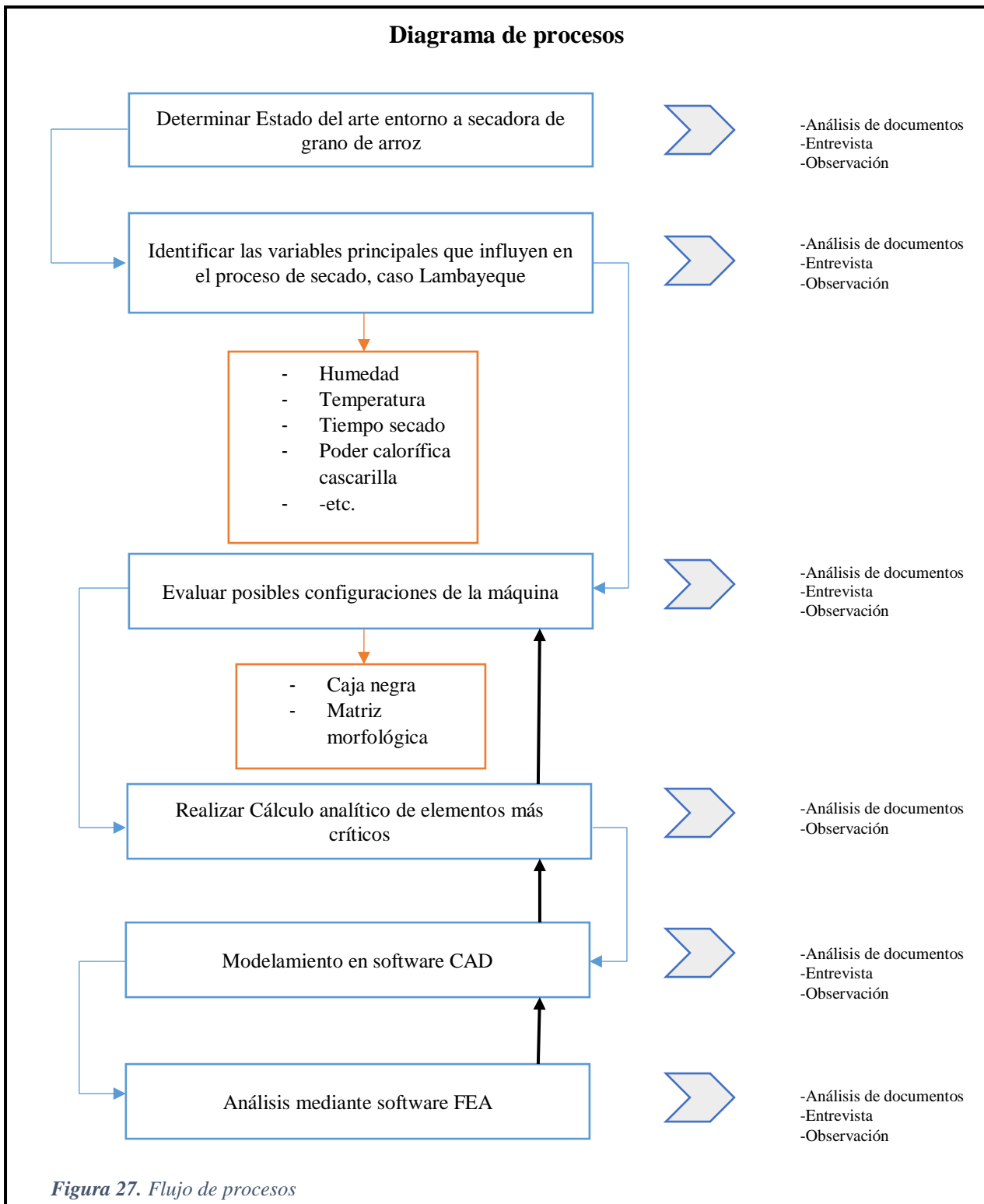
- Humedad de grano (%).
- Poder calorífico de la cascarilla de arroz.
- Máxima demanda energética.

##### **b) Dependientes:**

- Tiempo de secado.
- Temperatura de secado
- Caudal de aire.

## 2.2.2. Procedimiento para la recolección de datos

### A. DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESOS.



### III. RESULTADOS

#### 3.1. Identificación de necesidades

Se realizó entrevistas, a diferentes expertos de diseño de plantas procesadoras de arroz, operadores de secadoras industriales, comercializadores de maquinaria del rubro molinería, así como también a agricultores de la región Lambayeque, y se pudo constatar lo siguiente:

Que los pequeños agricultores no cuentan con los recursos económicos para la adquisición de maquinaria industrial para el secado de su producción, teniendo muchas veces que alquilar el servicio de secado “pampas de secado” o no tener otra opción más que vender su producto a un bajo costo a los grandes molinos (pagándoles de acuerdo al grado de humedad; a mayor humedad menor costo) que cuentan con secadora de granos industrial.

Además, con las guías de observación y las diferentes visitas acampo se consiguió la siguiente información:

En la región Lambayeque las cosechadoras automáticas de mayor demanda son la WORLD 4LZ400 y la ZUKAI 4LZ350 y sus capacidades de cosecha varían entre 2.3 a 2.5 toneladas por hora (Ver tabla 13-14).

Tabla 13 Cosechadoras predominantes

Cosechadoras predominantes	Capacidad de cosecha (Hect/día)	Día de trabajo (h)	Rendimiento (T/d)	Capacidad de cosecha (T/h)
<b>Zukai 4LZ 350</b>	2.3	8	18.4	2.3
<b>World 4LZ 400</b>	2.5	8	20	2.5

Fuente: elaboración propia

Tabla 14 Número de productores, y rendimiento por hectárea.

Número de productores	Superficie sembrada (hect)	Producción (T)	Rendimiento (T/hect)
<b>Más de 1800</b>	49 831	399 038	8

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, el rendimiento promedio que se tiene es de 2.4 toneladas por hora, y según las visitas de campo se constató que la mayoría de personas que brindan el servicio de cosecha cuentan con 2 máquinas, comprometiéndose con el agricultor a cosechar 5 hectáreas por día

en promedio, tomándose como parámetro válido de diseño para la secadora de granos portátil.

Durante las visitas de campo se tomó la muestra de granos de 3 distintas parcelas de la región, para calcular la densidad aparente del grano; obteniéndose un valor estimado de 733 kg/m<sup>3</sup> (0.733 Tn/m<sup>3</sup>) con lo cual se estima un silo de 7 m<sup>3</sup> para la secadora portátil.

### 3.2. Especificaciones de diseño de secadora de granos portátil.

#### 3.2.1. Lista de exigencias

Partiendo de la necesidad de diseñar una secadora de granos de arroz paddy para los pequeños productores arroceros de la región Lambayeque, se establecen los requerimientos con los que debe contar dicha máquina:

La máquina contará con un volumen de silo mínimo de 7m<sup>3</sup> y será capaz de secar los granos de arroz paddy hasta obtener valores de 13 a 14% de humedad que es lo recomendable para conservar correctamente almacenado el grano para su posterior pilado, así mismo deberá contar con una fuente de calor la cual será abastecida por un horno que usará como combustible la cascarilla de arroz (que es barata, fácil de transportar, económica y de fácil abastecimiento).

A continuación, se detalla la lista de Exigencias (*Ver tabla 15*), especificando los requerimientos con los que debe cumplir la secadora de granos a diseñar.

**Tabla 15** *Lista de exigencias*

LISTA DE EXIGENCIAS			1/5
PROYECTO		DISEÑO DE UNA MÁQUINASECADORA DE GRANOS DE ARROZ PORTÁTIL CON UNA CAPACIDAD DE SILO DE 7m3	FECHA: 00/00/00
UNIVERSIDAD		UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPAN	ELABORADO: J.A.C.V
FECHA	DESEO(D) O EXIGENCIA(E)	DESCRIPCIÓN	RESPONSABLE
		<b>FUNCIÓN PRINCIPAL:</b>	
09/09/2018	E	Secar granos de arroz hasta lograr una humedad final de entre 13% a 14% como máximo. (Porcentaje brindado por INDECOPI).	J.A.C.V
		<b>PRODUCCIÓN: (capacidad de silo)</b>	
09/09/2018	E	La máquina deberá contar con una capacidad de secado de 7m <sup>3</sup> por hora.	J.A.C.V

<b>LISTA DE EXIGENCIAS</b>			<b>2/5</b>
<b>PROYECTO</b>		<b>DISEÑO DE UNA MÁQUINASECADORA DE GRANOS DE ARROZ PORTÁTIL CON UNA CAPACIDAD DE SILO DE 7m3</b>	<b>FECHA: 00/00/00</b>
<b>UNIVERSIDAD</b>		<b>UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPAN</b>	<b>ELABORADO: J.A.C.V</b>
<b>FECHA</b>	<b>DESEO(D) O EXIGENCIA(E)</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>RESPONSABLE</b>
		<b>CALIDAD:</b>	
<b>09/09/2018</b>	<b>E</b>	La calidad del arroz no debe verse afectada, por lo cual la temperatura de secado debe ser distribuida de uniforme en todo el silo de secado, evitando así el porcentaje de quebrado y asegurando la eficiencia del proceso	<b>J.A.C.V</b>
<b>09/09/2018</b>	<b>E</b>	El calor debe ser generado de manera que no contamine el producto.	<b>J.A.C.V</b>
		<b>ENERGÍA:</b>	
<b>09/09/2018</b>	<b>E</b>	Para obtener calor necesario para el proceso de secado se contempla usar la cascarilla de arroz como principal combustible.	<b>J.A.C.V</b>
<b>09/09/2018</b>	<b>D</b>	Como fuente de energía mecánica para mover todo el sistema de la máquina se optará (Sistema de transporte de grano: carga y descarga, ventilador extractor, etc.) motores eléctricos.	<b>J.A.C.V</b>
<b>09/09/2018</b>	<b>D</b>	Con fuente motriz para el sistema de transmisión de energía mecánica, se contempla los sistemas de fajas - poleas, engranajes planetarios, etc.	<b>J.A.C.V</b>
		<b>GEOMETRIA:</b>	
<b>09/09/2018</b>	<b>D</b>	El diseño debe ser compacto, permitiendo así su fácil transporte.	<b>J.A.C.V</b>
<b>09/09/2018</b>	<b>D</b>	Deberá tomar en cuenta para el diseño formas geométricas conocidas con la finalidad de facilitar el cálculo en la fase de diseño.	<b>J.A.C.V</b>
		<b>LLENADO:</b>	
<b>09/09/2018</b>	<b>E</b>	Para el llenado de la máquina se podrá utilizar directamente la descarga de las cosechadoras para llenar el silo de la secadora a través en un sistema de recepción de grano como: transportadores de cangilones, sistema de fajas transportadoras, tornillos sinfines, etc.	<b>J.A.C.V</b>

<b>LISTA DE EXIGENCIAS</b>			<b>3/5</b>
<b>PROYECTO</b>		<b>DISEÑO DE UNA MÁQUINASECADORA DE GRANOS DE ARROZ PORTÁTIL CON UNA CAPACIDAD DE SILO DE 7m<sup>3</sup></b>	<b>FECHA: 00/00/00</b>
<b>UNIVERSIDAD</b>		<b>UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPAN</b>	<b>ELABORADO: J.A.C.V</b>
<b>FECHA</b>	<b>DESEO(D) O EXIGENCIA(E)</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>RESPONSABLE</b>
		<b>DESCARGA:</b>	
<b>09/09/2018</b>	<b>E</b>	El mecanismo de descarga no debe dañar el producto.	<b>J.A.C.V</b>
<b>09/09/2018</b>	<b>D</b>	Se contempla el uso de sistemas similares al de la carga del silo: transportadores de cangilones, sistema de fajas transportadoras, tornillos sinfines, etc.	<b>J.A.C.V</b>
<b>09/09/2018</b>	<b>E</b>	La descarga permitirá llenar tolvas para su transporte y almacenamiento	<b>J.A.C.V</b>
		<b>MATERIA PRIMA A PROCESAR</b>	
<b>09/09/2018</b>	<b>E</b>	Principalmente GRANOS DE ARROZ PADDY con un contenido de humedad en un rango de 20 a 28%	<b>J.A.C.V</b>
<b>09/09/2018</b>	<b>D</b>	Productos similares al arroz (Trigo, Quinoa, Cebada, etc.).	<b>J.A.C.V</b>
		<b>CONTROL:</b>	
<b>09/09/2018</b>	<b>E</b>	La máquina debe contar con sistema de encendido y apagado, indicadores de temperatura de trabajo y funcionamiento y control de humedad.	<b>J.A.C.V</b>
		<b>OPERACIÓN:</b>	
<b>09/09/2018</b>	<b>E</b>	La operación del equipo debe ser lo más intuitiva posible de tal manera que no se necesite de personal calificado para su correcto uso y puesta en funcionamiento.	<b>J.A.C.V</b>
		<b>SEGURIDAD:</b>	
<b>09/09/2018</b>	<b>E</b>	El diseño del equipo garantizará la integridad física del operador, evitando exponerlo a temperaturas elevadas o a lesiones provenientes del sistema mecánico.	<b>J.A.C.V</b>

<b>LISTA DE EXIGENCIAS</b>			<b>4/5</b>
<b>PROYECTO</b>		<b>DISEÑO DE UNA MÁQUINASECADORA DE GRANOS DE ARROZ PORTÁTIL CON UNA CAPACIDAD DE SILO DE 7m3</b>	<b>FECHA: 00/00/00</b>
<b>UNIVERSIDAD</b>		<b>UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPAN</b>	<b>ELABORADO: J.A.C.V</b>
<b>FECHA</b>	<b>DESEO(D) O EXIGENCIA(E)</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>RESPONSABLE</b>
		<b>FABRICACIÓN:</b>	
<b>09/09/2018</b>	<b>E</b>	Se busca que durante el proceso de diseño se consideren materiales existentes en el mercado nacional de tal forma que se pueda garantizar la viabilidad de fabricación sin descuidar el aspecto económico.	<b>J.A.C.V</b>
<b>09/09/2018</b>	<b>E</b>	Los materiales seleccionados deberán cumplir con las normas y estándares de fabricación nacional e internacional.	<b>J.A.C.V</b>
<b>09/09/2018</b>	<b>D</b>	El diseño deberá ser versátil, funcional y seguro; debe así mismo permitir que en su mayoría los componentes sean fabricados en la región con las tecnologías existentes, evitando así los costes de mano de obra y utilización de equipos especializados.	<b>J.A.C.V</b>
		<b>MONTAJE:</b>	
<b>09/09/2018</b>	<b>E</b>	La máquina será de fácil montaje e instalación por lo tanto no será necesario un personal especializado.	<b>J.A.C.V</b>
<b>09/09/2018</b>	<b>E</b>	El montaje debe ser en un tiempo corto, seguro y confiable.	
		<b>MANTENIMIENTO:</b>	
<b>09/09/2018</b>	<b>E</b>	El mantenimiento después de cada jornada laboral deberá ser sencillo, sin necesidad de contar con personal calificado para realizarlo.	<b>J.A.C.V</b>
<b>09/09/2018</b>	<b>E</b>	El diseño propuesto debe contemplar la elaboración de un manual de mantenimiento preventivo de la máquina, en donde especifique los periodos de tiempo y los trabajos a realizar.	<b>J.A.C.V</b>
		<b>TRANSPORTE</b>	
<b>09/09/2018</b>	<b>E</b>	La máquina deberá ser diseñada para ser remolcada por una unidad móvil liviana hacia los lugares de cosecha	<b>J.A.C.V</b>
<b>09/09/2018</b>	<b>E</b>	Deberá regirse a las normas del MTC, estando en las condiciones de poder transitar sin restricciones por carretera según las normas vigentes, respetando pesos y medidas.	<b>J.A.C.V</b>



<b>LISTA DE EXIGENCIAS</b>			<b>5/5</b>
<b>PROYECTO</b>		<b>DISEÑO DE UNA MÁQUINASECADORA DE GRANOS DE ARROZ PORTÁTIL CON UNA CAPACIDAD DE SILO DE 7m3</b>	<b>FECHA: 00/00/00</b>
<b>UNIVERSIDAD</b>		<b>UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPAN</b>	<b>ELABORADO: J.A.C.V</b>
<b>FECHA</b>	<b>DESEO(D) O EXIGENCIA(E)</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>RESPONSABLE</b>
		<b>ERGONOMÍA:</b>	
<b>09/09/2018</b>	<b>D</b>	La máquina debe ser portátil lo que le dará versatilidad de llegar a cada parte del sector de cosecha del arroz.	<b>J.A.C.V</b>
<b>09/09/2018</b>	<b>D</b>	La secadora debe estar diseñada para que el operador realice el mínimo esfuerzo durante la operación de la máquina.	<b>J.A.C.V</b>
<b>09/09/2018</b>	<b>E</b>	La disposición del panel de control será de fácil acceso y será ubicado de tal forma que no ponga en peligro al operador.	<b>J.A.C.V</b>

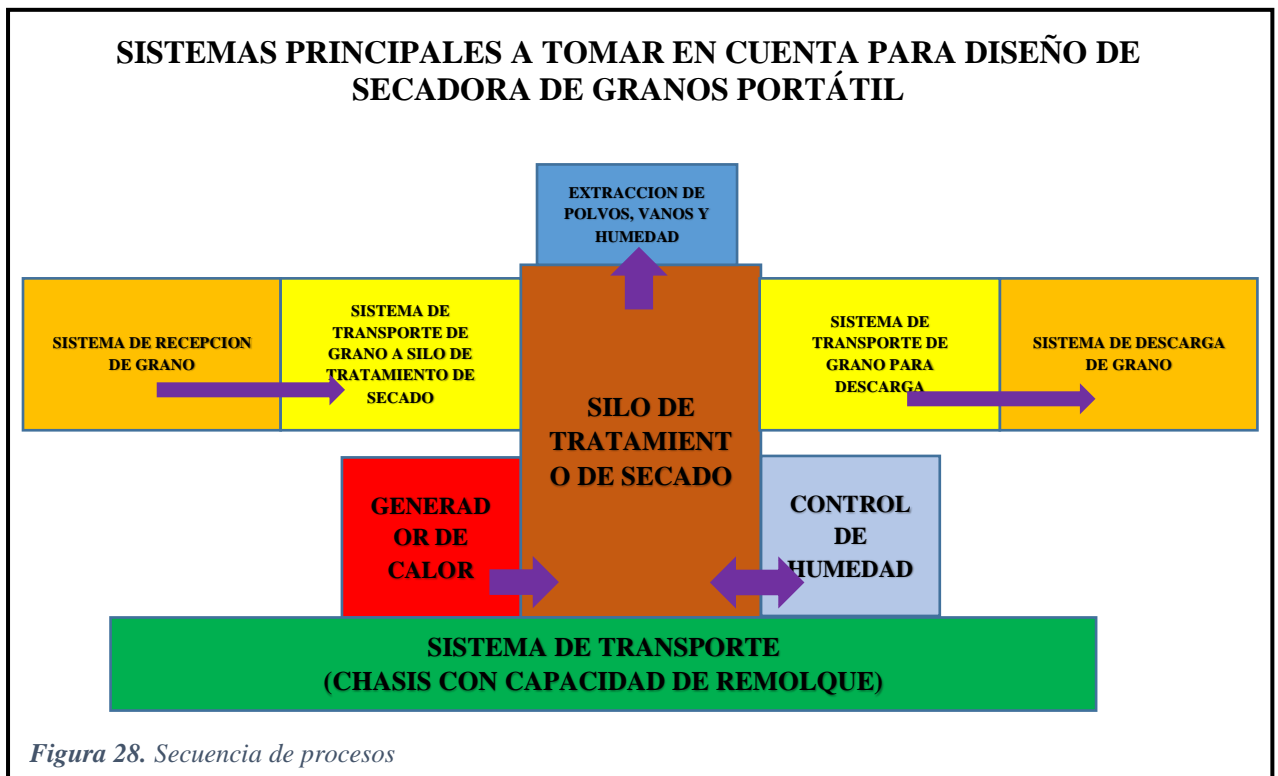
### 3.2.2. Condiciones de Operación.

Como se mencionó a lo largo de la investigación la máquina va a ser operada por los mismos agricultores, motivo por el cual los sistemas de operación (control y mando) deben ser básicos y muy amigables para su fácil manejo y operación.

### 3.3. Estructura de Funciones

En esta etapa del diseño se preconice el concepto de la máquina, teniendo como línea base los principios técnicos, secuencia de operaciones, a agrupándolas finalmente y estableciendo la estructura de funciones de la máquina en la *figura 29* y su respectiva secuencia de procesos (*ver figura 28*).

#### 3.3.1. Procesos Técnicos



#### 3.3.1.1. Secuencia de operaciones para el secado de granos.

- Recepción de granos de arroz.
- Transporte de granos a silo de tratamiento.
- Accionamiento del sistema de uniformizado.
- Sistema generador de calor.
- Sistema de transferencia de calor.

- Control de secado
- Sistema de transporte de grano para descarga
- Descarga de granos secos.

***3.3.1.2.Criterios técnicos para el diseño general.***

- Sistema de transporte de máquina secadora de granos.
- Sistema de anclaje para trabajo.
- Sistema de generador de energía motriz.
- Sistema de abastecimiento de combustible.

### 3.3.2. Representación de Estructura de Funciones.

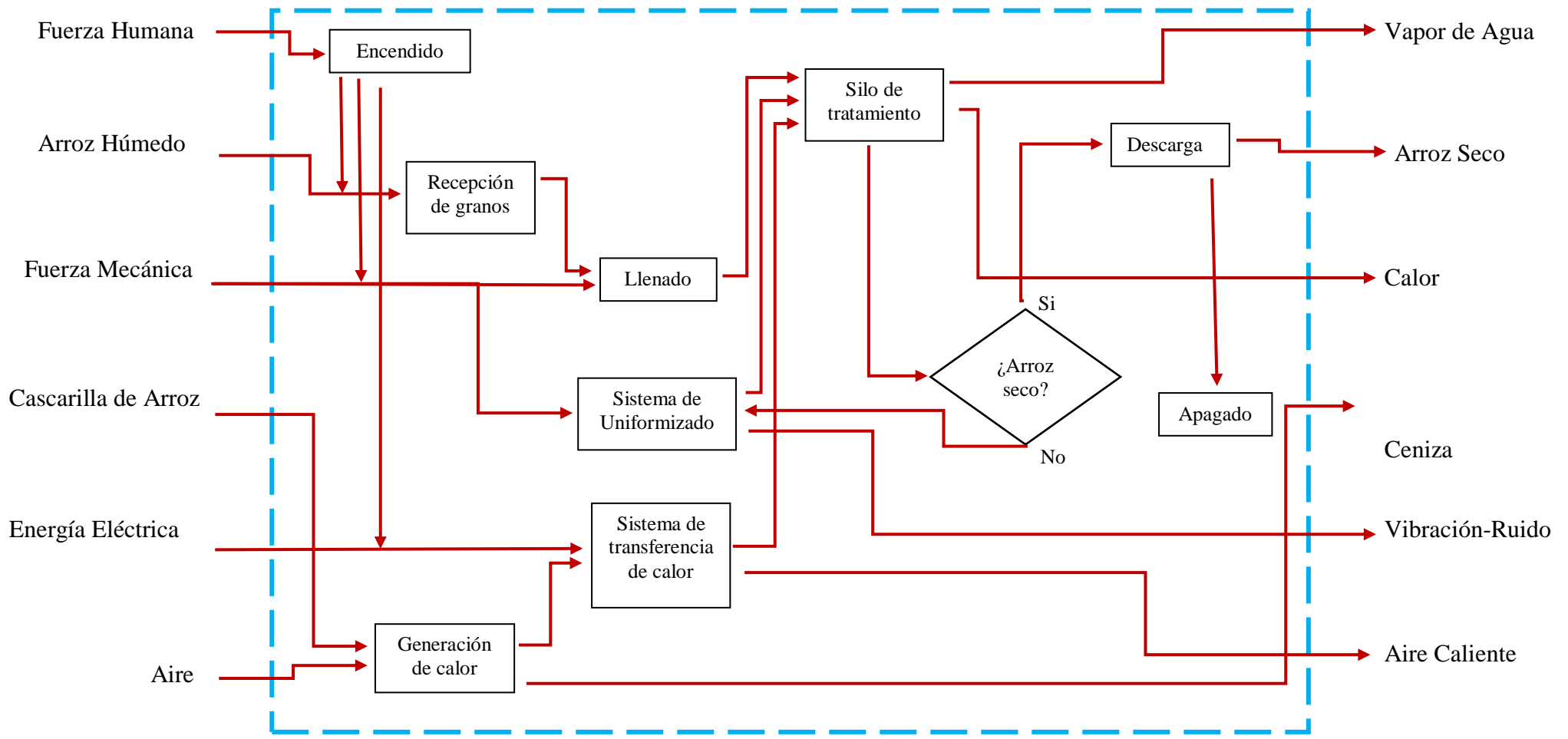

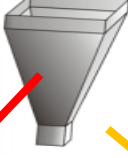
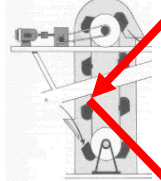


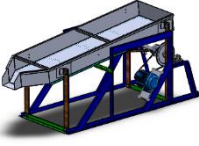
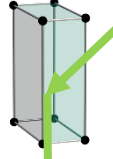
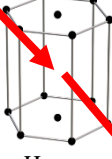
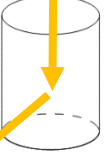


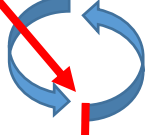

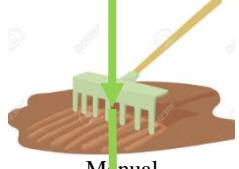
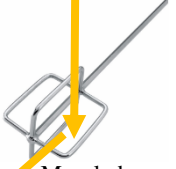
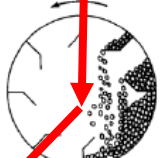
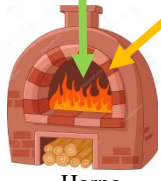

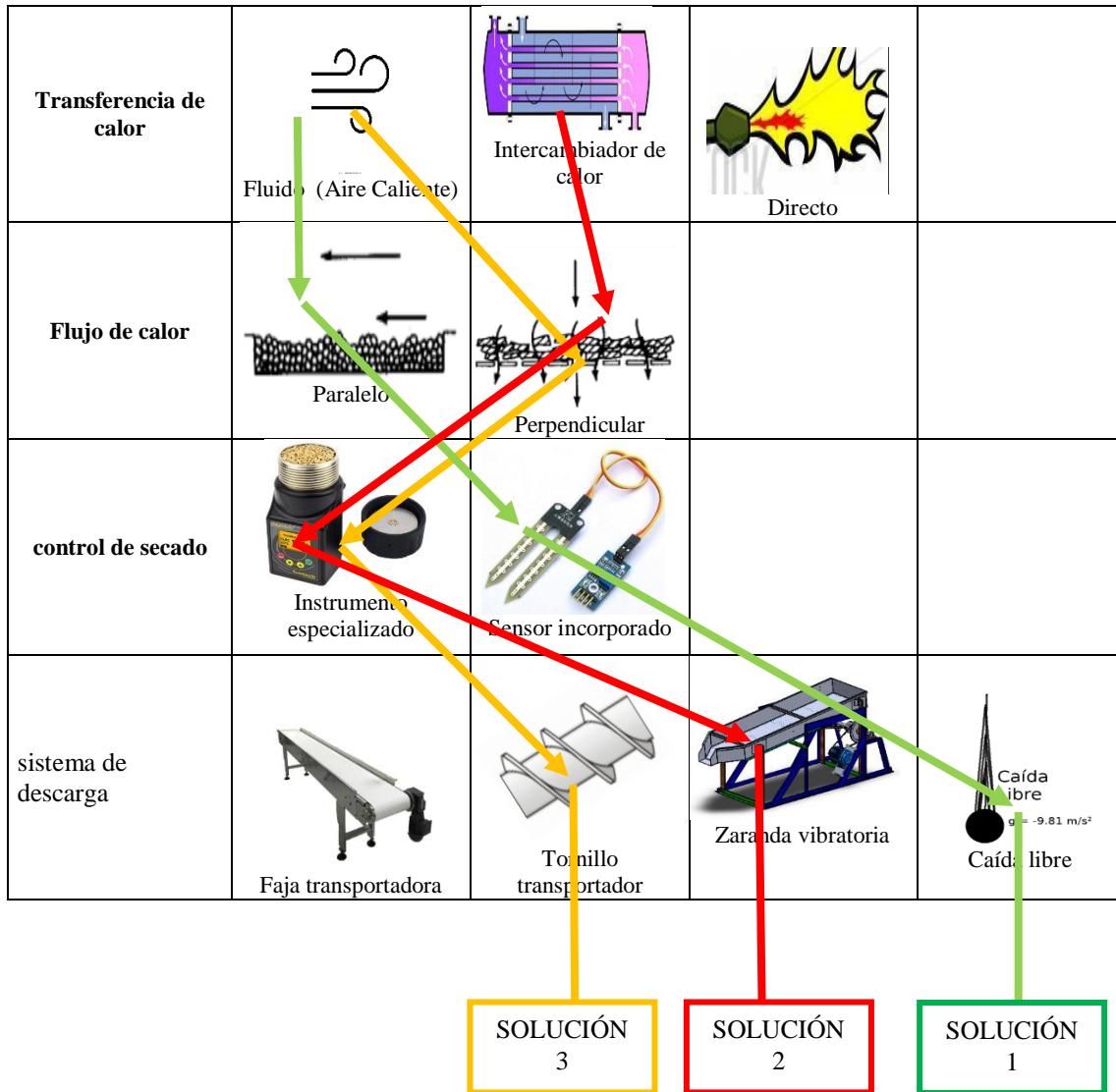


Figura 29. Estructura de funciones

### 3.4. Desarrollo de la Matriz Morfológica.

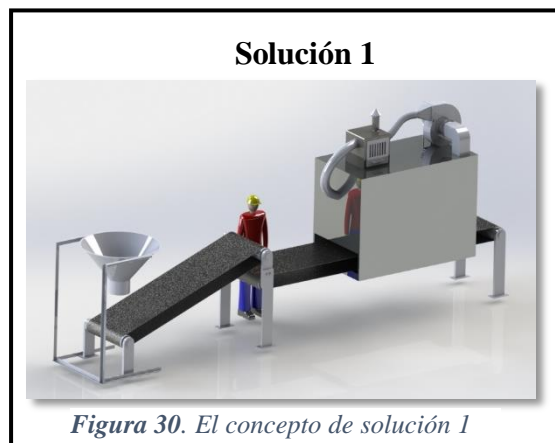
Tabla 16 Matriz Morfológica de secadora de granos.

Recepción de Arroz	 Tolva cónica	 Tolva piramidal		
Llenado de Cámara de secado	 Elevador de cangilones	 Faja transportadora	 Tornillo transportador	 Zaranda vibratoria
Geometría de cámara de secado (Silo)	 Cúbica	 Hexagonal	 cilíndrica	
Movimiento del arroz	 Lineal	 Recircularte	 Rotatoria	 Estático
Sistema de uniformizado	 Manual	 Mezclador	 Palas adheridas	
Generador de calor	 Horno	 Quemador		

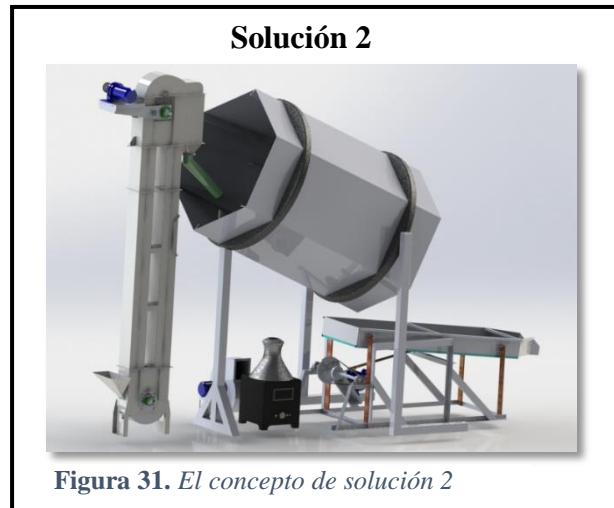


### 3.5. Alternativas de Solución

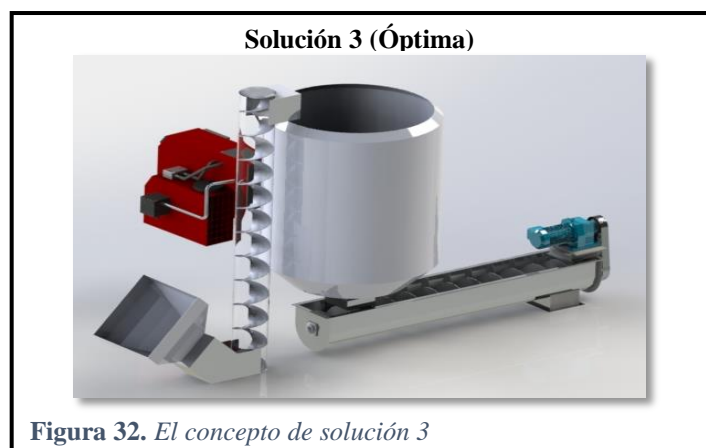
En la *figura 30* se presenta esbozada la configuración obtenida para la solución 1, en la cual tenemos una cámara de secado rectangular y todo el proceso de transporte de grano se dará por medio de fajas, teniendo en cuenta la existencia de un operario encargado de la distribución homogénea del grano.



Para el concepto de solución 2 presentado en la *figura 31*, se dispuso de una geometría hexagonal para la cámara de secado, presentando en su interior un conjunto de paletas para producir un secado de tipo rotatorio, para el transporte del grano a la cámara de secado se propone el uso de un sistema de elevador de cangilones y la descarga final por medio de una zaranda vibratoria.



Finalmente en la *figura 32* se aprecia el concepto de solución 3 que contempla las siguientes características, el ingreso de arroz es a través de una tolva piramidal que recibirá el grano para el posterior secado, para el transporte del producto al silo de secado se propone utilizar un tornillo transportador horizontal-vertical que por su naturaleza compacta y sencilla reducirá el dimensionamiento de la máquina, la cámara de secado se presenta con una geometría cilíndrica, característica que permite su fácil manufactura, con lo referente al sistema de distribución de calor, este será a través de un mezclador, el calor será suministrado a través de un horno que calentara el aire ambiente para usarlo en el proceso de secado, y para la descarga se plantea usar tornillo sinfín transportador.



### 3.6. Evaluación Técnico - Económica de los Conceptos de Solución

A continuación, se presenta la evaluación técnica y económica (ver tabla 17 y 18) de las 3 soluciones mencionadas anteriormente y en la figura 33 el diagrama mostrando la solución óptima:

**Tabla 17** Evaluación técnica

Diseño Mecánico - Evaluación de Proyectos Valor Técnico (Xi)							Informe de tesis	
<b>Título:</b>								
p : puntaje de 0 a 4 (Escala de valores según VDI 2225) 0 = No satisface, 1 = Aceptable a las justas, 2 = Suficiente, 3 = Bien, 4 = Muy bien (ideal) g : es el peso ponderado y se da en función de la importancia de los criterios de evaluación.								
Criterios de evaluación para diseños								
Variantes de Concepto/Proyectos			Solución 1 S1		Solución 2 S2		Solución 3 S3	
N <sup>ro.</sup>	Criterios de Evaluación	g	p	gp	p	gp	p	gp
1	Función	4	3	12	3	12	3	12
2	Forma	2	2	4	1	2	3	6
3	Tamaño	4	2	8	2	8	3	12
4	Ergonomía	3	3	9	3	9	3	9
5	Fabricación	4	3	12	2	8	3	12
6	Complejidad	3	3	9	2	6	2	6
7	Facilidad de transporte	4	2	8	2	8	3	12
8	Montaje	2	3	6	2	4	2	4
9	Durabilidad	2	2	4	2	4	2	4
10	Estabilidad	3	2	6	2	6	2	6
11	Mantenimiento	2	3	6	3	6	3	6
Puntaje máximo $\Sigma p$ ó $\Sigma gp$ .		33		84		73		89
Valor Técnico Xi				0,64		0,55		0,67

**Tabla 18** Evaluación económica

Diseño Mecánico - Evaluación de Proyectos Valor Económico (Yi)							Informe de tesis	
<b>Título:</b>								
p : puntaje de 0 a 4 (Escala de valores según VDI 2225) 0 = No satisface, 1 = Aceptable a las justas, 2 = Suficiente, 3 = Bien, 4 = Muy bien (ideal) g : es el peso ponderado y se da en función de la importancia de los criterios de evaluación.								
Criterios de evaluación para diseños								
Variantes de Concepto/Proyectos			Solución 1 S1		Solución 2 S2		Solución 3 S3	
N <sup>ro.</sup>	Criterios de Evaluación	g	p	gp	p	gp	p	gp
1	Número de Piezas	4	2	8	2	8	3	12
2	Disponibilidad de materiales	4	3	12	3	12	3	12
3	Número de operarios	3	1	3	2	6	2	6
4	Costo de material	4	3	12	1	4	3	12
5	Costo de Fabricación	4	3	12	2	8	3	12
6	Costo de Mantenimiento	3	2	6	2	6	3	9
7	Consumo energético (sistema motriz)	3	2	6	2	6	2	6
Puntaje máximo $\Sigma p$ ó $\Sigma gp$ .		25		59		50		69
Valor Económico Yi				0,59		0,50		0,69



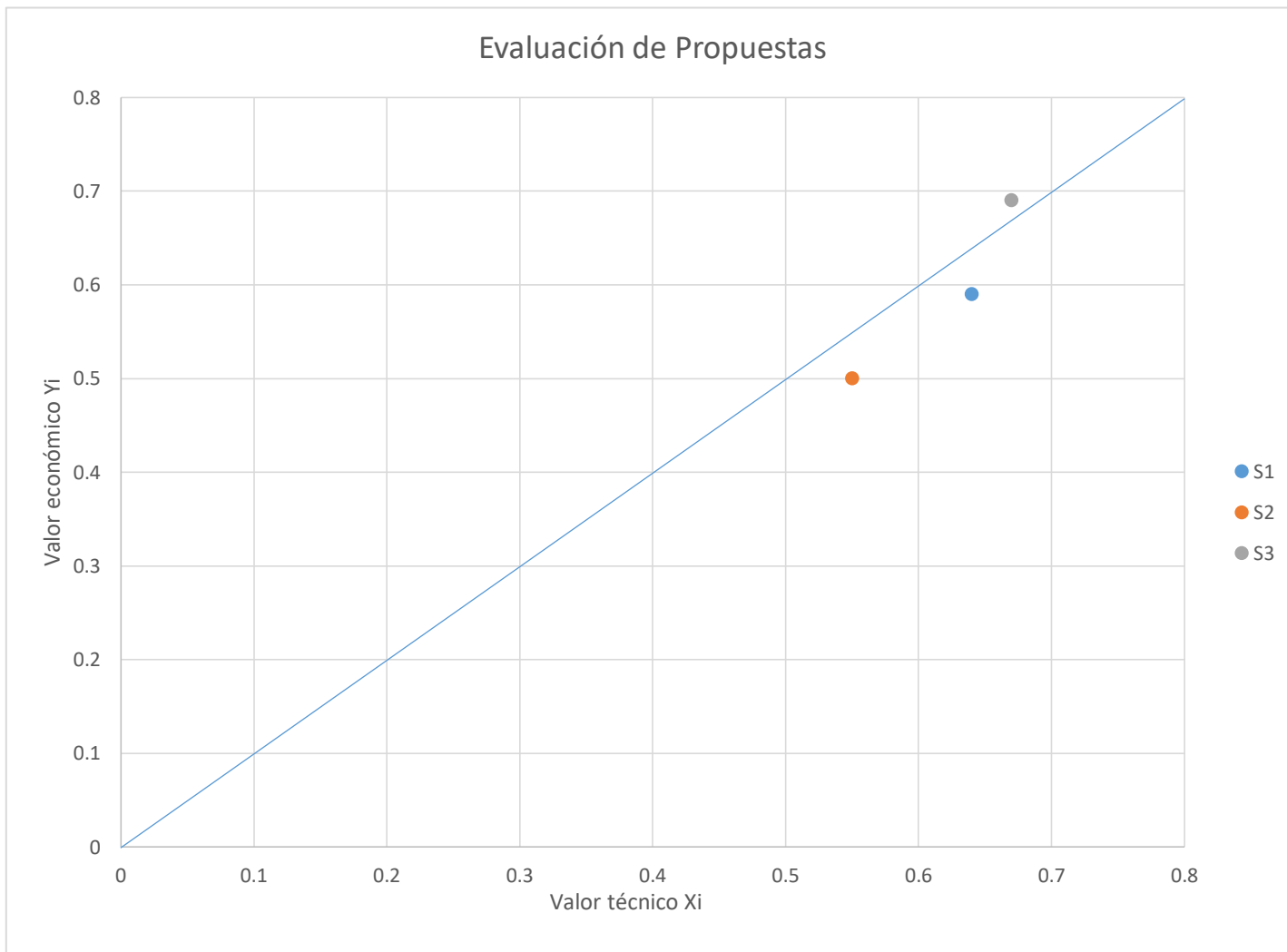







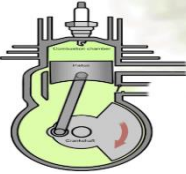

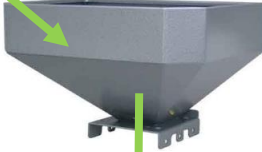
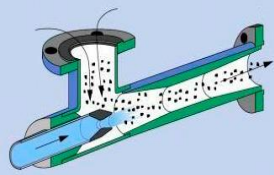



Figura 33. La solución óptima

### 3.7. Matriz morfológica para diseño técnico general

Tabla 19 Matriz morfológica Diseño general

<p><b>Sistema de transporte de máquina secadora de granos</b></p>	 <p>En cama baja</p>	 <p>Remolcado</p>	 <p>Auto propulsado</p>
<p><b>Sistema de anclaje para trabajo</b></p>	 <p>Anclaje de sistema mecánico</p>	 <p>Estabilizador hidráulico</p>	 <p>Anclaje plegable</p>
<p><b>Sistema generador de energía motriz</b></p>	 <p>Motor eléctrico</p>	 <p>Motor de combustión</p>	
<p><b>Sistema de abastecimiento de combustible</b></p>	 <p>Manual</p>	 <p>Tolva de alimentación</p>	 <p>Dispensador por aire</p>



**Selección óptima**

Teniendo claras y detalladas cada una de las necesidades y el método de funcionamiento de la máquina secadora de granos de arroz, la morfología técnica del diseño general, fue seleccionada teniendo en cuenta un criterio técnico eficiente y de menor costo, por tal motivo se escogió la siguiente configuración (ver tabla 20):

**Tabla 20** *Configuración técnica de la máquina secadora de arroz*

<b>Sistema de transporte de máquina secadora de granos</b>	Remolcado
<b>Sistema de anclaje para trabajo</b>	Anclaje de sistema mecánico
<b>Sistema generador de energía motriz</b>	Motor eléctrico
<b>Sistema de abastecimiento de combustible</b>	Tolva de alimentación

### 3.8. Diseño y Cálculo de los Sistemas Principales.

En este apartado se empezará con el cálculo de los sistemas principales de la máquina secadora de granos, teniendo como línea base a seguir para el diseño la opción de solución 3, la cual se obtuvo como la configuración más óptima y eficiente para el diseño.

#### 3.8.1. Diseño del horno:

##### 3.8.1.1. Diseño de la cámara de combustión:

#### A. Cálculo del volumen de la cámara de combustión:

Para el diseño de la cámara de combustión se toma en cuenta las dimensiones necesarias para que los productos combustibles interactúen y se mezclen con el oxígeno, y que a su vez los desechos obtenidos no interfieran en el proceso:

$$v_{cc} = v_g + v_{cz}$$

*Ecuación 20. Volumen Cámara de combustión*

Donde:

$v_g = \text{volumen del gas}$

$v_{cz} = \text{volumen de la ceniza}$

#### B. Cálculo del volumen del gas:

El volumen del gas esta expresado por la siguiente ecuación (Chao Tung-San, 1987):

$$v_g = 600 * CE$$

*Ecuación 21. Volumen del gas*

Donde:

600 = Para la quema de material Lignocelulosico expresado en  $\text{cm}^3/\text{Kw}$

CE = Consumo energetico en Kw

Por lo tanto, es necesario saber cuál será el consumo energético necesario de la máquina para cumplir con la función de secado del grano de arroz:

### C. Cálculo del consumo energético:

$$CE = \dot{m}_w * Q_{ma}$$

*Ecuación 22. Consumo energético*

Donde:

$\dot{m}_w$  = flujo másico de agua a evapora en Kg de agua/Hora

$Q_{ma}$  = Calor mínimo para evaporar 1Kg de agua en Kcal/kg

*Tabla 21 Calor mínimo para evaporar un kg de agua*

<b>Calor necesario para la evaporación de 1 kg de agua</b>	600 Kcal
<b>Perdida de calor sensible que se va en el aire usado</b>	320 Kcal
<b>Perdidas de calor por conducción, radiación y convección (Intercambiador de calor 13%)</b>	130 Kcal
<b>Perdida de calor transportado por el grano</b>	80 Kcal
<b>Calor mínimo para evaporar 1 kg de agua (Kcal)</b>	<b>1130Kcal</b>

*Fuente: (Postcosecha.net, 2018)*

Tenemos entonces:

$$Q_{ma} = 1130 \frac{Kcal}{Kg}$$

### D. Cálculo del flujo másico de agua a evaporar:

El cálculo de flujo másico de agua a evaporar se puede representar de la siguiente manera (PINEDA ALFARO, 2013):

$$\dot{m}_w = \left( \frac{100 - H_f}{100 - H_i} - 1 \right) * R_{gs}$$

*Ecuación 23. Flujo másico agua a evaporar.*

Donde:

$H_f$  = Humedad final del grano al que se quiere llegar 13%

$H_i$  = Humedad inicial del grano (25%)

$R_{gs}$  = Rendimiento del grano seco en Kg/hora

Teniendo como dato la densidad del grano seco  $\rho_{gs} = 630 \text{ Kg/m}^3$  y el volumen total que ocupan los granos que procederemos a secar  $v_t = 7\text{m}^3$  en un periodo de trabajo de 1 hora para el proceso de secado, el rendimiento de la máquina quedaría expresado de la siguiente manera:

$$R_{gs} = \rho_{gs} * \frac{v_t}{t}$$

*Ecuación 24. Rendimiento de la máquina*

$$R_{gs} = 4410 \text{ Kg/hora}$$

Con estos datos obtenemos el volumen que ocupara el gas en la cámara de combustión:

$$v_g = 556\,200 \text{ cm}^3$$

#### **E. Cálculo del volumen de la ceniza:**

Para realizar el cálculo del volumen de la ceniza, es necesario proporcionar un tiempo de limpieza de la cámara de combustión, y con el objetivo de mantener una temperatura uniforme durante el periodo de trabajo del horno, se toma como tiempo optimo, la limpieza de la ceniza cada 8 horas, con lo cual se garantiza que la cámara de combustión no tendrá fluctuaciones bruscas de temperatura por una apertura prematura para su limpieza correspondiente.

La ecuación 25 define el volumen que ocupará la ceniza.

$$v_{cz} = \frac{\dot{m}_c * t}{\rho_{cz}}$$

*Ecuación 25. Volumen de ceniza*

Donde:

$\dot{m}_c =$  flujo masico de cascarilla a quemar en Kg/s

$t =$  tiempo estimado para la limpieza del horno (28800 segundos = 8 horas)

$\rho_{cz} =$  densidad de la ceniza ( $1.98 * 10^{-3} \text{ Kg/cm}^3$ )

(Rukzon, Chindapasirt, & Mahachai, 2009)

**F. Cálculo del flujo másico de cascarilla a quemar:**

Este cálculo depende de la energía necesaria que queremos producir y el poder calorífico de la cascarilla de arroz:

$$\dot{m}_c = \frac{CE}{PCS_c}$$

*Ecuación 26. Flujo másico de cáscara*

$PCS_c =$  Valor calorífico de la cascarilla de arroz (2770 Kcal/kg = 11589.68 KJ/Kg)  
(Ver anexo 4)

Con estos datos se procede a calcular el volumen que ocupará la ceniza:

$$v_{cz} = 1\ 163\ 793.996\ cm^3$$

Por consiguiente, se obtiene el volumen de la cámara de combustión:

$$v_{cc} = v_g + v_{cz}$$

$$v_{cc} = 1.72\ m^3$$

*Tabla 22* Cuadro resumen

$R_{gs}$	<b>4410 kg/hora</b>
$\dot{m}_w$	705.6 kg/hora
$CE$	927.3 kw
$v_g$	556 200 $cm^3$
$\dot{m}_c$	0.08 kg/segundo
$t$	28 800 segundos
$\rho_{cz}$	$1.98 * 10^{-3}\ kg/cm^3$
$v_{cz}$	1 163 793.996 $cm^3$
$v_{cc}$	1.72 $m^3$

### 3.8.1.2. Diseño del intercambiador de calor:

#### A. Cálculo del flujo másico del aire para el secado de los granos de arroz:

Es necesario conocer el flujo másico de aire que nos permitirá realizar el correcto secado de los granos de arroz, para ello necesitaremos las condiciones de entrada del aire y con ayuda de la carta psicrométrica obtendremos los respectivos valores de humedad específica.

La forma más acertada de determinar la temperatura de secado es a través de la experimentación, pero debido a que no se dispone de esta información, es necesario estimar estos valores a través de la investigación de literatura técnica y datos obtenidos en procesos de secado industrializados.

Para ello tomando en consideración la calidad de producto que se quiere obtener y con datos referenciales, la temperatura del aire para el secado de granos de arroz será de 65°C (Espinosa, 2011).

En el proceso de secado de arroz, el aire atmosférico pasa por 3 estados:

Tabla 23 Estados del aire en proceso de secado de arroz:

Punto I	Punto II	Punto III
Aire ambiente	Incrementó su capacidad de absorber humedad aumentando su temperatura	Pierde temperatura y llega al punto máximo de saturación de humedad.



FIGURA 34. Estados del aire en secadora.

Partiendo del **Punto I** en donde el aire se encuentra a temperatura ambiente 25°C con un 68% de humedad, utilizando la carta psicrométrica la humedad específica  $\omega_1$  queda expresada en  $0.0137 \text{ Kg}_{\text{H}_2\text{O}} / \text{Kg}_{\text{aire}}$ .



Así mismo tenemos que  $\omega_1 = \omega_2 = 0.0137 \text{ Kg}_{\text{H}_2\text{O}} / \text{Kg}_{\text{aire}}$ , esta relación se obtiene al tener presente que el aire se encuentra confinado en el intercambiador de calor, espacio en el cual su humedad específica se mantiene constante.

Conociendo la temperatura del aire de secado del **Punto II**, 65°C y la humedad relativa del **Punto III**, 100%, se determina la capacidad de absorción de humedad del aire de secado. En la *tabla 24*, se resumen los datos iniciales y los datos a calcular.

Tabla 24

DATOS INICIALES

	Punto I	Punto II	Punto III
Humedad relativa, $\phi$	68%	-	100
Temperatura, $T_{bs}$ [°C]	25	65	-
Humedad específica, $\omega$ [ $\text{Kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{Kg}_{\text{aire}}$ ]	-	-	-
Entalpía, $h$ [ $\text{kJ}/\text{Kg}$ ]	-	-	-

Humedad relativa del **Punto I**:

$$\omega_1 = \frac{0.622(\phi * P_{SAT \text{ a } T^\circ\text{C}})}{100 - (\phi * P_{SAT \text{ a } T^\circ\text{C}})}$$

*Ecuación 27. Humedad específica 1*

$$\omega_1 = \frac{0.622(0.68 * 3.1698)}{100 - (0.68 * 3.1698)}$$

$$\omega_1 = \mathbf{0.0137 \text{ kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{kg}_{\text{aire}}}$$

Entalpía del **Punto I**:

$$h_1 = C_p * T + \omega_1 * h_g$$

*Ecuación 28. Entalpía 1*

$$h_1 = 1.005 * 25 + 0.0137 * 2546.5$$

$$\mathbf{h_1 = 60.012 \text{ kJ/kg}}$$

Humedad relativa del **Punto II**:

$$0.0137 = \frac{0.622(\phi_2 * 25.043)}{100 - (\phi_2 * 25.043)}$$

$$\phi_2 = \mathbf{0.086} \cong \mathbf{9\%}$$

Entalpia del **Punto II**:

$$h_2 = 1.005 * 65 + 0.0137 * 2617.5$$

$$\mathbf{h_2 = 101.185 \text{ kJ/kg}}$$

Para el cálculo del **Punto III** buscamos obtener aire saturado (100% de humedad relativa)

Con lo cual la entalpia queda definida así:

$$h_{total} = h_{aire\ seco} + h_{vapor\ de\ agua}$$

$$h_{total} = h_{aire\ seco} * 0 + h_{vapor\ de\ agua} * 1$$

$$\mathbf{h_2 = h_3}$$

*Ecuación 29. Igualdad de entalpías*

Por lo tanto, para calcular la humedad específica del **Punto III** y su temperatura, utilizamos las siguientes formulas:

Humedad relativa del **Punto III**:

$$\omega_3 = \frac{0.622(\phi * P_{SAT\ a\ T^\circ C})}{100 - (\phi * P_{SAT\ a\ T^\circ C})}$$

$$\omega_3 = \frac{\mathbf{0.622(1 * P_{SAT\ a\ T^\circ C})}}{\mathbf{100 - (1 * P_{SAT\ a\ T^\circ C})}}$$

*Ecuación 30. Humedad específica 3*

Utilizamos la *ecuación 31* y *32* para hallar la humedad específica 3 de la siguiente manera:

$$h_3 = C_p * T + \omega_3 * h_g$$

$$\mathbf{101.185 = (1.005)(T_3) + \left(\frac{0.622P_{SAT\ a\ T^\circ C}}{100 - P_{SAT\ a\ T^\circ C}}\right)(h_g)}$$

*Ecuación 31*

Con la *ecuación 33* podemos iterar diferentes temperaturas para satisfacer la ecuación obteniendo que la temperatura del **Punto III** es de 30°C

$$\therefore \omega_3 = 0.0276 \text{ kg}_{H_2O}/\text{kg}_{aire}$$

En la *tabla 25* se resumen los datos calculados:

*Tabla 25 Cuadro resumen estados del aire*

	<b>Punto I</b>	<b>Punto II</b>	<b>Punto III</b>
Humedad relativa, $\phi$	68%	9	100
Temperatura, $T_{bs}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]	25	65	30
Humedad específica, $\omega$ [ $\text{Kg}_{H_2O}/\text{Kg}_{aire}$ ]	<b>0.0137</b>	<b>0.0137</b>	0.0276
Entalpía, $h$ [ $\text{kJ}/\text{Kg}$ ]	60.012	<b>101.185</b>	<b>101.185</b>

Con los puntos 1 y 3 se obtiene la cantidad de agua absorbida por el aire, restando los respectivos valores de humedad específica, esto es  $\Delta\omega = \omega_3 - \omega_1 = 0.0139 \text{ kg}_{H_2O}/\text{kg}_{aire}$

De esta manera la masa psicrométrica de aire que necesita ingresar el secador es:

$$\dot{m}_a = \frac{\dot{m}_w}{\Delta\omega_{3-1}} = \frac{705.6}{0.0139}$$

*Ecuación 32. Flujo másico aire de secado*

$$\dot{m}_a = 50\,762.59 \text{ kg/hora}$$

$$\dot{m}_a = 14.1 \text{ kg/segundo}$$

## **B. Cálculo del flujo volumétrico de aire requerido para la combustión de cascarilla:**

*“El aire teórico o estequiométrico es la mínima cantidad de aire, que suministra suficiente oxígeno para oxidar completamente el combustible”* (Chao Tung-San, 1987).

Dado que en la práctica no hay una mezcla perfecta del aire con el combustible y por falta de tiempo para que se realice una combustión perfecta, es necesario suministrar aire en exceso del teórico, utilizando el valor presentado en la *ecuación 35* para el cálculo:

$$\dot{m}_{a-est.} = 4.83 \text{ kg}_{aire}/\text{kg}_{comb.}$$

*Ecuación 33. Aire estequiométrico*

El suministro de aire para este horno será de tiro forzado y en vista de que no existe mezcla perfecta de aire con combustible sólido se puede tomar una relación de aire-combustible  $\theta$  de 1.6 a 2 (Chao Tung-San, 1987).

Con estos datos el flujo de aire requerido para la correcta combustión de la cascarilla se expresa en la Ecuación 36.

$$Q_a = \frac{\theta * \dot{m}_c * \dot{m}_{a-est}}{\rho_{aire \text{ a } 25^\circ C}}$$

*Ecuación 34. Flujo aire combustión*

$$Q_a = \frac{2 * 0.08 * 4.83}{1.184}$$

$$Q_a = 0.653 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Ahora puedo obtener el flujo volumétrico de los gases de combustión

### C. Cálculo de flujo de gases de combustión:

$$Q_g = \frac{273 + T_g}{273 + T_a} * Q_a$$

*Ecuación 35. Flujo gases de combustión*

$T_g = \text{Temperatura de los gases de combustion} = 680^\circ C$  (Tipanluisa et al., 2015)

$T_a = \text{Temperatura del aire} = 25^\circ C$  (ambiente)

$$Q_g = \frac{273 + 680}{273 + 25} * 0.653$$

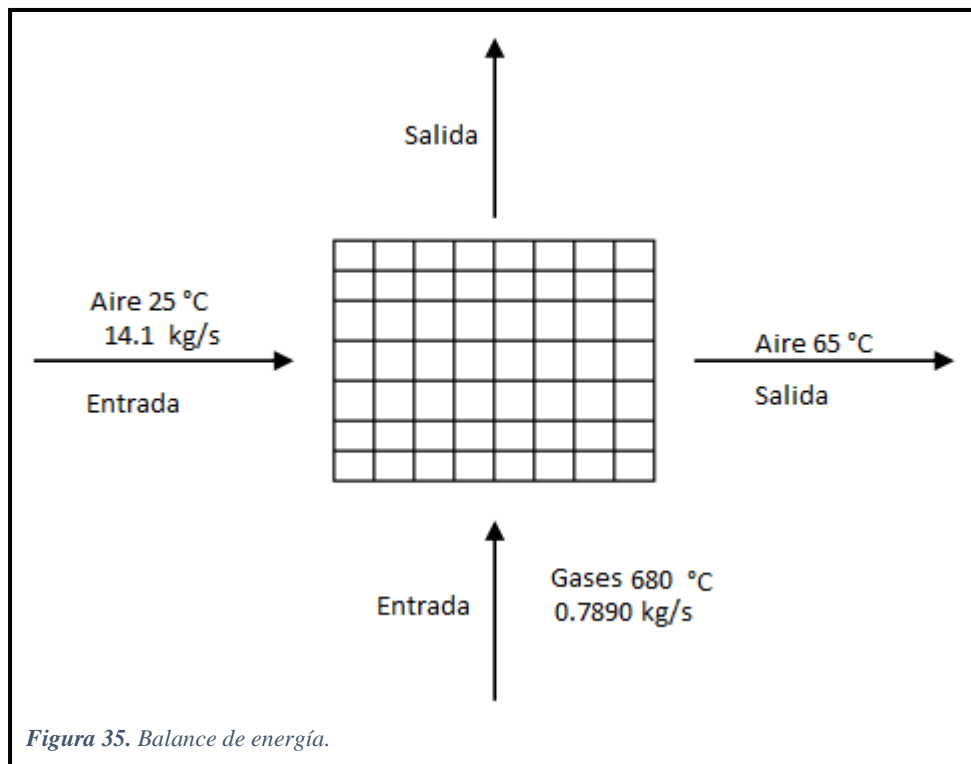
$$Q_g = 2.09 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Por lo tanto, obtenemos el flujo másico de los gases de combustión de la siguiente manera:

$$\dot{m}_{gas} = Q_g * \rho_{gas \text{ a } 680^\circ C}$$

$$\dot{m}_{gas} = 2.09 * 0.3440$$

$$\dot{m}_{gas} = 0.7890 \text{ kg}/\text{seg}$$



#### D. Cálculo de la temperatura de salida de los gases de combustión:

Con un balance de energía (Ver figura 35) tenemos que:

$$\dot{Q}_{aire} = \dot{Q}_{gas}$$

*Ecuación 36. Balance energía*

El calor del aire se determina de la siguiente manera:

$$\dot{Q}_{aire} = [\dot{m} * C_p * (T_{a-sal} - T_{a-ent})]$$

*Ecuación 37. Calor aire*

$$\dot{Q}_{aire} = [14.1 * 1.008 * (65 - 25)]$$

$$\dot{Q}_{aire} = 568.512 \text{ kW} = \dot{Q}_{gas}$$

Luego hallamos la temperatura de salida de los gases de combustión:

$$\dot{Q}_{gas} = [\dot{m} * C_p (T_{g-ent} - T_{g-sal})]$$

$$T_{g-sal} = T_{g-ent} - \frac{\dot{Q}_{gas}}{\dot{m} * C_p}$$

*Ecuación 38. Temperatura de salida de gases*

$$T_{g-sal} = 680 - \frac{568.512}{0.7890 * 1.163}$$

$$T_{g-sal} = 60.44 \text{ } ^\circ\text{C}$$

### E. Cálculo del coeficiente de transferencia de calor por convección de los gases $h_g$ :

Procederé a encontrare el coeficiente de convección interior  $h_i$  del intercambiador de calor, para ello asumiré lo siguiente:

Número de tubos  $\rightarrow$  100

La tubería a utilizar será 2" teniendo así lo siguiente:

$$D_{int} = 0.05865 \text{ m}$$

$$D_{ext} = 0.0603 \text{ m}$$

Se calcula la temperatura media de la capa límite  $T_f$

$$T_f = \frac{T_{g-ent} - T_{g-sal}}{2}$$

*Ecuación 39. Temperatura media de capa límite*  
(Incropera, 1996)

$$T_f = \frac{680 - 60.44}{2}$$

$$T_f = 309.78 \text{ } ^\circ\text{C}$$

A esa temperatura se puede obtener la viscosidad dinámica del aire  $\mu_g$

$$\mu_g = 2.974 * 10^{-5} \text{ kg/m * s}$$

Con los datos anteriores obtendremos el número de Reynolds  $Re$

$$Re = \frac{4 * \frac{\dot{m}_g}{\#Tubos}}{\pi * D_{int} * \mu_g}$$

*Ecuación 40. Numero de Reynolds*

$$Re = \frac{4 * \frac{0.7890}{100}}{\pi * 0.05865 * 2.974 * 10^{-5}}$$

$$Re = 5759.4 > 4000 \rightarrow \text{Flujo turbulento}$$

Con lo cual el número de Nusselt queda expresado de la siguiente manera:

$$Nu = 0.023 * Re^{4/5} * Pr^{0.4}$$

*Ecuación 41. Número de Nusselt*

$$Nu = 0.023 * (5759.4)^{4/5} * (0.7)^{0.4}$$

$$Nu = 20.33$$

El coeficiente de transferencia de calor queda expresado de la siguiente manera:

$$h_g = \frac{Nu * k}{D_{int}}$$

$$h_g = \frac{20.33 * 0.04479}{0.05865}$$

$$h_g = 15.53 \frac{W}{m.k}$$

#### F. Cálculo del coeficiente de transferencia de calor por convección del aire $h_a$ :

Ahora procederé a calcular el coeficiente de transferencia de calor por convección del aire  $h_a$ , para lo cual necesitare los siguientes datos.

##### - Volumen de aire específico $v_a$ :

$$T_a = 25^\circ C = 298.15 K$$

$$P_a = 1 atm = 101.325 kPa$$

$$R_a = 0.2870 \frac{kJ}{kg * K} \text{ ó } \frac{kPa * m^3}{kg * K}$$

$$v_a = \frac{R_a T_a (1 + 1.608 \omega_1)}{P_a}$$

*Ecuación 42. Volumen específico de aire*

$$v_a = \frac{0.2870 * 298.15 (1 + 1.608 * 0.0137)}{101.325}$$

$$v_a = 0.8631 m^3/kg$$

- **Caudal de aire:**

$$\dot{Q}_a = v_a * \dot{m}_a$$

*Ecuación 43. Caudal de aire*

$$\dot{Q}_a = 0.8631 * 14.1$$

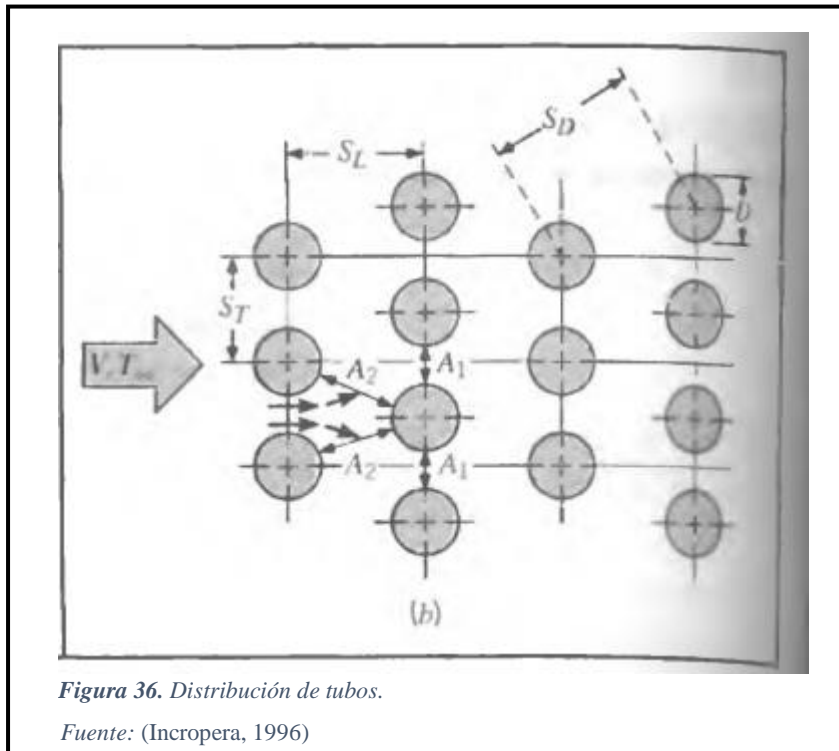
$$\dot{Q}_a = 12.17 \frac{m^3}{seg}$$

Para proceder con el cálculo será necesario establecer el tipo de distribución que tendrá el intercambiador de calor; para este caso opte por una distribución escalonada como se aprecia en la *figura 36*, esta distribución permitirá un mejor aprovechamiento del área superficial de cada tubo, de tal manera que:

$$S_T = \text{Separacion Transversal} = 120.6 \text{ mm}$$

$$S_L = \text{Separacion Longitudinal} = 120.6 \text{ mm}$$

$$S_D = \text{Separacion Diagonal}$$



*Figura 36. Distribución de tubos.*

*Fuente: (Incropera, 1996)*

$$S_D = \left[ S_L^2 + \left( \frac{S_T}{2} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

*Ecuación 44. Separación diagonal*



$$S_D = \left[ 120.6^2 + \left( \frac{120.6}{2} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$S_D = 134.83 \text{ mm}$$

También necesitamos conocer donde ocurre la velocidad máxima, que puede ser en  $A_1$  ó  $A_2$  según *figura 36*.

La velocidad máxima se dará en el plano  $A_2$  si se cumple la siguiente expresión, de lo contrario, ocurrirá en  $A_1$ :

$$S_D < \frac{S_T + 2}{2}$$

*Ecuación 45. Condicional*  
(Incropera, 1996)

$$134.83 < 61.3$$

Ocurre en  $A_1$  dada por la siguiente formula:

$$V_{max} = \frac{S_T}{S_T - D_{ext}} * V$$

*Ecuación 46. Velocidad máxima*  
(Incropera, 1996)

Donde:

$$V = \frac{\dot{Q}_a}{A_{fr}} = \frac{12.17}{2.125} = 5.73 \text{ m/seg}$$

$A_{fr}$  = Area frontal de entrada de aire según geometria seleccionada

Por lo tanto, se tiene que:

$$V_{max} = \frac{0.1206}{0.1206 - 0.0603} * 5.73$$

$$V_{max} = 11.46 \text{ m/s}$$

- **Número de Reynolds del aire por el haz de tubos:**

$$Re_{Dmax} = \frac{\rho_{65^{\circ}C} * V_{max} * D_{ext}}{\mu}$$

*Ecuación 47. Reynolds máximo*

$$Re_{Dmax} = \frac{1.0435 * 11.46 * 0.0603}{2.03 * 10^{-5}}$$

$$Re_{Dmax} = 35\,522.08$$

- **Número de Prandtl a T65°C:**

$$Pr = \frac{C_p * \mu}{k}$$

*Ecuación 48. Numero de Prandtl*

$$Pr = 0.73$$

Con estos datos y la relación que obtuvo (Grimisonn, 1963), el cual es aplicable para un flujo de aire a través de haces de tubos compuesto de 10 o más líneas ( $N_L \geq 10$ ) podemos calcular el número de Nusselt de la siguiente manera:

$$Nu_D = C_1 Re_{Dmax}^m \left[ \begin{array}{l} N_L \geq 10 \\ 2000 < Re_{Dmax} < 40000 \\ Pr = 0.7 \end{array} \right]$$

*Ecuación 49. Nusselt por el haz de tubos*

Donde  $C_1$  y  $m$  se obtienen de tablas:

**Tabla 26. Separación de tubos**

$S_L/D$	$S_T/D$							
	1.25		1.5		2.0		3.0	
	$C_1$	$m$	$C_1$	$m$	$C_1$	$m$	$C_1$	$m$
Alineado								
1.25	0.348	0.592	0.275	0.608	0.100	0.704	0.0633	0.752
1.50	0.367	0.586	0.250	0.620	0.101	0.702	0.0678	0.744
2.00	0.418	0.570	0.299	0.602	0.229	0.632	0.198	0.648
3.00	0.290	0.601	0.357	0.584	0.374	0.581	0.286	0.608
Escalonado								
0.600	—	—	—	—	—	—	0.213	0.636
0.900	—	—	—	—	0.446	0.571	0.401	0.581
1.000	—	—	0.497	0.558	—	—	—	—
1.125	—	—	—	—	0.478	0.565	0.518	0.560
1.250	0.518	0.556	0.505	0.554	0.519	0.556	0.522	0.562
1.500	0.451	0.568	0.460	0.562	0.452	0.568	0.488	0.568
2.000	0.404	0.572	0.416	0.568	0.482	0.556	0.449	0.570
3.000	0.310	0.592	0.356	0.580	0.440	0.562	0.428	0.574

Con:

$$\frac{S_L}{D} = \frac{120.6}{60.3} = 2$$

$$\frac{S_T}{D} = \frac{120.6}{60.3} = 2$$

Obtenemos:

$$C_1 = 0.482$$

$$m = 0.556$$

Por lo tanto, el número de Nusselt queda de la siguiente manera:

$$Nu_D = 0.482 * 35\,522.08^{0.556}$$

$$Nu_D = 163.35$$

Con lo cual tenemos que el coeficiente de transferencia de calor por convección en el haz de tubos es:

$$h_a = \frac{Nu_{Dmax} * k}{D}$$

*Ecuación 50. Coeficiente de transferencia por convección (Tubos-aire)*

$$h_a = \frac{163.35 * 0.028}{0.0603}$$

$$h_a = 75.85 \frac{W}{m^2 * K}$$

### G. Cálculo del coeficiente global de transferencia de calor $U_{global}$ :

$$U_{global} = \left[ \frac{1}{UA} \right]^{-1} = \left[ \frac{1}{U_h A_h} \right]^{-1} = \left[ \frac{1}{U_c A_c} \right]^{-1}$$

*Ecuación 51. Coeficiente global*

Por lo tanto, tenemos que:

$$U_{global} = \left[ \frac{1}{(n_o h_a A)_c} + \frac{Rf_c}{(n_o A)_c} + R_w + \frac{Rf_h}{(n_o A)_h} + \frac{1}{(n_o h_i A)_h} \right]^{-1}$$

*Ecuación 52. U. global*

Donde:

$n_o$  = Efectividad de la temperatura con una superficie con aletas.

$Rf$  = Factor de impureza.

$R_w$  = Resistencia por conducción.

$c$  y  $h$  = representan los fluidos de entrada, fría y caliente respectivamente.

Tras despreciar los factores de impureza y la resistencia de la pared por ser de poco espesor tenemos que el coeficiente global de transferencia de calor es:

$$U = \left( \frac{1}{h_o} + \frac{1}{h_i} \right)^{-1}$$

*Ecuación 53. U. global despejado*

$$U = \left( \frac{1}{75.8} + \frac{1}{15.53} \right)^{-1}$$

$$U = 12.9 \frac{W}{m^2 * K}$$

### H. Cálculo del área superficial de transferencia de calor $A_s$ :

Ahora para determinar el área de transferencia de calor, utilizare La diferencia de temperaturas media logarítmica (LMTD) por sus siglas en inglés:

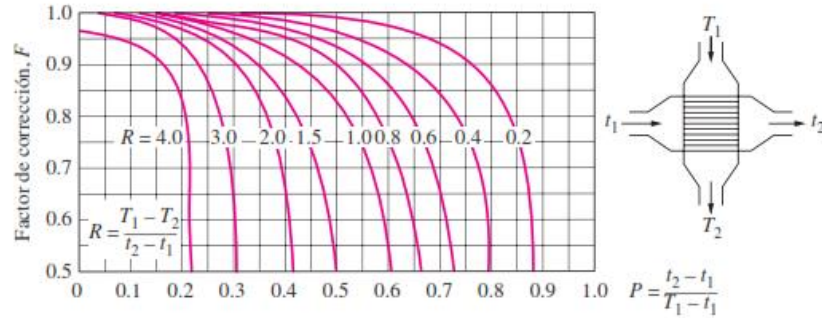
$$Q_{aire} = U * A_s * F * \Delta T_{ml,CF}$$

*Ecuación 54. Calor del aire*

Donde:

$F = se\ calcula\ con\ tablas$

Y obtendremos el valor de 1



d) Flujo cruzado de un solo paso con uno de los fluidos de flujo mezclado y el otro no mezclado

Figura 37. Factor de Corrección  
Fuente: (Cengel, 2011)

Y la variación de temperatura media logarítmica queda expresada de la siguiente manera:

$$\Delta T_{ml,CF} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)}$$

Ecuación 55. Variación media logarítmica

Siendo:

$$\Delta T_1 = T_{h,ent} - T_{c,sal}$$

$$\Delta T_2 = T_{h,sal} - T_{c,ent}$$

Por lo tanto:

$$\Delta T_{ml,CF} = 203.08\ K$$

Así el área superficial del intercambiador de calor queda de la siguiente manera:

$$A_s = \frac{Q_{aire}}{U * F * \Delta T_{ml,CF}}$$

Ecuación 56. Área de intercambio de calor

$$A_s = \frac{568512}{12.9 * 1 * 203.08}$$

$$A_s = 217.01\ m^2$$

**I. Cálculo de número de tubos del intercambiador de calor  $N_t$ :**

$$N_t = \frac{A_s}{\pi * D_{ext} * L * M}$$

*Ecuación 57. Número de tubos*

Donde:

$L = \text{Longitud de la tubería} = 1.7 \text{ m}$

$M = \text{Numero de pasos} = 4$

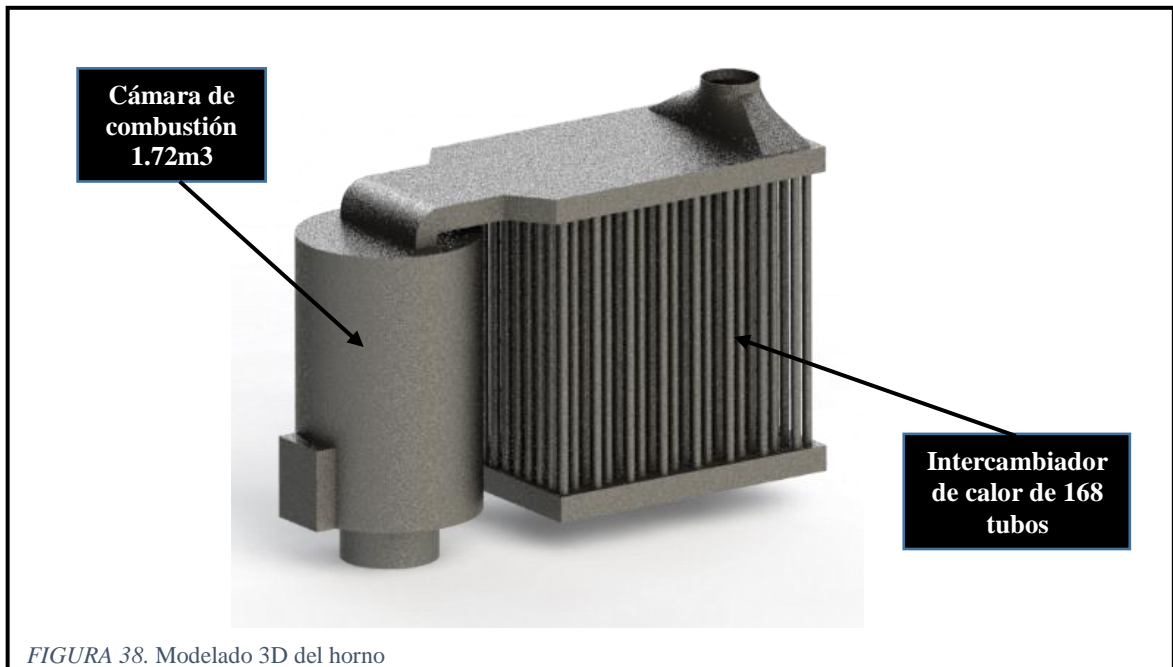
Entonces la cantidad de tubos para el intercambiador de calor será de:

$$N_t = 168 \text{ tubos}$$

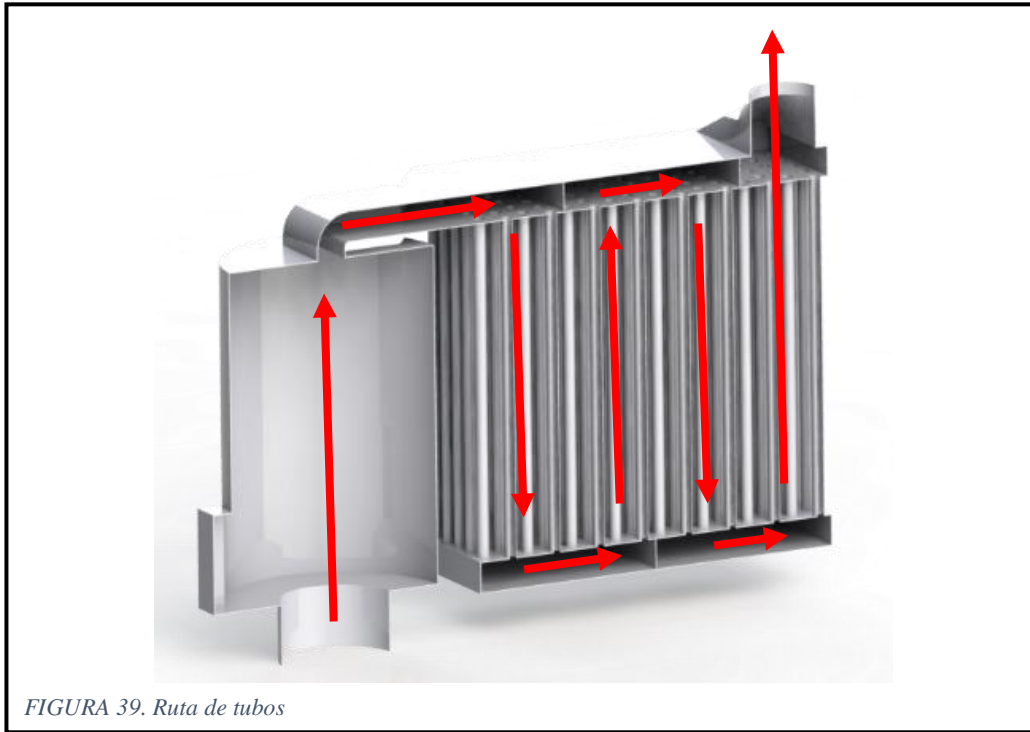
### 3.8.1.3. Simulación termodinámica de horno:

#### A. Modelado 3D del horno:

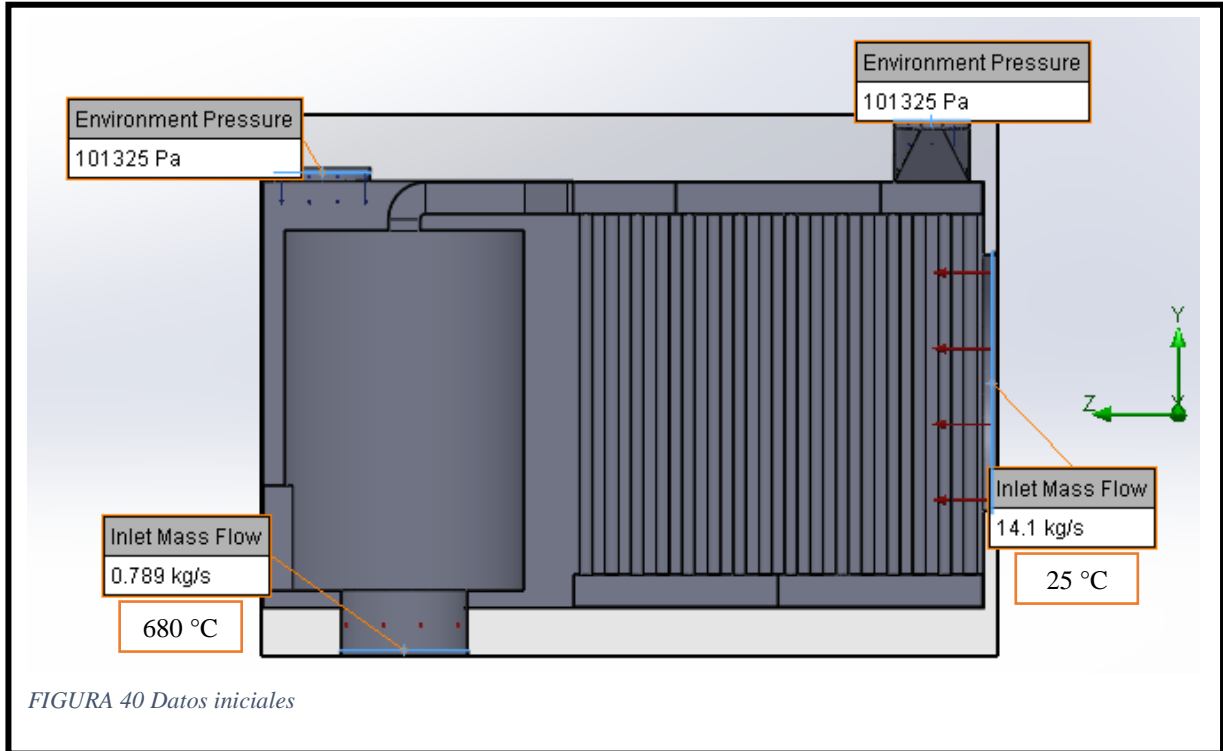
Comprende los sistemas calculados en el apartado anterior, cámara de combustión, e intercambiador de calor (*ver figura 38*).



El intercambiador de calor de tubos se encuentra subdividido en 4 tramos de 42 tubos cada uno, el cual proporcionara una ruta a seguir para los gases de combustión, en la *figura 39* se aprecia la distribución y ruta mencionada.



Para la simulación correspondiente se usan los datos expresados en la *figura 40*, en el cual se especifican las temperaturas iniciales de ingreso y los respectivos flujos másicos:



El material utilizado en la simulación térmica es acero de bajo carbono (MILD STEEL)

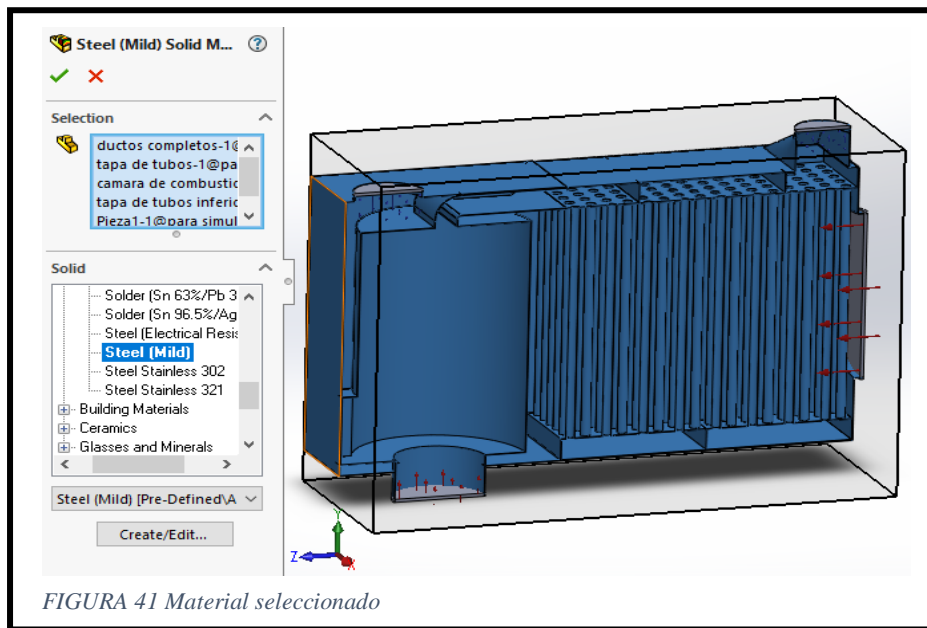


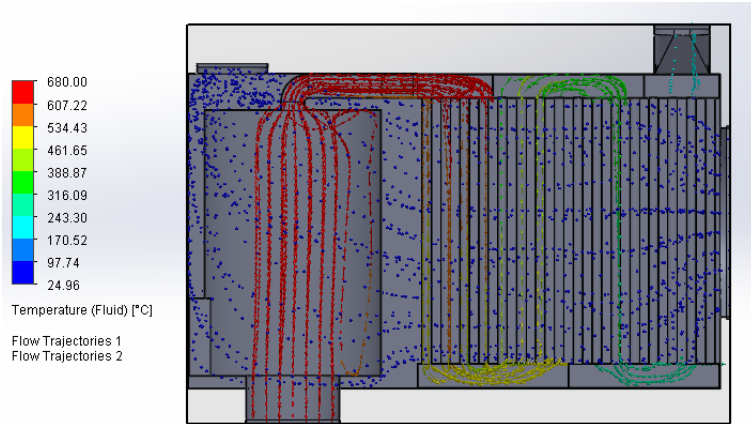
FIGURA 41 Material seleccionado

Cabe resaltar que durante el cálculo del horno el coeficiente de transferencia del material a utilizar se desprecia debido a que se considera que el haz de tubos que conforman el intercambiador tiene un espesor de pared que no modifica sustancialmente el resultado final y se procede a analizar todo el sistema con un intercambiador ideal.

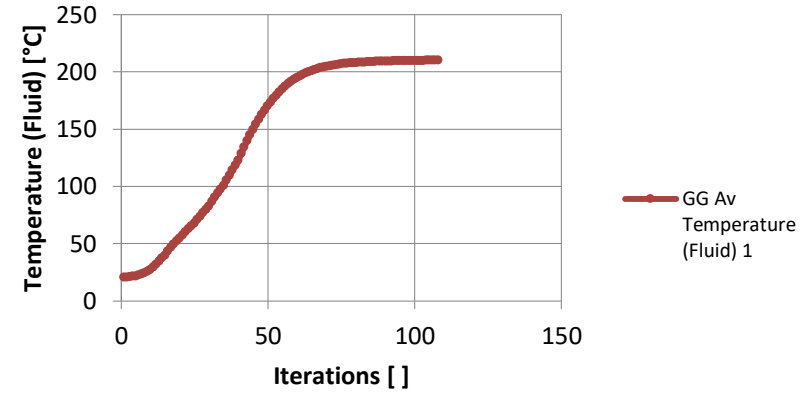


Tabla 27. Resultados de simulación horno 1

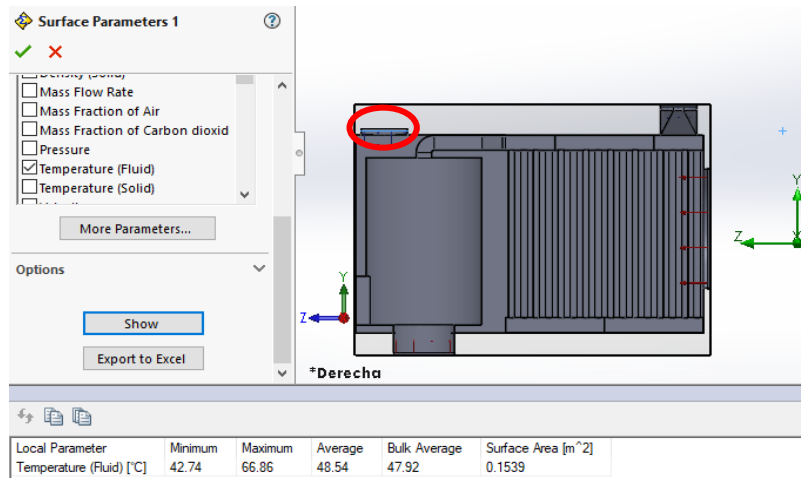
### TRAYECTORIAS DE FLUIDOS



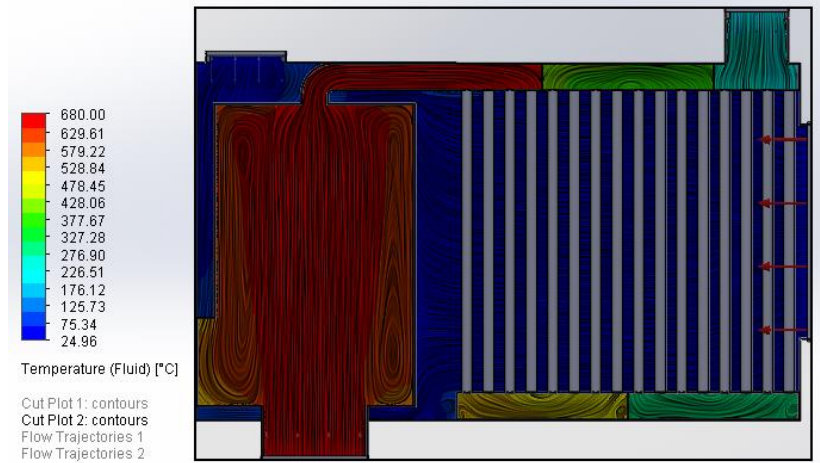
### TEMPERATURA PROMEDIO DEL SISTEMA



### TEMPERATURA DEL AIRE A LA SALIDA



### TEMPERATURAS A LO LARGO DEL SISTEMA



De la *tabla 27* se constata que la temperatura a la salida del sistema es de  $66.86^{\circ}\text{C}$  como máximo, lo cual demuestra que el cálculo realizado con anterioridad es correcto, también podemos apreciar una variación promedio de temperatura del sistema bastante progresivo con lo que queda claro que la disposición del intercambiador de calor es el indicado.

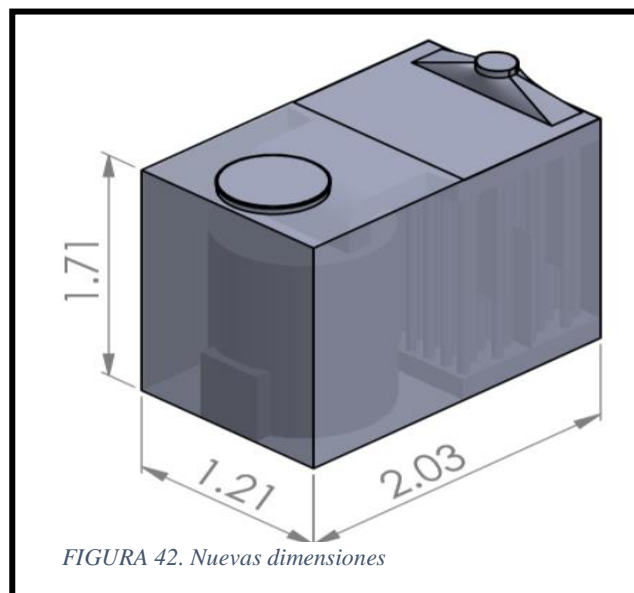
Pero la premisa de diseño de la secadora de granos es su capacidad de ser portátil y las dimensiones globales del horno son  $3.5\text{m} \times 1.34\text{m} \times 2\text{m}$  medidas que imposibilitan su fácil transporte, por tal motivo empleando el software de diseño SolidWorks se optimizan las medidas del horno.

### **B. Redimensionamiento del horno:**

Uno de los detalles que se aprecian en la simulación anterior es que el aire pasa muy poco tiempo en contacto con el intercambiador de calor, puesto que solo atraviesa de manera directa todo el haz de tubos (flujo cruzado), por tal motivo y con el objetivo de aprovechar al máximo el calor generado en la cámara de combustión, es necesario brindar una ruta para el aire a fin de que este permanezca un periodo mayor de tiempo en el interior.

Es así que, partiendo del conocimiento adquirido a lo largo de la vida universitaria, se tiene presente que un intercambiador de calor de contra flujo es mucho más eficiente, que el anterior presentado, puesto que la finalidad es diseñar una máquina portátil, mejorar la transferencia de calor para reducir las dimensiones globales es fundamental.

Es así que con ayuda del software de diseño Solidworks se generan las nuevas dimensiones del horno, presentados en la *figura 42*, cuyas unidades se encuentran en metros.



Dentro de las modificaciones realizadas en el horno abarca el redimensionamiento del volumen general de la cámara de combustión a  $0.95 \text{ m}^3$ , esto teniendo presente un sistema de limpieza de ceniza que no genere pérdidas considerables de calor, adicionalmente la nueva disposición interna de intercambiador de calor permite reducir el número de tubos a 76, los parámetros de temperatura y flujo másico de los fluidos se mantiene, puesto que son necesarios para el correcto secado de los granos de arroz, en la *figura 43* se detalla las modificaciones internas del horno, y en la *tabla 28*, se presenta el resultado obtenido de la simulación con las nuevas dimensiones:

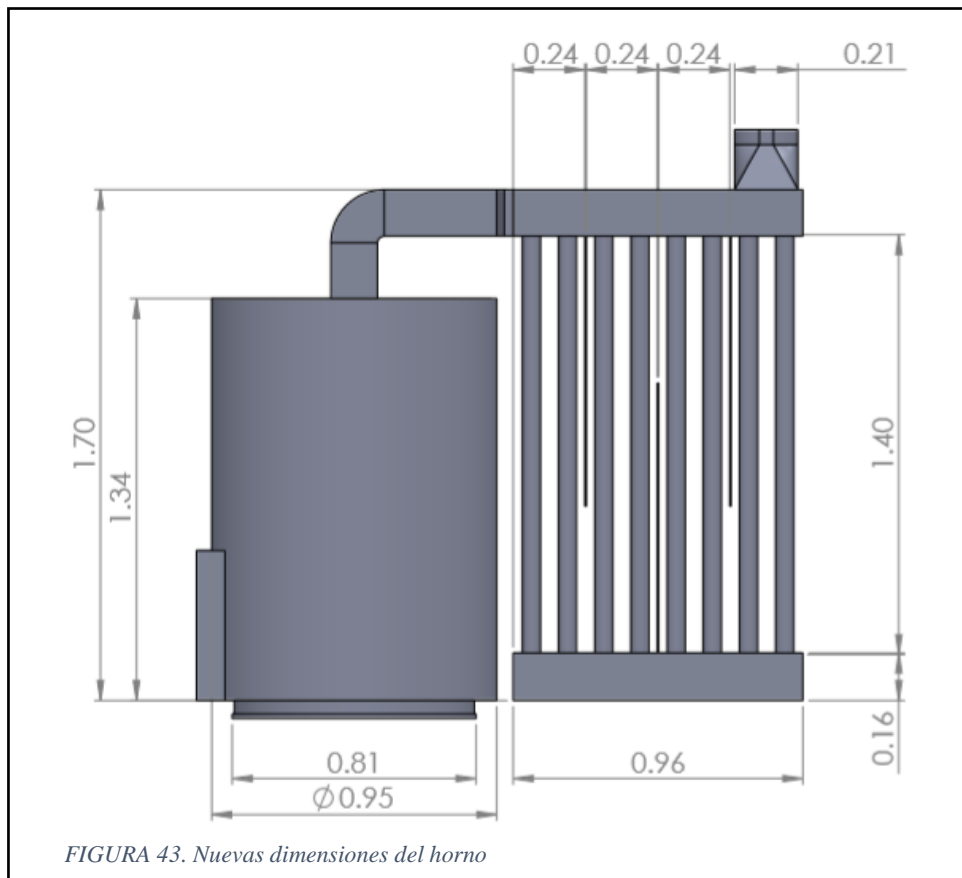
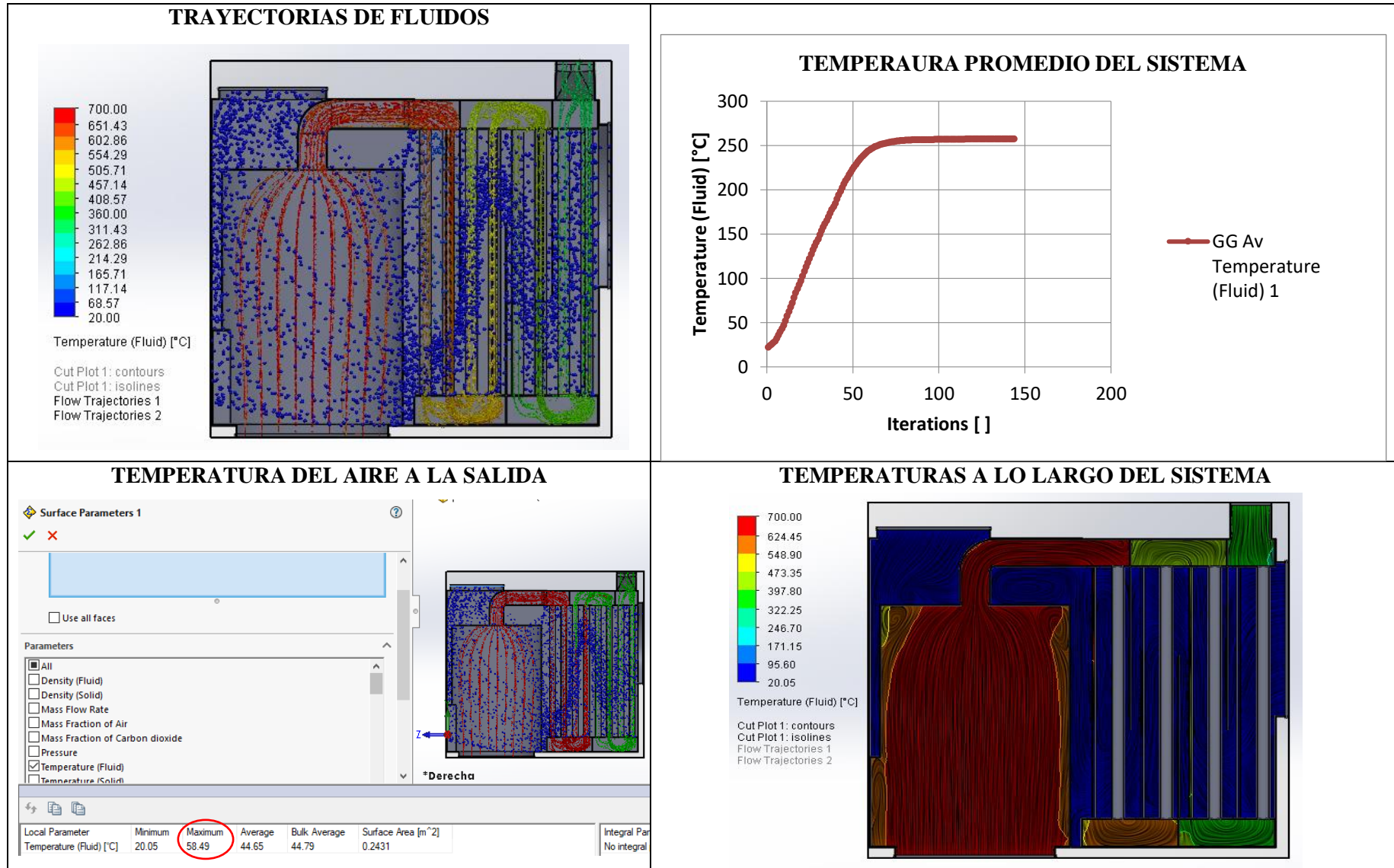
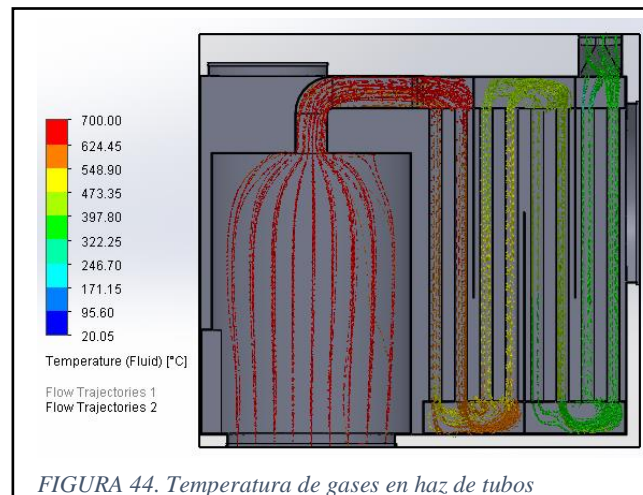


Tabla 28. Resultados simulación horno redimensionado

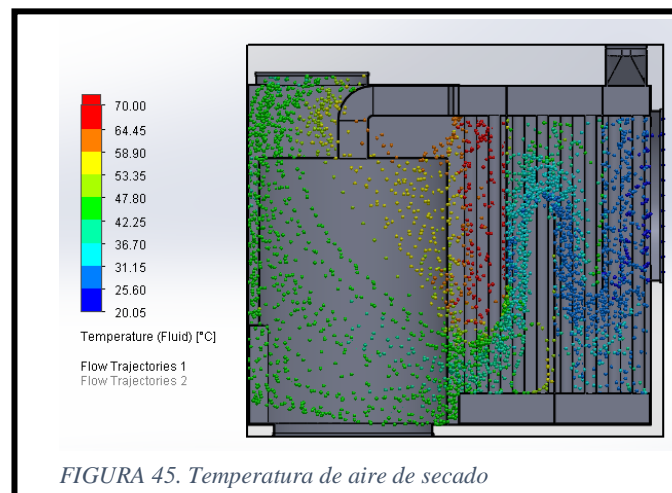


Las nuevas dimensiones del horno proporcionan resultados satisfactorios con una transferencia de calor progresiva a lo largo del sistema, obteniéndose una temperatura de aire a la salida de 58.49 °C, temperatura que se encuentra dentro de los parámetros para el correcto secado de los granos de arroz.

Asimismo, la simulación de la trayectoria que siguen los gases de combustión, muestran una variación de temperatura gradual a lo largo del haz de tubos, como se aprecia en la *figura 44*.



De la misma forma, la trayectoria proporcionada al aire de secado, con la finalidad de mejorar la transferencia de calor, muestra como la disposición en contraflujo aumenta la temperatura del fluido al pasar por las cavidades que se aprecian en la *figura 45*, con estos resultados se valida el nuevo dimensionamiento propuesto para el horno.

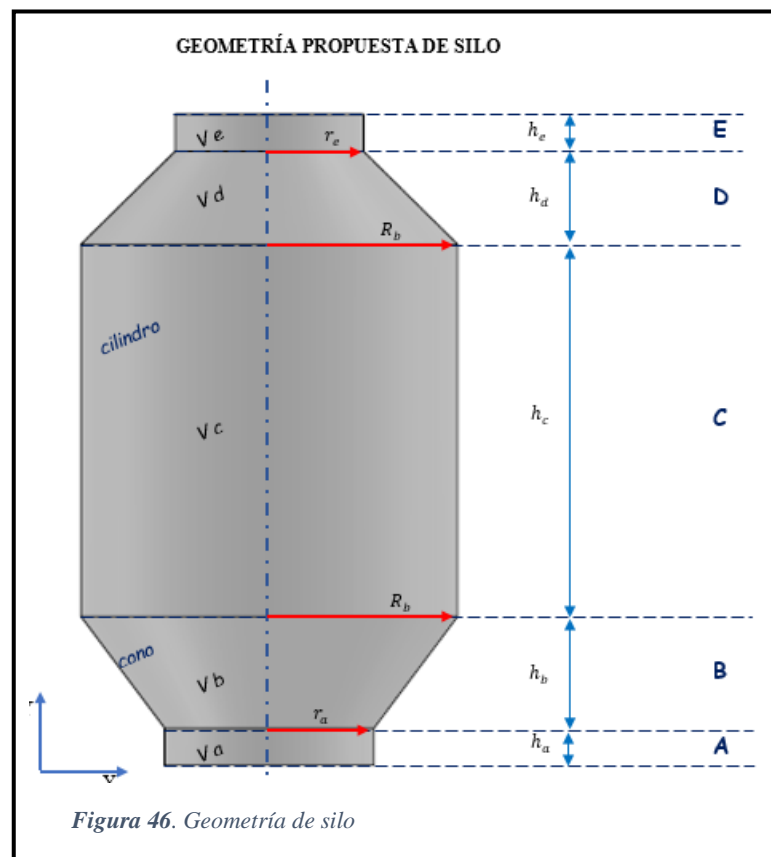


### 3.8.2. Silo de Tratamiento de Secado.

#### 3.8.2.1. Tamaño y Geometría:

El tamaño y la geometría (ver figura 46) dependen de los requerimientos funcionales tales como volumen de almacenamiento, el sistema de forma de descarga, las propiedades de material almacenado, el espacio disponible, consideraciones tipo económico, etc.

Los silos cilíndricos son estructuras más eficaces que los prismáticos bajo el punto de vista de coste estructural. (CRUZ, 2011).

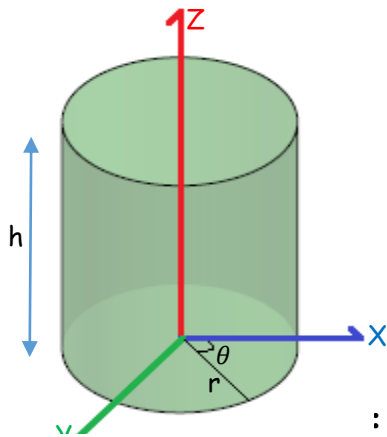


Según la lista de exigencia se necesita un silo que albergue un volumen de  $7 \text{ m}^3$  y soporte un peso aproximado de 5.04 Toneladas ( $7 \text{ m}^3 \times 0.720 \text{ Tn/m}^3$ ) en su operación más crítica.

A continuación, se realiza analíticamente la geometría del silo y definiendo las variables como altura, diámetro, etc.

A continuación, se pasa a definir las ecuaciones en función a geometrías conocidas, para finalmente definir una expresión matemática de la cual se pueda establecer los parámetros generales del silo.

**Volumen de un Cilindro:**

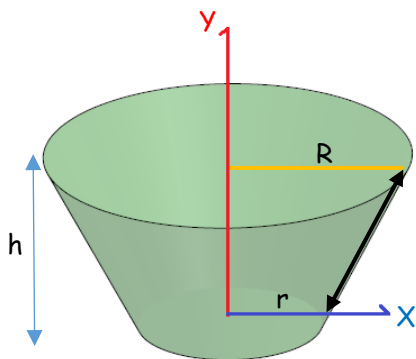


$$\begin{aligned} x &= r \cos \theta \\ y &= r \sin \theta \\ z &= z \end{aligned}$$

$$V = \iiint_v dv \quad \begin{aligned} 0 &\leq x \leq r \\ 0 &\leq y \leq 2\pi \\ 0 &\leq z \leq h \end{aligned}$$

$$dv = r dr d\theta dz$$

$$\begin{aligned} V &= \int_0^h dz \int_0^{2\pi} d\theta \int_0^r r dr \\ V &= h 2\pi \frac{r^2}{2} \\ V &= \pi r^2 h \end{aligned}$$



$$dv = \pi x^2 dy$$

$$\begin{aligned} y - y_1 &= \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1) \\ y - 0 &= \frac{h - 0}{R - r} (x - r) \\ y &= \frac{h}{R - r} (x - r) \\ x &= \frac{y(R - r)}{h} + r \end{aligned}$$

$$V = \int_0^h \pi \left( \frac{y(R - r)}{h} + r \right)^2 dy$$

$$\int u' u^n dx = \frac{u^{n+1}}{n + 1}$$

$$V = \pi \left( \frac{h}{R - r} \right) \int_0^h \left( \frac{y(R - r)}{h} + r \right)^2 \left( \frac{R - r}{h} \right) dy$$

$$V = \frac{1}{3} \pi \left( \frac{h}{R - r} \right) \left[ \frac{y(R - r)}{h} + r \right]_0^h$$

$$V = \frac{\pi}{3} \left( \frac{h}{R - r} \right) \left[ \left( \frac{h(R - r)}{h} + r \right)^3 - \left( \frac{0(R - r)}{h} + r \right)^3 \right]$$

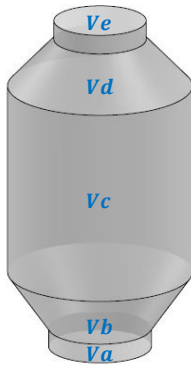
$$V = \frac{\pi h}{3(R - r)} [(R)^3 - (r)^3]$$

$$V = \frac{\pi h}{3(R - r)} (R - r)(R^2 + r^2 + Rr)$$

$$V = \frac{1}{3} \pi h (R^2 + r^2 + Rr)$$



Definidas las expresiones de cada una de las secciones del silo se tiene que:



$$Va = \pi r_a^2 h_a$$

*Ecuación 58*

$$Vb = \frac{1}{3} \pi h_b (R_b^2 + r_a^2 + R_b r_a)$$

*Ecuación 59*

$$Vc = \pi R_b^2 h_c$$

*Ecuación 60*

$$Vd = \frac{1}{3} \pi h_d (R_b^2 + r_e^2 + R_b r_e)$$

*Ecuación 61*

$$Ve = \pi r_e^2 h_e$$

*Ecuación 62*

$$7m^3 = Va + Vb + Vc + Vd + Ve$$

$$7m^3 = (\pi r_a^2 h_a) + \left(\frac{1}{3} \pi h_b (R_b^2 + r_a^2 + R_b r_a)\right) + (\pi R_b^2 h_c) + \left(\frac{1}{3} \pi h_d (R_b^2 + r_e^2 + R_b r_e)\right) + (\pi r_e^2 h_e)$$

*Ecuación 63*

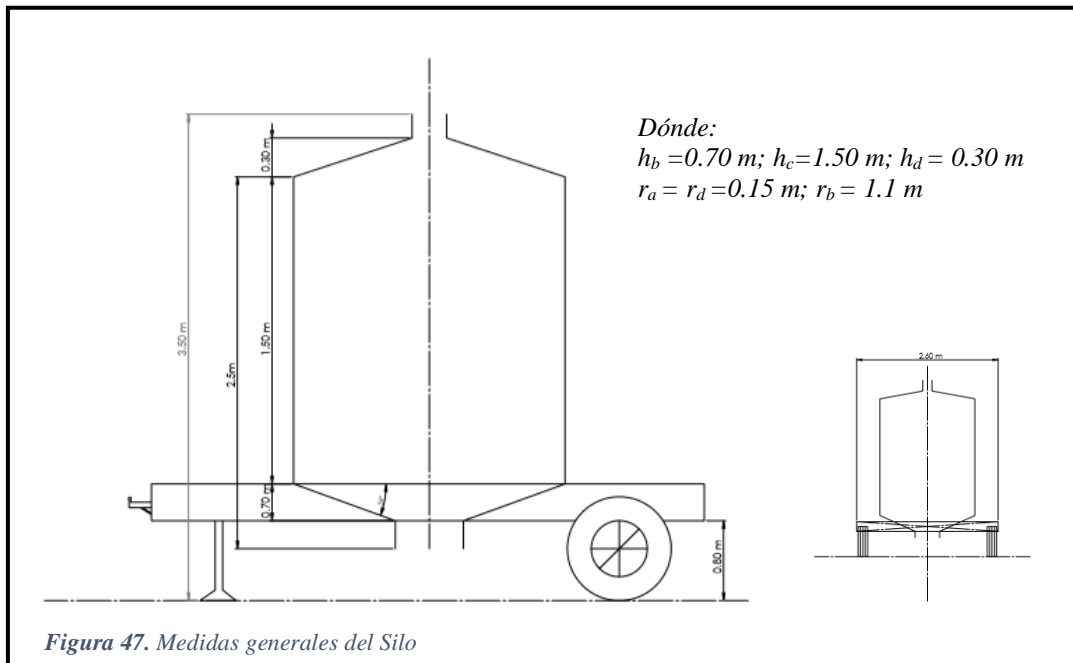
Según la lista de exigencias la secadora tiene que ser portátil, lo cual implica que el silo estará soportado sobre un chasis para ser remolcado junto con los demás sistemas, debido a ello se tiene que tener en cuenta el reglamento vigente de vehículos para remolques, ya que transitará por carretera.

Según la directiva N°002-2006-MTC/15 “CLASIFICACIÓN VEHICULAR Y ESTANDARIZACIÓN DE CARACTERÍSTICAS REGISTRABLES VEHICULARES” en el ítem 4, TABLA 1: CLASIFICACION VEHICULAR, Los remolques pertenecen a la categoría O3.

*Tabla 29 Remolques*

<i>Remolques (Incluidos semirremolques)</i>	
<i>O1</i>	<i>Remolques con peso bruto vehicular de 0.75 toneladas o menos.</i>
<i>O2</i>	<i>Remolques de peso bruto vehicular de más 0.75 toneladas hasta 3.5 toneladas.</i>
<i>O3</i>	<i>Remolques de peso bruto vehicular de más de 3.5 toneladas hasta 10 toneladas.</i>
<i>O4</i>	<i>Remolques de peso bruto vehicular de más de 10 toneladas.</i>





Por otra parte, reglamento en el Anexo IV: Pesos y medidas, ítem 6: Medidas Vehiculares se tiene que no debe exceder el 2.60 m de ancho y los 4.10 m de alto (categoría N general), teniendo en cuenta que la altura mínima del chasis al suelo sea de 0.80 m.

Teniendo en consideración las medidas según reglamento se opta por asumir los siguientes criterios de diseño.

Primero definimos las alturas “ $h_b$ ”, “ $h_c$ ”, “ $h_d$ ” y los radios “ $r_a$ ”, “ $r_b$ ” y “ $r_d$ ” como se observa en la figura 47.

Reemplazando éstos valores en las ecuaciones (51, 52, 53.) Respectivamente, se obtiene los siguientes valores de volúmenes “ $V_b$ ”, “ $V_c$ ” y “ $V_d$ ”

$$\begin{aligned}
 V_b &=? & V_b &= \frac{1}{3} \pi h_b (R_b^2 + r_a^2 + R_b r_a) \\
 h_b &= 0.70 \text{ m} \\
 r_a &= 0.15 \text{ m} & V_b &= \frac{1}{3} \pi (0.70) (1.1^2 + 0.15^2 + (1.1 * 0.15)) \\
 R_b &= 1.1 \text{ m} & V_b &= 1.02 \text{ m}^3 \cong 14\% \text{ del volumen total}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
V_c &=? & V_c &= \pi R_b^2 h_c \\
h_c &= 1.50 \text{ m} & V_c &= \pi(1.1)^2 * 1.50 \\
R_b &= 1.1 \text{ m} & V_c &= 5.70 \text{ m}^3 \cong 80\% \text{ del volumen total}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
V_d &=? & V_d &= \frac{1}{3}\pi h_d(R_b^2 + r_c^2 + R_b r_c) \\
h_b &= 0.30 \text{ m} & V_b &= \frac{1}{3}\pi(0.30)(1.1^2 + 0.15^2 + (1.1 * 0.15)) \\
R_b &= 1.1 \text{ m} & & \\
r_c &= 0.25 \text{ m} & V_b &= 0.44 \text{ m}^3 \cong 6\% \text{ del volumen total}
\end{aligned}$$

$V_b = 1.02 \text{ m}^3 \approx$  equivale al 14 % del volumen total.

$V_c = 5.70 \text{ m}^3 \approx$  equivale al 80 % del volumen total.

$V_d = 0.44 \text{ m}^3 \approx$  equivale al 6 % del volumen total.

En estas tres (03) secciones se tiene un volumen de  $7 \text{ m}^3$  que equivale al 100% del volumen requerido en la lista de exigencias.

$$V_b + V_c + V_d = 7 \text{ m}^3 \approx 100 \% \text{ del volumen total.}$$

Esto es totalmente aceptable ya que el volumen requerido se alberga por completo en las secciones más grandes del silo dejando los volúmenes de las secciones “ $V_a$ ” y “ $V_e$ ” como espacios extras permitiendo así que el grano cuente con espacio para la descarga en la parte superior del silo y para el sistema de recirculación.

Para las distancias restantes “ $h_a$ ” y “ $h_e$ ” consideraremos 0.40 y 0.25 m respectivamente, teniendo así un silo de 3 m de altura máxima (que está dentro de lo estipulado por el reglamento vigente de tránsito) y un diámetro de 2.20 m (que no supera los 2.60 m de lo estipulado en el reglamento vigente).

Habiendo definido la forma y geometría del silo como se observa en la *figura 48* se pasará a realizar el diseño estructural del mismo.

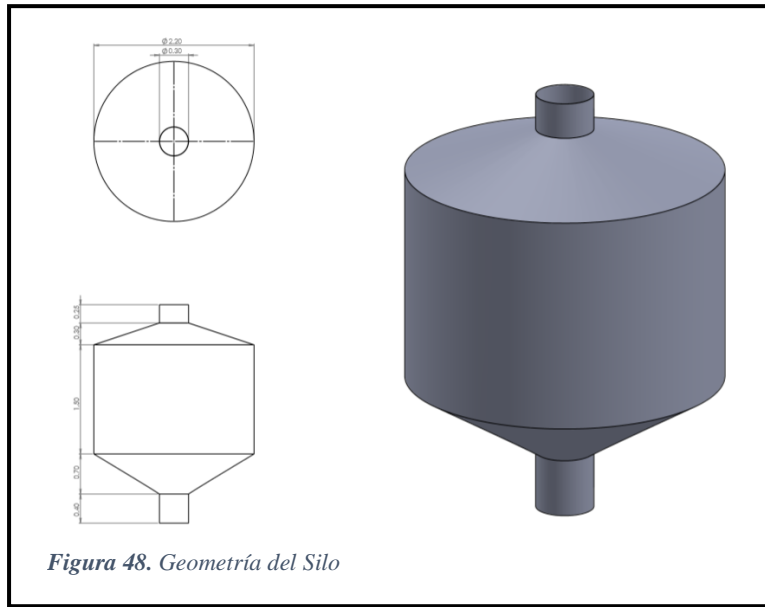


Figura 48. Geometría del Silo

### 3.8.2.2. Diseño Estructural del Silo:

A continuación, una vez definido el volumen que albergará la cámara de secado, se pasará a realizar el modelado en 3D para posteriormente analizar la estructura y definir materiales, espesores, y las condiciones de trabajo.

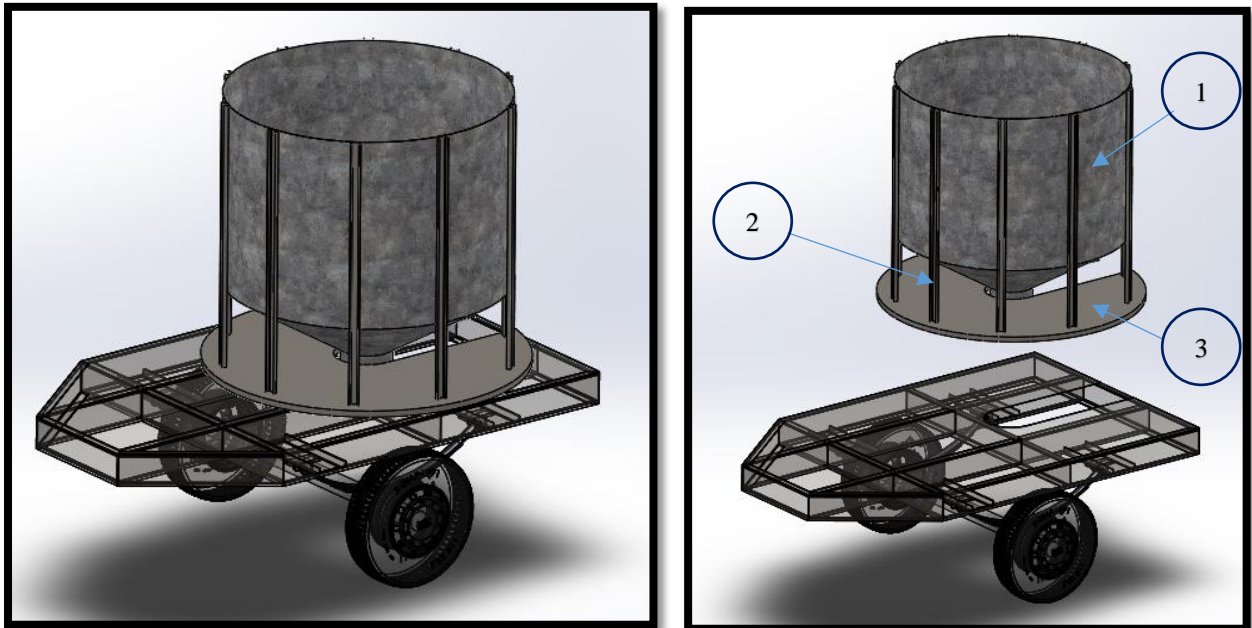
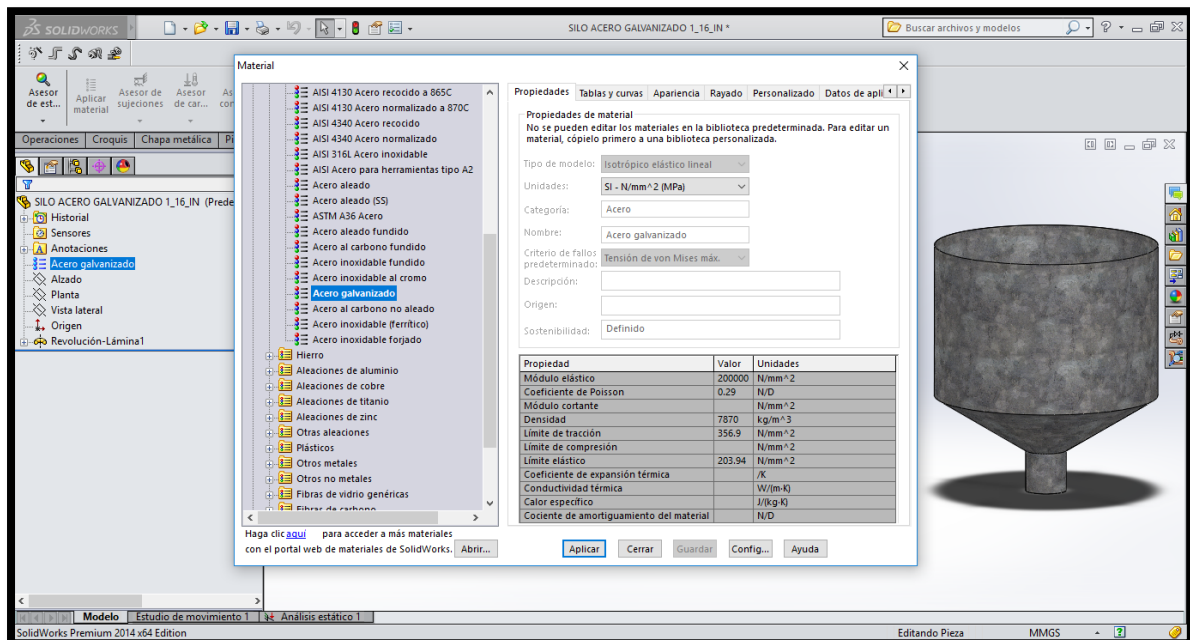


Figura 49. Ubicación del silo

Como de observa en la *figura 49* (la de la izquierda) el silo será montado en un chasis – remolque, del cual nos ocuparemos en el siguiente apartado del análisis, realizando así los ajustes necesarios para su seguro y óptimo desempeño.

En la *figura 49* (la de la derecha) se observa el silo “1”, el cual estará sujeto a un sub-chasis “3” por unos perfiles estructurales “2” de sección transversal en “C”. A continuación, se pasa a analizar la estructura.

**Silo (cámara de secado);** aquí se tomó las consideraciones de volumen y longitudes de secciones como se definieron en el apartado anterior, el material considerado con el que se fabricará el silo es un acero galvanizado (*ver figura 50*) siendo planchas comerciales y fáciles de encontrar en el mercado, para un primer análisis se considerarán planchas de 1/16” de espesor.



*Figura 50. Selección de material de silo, modelado 3D en SolidWorks*

Para los soportes, se consideran 10 perfiles “C” de 3”x5”x1/4” en acero estructural ASTM A36 distribuidos uniformemente (360°) alrededor de la estructura del silo.

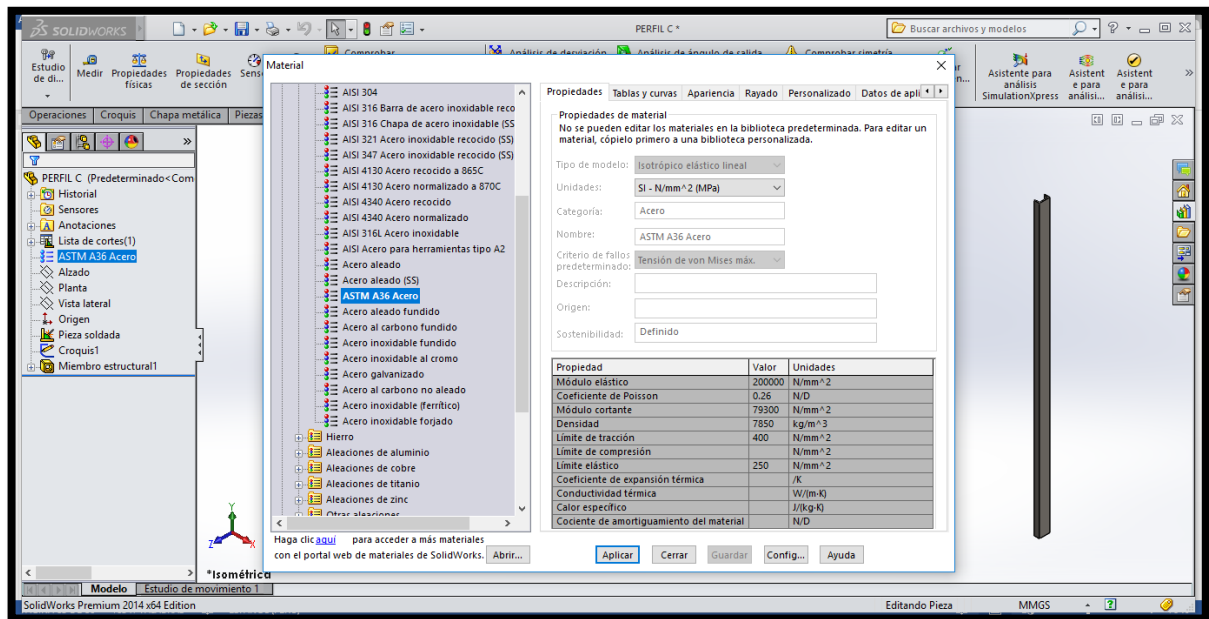


Figura 51. Selección de material de soportes, modelado 3D en Solidworks

Para realizar el análisis estático: la presión ejercida en las paredes verticales producto del peso del arroz paddy es de 4699.97 Pa, en su condición más extrema (cuando esté completamente lleno) y en las paredes inclinadas tenemos una presión de 2664.6 Pa, adicionalmente en las juntas de las paredes verticales e inclinadas tenemos una presión máxima de 27177.6 Pa. A continuación, se muestran los resultados de la simulación 1.

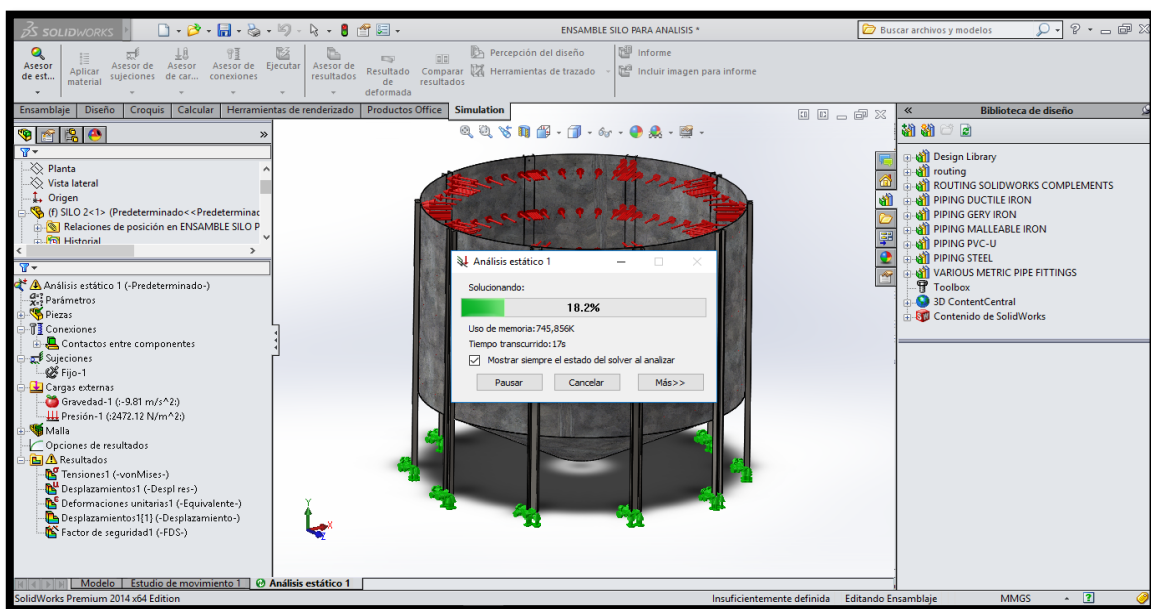


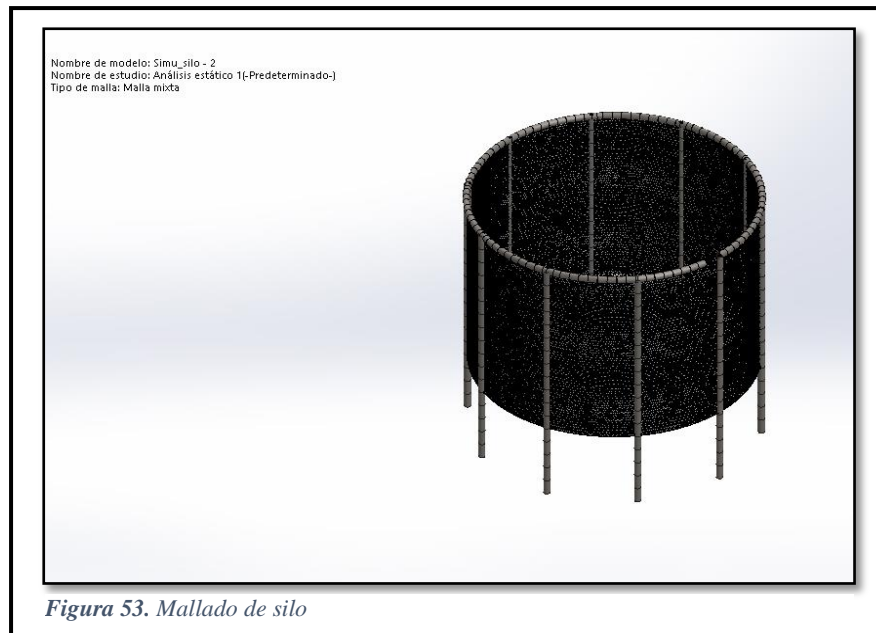
Figura 52. Simulación de Análisis Estático en Solidworks

Las características del mallado utilizado se muestran en la *tabla 30*:

*Tabla 30 Características del mallado*

<b>Tipo de malla</b>	Malla mixta
<b>Mallador utilizado:</b>	Malla basada en curvatura
<b>Puntos jacobianos</b>	4 Puntos
<b>Tamaño máximo de elemento</b>	30 mm
<b>Tamaño mínimo del elemento</b>	9.9999 mm
<b>Calidad de malla</b>	Elementos cuadráticos de alto orden

Esta geometría de mallado permitió cubrir por completo del silo como se aprecia en la *figura 53*:

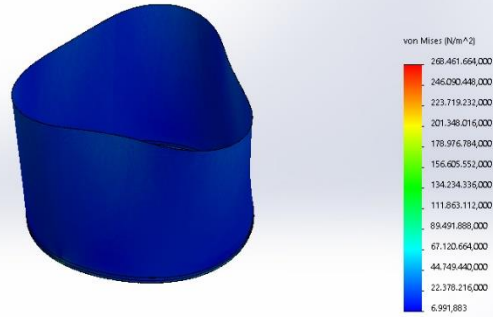


El resultado obtenido tras el análisis se muestra en la *tabla 31*, donde se considera las deformaciones unitarias, desplazamientos resultantes, los esfuerzos de Von mises y el factor de seguridad:

**Tabla 31** Resultados de análisis estático 1 del silo

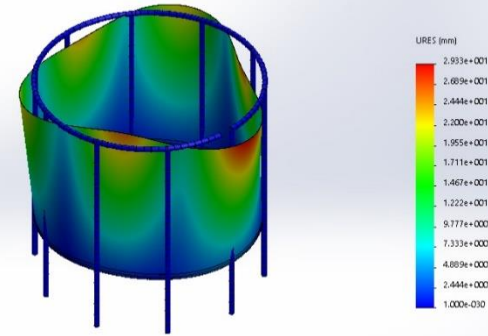
**Von Mises:**

Nombre de modelo: Simu\_silo - 2  
 Nombre de estudio: Análisis estático 1{Predeterminado}  
 Tipo de resultado: Análisis estático (tensión modal Tensiones)  
 Escala de deformación: 7.64242



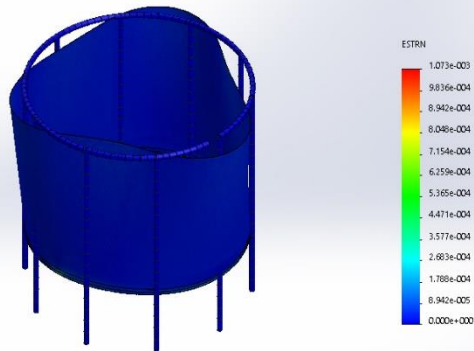
**Desplazamiento resultante:**

Nombre de modelo: Simu\_silo - 2  
 Nombre de estudio: Análisis estático 1{Predeterminado}  
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático (Desplazamientos)  
 Escala de deformación: 7.64242



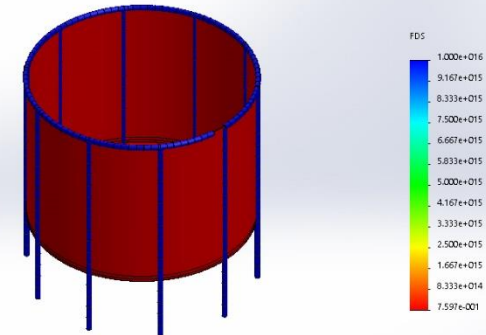
**Deformación unitaria equivalente:**

Nombre de modelo: Simu\_silo - 2  
 Nombre de estudio: Análisis estático 1{Predeterminado}  
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática (Deformaciones unitarias)  
 Escala de deformación: 7.64242

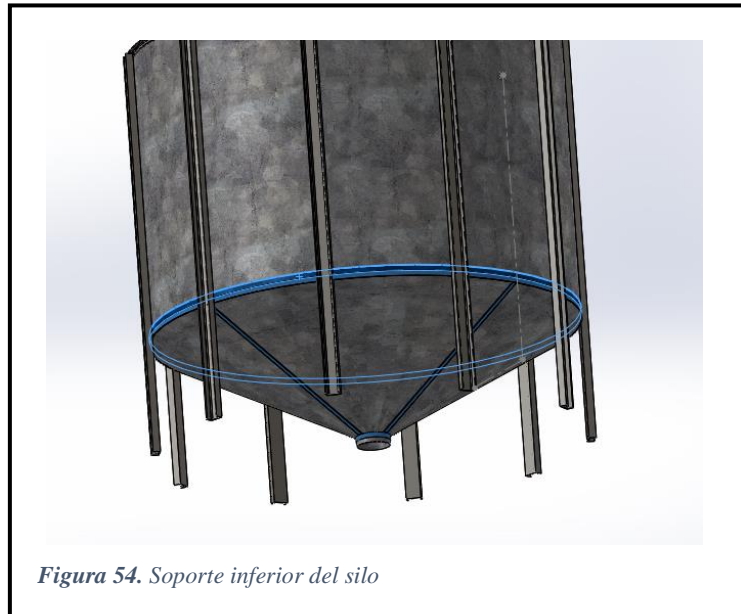


**Factor de seguridad:**

Nombre de modelo: Simu\_silo - 2  
 Nombre de estudio: Análisis estático 1{Predeterminado}  
 Tipo de resultado: Factor de seguridad (Factor de seguridad)  
 Criterio: Tensiones von Mises máx.  
 Distribución de Factor de seguridad: FDS mín = 0.76



El resultado de los análisis mostrados en la tabla anterior, nos indica un factor de seguridad mínimo de 0.7, dato con el cual no podemos trabajar puesto que es inferior a lo esperado, con el objetivo de reducir las deformaciones a un margen aceptable y aumentar el factor de seguridad sin adicionar un costo significativo al silo, se procede a reforzar la parte inferior del mismo utilizando platinas de 1 pulgada con un espesor de 1/8 de pulgada, que cumplirá la función de brindar mayor soporte en la zona inferior del silo (*ver figura 54*):



El mallado a utilizar fue el mismo y las presiones aplicas también, generándose la siguiente malla (*Ver figura 55*) y obteniendo los resultados de la *tabla 32*:

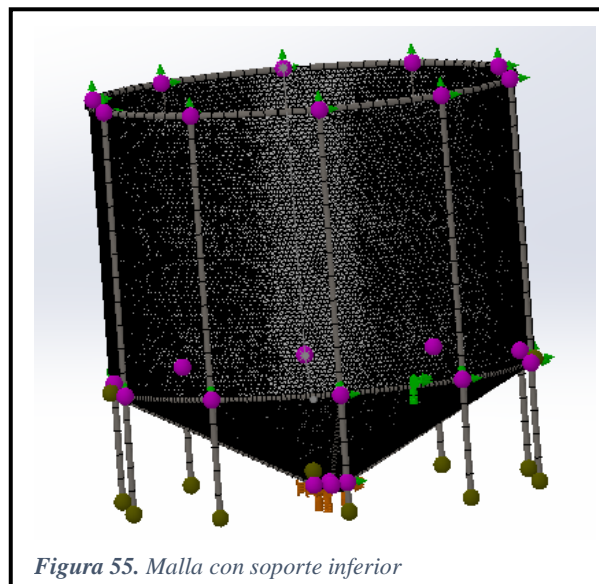
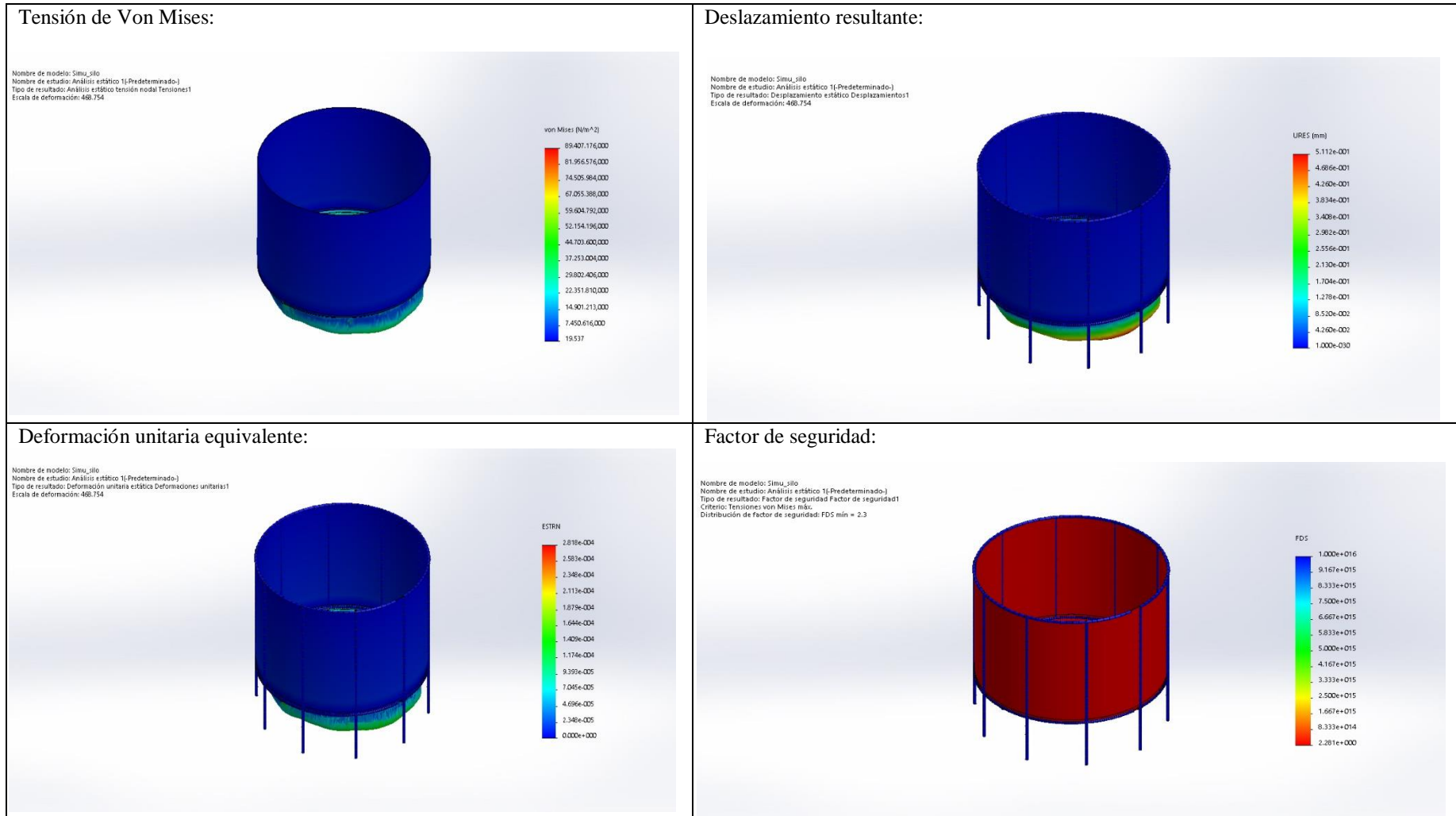
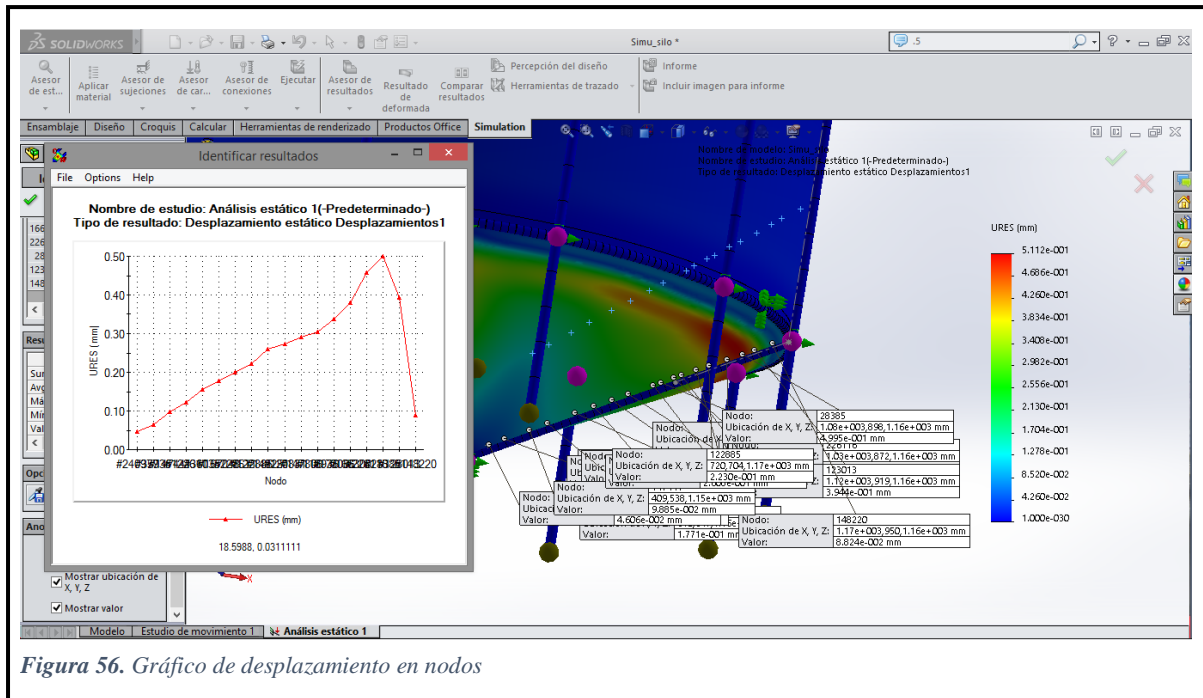




Tabla 32 Resultado del análisis estático 2 del silo



Los resultados de la *tabla 32* mostraron la mejoría inmediata después de brindar un mejor soporte a la parte inferior del silo, se redujo el desplazamiento máximo a solo 0.5 mm (*ver figura 56*), dato bastante favorable para el caso de estudio, además el factor de seguridad mínimo aumento a 2.3.



### 3.8.3. Diseño del tornillo Transportador Horizontal:

Es necesario contar con las características del material a granel proporcionado por el catalogo Martin, que es una recopilación de todo lo necesario para la selección de un tornillo transportador, (Direct Industry, 2013):

Tabla 33 Características del material a granel:

Material	Peso <i>lb/Pie<sup>3</sup></i>	Código CEMA	Rodamiento Interno	Serie componente	Factor de material	% de carga
Arroz con cáscara	45-49	C1/2-25P	L-S-B	1	0.4	45

Fuente: (Direct Industry, 2013)

- **Parámetros iniciales:**

- Capacidad:  $5.04 \text{ TN/h} \cong 247.203 \text{ ft}^3/\text{h}$
- Distancia:  $2.5\text{m} = 8.2 \text{ ft}$

Según el código de material tenemos:

C1/2-25P

*C 1/2 = Material granular de 6mm a 1/2 " de tamaño máximo*

*2 = Fluido libre*

*5 = Abrasividad media*

*P = Contaminable, afecta su uso*

Con las características del material, la capacidad de producto que se desea transportar y la distancia que va a recorrer, se procede a hacer la selección desde tablas de la siguiente manera:

Puesto que el arroz recién cosechado es una mezcla de partículas grandes y finas en donde no más del 25% son partículas con un tamaño máximo de la mitad del máximo y el 75% son partículas menores a la mitad del tamaño máximo que es de 1/2 ", el arroz pertenece a la clase 2 de la siguiente tabla:

Tabla 34 Tamaños máximos de partícula en función del diámetro de helicoidal

Tabla de Tamaños Máximos de Partículas					
Diámetro de Helicoidal (Pulgadas)	Tubo D. E. * (Pulgadas)	Separación Radial Δ (Pulgadas)	Clase 1 10% de Partículas Partícula Máxima (Pulgadas)	Clase 2 25% Partículas Partícula Máxima (Pulgadas)	Clase 3 95% Partículas Partícula Máxima (Pulgadas)
6	2 3/8	2 3/16	1 1/4	3/4	1/2
9	2 3/8	3 3/16	2 1/4	1 1/2	3/4
9	2 3/8	3 3/16	2 1/4	1 1/2	3/4
12	2 3/8	5 1/16	2 3/4	2	1
12	3 1/2	4 3/4	2 3/4	2	1
12	4	4 1/2	2 3/4	2	1
14	3 1/2	5 3/4	3 3/4	2 1/2	1 1/4
14	4	5 1/2	2 1/2	1 1/4	1 1/4
16	4	6 1/4	3 3/4	2 3/4	1 1/2
16	4 1/2	6 3/4	3 3/4	2 3/4	1 1/2
18	4	7 1/2	4 3/4	3	1 3/4
18	4 1/2	7 1/2	4 3/4	3	1 3/4
20	4	8 1/2	4 3/4	3 3/4	2
20	4 1/2	8 3/4	4 3/4	3 3/4	2
24	4 1/2	10 1/4	6	3 3/4	2 1/2
30	4 1/2	13 1/4	8	5	3

Fuente: (Direct Industry, 2013)

En donde tenemos que el diámetro de helicoidal para el arroz será de 6” y un tubo con un diámetro exterior de 2 3/8 ”.


### 3.8.3.1. Determinación de la capacidad de diseño:

Para la determinación de la capacidad de diseño partimos de aspectos tales como el porcentaje de carga de la sección transversal del tornillo transportador, los rpm máximos y permisibles recomendados, el diámetro del tornillo sin fin, el tipo de carcaza empleada, el paso del transportador, el peso específico del material a transportar.

#### A. Velocidad del transportador:

De las características del arroz tenemos que la capacidad apropiada de carga es del 45% de la sección transversal, y el diámetro recomendado del sinfín es de 6”, con esos datos pasamos a la tabla 35:

Tabla 35 Tabla de velocidades máximas

Carga de Artesa		Diámetro del Helicoidal (Pulgadas)	Capacidad Pies Cúbicos por Hora (Paso Completo)		Máx. RPM
			A 1 RPM	A Máx. RPM	
<b>45%</b>		4	0.62	114	184
		6	2.23	368	165
		9	8.20	1270	155
		10	11.40	1710	150
		12	19.40	2820	145
		14	31.20	4370	140
		16	46.70	6060	130
		18	67.60	8120	120
		20	93.70	10300	110
		24	164.00	16400	100
		30	323.00	29070	90

Fuente: (Direct Industry, 2013)

Obtengo los siguientes datos, a un RPM tengo una capacidad de  $2.23 \text{ ft}^3/\text{h}$  y a 165 RPM (RPM máximo recomendado) tengo una capacidad de  $368 \text{ ft}^3/\text{h}$ , tal medida excede la capacidad necesaria que es de  $247.203 \text{ ft}^3/\text{h}$ .

Por lo tanto, la revolución por minuto necesario para transportar dicha cantidad queda expresada en la siguiente ecuación:

$$N = \frac{\text{Capacidad Requerida, } \text{ft}^3/\text{h}}{\frac{\text{ft}^3}{\text{h}} \text{ a } 1\text{RPM}}$$

Ecuación 64. Revoluciones por minuto

$$N = \frac{247.203}{2.23}$$

$$N \cong 111 \text{ RPM}$$

Con el objetivo de facilitar la elección de componentes para los transportadores de tornillo sin fin, se optó por separarlos en 3 categorías.

Estas categorías relacionan el Código de Clasificación del Material con el tamaño del helicoidal, el tamaño del tubo, el tipo de rodamientos y el espesor de las paredes del canal.

Los datos mencionados anteriormente se facilitan en la *tabla 36*:

Tabla 36 Medidas de transportador helicoidal

Grupo de Componentes 1					
Diámetro del Helicoidal (Pulgadas)	Diámetro del Eje (Pulgadas)	Número de Helicoidal		Espesor, Calibre Americano Estándar (Pulgadas)	
		Helicoidales Continuos	Helicoidales Seccionales	Artesa	Cubierta
6	1½	6H304	6S307	Calibre 16	Calibre 16
9	1½	9H306	9S307	Calibre 14	Calibre 14
9	2	9H406	9S409	Calibre 14	Calibre 14
12	2	12H408	12S409	Calibre 12	Calibre 14
12	2⅞	12H508	12S509	Calibre 12	Calibre 14
14	2⅞	14H508	14S509	Calibre 12	Calibre 14
16	3	16H610	16S612	Calibre 12	Calibre 14
18	3	—	18S612	Calibre 10	Calibre 12
20	3	—	20S612	Calibre 10	Calibre 12
24	3⅞	—	24S712	Calibre 10	Calibre 12
30	3⅞	—	30S712	Calibre 10	Calibre 12

Fuente: (Direct Industry, 2013)

Con ello determino el diámetro del eje a utilizar y las diferentes nomenclaturas que me darán las características del helicoidal, así mismo obtengo el calibre del canal a utilizar.

### B. Selección del material de los bujes:

Para la selección del material de los bujes colgantes, partimos de la experiencia recopilada de las características del material a transportar, y dependiendo de ellas tenemos 4 categorías, B, L, S, H.

Para el caso se selecciona el del tipo S y para el tipo de buje se selecciona el más adecuado recordando que existen restricciones, como que tiene que estar en contacto con los alimentos y contar con una gran resistencia al impacto, por lo tanto, se selecciona el UHMW.

Tabla 37 Selección de bujes

Selección de Bujes para Colgantes				
Grupos de Componentes de Bujes	Tipos de Bujes	Material Recomendado para Ejes de Acoplamiento Δ	Temperatura de Operación Máxima Recomendada	F <sub>b</sub>
B	Bolas (Rodamientos)	Estándar	180°F	1.0
L	Bronce	Estándar	300°F	1.7
S	Bronce <i>Martin</i> *	Estándar	850°F	2.0
	Bronce Grafitado	Estándar	500°F	
	Bronce Impregnado de Aceite	Estándar	200°F	
	Madera Impregnado de Aceite	Estándar	160°F	
	Nylatron	Estándar	250°F	
	Nylon	Estándar	160°F	
H	Teflon	Estándar	250°F	4.4
	UHMW	Estándar	225°F	
	Uretano	Estándar	200°F	
H	Hierro Endurecido <i>Martin</i> *	Endurecido	500°F	4.4
	Hierro Endurecido	Endurecido	500°F	
	Sup. Endurecida	Endurecido o Especial	500°F	
	Stellite	Especial	500°F	
	Cerámica	Especial	1000°F	

Fuente: (Direct Industry, 2013)

### 3.8.3.2. Cálculo de la potencia requerida:

La potencia requerida para operar el tronillo transportador es la siguiente:

$$HP_{TOTAL} = \frac{(HP_F + HP_m) * F_0}{e}$$

*Ecuación 65. HP total*

Donde:

$HP_F$  = Potencia para mover el transportador en vacío

$HP_m$  = Potencia para mover el material

$F_0$  = Factor de sobrecarga = 3

$e$  = Eficiencia de la transmisión = 0.87

#### A. Potencia para mover el transportador en vacío:

$$HP_F = \frac{L * N * F_d * F_b}{1\ 000\ 000}$$

*Ecuación 66. Potencia en vacío*

Donde:

$L$  = Longitud total del transportador = 8.2 ft

$N$  = Revoluciones por minuto = 111 RPM

$F_d$  = Factor de diametro del transportador = 18.0

$F_b$  = Factor del buje para el colgante = 2.0

#### B. Potencia para mover la materia:

$$HP_m = \frac{C * L * W * F_F * F_m * F_P}{1\ 000\ 000}$$

*Ecuación 67. Potencia para mover la materia*

Donde:

$C$  = Capacidad = 247.203 ft<sup>3</sup>/h

$W$  = Densidad del material = 44.95 lbs/ft<sup>3</sup>

$F_F$  = Factor de helicoidal = 1

$F_m$  = Factor de material = 0.4

$F_P$  = Factor de paletas = 1.0

Con estos datos tenemos:

$$HP_F = 0.033$$

$$HP_m = 0.0364$$

$$HP_{TOTAL} = 0.24$$

### 3.8.3.3. Capacidad torsional de los componentes de transportadores helicoidales:

El diseño de los tornillos sinfín está limitado al torque que puede soportar el componente más débil, desde los tubos, ejes, hasta los pernos de acoplamiento.

Por lo tanto, para la selección del dimensionamiento de cada componente contamos con la *tabla 38*:

*Tabla 38 Capacidad torsional de componentes*

Acoplamiento	Tubo		Ejes		Diámetro del Perno (Pulgadas)	Pernos			
	Ced. 40		Torque (lb-Pulgadas)*			Pernos al Corte (lb-Pulgadas)▼	Resistencia de los Barrenos (lb-Pulgadas)		
	Tamaño (Pulgadas)	Torque (lb-Pulgadas)	Estándar CEMA (C-1018)	Estándar ANSI (C-1045)			No. de Pernos		No. de Pernos
						2	3	2	3
1	1½	3,140	<u>820</u>	999	%	1,380	2,070	1,970	2,955
1½	2	7,500	<u>3,070</u>	3,727	½	3,660	5,490	5,000	7,500
2	2½	14,250	<u>7,600</u>	9,233	%	7,600	11,400	7,860	11,790
2½	3	23,100	15,090	18,247	%	<u>9,270</u>	13,900	11,640	17,460
3	3½	32,100	28,370	34,427	¾	16,400	24,600	<u>15,540</u>	23,310
3	4	43,000	28,370	34,427	¾	<u>16,400</u>	24,600	25,000	37,500
3½	4	43,300	42,550	51,568	¾	25,600	38,400	<u>21,800</u>	32,700

Fuente: (Direct Industry, 2013)

Donde podemos observar que en ejes de 1 hasta 2 pulgadas de diámetro el factor limitante es el eje propiamente dicho y en ejes de mayor diámetro el factor limitante se encuentra en los pernos.

Entonces dado que en datos anteriores obtuvimos un eje no mayor a 2 pulgadas tenemos:

#### A. Cálculo del torque en el eje:

$$T = \frac{63\,025 * HP}{RPM}$$

*Ecuación 68. Torque*

$$T = \frac{63\,025 * 1}{111}$$



$$T = 567.8 \text{ lbs} - \text{Pulg}$$

Por lo tanto, seleccionando un eje con un diámetro de 1 pulgada aseguramos el correcto funcionamiento del tornillo transportador.

Corroborando la anterior tenemos lo siguiente:

### B. Cálculo para obtener en HP de 1 RPM

$$\frac{1HP}{111RPM} = 0.009$$

*Ecuación 69. HP de una revolución*

*Tabla 39 Potencia por rpm*

Acoplamiento	Tubo		Ejes		Pernos					
	Diámetro del Eje (Pulgadas)	Tamaño (Pulgadas)	HP por RPM	HP por RPM		Diámetro de Perno (Pulgadas)	Pernos al Corte HP por RPM ▼		Resistencia de los Barrenos HP por RPM	
				Estándar CEMA (C-1018)	Estándar <i>Martin</i> (C-1045)		No. de Pernos		No. de Pernos	
							2	3	2	3
1	1¼	.049	.013	.016	¾	.021	.032	.031	.046	
1½	2	.119	.048	.058	¾	.058	.087	.079	.119	
2	2½	.226	.120	.146	¾	.120	.180	.124	.187	
2½	3	.366	.239	.289	¾	.147	.220	.184	.277	
3	3½	.509	.450	.546	¾	.260	.390	.246	.369	
3	4	.682	.450	.546	¾	.260	.390	.396	.595	
3½	4	.682	.675	.818	¾	.406	.609	.345	.518	
3	3½	.509	.450	.546	¾	.260	.390	.246	.369	

*Fuente: (Direct Industry, 2013)*

Los HP por cada RPM con el eje de un diámetro de 1 pulgada son superiores al cálculo obtenido con anterioridad, por lo tanto, el eje cumple con los requerimientos, de esta manera también redefinimos el diámetro del tubo en pulgadas que como podemos apreciar el diámetro de 1 1/4 " es más que suficiente para nuestros requerimientos.

#### 3.8.3.4. Verificación de diseño mediante elementos finitos:

Procederé a corroborar que la selección de materiales y espesores del tornillo transportador cumpla con el dimensionamiento necesarios para su seguro y óptimo desempeño en el transporte de granos de arroz.

Partiendo de las condiciones de diseño establecidas con ayuda del catálogo “Martin”, se obtuvo la siguiente geometría (*Figura 57*):

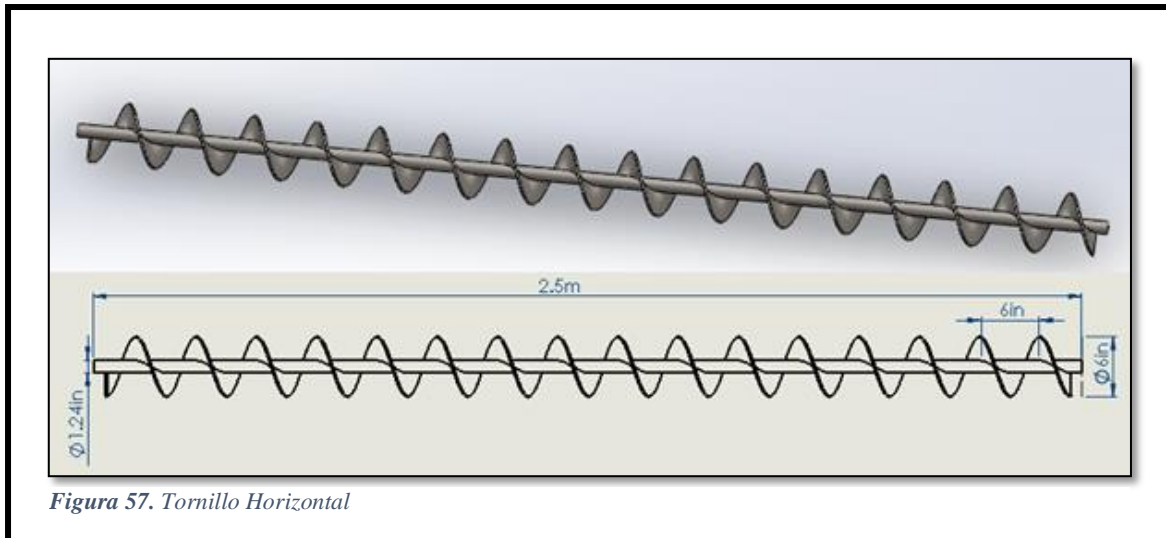


Figura 57. Tornillo Horizontal

El tornillo transportador horizontal está conformado por un tubo de 1.25 pulgadas de diámetro exterior con un espesor de 3 mm en el cual se encuentra soldado una helicoidal seccional con un diámetro exterior de 6 pulgadas y un espesor 3/16 de pulgada.

#### A. Selección del material:

El material a utilizar para el tornillo transportador será Acero AISI 1045 (figura 58), por su resistencia a la abrasividad y su bajo costo en el mercado.

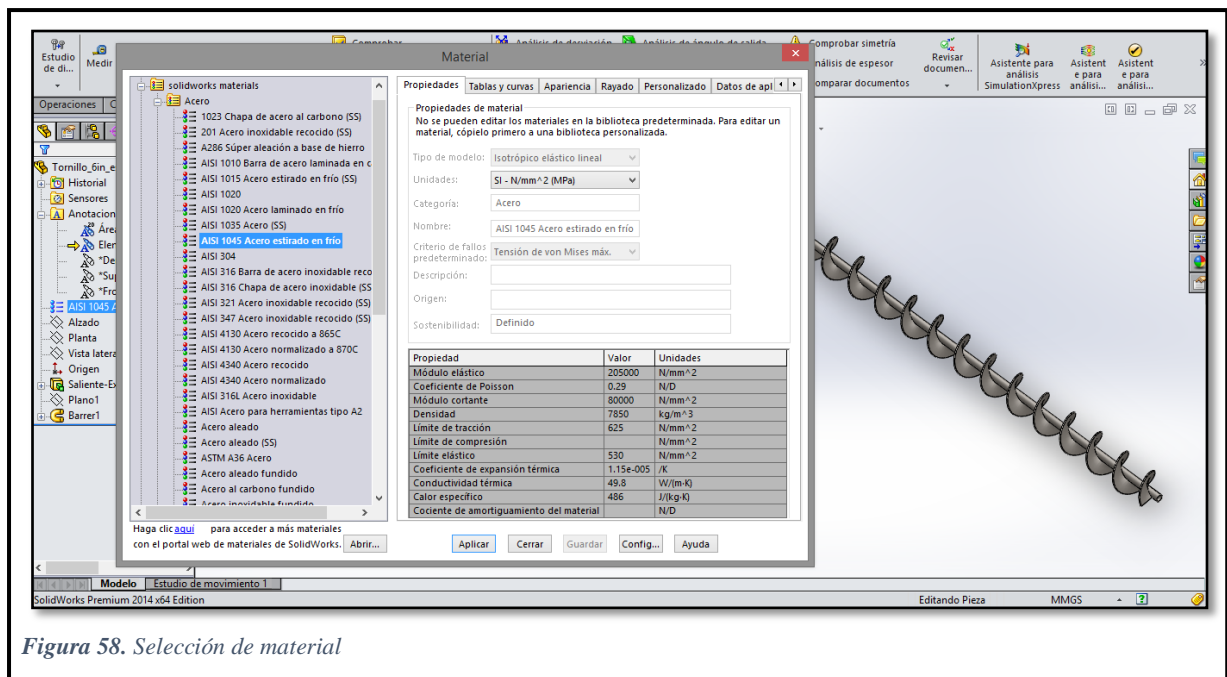


Figura 58. Selección de material

Puesto que el tornillo sinfín es el elemento más crítico de todo el sistema de transporte, procederé a analizarlo como una viga apoyada a los extremos (Ver figura 59):

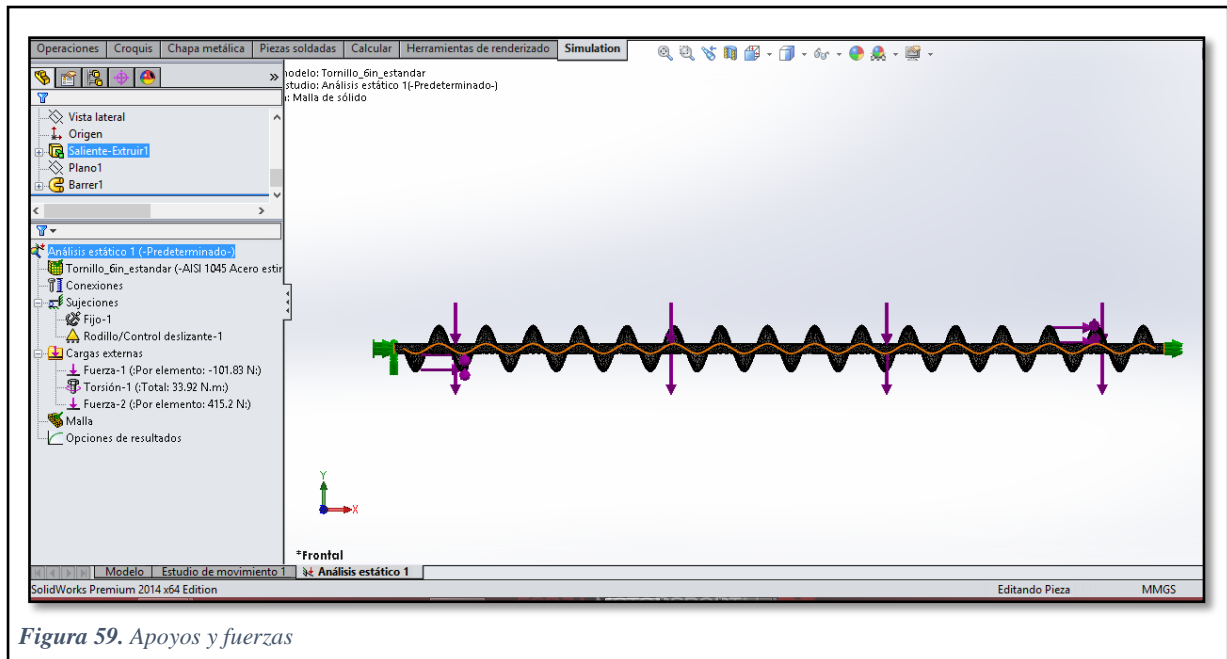


Figura 59. Apoyos y fuerzas

Las fuerzas aplicadas se muestran en el siguiente diagrama de cuerpo libre de la figura 60:

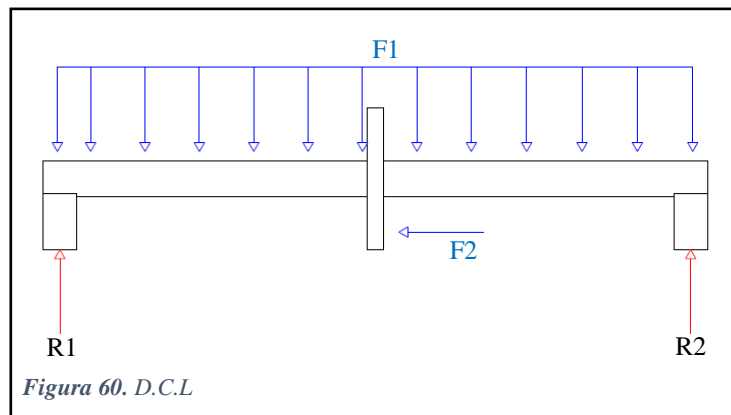


Figura 60. D.C.L

Donde:

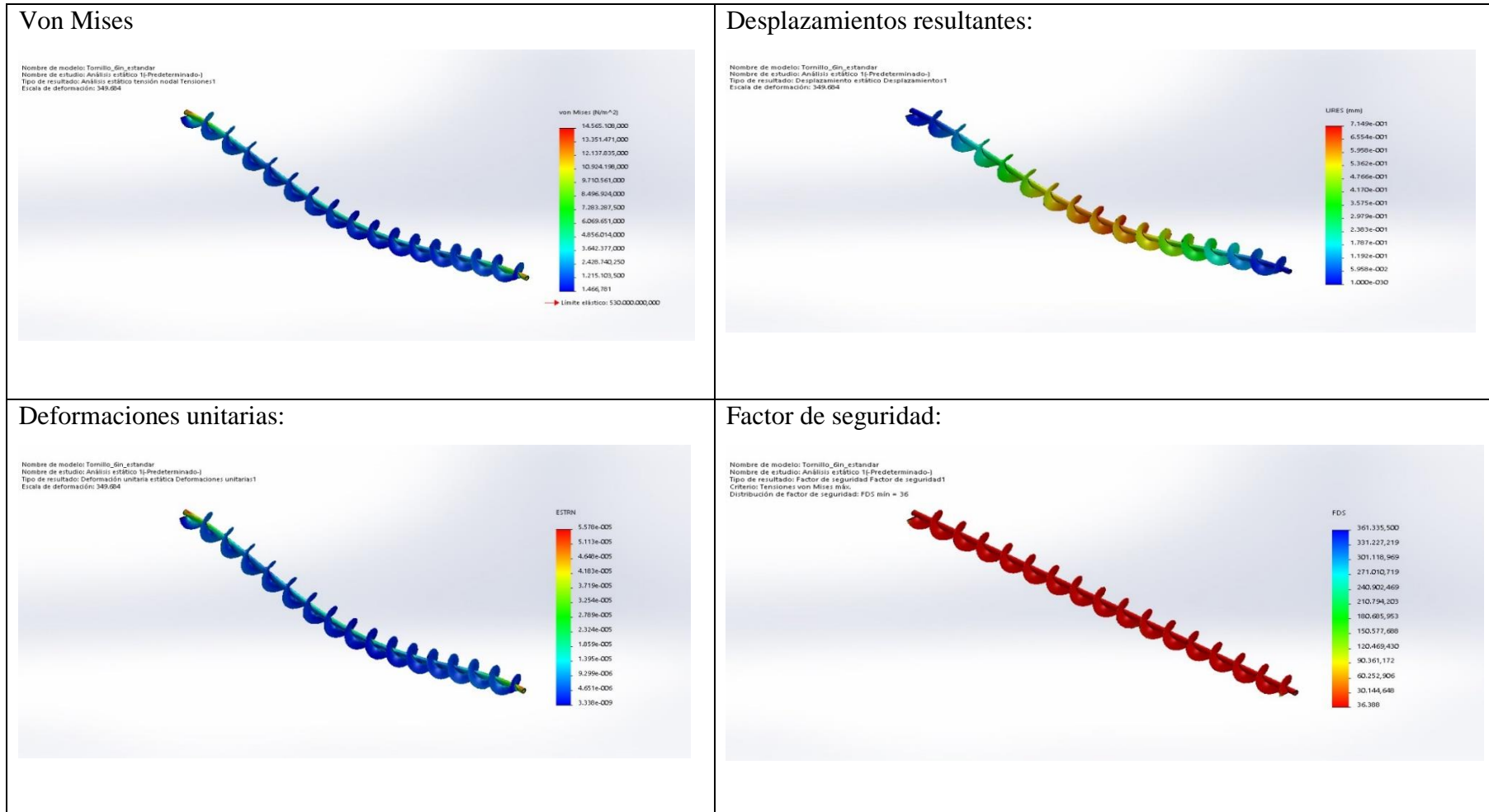
$$F1 = 101.83 \text{ N}$$

$$F2 = 415.2 \text{ N}$$

$R1 \text{ \& } R2 = \text{Resultantes}$

## B. Resultados 1:

Tabla 40 Resultado de análisis 1



Como se puede observar en lo arrojado por el análisis mediante elementos finitos (*tabla 40*), el tornillo transportador está sobre dimensionado y es capaz de soportar más fuerzas de lo necesario para esta aplicación en específico, con lo cual procederé a cambiar el espesor de la helicoidal y realizar el análisis nuevamente, esto con el fin de reducir material y en consecuencia costos de fabricación.

En esta ocasión el espesor de la helicoidal se elige en función al espesor de plancha más comercial en la región Lambayeque el cual será de 1/16 " (*Ver figura 61*) que son 1.55 mm de espesor aproximadamente.

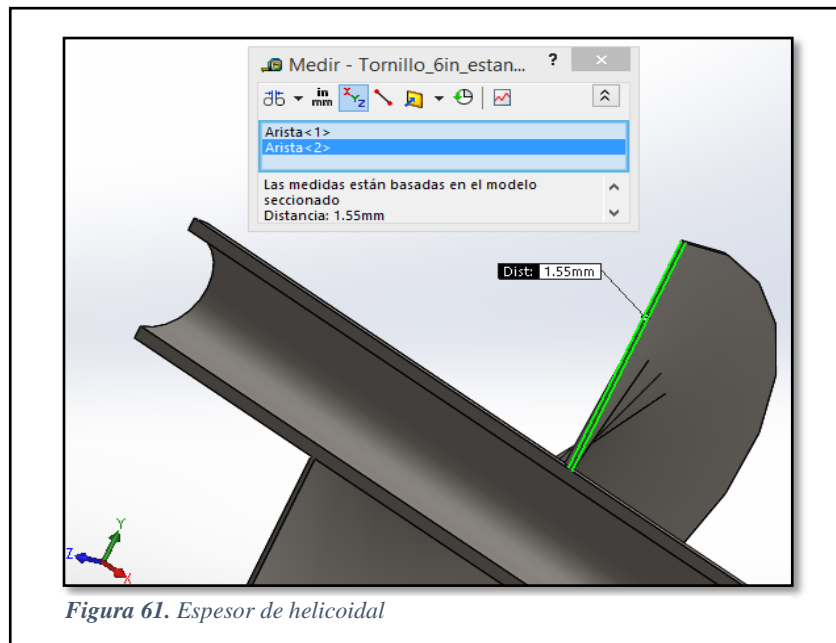


Figura 61. Espesor de helicoidal

Como resultado de esta variación vemos que el desplazamiento máximo que ocurre en el tornillo transportador es de 0.88mm (*ver figura 62*), lo cual está en un rango de aceptable.

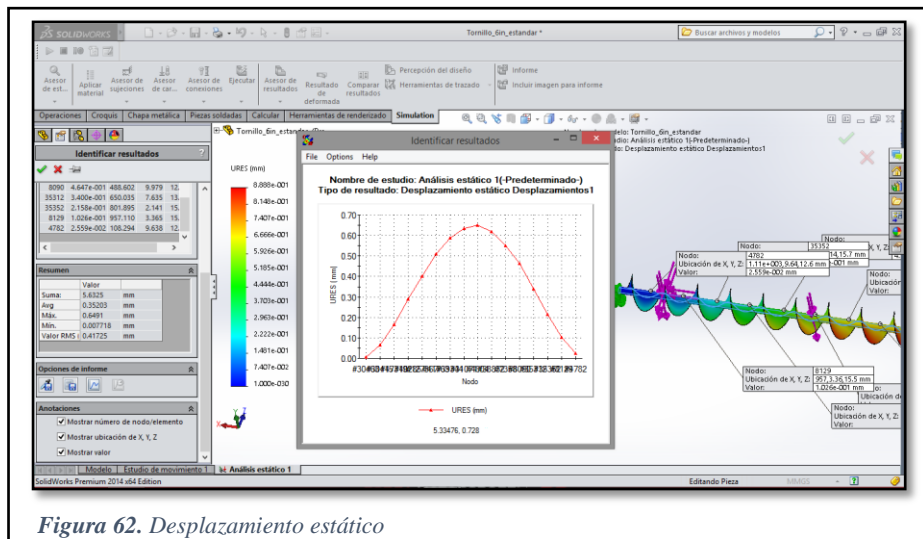
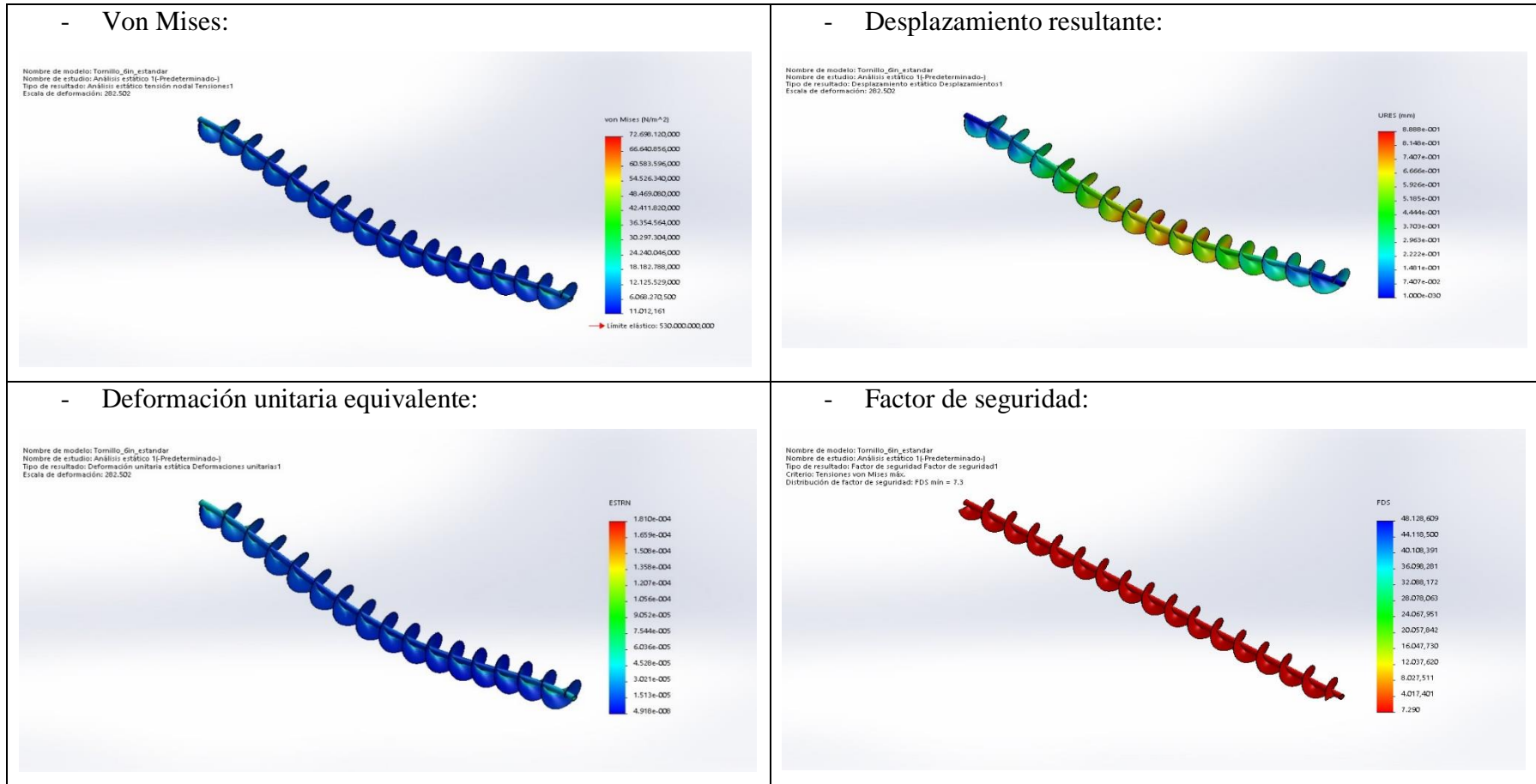


Figura 62. Desplazamiento estático

### C. Resultados 2:

**Tabla 41** Resultado de análisis 2

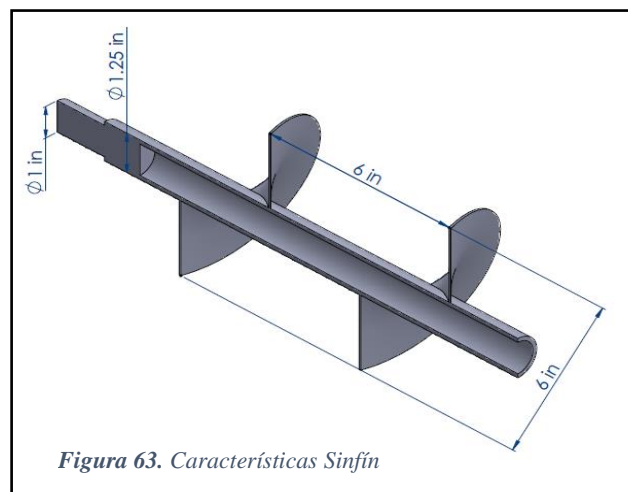


El factor de seguridad se redujo hasta llegar a un valor 7 que todavía es muy alto, pero se justifica dicho factor dado que en la práctica es muy probable encontrarse en presencia de granos de arroz contaminados con piedras pequeñas, cuarzos y palos que podrían ingresar al tornillo, y este continuaría su funcionamiento sin inconveniente alguno.

En función a que el tornillo transportador no gira a excesivas revoluciones este presentará un daño por fatiga muy leve durante su tiempo estimado de trabajo, con lo cual en este proyecto no se planteará dicho análisis.

#### 3.8.4. Diseño del tornillo Transportador Vertical:

Partiendo de los parámetros seleccionados para el tornillo transportador horizontal y para evitar atascamientos producto de cuellos de botella, las capacidades de avance de material en los helicoidales serán iguales, con lo cual tenemos:



*Diametro de eje = 1"*

*Diametro de tubo = 1 1/4 "*

*Diametro de helicoidal = 6"*

*Paso = Estandar (6")*

Los datos mostrados resumen la geometría que utilizará el tornillo horizontal, pero con el objetivo de mejorar la eficiencia del tornillo vertical y usando datos técnicos experimentales para este tipo de arreglo tenemos que el paso a usar para el helicoidal vertical será de 5" de diámetro (Paso corto) según (Direct Industry, 2013). El resto de parámetros geométricos se mantendrá a lo largo de los cálculos.

### A. Cálculo de RPM:

$$C = \frac{60 * \pi}{4} * (D^2 - d^2) * S * n * f * \rho * \beta$$

*Ecuación 70. Capacidad de transporte*

Donde:

$C$  = Capacidad de transporte en kg/h

$D$  = Diametro exterior del tornillo en m

$d$  = Diametro del tubo en m

$S$  = Paso del tornillo en m

$n$  = Velocidad de giro en RPM

$f$  = Factor de material (capacidad de llenado del canal)

$\rho$  = Densidad del material en kg/m<sup>3</sup>

$\beta$  = Coeficiente en funcion al angulo de inclinación

Para continuar con el cálculo designaremos un factor de material en función al porcentaje de llenado del transportador horizontal (0.45), pero dado que el arroz se encuentra es un material a granel de flujo libre asumiremos que el grano tiende a retroceder por lo tanto la sección transversal que ocupara el arroz se promedia en 0.7 y como se mencionó antes al reducir el paso del helicoidal asumiremos un coeficiente  $\beta = 0.5$  con lo cual tenemos lo siguiente:

$$5040 = \frac{60 * \pi}{4} * (0.1524^2 - 0.03175^2) * 0.127 * n * 0.45 * 720 * 0.5$$

$$n = 150.41 \text{ rpm}$$

Tener en cuenta que los rpm no superan el máximo recomendado en la *tabla 31*

### B. Cálculo de Potencia requerida:

$$HP_{TOTAL} = \frac{(HP_F + HP_m) * F_0}{e}$$

*Ecuación 71. HP total sinfín vertical*



Donde:

$$HP_F = \frac{L * N * F_d * F_b}{1\ 000\ 000}$$

*Ecuación 72. Potencia vacío SV*

$$L = 3m = 9.84\ ft$$

$$N = 150.41\ RPM$$

$$F_d = 15.0$$

$$F_b = 2.0$$

$$HP_m = \frac{C * L * W * F_F * F_m * F_P}{1\ 000\ 000}$$

*Ecuación 73. Potencia para mover materia SV*

$$C = 247.203\ ft^3/h$$

$$W = 44.95\ lbs/ft^3$$

$$F_F = 1$$

$$F_m = 1$$

$$F_P = 1$$

El Factor de material en tablas se muestra como 0.4 para transportadores horizontales, sin embargo, para tomar las condiciones más críticas utilizaremos 1 asumiendo un factor de seguridad.

Por lo tanto, tenemos:

$$HP_F = 0.0444$$

$$HP_m = 0.11$$

$$HP_{TOTAL} = 0.532$$

#### 3.8.4.1. Verificación de diseño mediante elemento finito:

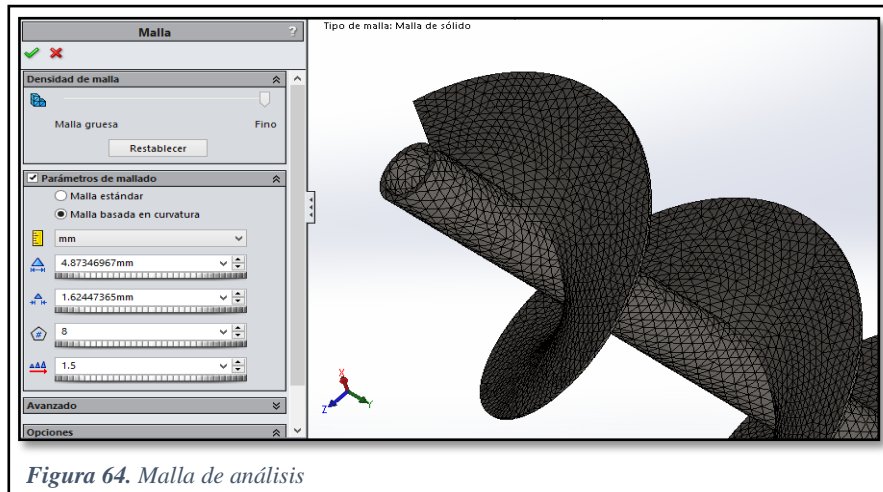
Se procedió a realizar un análisis por elementos finitos del tornillo transportador vertical, utilizando el método para falla de la energía de distorsión (Von Mises), de acuerdo a la ecuación:

$$\sigma_x^2 - \sigma_x \sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2 = \frac{S_y}{N}$$

*Ecuación 74. Von Mises*

### A. Mallado:

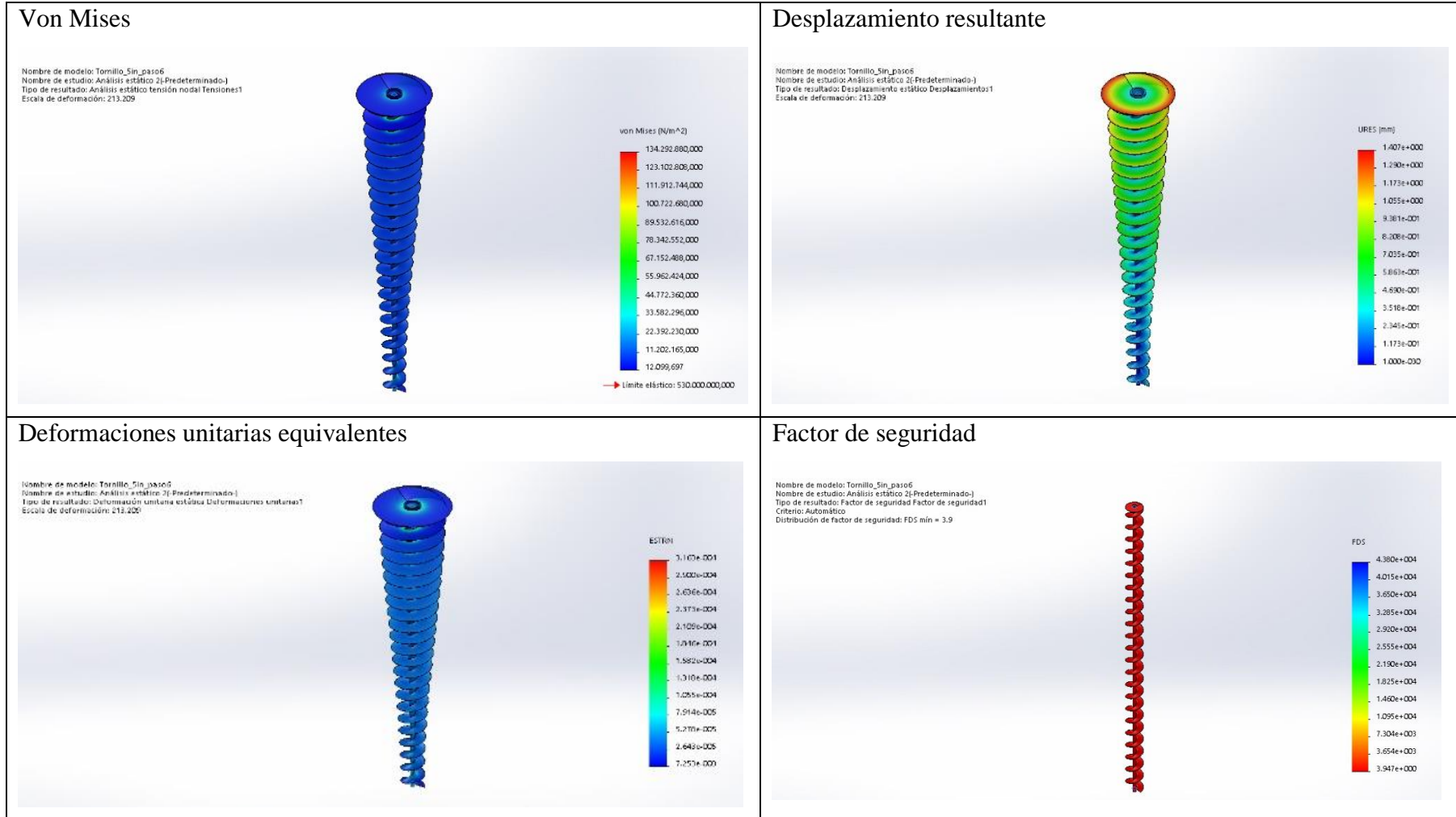
La malla generada para analizar el tornillo sin fin vertical es una malla solida de elementos cuadráticos de alto orden, la malla se generó en una geometría basada en curvatura con las respectivas medidas que parecen en la *figura 64*, siendo el tamaño máximo de elemento de 4.9mm y el tamaño mínimo de 1.6mm.



*Figura 64. Malla de análisis*

## B. Resultados análisis estático:

Tabla 42 Resultado de análisis FEA.



El análisis estático nos proporcionó datos bastante satisfactorios puesto que contamos con un factor de seguridad considerable de aproximadamente 4 (ver tabla 42) y un desplazamiento máximo de 1 mm que se encuentra en el margen de lo aceptable para esta aplicación, suponiendo el caso más crítico de funcionamiento.

### C. Análisis de pandeo:

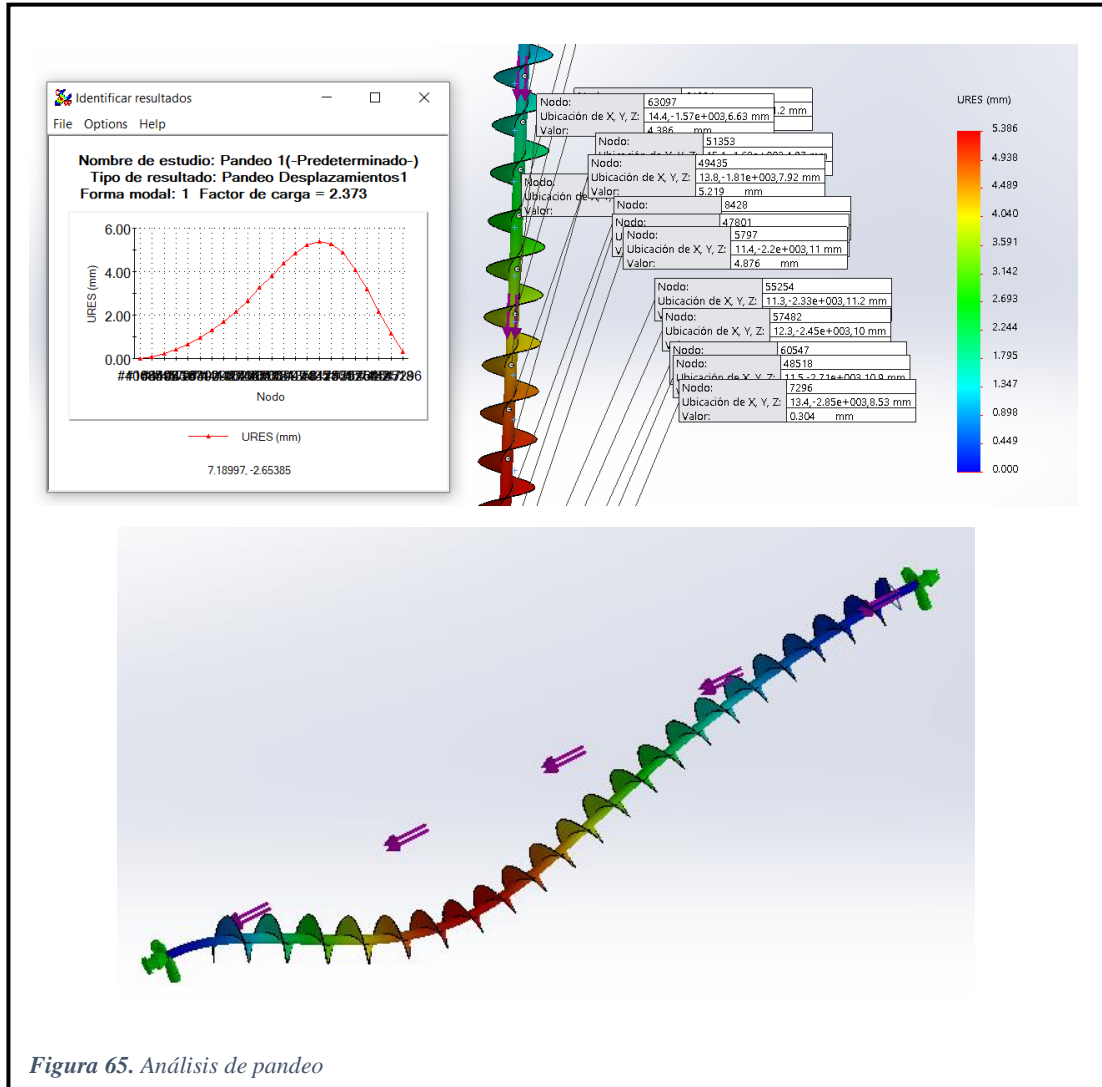
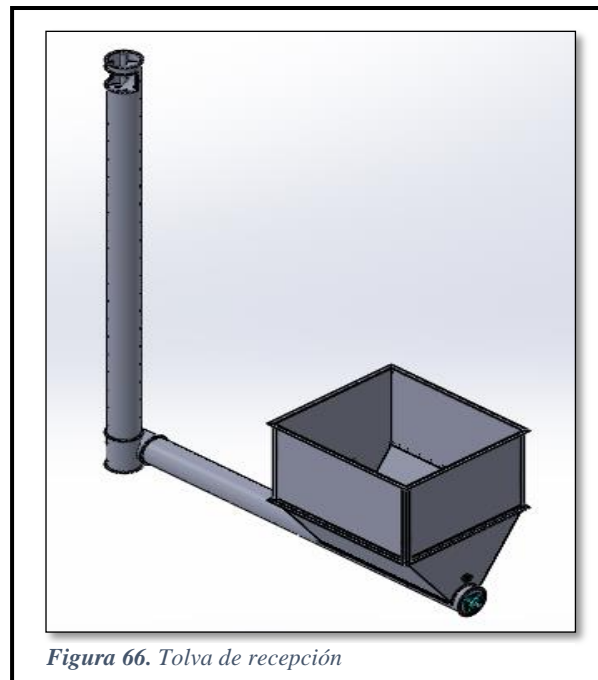


Figura 65. Análisis de pandeo

El análisis de pandeo aplicando un factor de carga de 2.4 dio como resultado un desplazamiento máximo de 5.4 mm el cual está dentro de lo esperado y no presenta ningún inconveniente de diseño.

### 3.8.5. Sistema de Recepción de Grano.

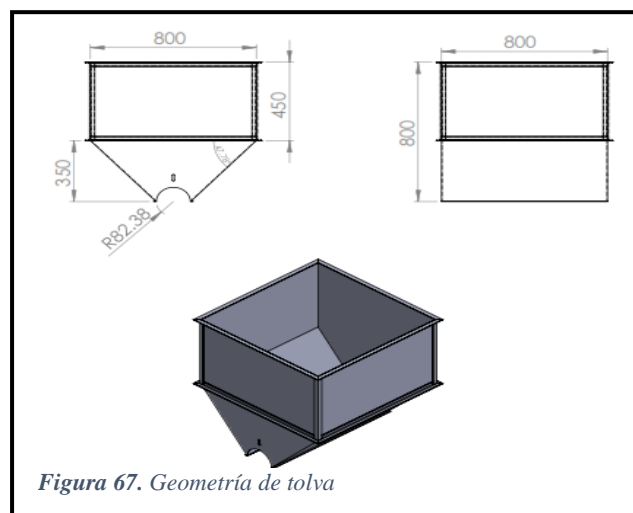
El sistema de recepción de grano estará a cargo de una tolva que se encontrará en la primera porción del tornillo transportador horizontal como se ve en la *figura 66*.



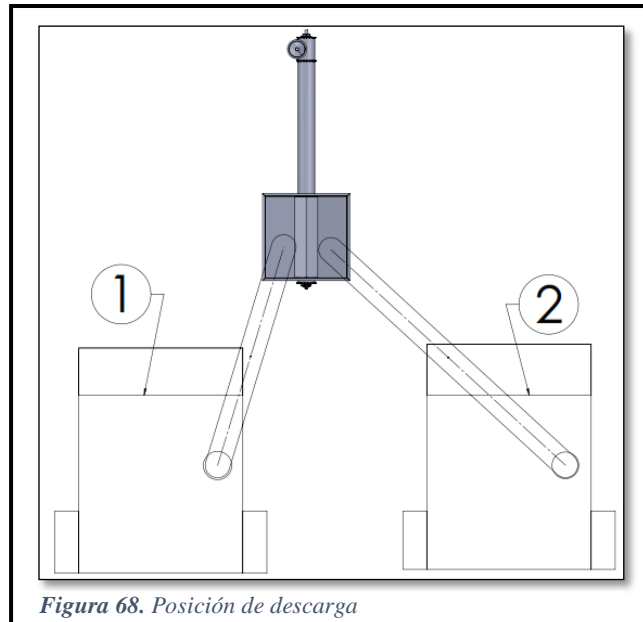
Su función reside en recibir el flujo másico de arroz cáscara proveniente de las cosechadoras, y puesto que el tornillo transportador está diseñado en función a la descarga de estas máquinas, la tolva será de flujo continuo.

#### 3.8.5.1. Dimensionamiento de tolva:

La tolva de recepción de grano tendrá la siguiente geometría (*ver figura 67*):



Geometría que le permitirá adherirse mediante pernos a la primera porción de tonillo transportador y tendrá espacio suficiente para la descarga continua de 2 cosechadoras simultáneamente (*Ver figura 68*) como se especificó en el apartado anterior, donde se hace mención que en la región Lambayeque el trabajo lo realizan 1 o máximo 2 cosechadoras por jornal.



### 3.8.5.2. Cálculo de presiones:

#### A. Paredes Verticales:

Según el Eurocódigo 1, apartado 4, en silos y tolvas deben considerarse presiones de llenado y vaciado:

##### - Presiones de llenado:

De acuerdo con el Eurocódigo 1, para calcular presiones en paredes verticales, se utilizará el método simplificado, en el caso del llenado se calculará las presiones horizontales que soporta la pared y no se toma en cuenta presiones localizadas, por el contrario, la norma estipula que se debe multiplicar por un factor que incrementará la presión horizontal, brindando un factor de seguridad para el correcto diseño.

La ecuación empleada para dicho cálculo es la siguiente:

$$P_h(z) = \frac{\rho * S}{\mu * U} * C_z(z)$$

*Ecuación 75*

Con parámetros:

$$C_z(z) = 1 - e^{(-z/z_0)}$$

*Ecuación 76*

$$z_0 = \frac{S}{K_s * \mu * U}$$

*Ecuación 77*

Donde:

$P_h(z)$  = Presion horizontal en funcion de la profundidad

$z$  = Profundidad

$\rho$  = Densidad del arroz

$S$  = Seccion de la tolva

$\mu$  = Coeficiente de rozamiento del material con la pared

$U$  = Perimetro del silo

$K_s$  = Relacion entre presiones Verticales y Horizontales

El coeficiente de rozamiento  $\mu$ , y la relación de presiones  $K_s$  se obtiene de tablas proporcionadas por el Eurocódigo1, puesto que no hay datos referentes a los granos de arroz cáscara se tomara como base los datos del trigo por su semejanza en este caso.

$$\mu = 0.30$$

$$K_s = 0.55$$

Con lo cual tenemos:

$$z_0 = \frac{0.64}{0.55 * 0.30 * 3.2} = 1.21m$$

Como resultado de reemplazar la ecuación 79 en la ecuación 78 se obtienen las siguientes presiones en función de la profundidad:

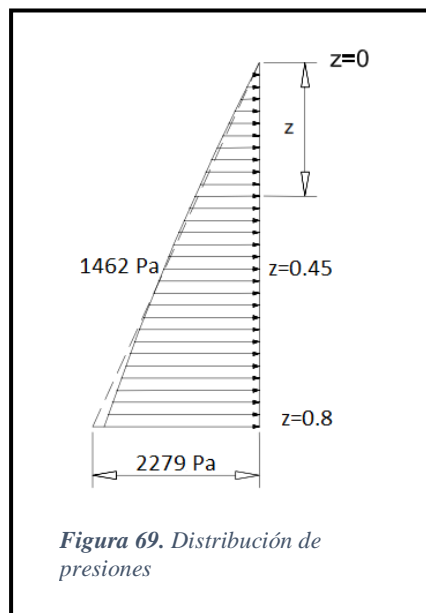
$$P_h(z) = \frac{\rho * S}{\mu * U} * (1 - e^{(-z/z_0)})$$

Ecuación 78

**Tabla 43** Tabla de presiones en caras verticales

Z	$P_h(z)$ en $[kg/m^2]$	$P_h(z)$ en $[Pa]$
0.00	0	0
0.05	19.43	191
0.15	55.96	549
0.25	89.60	879
0.35	120.57	1183
<b>0.45</b>	<b>149.08</b>	<b>1462</b>
0.55	175.33	1720
0.65	199.50	1957
0.75	221.74	2175
<b>0.80</b>	<b>232.20</b>	<b>2279</b>

Por lo tanto, la distribución de presiones obtenida puede representarse de la siguiente manera, tal y como se muestra en la *figura 69*.





Ahora procederé a aumentar la presión vertical tal cual como se especifica en la normativa del Eurocódigo 1, para ello tomaremos una excentricidad máxima de llenado de 0.2 m y así dicho factor queda expresado de la siguiente manera:

$$\beta = 1 + \frac{4 * Exc.}{d_c}$$

*Ecuación 79*

Donde:

*Exc = excentricidad de llenado*

*d<sub>c</sub> = Diamtro circunscrito de la boca de la tolva*

$$\beta = 1 + \frac{4 * 0.2}{0.8} = 2$$

Con lo cual tenemos la presión horizontal intentando de la siguiente manera:

$$P_h(z)_{0.8} = 2279 * (1 + 0.2 * 2) = 3190.6 Pa$$

*Ecuación 80*

$$P_h(z)_{0.45} = 1462 * (1 + 0.2 * 2) = 2046.8 Pa$$

*Ecuación 81*

#### - **Presiones de vaciado:**

Tal y como se expuso anteriormente el diseño de tolvas según el Eurocódigo 1, es necesario diseñar en función a las presiones de llenado y vaciado de la tolva, pero al ser una tolva pequeña, se considera como un silo corto  $Altura/d_c \leq 1$  con lo cual los coeficientes de mayoración de las cargas  $C_h$  y  $C_w$  serán iguales a 1 y de esta manera las presiones de vaciado y llenado quedan igualadas con lo cual se desprecia su cálculo.

#### **B. Paredes Inclinadas:**

Para el caso práctico de las caras inferiores de la tolva contamos con dos caras inclinadas a 47.8°, en donde procederé a calcular las presiones verticales con la siguiente ecuación:

$$P_{v0} = C_b * P_v$$

*Ecuación 82*

Donde:

$P_{v0}$  = Presiones verticales actuantes sobre el fondo plano

$C_b$  = Coeficiente de mayoración en el fondo, desigualdad de cargas, 1.2

$$P_v = \frac{\rho * S}{K_s * \mu * U} * C_z = 422.18 \text{ kg/m}^2$$

Ecuación 83

Por lo tanto:

$$P_{v0} = 506.62 \text{ kg/m}^2 = 4970 \text{ Pa}$$

Ahora con  $C_b$ ,  $P_{v0}$  y  $\alpha$  obtendremos los siguientes valores de presiones:

$$P_{n1} = P_{v0}(C_b * \cos^2\alpha + \text{sen}^2\alpha) = 5418.5 \text{ Pa}$$

Ecuación 84

$$P_{n2} = C_b * P_{v0} * \cos^2\alpha = 2691 \text{ Pa}$$

Ecuación 85

$$P_{n3} = 3.0 * \frac{S}{U} * \frac{\rho * K_s}{\sqrt{\mu}} * \text{sen}^2\alpha = 2335.4 \text{ Pa}$$

Ecuación 86

Los cuales corresponden a lo siguiente, ver figura 70:

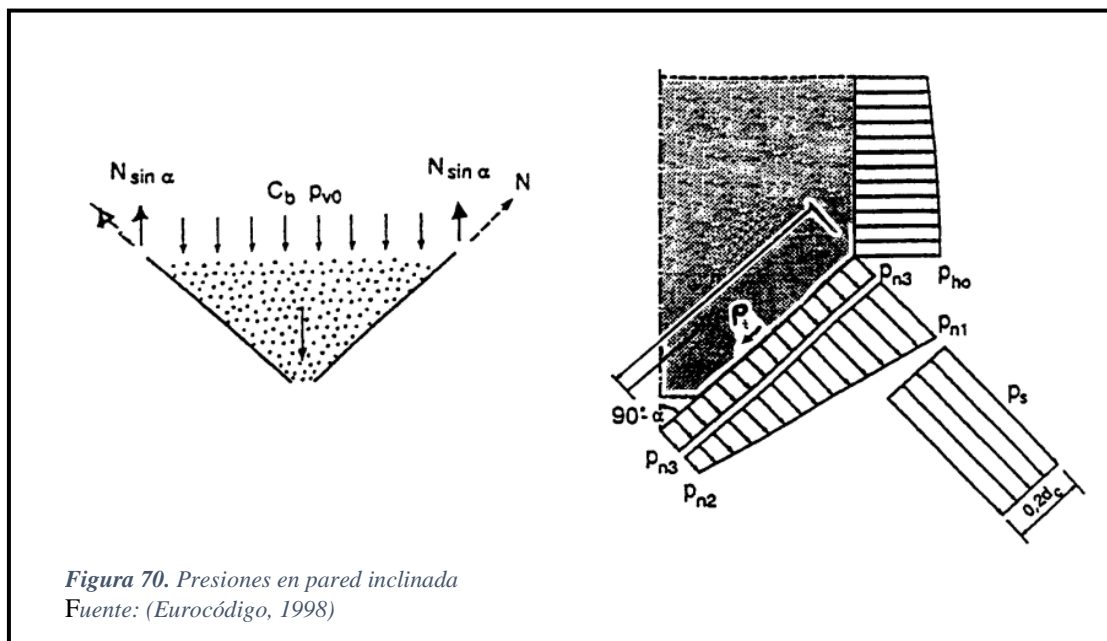
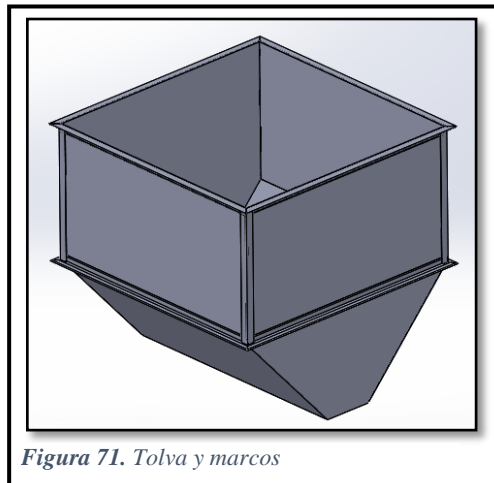


Figura 70. Presiones en pared inclinada  
Fuente: (Eurocódigo, 1998)

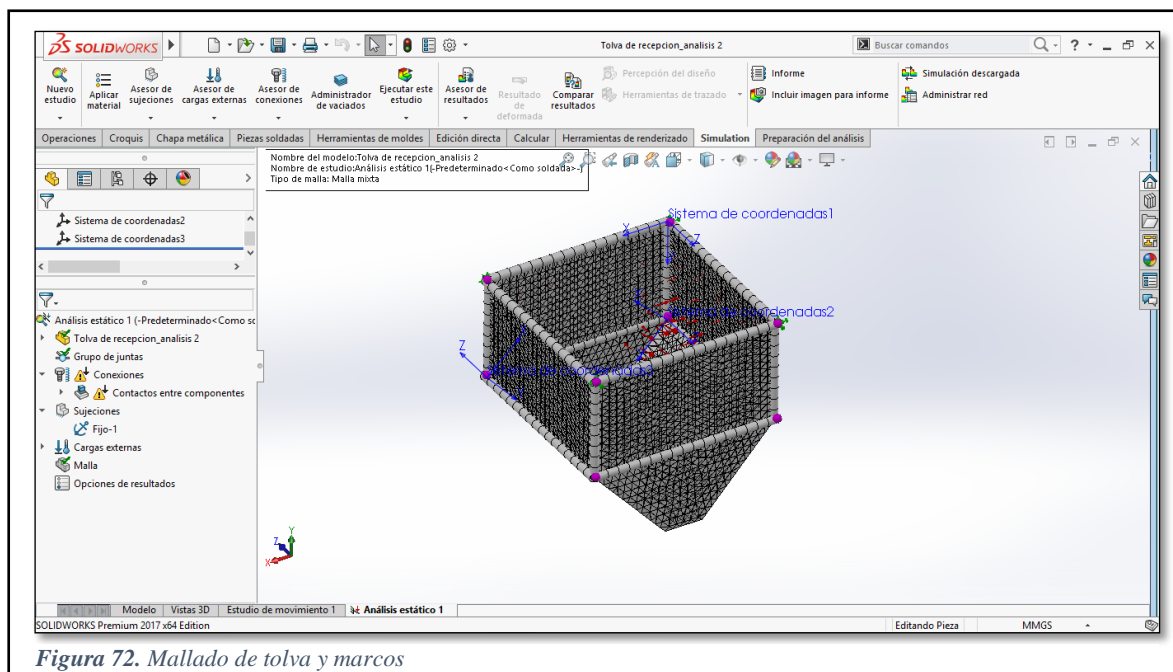
### 3.8.5.3. Verificación de diseño mediante elementos finitos:

Con las diferentes presiones que soportará la tolva y la ubicación de estas, se procedió a realizar la comprobación de diseño mediante el software Solidworks, utilizando como material Acero galvanizado y perfil estructural para los montantes y el marco de la tolva, tal y como se muestra en la *figura 71*.



*Figura 71. Tolva y marcos*

Se procedió con la selección del material, la ubicación de las presiones y su respectivo mallado sólido de alto orden, donde el tamaño máximo de elemento es de 32.6mm y el mínimo de 1.6mm, de la siguiente manera:

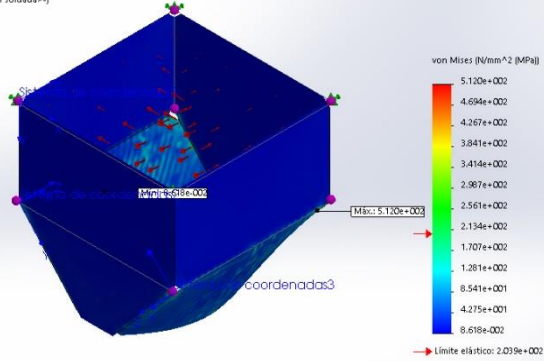


*Figura 72. Mallado de tolva y marcos*

Tabla 44 Resultados simulación estática

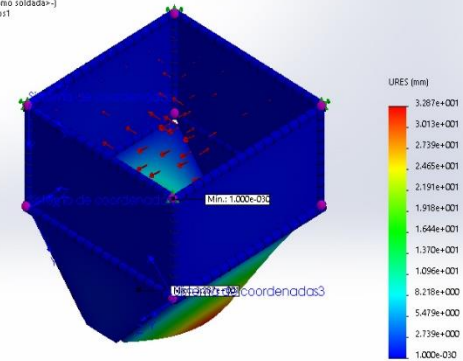
Tensión de Von Mises

Nombre del modelo: Tolva de recepción\_analisis 2  
 Nombre de estudio: Analisis estático 1(-Predeterminado<Como soldada>-)  
 Tipo de resultado: Analisis estático tensión nodal Tensiones1  
 Escala de deformación: 3.44401



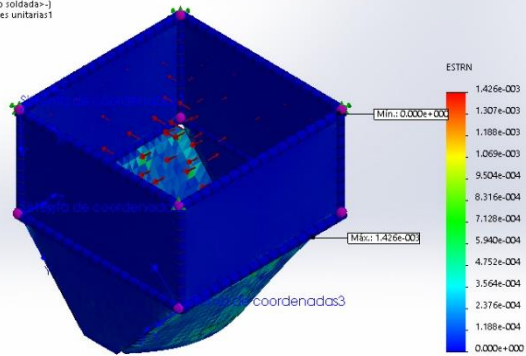
Desplazamientos resultantes

Nombre del modelo: Tolva de recepción\_analisis 2  
 Nombre de estudio: Analisis estático 1(-Predeterminado<Como soldada>-)  
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1  
 Escala de deformación: 3.44401



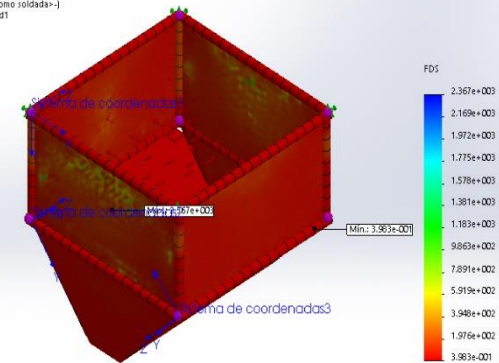
Deformación Unitaria Equivalente

Nombre del modelo: Tolva de recepción\_analisis 2  
 Nombre de estudio: Analisis estático 1(-Predeterminado<Como soldada>-)  
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1  
 Escala de deformación: 3.44401



Factor de seguridad

Nombre del modelo: Tolva de recepción\_analisis 2  
 Nombre de estudio: Analisis estático 1(-Predeterminado<Como soldada>-)  
 Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1  
 Criterio: Tensiones von Mises más.  
 Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 0.4



Los datos obtenidos en el análisis anterior son satisfactorios y se obtiene que la mayor deformación se presenta en la parte inferior de la tolva *ver figura 73*, pero dichas tensiones son las más críticas consideradas y puesto que la tolva solo será de flujo y el resto de tensiones se desviarán con el avance del tornillo transportador, queda determinada la geometría y material a utilizar para la fabricación de la tolva de recepción de granos.

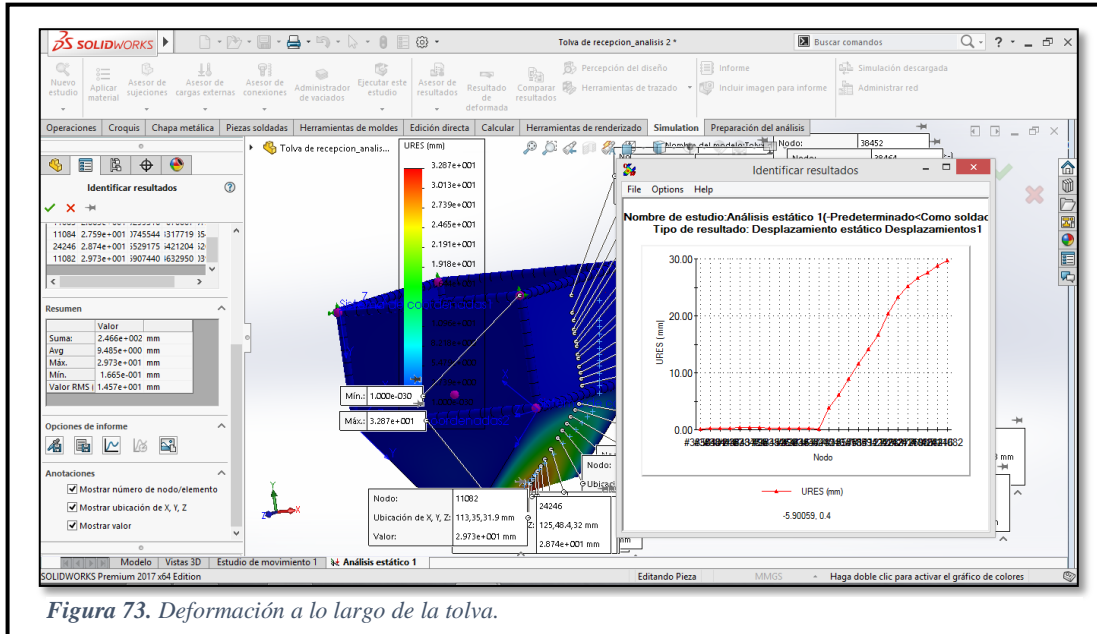


Figura 73. Deformación a lo largo de la tolva.

### 3.8.6. Sistema de Chasis – Remolque

Una vez definidos los componentes principales del sistema de secado y el material a utilizar en cada uno, se procedió a utilizar el software Solidworks para determinar el peso de cada componente tal y como se puede observar en la *tabla 45*:

Tabla 45 Masa de componentes sobre el chasis:

Componentes:	Masa en kg:
Horno	330
Silo con soportes	360
Tornillo transportador con tolva	250
Sub-chasis de silo	160
Accesorios varios (mecanismos, ductos, ventilador)	300
Materia a secar (Arroz con cáscara)	5040
<b>TOTAL</b>	<b>6440</b>

La masa obtenida de 6440 kg de la *tabla 45* se considera carga viva, a esta carga se le adiciona un factor de carga de impacto y de cargas por posibles sismos, con el objetivo de que el diseño del mismo soporte las diferentes condiciones de trabajo.

Por lo tanto, tenemos:

$$Carga\ Viva = 6440\ kg$$

- **Cálculo de carga de impacto:**

$$Carga\ de\ impacto = Factor\ de\ impacto * Carga\ viva$$

*Ecuación 87*

$$Carga\ de\ impacto = 0.2 * 6440$$

$$Carga\ de\ impacto = 1288\ kg$$

- **Cálculo de carga por sismo:**

$$Carga\ por\ sismo = Factor\ por\ sismo * Carga\ viva$$

*Ecuación 88*

$$Carga\ por\ sismo = 0.30 * 6440$$

$$Carga\ por\ sismo = 1932\ kg$$

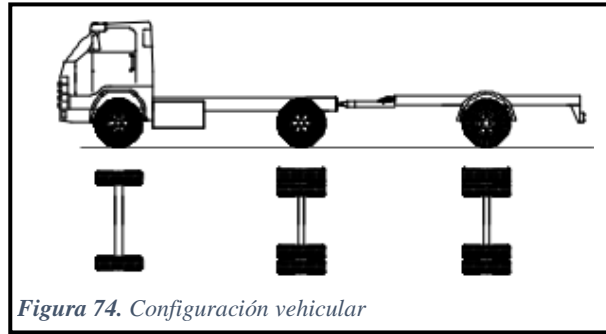
La carga que se utilizara para el cálculo será la suma de las 3 anteriores con lo que podemos aproximar una carga viva nueva de 9660 kg.

El material a utilizar para la estructura del chasis, será acero estructural **ASTM-A36**, acero bastante comercial en la región Lambayeque, y disponible en múltiples configuraciones, que asegura la viabilidad del diseño, además el costo de adquisición es bastante aceptable.

### ***3.8.6.1. Diseño de las vigas principales:***

Las vigas principales serán aquellas que soportarán el peso de todos los componentes del sistema de secado de granos y a su vez transmitirán toda la carga a los apoyos.

Con el objetivo de hacer lo más compacto posible el sistema, con ayuda del reglamento nacional de vehículos del MTC, (Ministro de Transportes y Comunicaciones, 2003), se seleccionó la configuración vehicular más común y compacta como se muestra en la *figura 65*:



La configuración vehicular seleccionada es la “C2RB1”, que está compuesta por un sistema de tracción simple y un remolque balanceado de 1 eje, para comprobar que esa configuración es la adecuada para este caso, se tiene que cumplir que, el peso bruto máximo ha de ser mayor que carga viva total a transportar.

El peso bruto máximo que puede soportar la configuración vehicular está en función el tipo de ejes que lo componen, el reglamento de nacional de vehículos del MTC nos proporciona la siguiente tabla:

Tabla 46 Pesos máximos por eje

Conjunto de eje(s)	Nomenclatura	Simbología	Nº de Neumáticos	GRAFICO	Peso máximo por eje(s) (t)
Simple	1RS		02		7
Simple	1RD		04		11
Doble	2RD		08		18
Triple	3RD		12		25

Fuente: (Ministro de Transportes y Comunicaciones, 2003)

Entonces se tiene que:

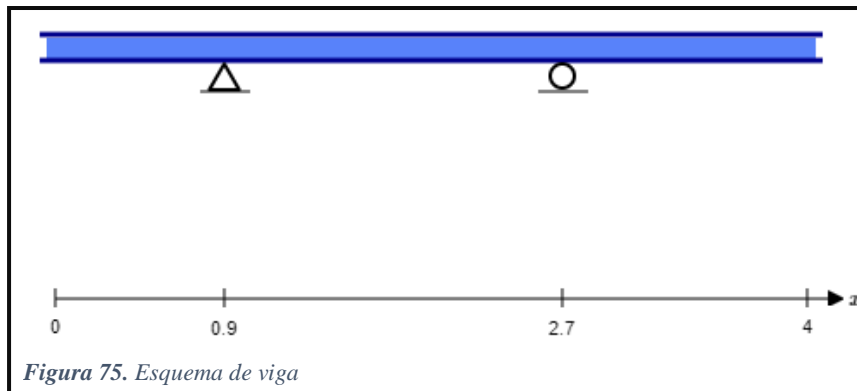
$$\text{Peso bruto máximo} = 1RS + 2(1RD)$$

$$\text{Peso bruto máximo} = 29 Tn$$

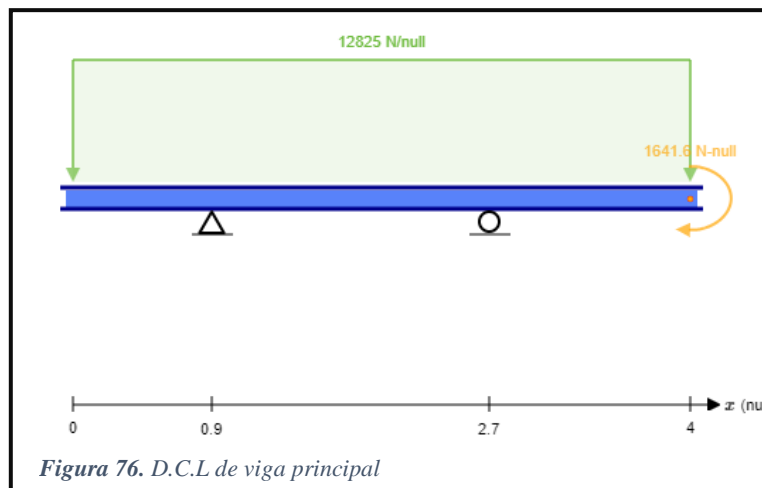
$$29 Tn > 9.66 Tn$$

Con lo cual la configuración vehicular C2RB1 cumple por mucho con los requerimientos necesarios para este caso.

Conocida la disposición del eje y el soporte, se analizará el chasis como una viga con un apoyo fijo y un apoyo deslizante como se muestra en la *figura 75*:



Las fuerzas con las que se analizará la viga será la carga viva total calculada anteriormente más el propio peso del chasis, que asumiremos tendrá un peso de 600 kg, puesto que el chasis estará compuesto por dos vigas principales que serán los encargados de brindar el mayor soporte, las fuerza se dividirán entre ambas con lo que tenemos el siguiente diagrama de cuerpo libre (*ver figura 76*):



El momento que aparece en la *figura 76* es debido a que sobre sale la mitad de la tolva de recepción de grano y genera un momento en el extremo de la viga.

Las fuerzas resultantes obtenidas aparecen en la *figura 77*:



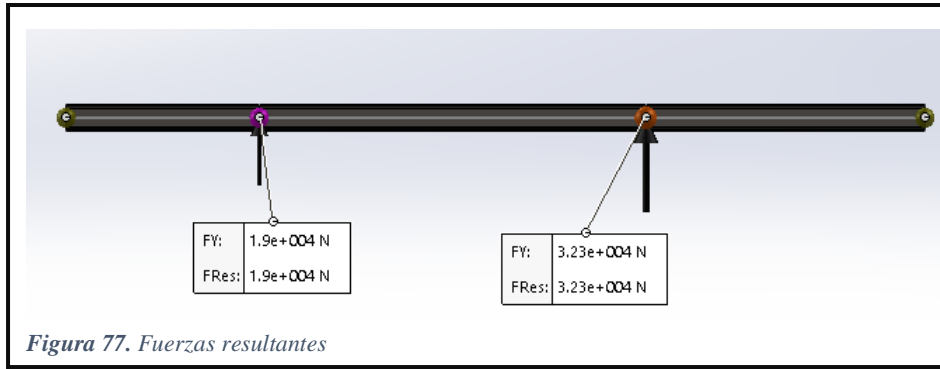


Figura 77. Fuerzas resultantes

A continuación, se presenta el diagrama de fuerza cortante y momento flector obtenido con el software Solidworks (ver figura 78):

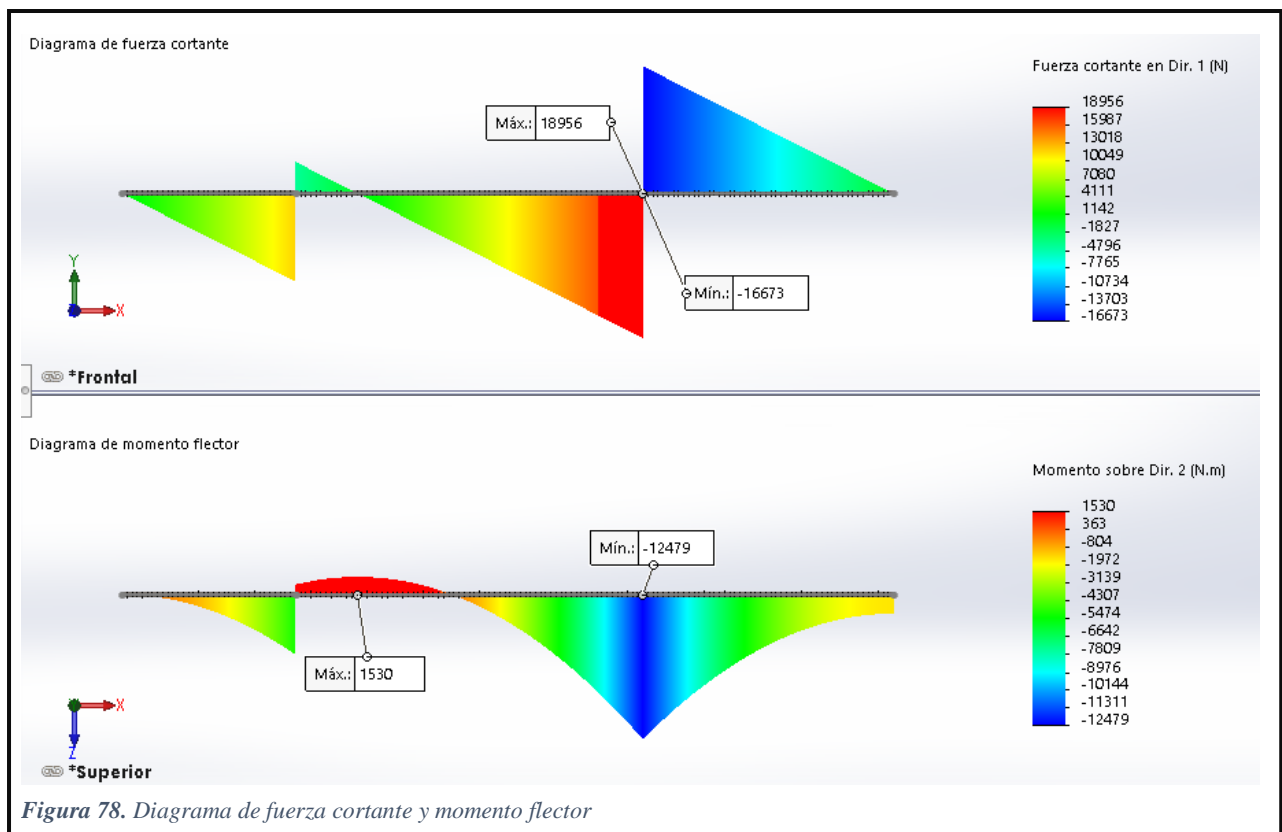


Figura 78. Diagrama de fuerza cortante y momento flector

Con ayuda del software podemos ver la variación del momento flector y la fuerza cortante a lo largo de la viga de 4 metros (ver tabla 47), pero los datos más relevantes son los máximos obtenidos, con ellos seleccionaremos las vigas para el diseño del chasis.

Tabla 47 Datos de fuerza cortante y momento flector

Sección de viga	Cortante1 (N)	Cortante2 (N)	Momento 1 (N.m)	Momento 2 (N.m)	Torsión (N.m)
Sección 1	-6.56E-06	-2.33E-23	-2.80E-25	2.26E-08	-2.51E-25
	-11543	-4.91E-11	-2.21E-11	5194.1	-2.32E-12
Sección 2	-4128.8	-4.04E-14	-1.04E-14	865.89	-1.06E-12
	-18956	-1.91E-13	-1.25E-13	12479	1.06E-12
Sección 3	-16673	-1.97E-10	1.48E-10	-12479	-1.30E-11
	2.90E-06	-2.06E-23	-1.64E-14	1641.6	-9.18E-24

Con los datos de momento máximo y cortante máximo:

$$|M_{max}| = 12479 \text{ N.m}$$

$$|V_{max}| = 18956 \text{ N.m}$$

Obtendré los esfuerzos admisibles en función al material a utilizar (Acero ASTM-A36), con un factor de seguridad de 1.5 para el caso de este diseño.

$$\text{Esfuerzo admisible} = \frac{\text{Resistencia a la fluencia}}{\text{Factor de seguridad}}$$

Ecuación 89

Resistencia a la fluencia del acero ASTM-A36

$$\sigma_F = 250 \text{ MPa}$$

$$\tau_F = 145 \text{ MPa}$$

Entonces los esfuerzos admisibles son:

$$\sigma_{adm} = \frac{250}{1.5} = 167 \text{ MPa}$$

$$\tau_{adm} = \frac{145}{1.5} = 97 \text{ MPa}$$

Con esos datos calcularé el momento resistente mínimo que debería tener la sección de viga para resistir:

$$S_{min} = \frac{|M_{max}|}{\sigma_{adm}} = \frac{12479 \text{ N.m}}{167 \text{ MPa}} = 74 \text{ 724.55 mm}^3$$

Ecuación 90

El resultado anterior, nos indica que la viga que seleccionamos ha de tener un momento resistente mayor a 74 724.55 milímetros cúbicos, dato con el cual procederé a seleccionar de tablas (ver tabla 48) de perfiles estructurales (Vigas W).

Tabla 48. Catálogo de vigas

Designación	Altura		Ala		Distancia				Área	Peso		Superficie		Eje Y-Y			Eje Y-Y			Mód. plástico		Inercia Tors.	
	h	t <sub>w</sub>	b	t <sub>f</sub>	r	h <sub>1</sub>	d	P <sub>min</sub>	P <sub>máx</sub>	mm <sup>2</sup>	kg/m	lbs/ft	A <sub>L</sub>	A <sub>S</sub>	L <sub>y</sub>	W <sub>x,y</sub>	I <sub>y</sub>	L <sub>x</sub>	W <sub>x,y</sub>	I <sub>x</sub>	W <sub>x,y</sub>	W <sub>x,y</sub>	I
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	x10 <sup>2</sup>			m <sup>2</sup> /m	m <sup>2</sup> /t	x10 <sup>4</sup>	mm <sup>3</sup>	mm <sup>3</sup>	mm <sup>4</sup>	mm <sup>3</sup>	mm <sup>3</sup>	mm <sup>3</sup>	mm <sup>3</sup>	mm <sup>3</sup>
W 4 x 13	106	7.1	103	8.8	6	88.4	76.4	-	-	24.7	19.3	13	0.599	30.902	476	89.79	4.39	161	31.19	2.55	103.3	47.9	6.52
W 5 x 16	127	6.1	127	9.1	8	108.8	92.8	60	70	30.3	23.8	16	0.736	30.946	886	139.50	5.41	311	48.98	3.20	157.2	74.7	8.10
W 5 x 19	131	6.9	128	10.9	8	109.2	93.2	62	70	36.0	28.1	19	0.746	26.423	1.099	167.70	5.53	381	59.60	3.26	190.9	90.9	13.33
W 6 x 9	150	4.3	100	5.5	6	139	127	-	-	17.3	13.5	9	0.681	50.193	686	91.40	6.29	92	18.36	2.30	102.4	28.3	1.74
W 6 x 12	153	5.8	102	7.1	6	138.4	126.4	-	-	22.8	18.0	12	0.692	38.596	916	122.10	6.33	126	25.37	2.36	138.6	39.3	3.86
W 6 x 16	160	6.6	102	10.3	6	139.4	127.4	-	-	30.5	24.0	16	0.704	29.404	1.342	167.80	6.63	183	35.80	2.45	191.5	55.2	9.35
W 6 x 15	152	5.8	152	6.6	6	138.8	126.8	70	82	28.4	22.5	15	0.890	39.893	1.206	158.60	6.51	387	50.87	3.68	176.1	77.6	4.34
W 6 x 20	157	6.6	153	9.3	6	138.4	126.4	72	84	37.9	29.8	20	0.902	30.333	1.714	218.40	6.73	556	72.62	3.83	243.9	110.5	10.16
W 6 x 25	162	8.1	154	11.6	6	138.8	126.8	74	84	47.3	37.1	25	0.913	24.613	2.220	274.10	6.85	707	91.79	3.86	309.9	140.0	19.51

Fuente: (Aceros DIACO, 2011)

Las vigas mostradas en la tabla 44 cumplen con tener un momento resistente mayor a  $74.720 \text{ mm}^3 \times 10^3$  desde la viga W4x13, pero dado que el costo de estas vigas está en función a su peso, se opta por seleccionar la viga **W6x9** con un peso de 13.5 kg por cada metro, así queda definida las vigas principales a usar para el diseño del chasis (ver figura 79).

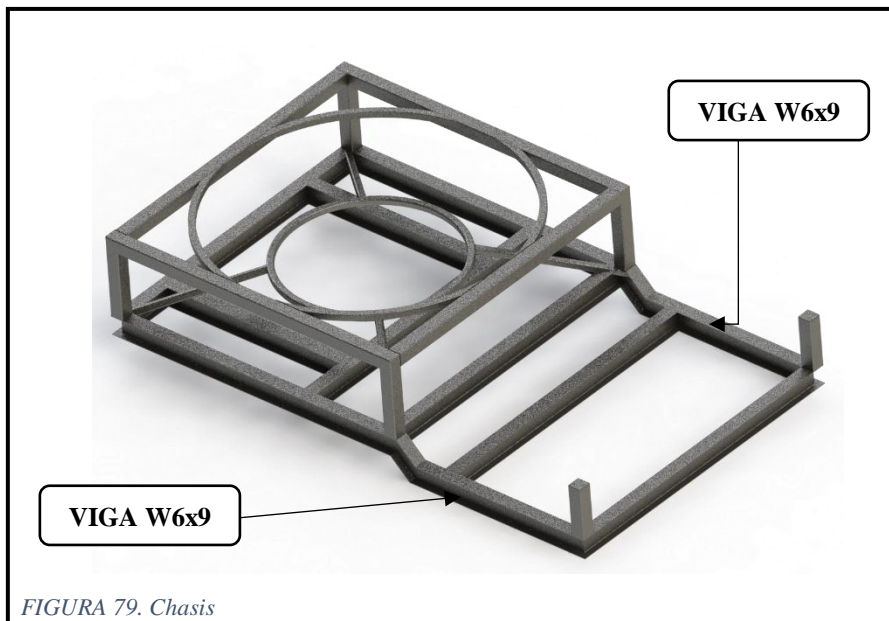


FIGURA 79. Chasis

### 3.8.7. Mecanismos y accesorios complementarios

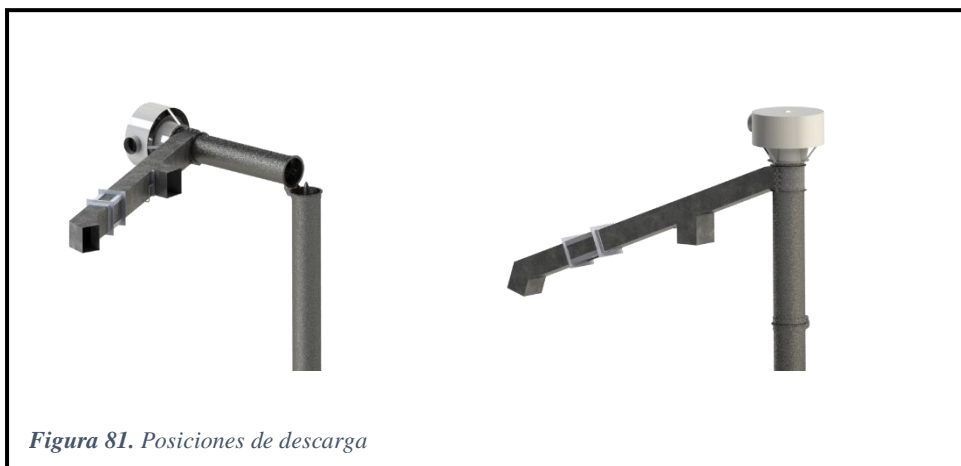
#### 3.8.7.1. Sistema de Descarga de Grano.

El sistema de descarga de arroz cáscara seco está comprendida por un mecanismo simple de compuerta que será accionada de manera mecánica por un operador, la ubicación del sistema de descarga se aprecia en la *figura 80*:



*Figura 80. Ubicación sistema de descarga*

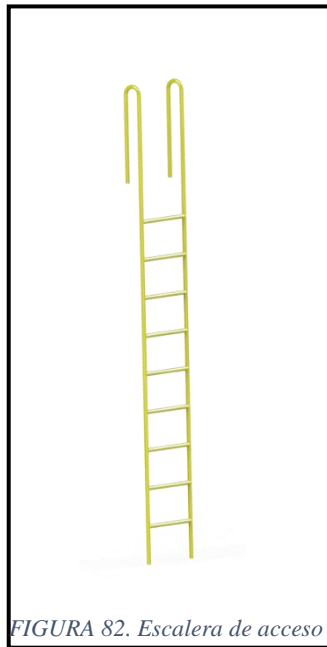
El mecanismo se encuentra ubicado en la parte superior del tornillo transportador vertical, y tendrá dos posiciones de funcionamiento, *ver figura 81*.



*Figura 81. Posiciones de descarga*

En la *figura 81* (lado Izquierdo) el sistema de descarga está plegado, en esta posición será posible movilizar el secador portátil, por el contrario, en la *figura 81* (Lado derecho), el mecanismo de descarga se empleará para depositar el grano arroz seco en sus respectivos sacos o tolvas de almacenamiento.

El operador accionará el mecanismo de manera manual, al cual accederá subiendo por el lateral del silo de secado mediante una escalera adosada al chasis (*ver figura 82*).



La geometría y disposición del mecanismo se pueden apreciar a detalle en el *Anexo 8*.

### 3.8.7.2. Selección de ventilador y diámetro de ducto:

Como dato conocido tenemos el flujo másico de aire necesario para secar los granos de arroz cáscara,  $\dot{m}_{aire} = 0.8042 \text{ kg/s}$  y la densidad del aire a la temperatura de  $65 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\rho_{aire \text{ a } 65^\circ\text{C}} = 1.044 \text{ kg/m}^3$ , con lo cual podemos hallar el caudal de aire que pasara al silo de secado:

$$Caudal = \frac{\dot{m}_{aire}}{\rho_{aire \text{ a } 65^\circ\text{C}}}$$

*Ecuación 91*

$$Caudal = \frac{0.8042}{1.044}$$

$$\text{Caudal} = 0.7703 \text{ m}^3/\text{s}$$

Con el valor de la caudal, calcularé el área transversal del ducto asumiendo una velocidad de 9 m/s, velocidad aproximada para sistemas de secado por aire caliente, con lo cual tenemos lo siguiente:

$$\text{Caudal} = \text{Area del ducto} * \text{Velocidad}$$

*Ecuación 92*

$$0.7703 = \text{Area del ducto} * 9$$

$$\text{Area del ducto} = 0.086 \text{ m}^2$$

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

El diámetro del ducto que transportará el aire caliente al silo de secado será de 33 cm, como se aprecia en el *anexo 8*.

La potencia del motor que accionará el ventilador, se calcula asumiendo una presión estática de 500 Pa producto de la resistencia de la columna de arroz dentro del silo, con lo cual tenemos la siguiente ecuación:

$$\text{Potencia} = \frac{\text{Caudal} * \text{Presión estática}}{n}$$

*Ecuación 93*

$$\text{Potencia} = \frac{0.7703 * 500}{0.52}$$

$$\text{Potencia} = 740 \text{ W}$$

$$\text{Potencia} = 1 \text{ HP}$$

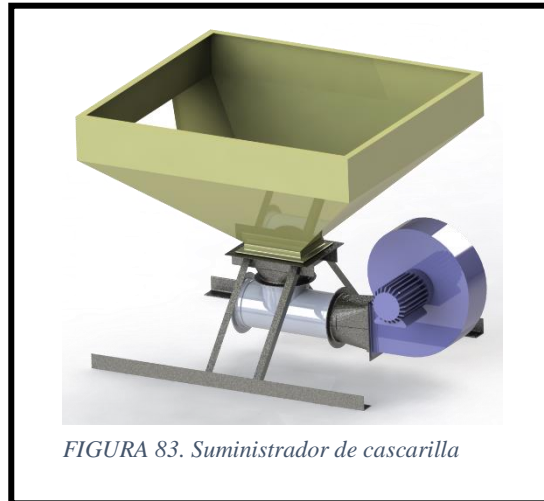
Por lo tanto, el ventilador centrífugo a seleccionar debe cumplir con los siguientes requisitos presentados en la *tabla 49*:

*Tabla 49 Requisitos del ventilador centrífugo*

<b>Caudal:</b>	0.7703	<b>m<sup>3</sup>/s</b>
<b>Presión estática:</b>	500	<b>Pa</b>
<b>Potencia del motor:</b>	1	<b>HP</b>

### 3.8.7.3. *Suministrador de cascarilla:*

Compuesto principalmente por una tolva que cumple la función de depósito de cascarilla para ser ingresado al horno, la forma de ingreso se da mediante un ventilador pequeño, que transporta la cascarilla hacia el horno (ver figura 83).



### 3.8.7.4. *Colector de polvos:*

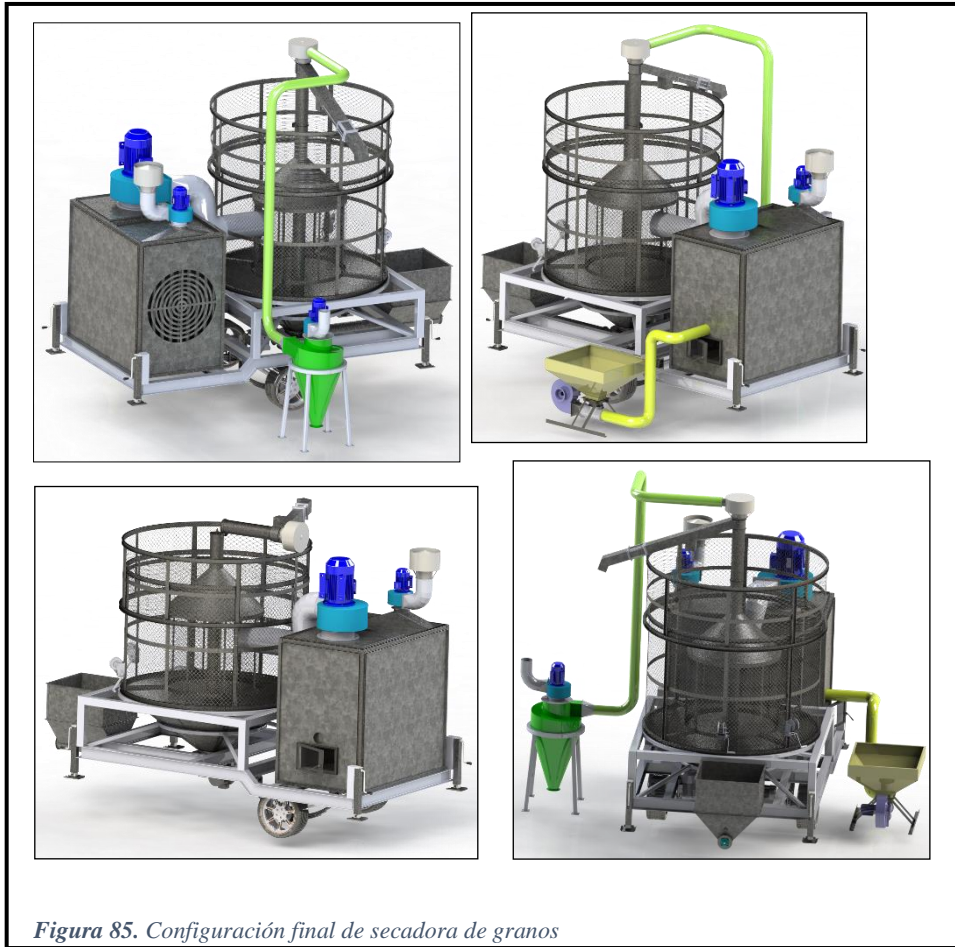
Dicho sistema permitirá canalizar las partículas de polvo contaminantes presentes en el arroz cosechado, funciona mediante el efecto ciclónico, con ayuda de un ventilador extractor (ver figura 84).

Se conectara en el terminal del tornillo transportador vertical.



### 3.8.8. Configuración Final de Máquina, Secadora de Granos Portátil.

La configuración final de la que dispondrá la máquina secadora de granos de arroz portátil, se esquematiza en la *figura 85*, donde se aprecia la distribución de los diferentes componentes, horno, silo de secado, sistema de recepción, transporte y descarga.



*Figura 85. Configuración final de secadora de granos*

En el *Anexo 8* se mostrará a detalle cada componente del sistema.



### 3.9. CONCLUSIONES

Una vez finalizado el desarrollo del proyecto según el diseño planteado se puede concluir lo siguiente:

- A. Se ha logrado cumplir el objetivo principal de diseñar una máquina secadora de granos de arroz portátil con capacidad de silo de  $7 \text{ m}^3$  para los pequeños productores arroceros de la región Lambayeque.
- B. Se calcularon y seleccionaron los diferentes componentes, del sistema de secado de granos de arroz, empleando el uso de materiales disponibles en Perú y en la región. Además, se ajustó el sistema con distribución compacta y eficiente teniendo en cuenta las normas impuestas por el Ministerio de Transporte y Comunicaciones, a fin de permitir el libre tránsito de la máquina.
- C. Mediante el empleo de la normativa VDI 2221 y VDI 2225 se realizó el diseño de la secadora de granos de arroz portátil, teniendo en cuenta criterios técnicos y económicos, generando así una solución óptima con un ponderado de 0.67 y 0.69 respectivamente.
- D. Se diseñó la estructura principal del chasis, teniendo en cuenta los posibles momentos y cortantes máximos a los que estaría sometido contando con un factor de seguridad de 1.5, garantizando el buen desempeño del sistema de soporte de la máquina secadora.
- E. Finalmente se concluye que la máquina secadora de granos de arroz portátil cuenta con la capacidad de secado necesarias para el pequeño productor arrocero de la región Lambayeque y además posee las dimensiones óptimas para la libre circulación en todas las carreteras del Perú.

### **3.10. RECOMENDACIONES**

- A. Se recomienda, realizar un análisis de todos los componentes en conjunto, puesto que lo realizado en esta tesis fue un análisis independiente de cada sistema.
- B. Se recomienda usar como material principal para el diseño de la tolva y del silo la plancha de 1/16" de acero galvanizado, sin importar el factor de seguridad elevado puesto que de usar una de menor espesor el proceso de soldadura podría carbonizar la superficie y generar diversos problemas.
- C. Se recomienda que los accesorios presentados en la disposición final de la máquina secadora sean tomadas en cuenta para futuros análisis, dado que complementan el correcto funcionamiento de la máquina.
- D. Se recomienda que la máquina funcione en terrenos nivelados y de no contar con uno, será necesario prepara el terreno para mantener la estabilidad del conjunto.
- E. Se recomienda también generar un sistema de automatización de la máquina en conjunto teniendo en cuenta parámetros de correcto secado, como la humedad relativa y la humedad inicial del arroz.

### 3.11. BIBLIOGRAFIA

- Aceros DIACO. (2011). *Perfiles Estructurales Vigas W*. Cali: GERDAU.
- Alberto de Dios, C. (1996). *Secado de granos y secadoras*. Santiago, Chile: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Oficina Regional para América Latina y el Caribe.
- Assureira, E. (2012). Evaluación de la cascarilla de arroz para su uso como fuente alterna de energía en los sectores doméstico y comercial. *Grupo de Investigación de Carbón Biomasa PUCP*.
- Balcázar Rodas, J., & Tesén Bravo, C. (2015). *SISTEMA DE CONTROL AUTOMATIZADO PARA EL SECADO DE ARROZ EN EL MOLINO EL PIRATA S.A.C. Tesis. Ing. Elec.* Lambayeque, Perú.
- Bonazzi, C., & Courtois, F. (2011). *Impact of Drying on the Mechanical Properties and Crack Formation in Rice* (Vol. III). Weinheim, Alemania: Wiley-VCH. Doi: 10.1002/9783527631667
- Budynas, R., & Nisbett, K. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. Mexico: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Caballero, J. (2015). *DISEÑO DE UNA SECADORA DE CACAO PARA ALMACENAJE CON CAPACIDAD DE 2 T/DIA. Tesis. Ing. Mec.* Lima: PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ.
- Cabrera Vázquez, A. (2004). *El efecto de la temperatura de operación sobre el proceso de secado en un lecho fluidizado a vacío empleando vapor sobrecalentado para diferentes tipos de partículas. Tesis. Lic. Ing. Mec.* Puebla, México: Universidad de las Américas Puebla.
- Catacora Apaza, I., Hilaquita Zevallos, A., Silva Valdivia, G., Infantes Fernandez, C., Guzman Mamani, J., & Angelo Rondon, J. (2011). *IMPLEMENTACION DE UNA PLANTA SEMI-INDUSTRIAL DE SECADO Y SELECCIÓN DE GRANOS*. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Cengel, Y. (2011). *Transferencia de calor y masa*. Mexico: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Chao Tung-San, J. F. (1987). *Pautas para el diseño y construcción de fogones eficientes para la combustión de cáscara de arroz*. Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- CRUZ, F. A. (2011). *DISEÑO DE SILOS*. LIMA: PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU.
- De la Torre, D. (2015). *Silo-Secador INTA*. Argentina: Grupo Poscosecha, EEA Balcarce, INTA .
- Direct Industry. (2013). Catálogo General de Productos de Martin Sprocket & Gear. *martin*, 3-120.
- EMAN. (14 de Marzo de 2017). *Energy, creativity and development*. Obtenido de <http://emaningenieria.com/cálculo-silos-ingenieria/>
- Espinosa. (2011). *Diseño de una Secadora de Tandas para Arroz usando como combustible Cascarilla de Arroz*. Ecuador: ESPOL.
- Eurocódigo. (1998). *Acciones en silos y depósitos*. España: Asociación Española de Normalización y Certificación.
- Flores Bajaña, C., & García Veliz, J. (2016). *PROYECTO DE FACTIBILIDAD PARA LA INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE SECADO DE ARROZ A TRAVÉS DE PANELES SOLARES PARA LA POSTCOSECHA EN BENEFICIO DE LOS PEQUEÑOS PRODUCTORES DE ARROZ DE LA PARROQUIA JUAN BAUTISTA AGUIRRE DEL CANTÓN DAULE. Tesis. Lic. Econ.* Guayaquil, Ecuador.
- Gaona Barboza, R., & Torres Chapoñan, L. (2017). *IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO SECADOR AUTOMATIZADO TIPO INVERNADERO CON TIRO FORZADO PARA EL SECADO DE ARROZ CON UNA CAPACIDAD DE 1 KG. Tesis. Ing. Mec.* Pimentel, Perú.
- Grimisonn, P. (1963). *Chemical Engineer's Handbook*. New York.
- Huaraz Choi, C. (2013). *Diseño de un gasificador de 25 kW para aplicaciones domésticas. Tesis. Ing. Mec.* Lima: PUCP.
- Incropera, F. (1996). *Fundamentos de Transferencia de Calor* (Cuarta ed.). Mexico: Pearson Educación. doi:ISBN 0-471-30460-3
- Ipsán Pedrera, D., Díaz Solís, S., Morejón Rivera, R., & Ipsán Pedrera, N. (diciembre de 2013). Influencia de la temperatura del grano, durante el proceso de secado, en la calida del arroz blanco. *Avances*, 394-405.
- JULON TAPIA, S. (2014). *DETERMINACION DE LA DURACION E INTENSIDAD DE LA LATENCIA EN SEMILLA DE ARROZ (Conquista, Esperanza, Fortaleza, Capirona, Feróm y Moro). Tesis Ing. Agr.* Tarapoto.
- Mealla Sánchez, L., & Morales Olaciregui, J. (2017). Evaluación del comportamiento térmico de secadores solares en régimen pasivo. *TecnoLógicas*, 21(41), 29-44.
- Ministerio de agricultura y riego. (2017). *Informe del arroz*. Lima.
- Ministro de Transportes y Comunicaciones. (2003). *REGLAMENTO NACIONAL DE VEHÍCULOS*. Lima.

- Morejón Mesa, Y., Tsujimoto, T., & Watahiki, T. (2011). Fabrication and evaluation of a Solar Grain Dryer. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, xx(3), 68-72.
- NTP –INDECOPI, 2.-1. (2005). *INFORME TECNICO ARROZ PILADO*. Lima: Norma Técnica de Calidad y Sanidad para el consumo libre de arroz.
- Olmos, S. (2006). *APUNTE DE MORFOLOGÍA, FENOLOGÍA, ECOFISIOLOGÍA, Y MEJORAMIENTO GENÉTICO DEL ARROZ*. Facultad de Ciencias Agrarias, UNNE, Corrientes.
- Pérez Porto, J., & Gardey, A. (Diciembre de 2012). *Definicion.de* . Obtenido de <https://definicion.de/mecanismo/>
- PINEDA ALFARO, D. A. (2013). *DISEÑO DE UN SISTEMA DE SECADO A BASE DE VAPOR PARA ARROZ EN GRANZA*. GUATEMALA: UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA.
- Postcosecha.net. (26 de Junio de 2018). *Secamientos de granos*. Obtenido de Secamientos de granos su importancia y las prácticas comunes: [https://www.shareweb.ch/site/Agriculture-and-Food-Security/focusareas/Documents/phm\\_postcosecha\\_drying\\_grain\\_s.pdf](https://www.shareweb.ch/site/Agriculture-and-Food-Security/focusareas/Documents/phm_postcosecha_drying_grain_s.pdf)
- Reaño Villalobos, R. (2015). *PROPUESTA DE MEJORA DE LA PRODUCTIVIDAD EN EL PROCESO DE PILADO DE ARROZ EN EL MOLINO LATINO S.A.C.* . Chiclayo.
- Rodríguez Almarza , M. (2007). *Determinación de la Composición Química y Propiedades Físicas y Químicas del Pulido de Arroz (Oryza sativa L.)*. Tesis. Lic. Valdivia, Chile: UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE.
- Rodríguez Galbarro, H. (9 de Octubre de 2018). *Ingemecanica*. Obtenido de <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn143.html>
- Rukzon, S., Chindaprasirt, P., & Mahachai, R. (2009). Effect of grinding on chemical and physical properties of rice husk ash . *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, 242-247.
- Sifuentes Guerrero , P. (2015). *Aplicación del sistema en lecho fluidizado para la mejora del proceso de secado de arroz cáscara, en la Piladora Nuevo Horizonte SAC, Lambayeque - Chiclayo*. Tesis. Ing. Ind. Lima: Universidad César Vallejo.
- Universidad nacional autónoma de Mexico. (14 de Febrero de 2013). *Procesos tecnologicos de cereales*. Obtenido de [http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/semillas/index.php?option=com\\_content&view=article&id=20&Itemid=24](http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/semillas/index.php?option=com_content&view=article&id=20&Itemid=24)
- Vichet Sorn, Pyseth Meas, Tara Pin, & Martin Gummert. (2017). Effects of drying and storage management on fungi (Aflatoxin B1) accumulation and rice quality in Cambodia. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics*, 141-148.

### 3.12. ANEXOS

**GINSAC**  
GINSAC IMPORT SAC

"AÑO DEL DIÁLOGO Y LA RECONCILIACIÓN NACIONAL"


Chiclayo, 4 de Junio del 2018

Señor (es):

**JORGE ALEXANDER COTRINA VILCHEZ**  
74553967  
URBANIZACION POLICIA DE INVESTIGACIONES MZ.ILT.89

*Reciba nuestro cordial saludo de la Empresa Ginsac Import SAC, al mismo tiempo hacerle llegar la cotización de la maquinaria solicitada y especificaciones de su referencia, en las páginas adjuntas encontrarán la información técnica y comercial sobre el equipo. Contamos con el servicio técnico con el sólido prestigio y garantía de ser una empresa peruana.*

**SISTEMA DE SECADO DE GRANO A BAJA TEMPERATURA PARA 30 TN**  
**MODELO 5HXG-30T ACERO INOXIDABLE**



a Norte km 790 - CHICLAYO  
Telf: (074) - 266772

[www.ginsac.com.pe](http://www.ginsac.com.pe)

**ANEXO 1:**

## Cotización de secadora de arroz Industrial

<b>Modelo</b>		5HXG-30
<b>Capacidad de procesado</b>	Arroz (Kg)	12000-30000
	Trigo (Kg)	16000-30000
<b>Ventilador de aspiración</b>	Modelo	4-72-6A
	Tipo	Flujo centrifugo
	Diámetro de salida de aire (mm)	Φ600
	Velocidad (r/min)	1450
	Volumen de aire (m3/h)	16576 (se establecen dos conjuntos en total)
	Presión (PA)	950
<b>Potencia requerida total (kw)</b>		21.3
<b>Dimensiones totales (mm)</b>		2300×2580×8821
<b>Rendimiento</b>	Tiempo de alimentación (min)	45-55
	Tiempo de descarga (min)	60-70
	Tasa de reducción de humedad (%/h)	0.6-1.0
<b>Sistema de protección</b>		Alarma de volumen completo, dispositivo de protección contra sobrecargas, sensor de temperatura, fusible de control, sensor de presión, alarma de apagado de la llama del quemador, cámara de calor

Nota: la tasa de secado es sólo para referencia. Los datos reales diferirán por la temperatura ambiente, humedad relativa, variedad de grano, temperatura del aire caliente, la tasa de humedad antes y después del secado.

Condiciones de trabajo: Potencia: 220V monofásicos, trifásicos 380V (-7% ~ + 7%), 50Hz. Rango de temperatura 10 °C - 60 °C; humedad relativa para las condiciones de trabajo: 50% -99% de humedad relativa.

Carr. Panamericana Norte km 790 - CHICLAY  
Telf:(074) - 266772

[www.ginsac.com.pe](http://www.ginsac.com.pe)



Chiclayo, 4 de Junio del 2018

JORGE ALEXANDER COTRANA VILQUEZ  
PRESIDENTE

**PRECIO TOTAL: US \$ 180,300.00 (Ciento Ochoenta Mil Trescientos y 00/100  
Dólares Americanos)**

**NOTA: Este precio incluye instalación.**

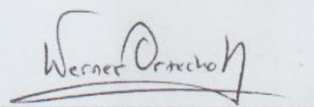
**GARANTÍA** : 12 meses contra fallas de fabricación

**TIEMPO DE ENTREGA** : 70 días

**PUESTA EN MARCHA** : 30 días

**LUGAR DE ENTREGA** : Almacenes Ginsac Import SAC.

**Cta. Cte. BCP US\$** : 232 - 1829836134 (a nombre de **GRUPO INVERSIONES  
DE LA SELVA S.A.C.**)



**WERNER ORTECHO RIVERA**  
ASESOR COMERCIAL  
[wortecho@ginsac.com.pe](mailto:wortecho@ginsac.com.pe)

Carr. Panamericana Norte km 790 - CHICLAYO  
Telf:(074) - 266772

[www.ginsac.com.pe](http://www.ginsac.com.pe)

# Carta psicrométrica

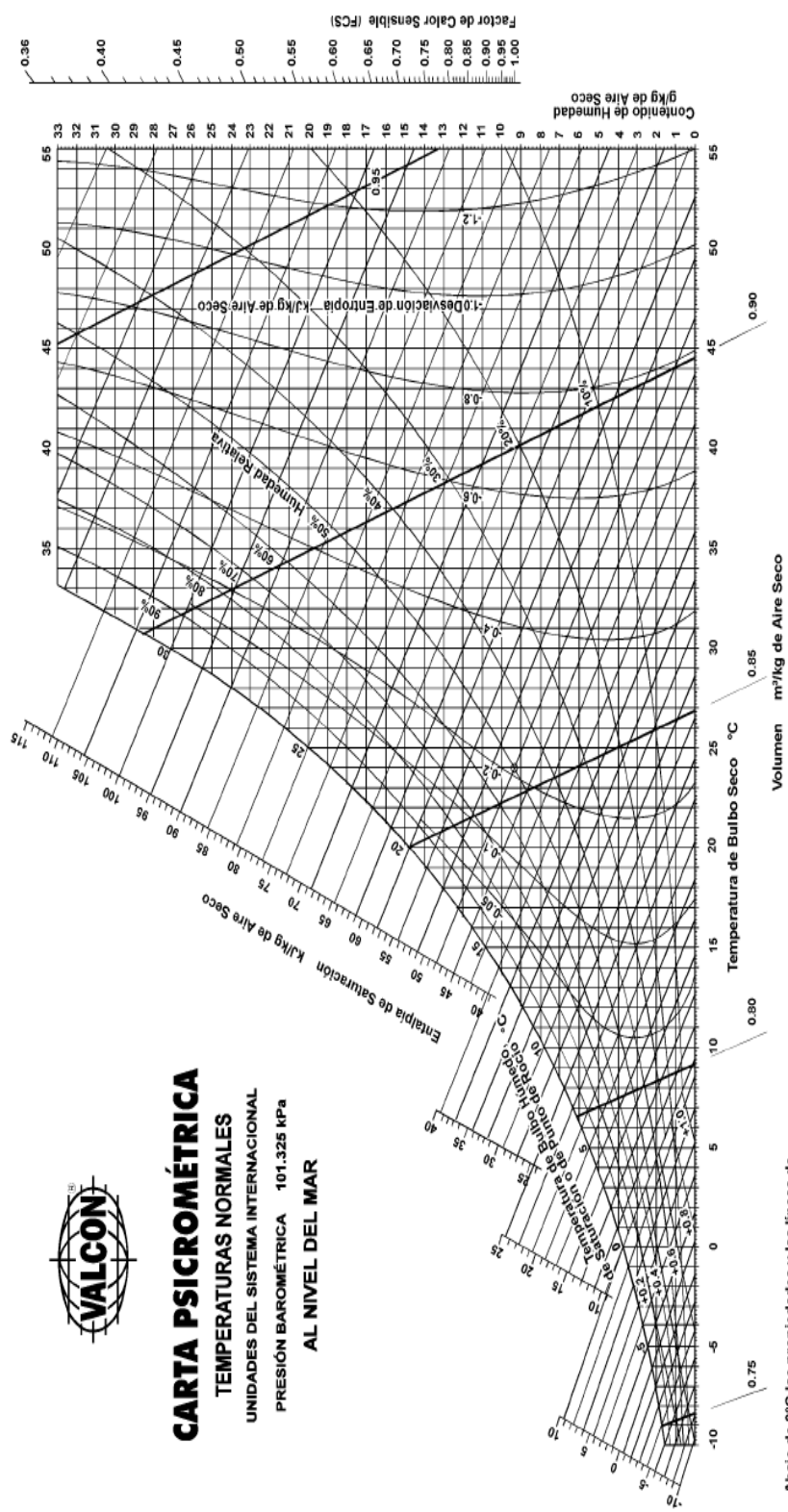


Figura 13.11 - Carta psicrométrica a temperaturas normales y presión barométrica de 101.325 kPa (al nivel del mar). Las unidades están en el sistema internacional (SI).



### **ANEXO 3:**

### **Guías de observación**

<b>GUÍAS DE OBSERVACIÓN DE PAMPAS DE SECADO DE ARROZ</b>	
<b>RESPONSABLE:</b>	
Lugar: (Sector/Distrito/Provincia/Región): _____ _____	Fecha: _____ Hora: _____
<b><u>DATOS DEL AGRICULTOR:</u></b>	<b><u>DATOS DE SERVICIO DE SECADO:</u></b>
Nombre: _____ _____	Tercero <input type="checkbox"/> Agricultor <input type="checkbox"/>
DNI: _____ N° de hectáreas cosechadas: _____	Nombre: _____ _____
Variedad de arroz: _____ Cant. Arroz (Kg/ sacos): _____	DNI: _____ Área de secado: _____
<b><u>DESCRIPCIÓN DEL PROCESO:</u></b>	
<b><u>PANEL FOTOGRÁFICO:</u></b>	

ANEXO 4:

Análisis de cascarilla de arroz



**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA E INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**  
**UNIDAD DE SERVICIOS TÉCNICOS**



**REPORTE DE ANALISIS N° 153-2015-UST-FIQA**


24 de noviembre del 2015

**SOLICITANTE** : **Quintana Taboada Junior**  
**ASUNTO** : **Análisis Físico Químico**  
**MUESTRA** : **Cascarilla de Arroz**  
**TIPO USO** : **Proyecto de Tesis**  
**FECHA DE RECEPCIÓN** : **19/11/2015**  
**FECHA DE REPORTE** : **23/11/2015**

**Resultados de Análisis Físico químico**

Determinación	Medida	Resultado
Densidad (Compactada)	g/ml	0.6666
Humedad	%	5.0
Materia Volátil	%	65.0
Cenizas	%	20.0
Carbón Fijo	%	10.0
Poder Calorífico	Kcal/kg	2,770.00

Los resultados corresponden a una muestra traída por el solicitante al laboratorio.

  
**Ing. James Jenner Guerrero Braco**  
**ANALISTA**

ANEXO 5:

PROPIEDADES DEL AIRE A 1 atm DE PRESIÓN

ÇENGEL, Yunus A. y John M. CIMBALA, "Mecánica de fluidos: Fundamentos y aplicaciones", 1ª edición, McGraw-Hill, 2006. Tabla A-9.

Propiedades del aire a 1 atm de presión

Temp. T, °C	Densidad $\rho$ , kg/m <sup>3</sup>	Calor específico $c_p$ kJ/kg · K	Conductividad térmica $k$ , W/m · K	Difusividad térmica $\alpha$ , m <sup>2</sup> /s	Viscosidad dinámica $\mu$ , kg/m · s	Viscosidad cinemática $\nu$ , m <sup>2</sup> /s	Número de Prandtl Pr
-150	2.866	983	0.01171	$4.158 \times 10^{-7}$	$8.636 \times 10^{-6}$	$3.013 \times 10^{-5}$	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	$8.036 \times 10^{-7}$	$1.189 \times 10^{-5}$	$5.837 \times 10^{-5}$	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	$1.252 \times 10^{-6}$	$1.474 \times 10^{-5}$	$9.319 \times 10^{-5}$	0.7440
-40	1.514	1002	0.02057	$1.356 \times 10^{-6}$	$1.527 \times 10^{-5}$	$1.008 \times 10^{-4}$	0.7426
-30	1.451	1004	0.02134	$1.465 \times 10^{-6}$	$1.579 \times 10^{-5}$	$1.087 \times 10^{-4}$	0.7420
-20	1.394	1006	0.02211	$1.578 \times 10^{-6}$	$1.630 \times 10^{-5}$	$1.169 \times 10^{-4}$	0.7408
-10	1.341	1008	0.02288	$1.696 \times 10^{-6}$	$1.680 \times 10^{-5}$	$1.252 \times 10^{-4}$	0.7387
0	1.292	1006	0.02364	$1.818 \times 10^{-6}$	$1.729 \times 10^{-5}$	$1.338 \times 10^{-4}$	0.7362
5	1.269	1006	0.02401	$1.880 \times 10^{-6}$	$1.754 \times 10^{-5}$	$1.382 \times 10^{-4}$	0.7350
10	1.246	1006	0.02439	$1.944 \times 10^{-6}$	$1.778 \times 10^{-5}$	$1.426 \times 10^{-4}$	0.7336
15	1.225	1007	0.02476	$2.009 \times 10^{-6}$	$1.802 \times 10^{-5}$	$1.470 \times 10^{-4}$	0.7323
20	1.204	1007	0.02514	$2.074 \times 10^{-6}$	$1.825 \times 10^{-5}$	$1.516 \times 10^{-4}$	0.7309
25	1.184	1007	0.02551	$2.141 \times 10^{-6}$	$1.849 \times 10^{-5}$	$1.562 \times 10^{-4}$	0.7294
30	1.164	1007	0.02588	$2.208 \times 10^{-6}$	$1.872 \times 10^{-5}$	$1.608 \times 10^{-4}$	0.7282
35	1.145	1007	0.02626	$2.277 \times 10^{-6}$	$1.895 \times 10^{-5}$	$1.655 \times 10^{-4}$	0.7268
40	1.127	1007	0.02662	$2.346 \times 10^{-6}$	$1.918 \times 10^{-5}$	$1.702 \times 10^{-4}$	0.7256
45	1.109	1007	0.02699	$2.416 \times 10^{-6}$	$1.941 \times 10^{-5}$	$1.750 \times 10^{-4}$	0.7241
50	1.092	1007	0.02735	$2.487 \times 10^{-6}$	$1.963 \times 10^{-5}$	$1.798 \times 10^{-4}$	0.7228
60	1.059	1007	0.02808	$2.632 \times 10^{-6}$	$2.008 \times 10^{-5}$	$1.896 \times 10^{-4}$	0.7202
70	1.028	1007	0.02881	$2.780 \times 10^{-6}$	$2.052 \times 10^{-5}$	$1.995 \times 10^{-4}$	0.7177
80	0.9994	1008	0.02953	$2.931 \times 10^{-6}$	$2.096 \times 10^{-5}$	$2.097 \times 10^{-4}$	0.7154
90	0.9718	1008	0.03024	$3.086 \times 10^{-6}$	$2.139 \times 10^{-5}$	$2.201 \times 10^{-4}$	0.7132
100	0.9458	1009	0.03095	$3.243 \times 10^{-6}$	$2.181 \times 10^{-5}$	$2.306 \times 10^{-4}$	0.7111
120	0.8977	1011	0.03235	$3.565 \times 10^{-6}$	$2.284 \times 10^{-5}$	$2.502 \times 10^{-4}$	0.7073
140	0.8542	1013	0.03374	$3.898 \times 10^{-6}$	$2.345 \times 10^{-5}$	$2.745 \times 10^{-4}$	0.7041
160	0.8148	1018	0.03511	$4.241 \times 10^{-6}$	$2.420 \times 10^{-5}$	$2.975 \times 10^{-4}$	0.7014
180	0.7788	1019	0.03646	$4.593 \times 10^{-6}$	$2.504 \times 10^{-5}$	$3.212 \times 10^{-4}$	0.6992
200	0.7459	1023	0.03779	$4.954 \times 10^{-6}$	$2.577 \times 10^{-5}$	$3.455 \times 10^{-4}$	0.6974
250	0.6746	1033	0.04104	$5.890 \times 10^{-6}$	$2.760 \times 10^{-5}$	$4.091 \times 10^{-4}$	0.6946
300	0.6158	1044	0.04418	$6.871 \times 10^{-6}$	$2.934 \times 10^{-5}$	$4.765 \times 10^{-4}$	0.6925
350	0.5664	1056	0.04721	$7.892 \times 10^{-6}$	$3.101 \times 10^{-5}$	$5.475 \times 10^{-4}$	0.6917
400	0.5242	1069	0.05015	$8.951 \times 10^{-6}$	$3.261 \times 10^{-5}$	$6.219 \times 10^{-4}$	0.6948
450	0.4882	1081	0.05298	$1.004 \times 10^{-5}$	$3.415 \times 10^{-5}$	$6.997 \times 10^{-4}$	0.6965
500	0.4565	1093	0.05572	$1.117 \times 10^{-5}$	$3.563 \times 10^{-5}$	$7.806 \times 10^{-4}$	0.6986
600	0.4042	1115	0.06099	$1.352 \times 10^{-5}$	$3.846 \times 10^{-5}$	$9.515 \times 10^{-4}$	0.7037
700	0.3627	1135	0.06581	$1.598 \times 10^{-5}$	$4.111 \times 10^{-5}$	$1.133 \times 10^{-3}$	0.7092
800	0.3289	1153	0.07037	$1.855 \times 10^{-5}$	$4.362 \times 10^{-5}$	$1.326 \times 10^{-3}$	0.7149
900	0.3008	1169	0.07465	$2.122 \times 10^{-5}$	$4.600 \times 10^{-5}$	$1.529 \times 10^{-3}$	0.7206
1000	0.2772	1184	0.07868	$2.398 \times 10^{-5}$	$4.826 \times 10^{-5}$	$1.741 \times 10^{-3}$	0.7262
1500	0.1990	1234	0.09599	$3.908 \times 10^{-5}$	$5.817 \times 10^{-5}$	$2.922 \times 10^{-3}$	0.7478
2000	0.1353	1264	0.11113	$5.664 \times 10^{-5}$	$6.400 \times 10^{-5}$	$4.270 \times 10^{-3}$	0.7528

Nota: Para gases ideales,  $c_p$ ,  $k$ ,  $\mu$  y Pr son independientes de la presión. Las propiedades  $\rho$ ,  $\nu$  y  $\alpha$  a una presión P distinta a 1 atm se determinan mediante multiplicar los valores de  $\rho$  y la temperatura dada por P por  $\alpha$  y dividir los valores de  $\nu$  y  $\alpha$  entre P por  $\alpha$ .

Fuente: Datos generados a partir del Software EES desarrollado por S. A. Klein y F. L. Alvarado. Fuentes originales: Keenan, Chao, Keenan, Gas Tables, Wiley, 1980; and Thermophysical Properties of Matter, Vol. 2, Thermal Conductivity, Y. S. Touloukian, F. E. Liley, S. C. Saxena, Inc. 11; Keenan, Y. S. Touloukian, Y. S. Saxena, y F. L. Alvarado, J. Properties, Vol. 10(7), 609-610, 1975.

ANEXO 6:

CATALOGO MARTIN TORNILLO TRANSPORTADOR

## Componentes y Accesorios para Manejo de Materiales



---



ARTESA 1/2" CON CELA DE ANILLO  
ACERO DULCE Y GALVANIZADO



ARTESA 1/2" CON CELA FORMADA  
ACERO DULCE Y GALVANIZADO



HELICOIDAL SECCIONAL



ELITE DE ACERO



CONVOLOME



ARTESA TUBULAR



COMPLETO DE DESCARRIA  
CON CHAVILLERA Y PINN



TAPAS DE ARTESA  
CON T-SHIRT



COLGANTE ESTILO 200



COLGANTE ESTILO 200



COLGANTE ESTILO 200



EXAMINATOR DE  
EMPUJE TIPO E  
CON CABLE METAL



ENTRADA O  
DESCARRIA



SELLO DE COLARIN  
SIN PUNTO (SILABRADO)



COLGANTE ESTILO 10



COLGANTE ESTILO 100



CRANCIERA DE BOLA Y DE  
MUELLOS PARA TAPAS



SELLO DE  
BLANCHA CON  
EMPUNAJADORA



SELLO DE CARR  
CON CORTIN  
Y RETEN



SELLO DE  
PLACA  
CON RETEN



SELLO PARA  
SALIDA  
DE PRODUCTO



VALVE ESTILO 2000  
HECHO EN ACERO  
SIN PUNTO 2000  
SIN PUNTO  
SIN PUNTO  
SIN PUNTO  
SIN PUNTO



SCORPION Y GALLETAS



HELICOIDALES CONTINUA



HELICOIDAL (LARGUETAS) SIN  
SIN PUNTO Y SIN PUNTO



TRANSMISION DE  
TRANSPORTADOR HELICOIDAL  
CON ACCESORIOS



REDUCTOR DE  
VELOCIDAD MONTADO EN  
SUELO CON ACCESORIOS



CUBIERTA  
FORMADA CON  
ACCESORIOS



HELICOIDALES SIN LARGUETAS EN CEMENTO



HELICOIDALES VERTICALES

---

**Martin** fabrica la línea más completa de componentes en la industria. Tenemos en existencia partes en acero al carbón, en acero inoxidable, galvanizadas y muchos otros artículos que para otros en la industria son hechos sobre pedido.

H-2

160

**ANEXO 7:**

**ENTREVISTA A EXPERTO EN MOLINERIA**

**USS | UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN**

Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Urbanismo  
Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**Diseño de una máquina secadora de granos de arroz portátil con capacidad de silo de 7 m<sup>3</sup> para los pequeños productores arroceros de la región Lambayeque – Perú.**

ENTREVISTA A ESPECIALISTA EN COMERCIALIZACION DE MAQUINAS SECADORAS INDUSTRIALES DE GRANOS

NOMBRE : *NICOLAS ANTONIO FERNANDEZ PUELLES*

ESPECIALIDAD : *MAQUINARIA INDUSTRIAL*

INSTITUCIÓN / EMPRESA : *GIN SAC IMPORT SAC*

ÁREA : *COMERCIAL*

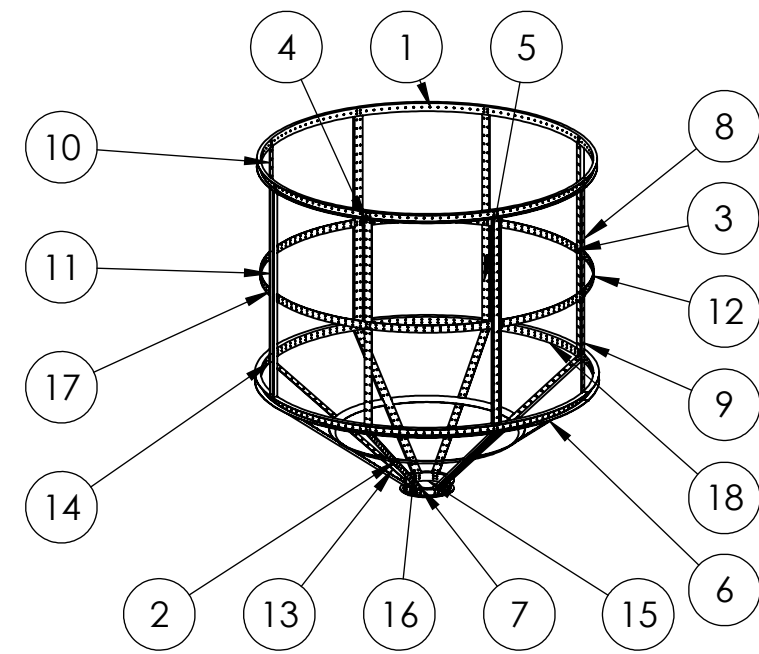
TIEMPO DE SERVICIO : *5 AÑOS*

CARGO : *COMERCIAL*

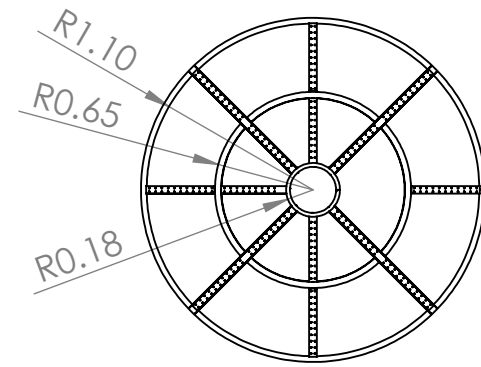
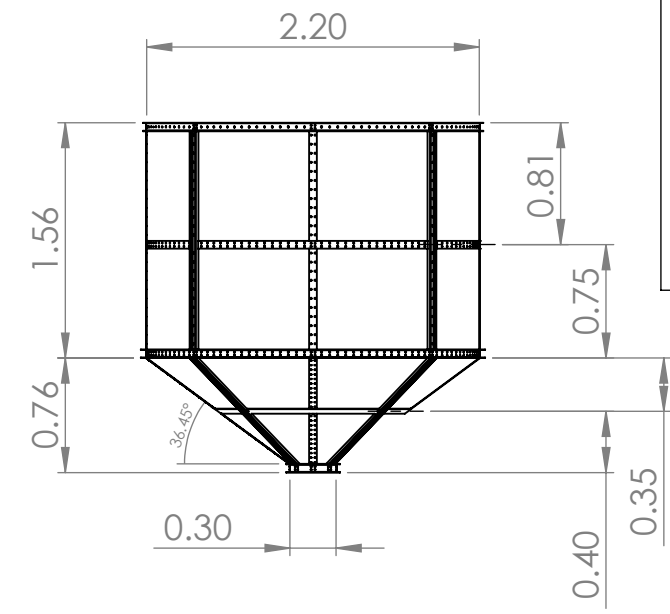
*[Signature]*  
16725496

**ANEXO 8:**

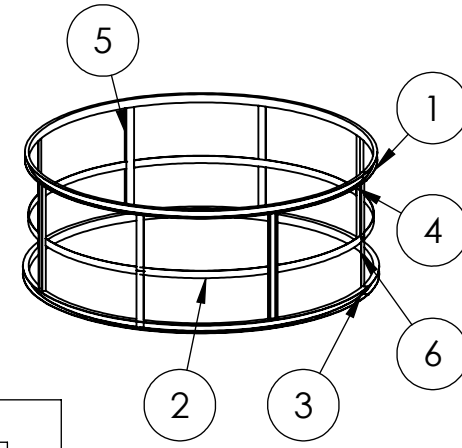
# **PLANOS**



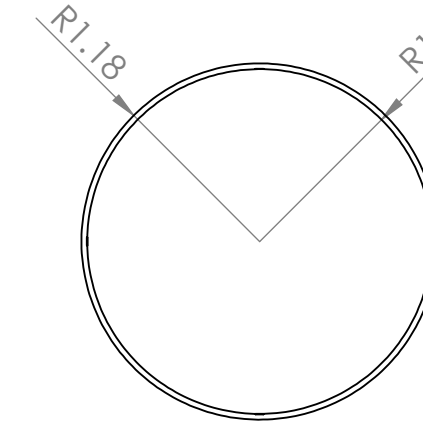
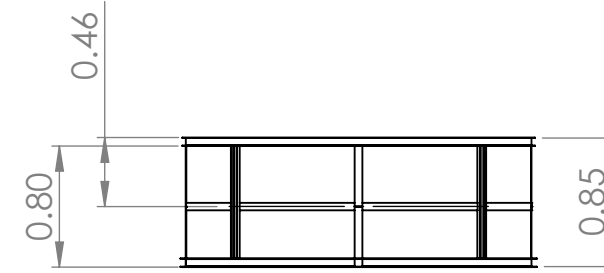
N.º DE ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	LONGITUD	Unidad
1	PERFIL TIPO C 2" x 2" x 1/8"	1	6.99	m
2	PLATINA 2" x 1/8"	4	0.93	m
3	PLATINA 2" x 1/8"	3	1.67	m
4	PLATINA 2" x 1/8"	2	0.72	m
5	PLATINA 2" x 1/8"	2	0.67	m
6	PLATINA 2" x 1/8"	3	0.57	m
7	PLATINA 2" x 1/8"	2	0.56	m
8	PLATINA 2" x 1/8"	1	0.72	m
9	PLATINA 2" x 1/8"	1	0.67	m
10	PLATINA 2" x 1/8"	1	0.72	m
11	PLATINA 2" x 1/8"	1	0.67	m
12	PLATINA 2" x 1/8"	1	1.67	m
13	PLATINA 2" x 1/8"	1	0.56	m
14	PLATINA 2" x 1/8"	1	0.57	m
15	PERFIL TIPO C 2" x 2" x 1/8"	1	1.04	m
16	PERFIL TIPO C 2" x 2" x 1/8"	4	1.2	m
17	PERFIL TIPO C 2" x 2" x 1/8"	4	1.44	m
18	PERFIL TIPO C 2" x 2" x 1/8"	1	7.03	m



ESTRUCTURA DE SILO PRINCIPAL

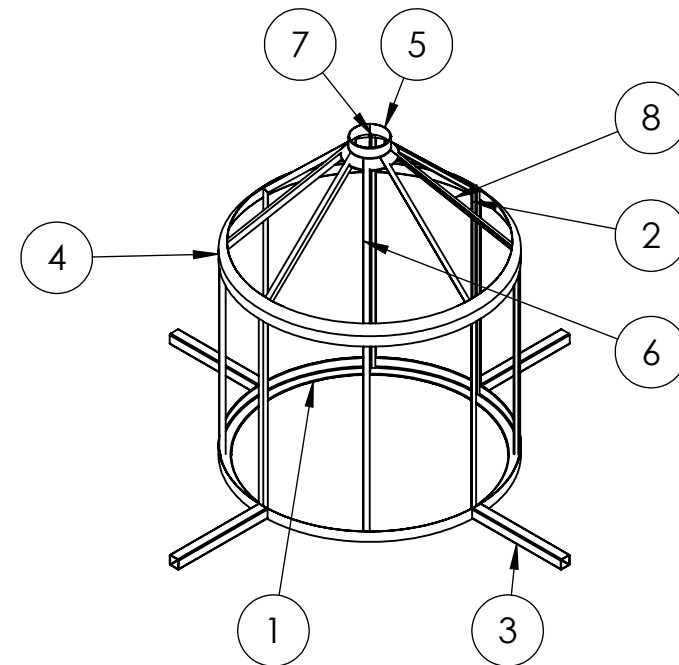
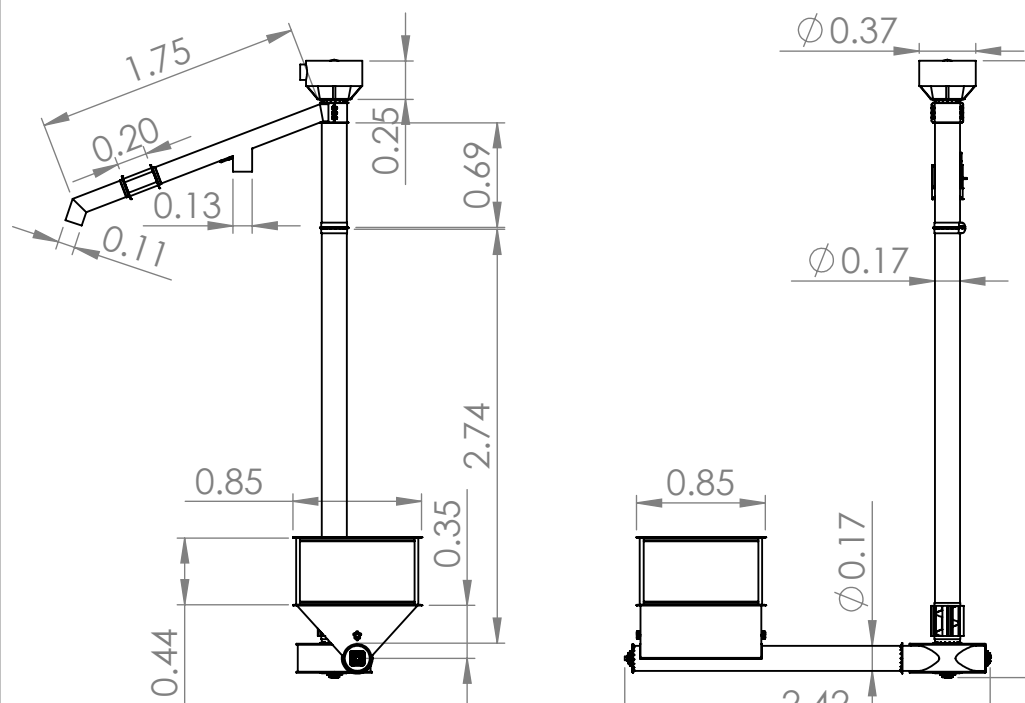
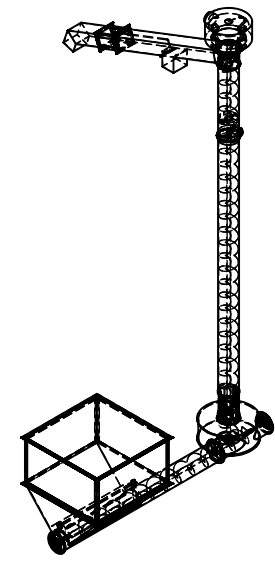
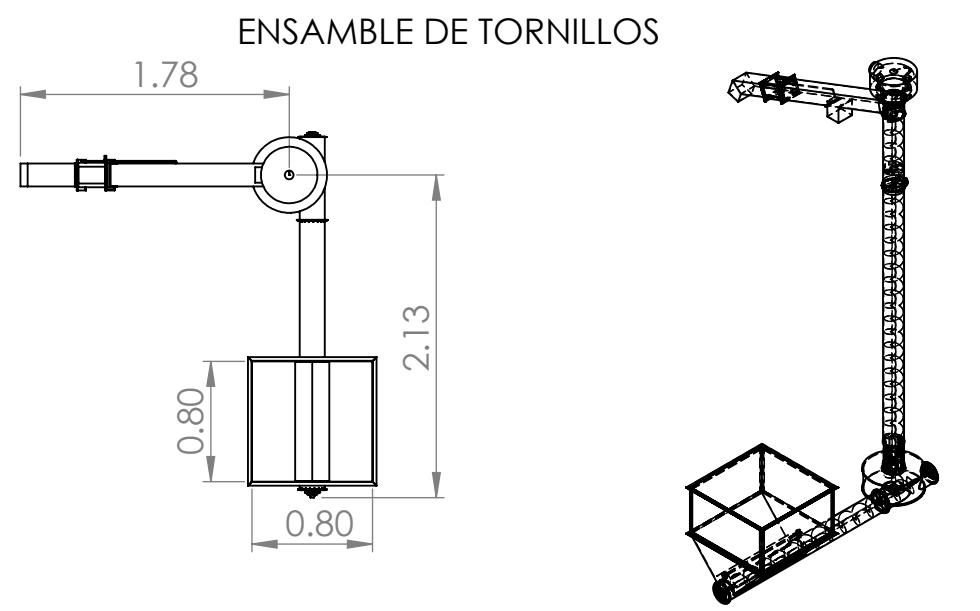
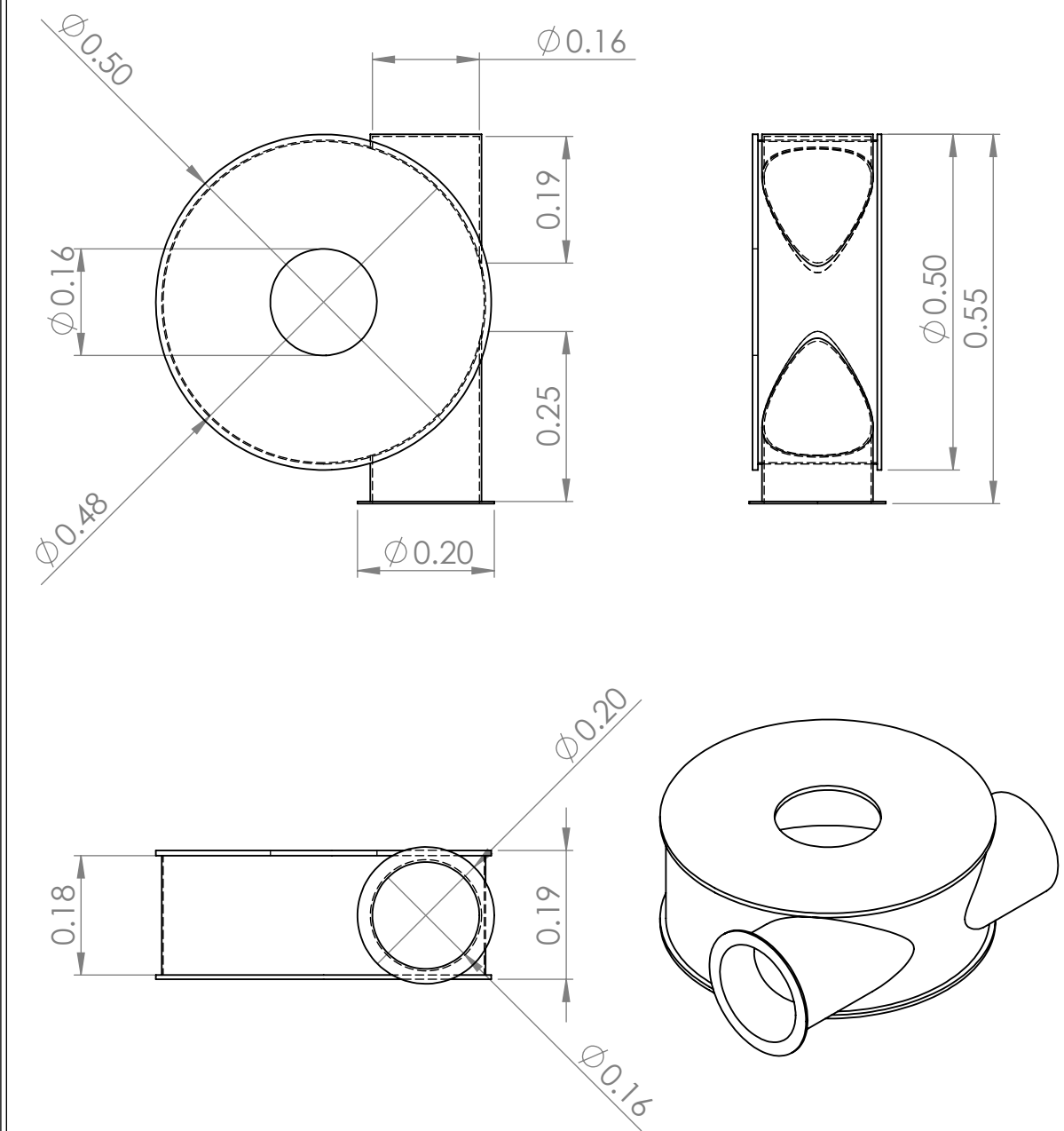


N.º DE ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	LONGITUD	Unidad
1	PERFIL TIPO C 2" x 2" x 1/8"	1	7.24	m
2	PLATINA 2" x 1/8"	2	1.73	m
3	PLATINA 2" x 1/8"	8	0.4	m
4	PLATINA 2" x 1/8"	2	1.74	m
5	PERFIL TIPO C 2" x 2" x 1/8"	4	0.74	m
6	PERFIL TIPO C 2" x 2" x 1/8"	1	7.28	m



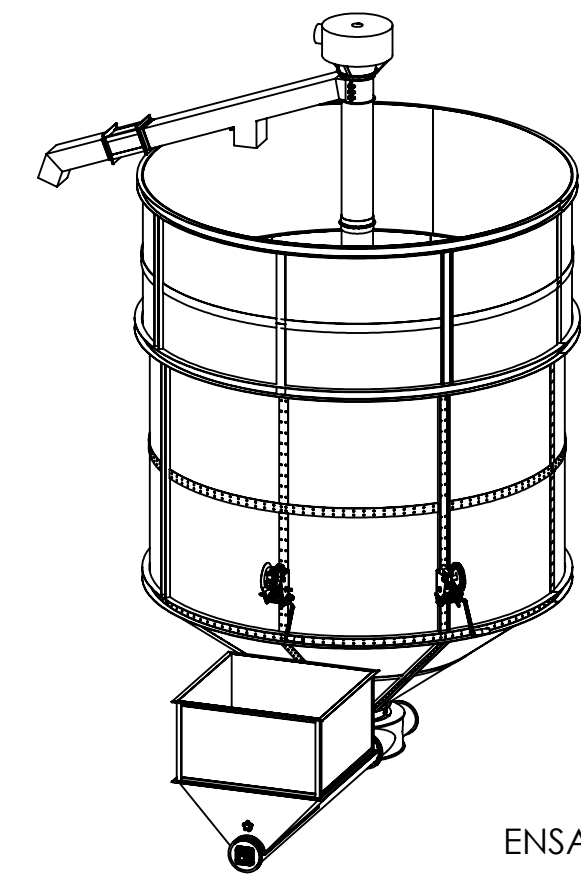
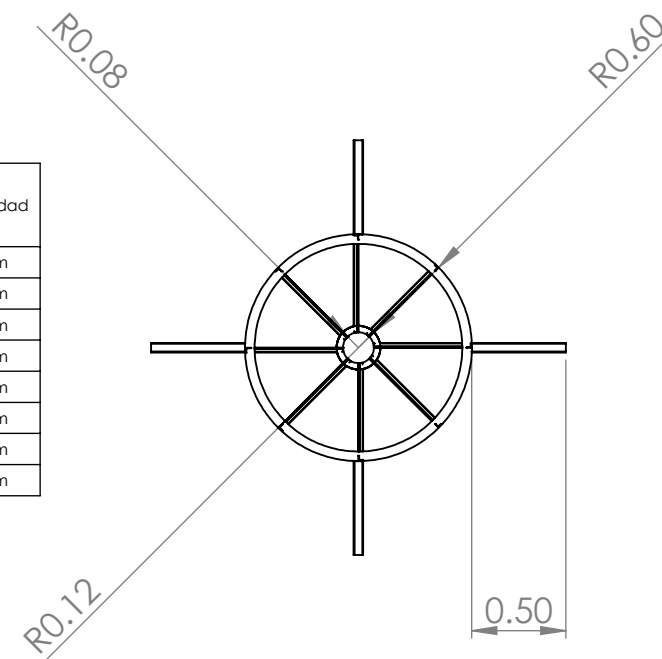
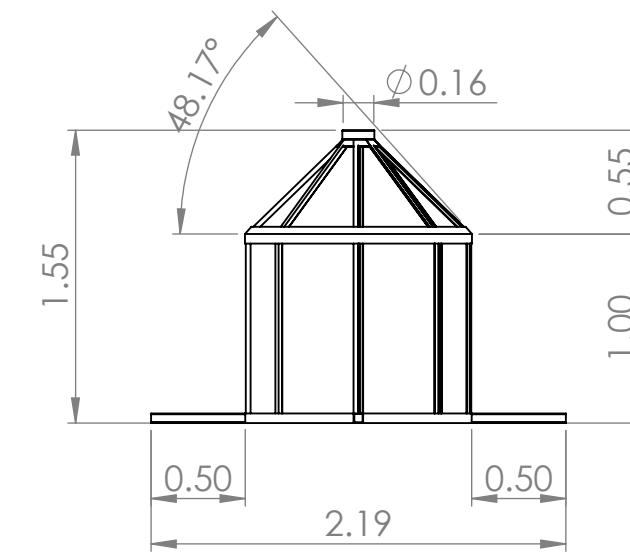
ESTRUCTURA DE SILO PLEGABLE

ACOPLE DE TRONILLOS TRANSPORTADORES



CAMARA DE AIRE CALIENTE

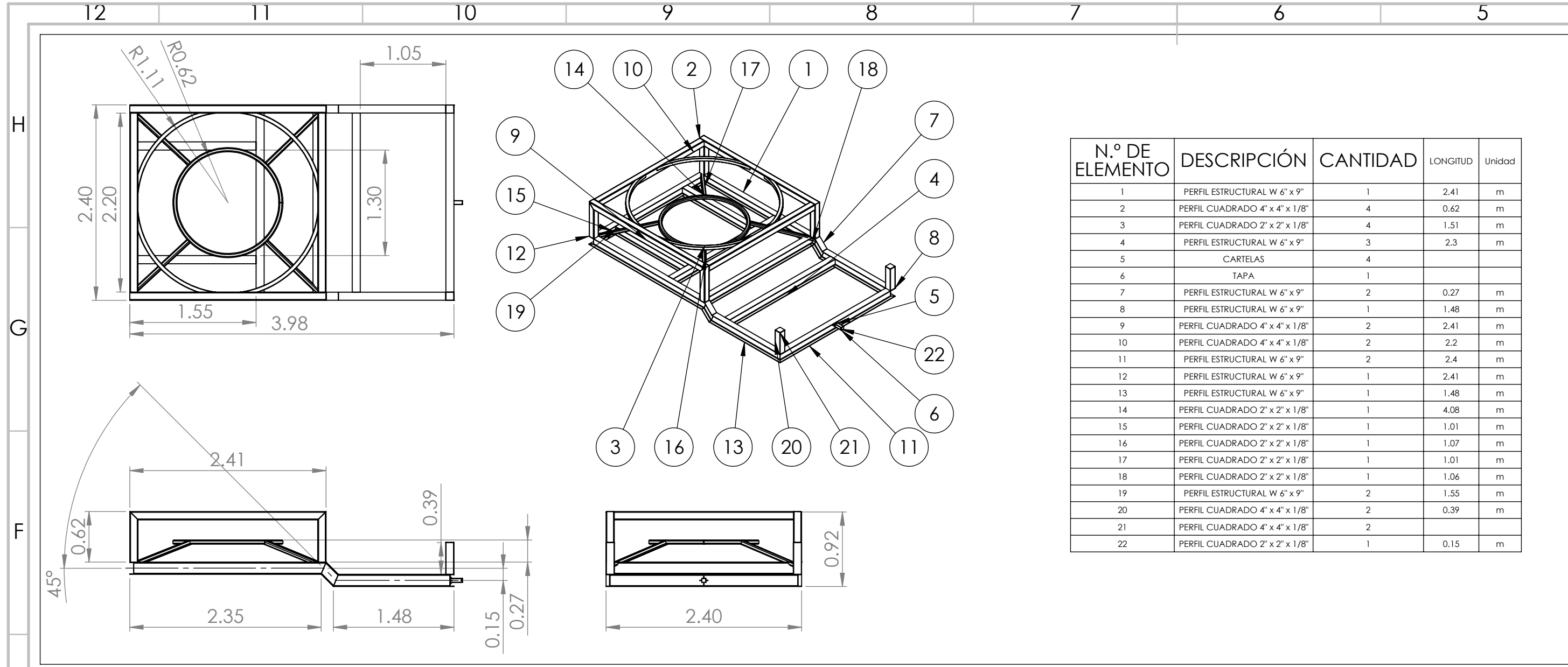
N.º DE ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	LONGITUD	Unidad
1	PERFIL ANGULAR 2" x 2" x 1/8"	1	3.61	m
2	PERFIL ANGULAR 1" x 1" x 1/8"	8	1	m
3	PERFIL CUADRADO 2" x 2" x 1/8"	4	0.5	m
4	PERFIL ANGULAR 2" x 2" x 1/8"	1	3.66	m
5	PERFIL ANGULAR 2" x 2" x 1/8"	1	0.62	m
6	PERFIL ANGULAR 1" x 1" x 1/8"	6	0.72	m
7	PERFIL ANGULAR 1" x 1" x 1/8"	1	0.72	m
8	PERFIL ANGULAR 1" x 1" x 1/8"	1	0.72	m



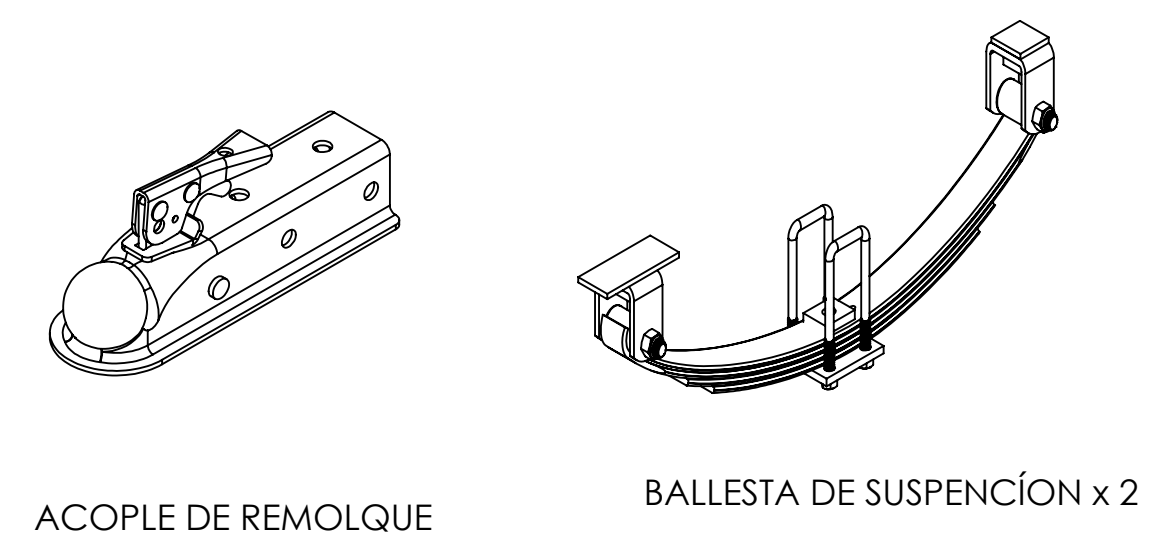
ENSAMBLE DE PARTES

<b>USS</b>			INGENIERIA MECÁNICA ELÉCTRICA		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.	JORGE COTRINA V.	FIRMA	FECHA	TÍTULO: <b>SECADORA DE ARROZ</b>			
VERIF.				N.º DE DIBUJO: <b>PLANO 1</b>			
APROB.				A2			
FABR.				ESCALA:			
CAUD.				HOJA 1 DE 1			



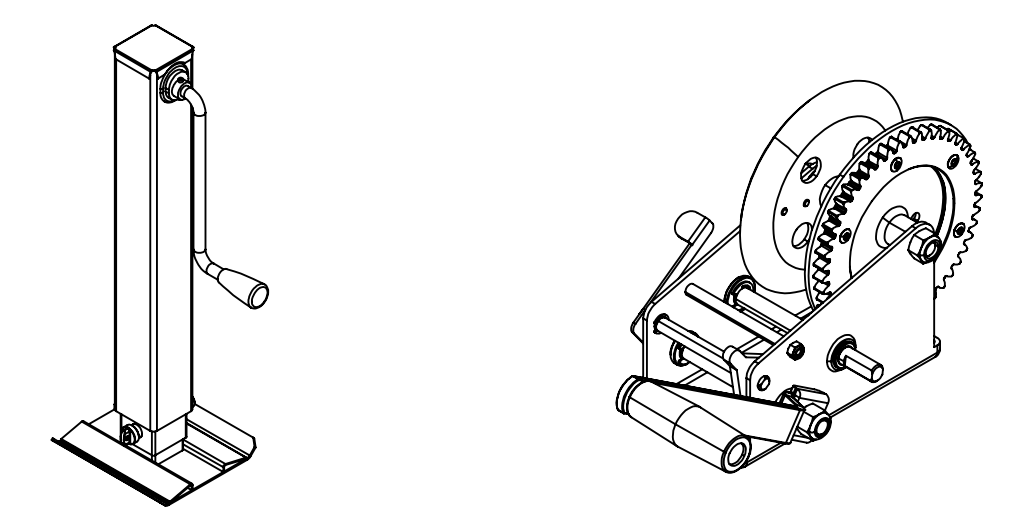


N.º DE ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	LONGITUD	Unidad
1	PERFIL ESTRUCTURAL W 6" x 9"	1	2.41	m
2	PERFIL CUADRADO 4" x 4" x 1/8"	4	0.62	m
3	PERFIL CUADRADO 2" x 2" x 1/8"	4	1.51	m
4	PERFIL ESTRUCTURAL W 6" x 9"	3	2.3	m
5	CARTELAS	4		
6	TAPA	1		
7	PERFIL ESTRUCTURAL W 6" x 9"	2	0.27	m
8	PERFIL ESTRUCTURAL W 6" x 9"	1	1.48	m
9	PERFIL CUADRADO 4" x 4" x 1/8"	2	2.41	m
10	PERFIL CUADRADO 4" x 4" x 1/8"	2	2.2	m
11	PERFIL ESTRUCTURAL W 6" x 9"	2	2.4	m
12	PERFIL ESTRUCTURAL W 6" x 9"	1	2.41	m
13	PERFIL ESTRUCTURAL W 6" x 9"	1	1.48	m
14	PERFIL CUADRADO 2" x 2" x 1/8"	1	4.08	m
15	PERFIL CUADRADO 2" x 2" x 1/8"	1	1.01	m
16	PERFIL CUADRADO 2" x 2" x 1/8"	1	1.07	m
17	PERFIL CUADRADO 2" x 2" x 1/8"	1	1.01	m
18	PERFIL CUADRADO 2" x 2" x 1/8"	1	1.06	m
19	PERFIL ESTRUCTURAL W 6" x 9"	2	1.55	m
20	PERFIL CUADRADO 4" x 4" x 1/8"	2	0.39	m
21	PERFIL CUADRADO 4" x 4" x 1/8"	2		
22	PERFIL CUADRADO 2" x 2" x 1/8"	1	0.15	m



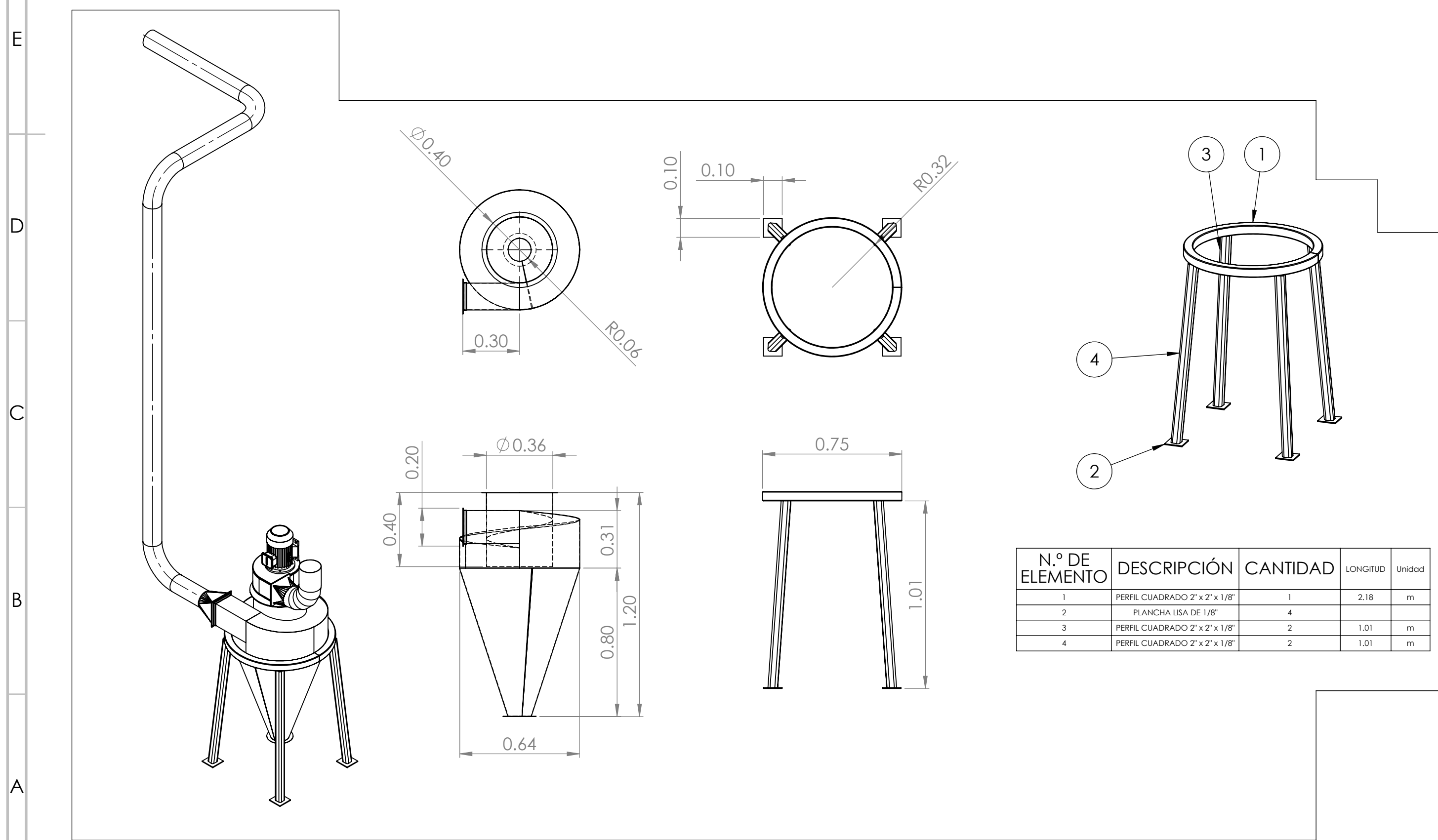
ACOPLE DE REMOLQUE

BALLESTA DE SUSPENSIÓN x 2

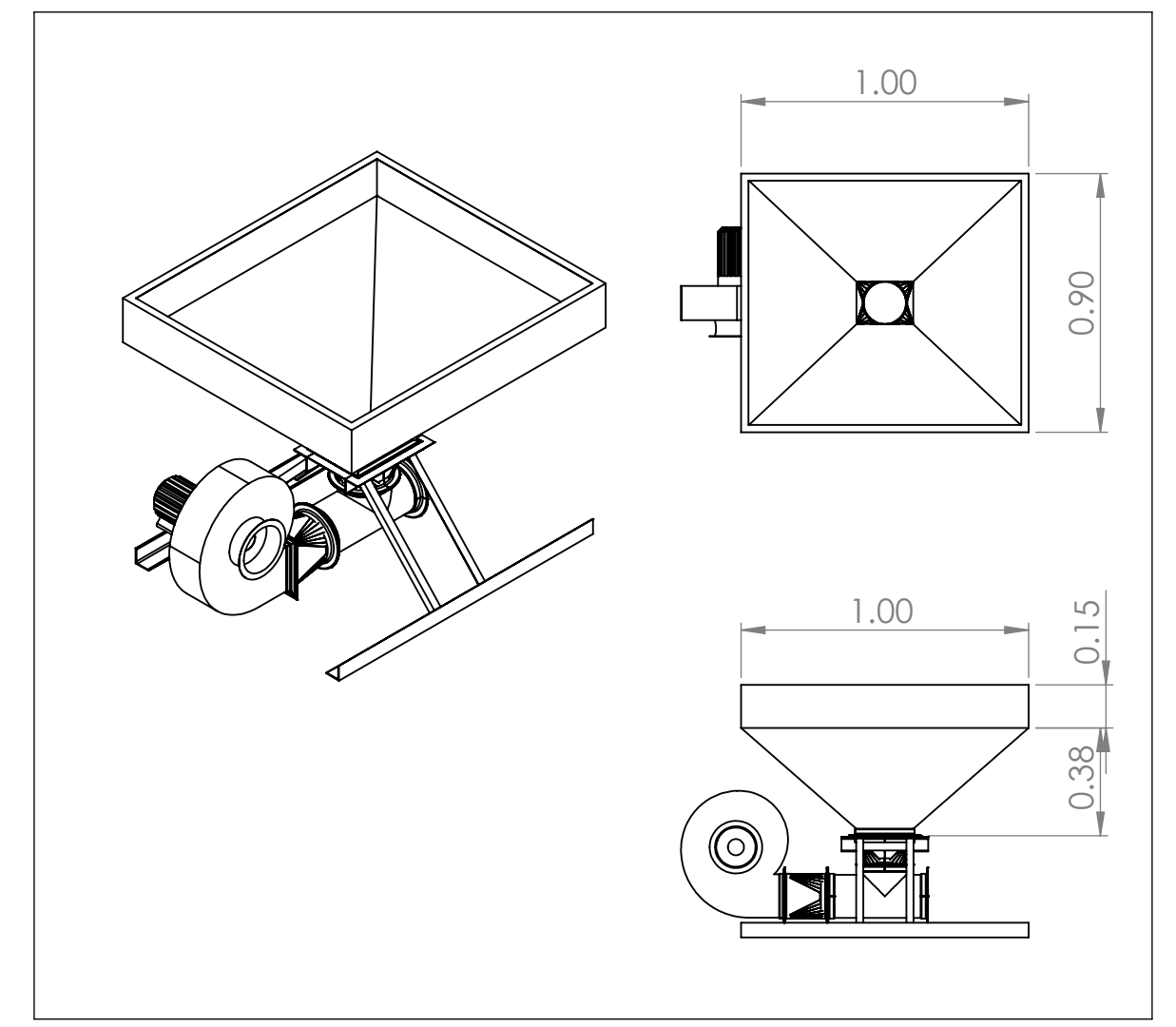


GATO ESTABILIZADOR x 4

CABRESTANTE x 2

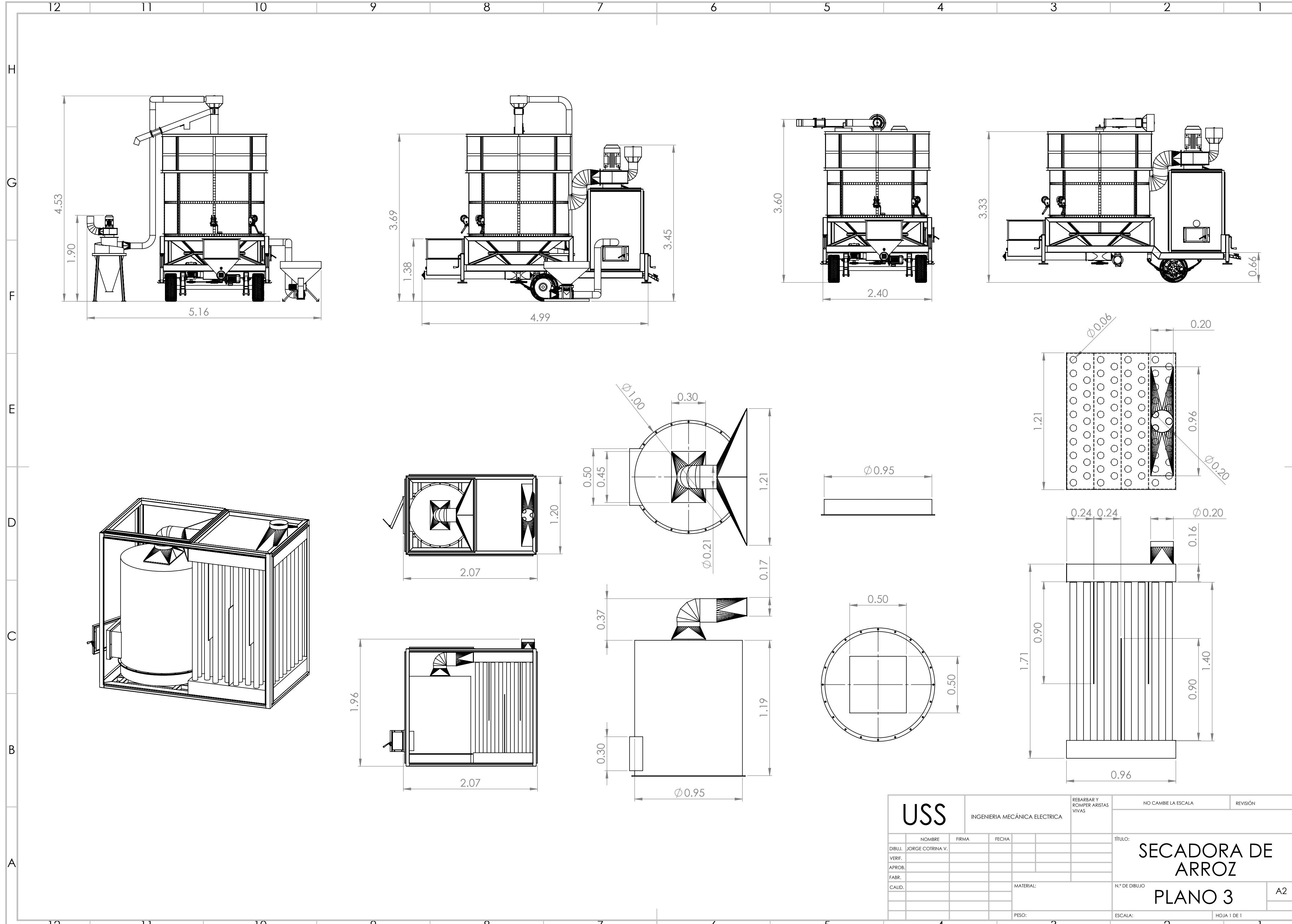


N.º DE ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	LONGITUD	Unidad
1	PERFIL CUADRADO 2" x 2" x 1/8"	1	2.18	m
2	PLANCHA LISA DE 1/8"	4		
3	PERFIL CUADRADO 2" x 2" x 1/8"	2	1.01	m
4	PERFIL CUADRADO 2" x 2" x 1/8"	2	1.01	m



<b>USS</b>	INGENIERIA MECÁNICA ELECTRICA			REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
	NOMBRE	FIRMA	FECHA			
DIBUJ.	JORGE COTRINA V.			TÍTULO:		
VERIF.				<b>SECADORA DE ARROZ</b>		
APROB.				<b>PLANO 2</b>		
FABR.				MATERIAL:	N.º DE DIBUJO	
CALID.				PESO:	ESCALA:	
				HOJA 1 DE 1		A2

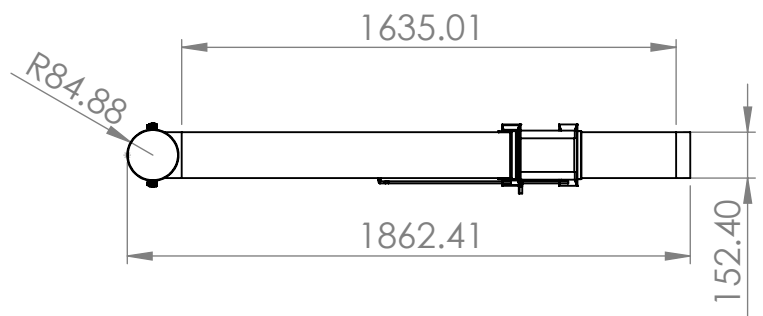
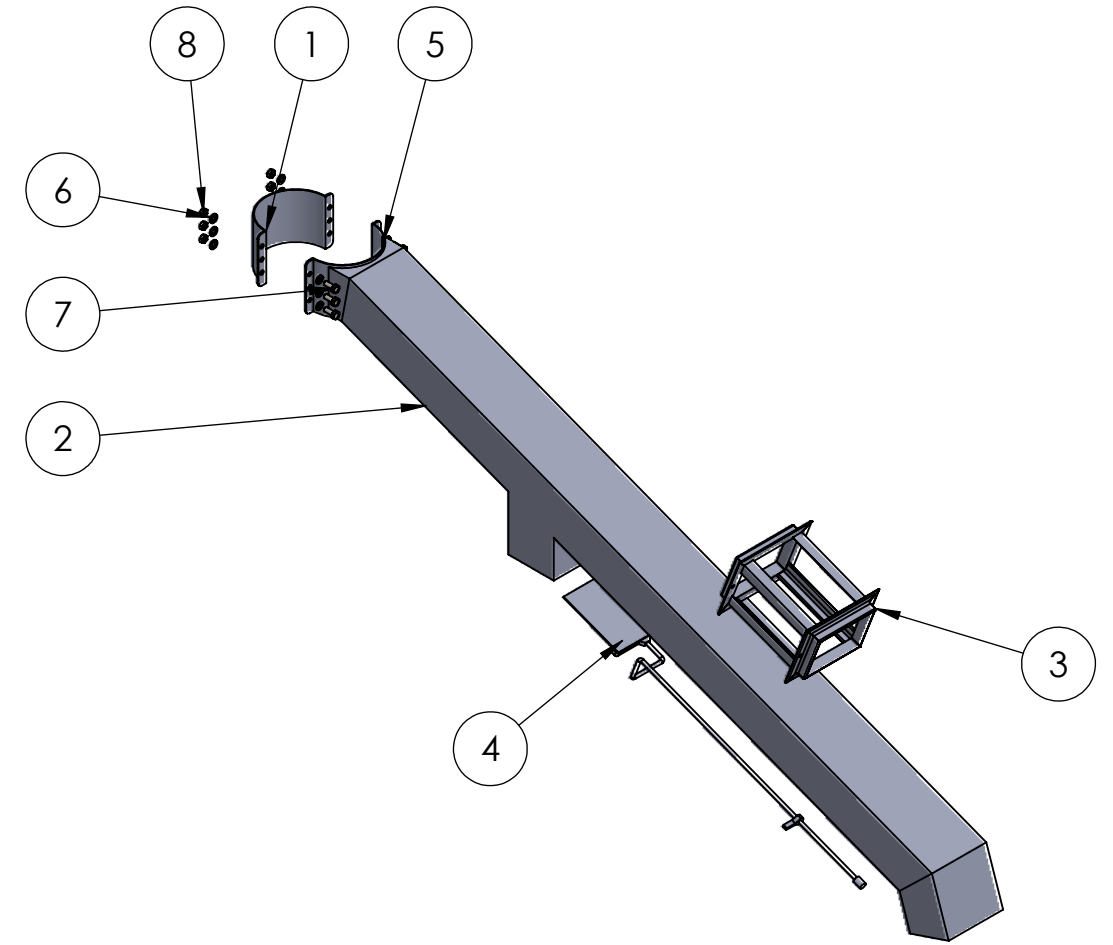
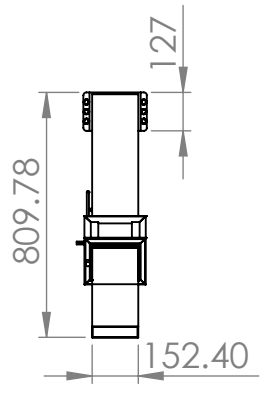
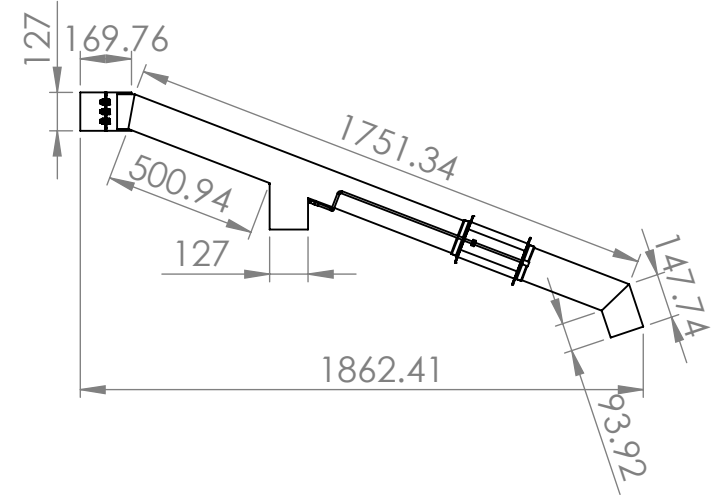




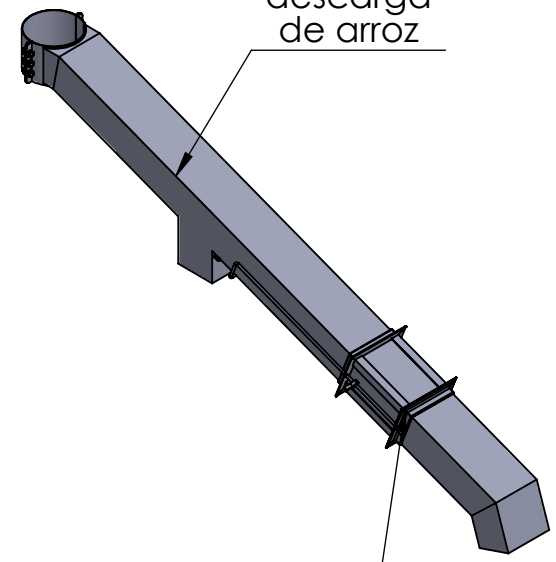
<b>USS</b>			INGENIERIA MECÁNICA ELECTRICA			REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
DIBUJ.		NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:			
VERIF.		JORGE COTRINA V.						SECADORA DE ARROZ			
APROB.								N.º DE DIBUJO		A2	
FABR.								ESCALA:		HOJA 1 DE 1	
CALID.								MATERIAL:			
								PESO:			

8 7 6 5 4 3 2 1

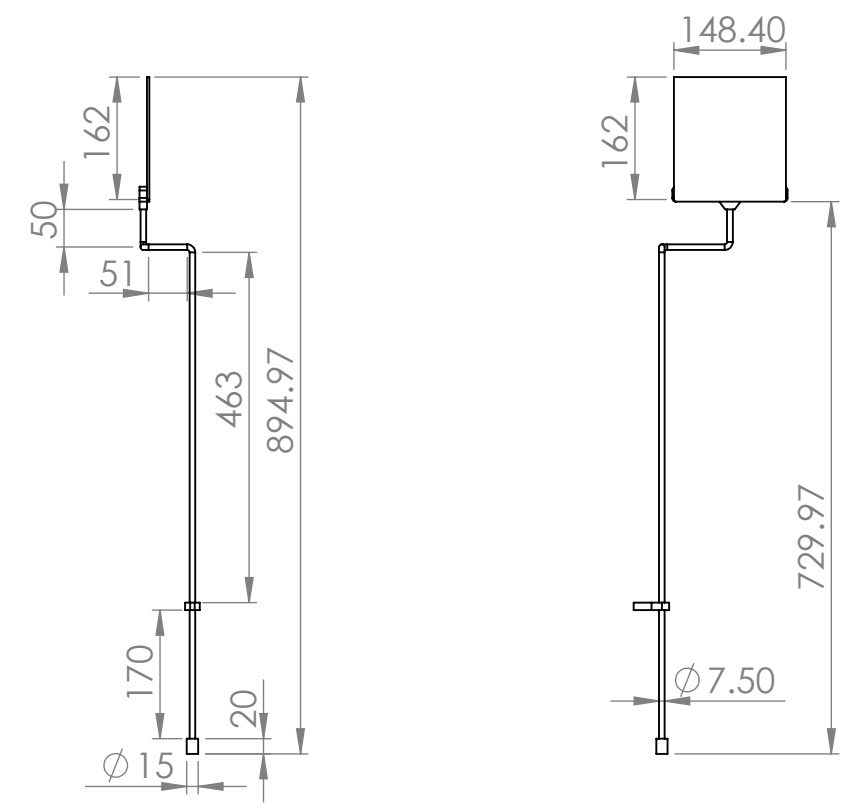
F  
E  
D  
C  
B  
A



Sistema de descarga de arroz



Mecanismo de compuerta



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Acople descarga	1
2	Descarga	1
3	Mecanismo 1	1
4	Mecanismo de descarga	1
5	KS 1324 - M10	6
6	B18.22M - Plain washer, 10 mm, narrow	6
7	B18.2.3.2M - Formed hex screw, M10 x 1.5 x 25 -- 25WN	6
8	MSHXNUT 0.375-16-S-N	6

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: ACABADO: REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS

LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:

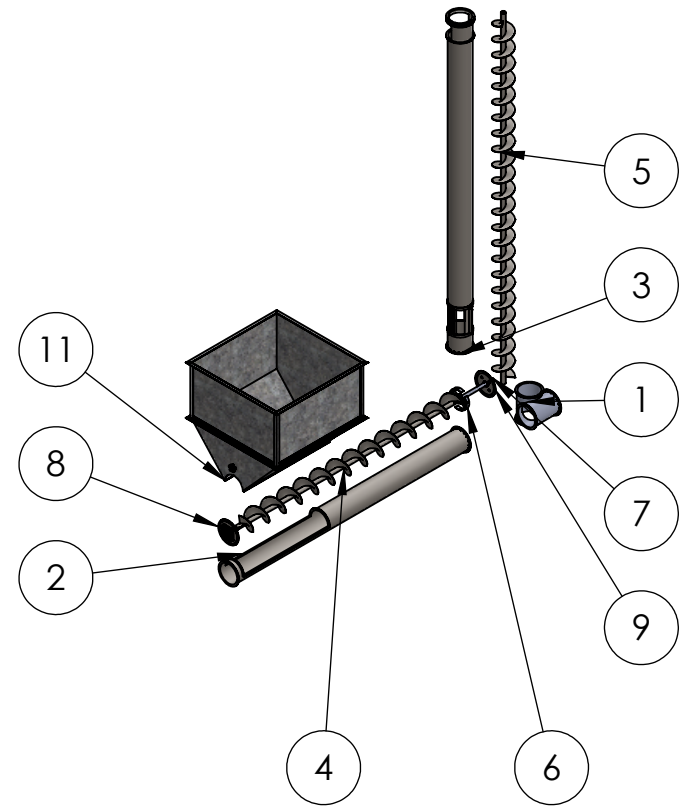
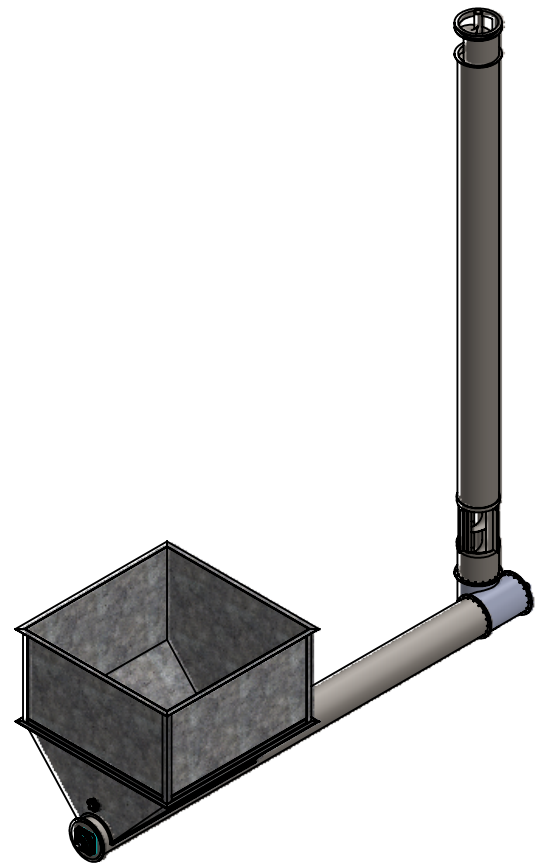
NO CAMBIE LA ESCALA REVISIÓN

NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO:
DIBUJ.			<b>SISTEMA DE DESCARGA</b>
VERIF.			
APROB.			
FABR.			
CALID.			

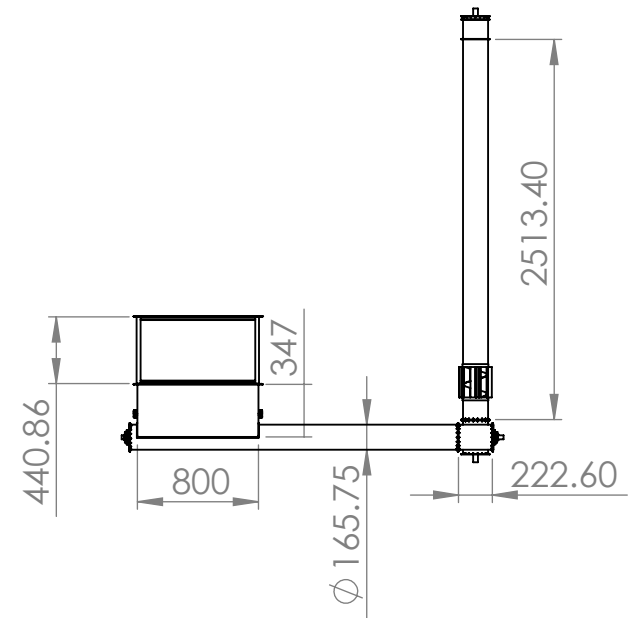
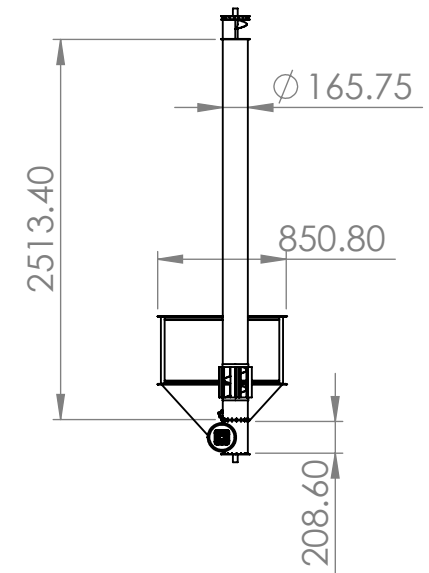
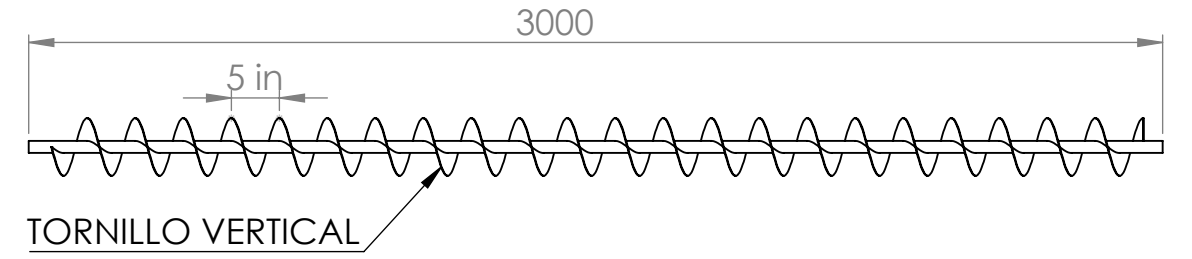
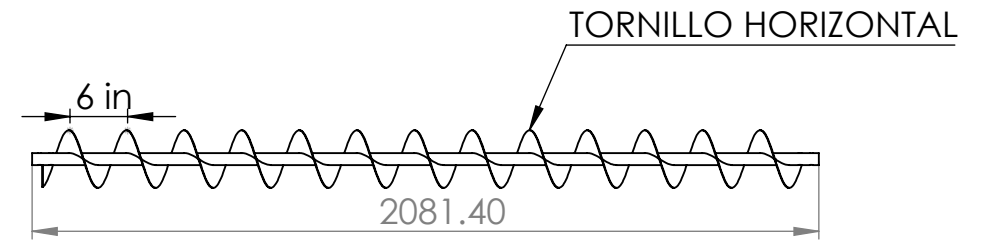
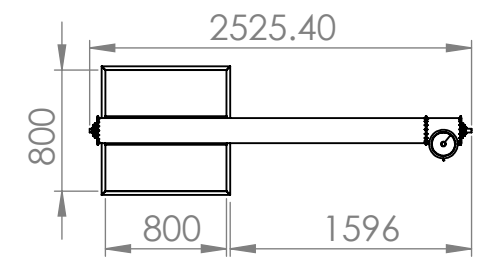
MATERIAL: N.º DE DIBUJO: A3

PESO: ESCALA:1:10 HOJA 1 DE 1

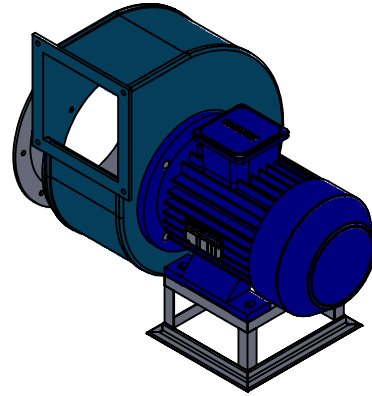
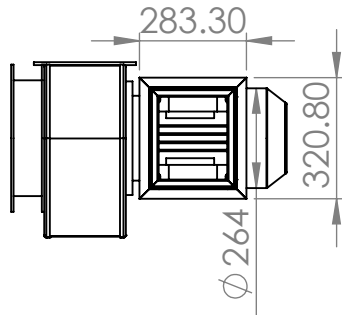
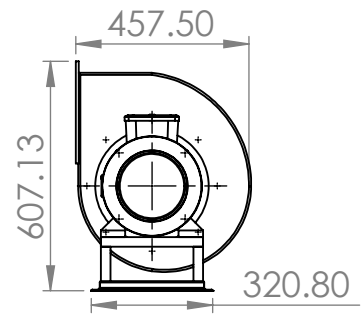
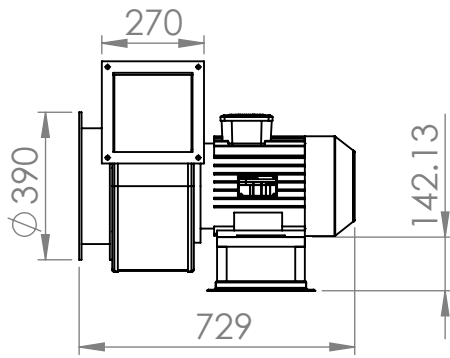
8 7 6 5 4 3 2 1



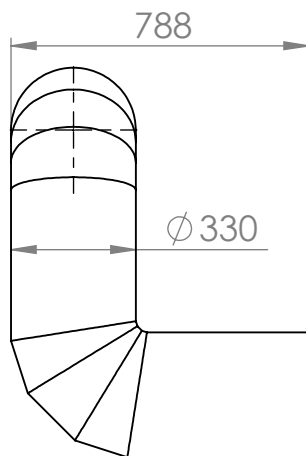
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Cruz_sifin	1
2	Ducto-Horizontal	1
3	Ducto-Vertical	1
4	Tornillo_Horizontal	1
5	Tornillo_Vertical	1
6	Ensamblaje_de_colgante	1
7	Eje 1	1
8	Ensamblaje Tapa1	1
9	Ensamblaje Tapa2	1
10	Eje 2	1
11	Ensamblaje tolva	1



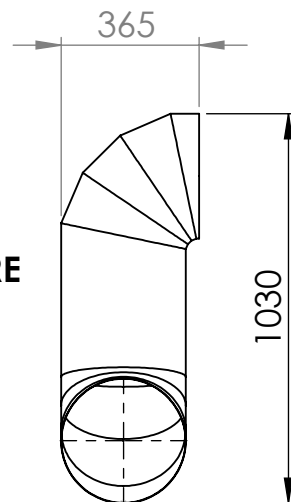
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
DIBUJ.				TÍTULO:		
VERIF.						
APROB.						
FABR.						
CALID.				MATERIAL:		
				N.º DE DIBUJO		
				TRANSPORTADOR SINFIN		
				ESCALA:1:50		
				PESO:		
				HOJA 1 DE 1		



**VENTILADOR CENTRIFUGO**



**DUCTO DE AIRE**



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:  
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM  
ACABADO SUPERFICIAL:  
TOLERANCIAS:  
LINEAL:  
ANGULAR:

ACABADO:

REBARBAR Y  
ROMPER ARISTAS  
VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.			
VERIF.			
APROB.			
FABR.			
CALID.			

TÍTULO:

**VENTILADOR CENTRIFUGO**

N.º DE DIBUJO

A4

PESO:

ESCALA:1:20

HOJA 1 DE 1