



**FACULTAD DE INGENIERÍA ARQUITECTURA Y  
URBANISMO**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ELÉCTRICA**

**TESIS**

**DISEÑO DE UNA MÁQUINA SECADORA DE CAFÉ  
HORIZONTAL ROTATIVA CON CAPACIDAD DE 15  
QUINTALES EN EL DEPARTAMENTO DE  
CAJAMARCA PROVINCIA SAN IGNACIO CENTRO  
POBLADO EL TRIUNFO**

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

**Autores:**

**Bach. Carranza Lizana Daniel Olivier**

**Bach. Mori Quiroz Jean Pierre**

**Asesor:**

**Mg. Alvarado Silva Carlos Alexis**

**Línea de Investigación:**

**Ingeniería de procesos productivos**

**Pimentel - Perú**

**2019**

DISEÑO DE UNA MAQUINA SECADORA DE CAFÉ HORIZONTAL ROTATIVA  
CON CAPACIDAD DE 15 QUINTALES EN EL DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA  
PROVINCIA DE SAN IGNACIO CENTRO POBLADO EL TRIUNFO

---

Bach. Carranza Lizana Daniel  
Olivier  
**AUTOR**

---

Bach. Mori Quiroz Jean Pierre  
**AUTOR**

---

Ing. Alvarado Silva Carlos Alexis  
**ASESOR**

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. Vives Garnique Juan Carlos  
**Presidente del Jurado de tesis**

---

Mg. Gastiaburú Morales Silvia Yvone  
**Secretaria del Jurado de tesis**

---

Mg. Alvarado Silva Carlos Alexis  
**Vocal del Jurado de tesis**

**PIMENTEL – 2019**

## **DEDICATORIA**

*Dedico este trabajo principalmente a Dios por haberme dado la vida y permitirme haber llegado a este momento tan importante de mi vida profesional. A mis padres con su apoyo incondicional, amor y confianza me permitieron que logre culminar mi carrera profesional.*

***Daniel Olivier Carranza Lizana***

*Dedico este trabajo en primer lugar a Dios, por ser el inspirador y darnos fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados. A mis padres, por su cariño, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ellos poder llegar hasta aquí, a cumplir un objetivo, de terminar mi carrera profesional. También dedicar a todos los maestros que me brindaron sus enseñanzas, ser el ejemplo de día a día de superarse y ser unos grandes profesionales.*

***Jean Pierre Mori Quiroz***

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, agradecer a Dios por habernos dado la fuerza y valor para culminar esta etapa de nuestras vidas. A nuestros padres por el apoyo brindado en toda nuestra carrera profesional que sin ellos no hubiera sido posible este logro.

Agradecer a nuestro asesor, el Mg. Carlos Alexis Alvarado Silva, por toda la colaboración brindada durante la elaboración de esta tesis. También hacer mención al Mg. Juan Carlos Vives Garnique por su tiempo, dedicación e incondicional y desinteresado apoyo.

## RESUMEN

En el presente proyecto se detalla el diseño de una máquina secadora horizontal rotativa con capacidad de 15 quintales en la región de Cajamarca, provincia de San Ignacio, Centro Poblado El Triunfo comenzando por la necesidad de secado del grano durante el tiempo de lluvia y el alto costo para adquirir una máquina. Se analizó cada concepto para el diseño con el fin de generar soluciones, luego se definieron los parámetros y características de las potencialidades del diseño para ser evaluadas posteriormente. El diseño es un secador mecánico rotativo con capacidad de 690 Kg y utiliza sus propios desechos orgánicos para la combustión. Este secador consta de las siguientes partes: Cilindro rotatorio, motor eléctrico, caja reductora, estructura de soporte, transportador helicoidal y cámara de combustión. El cilindro es de láminas de acero inoxidable AISI 304 resistente a la corrosión. El motor eléctrico y la caja reductora se conforman en un solo equipo que genera el movimiento del cilindro. La estructura está conformada por perfiles UPN de acero estructural. La cámara de combustión produce el calor y lo mezcla con aire para pasar al interior del cilindro. Finalmente se obtiene los planos de detalles y un manual de mantenimiento y operación. La máquina secadora de café tendrá como beneficio la parte económica, ya que será accesible de bajo costo en comparación a las máquinas secadoras industriales que tienen un costo muy elevado.

**Palabras Claves:** Café, diseño de máquinas, secadora, Calor, reductor, Humedad.

## **ABSTRACT**

This project details the design of a horizontal rotary dryer machine with a capacity of 15 quintals in the Cajamarca region, San Ignacio province, El Triunfo Village Center, beginning with the need to dry the grain during the rainy season and the high Cost to acquire a machine. Each concept for the design was analyzed in order to generate solutions, then the parameters and characteristics of the design potentials were defined for later evaluation. The design is a rotary mechanical dryer with a capacity of 690 kg and uses its own organic waste for combustion. This dryer consists of the following parts: Rotary cylinder, electric motor, gearbox, support structure, helical conveyor and combustion chamber. The cylinder is made of corrosion-resistant AISI 304 stainless steel sheets. The electric motor and the gearbox are made up of a single device that generates the movement of the cylinder. The structure is made up of UPN structural steel profiles. The combustion chamber produces heat and mixes it with air to pass inside the cylinder. Finally, you get the detailed drawings and a maintenance and operation manual. The coffee drying machine will have the economic part as a benefit, since it will be accessible at low cost compared to industrial drying machines that have a very high cost.

**Keywords:** Coffee, machine design, dryer, heat, reducer, humidity.

# **INFORMACIÓN GENERAL**

## SIMBOLOGÍA

$v =$  Volumen específico [ $m^3/kg$ ]

$m =$  Masa del café [ $Kg$ ]

$V_{cilindro} =$  Volumen del cilindro [ $m^3$ ]

$r =$  Radio del cilindro [ $m$ ]

$L =$  Longitud del cilindro [ $m$ ]

$\dot{m}_a =$  Flujo másico de aire

$\dot{Q}_w =$  Calor de vaporización ganado por el café

$n_s =$  Eficiencia de secado

$\dot{m}_w =$  Flujo de masa de agua extraído del café

$CP_w =$  Calor específico vapor de agua

$\Delta T_w =$  Cambio de temperatura, etapa de secado de café

$h_{fg} =$  Entalpia vaporización de agua

$Cp_{a1} =$  Calor específico aire atmosférico

$\Delta T_{a1} =$  Cambio de temperatura, aire de secado

$q_{aprov} =$  Calor aprovechado por el sistema [ $K$ ]

$\dot{m} =$  Flujo másico [ $Kg/s$ ]

$C_p =$  El calor específico del grano del café  $\left[ \frac{KJ}{Kg \cdot K} \right]$

$T_i =$  Temperatura de secado [ $^{\circ}C$ ]

$T_0 =$  Temperatura del medio ambiente [ $^{\circ}C$ ]

$M:$  Contenido de humedad de los granos de café [%]

$\rho =$  Densidad del aire en San Ignacio  $\left[ 1.184 \frac{Kg}{m^3} \right]$

$m_{com} =$  Masa del combustible

$t =$  Tiempo de secado

$\dot{Q} =$  Energía que se debe suministrar al café [ $Kj/s$ ]

$\dot{m}_{com} =$  Flujo masa de combustión [ $Kg/s$ ]

$C_p =$  Capacidad calorífica de la cascarilla del café [ $Kj/KgK$ ]

$\dot{V} =$  Caudal [ $m^3/s$ ]



$V =$  Velocidad del aire [ $m/s$ ]

$\mu =$  Diámetro de la tubería [ $m$ ]

$\nu =$  Viscosidad cinética del aire a  $50^{\circ}C$

$L =$  Longitud de la tubería ( $1m$ )

$V =$  Velocidad del aire [ $\frac{m}{s}$ ]

$V =$  Velocidad del aire [ $\frac{m}{s}$ ]

$L =$  Longitud de la tubería [ $m$ ]

$g =$  Gravedad [ $\frac{m}{s^2}$ ]

$\gamma =$  Peso específico del aire [ $\frac{N}{m^3}$ ]

$\dot{V} =$  Caudal de aire [ $\frac{m^3}{min}$ ]

$M_i =$  Contenido de humedad inicial del café

$\Delta P =$  Caída de presión en secciones distantes [ $\frac{N}{m^2}$ ]

$L =$  Longitud total de la tubería [ $m$ ]

$M =$  Momento [ $N \cdot m$ ]

$I =$  inercia de masas [ $kg / m^2$ ]

$\alpha =$  Aceleración angular

$I_{ci} =$  Inercia del cilindro [ $kg / m^2$ ]

$I_{aletas} =$  Inercia de las aletas [ $kg / m^2$ ]

$I_{café} =$  Inercia de la masa de café [ $kg / m^2$ ]

$L =$  Longitud del cilindro [ $m$ ]

$\rho_{AISI A 36} =$  Densidad del acero [ $7860 kg/m^3$ ]

$D_{ex} =$  Diámetro exterior del tambor [ $m$ ]

$d_{in} =$  Diámetro interior del tambor [ $m$ ]

$L_{barr} =$  Longitud de la barra [ $m$ ]

$d_{barr}^4 =$  Distancia de barra a barra [ $m$ ]

$P =$  Perímetro [ $m$ ]

$d_i$  = Diámetro interior del cilindro[m]

$\rho_{\text{cafe}}$  = Densidad del cafe [ $\text{Kg}/\text{m}^3$ ]

$I_p$  = Momento polar de inercia

$P_{er}$  = *Potencia de los engranajes*[KW]

$Pot_{sm}$  = *Potencia de salida del motoreductor*[HP]

$\eta_{er}$  = *Eficiencia de los engranajes*

$S_F$  = *Factor de Seguridad por fatiga (NORMA AGMA)*

$F_s$  = Factor de seguridad para el eje principal que será de 3

$N^\circ_{vueltas}$  = *Numero de revoluciones por minuto*

$k$  = *Constante de rodamiento*

$V_s$  = Velocidad de la caída de la cascarilla del café[m/s]

$\rho_{\text{aire}}$  = Densidad del aire[ $\text{Kg}/\text{m}^3$ ]

# Índice

|  |    |
|--|----|
| I. INTRODUCCIÓN.....   | 1  |
| 1.1. Realidad Problemática.....  | 1  |
| 1.2. Antecedentes.....   | 2  |
| 1.3. Teorías relacionadas al tema.....   | 3  |
| 1.3.1 El café.....   | 3  |
| 1.3.2 Características físicas de apreciación superficial del café.....             | 4  |
| 1.3.2.1 Altura:.....   | 4  |
| 1.3.2.2 Color:.....  | 4  |
| 1.3.2.3 Humedad:.....  | 4  |
| 1.3.3. Secado del café.....  | 5  |
| 1.3.3.1. Secado en forma natural:.....   | 6  |
| 1.3.3.2. Secado artificial o mecánico:.....  | 6  |
| 1.3.4. Etapas del Proceso para el secado del café.....                             | 7  |
| 1.3.5. Tipos de máquinas secadoras de café.....                                    | 7  |
| 1.3.6. Partes de una Máquina secadora horizontal de café.....                      | 7  |
| 1.3.7. Principio de funcionamiento de la maquina secadora de café.....             | 8  |
| 1.3.8. Tipos de máquinas secadoras cilíndricas horizontales.....                   | 9  |
| 1.3.8.1. Secadora cilíndrica horizontal.....                                       | 9  |
| 1.3.8.2. Secadora cilíndrica vertical Bendig.....                                  | 9  |
| 1.3.8.3. Secadora rotativa Pinhalense.....   | 10 |
| 1.3.9. Diseño de una Máquina secadora de café.....                                 | 11 |
| 1.4. Objetivos.....  | 14 |
| CAPITULO II.....   | 15 |
| II. MATERIAL Y MÉTODOS.....  | 16 |
| 2.1. Población y Muestra.....  | 16 |
| 2.2. Variables de Operacionalización.....  | 16 |
| 2.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad..... | 17 |
| 2.3.1. Instrumentos de recolección de datos.....                                   | 18 |
| 2.3.2. Procedimiento para la recolección de datos.....                             | 18 |
| 2.4. Criterios éticos.....   | 19 |
| 2.5. Principios de rigor científico.....   | 20 |
| CAPÍTULO III.....  | 21 |
| 3. RESULTADOS.....   | 22 |

|   |    |
|---|----|
| 3.1. Necesidades del caserío El Triunfo.....  | 22 |
| 3.2. Especificaciones de Ingeniería.....  | 23 |
| 3.3. Concepto de Diseño Ingenieril y Matriz Ponderada.....                              | 25 |
| 3.3.1. Concepto de diseño.....  | 25 |
| 3.3.1.1. Concepto de Solución A .....   | 25 |
| 3.3.1.2. Concepto de Solución B .....   | 25 |
| 3.3.1.3. Concepto de Solución C .....   | 25 |
| 3.4. Selección de Alternativa Óptima Mediante una Matriz Ponderada. ....                | 26 |
| 3.5. Dimensionamiento del cilindro .....  | 28 |
| 3.6. Cálculo de Tolva .....   | 31 |
| 3.6.1. Cálculo de área del rectángulo.....  | 31 |
| 3.6.2. Cálculo de área del triángulo .....  | 32 |
| 3.6.3. Cálculo de Volumen .....   | 32 |
| 3.6.4. Capacidad de la tolva.....   | 33 |
| 3.7. Cálculo flujo másico y caudal de aire en la operación de secado .....              | 33 |
| 3.7.1. Cálculo flujo másico de aire .....   | 34 |
| 3.7.2. Flujo másico de aire necesario para el proceso de secado.....                    | 37 |
| 3.8. Cálculo de flujo másico en la combustión .....                                     | 38 |
| 3.9. Cálculo de las pérdidas en las tuberías .....                                      | 41 |
| 3.10. SELECCIÓN DEL VENTILADOR.....   | 49 |
| 3.11. CÁLCULO Y SELECCIÓN DEL MOTOR REDUCTOR.....                                       | 51 |
| 3.12. Cálculo de la inercia producida por el café en la cámara de secado .....          | 54 |
| 3.13. Cálculo del momento de torsión.....   | 56 |
| 3.14. Selección del motorreductor.....  | 58 |
| 3.15. Selección de rodamientos para el eje principal .....                              | 69 |
| 3.16. CÁMARA DE COMBUSTIÓN.....   | 73 |
| 3.17. FLUJO DE AIRE CALIENTE SOBRE UNA PLACA PLANA.....                                 | 75 |
| 3.17.1. Capacidad de la tolva en función para la cascarilla de café .....               | 80 |
| 3.18. Cálculo del transportador Sin Fin.....  | 80 |
| 3.19. Diagrama eléctrico de la máquina secadora de café. ....                           | 86 |
| 3.20. Cálculo de la corriente eléctrica (A) para el ventilador. ....                    | 87 |
| 3.21. Cálculo de la corriente eléctrica (A) para el moto reductor. ....                 | 87 |
| 3.22. Cálculo de la corriente eléctrica (A) para el motor del alimentador sin fin... .. | 88 |
| 3.23. Simulación del eje principal de transferencia de calor – Análisis térmico .....   | 88 |

|   |  |     |
|---|--|-----|
| 3.24.   | Diseño final de la maquina secadora de café..... | 89  |
| 3.25.   | Análisis Económico.....                          | 90  |
| 3.26.   | COSTOS DE FABRICACIÓN .....                      | 90  |
| 3.26.1.   | Discusión de resultados .....                    | 94  |
| CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ..... |  | 95  |
| IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....          |  | 96  |
| ANEXOS .....                                      |  | 100 |
| PLANOS.....                                       |  | 134 |

## INDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. Secado en forma natural.....                                     | 6  |
| Figura 2. Secadora de café.....  | 7  |
| Figura 4. Principio de funcionamiento. ....                                | 8  |
| Figura 5. Secadora cilíndrica horizontal.....                              | 9  |
| Figura 6. Secadora cilíndrica vertical Bendig. ....                        | 10 |
| Figura 7. Secadora rotativa Pinhalense. ....                               | 10 |
| Figura 8. Ensamblaje del cilindro rotatorio.....                           | 30 |
| Figura 10. Dibujo de la tolva del cilindro rotatorio.....                  | 31 |
| Figura 11. Diagrama de las tuberías de transferencia de calor.....         | 41 |
| Figura 12. Dibujo de una tubería de transferencia de calor.....            | 44 |
| Figura 13. Ensamblaje del ventilador centrífugo.....                       | 51 |
| Figura 14. Diseño de eje horquillas. ....                                  | 54 |
| Figura 15. Ensamblaje de un motorreductor. ....                            | 60 |
| Figura 16. Dibujo de los engranajes del cilindro rotatorio.....            | 63 |
| Figura 17. Esquema de fuerzas concentradas sobre el eje del cilindro. .... | 64 |
| Figura 18. Diagrama de fuerza cortante en el eje del cilindro.....         | 64 |
| Figura 19. Diagrama de momento flector sobre el eje del cilindro. ....     | 65 |
| Figura 20. Factor de seguridad del eje de transferencia de calor. ....     | 68 |
| Figura 21. Esquema de fuerzas concentradas sobre el eje del cilindro. .... | 68 |
| Figura 22. Diagrama de fuerza cortante en el eje cilindro.....             | 68 |
| Figura 23. Diagrama de momento flector sobre el eje del cilindro. ....     | 68 |
| Figura 24. Diagramas de un rodamiento. ....                                | 69 |
| Figura 25. Diagrama de un rodamiento de aguja.....                         | 72 |
| Figura 26. Ensamblaje de la cámara de combustión. ....                     | 75 |
| Figura 27. Plancha de transferencia de calor.....                          | 76 |
| Figura 28. Dimensiones propias de la tolva de alimentación.....            | 80 |
| Figura 29. Dimensiones propias del transportador sinfin.....               | 82 |
| Figura 30. Diseño preliminar de un motorreductor. ....                     | 85 |
| Figura 31. Diagrama eléctrico de la máquina secadora de café. ....         | 86 |
| Figura 32. Simulación del eje de transferencia de calor.....               | 88 |
| Figura 33. Diseño final de una máquina secadora horizontal de café. ....   | 89 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1. Grados de humedad. ....  | 5  |
| Tabla 2. Resumen de entrevistas del centro poblado El Triunfo. ....                                       | 22 |
| Tabla 3. Criterios de Evaluación. ....  | 26 |
| Tabla 4: Matriz de Selección Ponderada de Configuración ....  | 27 |
| Tabla 5. Densidad aparente de los productos existentes en el mercado. ....                                | 28 |
| Tabla 6. Temperaturas aire, café entrada y salida del secador. ....                                       | 35 |
| Tabla 7. Catálogo para seleccionamiento de ventiladores. ....   | 50 |
| Tabla 8. Catálogo para seleccionamiento de motorreductores. ....  | 59 |
| Tabla 9. Constantes físicas de los materiales. ....   | 63 |
| Tabla 10. Catálogo SKF. ....  | 69 |
| Tabla 11. Características del rodamiento. ....  | 70 |
| Tabla 12. Características del rodamiento. ....  | 71 |
| Tabla 13. Características del rodamiento. ....  | 72 |
| Tabla 14. Velocidad de giro en función al material y diámetro del tornillo. ....                          | 81 |
| Tabla 15. Valores del coeficiente de relleno en función al tipo de carga que transporta el tornillo. .... | 81 |
| Tabla 16. Características de materiales según su flujo másico. ....                                       | 84 |

# **Capítulo I**

# **INTRODUCCIÓN**



## **I. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Realidad Problemática**

El control de la temperatura y velocidad de deshumidificación del grano del café constituyen la fase más importante en el procesamiento del grano con la finalidad de mantener en esta etapa las propiedades del fruto, preservando sus características y calidad. Es importante secar el café inmediatamente después del lavado, ya que su contenido de humedad es muy elevado y puede ser afectado por sobre fermentación, hongos o microorganismos que dañan irremediablemente la calidad del café (Besora, 2012). Existen 3 tipos de secado que se dan mayormente en el Perú.

El secado artesanal se realiza en un área determinada (loza) en donde se esparce el café a secar, cada cierto tiempo, un personal destinado a esta área tiene que estar dándole movimiento. El secado en patios de cementos es el método más utilizado por los agricultores (Cruz, 2010).

El secado tipo iglú consiste en un sistema cerrado hecho con madera y lámina de policarbonato transparente, para la protección ultravioleta UV, con la finalidad de controlar la humedad, la temperatura y otros factores ambientales que ayuda al proceso de secado, aprovechando el resultado generado por la radiación solar (Sánchez & Zavala, 2013).

El secado tipo invernadero, es una estructura de madera a dos aguas o una estructura de tubos de PVC parabólica que su función es hacer un efecto invernadero de secado dentro este recinto, el café en grano verde sin secar es depositado en bandejas de madera con fondo de red de pescador y la disposición del invernadero es dejar pasar la corriente de aire y que salga con extractores, la cubierta es de plástico transparente que hace una función de lupa (radiación) secando el café por este efecto y manteniendo la humedad del grano. (Sánchez & Zavala, 2013).

Existen diferentes tipos de secadora de café, pero la más utilizada por su eficiencia es la secadora horizontal tipo Guardiola (en honor a su inventor). Esta máquina secadora horizontal de café, es rotatoria horizontal de eje hueco y parte de este eje que gira de 2 a 4 rpm, tiene perforaciones en el eje por donde sale el calor y sigue rotando o girando moviendo los granos de café y secándolos paulatinamente, el calor que ingresa por el eje es suministrado por un hogar donde hay un extractor centrífugo y una plancha metálica de

transferencia donde el turbo extractor centrífugo extrae el calor y no el humo o gases de la combustión.

Actualmente en el Perú para adquirir una máquina su precio es elevado y además éstas no existen en nuestro país, la mayoría son exportadas de Brasil, es por ello que pequeñas empresas y productores de café le es difícil adquirir una secadora. Para ello diseñaremos una máquina en menos escala y económica, con un sistema óptimo y eficiente.

La producción de café en el norte del Perú, indica el 43% de producción el que se encuentra en la región Piura, Junín, Huánuco, Pasco, Cajamarca y Ucayali. (Infocafes, 2015).

La región Cajamarca es una zona con una alta producción de café. El presente proyecto será presentado a los agricultores de café del caserío El Triunfo ubicado en la provincia San Ignacio.

El presente proyecto de investigación tiene como objetivo diseñar una máquina para realizar el secado de granos de café teniendo como fuente de combustión la misma cascarilla aprovechando este biocombustible que sale del proceso de despulpado.

## **1.2. Antecedentes.**

Alarcón M. (2010), realizó una propuesta de diseño, para un secador de café gourmet, que aproveche una energía solar sin perjudicar la calidad del grano, mediante el control preciso de deshumidificación y temperatura de secado. Este control evita exponer al grano a condiciones que le puedan restar propiedades deseables o hacer mal uso de la energía o el espacio físico destinado al proceso de secado. Determinó que para desarrollar un buen proyecto de secado se debe construir un sistema de secado capaz de procesar al menos 24 Tn de café, y se necesita un área de 320 m si se secara en patios, pero al utilizar este sistema el área se reduce a 132 metros cuadrados (60 % de área restante), lo que se reflejaría en un aumento de producción. La energía térmica solar disponible es de 18 MJ/m por día, además aprovecha un 58 % más de energía que un proceso de secado convencional en patios. Este proyecto incorpora un colector solar de placa, que realiza un proceso de calentamiento sensible, elevando la temperatura y reduciendo la humedad relativa en un aproximado de 50 %.

Hernández et al. (2013), determinaron las condiciones de trabajo de un secador de café tipo Guardiola que disminuya el consumo de energía (Q) y maximicen la eficiencia térmica del proceso. Se realizó una simulación en el programa Ansys, en donde los resultados mostraron

que la reducción del aire de flujo de masa y las altas temperaturas de aire incrementan el tiempo de secado y el calor generado. Estos resultados confirman que usando altos flujos de aire en masa y las bajas temperaturas del aire son muy eficientes.

Berrueta et al. (2003), dieron a conocer el proceso de la tecnología aprovechando la energía solar, y enseñaron a los campesinos a generar su propia tecnología para el proceso de secado. Para mostrar la nueva tecnología realizaron un proceso participativo de todos los campesinos, luego diseñaron y construyeron un secador solar. Se realizó una investigación con conocimientos y la experiencia de los productores, así como investigaciones y proyectos diversos con secadores solares de otros productos agrícolas. Este secador fue fabricado por los agricultores con la finalidad de realizar innovaciones en el secado de café, considerando su situación económica, el tiempo y recursos de materiales para la fabricación.

Parra et al. (2008), implementaron un programa de simulación para el secado de café pergamino, a través de modelos matemáticos, este programa se usó para hallar las mejores condiciones de operación en los secadores mecánicos existentes y aportar sugerencias para su manejo eficiente, con el fin de producir café pergamino seco que muestra una humedad entre 10 – 12%. Esta programación será necesaria para hallar la eficiencia térmica, el tiempo de secado y el comportamiento del grano durante el proceso. Efectuaron 753 pruebas de simulación, por lo que corresponde por cada tipo de secador 151 simulaciones.

### **1.3. Teorías relacionadas al tema.**

#### **1.3.1 El café.**

El fruto del café consiste en una piel suave, duro externa o pericarpio, generalmente de color verde en frutos inmaduros, que se vuelve rojo-violeta o rojo intenso cuando madura. El pericarpio abarca la pulpa amarillenta, fibrosa y dulce suave o conocida como mesocarpio exterior. (Payel, 2014).

El café es un árbol que crece naturalmente en territorio etíope y que pertenece al grupo de las Rubiáceas. Tiene varios metros de alto, presenta hojas opuestas de tonalidad verdusca, sus flores son blancas y sus frutos se exhiben en baya roja. Su semilla suele medir cerca de un centímetro, siendo plana por una parte y convexa por la otra, con un surco longitudinal. (Pérez & Merino, 2009).

### **1.3.2 Características físicas de apreciación superficial del café**

El análisis físico del café inicia con la determinación de:

#### **1.3.2.1 Altura:**

Se considera a un café de buena calidad cuando se produce a partir de los 1,000 msnm. Esto se debe a que el proceso de formación y maduración de los granos de café es más lento, lo cual da como resultado un desarrollo amplio de las sustancias aromáticas y de una acidez deseable en el café.

#### **1.3.2.2 Color:**

El color sirve como indicio de la altura de procedencia del café. El café de zona alta es de color gris azulado y el café de zona baja es de color verde pálido. Asimismo, el color de los granos brinda información sobre el estado de envejecimiento del café, fresco es de color verde azulado o verde claro y el café viejo de color amarillento a blanqueado.

#### **1.3.2.3 Humedad:**

Para garantizar la calidad del café no se debe pasar del 12% de humedad. Al sobrepasar este porcentaje para el comercio y almacenamiento del café, provoca que: El café pierda rápidamente su característica original de taza, aumente el crecimiento de microorganismos (hongos, bacterias, mohos) y en ciertas actividades fisiológicas de post cosecha (como la respiración). Para realizar la medición de humedad del grano del café se utiliza equipos medidores o evaluadores de humedad. Pero debido a que los equipos de medición tienen un costo elevado que no están al alcance de los productores, existen algunos métodos físicos de comprobación de la humedad tradicional: A través del color y la consistencia del grano.

**Tabla 1. Grados de humedad.**

En la tabla 1 se muestra los diferentes colores con su respectivo contenido de humedad que presenta cada grano de café en su conjunto.

| Color                 | Contenido de humedad (%) |
|-----------------------|--------------------------|
| Gris oscuro           | 16 – 20                  |
| Blanco                | 14 – 15                  |
| Verde gris<br>azulado | 12 – 13                  |
| Verde                 | 10 - 11                  |
| Verde claro           | 9                        |
| Pálido                | 7 - 8                    |
| Pálido<br>Amarillento | Menor de 7               |

*Fuente: Infocafes, 2012*

### **1.3.3. Secado del café.**

La práctica de secado tiene como finalidad disminuir la humedad, después de la etapa de lavado, el café debe estar en un punto comercial aceptado, que reúna las características necesarias para la comercialización. El proceso de secado de café es el más complejo que de cualquier otro grano, después de la etapa del lavado contiene un aproximado de 55% de humedad. Aunque la cápsula del pergamino casi no se modifica, salvo las conocidas grietas en el café de altura; el grano de café oro se reduce para generar una bolsa de aire entre el pergamino y el oro. Para su almacenamiento, el grano de café debe conservar una temperatura entre el 10% y el 12%. (Asociación Natural del café, 2012).

### **1.3.3.1. Secado en forma natural:**

Es un proceso tradicional, en donde el grano de café reúne características importantes, siendo la más resaltante el sabor. El método de secado tradicional es cuando, el café es dispersado en un espacio abierto, expuesto a la radiación solar, el cual tiene que ser removido cada cierto tiempo, hasta que el grano haya perdido entre un 43 y 48% del agua en relación a su peso. Por lo tanto, tienen que pasar hasta 15 días para llegar al nivel óptimo de humedad. Aunque este método es simple y barato tiene diversas dificultades, por ejemplo: requiere características específicas del aire, alto trabajo operativo en el cual el grano de café está expuesto a contaminantes y la lluvia. Existen alternativas al secado en patios para aprovechar mejor la radiación solar: el uso de bandejas o camas africanas dan practicidad al sistema, o mucho mejor, el secado en secadores solares elimina todos los inconvenientes del secado en patios, como se muestra en la Figura 1.



*Figura 1. Secado en forma natural.*

*Fuente: Fuente propia*

### **1.3.3.2. Secado artificial o mecánico:**

Se utilizan flujos de aire generados con un ventilador, en otras palabras, con ventilación forzada. El mismo aire también se puede calentar para tener un secado más eficiente. Su principio de secado, es cuando el calor ingresará a una temperatura máxima de 45°C a 50°C, potenciado por un ventilador para que pueda llegar a todo el café que reposa en mallas de metal dentro de la secadora. Se recomienda realizar el secado luego de que termine el lavado y escurrido, aunque los agricultores eligen secar con la radiación del sol por unas horas y el tiempo restante en la máquina. Por ningún motivo se debe permitir que el grano se humedezca durante el proceso de secado, ni tenerlo más seco de lo debido, ya que si esto

llega a pasar tiende a perder peso, se blanquean incluso generando hongos deteriorando el grano.

#### **1.3.4. Etapas del Proceso para el secado del café**

Este proceso abarca dos etapas fundamentales:

- ✓ La primera etapa se da en la parte externa del grano, donde existe una evaporación constante y se obtiene una creciente difusión de agua en menor tiempo; en esta etapa la humedad disminuye de 55 - 60% a 20-25%.
- ✓ La segunda etapa se realiza en la parte interna del grano donde se disminuye lentamente el contenido de humedad de 20-25% a 10-12% (Boot, 2013).

#### **1.3.5. Tipos de máquinas secadoras de café.**

El secado mecánico está formado por una fuente de calor, un intercambiador, ventilador y un secador. El café es depositado en un piso de malla; para realizar el calentamiento del aire se han fabricado equipos que utilizan la electricidad, carbón y otros insumos como la cascarilla de café (Oliveros & Sanz, 2011).



*Figura 2. Secadora de café.  
Fuente: Insa, 2014*

#### **1.3.6. Partes de una Máquina secadora horizontal de café**

**Alimentador:** Consta de una tolva de recepción para la cascarilla de café y un transportador helicoidal accionada con un motorreductor que transporta el flujo másico de la cascarilla café al hogar del horno.

**Horno o Fuente de Calor:** En este lugar se realiza la combustión de la cascarilla de café o leña, este es un hogar donde se genera el calor que alimentara a la secadora horizontal rotatoria de café, tiene una plancha de transparencia que es la encargada de captar el calor por

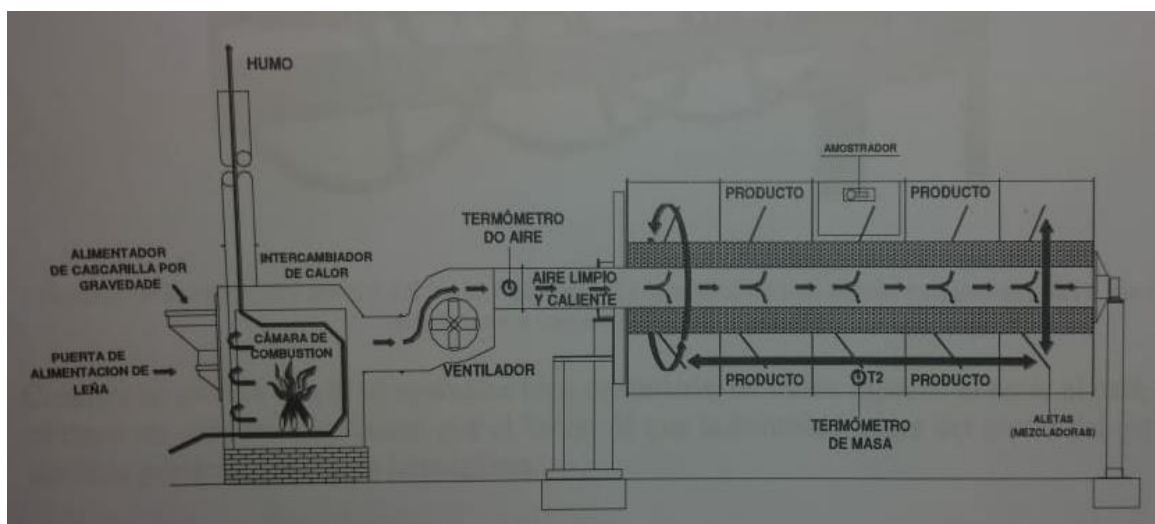
radiación y a la vez es una plancha que sella e impide el ingreso de los gases de la combustión generada por la cascarilla de café.

**Ventilador extractor centrífugo:** Es un sistema integrado que consta de un motor eléctrico, carcasa y rotor que puede extraer flujo másico de aire o suministrar flujo másico de aire, en este caso el ventilador extractor centrífugo extrae el calor direccionándolo hacia el cilindro rotatorio de la máquina secadora de café.

**Cilindro de la máquina secadora de café:** Es donde el flujo másico de granos de café rota de 2 a 4 rpm aproximadamente junto al flujo másico de calor extraído del ventilador centrífugo.

**Motor de la máquina secadora de café:** El motor eléctrico se seleccionará mediante el cálculo con el fin de que éste suministre la potencia eléctrica a través de un torque mecánico al eje y/o transmisión del cilindro rotatorio (Pinhalense, 2005).

### 1.3.7. Principio de funcionamiento de la máquina secadora de café.



*Figura 3. Principio de funcionamiento.*

*Fuente: Pinhalense, 2005*

En la figura 3 se muestra el principio de funcionamiento de la secadora se realiza en el tambor rotativo cilíndrico revestida de una lámina perforada galvanizada. Se inyecta aire caliente, a través de un hogar. Este calor es introducido dentro de la cámara a un dispositivo interno que divide de forma uniforme en toda la superficie longitudinal de la cámara. El eje del cilindro posee una sección transversal en forma de una estrella de cuatro puntas, en cuyas aristas una superficie es lisa y la otra perforada, por donde sale el aire caliente. Éstas además tienen dispositivos mezcladores que proveen un movimiento lateral del producto una vez para la derecha y otra para la izquierda. Posee además mezcladores homogéneos



longitudinales, que permite complementar el movimiento uniforme del producto (Pinhalense, 2005).

### **1.3.8. Tipos de máquinas secadoras cilíndricas horizontales**

#### **1.3.8.1. Secadora cilíndrica horizontal.**

La secadora Bendig tipo Guardiola es la más óptima para el proceso de secado ya que reduce la humedad a un 12 % con bajo volumen de aire. Es fácil de instalar, ya que su mayoría de componentes ya vienen ensamblados de fábrica.

Para el proceso de secado con fuego indirecto el tiempo de secado se estima en 24 horas con oreado y de 26 horas sin oreado. Son alimentadas con aire, calentado por un horno de fuego indirecto que usa como un combustible la cascarilla de café (Bendig, 2007).



*Figura 4. Secadora cilíndrica horizontal.*

*Fuente: Bendig, 2007*

#### **1.3.8.2. Secadora cilíndrica vertical Bendig.**

Las secadoras cilíndricas de esta marca tienen un secado eficiente, uniforme y homogéneo. Es un diseño ergonómico que permite la carga del material por elevador a través de la gravedad y su descarga de los granos no sufre daños.

Con respecto a su uso se recomienda realizar un secado previo de 4 a 12 horas, antes de enviar el café a las secadoras. El tiempo depende de varios factores, entre ellos el porcentaje de humedad y temperatura del aire del medio ambiente. El secado se realiza en una temperatura promedio de 65°C. (Bendig, 2007).



*Figura 5. Secadora cilíndrica vertical Bendig.  
Fuente: Bendig, 2007*

### **1.3.8.3. Secadora rotativa Pinhalense.**

Son las secadoras más utilizadas y recomendadas en la industria cafetalera, por su óptimo rendimiento y eficacia en el secado. Constan de un tambor rotativo fabricada en lámina de acero galvanizado o también de acero inoxidable. Presentan una velocidad apropiada para el secado, también una temperatura y tiempo ideal.

Estas máquinas operan con un sistema de secado por volumen, definido por la capacidad del tambor rotativo. (Pinhalense, 2005).



*Figura 6. Secadora rotativa Pinhalense.  
Fuente: Pinhalense, 2005*

### 1.3.9. Diseño de una Máquina secadora de café.

Para el diseño de la máquina secadora se tomará en cuenta parámetros con respecto a diseño de elementos.

#### 1.3.9.1. 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 ( $P_s$ )

$$\phi = \frac{P_v}{P_s} = \frac{m_v}{m_s} \quad \dots (1)$$

#### 1.3.9.2. Conducción

Es la transferencia 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:

$$\dot{q}_k = -KA \left[ \frac{dT}{dx} \right] \quad \dots (2)$$

Donde:

$\dot{q}_k$  = Flujo de calor por conducción [W]

$A$  = área de la superficie de transferencia de calor [ $m^2$ ]

$K$  = Conductividad térmica

#### 1.3.9.3. Dimensionamientos del cilindro.

Para el dimensionamiento se tendrá en cuenta el volumen de 3000 kg de café que habrá en el cilindro.

$$V_{cilindro} = \pi \cdot r \cdot L \quad \dots (3)$$

Donde:

$r$  = radio del cilindro

$L$  = Longitud del cilindro

#### 1.3.9.4. Selección del motor eléctrico.

Los motores eléctricos convencionales giran a velocidades relativamente altas en comparación con la velocidad que exigen muchos procesos industriales de manufactura. Para disminuir la velocidad proporcionada por el eje del motor se usan reductores mecánicos. Los reductores son un juego de engranajes que permite adquirir una fracción de la velocidad de entrada. Para seleccionar un motor-reductor es necesario conocer el par torsor en el eje y la velocidad con la cual se desea trabajar.

$$I = \frac{1}{2} m(R_1^2 + R_2^2) \quad \dots (4)$$

Donde:

I = Inercia del motor.

M = masa del cilindro.

$R_1^2$  = Radio mayor del cilindro

$R_2^2$  = Radio menor del cilindro.

#### 1.3.9.5. Definición de términos

**Secado:** Es un proceso que tiene como finalidad disminuir la cantidad de humedad obtenida en el grano, hasta aproximadamente un 10% a 12% que es la norma vigente para la distribución de café.

**Guardiola:** Es el diseño de una máquina que lleva el nombre de su creador Josep Guardiola, primer pionero en máquinas secadoras de café.

**Humedad:** Es la cantidad de cualquier líquido presente en el interior o en la superficie de un cuerpo.

**Cascarilla de café:** Es la capa seca que cubre el grano de café.

**Cereza:** Fruto maduro del árbol de café.

**Deshumidificación:** Reducción de la humedad relativa del ambiente de una habitación o un lugar cerrado.

**Eficiencia energética:** Alto rendimiento y consumo inferior de energía para realizar un trabajo o actividad requerida.

**Biocombustible:** Combustible de origen biológico adquirido de manera renovable a partir de restos orgánicos, los cuales proceden normalmente de granos, plantas, etc.

**Densidad aparente:** Es menor que la densidad real ya que su volumen aparente es mayor que el volumen real.

**Fuerza tangencial:** Consiste en aquella fuerza física que posee la misma dirección que el movimiento del cuerpo en el que se aplica, por lo tanto, toda esta fuerza crea energía.

**Torque:** Es una magnitud vectorial que se consigue mediante el punto de aplicación de una fuerza. Dicha fuerza provoca un momento de fuerza y con esto se produce un esfuerzo de torsión.

### **1.5.1 Formulación del problema**

¿Cuáles serán las configuraciones geométricas apropiadas para diseñar una máquina secadora horizontal rotativa de 15 quintales para el Centro Poblado El Triunfo?

### **1.5.2 Justificación del estudio**

El diseño de una máquina horizontal rotativa de café pueda ser más eficiente y económica dejando atrás la forma de secado artesanal, y con esta máquina se pueda ahorrar tiempo y personal, así también el grano se mantendrá en óptimas condiciones con el porcentaje adecuado de humedad. La máquina realizará el secado a través de un cilindro giratorio en el cual se inyectará calor con un ventilador centrífugo que se encargará de atraer el calor generado por un horno.

### **1.5.3 Justificación Técnica**

La máquina secadora de café horizontal rotativa tiene un diseño innovador, con una construcción original a las máquinas ya existentes en la industria cafetera, además no existentes en nuestro país, también se realizarán los cálculos matemáticos.

### **1.5.4 Justificación Económica**

La máquina en mención será más económica y más accesible para pequeñas empresas cafetaleras, las máquinas secadoras de café existentes son extranjeras con un costo muy elevado, además su precio de exportación a nuestro país es costoso.

### **1.5.5 Justificación Social**

Brindar ayuda a través del diseño de una máquina horizontal rotativa de café para poder disminuir el tiempo y el personal y con eso generar una buena calidad para el grano.

### **1.5.6 Justificación Ambiental**

El material que se utilizará en la máquina para generar calor serán las cascarillas de café., con esto se busca disminuir la contaminación, con el fin de no utilizar combustibles fósiles,

además se añadirá un espiral con boquillas aspersor de agua que reducirá la salida del dióxido de carbono el cual se quedará depositado en el horno, y con esto generar material para la fabricación de ladrillos.

### **1.5.7 Hipótesis**

No aplica.

## **1.6 Objetivos**

### **1.6.1 Objetivo General**

Diseñar una máquina horizontal rotativa de capacidad máxima de 15 quintales de café eficiente y rentable para el departamento Cajamarca Provincia San Ignacio Centro Poblado El Triunfo.

### **1.6.2 Objetivos Específicos**

- ✓ Determinar los parámetros de secado según las entrevistas realizadas en el centro poblado El Triunfo.
- ✓ Desarrollar el cálculo mecánico-térmico de la máquina.
- ✓ Realizar un análisis de resistencia de los componentes críticos de la máquina con software
- ✓ Realizar un análisis económico TIR y VAN.

# **CAPITULO II**

## **MATERIAL Y MÉTODOS**

## II. MATERIAL Y MÉTODOS

### 2.1. Tipo y Diseño de Investigación

Tipo: Aplicada

Diseño: Investigación tecnológica.

### 2.2. Población y Muestra

#### 2.2.1. Población

El café secado en el Centro Poblado El Triunfo – Departamento Cajamarca.

#### 2.2.2. Muestra

Es la cantidad del grano que se desea secar.

### 2.3. Variables de Operacionalización.

#### 2.3.1. Variable independiente

Deshumidificación del grano

#### 2.3.2. Variable dependiente

Tiempo de secado

#### 2.3.3. Caja negra para variables

La función de la máquina secadora de café se representa mediante una caja negra, por tanto, tenemos en cuenta dos magnitudes de entrada y de salida.





### 2.3.4. Operacionalización de variables

| <b>Variable Independiente</b> | <b>Dimensiones</b>                        | <b>Indicadores</b>   | <b>Técnicas de recolección de datos</b>   |
|-------------------------------|---|--|---|
| Deshumidificación del grano   | Geometría de diseño:<br>Sistema mecánico. | Estándares nacionales e internacionales:<br><br>Porcentaje | Observación y análisis de investigaciones |
| Temperatura de secado         | Geometría de diseño:<br>Sistema mecánico. | Estándares nacionales e internacionales:<br><br>Centígrado | Observación y análisis de investigaciones |

| <b>Variable dependiente</b> | <b>Dimensiones</b>  | <b>Indicadores</b>                                    | <b>Técnicas de recolección de datos</b> |
|-----------------------------|---|---|---|
| Tiempo de secado            | Geometría de diseño:<br><br>Movimiento rotatorio del cilindro | Estándares nacionales e internacionales:<br><br>Horas | Encuestas e información recopiladas     |
| Calor de secado             | Geometría de diseño:<br><br>Movimiento rotatorio del cilindro | Estándares nacionales e internacionales:<br><br>Joule | Encuestas e información recopiladas     |

## 2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

### 2.4.1. Técnica de recolección de datos, validez y confiabilidad

Con el propósito de hacer un trabajo de investigación óptimo, usaremos técnicas de recolección de datos que ayudarán a conseguir información importante para nuestro proyecto. Las técnicas que se van a emplear son:

✓ **Observación:** Realizaremos visitas técnicas al Centro Poblado El Triunfo y veremos el proceso de secado que se realiza, y de esto sacar parámetros y datos que irán en el diseño de la máquina secadora de café.

✓ **Encuesta:** Consiste en conseguir información necesaria, a través de una encuesta que realizaremos a los agricultores de café de la localidad, y así será más fácil la recolección de algunos datos necesitaremos, y tomar en cuenta sus opiniones acerca del proceso de secado y la situación actual del secado.

✓ **Información Bibliográfica:** Recopilar distintas fuentes bibliográficas como papers, normas, libros, revistas, internet, etc., con la finalidad de diseñar la máquina.

✓ **Guía de observación:** Se realizará ésta guía para determinar las especificaciones de la maquina secadora de café, con el fin de examinar y analizar el correcto funcionamiento, esta guía se realizará en el Centro Poblado El Triunfo.

✓ **Encuestas:** Se realizará diferentes preguntas a los agricultores de café del Centro Poblado El Triunfo con experiencia en el secado de café con el propósito de recopilar data suficiente para el diseño de la máquina. El modelo de la encuesta se pude visualizar en el Anexo 1.

#### **2.4.2. Instrumentos de recolección de datos.**

- Entrevista
- Encuestas

#### **2.4.3. Procedimiento para la recolección de datos.**

*Etapa 1: Elaboración de la entrevista.* Se elaborará preguntas a los habitantes del caserío el Triunfo detallando todos los aspectos que necesitan para realizar un buen secado en un mínimo tiempo.

*Etapa 2: Determinación del cronograma de la entrevista.* Se especifica las fechas para la aplicación de la entrevista a los habitantes del caserío El Triunfo.

*Etapa 3: Ejecución de la entrevista.* Se realizará la entrevista a los habitantes del caserío El Triunfo para obtener las necesidades en el diseño de la máquina secadora de café.

*Etapa 4: Identificación de la problemática de los habitantes del caserío El Triunfo.* Se identifica las necesidades del centro poblado El Triunfo para tener en cuenta para un futuro diseño de la máquina secadora horizontal rotativa de café.

*Etapa 5: Recomendaciones de diseño de trabajos anteriores.* Se usa recomendaciones de las especificaciones dimensionales y funcionales de los diseños de trabajos anteriores.

*Etapa 6: Normas, Catálogos y libros de máquinas con la misma función.* Se utilizarán normas, fórmulas, catálogos para la selección de algunos componentes y códigos referentes al diseño de máquinas que sirven como guía para el desarrollo del proyecto.

## **2.5. Criterios éticos**

Para la elaboración de este proyecto se considerarán bajo el Código de Ética del Colegio de Ingenieros del Perú (CIP, 1999) (*ver anexo N° 2*) y el Código de Ética de Investigación de la Universidad Señor de Sipán (USS, 2018).

### **2.5.1. Código de Ética del Colegio de Ingenieros del Perú (CIP)**

Este documento (*ver Anexo N° 3*) nos dará a conocer los principios éticos que debe conocer todo ingeniero en todo lo que ha visto a lo largo de su formación profesional.

“Art. 1 – los ingenieros están al servicio de la sociedad. Por consiguiente, tienen la obligación de contribuir al bienestar humano, dando importancia primordial a la seguridad y adecuada utilización de los recursos en el desempeño de sus tareas profesionales.”

“Art. 4 – los ingenieros reconocerán que la seguridad de la vida, la salud, los bienes y el bienestar del país de la población y del público en general, así como el desarrollo tecnológico del país depende de los juicios, decisiones incorporados por ellos o por su consejo, en dispositivos, edificaciones, estructuras, máquinas, productos y procesos. Por ninguna razón pondrán sus conocimientos al servicio de todo aquello que afecte la paz y la salud.”

“Art – 5 los ingenieros cuidarán que los recursos humanos, económicos, naturales y materiales, sean racional y adecuadamente utilizados, evitando su abuso o dispendio,

respetarán y harán respetar las disposiciones legales que garanticen la preservación del medio ambiente.”

### **2.5.2. Código de Ética de Investigación de la Universidad Señor de Sipán (USS)**

El presente documento nos da a conocer todos los pasos a seguir para realizar nuestra investigación universitaria (*ver Anexo N° 4*), aquí se detalla todos los principios éticos del uso de información, anti plagios y las sanciones ante ella. Sus primeros artículos mencionan lo siguiente:

“Art. 1 – finalidad: El Código de Ética de Investigación de la Universidad Señor de Sipán (USS), tiene como finalidad proteger los derechos, la vida, la salud, la intimidad, la dignidad y el bienestar de la(s) persona(s) que participan en una actividad de investigación Científica, Tecnológica e innovación, ciñéndose a los principios éticos acogidos por la normativa nacional e internacional, y los acuerdos suscritos por nuestro país en la materia.”

“Art. 3 – alcance: El presente código de ética de investigación es de cumplimiento obligatorio para todas las autoridades académicas, administrativas, docentes, estudiantes, egresados y administrativo de la Universidad Señor de Sipán.”

## **2.6. Principios de rigor científico**

Para este proyecto de investigación se tendrá como base los criterios de validez, generalización, fiabilidad y replicabilidad.

**2.6.1. Validez:** Se hará el análisis adecuado al momento de escoger las variables relativas y relacionadas al problema de investigación.

**2.6.2. Generalización:** Se planeará y ejecutará adecuadamente la información extraída de las entrevistas.

**2.6.3. Fiabilidad:** Cuando se obtengan las medidas se verificará que éstas correspondan a una metodología científica y meticulosa.

**2.6.4. Replicabilidad:** Los protocolos y procedimientos que se llevarán a cabo estarán guiados a simplificar la repetición experiencial con la finalidad de animar la contrastación de resultados en trabajos de investigación posteriores.

# **CAPÍTULO III**

# **RESULTADOS**

### III. RESULTADOS.

#### 3.1. Necesidades del caserío El Triunfo.

Las necesidades del caserío El Triunfo para realizar el secado de café, se determinaron mediante encuestas realizadas a los agricultores de la zona, la entrevista nos ayudara para obtener todos parámetros necesarios para el diseño de la máquina.

Las observaciones más resaltantes inferidas de cada respuesta y las entrevistas pueden apreciarse en la Tabla 2. En el Anexo N° 01 se encuentra el formato que se le aplicó a cada agricultor del centro poblado El Triunfo.

**Tabla 2. Resumen de entrevistas del centro poblado El Triunfo.**

| <b>Preguntas</b>  | <b>Rosas Segovia Paredes</b>            | <b>Gilmer Lizana Linares</b>                                 | <b>Elena Lizana Linares</b>                  | <b>David Lizana Linares</b>               |
|---|---|--|--|---|
| 1. ¿Cuál es su producción de café al año?                         | 40 quintales.                           | 40 quintales.  | 42 quintales.                                | 41 quintales.                             |
| 2. ¿Qué método de secado utiliza?                                 | Carpas solares, bandejas de secado.     | Carpas solares, mallas.                                      | Bandejas de secado, mallas.                  | Mallas, bandejas de secado.               |
| 3. ¿Qué tipos de secado usted conoce?                             | Secado solar.                           | Secado solar.  | Secado solar.                                | Secado solar.                             |
| 4. ¿Qué cantidad y tiempo realiza el secado?                      | Tres quintales en cuatro días.          | Tres quintales en 3 días.                                    | Tres quintales en cuatro días.               | Tres quintales en tres días.              |
| 5. ¿Cuál es el porcentaje de humedad que se requiere en el grano? | 12%                                     | 12%  | 13%  | 13%                                       |
| 6. ¿Por qué es importante el secado en su producción?             | Permite conservar la calidad del grano. | Para no maltratar el grano y tenerlo en óptimas condiciones. | Permite obtener un buen aroma y rendimiento. | Para evitar la pérdida de peso del grano. |
| 7. ¿Qué otros problemas se presentan para el secado de café?      | Cambios de clima fortuitos.             | Contaminación ambiental.                                     | Cambios de clima fortuitos.                  | Contaminación ambiental.                  |
| 8. ¿Cómo se da cuenta usted cuando el grano ya está seco?         | Costumbre de masticar el grano.         | Utilizando un probador de humedad.                           | Utilizando un probador de humedad.           | Costumbre de masticar el grano.           |

|   |                                    |   |                                    |   |
|---|------------------------------------|---|------------------------------------|---|
| 9. ¿Cuál es el beneficio de un buen secado de café?   | Tener un buen rendimiento y aroma. | Obtener una calidad muy buena del café. | Tener un buen rendimiento y aroma. | Obtener una calidad muy buena del café. |
| 10. ¿Conoce usted de las máquinas secadoras de café?  | Si                                 | Si                                      | Si                                 | Si                                      |
| 11. ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por una máquina secadora de café?                             | S/. 20 000                         | S/. 20 000                              | S/. 20 000                         | S/. 20 000                              |
| 12. ¿Conoce sobre las asociaciones agropecuarias que brinda una ayuda económica a los agricultores? | Si                                 | Si                                      | Si                                 | Si                                      |

### 3.2. Especificaciones de Ingeniería

Para empezar nuestro diseño hemos establecido los parámetros que debe cumplir con las funciones que debe ejecutar la máquina y que serán los que darán forma y dimensión a los diferentes mecanismos de que está compuesta.

Estos parámetros deben comprender aspectos relacionados con el dimensionamiento, tipo de energía que utiliza, materiales usados para su montaje, transporte y construcción de la máquina, etc.; que nos ayudan a escoger las mejores alternativas de solución para llevarnos a definir un diseño que cumpla lo que se requiere.

A continuación, presentamos en la Tabla 3 los diferentes parámetros ordenados de forma que empiecen de lo más básico a lo más complejo en cuanto a exigencia se refiere.

**Tabla 3. Parámetros de la máquina secadora de café.**

| <b>PROYECTO</b> |                                    | <b>DISEÑO DE UNA MÁQUINA SECADORA DE CAFÉ HORIZONTAL ROTATIVA CON CAPACIDAD DE 15 QUINTALES EN EL DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA PROVINCIA SAN IGNACIO CENTRO POBLADO EL TRIUNFO.</b>                                    |
|-----------------|------------------------------------|---|
| <b>N°</b>       | <b>DESEO (D)<br/>EXIGENCIA (E)</b> | <b>DESCRIPCIÓN</b>  |
| 1               | E                                  | <b>Función Principal:</b><br>Secar el grano de café.<br>Realizar un buen secado para el tostado de café.  |
| 2               | E                                  | <b>Geometría:</b><br>Tener un diseño de acuerdo a la capacidad de secado.   |
| 3               | E                                  | <b>Energía:</b><br>Se utilizará energía eléctrica que lo suministrará un motor eléctrico.   |
| 6               | D                                  | <b>Materia:</b><br>Para su construcción deben usarse materiales con buenas propiedades de dureza, resistencia y tenacidad, además que no contaminen el ambiente.<br>La máquina solo debe ser usada para secar café. |
| 7               | E                                  | <b>Señales:</b><br>La máquina debe contar con las instrucciones de uso y las respectivas señales de seguridad.  |
| 8               | E                                  | <b>Seguridad:</b><br>Debe contar con dispositivos de seguridad para evitar accidentes.  |
| 9               | D                                  | <b>Ergonomía:</b><br>El operario debe ser capaz de suministrar la cantidad necesaria para evitar algún inconveniente con la máquina.  |
| 10              | E                                  | <b>Control:</b><br>Se deben controlar todas las etapas de fabricación de la máquina según las normas correspondientes.  |
| 11              | E                                  | <b>Montaje:</b><br>Debe ser montado y desmontado por un personal capacitado.  |
| 12              | D                                  | <b>Transporte:</b><br>Debe tener un peso y forma adecuada de tal manera que su transporte y manipulación durante su instalación no sean complicadas.  |
| 13              | E                                  | <b>Uso:</b><br>La máquina puede ser usada en cualquier lugar.   |
| 14              | E                                  | <b>Mantenimiento:</b><br>La máquina debe tener un acceso fácil a sus componentes.<br>Las piezas de recambio deben de ser de fácil adquisición.<br>Debe tener protección contra la corrosión.                        |



### **3.3. Concepto de Diseño Ingenieril y Matriz Ponderada**

#### **3.3.1. Concepto de diseño.**

Para la selección del mejor concepto de solucionar las necesidades de los habitantes para realizar el secado de café se genera alternativas capaces de brindar una solución, se escogerá la más óptima mediante una matriz de selección ponderada, para el diseño de la máquina.

##### **3.3.1.1. Concepto de Solución A**

Para empezar, se necesitará una persona para alimentar el horno de carbón. Luego el calor será transferido por una plancha la cual no dejará pasar el dióxido de carbono que emitirá el horno. El calor será succionado por un extractor de calor, que tendrá como fuente de potencia un motor eléctrico con transmisión de cadenas que accionará a la cámara de secado, en donde la persona mencionada ingresará el café a un cilindro vertical rotatorio y por ultimo será expulsado el café ya secado a una faja transportadora.

##### **3.3.1.2. Concepto de Solución B**

Para empezar, se necesitará una persona para alimentar el horno con resistencias eléctricas. Luego el calor será transferido por una plancha la cual no permitirá pasar el dióxido de carbono que emitirá el horno. El calor será succionado por un extractor de calor, que tendrá como fuente de potencia un motor eléctrico con transmisión de fajas que accionará a la cámara de secado, en donde la persona mencionada ingresará el café una cámara fija de secado y por último será expulsado el café a una caja depósito.

##### **3.3.1.3. Concepto de Solución C**

Para empezar, se necesitará un alimentador sin fin que suministre al horno cascarillas de café. Luego el calor será transferido por una plancha la cual no permitirá pasar el dióxido de carbono que emitirá el horno. El calor será succionado por un extractor de calor, que tendrá como fuente de potencia un motor eléctrico con transmisión por engranajes que accionará a la cámara de secado, en donde el café será ingresado a una tolva en el cual será depositado al cilindro horizontal rotativo por gravedad y por último será expulsado a una caja depósito.

### 3.4. Selección de Alternativa Óptima Mediante una Matriz Ponderada.

Se escogió la mejor alternativa usando una matriz de selección con atributos ponderados que está basado en la teoría de Eggert, bajo los siguientes criterios de evaluación: Geometría, materia, energía, señales, control, montaje, mantenimiento y transportes. La matriz de selección ponderada muestra en la primera columna izquierda los criterios de evaluación, los cuales determinarán la alternativa de diseño más óptima. A los criterios se le fue asignando una ponderación según la importancia de cada uno, la puntuación que se asignó a cada alternativa de diseño fue dada de la siguiente manera: Muy malo (1), Malo (2), Regular (3), Bueno (4), Excelente (5) y la puntuación ponderada se obtuvo multiplicando el porcentaje (%) por la puntuación.

Ver tabla N° 4 y 5.

**Tabla 4. Criterios de Evaluación.**

| <b>Grado de Satisfacción</b> | <b>Puntuación</b> |
|------------------------------|-------------------|
| Excelente                    | 5                 |
| Bueno                        | 4                 |
| Regular                      | 3                 |
| Malo                         | 2                 |
| Muy malo                     | 1                 |

Fuente: Propia

*Tabla 5: Matriz de Selección Ponderada de Configuración*

| CRITERIO                   | Peso de importancia (%) | Configuraciones        |                      |                        |                      |                        |                      |
|----------------------------|-------------------------|------------------------|----------------------|------------------------|----------------------|------------------------|----------------------|
|                            |                         | Concepto de solución A |                      | Concepto de solución B |                      | Concepto de solución C |                      |
|                            |                         | Puntuación             | Puntuación ponderada | Puntuación             | Puntuación ponderada | Puntuación             | Puntuación ponderada |
| <b>ENERGIA</b>             | <b>15</b>               | 3                      | 0.45                 | 3                      | 0.45                 | 5                      | 0.75                 |
| <b>GEOMETRIA</b>           | <b>15</b>               | 4                      | 0.6                  | 4                      | 0.6                  | 4                      | 0.6                  |
| <b>CONTROL</b>             | <b>5</b>                | 3                      | 0.15                 | 4                      | 0.2                  | 5                      | 0.25                 |
| <b>TRANSPORTES</b>         | <b>5</b>                | 3                      | 0.15                 | 4                      | 0.2                  | 4                      | 0.2                  |
| <b>USO</b>                 | <b>5</b>                | 2                      | 0.1                  | 3                      | 0.15                 | 4                      | 0.2                  |
| <b>ERGONOMÍA</b>           | <b>15</b>               | 2                      | 0.3                  | 3                      | 0.45                 | 3                      | 0.45                 |
| <b>MATERIA</b>             | <b>10</b>               | 3                      | 0.3                  | 3                      | 0.3                  | 4                      | 0.4                  |
| <b>SEGURIDAD</b>           | <b>10</b>               | 3                      | 0.3                  | 4                      | 0.4                  | 4                      | 0.4                  |
| <b>MANTENIMIENTO</b>       | <b>20</b>               | 4                      | 0.8                  | 4                      | 0.8                  | 5                      | 1                    |
| <b>TOTAL %</b>             | <b>100</b>              |                        |                      |                        |                      |                        |                      |
| <b>TOTAL DE PUNTUACIÓN</b> |                         |                        | 3.15                 |                        | 3.55                 |                        | 4.05                 |

Fuente: Propia

### 3.5. Dimensionamiento del cilindro

En la tabla N° 6 se muestra la densidad de cada uno de los productos agrícolas sólidos existentes en el mercado actual con su densidad correspondiente. Para la máquina se selecciona el café porque es el producto que ingresará al cilindro rotatorio.

*Tabla 6. Densidad aparente de los productos existentes en el mercado.*

| DENSIDAD APARENTE                          |                      |
|--|----------------------|
| PRODUCTOS AGRICOLAS SÓLIDOS                | DENSIDAD( $kg/m^3$ ) |
| Alfalfa, granos                            | 750-800              |
| Algodón, granos con su fibra               | 420                  |
| Algodón, granos no apretados               | 100 - 120            |
| Arroz cáscara                              | 500 - 630            |
| Arroz gavillas                             | 80 - 120             |
| Arroz blanqueado                           | 800 - 850            |
| Arroz de embarque (descascarado)           | 700 - 750            |
| Avena                                      | 500 - 540            |
| Cacahuete con cáscara para aceite          | 370 - 400            |
| Cacahuete sin cáscara                      | 600 - 620            |
| Cacahuete con cáscara para consumo directo | 270 - 300            |
| Cacao (granos frescos)                     | 900                  |
| Cacao (granos fermentados)                 | 775                  |
| Cacao (granos secos)                       | 635                  |
| <b>Café (granos frescos)</b>               | <b>620</b>           |
| Café comercial                             | 715                  |
| Café (granos secos)                        | 450                  |
| Cebada                                     | 550 - 690            |
| Guisantes                                  | 800 - 880            |
| Lino                                       | 600 - 680            |
| Maíz, granos                               | 700 - 820            |

*Fuente: FAO, 1993.*

Según la tabla N° 6 se muestra la densidad aparente del café, dato que servirá para hallar el volumen específico del cilindro. Obtenemos la ecuación (5):

$$\boxed{\rho_{café} = 620 \frac{Kg}{m^3}} \quad \dots (5)$$

Siendo la densidad inversamente proporcional al volumen específico tenemos:

$$v = \frac{1}{\rho_{café}}$$

$$v = \frac{1}{620 \frac{Kg}{m^3}}$$

$$v = 1.613 \times 10^{-3} \frac{m^3}{Kg}$$

Por lo tanto, el volumen será:

$$\boxed{V_{café} = v \times m} \quad \dots (6)$$

Donde:

$v = \text{Volumen específico } [m^3/kg]$

$m = \text{Masa del café } [690 Kg]$

$$V_{café} = 1.613 \times 10^{-3} \frac{m^3}{Kg} \times 690 Kg$$

$$V_{café} = 1.11297 m^3$$

Este volumen es la mitad de la capacidad del cilindro, con el fin de que exista un secado uniforme, ya que tiene que ser el doble de su volumen de café a secar (Gutiérrez & Copete, 2009).

$$\boxed{V_{cilindro} = 2 \times V_{café}} \quad \dots (7)$$

Ahora fijamos un diámetro de  $1m$ , por motivos de espacio, accesibilidad y facilidad, además dependiendo de la capacidad y cantidad del café que va entrar al cilindro se determinó ésta medida y así poder calcular la longitud del cilindro.

$$V_{cilindro} = \pi r^2 L \quad \dots (7.1)$$

Donde:

$V_{cilindro} = \text{Volumen del cilindro [m}^3\text{]}$

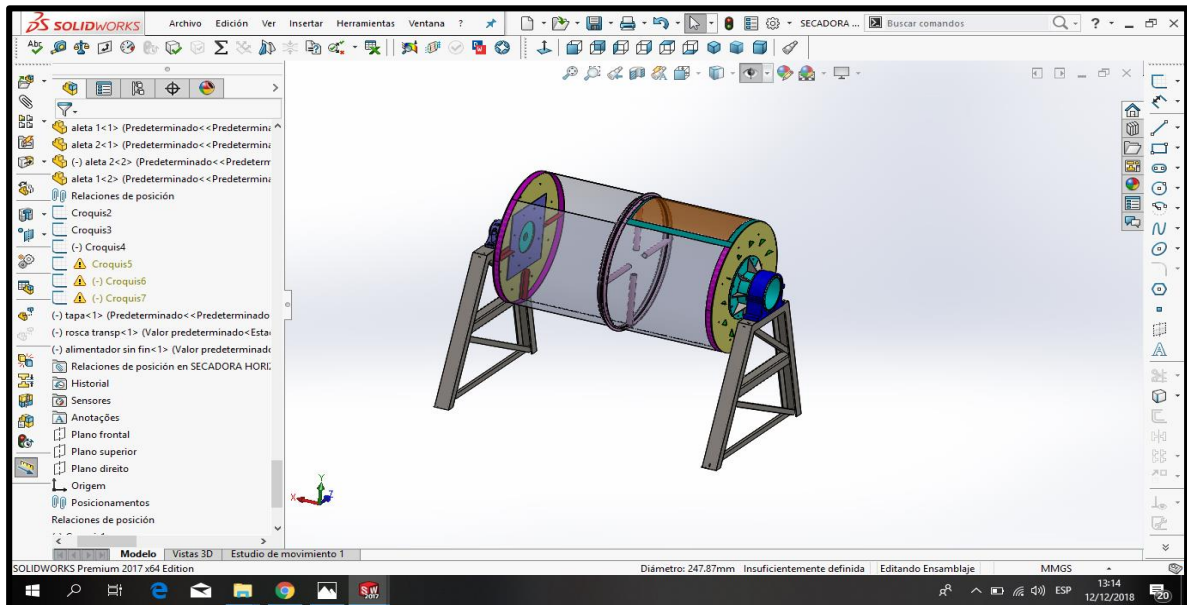
$r = \text{Radio del cilindro [m]}$

$L = \text{Longitud del cilindro [m]}$

$$L = \frac{2 \times V_{café}}{\pi r^2} \quad \dots (7.2)$$

$$L = 2.84 \text{ m}$$

En base a los cálculos y parámetros obtenidos, se puede apreciar el ensamblaje del cilindro rotatorio, ya que aquí se almacenará todo el café, como se puede ver en la Figura N° 7.

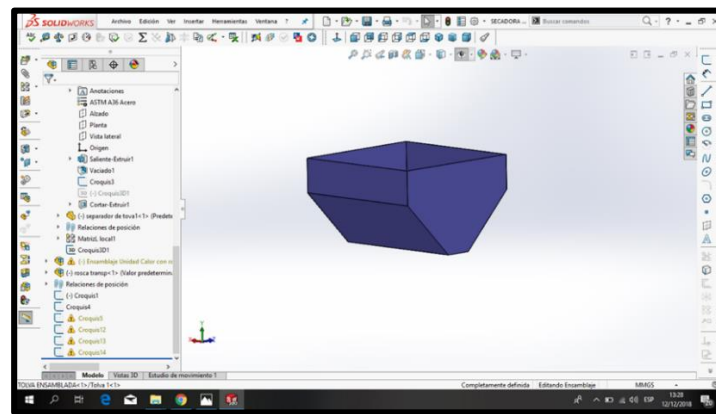


**Figura 7. Ensamblaje del cilindro rotatorio.**  
Fuente: Propia, 2018

### 3.6. Cálculo de Tolva

La tolva es un dispositivo en donde ingresarán los granos de café; además en las entrevistas realizadas a los habitantes de la zona del proyecto se determinó que producen 40 quintales de café al año, en el cual hemos tenido conveniente que la tolva se almacene todo el café, para luego pase al cilindro rotativo los 15 quintales a través de un tope que estará instalado en el interior de la tolva. Cabe recalcar que se utiliza un tope con el fin de que el operario no realice doble trabajo al realizar el secado de los 15 quintales y volver a llenar la tolva de café, con este método solo tendrá que dejar pasar el café restante en el interior de la tolva.

En la figura No 8 se muestra un dibujo del ensamblaje de la tolva del cilindro rotatorio realizado con un programa CAD.



*Figura 8. Dibujo de la tolva del cilindro rotatorio.*

*Fuente: Propia, 2018*

$L = 2000 \text{ mm} \dots \text{Profundidad}$

#### 3.6.1. Cálculo de área del rectángulo

$$A_1 = a \times b \quad \dots (8)$$

Donde:

$A_1 = \text{Área del rectángulo}[m^2]$

$a = \text{Altura del rectángulo}[m]$

$b = \text{Longitud de rectángulo}[m]$

Según la ecuación (8) se necesita la altura y longitud para hallar el área del rectángulo.

$$A_1 = 2m^2$$

### 3.6.2. Cálculo de área del triángulo

$$A_2 = \frac{b \times h}{2} \quad \dots(9)$$

Donde:

$A_2$  = Área del triángulo [ $m^2$ ]

h = Altura del triángulo [ $m$ ]

b = Longitud triángulo [ $m$ ]

Según la ecuación (9) se requiere la altura y longitud para hallar el área del triángulo.

$$A_2 = 1m^2$$

### 3.6.3. Cálculo de Volumen

$$\Sigma \text{Volumen} = Vol_1 + Vol_2 \quad \dots (10)$$

Donde:

$Vol_1 = Vol_2 =$  Volumen total de la tolva [ $m^3$ ]

Para hallar el volumen total de la tolva, se necesita conocer la siguiente fórmula:

$$A_1 = a \times b \times c \quad \dots (10.1)$$

Donde:

$A_1$  = Área del rectángulo [ $m^2$ ]

a = Altura del rectángulo [ $m$ ]

b = Longitud del rectángulo [ $m$ ]

c = Base del rectángulo [ $m$ ]

El área de relaciona con el volumen, obtenemos:

$$Vol_1 = 2m^3$$

Se reemplaza con la ecuación (8) y tenemos lo siguiente:



$$Vol_2 = 2m^3$$

Ahora reemplazamos en la ecuación (10):

$$Volumen\ total = 4m^3$$

#### 3.6.4. Capacidad de la tolva

Para hallar la capacidad, se tendrá que calcular el peso, el cual se hallará con el volumen total de la tolva y la densidad aparente del café.

|  |          |
|--|----------|
| $\text{Peso} = \text{Volumen Total} \times \text{Densidad Aparente}$ | ... (11) |
|--|----------|

$$\text{Peso} = 4m^3 \times 620 \frac{\text{Kg}}{m^3}$$

$$\text{Peso} = 1840 \text{ Kg}$$

La capacidad como está expresada en kilogramos (kg) lo convertimos en quintales:

$$\text{Capacidad} = 1840 \text{ Kg} \div 46\text{Kg}$$

$$\text{Capacidad} = 40 \text{ quintales}$$

#### 3.7. Cálculo flujo másico y caudal de aire en la operación de secado

En este cálculo de flujo másico y caudal de aire se considerarán los parámetros que presenta el grano de café, se efectuará un método de variables con la finalidad de determinar el caudal necesario para la ejecución del secado y la fuerza a la cual será sometido la estructura del cilindro. Se tiene los siguientes parámetros de entrada en el sistema tomados en bibliografías de referencia.

Masa del café: 690 Kg

Humedad inicial: 48% y 55% (Orozco & Bedoya, 2007)

Humedad final: 10% a 12% (Orozco & Bedoya, 2007)

Eficiencia del secado: 60% (Puerta, 2016)

Tiempo de secado: 25 horas (Cenicafe, 2004)

### 3.7.1. Cálculo flujo másico de aire

La ecuación (12) muestra el cálculo del flujo másico de aire, donde se tomará en cuenta el flujo másico de aire que extraerá la humedad del café con el flujo másico que habrá en la combustión.

$$\dot{m}_a = \dot{m}_{a1} + \dot{m}_{a2} \quad \dots (12)$$

Donde:

$\dot{m}_a$  = Flujo másico de aire[Kg/s]

$\dot{m}_{a1}$  = Flujo másico de aire para extraer la humedad del café[Kg/s]

$\dot{m}_{a2}$  = Flujo másico de la combustión[Kg/s]

La ecuación (13) muestra el cálculo del calor de vaporización del café, donde se tomará en cuenta la eficiencia del proceso de secado y el calor cedido por el aire.

$$\dot{Q}_w = n_s \times Q_{a1} \quad \dots (13)$$

Donde:

$\dot{Q}_w$  = Calor de vaporización ganado por el café[KJ/s]

$n_s$  = Eficiencia de secado[%]

$Q_{a1}$  = Calor cedido por el aire.

La ecuación (14) muestra la relación que existen en los diferentes parámetros que han sido extraídos del café y el aire (Orozco & Bedoya, 2007).

$$\dot{m}_w (Cp_w \times \Delta T_w + h_{fg}) = n_s \times \dot{m}_{a1} \times Cp_{a1} \times \Delta T_{a1} \quad \dots (14)$$

Donde:

$\dot{m}_w$  = Flujo de masa de agua extraído del café

$Cp_w$  = Calor específico vapor de agua

$\Delta T_w$  = Cambio de temperatura, etapa de secado de café

$h_{fg}$  = Entalpía vaporización de agua

$Cp_{a1}$  = Calor específico aire atmosférico

$\Delta T_{a1}$  = Cambio de temperatura, aire de secado

Despejando flujo masa de aire para extraer la humedad del café se obtiene la ecuación (14.2):

$$\dot{m}_{a1} = \frac{\dot{m}_w(CP_w \times \Delta T_w + h_{fg})}{n_s \times Cp_{a1} \times \Delta T_{a1}} \quad \dots (14.1)$$

$$\dot{m}_w = \frac{m_{café}}{t} (W_o - W_f)$$

$$\dot{m}_{a1} = \frac{m_{café}(W_o - W_f)(CP_w \times \Delta T_w + h_{fg})}{t \times n_s \times Cp_{a1} \times \Delta T_{a1}} \quad \dots (14.2)$$

Las temperaturas a la entrada y a la salida del aire y el agua en el café se tabulan en la tabla N° 7.

**Tabla 7. Temperaturas aire, café entrada y salida del secador.**

|                       |    |          |
|-----------------------|----|----------|
| $T_{a1,entrada}$ (°C) | 50 | 323,15 K |
| $T_{a1,salida}$ (°C)  | 20 | 293,15 K |
| $T_{w,entrada}$ (°C)  | 20 | 293,15 K |
| $T_{w,salida}$ (°C)   | 35 | 308,15 K |

*Fuente: Echeverry, 2010*

En la ecuación (15) el cambio de temperatura en el aire de secado se hallará con la diferencia entre las temperaturas de entrada que tendrá la secadora.

$$\Delta T_{a1} = 50C^\circ - 20C^\circ = 30 C^\circ \quad \dots (15)$$

En la ecuación (16) para hallar en la etapa de secado el cambio de temperatura, se hallará con la diferencia entre las temperaturas de salida que tendrá la secadora.

$$\Delta T_w = 35C^\circ - 20C^\circ = 15^\circ C \quad \dots (16)$$

Para la etapa de secado, se considerará las temperaturas de salida, ya que el café tiene que salir con la humedad propuesta y con las mejores condiciones para una mejor calidad.

$$T_w = \frac{20+35}{2} = 27.5^\circ C = 300.65^\circ K$$

En la siguiente ecuación (17), se obtiene el calor específico del vapor de agua.

$$Cp_w = 1.8723 \frac{KJ}{Kg} \times K \quad \dots (17)$$

También la entalpía de la vaporización de agua, como se muestra en la ecuación (18).

$$h_{fg} = 2435.75 \frac{KJ}{Kg} \quad \dots (18)$$

Teniendo la temperatura del aire, que se obtiene con las diferencias de temperaturas mostradas en la Tabla 6.

$$T_{a1} = \frac{50 + 25}{2} = 37.5^\circ C = 310.65^\circ K$$

Con el calor específico del aire.

$$Cp_{a1} = 1.005 \frac{KJ}{Kg} \times K$$

Finalmente reemplazamos en la ecuación (14.2).

$$\dot{m}_{a1} = \frac{m_{cafe}(0.43)(1.8723 \times 15 + 2435.75)}{t \times n_s \times 1.005 \times 30}$$

$$\dot{m}_{a1} = 35.14 \frac{m_{cafe}}{t \times n_s}$$

Para 690 Kg de secado tenemos:

$$\dot{m}_{a1} = 0.449 \frac{Kg}{s}$$

### 3.7.2. Flujo másico de aire necesario para el proceso de secado

Hallando el flujo másico de aire y con el dato del calor específico del café, se puede encontrar la cantidad de energía suficiente para secar desde la temperatura ambiente hasta la temperatura de secado de 50°C (Puerta, 2016). Mediante la ecuación (19).

$$q_{aprov} = \dot{m}_{café} C_p (T_i - T_0) \quad \dots (19)$$

Donde:

$q_{aprov}$  = Calor aprovechado por el sistema [K]

$\dot{m}_{café}$  = Flujo másico del café [Kg/s]

$C_p$  = El calor específico del grano del café  $\left[ \frac{KJ}{Kg.K} \right]$

$T_i$  = Temperatura de secado [°C]

$T_0$  = Temperatura del medio ambiente [°C]

Para esto se calcula el calor específico del grano del café con la ecuación (J. Laverde, 2013):

$$C_p = 1.3556 + 5.7859 M \quad \dots (20)$$

Donde:

M: Contenido de humedad de los granos de café [%]

Reemplazando la ecuación (16) se encuentra el calor específico del grano del café

$$C_p = 1.3556 + 5.7859 (0.55)$$

$$C_p = 3.93 \frac{KJ}{Kg \times K}$$

Luego de esto, se encontrará la energía que se debe suministrar al café para que aumente la temperatura de 20 °C a 50°C mediante la ecuación (19).

$$q_{aprov} = 0.449 \times 3.93 \times (50^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C})$$

$$q_{aprov} = 52.94 \text{ W}$$

### 3.7.3. Caudal empleado en la operación de secado

Para poder calcular el caudal que se va emplear, se tomará en cuenta el flujo másico con la densidad del aire, como podemos observar en la siguiente ecuación (21).

$$\dot{m}_{a1} = \rho Vol \quad \dots (21)$$

Donde:

$$\rho_{mar} = \text{Densidad del aire a nivel del mar} \left[ \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right]$$

$$\rho_{SanIlg} = \text{Densidad del aire en San Ignacio} \left[ \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right]$$

$$Vol: \text{Caudal} [\text{m}^3/\text{s}]$$

$$Vol = \frac{\dot{m}_{a1}}{\rho}$$

$$Vol = \frac{0.449}{1.184}$$

$$Vol = 0.379 \text{ m}^3/\text{s}$$

### 3.8. Cálculo de flujo másico en la combustión

En el cálculo del flujo másico que habrá en la combustión, se tendrá en cuenta el flujo de masa de la combustión con la relación de aire combustible que habrá y también el exceso de aire que existirá en dicho proceso, como se obtiene en la siguiente ecuación (22).

$$\dot{m}_{a2} = \dot{m}_{com} \times AC = \dot{m}_{com} \times ACT(1 + e) \quad \dots (22)$$

Donde:

$$\dot{m}_{com} = \text{Flujo de masa de combustión} [\text{Kg}/\text{s}]$$

AC = Relación de aire combustible

ACT = Relación aire combustible teórico

e = Exceso de aire

$$\dot{m}_{com} = \frac{m_{com}}{t} \quad \dots(22.1)$$

Donde:

$m_{com}$  = Masa del combustible[Kg]

t = Tiempo de secado[s]

Mediante un ensayo de campo se obtuvo que para secar 3,22Kg de café pergamino es necesario ingresar 1kg de cascarilla de café, para nuestro proyecto hemos tomado como referencia que se realice el secado en 25 horas (90000 s). Entonces para 690kg será necesario 214.28 kg de cisco (Orozco & Bedoya, 2007).

$$\dot{m}_{com} = \frac{214.28 \text{ Kg}}{90000 \text{ s}}$$
$$\dot{m}_{com} = 0.00238 \frac{\text{Kg}}{\text{s}}$$

Teniendo el flujo másico del combustible podemos hallar la temperatura que va a generar la cámara de combustión, sabiendo que la temperatura inicial será de 20 °C y la temperatura ambiente en el Distrito de San Ignacio (Senamhi, 2019).

Despejamos y hallamos la temperatura final que genera.

$$\dot{Q} = \dot{m} \times C_p (T_f - T_i) \quad \dots(23)$$

Donde:

$\dot{Q}$  = Energía que se debe suministrar al café[kJ/s]

$\dot{m}_{com}$  = Flujo masa de combustión[Kg/s]

$C_p$  = Capacidad calorífica de la cascarilla del café[KJ/KgK]

$T_f$  = Temperatura final de la combustión [°C]

$T_i$  = Temperatura inicial de la combustión[°C]

La capacidad calorífica del café es 0.748 KJ/Kg °K (Icafé, 2019).

La energía que se debe suministrar al café o también llamada energía aprovechada es de 52.94W, que sería igual a 0.05294 KJ/s, como se puede observar en la ecuación 19.

$$T_f = \frac{\dot{Q}}{\dot{m} \times c_p} + T_i \quad \dots(23.1)$$

$$T_f = \frac{0.05294 \frac{kJ}{s}}{\left(0.00238 \frac{Kg}{s} \times 0.748 \frac{kJ}{Kg^\circ K}\right)} + 20^\circ C$$

$$T_f = 49.20 C^\circ$$

La relación de aire y combustible teórico es de  $ACT = 17.2$  y el exceso de aire es  $e = 0.3$  (Moreno et.al, 2009).

$$\dot{m}_{a2} = m_{com} \times ACT \cdot (1 + e)$$

$$\dot{m}_{a2} = 0.00238 \times (17.2) \times (1 + 0.3)$$

$$\dot{m}_{a2} = 0.053 \frac{Kg}{s}$$

Flujo másico de aire del ventilador

$$\dot{m}_a = \dot{m}_{a1} + \dot{m}_{a2} \quad \dots (24)$$

$$\dot{m}_a = 0.449 \frac{Kg}{s} + 0.053 \frac{Kg}{s}$$

$$\dot{m}_a = 0.502 \frac{Kg}{s}$$

Caudal de aire que debe producir el ventilador para el proceso de secado y de combustión.

$$Vol = \frac{\dot{m}_a}{\rho_{aire \text{ en San Ignacio}}} \quad \dots (25)$$

La densidad del aire en san Ignacio es de  $1.184 \frac{Kg}{m^3}$  (Senamhi, 2019).

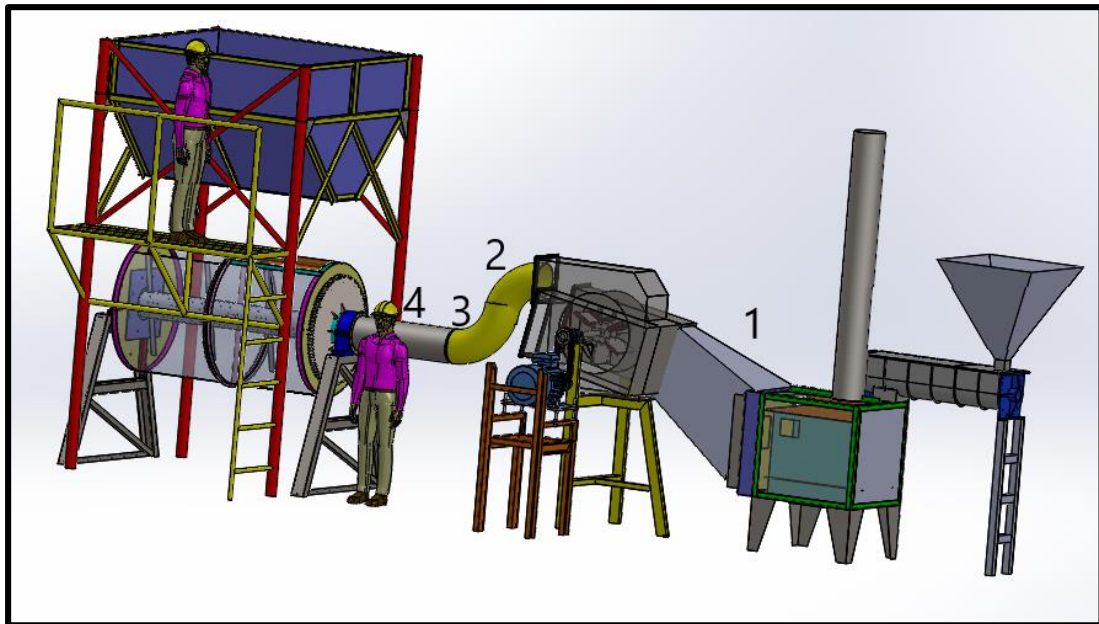


$$\dot{Vol} = \frac{0.502 \frac{Kg}{S}}{1.184 \frac{Kg}{m^3}}$$

$$\dot{Vol} = 0.424 \frac{m^3}{s}$$

### 3.9. Cálculo de las pérdidas en las tuberías

Los cambios de diámetros y la fricción en la tubería, ocasionan que se presenten pérdidas en el flujo de aire en la tubería, por ello será necesario un cálculo para seleccionar la potencia del ventilador, como se muestra en la Figura 9.



*Figura 9. Diagrama de las tuberías de transferencia de calor.  
Fuente: Propia 2018*

#### 3.9.1. Sector N° 1

Como la sección diseñada no es circular, se halla el diámetro hidráulico de dicha sección con la ecuación (22), y se selecciona el área más pequeña de la sección.

$$D_h = \frac{2ab}{a+b} \quad \dots (26)$$

Donde:

a = Ancho de la sección[m]

b = Longitud de la sección[m]

$$D_h = \frac{2 \times 0.874 m \times 0.286 m}{0.874 m + 0.286 m}$$

$$D_h = 0.4318 m = 17 \text{ pulg}$$

### Velocidad del aire

$$V_1 = \frac{\dot{V}}{A} \quad \dots (27)$$

Donde:

$\dot{V}$  = Caudal [ $m^3/s$ ]

A = Área de la tubería [ $m^2$ ]

$$A = \left(\frac{D_h}{2}\right)^2 * \pi \quad \dots (27.1)$$

Ahora reemplazamos en la ecuación 27.

$$V_1 = \frac{0.424 \frac{m^3}{s}}{\left(\frac{0.4318 m}{2}\right)^2 * \pi}$$

$$V_1 = 2.895 \frac{m}{s}$$

### Número de Reynolds

$$Re = \frac{V\mu}{v} \quad \dots (28)$$

Donde:

V = Velocidad del aire [ $m/s$ ]

$\mu$  = Diámetro de la tubería [m]

v = Viscosidad cinética del aire a 50[°C]

La temperatura de secado será a 50 °C, su viscosidad cinética del aire para esta temperatura es de  $1.79 \times 10^{-5}$  (FRBA, 2017).

$$\text{Re} = \frac{2.895 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0.4318 \text{ m}}{1.79 \times 10^{-5}} \quad \dots (28.1)$$

$$\text{Re} = 69835.81 > 4000 \text{ (Flujo turbulento)}$$

El número de Reynolds y la rugosidad relativa en el diagrama de Moody, se obtiene el factor de fricción  $f$ .

En las tuberías de acero A36 existirá una rugosidad relativa la cual es  $\frac{e}{d} = 0.00014$ .

$$f = 0.014$$

### Pérdidas en el sector N° 1

$$h_f = \frac{fLV^2}{2Dg} \quad \dots (29)$$

Donde:

$L$  = Longitud de la tubería [m]

$g$  = Gravedad  $\left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right]$

$$h_f = \frac{0.014 * 0.87\text{m} * (2.895 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 * 0.4318 * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$h_f = 0.012 \text{ m}$$

### Trabajo que ejercerá en el sector N° 1

$$\dot{w}_{\text{sector } 2} = \dot{V} \times \gamma \times h \quad \dots (30)$$

Donde:

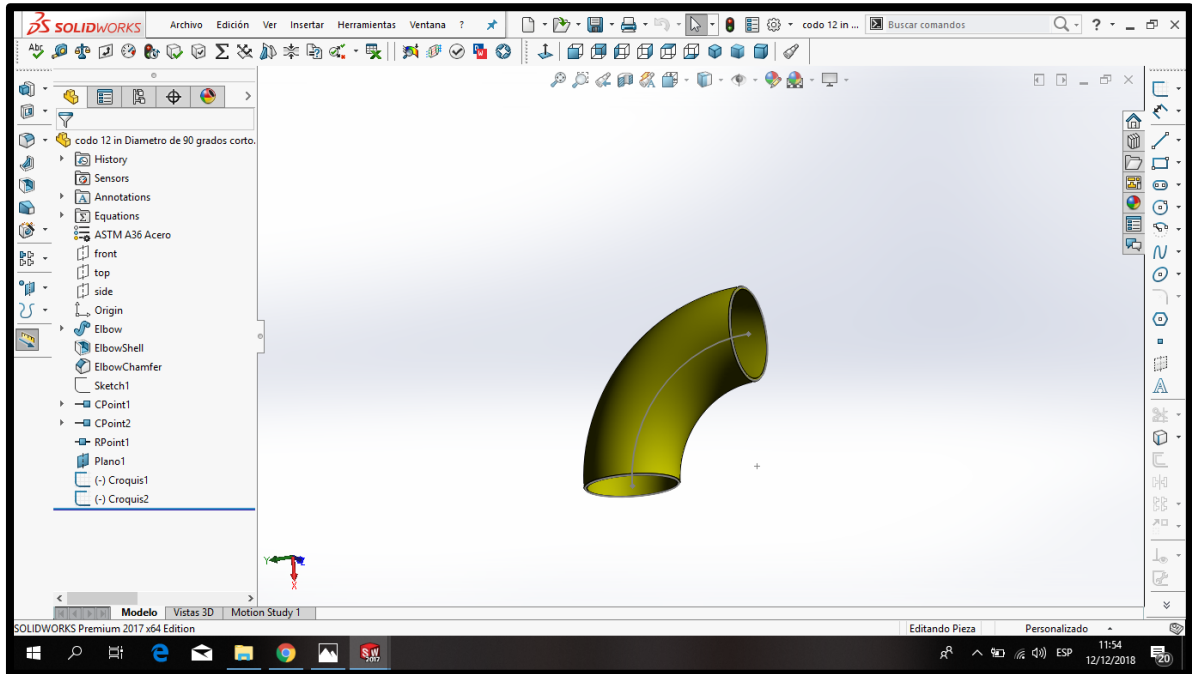
$\gamma$  = Peso específico del aire [ $\text{N}/\text{m}^3$ ]

$\rho_{\text{sanIg}}$  = Densidad del aire en San Ignacio [ $\text{Kg}/\text{m}^3$ ]

$$\dot{w}_{\text{sector } 1} = (0.424 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}) \times (11.62 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}) \times (0.012 \text{ m})$$

$$\dot{w}_{\text{sector } 1} = 0.059 \text{ W}$$

En la figura 10 se tiene el ensamblaje de la tubería por donde pasará todo el calor necesario al cilindro rotatorio para el proceso de secado de café.



*Figura 10. Dibujo de una tubería de transferencia de calor.*

*Fuente: Propia 2018*

### 3.9.2. Sector N° 4

$\emptyset$ interior nominal = 12 pulgadas

$\emptyset$ interior nominal = 304.8mm = 0.3048 m

$\frac{e}{d} = 0.00016$  Rugosidad relativa tubo de 12" apéndice diagrama rugosidad para tubos de materiales comunes y corrientes.

Velocidad del aire

$$V = \frac{\dot{V}}{A} \quad \dots (31)$$

Donde:

$V =$  Velocidad del aire  $\left[\frac{m}{s}\right]$

$\dot{V} =$  Caudal del aire que debe producir el ventilador  $\left[\frac{m^3}{s}\right]$

$A =$  Área de la tubería  $[m^2]$

$$V = \frac{0.424 \frac{m^3}{s}}{\left(\frac{0.3048m}{2}\right)^2 * \pi}$$

$$V = 5.811 \frac{m}{s}$$

### 3.9.3. En el sector 2 y 3 existirán dos codos de 90°

Perdidas en codos:

$$D = 0.3048 \text{ m}$$

$K = 30 Ft$  , coeficiente de resistencia a 90° (Mott,2006).

$F_t = 0.013$ , factor de fricción tubería de 12" (Mott,2006).

Hallamos el valor de coeficiente de resistencia.

$$k = 30 (0.013) = 0.39$$

Formula de pérdidas para codos (Mott, 2006)

$$h_{codo} = k \left(\frac{V^2}{2g}\right) \quad \dots (32)$$

Donde:

$V =$  Velocidad de sector N° 4

$g =$  Gravedad  $\left[\frac{m}{s^2}\right]$

$$V = \frac{\dot{V}}{A} \quad \dots (32.1)$$

Donde:

$\dot{V} =$  Caudal  $[m^3/s]$

$A =$  Área de la tubería  $[m^2]$

$$A = \left(\frac{D}{2}\right)^2 * \pi \quad \dots (32.2)$$

$$V = \frac{0.424 \frac{m^3}{s}}{\left(\frac{0.3048m}{2}\right)^2 * \pi}$$

$$V = 5.811 \frac{m}{s}$$

Reemplazamos valores y hallamos las perdidas:

$$h_{codo} = 0.39 \left( \frac{(5.811)^2}{2 \times 9.81} \right)$$

$$h_{codo} = 0.671 m$$

**Trabajo que ejercerá los dos codos:**

$$\dot{w}_{sector\ codo} = \dot{V} \times \gamma \times h \quad \dots (33)$$

Donde:

$\gamma$  = Peso específico del aire [ $N/m^3$ ]

$\rho_{sanIlg}$  = Densidad del aire en San Ignacio [ $Kg/m^3$ ]

$$\dot{w}_{sector\ codo} = 0.424 \frac{m^3}{s} \left( 11.62 \frac{N}{m^3} \right) (0.671 m) 2$$

$$\dot{w}_{sector\ codos} = 6.611 \frac{N.m}{s}$$

**Número de Reynolds**

$$Re = \frac{VD}{\nu} \quad \dots (34)$$

Donde:

$V$  = Velocidad del aire [ $\frac{m}{s}$ ]

$D$  = Diámetro de la tubería [ $m$ ]

$\nu$  = Viscosidad cinética para el aire a 50 [°C]

$$Re = \frac{5.811 \frac{m}{s} \times 0.3048m}{1.79 \times 10^{-5}}$$

$$Re = 98949.32 > 4000 \text{ (Flujo turbulento)}$$

En el diagrama de Moody ubicando el número de Reynolds y la rugosidad relativa, se obtiene el factor de fricción  $f$ .

$$f = 0.014$$

#### 3.9.4. Pérdidas en el sector N° 4

$$h_f = \frac{fLV^2}{2Dg} \quad \dots (35)$$

Donde:

$L$  = Longitud de la tubería [m]

$g$  = Gravedad  $\left[\frac{m}{s^2}\right]$

$$h_f = \frac{(0.014)(1 \text{ m})(5.811 \frac{m}{s})^2}{2(0.3048 \text{ m})(9.81 \frac{m}{s^2})}$$

$$h_f = 0.079 \text{ m}$$

Trabajo que ejercerá en el sector N° 4

$$\dot{w}_{sector\ 4} = \dot{V} \times \gamma \times h \quad \dots (36)$$

Donde:

$\gamma$  = Peso específico del aire  $\left[\frac{N}{m^3}\right]$

$$\dot{w}_{sector\ 4} = (0.424 \frac{m^3}{s})(11.62 \frac{N}{m^3})(0.079 \text{ m})$$

$$\dot{w}_{sector\ 4} = 0.389 \frac{N \cdot m}{s}$$

### 3.9.5. Pérdida a la entrada del cilindro por choque

k = Coeficiente de resistencia (Tipo entrante K = 1) (UNET, 2019).

$$h_{\text{entrada cilind}} = K \left( \frac{V^2}{2g} \right) \quad \dots (37)$$

Donde:

$V_2$  = Velocidad en el tramo 2

$$h_{\text{entrada cilind}} = 1 \left( \frac{\left( 5.8 \frac{m}{s} \right)^2}{2 \times 9.81 \frac{m}{s^2}} \right)$$

$$h_{\text{entrada cilind}} = 0.296 \text{ m}$$

Trabajo en la entrada del cilindro

$$\dot{W}_{\text{choque}} = 0.424 \frac{m^3}{s} \times 11.62 \frac{N}{m^3} \times 0.296 \text{ m}$$

$$\dot{W}_{\text{choque}} = 1.46 \frac{Nm}{s}$$

Tenemos la siguiente fórmula donde se hallará la caída de presión en diferentes secciones que tendrá el cilindro rotatorio a través del café (Orozco & Bedoya, 2007).

$$\frac{\Delta P}{L} = \left\| \left[ \frac{\dot{V}/A}{(9.523 - 0.476M)} \right] \right\|^{1.4793} \quad \dots (38)$$

Donde:

$\dot{V}$  = Caudal de aire  $\left[ \frac{m^3}{min} \right]$

A = Área de flujo de aire al ingreso del cilindro  $[m^2]$

$M_i$  = Contenido de humedad inicial del café

$\Delta P$  = Caída de presión en secciones distantes  $\left[ \frac{N}{m^2} \right]$



$L =$  Longitud total de la tubería [m]

$$\frac{\Delta P}{3.171 \text{ m}} = \left[ \frac{25.44 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} / (0.324^2 \times \pi)}{(9.523 - (0.476 \times 0.55))} \right]^{1.4793}$$

$$\Delta P = 72.68 \text{ cm} = 7129.91 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Trabajo que ejerce en el cilindro

$$\dot{W}_{\text{cilindro}} = \dot{V} \times \Delta P \quad \dots (39)$$

$$\dot{W}_{\text{cilindro}} = 0.424 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 7129.91 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$\dot{W}_{\text{cilindro}} = 3023.08 \frac{\text{Nm}}{\text{s}}$$

### 3.10. SELECCIÓN DEL VENTILADOR

Para ésta selección, tomamos en cuenta la cantidad de transferencia de calor que se producirá en el proceso, por efecto, existirán pérdidas de calor en las tuberías. Se determinará con la ecuación (40):

$$P_{\text{estática ductos}} = \frac{\dot{W}_{\text{sector 1}} + \dot{W}_{\text{sector codos}} + \dot{W}_{\text{sector 4}} + \dot{W}_{\text{choque}}}{\dot{V}} \quad \dots(40)$$

$$P_{\text{estática ductos}} = \frac{8.519 \frac{\text{Nm}}{\text{s}}}{0.424 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}$$

$$P_{\text{estática ductos}} = 20.09 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$P_{\text{estática ductos}} = 2.009 \text{ mm}$$

$$P_{\text{total}} = 726.8 \text{ cm} + 2.009 \text{ mm}$$

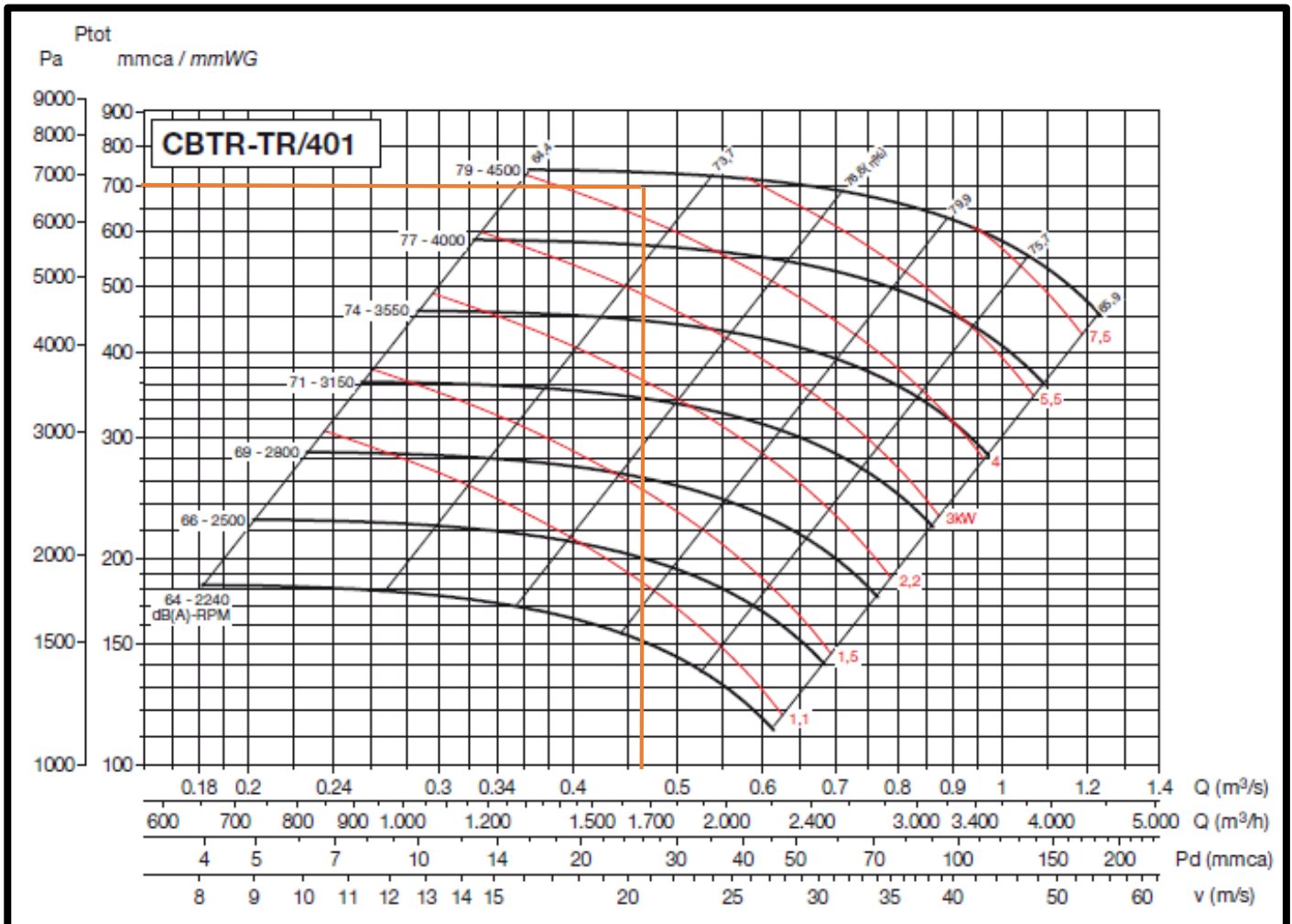
$$P_{\text{total}} = 728.81 \text{ mm}$$

El caudal total en  $\frac{m^3}{h}$  es:

$$\dot{V} = 1526.4 \frac{m^3}{h} \quad \dots (41)$$

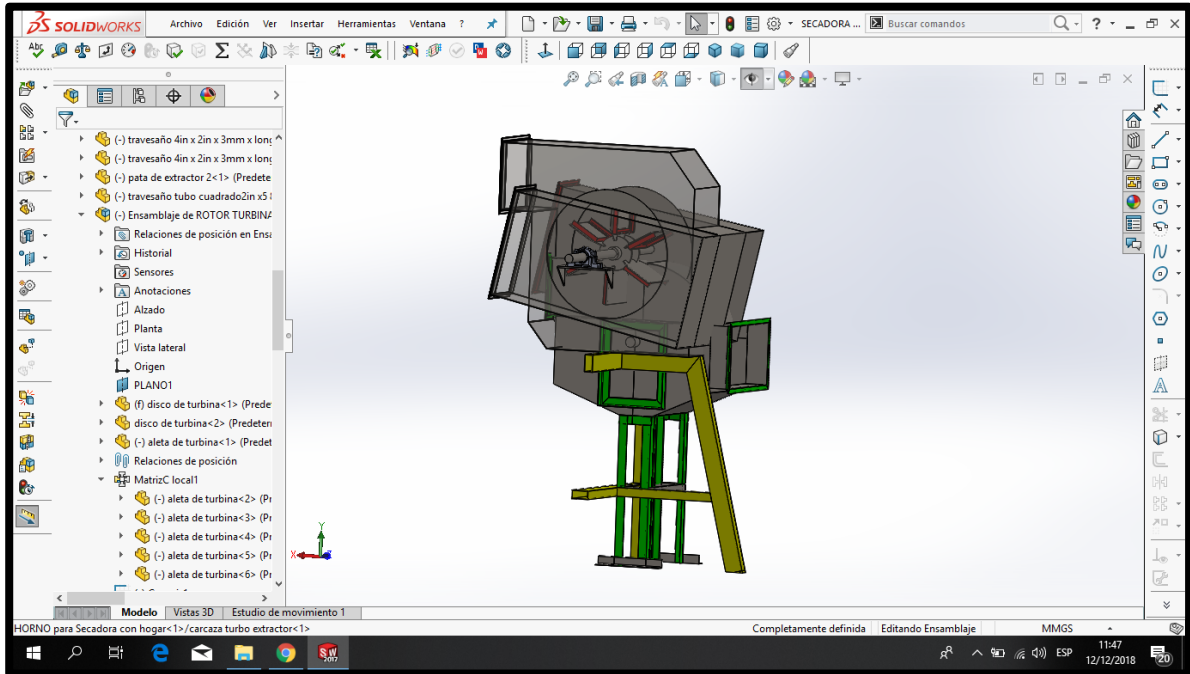
Seleccionamos un ventilador mediante la gráfica de caudal  $\frac{m^3}{h}$  vs pérdidas en mm , la tabla 8 nos muestra que debemos usar un ventilador de 5.5 Hp (Catálogo Soler& Palau).

**Tabla N°8. Catálogo para seleccionamiento de ventiladores.**



Fuente: Soler& Palau, 2014

En la figura N° 11 se tiene el ensamblaje del ventilador centrífugo, diseñado con un programa CAD.



*Figura 11. Ensamblaje del ventilador centrífugo.  
Fuente: Propia 2018*

### 3.11. CÁLCULO Y SELECCIÓN DEL MOTOR REDUCTOR

Para la selección se realiza mediante la obtención de la inercia que debe vencer el motor para generar el momento en la cámara de secado.

Se emplea la siguiente ecuación:

$$\sum M = \sum I \times \alpha \quad \dots (42)$$

Donde:

M = Momento [N. m]

I = Inercia de masas [kg x m<sup>2</sup>]

$\alpha$  = Aceleración angular

Entonces se calculará la sumatoria de inercia:

$$\Sigma I = I_{cil} + I_{ale} + I_{café} \quad \dots (43.1)$$

$I_{cil}$  = Inercia del cilindro [ $kg \cdot m^2$ ]

$I_{ale}$  = Inercia de las aletas [ $kg \cdot m^2$ ]

$I_{café}$  = Inercia de la masa de café [ $kg \cdot m^2$ ]

El cilindro de secado es un tubo circular, entonces podemos encontrar su inercia.

$$I_{cil} = \pi \times L \times \rho_{ASTM A 36} \left( \frac{D_{ext}^2 - D_{int}^2}{64} \right) \quad \dots (43.1.1)$$

Donde:

$L$  = Longitud del cilindro[m]

$\rho_{ASTM A 36}$  = Densidad del acero  $\left[ \frac{kg}{m^3} \right]$

$D_{ex}$  = Diámetro exterior del tambor[m]

$d_{in}$  = Diámetro interior del tambor[m]

La densidad del acero es  $7860 \text{ kg}/m^3$  (Aamsa, 2019).

$$I_{cil} = \pi \times 2.84 \text{ m} \times 7860 \frac{kg}{m^3} \left( \frac{(1m)^2 - (0.9975m)^2}{64} \right)$$

$$I_{cil} = 10.92 \text{ kg} \cdot m^2$$

### Inercia de las aletas:

Para que el café pueda secarse uniformemente se colocara 4 aletas con el fin de remover el café dentro del cilindro.

$$I_{ale} = 2 \times (I_{eje} + I_{barr}) \quad \dots (44)$$

Donde:

$I_{eje}$  = Inercia del eje [ $kg \cdot m^2$ ]

$I_{barr}$  = Inercia de la barra [ $kg \cdot m^2$ ]

Entonces:

$$I_{eje} = \frac{\pi \times L \times \rho_{mat} (D_{ext}^2 - D_{int}^2)}{64} \quad \dots (44.1)$$

$L$  = Longitud del eje [m]

$\rho_{ASTM A 36}$  = Densidad del acero [ $kg/m^3$ ]

$D_{ex}$  = Diámetro exterior del tambor

$d_{in}$  = Diámetro interior del tambor

$$I_{eje} = \frac{\pi \times 3m \times 7860 \frac{kg}{m^3} (1m^2 - 0.9975m^2)}{64} \quad \dots (44.2)$$

$$I_{eje} = 0.576 \text{ kg} \cdot m^2$$

$$I_{barr} = 4 \times \left[ \frac{\pi \times L_{barr} \times \rho_{mat} (d_{barr}^4)}{16} + \frac{\pi \times L_{barr}^3 \times \rho_{mat} (d_{barr}^2)}{12} \right] \quad \dots (45)$$

Donde:

$L_{barr}$  = Longitud de la barra [m]

$\rho_{ASTM A 36}$  = Densidad del acero 7860 [ $\frac{kg}{m^3}$ ]

$d_{barr}^4$  = Distancia de barra a barra [m]

$$I_{barr} = \left[ \frac{\pi \times 0.7m \times 7860 \frac{kg}{m^3} (0.71^4 m)}{16} + \frac{\pi \times 0.7^3 m \times 7860 \frac{kg}{m^2} \times (0.71^4 m)}{12} \right] \quad \dots (45.1)$$

$$I_{barr} = 453.88 \text{ kg} \cdot m^2$$

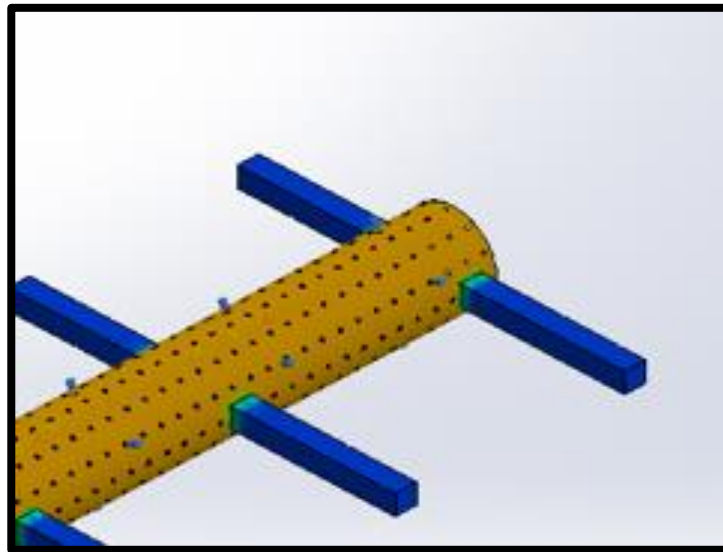
La inercia de las aletas será igual:

$$I_{ale} = 2(I_{horq} + I_{barr})$$

$$I_{ale} = 2(0.576 \text{ kg} \cdot m^2 + 453.88 \text{ kg} \cdot m^2)$$

$$I_{ale} = 908.912 \text{ kg} \cdot m^2$$

En la figura 12 se muestra el diseño de eje horquillas, por donde pasará el calor hacia el cilindro rotativo en movimiento para el proceso de secado.



*Figura 12. Diseño de eje horquillas.  
Fuente: Propia 2018*

### 3.12. Cálculo de la inercia producida por el café en la cámara de secado

El mayor esfuerzo que realiza el motor se produce cuando los granos de café se encuentran en la cámara de secado. La mayor potencia del motor se produce cuando empieza a girar el cilindro, por tal motivo se busca en caso extremo la inercia en esta condición de operación de la máquina. Se supone que el café ocupará un 50% del perímetro en el cilindro rotativo, por ello se obtiene:

$$P = 0.5 \pi d_i \quad \dots (46)$$

Donde:

$P$  = Perímetro[m]

$d_i$  = Diámetro interior del cilindro[m]

$$P = 0.5 \times \pi \times 0.9975m$$

$$P = 1.57m$$

Teniendo calculado el perímetro, entonces el ángulo beta ( $\beta$ ) del segmento circular es igual a:

$$2\beta = \frac{P \times 360^\circ}{\pi d_i} \quad \dots (47)$$

$$2\beta = \frac{1.57m \times 360^\circ}{\pi \times 0.9975m}$$

$$\beta = 180.36^\circ$$

$$\beta = 3.15 \text{ rad}$$

El ángulo beta es de extremo a extremo de las barras removedoras del eje, encontrado el ángulo se puede calcular el momento de inercia del área que ocupa el café con respecto al eje, a este momento se denomina momento polar de inercia ( $I_p$ ):

$$I_p = I_x + I_y \quad \dots (48)$$

$$I_x = \frac{r^4}{4} (\beta - \text{sen}\beta \times \text{cos}\beta + \text{sen}\beta^3 \times \text{cos}\beta) \dots (48.1)$$

$$I_y = \frac{r^4}{12} (3\beta - 3\text{sen}\beta \times \text{cos}\beta + 2\text{sen}\beta^3 \times \text{cos}\beta) \dots (48.2)$$

Para desarrollar la ecuación 48.1 y 48.2 se deberá encontrar el radio:

$$r = \frac{d_i}{2}$$

Donde:

$d_{int}$  = Diámetro interior del cilindro[m]

$$r_{int} = \frac{0.9975m}{2}$$

$$r_{int} = 0.499 \text{ m}$$

Momento de inercia en x:

$$I_x = \frac{0.499^4 m}{4} (3.15 - \text{sen}(3.15) \times \text{cos}(3.15) + \text{sen}(3.15)^3 \times \text{cos}(3.15))$$

$$I_x = 0.0479 \text{ m}^4$$

Momento de inercia en y:

$$I_y = \frac{0.998^4}{12} (3B - 3\text{sen}B \times \text{cos}B + 2\text{sen}^3 B \times \text{cos}B)$$

$$I_y = \frac{0.499^4 m}{12} (3 \times 3.15 - 3 \operatorname{sen}(3.15) \times \cos(3.15) + 2 \operatorname{sen}(3.15)^3 \times \cos(3.15))$$

$$I_y = 0.0479 \text{ m}^4$$

Se desarrollará la ecuación (48):

$$I_p = 0.0479 \text{ m}^4 + 0.0479 \text{ m}^4$$

$$I_p = 0.0958 \text{ m}^4$$

### 3.12.1. Inercia del café:

$$I_{\text{café}} = \rho_{\text{café}} \times L_{\text{cil}} \times I_p \quad \dots (49)$$

Donde:

$\rho_{\text{café}}$  = Densidad del café  $620 \text{ [Kg/m}^3\text{]}$

$L_{\text{cil}}$  = Longitud del cilindro[m]

$I_p$  = Momento polar de inercia

$$I_{\text{café}} = 620 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times (2.84\text{m}) \times 0.0958 \text{ m}^4$$

$$I_{\text{café}} = 168.68 \text{ kg.m}^2$$

Encontrando las sumatoria de inercias se reemplazará en la ecuación:

$$\Sigma I = I_{\text{cil}} + I_{\text{ale}} + I_{\text{café}} \quad \dots (50)$$

$$\Sigma I = 10.92 \text{ kg.m}^2 + 908.912 \text{ kg.m}^2 + 168.68 \text{ kg.m}^2$$

$$\Sigma I = 1088.512 \text{ kg.m}^2$$

### 3.13. Cálculo del momento de torsión

Una vez obtenida la inercia total se procede a encontrar el momento torsor que realiza el motor sobre el eje, teniendo en cuenta que durante este momento existe un instante de torsión opuesto que es generado por la masa que se encuentra en el interior del cilindro, cuando esta comienza a deslizarse por las paredes.



$$M_T - M_o = \sum I \times \alpha \quad \dots (51)$$

Donde:

$M_T$  = Momento torsión del motor al eje [N × m]

$M_o$  = Momento opuesto producido por el deslizamiento de los granos de café [N × m]

$I$  = Inercia de masas [kg × m<sup>2</sup>]

$\alpha$  = Aceleración angular

Calculando el momento opuesto producido por el deslizamiento de los granos de café

$$M_o = m_{cafe} \times g \times r_{int} \quad \dots (51.1)$$

Donde:

$M_o$  = Momento opuesto producido por el deslizamiento de los granos de café

$m_{cafe}$  = Masa total de café [Kg]

$g$  = Gravedad [m/s<sup>2</sup>]

$$M_o = 690 \text{ kg} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 0.499 \text{ m}$$

$$M_o = 3377.68 \text{ Nm}$$

Para la aceleración angular, se establece un tiempo de arranque del motor de 3 segundos, por ser un arranque directo (EcuRed, 2018) También se conoce el número de revoluciones de 4 rpm o 0.419 rad/s (Cenicafe, 2018).

Con los datos anteriores se obtiene la aceleración angular:

$$\alpha = \frac{\omega_f - \omega_o}{t} \quad \dots (51.2)$$

Donde:

$\alpha$  = Aceleración angular [rad/seg]

$\omega_f$  = Velocidad final [rad/seg]

$\omega_o$  = Velocidad inicial [rad/seg]

$t$  = Tiempo de arranque [s]

$$\alpha = \frac{0.419 \text{ rad/s} - 0}{3 \text{ s}}$$

$$\alpha = 0.1396 \frac{rad}{s}$$

### 3.13.1. El momento torsor:

$$M_T = (\sum I \times \alpha) + M_o \quad \dots (51.3)$$

Donde:

$\sum I =$  Sumatoria de las inercias

$\alpha =$  Aceleración angular

$M_o =$  Momento opuesto producido por el deslizamiento de los granos de café

$$M_T = \left( 1088.512 \frac{kg}{m^2} \times 0.1396 \frac{rad}{s} \right) + 3377.68 Nm$$

$$M_T = 3529.64 Nm$$

### 3.13.2. La potencia del motor

$$P_{mot} = M_T \times n_2 \quad \dots (52)$$

Donde:

$P_{mot} =$  Potencia del motor [Hp]

$M_T =$  Momento torsor [N.m]

$n_2 =$  Velocidad de giro [rad/s]

$$P_{mot} = 3529.64 Nm \times 0.419 rad/s$$

$$P_{mot} = 1478.91 w = 1.98Hp = 2Hp$$

### 3.13.3. Selección del motorreductor

A la potencia de trabajo se multiplica por un factor de seguridad, el cual depende de las condiciones y características de uso.

Donde:

$F_s = 1.5$  para trabajos mayores a 24 horas.

Con este dato se determina la potencia requerida:

$$P_{REQUERIDA} = P_T \times F_s \quad \dots (53)$$

$$P_{REQUERIDA} = 2 \text{ Hp} \times 1.5$$

$$P_{REQUERIDA} = 3 \text{ Hp}$$

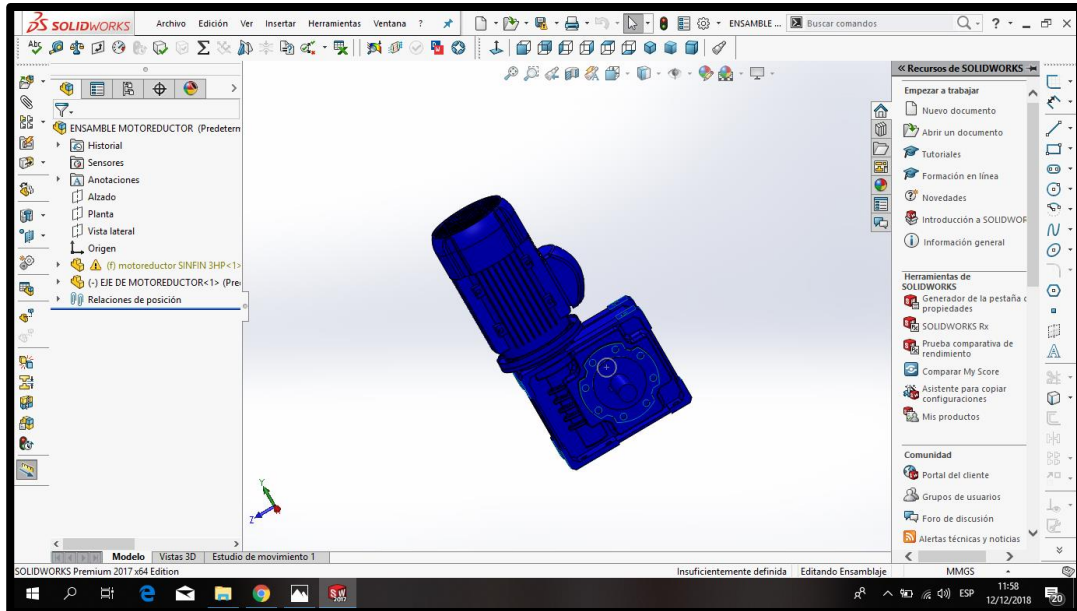
En la tabla 9 se muestra el catálogo del fabricante que está acorde a la potencia que hemos seleccionado para el motorreductor.

**Tabla 9. Catálogo para seleccionamiento de motorreductores.**

| Potencia<br>Entrada |        | Velocidad<br>Entrada<br>aprox.<br>(RPM) | Velocidad<br>Salida<br>aprox.<br>(RPM) | Relación<br>(i) | MODELO | Factor de<br>Seguridad | Momento<br>Util<br>(Nm) |
|---------------------|--------|---|--|-----------------|--------|------------------------|-------------------------|
| kW                  | HP     |   |  |                 |        | (fz)                   |                         |
|                     |        |   | 190.0                                  | 7.36            | F00T2  | 2.00                   | 2.40 73                 |
| 2.20                | 3.00   | 1415                                    | 3.30                                   | 430.76          | F45HR  | 3.00                   | 1.15 6148               |
|                     |        |   | 4.20                                   | 336.70          | F45HR  | 3.00                   | 1.50 4806               |
|                     |        |   | 5.20                                   | 272.35          | F45HR  | 3.00                   | 1.85 3887               |
|                     |        |   | 6.30                                   | 225.54          | F45HR  | 3.00                   | 2.25 3219               |
|                     |        |   | 7.40                                   | 189.97          | F45HR  | 3.00                   | 2.65 2712               |
|                     |        |   | 8.70                                   | 162.02          | F45HR  | 3.00                   | 3.10 2313               |
|                     |        |   | 10.10                                  | 139.48          | F45HR  | 3.00                   | 3.60 1991               |
|                     |        |   | 5.30                                   | 178.85          | F45T3  | 3.00 /6                | 2.05 3904               |
|                     |        |   | 6.30                                   | 149.82          | F45T3  | 3.00 /6                | 2.45 3270               |
|                     |        |   | 7.40                                   | 127.77          | F45T3  | 3.00 /6                | 2.85 2789               |
| 7.80                | 120.67 | F45T3                                   | 3.00 /6                                | 2.80 2634       |        |                        |                         |
| 8.50                | 110.44 | F45T3                                   | 3.00 /6                                | 3.35 2411       |        |                        |                         |
| 9.30                | 101.09 | F45T3                                   | 3.00 /6                                | 3.25 2207       |        |                        |                         |
| 9.70                | 96.46  | F45T3                                   | 3.00 /6                                | 3.80 2106       |        |                        |                         |

Fuente: Lentax, 2014.

En la figura 13 se muestra el ensamblaje de un moto reductor que dará el movimiento al cilindro rotatorio en donde se realizará el proceso de secado. Fue diseñado con un programa CAD.



**Figura 13. Ensamblaje de un motorreductor.**

*Fuente: Propia, 2018*

### 3.14. DISEÑO DE TRANSMISIÓN POR ENGRANAJES RECTOS

#### 3.14.1. Cálculo de potencias de los engranajes rectos

Considerando la transmisión por engranajes rectos, hallaremos su potencia con la siguiente fórmula:

$$P_{engranajes} = \frac{Pot_{sm} \times 0.746}{\eta_{er}} \quad \dots (54)$$

Donde:

$P_{engranajes}$  = Potencia de los engranajes rectos [KW]

$Pot_{sm}$  = Potencia de salida del motorreductor [HP]

$\eta_{er}$  = Eficiencia de los engranajes

$$P_{engranajes} = \frac{3 \text{ HP} * 0.746 \frac{KW}{HP}}{0.97}$$

$$P_{\text{engranajes}} = 2.31 \text{ KW}$$

Los ángulos según la norma AGMA para el cálculo de engranajes son de 20° o 25°. Para el diseño se tomará el de 20°.

$$\alpha = 20^\circ$$

### 3.14.2. La secuencia de selección del engranaje recto se indica a continuación.

a. **Modulo del Engranaje:** Es el nexo entre la medida del diámetro primitivo y el número de dientes del engranaje.

$$m = 10 \text{ (NORMA AGMA)}$$

b. **Tipo de Engranaje y carga en el diente**

Utilizaremos un diente de profundidad y el tipo de carga de

$$HPSTC = 1 \text{ (NORMA AGMA)}$$

c. **Factor de seguridad al desgaste**

$$S_H = \sqrt{S_F} \quad \dots (55)$$

Donde:

$S_F =$  Factor de seguridad por fatiga (NORMA AGMA)

$$S_H = \sqrt{2}$$

$$S_H = 1.41$$

d. **Factor de sobrecarga**

Cuenta con una fuente de potencia uniforme de un motor eléctrico y la impulsión de la maquinaria es el choque moderado, ya que en este caso es una secadora. (Correa, 2018).

$$K_o = 1.5$$

e. **Número de calidad**

Las calidades de 3 a 7 se utilizan para engranajes de calidad comercial. (Vanegas,2010)

$$Q_v = 7$$

f. Relación de transmisión

$$m_G = \frac{\text{Velocidad polea inducida}}{\text{Velocidad salida del motoreductor}} \quad \dots (56)$$

$$m_G = \frac{4 \text{ rpm}}{4 \text{ rpm}}$$

$$m_G = 1 ; \text{ para una transmisión reductora}$$

g. Factor de condición de superficie

Se toma en cuenta las consideraciones de acabado de superficie, esfuerzos residuales y efectos de elasticidad. Para un buen acabado:

$$C_f = 1 \text{ (NORMA AGMA)}$$

h. Vida estimada de transmisión

Para los motores eléctricos su vida útil es de 20000 – 30000 horas. Para el diseño se considerará 30000 *horas*.

i. Confiabilidad

Para engranajes comerciales, la confiabilidad es de 99% (NORMA AGMA).

j. Número de dientes del piñón

Teniendo en cuenta que el ángulo de hélice para engranajes rectos y el dato que nos proporciona la norma AGMA, el número de dientes del engranaje será:

$$Z_2 = 110 \text{ dientes}$$

k. Tipo de material

Los materiales que se usan en los engranajes son también para los demás tipos, donde se consideran las cargas axiales y flexionadas que son generadas por los engranajes, para poder seleccionar todos los materiales que se necesitan. En nuestro diseño el material es ASTM A36.

### 3.14.3. Determinación del módulo elástico y la razón de Poisson

En la tabla N° 10 podemos obtener los valores correspondientes a la propiedad del material utilizado.

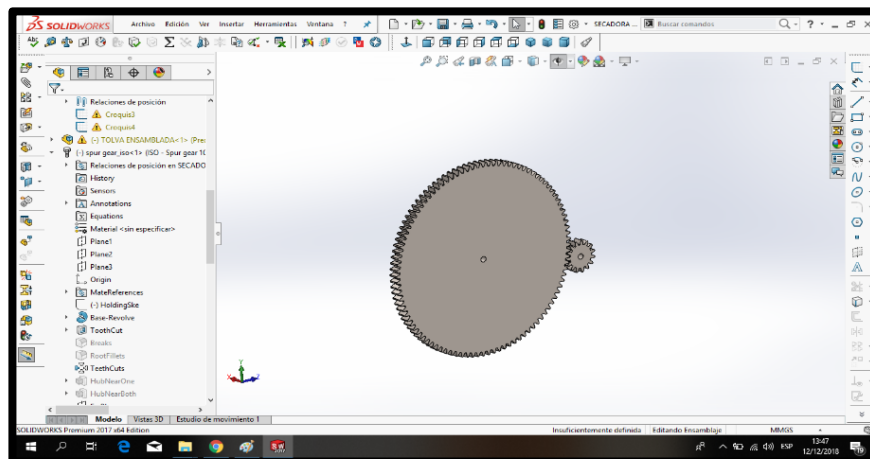
*Tabla 10. Constantes físicas de los materiales.*

| Material                        | Módulo de elasticidad E |              | Módulo de rigidez G |       | Relación de Poisson $\nu$ | Peso unitario $w$    |                    |                   |
|---------------------------------|-------------------------|--------------|---------------------|-------|---------------------------|----------------------|--------------------|-------------------|
|                                 | Mpsi                    | GPa          | Mpsi                | GPa   |                           | lb/pulg <sup>3</sup> | lb/ft <sup>3</sup> | kN/m <sup>3</sup> |
| Aluminio (todas las aleaciones) | 10.3                    | 71.0         | 3.80                | 26.2  | 0.334                     | 0.098                | 169                | 26.6              |
| Cobre al berilio                | 18.0                    | 124.0        | 7.0                 | 48.3  | 0.285                     | 0.297                | 513                | 80.6              |
| Latón                           | 15.4                    | 106.0        | 5.82                | 40.1  | 0.324                     | 0.309                | 534                | 83.8              |
| <u>Acero al carbono</u>         | 30.0                    | <u>207.0</u> | 11.5                | 79.3  | <u>0.292</u>              | 0.282                | 487                | 76.5              |
| Fundición de hierro (gris)      | 14.5                    | 100.0        | 6.0                 | 41.4  | 0.211                     | 0.260                | 450                | 70.6              |
| Cobre                           | 17.2                    | 119.0        | 6.49                | 44.7  | 0.326                     | 0.322                | 556                | 87.3              |
| Abeto Douglas                   | 1.6                     | 11.0         | 0.6                 | 4.1   | 0.33                      | 0.016                | 28                 | 4.3               |
| Vidrio                          | 6.7                     | 46.2         | 2.7                 | 18.6  | 0.245                     | 0.094                | 162                | 25.4              |
| Inconel                         | 31.0                    | 214.0        | 11.0                | 75.8  | 0.290                     | 0.307                | 530                | 83.3              |
| Plomo                           | 5.3                     | 36.5         | 1.9                 | 13.1  | 0.425                     | 0.411                | 710                | 111.5             |
| Magnesio                        | 6.5                     | 44.8         | 2.4                 | 16.5  | 0.350                     | 0.065                | 112                | 17.6              |
| Molibdeno                       | 48.0                    | 331.0        | 17.0                | 117.0 | 0.307                     | 0.368                | 636                | 100.0             |
| Metal Monel                     | 26.0                    | 179.0        | 9.5                 | 65.5  | 0.320                     | 0.319                | 551                | 86.6              |
| Níquel plata                    | 18.5                    | 127.0        | 7.0                 | 48.3  | 0.322                     | 0.316                | 546                | 85.8              |
| Acero al níquel                 | 30.0                    | 207.0        | 11.5                | 79.3  | 0.291                     | 0.280                | 484                | 76.0              |
| Bronce fosforado                | 16.1                    | 111.0        | 6.0                 | 41.4  | 0.349                     | 0.295                | 510                | 80.1              |
| Acero inoxidable (18-8)         | 27.6                    | 190.0        | 10.6                | 73.1  | 0.305                     | 0.280                | 484                | 76.0              |

*Fuente: Correa, 2018.*

Para el material en mención según la tabla 9 se obtiene el módulo elástico 207 GPa y una relación de Poisson de 0.292.

En la Figura 14 se muestra el ensamblaje de los engranajes, diseñado en programa CAD, el cual brindará el movimiento al cilindro rotatorio durante el proceso de secado.



*Figura 14. Dibujo de los engranajes del cilindro rotatorio.*

*Fuente: Propia, 2018*

**Tabla 11. Características de engranajes.**

En la tabla 11 se muestran las características de los engranajes, en donde se selecciona el que se ha escogido para la máquina secadora.

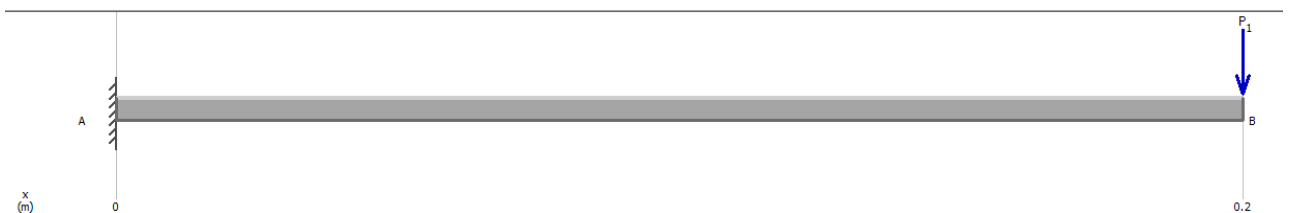
| Numero de dientes | Angulo de precisión | Diámetro (mm) |          | Barreno (Pulg.) |       | Maza (Pulg.) |       | Peso aprox. (lb) |
|-------------------|---------------------|---------------|----------|-----------------|-------|--------------|-------|------------------|
|                   |                     | Pase          | Exterior | Piloto          | Max   | Diámetro     | Proy. |                  |
| 84                | 14 1/2              | 28.000        | 28.000   | 1 1/2           | 4 1/2 | 6            | 1 1/2 | 215              |
| 96                | 14 1/2              | 32.000        | 32.000   | 1 1/2           | 4 1/2 | 6            | 1 1/2 | 264              |
| 110               | 14 1/2              | 36.000        | 36.000   | 1 1/2           | 4 1/2 | 7            | 1 1/2 | 305              |
| 120               | 14 1/2              | 40.000        | 40.000   | 1 1/2           | 4 1/2 | 7            | 1 1/2 | 367              |

### 3.14.4. Diseño del eje de conexión entre el motor reductor y el cilindro

El eje que se encargará de entregar la potencia del motorreductor al cilindro rotatorio estará sometido a la flexión y a un momento torsor. Por otra parte, se encuentra simplemente apoyado sobre 2 rodamientos y soporta 2 fuerzas concentradas. Existen dos ejes uno sólido y el otro hueco para poder transferir el calor, ambos se encuentran soldados en las tapas del cilindro.

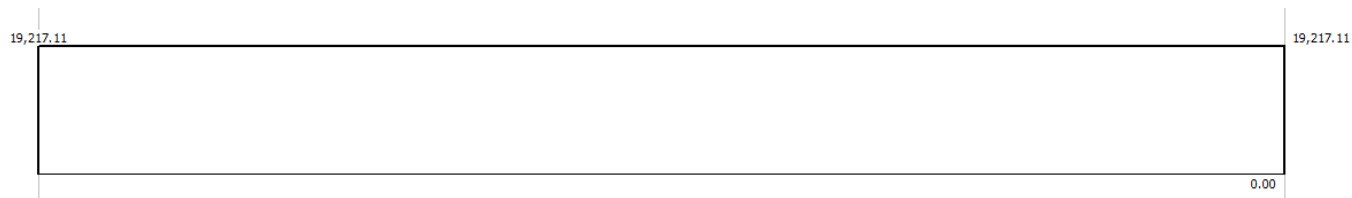
### 3.14.5. Eje sólido

En este punto la fuerza que ejercerá será de 19217.11 N, esto se da por la masa del café y también por la distancia del cilindro que será una carga distribuida.



**Figura 15. Esquema de fuerzas concentradas sobre el eje del cilindro.**

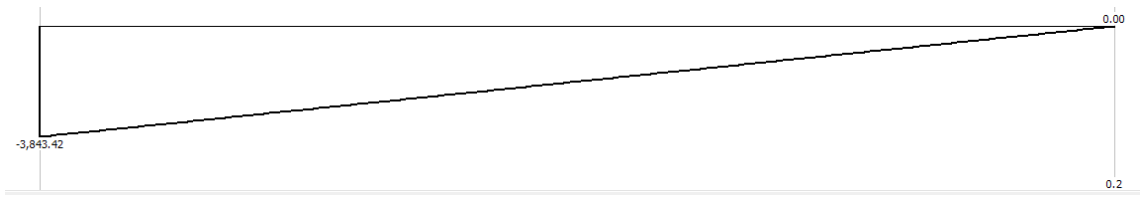
*Fuente: Propia, 2018*



**Figura 16. Diagrama de fuerza cortante en el eje del cilindro.**

*Fuente: Propia, 2018*





**Figura 17. Diagrama de momento flector sobre el eje del cilindro.**  
**Fuente: Propia, 2018**

### 3.14.6. Diámetro del eje principal

Debido a que el eje no se encuentra sometido a cargas axiales se puede hallar el diámetro mediante la fórmula planteada en la teoría de la máxima tensión de corte (Criterio de Coulomb-Tresca) que se expresa en la literatura de Norton, la cuál es:

$$D_{eje} = \left[ \frac{32 \times F_s}{\pi \times S_y} (M_o^2 + M_T^2)^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{3}} \quad \dots (57)$$

Donde:

$D_{eje}$  = Diámetro del eje

$F_s$  = Factor de seguridad para el eje principal que será de 3

$S_y$  = Resistencia límite de fluencia, es de  $250 \times 10^6$  Pa, por el material a utilizar

$M_o$  = Momento opuesto producido por el deslizamiento de los granos de café [Nm]

$M_T$  = Momento torsor

En la ecuación 51.3 se obtuvo el momento torsor:

$$M_T = 3529.64 \text{ Nm}$$

En la ecuación 51.1 se obtuvo el momento opuesto producido por el desplazamiento de los granos de café:

$$M_o = 3377.68 \text{ Nm}$$

Entonces:

$$D_{eje} = \left[ \frac{32 \times 3}{\pi \times 250 \times 10^6} ((3377.68 \text{ Nm})^2 + (3529.64 \text{ Nm})^2)^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$D_{eje} = 0.095 \text{ m} = 95 \text{ mm} = 3.74 \text{ pulg}$$

### 3.14.7. Análisis de esfuerzos

Para poder obtener un factor de seguridad es necesario calcular los esfuerzos de flexión y de torsión.

Tensión de flexión:

$$\sigma_{\text{flexión}} = \frac{M_o \times r_{\text{eje}}}{I} \quad \dots (58)$$

Tensión de torsión:

$$\tau_{\text{torsión}} = \frac{M_T \times r_{\text{eje}}}{J} \quad \dots (59)$$

Donde:

$I =$  Momento de inercia transversal de un eje:

$$I = \frac{\pi \times D_{\text{eje}}^4}{64} \quad \dots (60)$$

$$I = \frac{\pi \times (0.095)^4}{64} = 3.99 \times 10^{-6} \text{m}^4$$

$J =$  Momento de inercia polar del eje principal

$$J = \frac{\pi \times D_{\text{eje}}^4}{32} \quad \dots (61)$$

$$J = \frac{\pi \times (0.095 \text{m})^4}{32} = 7.99 \times 10^{-6} \text{m}^4$$

Entonces:

$$\sigma_{\text{flexión}} = \frac{3377.68 \text{ Nm} \times 0.095 \text{m}}{3.99 \times 10^{-6} \text{m}^4} = 80.40 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\text{torsión}} = \frac{3529.64 \text{ Nm} \times 0.095 \text{m}}{7.99 \times 10^{-6} \text{m}^4} = 41.96 \text{ MPa}$$

Esfuerzo máximo:

$$\tau_{max} = \sigma_{flexión} + \tau_{torsión} \quad \dots (62)$$

$$\tau_{max} = 80.40 \text{ MPa} + 41.96 \text{ MPa}$$

$$\tau_{max} = 122.36 \text{ MPa}$$

### 3.14.8. Factor de seguridad (*F<sub>s</sub>*)

El factor de seguridad del eje principal viene dado entre la relación del límite de resistencia de fluencia del material con la que esta hecho el eje y los esfuerzos flexionantes y torsores que generadas por las cargas de los elementos.

$$F_s = \frac{S_y}{\sigma'} \quad \dots(63)$$

Los esfuerzos flexionantes y torsores que generan las cargas de los elementos podemos hallarlos a través de la ecuación planteada por Von Mises, la cuál es:

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 + 3 \tau_{xy}^2} \quad \dots (63.1)$$

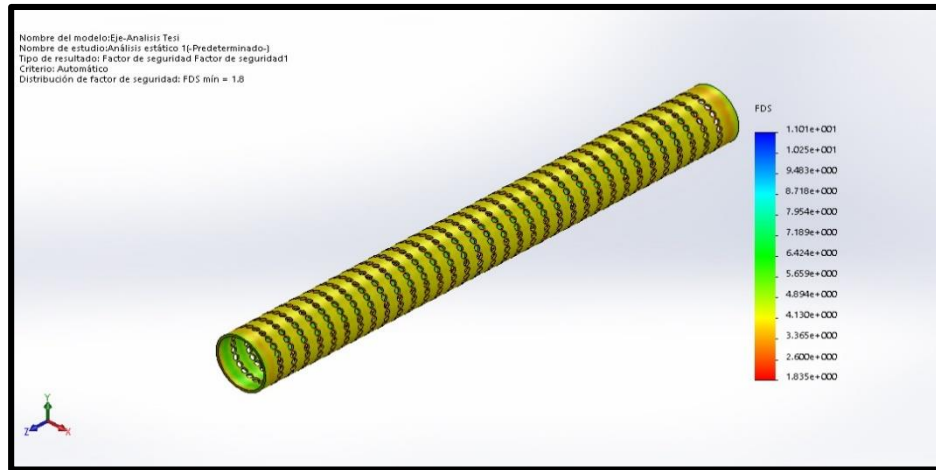
Entonces:

$$\sigma' = \sqrt{(80.40 \text{ MPa})^2 + 3 (41.96 \text{ MPa})^2} = 79.46 \text{ Mpa}$$

Y por lo tanto:

$$F_s = \frac{250 \text{ MPa}}{79.46 \text{ Mpa}} = 3.15 \approx 3$$

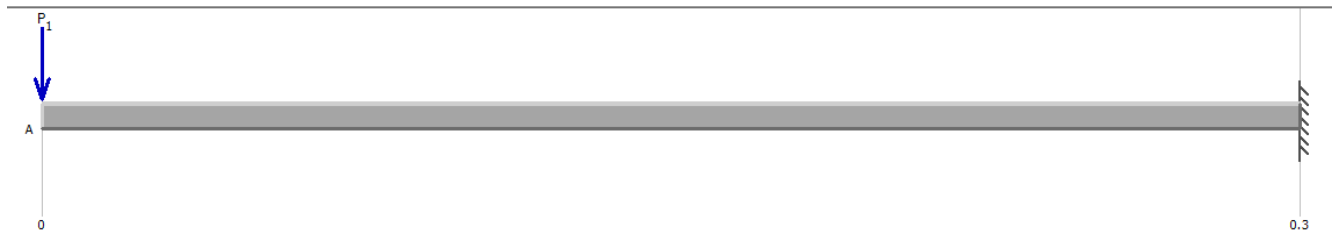
En la figura N° 18 se muestra el factor de seguridad del eje de transferencia de calor mediante la simulación realizada en un programa CAD en donde nos dio un valor mínimo de 1.8 y un valor máximo de 3.0127. Teniendo en cuenta el cálculo de la ecuación (63) se pudo demostrar que el factor de seguridad es equivalente a 3 el cual entra en el rango permitido.



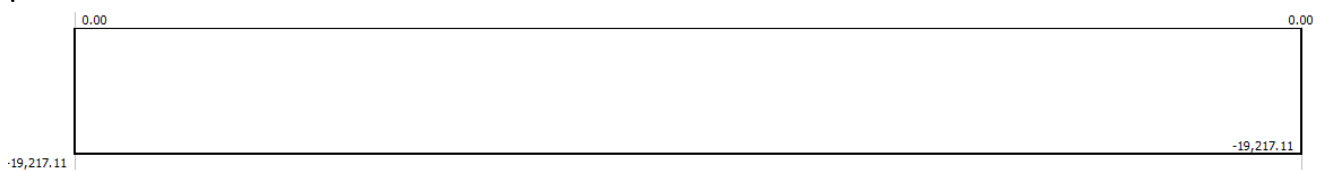
*Figura 18. Factor de seguridad del eje de transferencia e calor.  
Fuente: Propia, 2018*

### Eje Hueco

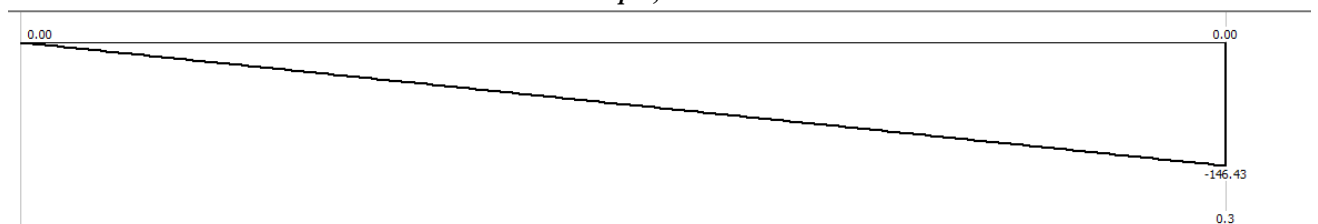
Para el segundo eje usaremos una tubería de 300 mm de diámetro AISI A36 con una longitud de 3 m que va acoplada a la tapa del cilindro con el objetivo de que ingrese el calor hacia el cilindro.



*Figura 19. Esquema de fuerzas concentradas sobre el eje del cilindro.  
Fuente: Propia, 2018*



*Figura 20. Diagrama de fuerza cortante en el eje cilindro.  
Fuente: Propia, 2018*



*Figura 21. Diagrama de momento flector sobre el eje del cilindro.  
Fuente: Propia, 2018*

### 3.15. Selección de rodamientos para el eje principal

Los rodamientos son elementos de máquinas que nos sirven como puntos de apoyo para los árboles y ejes, nos ayudan a soportar su peso, evitar deslizamientos y guiarlos en su rotación.

#### 3.15.1. Rodamiento del eje solido

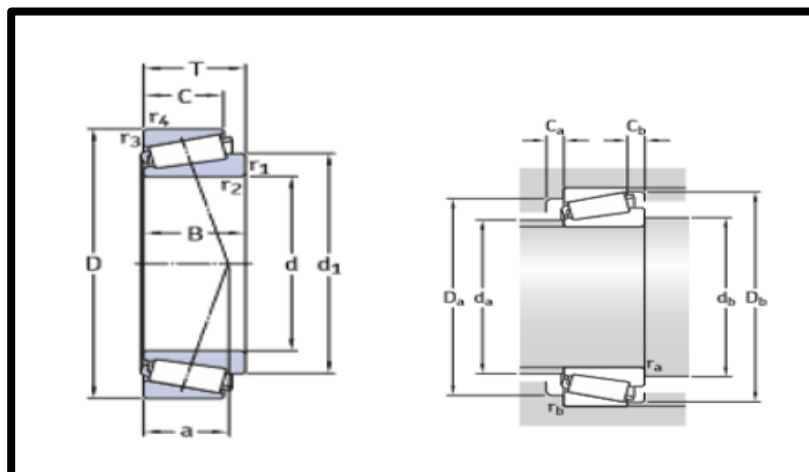
Se eligió un rodamiento de rodillos cónicos para la parte del eje sólido ya que es el adecuado para soportar las cargas que ocasiona el cilindro. En base a la carga dinámica pero sobretodo al diámetro del eje se selecciona el rodamiento 61817 de la marca SKF que posee las siguientes características.

**Tabla 12. Catálogo SKF.**

| Dimensiones principales |     |     | Capacidad de carga básica |                | Carga límite de fatiga | Velocidades nominales   |                  | Masa  | Designación |
|-------------------------|-----|-----|---------------------------|----------------|------------------------|-------------------------|------------------|-------|-------------|
| d                       | D   | B   | C                         | C <sub>0</sub> | P <sub>0</sub>         | Velocidad de referencia | Velocidad límite |       |             |
| mm                      |     |     | kN                        |                | kN                     | r. p. m.                |                  | kg    | -           |
| 80                      | 100 | 10  | 13                        | 15             | 0,64                   | 13 000                  | 8 000            | 0,15  | 61816       |
|                         | 110 | 16  | 25,1                      | 20,4           | 1,02                   | 12 000                  | 7 500            | 0,38  | 61916       |
|                         | 125 | 14  | 35,1                      | 31,5           | 1,32                   | 11 000                  | 7 000            | 0,61  | 16016       |
|                         | 125 | 22  | 49,4                      | 40             | 1,66                   | 11 000                  | 7 000            | 0,87  | 6016        |
|                         | 140 | 26  | 72,8                      | 55             | 2,2                    | 9 500                   | 6 000            | 1,45  | 6216        |
|                         | 170 | 39  | 130                       | 86,5           | 3,25                   | 8 500                   | 5 300            | 3,65  | 6316        |
|                         | 200 | 48  | 163                       | 125            | 4,5                    | 7 500                   | 4 800            | 6,85  | 6416        |
|                         | 85  | 110 | 13                        | 19,5           | 20,8                   | 0,88                    | 12 000           | 7 500 | 0,27        |
| 120                     |     | 18  | 31,9                      | 30             | 1,25                   | 11 000                  | 7 000            | 0,55  | 61917       |
| 130                     |     | 14  | 35,8                      | 33,5           | 1,37                   | 11 000                  | 6 700            | 0,64  | 16017       |
| 130                     |     | 22  | 52                        | 43             | 1,76                   | 11 000                  | 6 700            | 0,92  | 6017        |
| 150                     |     | 28  | 87,1                      | 64             | 2,5                    | 9 000                   | 5 600            | 1,8   | 6217        |
| 180                     |     | 41  | 140                       | 96,5           | 3,55                   | 8 000                   | 5 000            | 4,25  | 6317        |
| 210                     |     | 52  | 174                       | 137            | 4,75                   | 7 000                   | 4 500            | 8,05  | 6417        |

Fuente: <http://www.skf.com>

En la figura No 22 se muestran los diagramas de un rodamiento, con sus componentes y medidas en vistas distintas.



**Figura 22. Diagramas de un rodamiento.**

Fuente: <http://www.skf.com>

**Tabla 13. Características del rodamiento.**

| d   | Dimensiones    |                |                |                       | Dimensiones de resaltes y radios de acuerdo |                     |                     | Factores de cálculo |                |
|-----|----------------|----------------|----------------|-----------------------|---|---------------------|---------------------|---------------------|----------------|
|     | d <sub>1</sub> | D <sub>1</sub> | D <sub>2</sub> | r <sub>1,2</sub> min. | d <sub>a</sub> min.                         | D <sub>3</sub> máx. | r <sub>a</sub> máx. | k <sub>r</sub>      | f <sub>0</sub> |
| mm  |                |                |                |                       | mm  |                     |                     | -                   |                |
| 80  | 86,6           | 93,4           | -              | 0,6                   | 83,2  | 96,8                | 0,6                 | 0,015               | 17             |
|     | 89,8           | 101            | 103            | 1                     | 84,6  | 105                 | 1                   | 0,02                | 14             |
|     | 95,3           | 110            | -              | 0,6                   | 83,2  | 121                 | 0,6                 | 0,02                | 16             |
|     | 94,4           | 111            | 115            | 1,1                   | 86  | 119                 | 1                   | 0,025               | 16             |
|     | 101            | 123            | 127            | 2                     | 91  | 129                 | 2                   | 0,025               | 15             |
|     | 108            | 142            | 147            | 2,1                   | 92  | 158                 | 2                   | 0,03                | 13             |
| 85  | 116            | 163            | -              | 3                     | 96  | 184                 | 2,5                 | 0,035               | 12             |
|     | 93,2           | 102            | -              | 1                     | 89,6  | 105                 | 1                   | 0,015               | 17             |
|     | 96,4           | 109            | -              | 1,1                   | 91  | 114                 | 1                   | 0,02                | 16             |
|     | 100            | 115            | -              | 0,6                   | 88,2  | 126                 | 0,6                 | 0,02                | 17             |
|     | 99,4           | 116            | 120            | 1,1                   | 92  | 123                 | 1                   | 0,025               | 16             |
|     | 106            | 130            | 135            | 2                     | 96  | 139                 | 2                   | 0,025               | 15             |
| 114 | 151            | 156            | 3              | 99                    | 166   | 2,5                 | 0,03                | 13                  |                |
| 123 | 172            | -              | 4              | 105                   | 190   | 3                   | 0,035               | 12                  |                |

Fuente: <http://www.skf.com>

### 3.15.2. Vida nominal del rodamiento de eje solido

En base a la carga dinámica que puede aguantar el rodamiento se va a hallar la vida del rodamiento. Dicha ecuación se expresa en la siguiente fórmula (Budynas & Nisbett, 2008):

$$L_d = L_{diseño} \times N^{\circ} vueltas \quad \dots (64)$$

Donde:

$L_{diseño}$  = Número de horas [h]

$N^{\circ} vueltas$  = Número de revoluciones por minuto

$$L_d = 6000h \times 4rpm \times \frac{60 \text{ min}}{h}$$

$$L_d = 1.4 \times 10^6 \text{ revoluciones}$$

La carga dinámica será:

$$C_o = P \left( \frac{L_d}{10^6} \right)^{\frac{1}{k}} \quad \dots (65)$$

Donde:

$P$  = Carga del cilindro [N]

$k$  = Constante de rodamiento

$$C_o = 19217.11 \left( \frac{1.4 \times 10^6}{10^6} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$C_o = 21497.97 \text{ N}$$

### 3.15.3. Rodamiento del eje hueco

Se eligió un rodamiento de agujas para la parte superior del eje principal ya que es el adecuado para soportar las cargas en diámetros superiores.

Los rodamientos de agujas de acero inoxidable están, apropiados para velocidades muy elevadas, resistentes y no son desarmables. En base a la carga dinámica equivalente pero sobretodo al diámetro del eje que es de 300 mm se escoge el rodamiento 7260 BCBM de la marca SKF que posee las siguientes características. Por lo tanto, en la tabla 13 se muestran las características de los rodamientos.

**Tabla 14. Características del rodamiento.**

| Dimensiones principales |     |    | Capacidad de carga básica |                            | Carga límite de fatiga | Velocidades nominales   |                  | Masa | Designación <sup>3)</sup>              |
|-------------------------|-----|----|---------------------------|----------------------------|------------------------|-------------------------|------------------|------|--|
| d                       | D   | B  | dinámica<br>C             | estática<br>C <sub>0</sub> | P <sub>u</sub>         | Velocidad de referencia | Velocidad límite |      | Rodamiento de emparejamiento universal |
| mm                      |     |    | kN                        |                            | kN                     | r. p. m.                |                  | kg   | -                                      |
| 200                     | 310 | 51 | 225                       | 290                        | 7,8                    | 2 200                   | 2 200            | 18   | 7040 BGM                               |
|                         | 360 | 58 | 325                       | 430                        | 11                     | 2 000                   | 2 000            | 25   | 7240 BCBM                              |
|                         | 420 | 80 | 462                       | 655                        | 15,6                   | 1 800                   | 1 800            | 53   | 7340 BCBM                              |
| 220                     | 340 | 56 | 255                       | 355                        | 9                      | 2 000                   | 2 000            | 18   | 7044 BGM                               |
|                         | 400 | 65 | 390                       | 560                        | 13,4                   | 1 800                   | 1 800            | 37   | 7244 BCBM                              |
| 240                     | 360 | 56 | 260                       | 375                        | 9,15                   | 1 800                   | 1 900            | 19   | 7048 BGM                               |
|                         | 440 | 72 | 364                       | 540                        | 12,5                   | 1 600                   | 1 700            | 49   | 7248 BCBM                              |
| 260                     | 400 | 65 | 332                       | 510                        | 11,8                   | 1 600                   | 1 700            | 30   | 7052 BGM                               |
| 280                     | 420 | 65 | 338                       | 540                        | 12,2                   | 1 500                   | 1 600            | 30   | 7056 BGM                               |
| 300                     | 540 | 65 | 553                       | 930                        | 19,3                   | 850                     | 1 300            | 86,5 | 7260 BCBM                              |
| 320                     | 580 | 92 | 572                       | 1 020                      | 20,4                   | 850                     | 1 200            | 110  | 7264 BCBM                              |

Fuente: <http://www.skf.com>

En la figura 23 se muestra el diagrama de un rodamiento de aguja, con sus componentes y en vistas distintas.

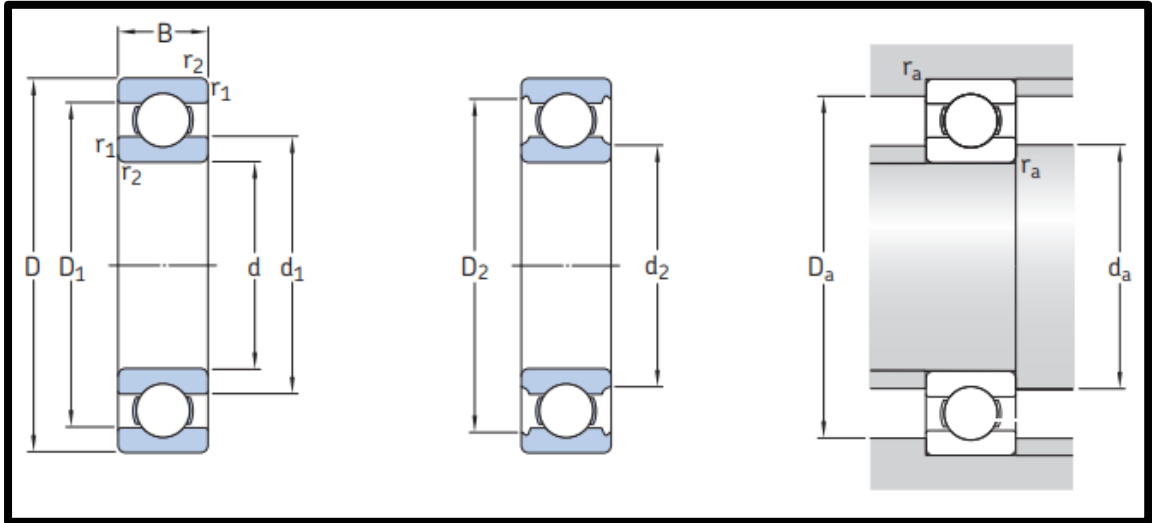


Figura 23. Diagrama de un rodamiento de aguja.

Fuente: <http://www.skf.com>

Tabla 15. Características del rodamiento.

| Dimensiones |                |                |                |                          |                          |     | Dimensiones de resaltes y radios de acuerdo |                        |                        |                        |                        |
|-------------|----------------|----------------|----------------|--------------------------|--------------------------|-----|---|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| d           | d <sub>1</sub> | d <sub>2</sub> | D <sub>1</sub> | r <sub>1,2</sub><br>min. | r <sub>3,4</sub><br>min. | a   | d <sub>a</sub><br>min.                      | D <sub>a</sub><br>máx. | D <sub>b</sub><br>máx. | r <sub>a</sub><br>máx. | r <sub>b</sub><br>máx. |
| mm          |                |                |                |                          |                          |     | mm  |                        |                        |                        |                        |
| 200         | 243            | 223            | 269            | 2,1                      | 1,1                      | 145 | 234   | 285                    | 333                    | 2,1                    | 1,1                    |
|             | 263            | 235            | 301            | 4                        | 1,5                      | 146 | 217   | 343                    | 351                    | 3                      | 1,5                    |
|             | 287            | 247            | 340            | 5                        | 2                        | 170 | 220   | 400                    | 410                    | 4                      | 2                      |
| 220         | 266            | 246            | 295            | 3                        | 1,1                      | 145 | 234   | 326                    | 333                    | 2,5                    | 1,1                    |
|             | 291            | 259            | 334            | 4                        | 1,5                      | 164 | 237   | 383                    | 391                    | 3                      | 1,5                    |
| 240         | 286            | 265            | 315            | 3                        | 1,1                      | 154 | 254   | 346                    | 353                    | 2,5                    | 1,1                    |
|             | 322            | 292            | 361            | 4                        | 1,5                      | 180 | 257   | 423                    | 431                    | 3                      | 1,5                    |
| 260         | 314            | 288            | 348            | 4                        | 1,5                      | 171 | 276   | 373                    | 380                    | 3                      | 1,5                    |
| 280         | 335            | 311            | 367            | 4                        | 1,5                      | 179 | 298   | 402                    | 411                    | 3                      | 1,5                    |
| 300         | 395            | 351            | 450            | 5                        | 2,1                      | 219 | 322   | 518                    | 528                    | 4                      | 2                      |
| 320         | 427            | 383            | 487            | 5                        | 2                        | 236 | 342   | 558                    | 568                    | 4                      | 2                      |

Fuente: <http://www.skf.com>



### 3.15.4. Vida nominal del rodamiento de eje solido

En base a la carga dinámica que puede aguantar el rodamiento se va a hallar la vida del rodamiento. Dicha ecuación se expresa en la siguiente fórmula (Budynas & Nisbett, 2008):

$$L_d = L_{diseño} \times N^{\circ} vueltas \quad \dots (66)$$

Donde:

$L_{diseño}$  = Número de horas [h]

$N^{\circ} vueltas$  = Número de revoluciones por minuto

$$L_d = 6000h \times 4rpm \times \frac{60 \text{ min}}{h}$$
$$L_d = 1.4 \times 10^6 \text{ revoluciones}$$

La carga dinámica será:

$$C_o = P \left( \frac{L_d}{10^6} \right)^{\frac{1}{k}} \quad \dots (67)$$

Donde:

P = Carga del cilindro [N]

k = Constante de rodamiento

$$C_o = 19217.11 \left( \frac{1.4 \times 10^6}{10^6} \right)^{\frac{1}{3}}$$
$$C_o = 21497.97 \text{ N}$$

## 3.16. CÁMARA DE COMBUSTIÓN

### 3.16.1. DIMENSIONAMIENTOS DE LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN

Como sabemos la densidad de la cascarilla de café es  $1.097 \text{ Kg/m}^3$  (Torres, 2017)

#### LEY DE STOKES

$$V_s = \frac{2 r^2 g (\rho_{cascarilla} - \rho_{aire})}{9 \eta} \quad \dots (68)$$

Donde:

$V_s$  = Velocidad de la caída de la cascarilla del café [m/s]

r = radio equivalente del alimentador sin fin [m]

$g = \text{gravedad} \left[ \frac{m}{s^2} \right]$

$\rho_{\text{cascarilla}} = \text{Densidad de la cascarilla de café} [Kg/m^3]$

$\rho_{\text{aire}} = \text{Densidad del aire} [Kg/m^3]$

$\eta = \text{viscosidad del aire} [m^2/s]$

$$V_s = \frac{2 * (0.00404 \text{ m})^2 (9.81 \frac{m}{s^2}) (1.097 \frac{Kg}{m^3} - 1.184 \frac{Kg}{m^3})}{9 * 1.516 * 10^{-5} \frac{m^2}{s}}$$
$$V_s = 0.20 \frac{m}{s}$$

Cálculo del área de salida del alimentador sin fin

$$\boxed{\dot{m} = \rho(V.A)} \quad \dots (69)$$

Donde:

$\dot{m} = \text{Flujo masico de la cascarilla del café} \left[ \frac{Kg}{s} \right]$

$\rho = \text{Densidad de la cascarilla del café} [Kg/m^3]$

$V_s = \text{Velocidad de la caída de la cascarilla de café} [m/s]$

$A = \text{Área de salida del alimentador sin fin} [m^2]$

Ahora despejamos para hallar el área de salida del alimentador sin fin:

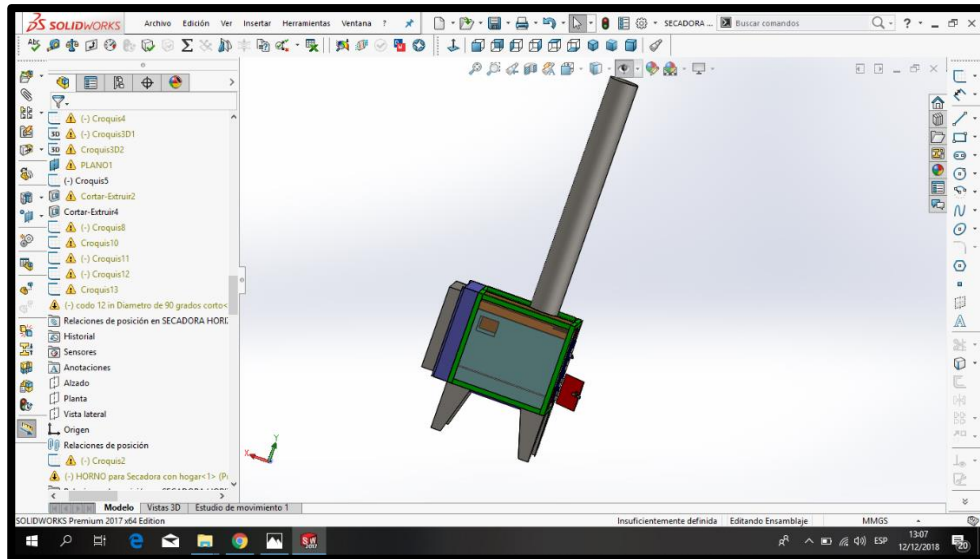
$$\boxed{A = \frac{\dot{m}}{\rho * V_s}} \quad \dots (69.1)$$

$$A = \frac{0.00238 \frac{Kg}{s}}{1.097 \frac{Kg}{m^3} \times 0.20 \frac{m}{s}}$$

$A = 0.011 \text{ m}^2$ , es el área de entrada para la cascarrila de cafe hacia la cámara de combustión, es decir  $10 \text{ cm}^2$

La cámara estará diseñada de planchas comerciales de acero ASTM A36 con dimensiones de  $1m^2$  para que no exista perdidas y genere una buena combustión interna.

En la figura No 24 se muestra el ensamblaje de la cámara de combustión, donde la cascarilla de café se concentrará para generar calor hacia el ventilador centrífugo. Diseñado en un programa CAD.



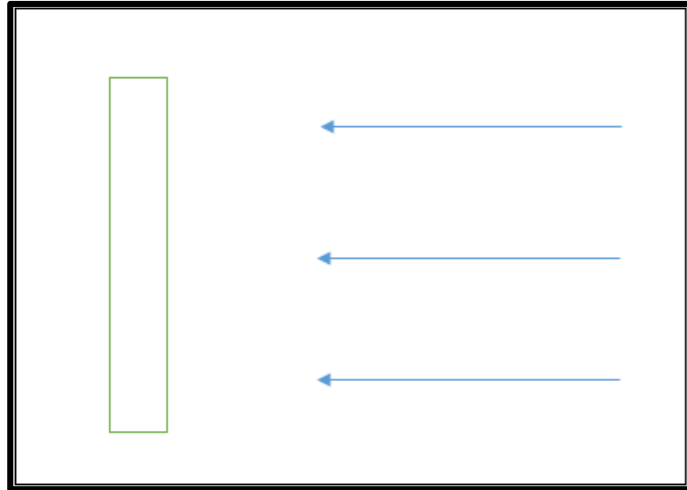
*Figura 24. Ensamblaje de la cámara de combustión.*

*Fuente: Propia, 2018*

### **3.17. FLUJO DE AIRE CALIENTE SOBRE UNA PLACA PLANA**

La temperatura de  $50^{\circ}C$  que pasa sobre la superficie superior de una placa plana cuadrada de  $0.83$  , donde la temperatura es de  $20^{\circ}C$  a temperatura ambiente, con una velocidad de  $2.895 \frac{m}{s}$  (Velocidad del sector N° 01).

El flujo es estable e incomprensible. El número de Reynolds crítico es  $Re_{cr} = 5 \times 10^5$  (Crowe et.al ,2009).



*Figura 25. Plancha de transferencia de calor.  
Fuente: Propia, 2018*

Las propiedades del aire para la temperatura:

$$T_{\text{aire}} = \frac{(T_i + T_f)}{2} \quad \dots (70)$$

Donde:

$T_f$  = Temperatura final[°C]

$T_i$  = Temperatura inicial[°C]

$T_{\text{aire}}$  = Temperatura respecto al aire[°C]

$$T_{\text{aire}} = \frac{(20 + 50)}{2}$$

$$T_{\text{aire}} = \frac{70}{2}$$

$$T_{\text{aire}} = 35^\circ\text{C}$$

Ahora hallamos los siguientes datos a 35°C de la tabla propiedades de líquidos (Anexo N° 6)

$$\rho = 1.145 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$K = 0.02625 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{C}}$$

$$P_r = 0.7268$$

$$v = 1.655 * 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

Donde:

$$\rho = \text{Densidad}[Kg/m^3]$$

$$K = \text{Conductividad Termica}[W/m^{\circ}C]$$

$$P_r = \text{Número de Prandtl}$$

$$v = \text{Viscosidad cinematica}[m^2/s]$$

Puesto que la longitud ( $L = 0.83 \text{ m}$ ), el número de Reynolds para una plancha (Yunus A. Cengel, Mecánica de fluidos, 2004).

$$\boxed{Re_L = \frac{VL}{v}} \quad \dots(71)$$

Donde:

V = Velocidad

L = Longitud de la plancha

v = Viscosidad cinematica

$$Re_L = \frac{\left(2.895 \frac{m}{s}\right)(0.83 \text{ m})}{1.655 * 10^{-5} \frac{m^2}{s}}$$

$$Re_L = 145187.31$$

$$Re_L = 1.452 * 10^5$$

El cual es menor que el número de Reynolds crítico.

Por tanto, se tiene un flujo laminar sobre la placa completa y el coeficiente de fricción promedio es:

$$C_f = 1.338 (Re_L)^{-0.5}$$

$$C_f = (1.338 * 1.452 * 10^5)$$

$$C_f = 0.00351$$

Dado que el arrastre por presión es cero, de donde  $C_D = C_f$  para el flujo paralelo sobre una placa plana, la fuerza de arrastre que actúa sobre esta por unidad de ancho queda.

### 3.17.1. FUERZA TOTAL DE RESISTENCIA AL MOVIMIENTO

En la ecuación (72) se muestra la fuerza total que tendrá que resistir la plancha de transferencia por donde pasará el calor necesario para el proceso de secado.

$$F_D = C_f A \frac{\rho V^2}{2} \quad \dots (72)$$

Donde:

$C_f$  = Coeficiente de fricción

$A$  = Área de la plancha [ $m^2$ ]

$\rho$  = Densidad del aire [ $Kg/m^3$ ]

$V$  = Velocidad [ $m/s$ ]

$$F_D = 0.00351 \left( \frac{N}{Kg * \frac{m}{s^2}} \right) 0.689 m^2 \left( \frac{1.145 \frac{Kg}{m^3} * 2.895 \frac{m}{s}}{2} \right)$$
$$F_D = 0.016 N$$

El número de Nusselt

$$N_u = \frac{hL}{K} \quad \dots (73)$$

Donde:

$h$  = Coeficiente de convección

$K$  = Conductividad térmica [ $\frac{W}{m^{\circ}C}$ ]

$L$  = Longitud de la plancha [ $m$ ]

Relaciones de flujo turbulento para una placa plana:

$$N_U = 0.664(Re_L)^{0.5}(Pr)^{\frac{1}{3}}$$

Donde:

$Re_L$  = Número de Reynolds

$Pr$  = Número de Prandtl

$$N_U = 0.664(1.452 * 10^5)(0.7268)^{\frac{1}{3}}$$
$$N_U = 227.4$$

Entonces:

$$h = \frac{K}{L} N_u \quad \dots (74)$$

Donde:

$K$  = Conductividad termica  $[\frac{W}{m^{\circ}C}]$

$N_u$  = Número de nusselt

$L$  = Longitud de la plancha[m]

$h$  = Coeficiente de convección  $[\frac{W}{m^{\circ}C}]$

$$h = \frac{0.02625 \frac{W}{m^{\circ}C}}{0.83 \text{ m}} (227.47)$$

$$h = 7.19 \frac{W}{m^{\circ}C}$$

Calor que actúa sobre la placa plana

$$\dot{Q} = hA_s(T_f - T_i) \quad \dots (75)$$

Donde:

$h$  = Coeficiente de convección

$A_s$  = Área de la plancha[m<sup>2</sup>]

$T_f$  = Temperatura final[°C]

$T_i$  = Temperatura inicial[°C]

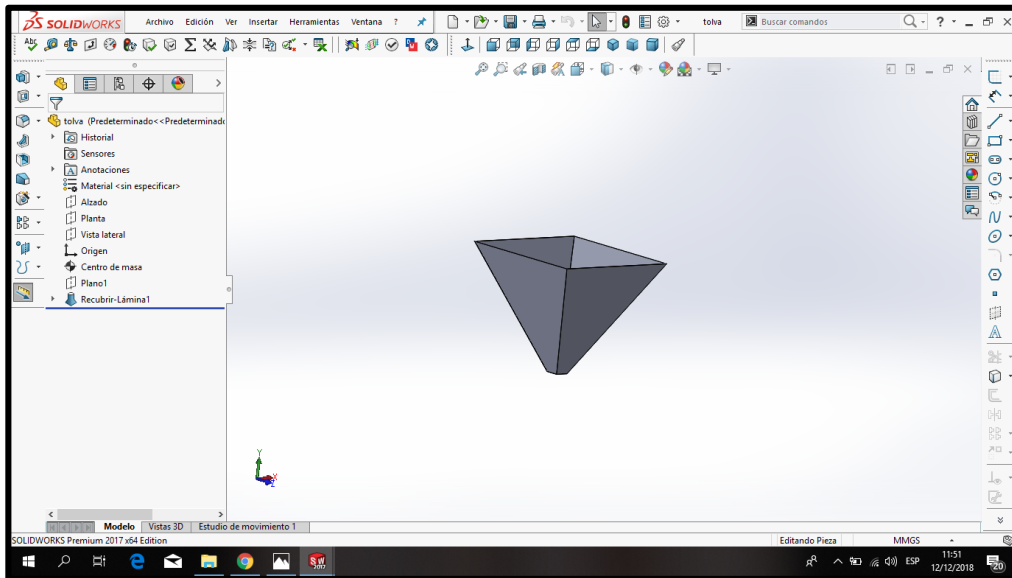
$$Q = \left(7.19 \frac{W}{m^{\circ}C}\right) (0.83 \text{ m} * 0.83 \text{ m})(50 - 20)$$

$$Q = 148.59 \text{ W}$$

El calor generado en la plancha de transferencia es mayor al que llegará la cámara de secado por las pérdidas que existen en las tuberías.

### 3.17.2. Capacidad de la tolva en función para la cascarilla de café

En la figura No 26 se muestra las dimensiones de la tolva de alimentación en el cual ingresará la cascarilla de café al transportador sinfín y lo derivará a la cámara de combustión en donde se generará el calor. Diseñado en el programa CAD.



*Figura 26. Dimensiones propias de la tolva de alimentación.*

*Fuente: Propia, 2018*

Una vez ya definidas las medidas de la tolva cónica, pasaremos a calcular el volumen que esta tendrá, ya que según Paredes Guerra (Mercadotecnia) está dada por la siguiente ecuación (76).

$$V = \left[ \frac{\pi}{24 \times \tan \varphi} \times (D^3 - B^3) \right] \quad \dots (76)$$

$$V = \left[ \frac{\pi}{24 \times \tan 45} \times (1^3 - 0.10^3) \right]$$

$$V = 0.14 \text{ m}^3$$

### 3.18. Cálculo del transportador Sin Fin

Tipo de Hélice: De pequeño paso, normalmente la mitad del diámetro.

#### 3.18.1. Capacidad del transporte

Área del relleno del canalón

$$S = \lambda \frac{\pi D^2}{4} \quad \dots (77)$$



Donde:

$S$  = Área de relleno del transportador

$D$  = Diámetro del canalón del transportador

$\lambda$  = Coeficiente de relleno de la sección

Para la selección del diámetro se seleccionará los datos de la tabla 11 en el cuál se tomará un diámetro de  $100\text{ mm} = 0.1\text{ m}$ . con la finalidad de ahorrar costos y que el peso de la cascarilla del café no afecte al dimensionamiento del eje.

**Tabla 16. Velocidad de giro en función al material y diámetro del tornillo.**

| Diámetro del tornillo (mm.) | Velocidad máxima (r.p.m.) según la clase de material (*) |          |           |          |         |
|-----------------------------|--|----------|-----------|----------|---------|
|                             | Clase I  | Clase II | Clase III | Clase IV | Clase V |
| 100                         | 180  | 120      | 90        | 70       | 30      |
| 200                         | 160  | 110      | 80        | 65       | 30      |
| 300                         | 140  | 100      | 70        | 60       | 25      |
| 400                         | 120  | 90       | 60        | 55       | 25      |
| 500                         | 100  | 80       | 50        | 50       | 25      |
| 600                         | 90   | 75       | 45        | 45       | 25      |

Fuente: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn143.html>

**Tabla 17. Valores del coeficiente de relleno en función al tipo de carga que transporta el tornillo.**

| Tipo de carga          | Coeficiente de relleno, $\lambda$ |
|------------------------|-----------------------------------|
| Pesada y abrasiva      | 0,125                             |
| Pesada y poco abrasiva | 0,25                              |
| Ligera y poco abrasiva | 0,32                              |
| Ligera y no abrasiva   | 0,4                               |

Fuente: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn143.html>

$$S = \frac{(0.4)\pi(0.1)^2}{4}$$

$$S = 0.00314\text{ m}^2$$

Velocidad del desplazamiento de transportador sin fin

$$V = \frac{p \cdot n}{60} \quad \dots (78)$$

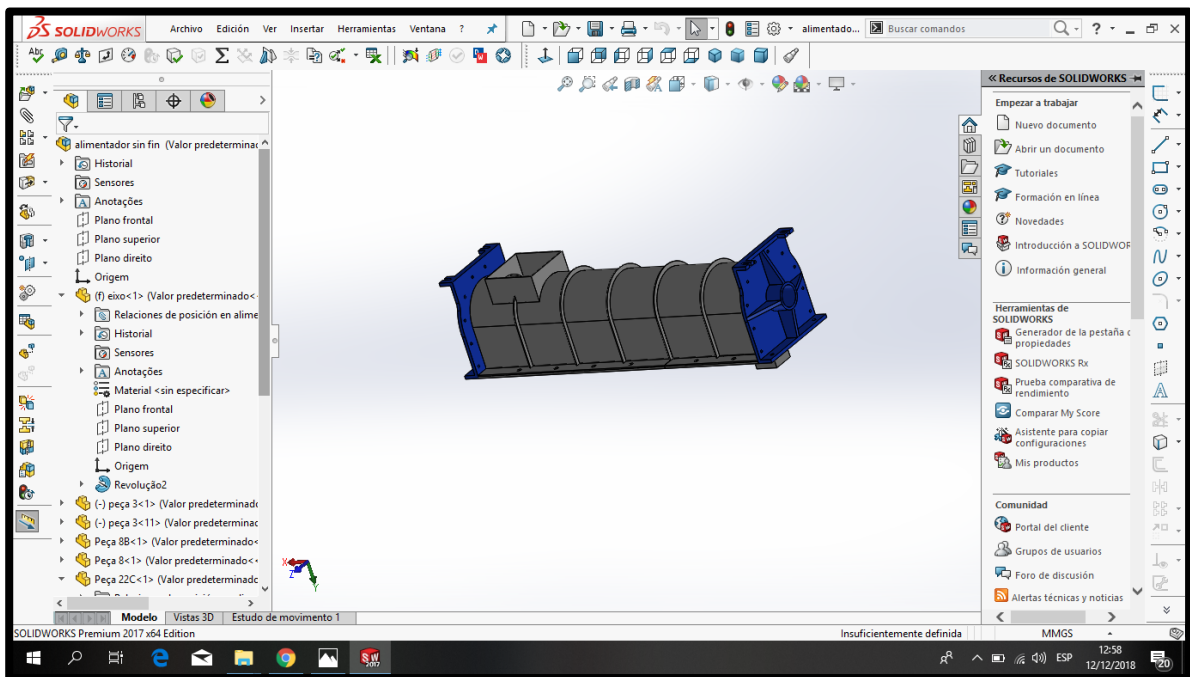
Donde:

$p$  = Peso de tornillo ó peso de helice[m]

$n$  = Velocidad de giro del eje del tornillo[rpm]

$$V = \frac{1m(150 \text{ rpm})}{60}$$
$$V = 2.5 \frac{m}{s}$$

En la figura 27 se muestra las dimensiones del transportador sinfín, por donde pasa la cascarilla de café hacia el horno que se almacenará el calor.



**Figura 27. Dimensiones propias del transportador sinfin.**

**Fuente: Propia, 2018**

### 3.18.2. Cálculo del flujo de material

La capacidad del transportador de tornillo sin fin está dada por el siguiente flujo de material:

$$Q = 3600 * S * v * \rho * i \quad \dots (79)$$

Donde:

$$Q = \text{Flujo de la cascarilla de café} \frac{m}{hs}$$

$$S = \text{Área de relleno del transportador} [m^3]$$

$$v = \text{Velocidad de desplazamiento del transportador} \left[ \frac{m}{s} \right]$$

$$\rho = \text{Densidad de la cascarilla de café} [Kg/m^3]$$

$i$ : Coeficiente de disminución del flujo de material debido a la inclinación del sin fin

$$Q = 3600 \times 0.00314 m^3 \times 2.5 \frac{m}{s} \times 1.097 \frac{Kg}{m^3} \times 1$$

$$Q = 31.001 \frac{m}{hs}$$

### Potencia de accionamiento

La potencia de accionamiento de un transportador de tornillo sin fin comprende la suma de 3 componentes y lo podemos ver en la siguiente fórmula:

$$P = P_H + P_N + P_i \quad \dots (80)$$

Donde:

$P$  = Potencia de accionamiento de un transportadora.

$P_H$  = Potencia necesaria del desplazamiento horizontal de la cascarilla [KW]

$P_N$  = Potencia necesaria para el accionamiento del tornillo en vacío [KW]

$P_i$  = Potencia necesaria del tornillo sin fin inclinado [KW]

### Potencia para el desplazamiento horizontal de la cascarilla de café

Para hallar la potencia mencionada, se tendrá en cuenta el flujo del material transportado, la longitud y su coeficiente de resistencia, como se muestra en la ecuación 80.1.

$$P_H = C_0 \frac{QL}{367} \quad \dots (80.1)$$

Donde:

$Q =$  Flujo del material transportado  $\left[\frac{m}{s}\right]$

$L =$  Longitud del transportado  $[m]$

$C_0 =$  Coeficiente de resistencia del material transportado

Tabla 18. Características de materiales según su flujo másico.

| Tipo de material                                     | Valor de $c_0$ |
|--|----------------|
| Harina, serrín, productos granulosos                 | 1,2            |
| Turba, sosa, polvo de carbón                         | 1,6            |
| Antracita, carbón, sal de roca                       | 2,5            |
| Yeso, arcilla seca, tierra fina, cemento, cal, arena | 4              |

Fuente: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn143.html>

Ahora reemplazamos en la ecuación 80.1.

$$P_H = 1.2 \frac{31.001 \frac{m}{s} * 1.5 m}{367}$$

$$P_H = 0.152 \text{ KW}$$

### Potencia de accionamiento del tornillo en vacío

Para hallar la potencia necesaria del accionamiento del tornillo en vacío con mucha aproximación se emplea la siguiente fórmula:

$$P_N = \frac{DL}{20} \quad \dots (80.2)$$

$$P_N = \frac{0.1 m * 1.5m}{20}$$

$$P_N = 0.0075 \text{ KW}$$

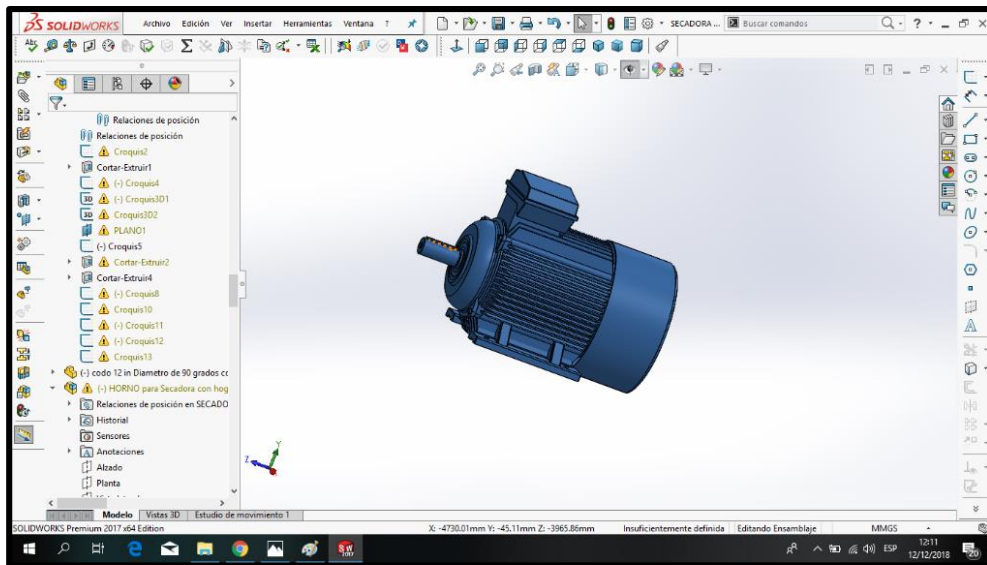
Hallando la potencia de accionamiento

$$P = P_H + P_N$$

$$P = 0.152 \text{ KW} + 0.0075 \text{ KW}$$

$$P = 0.159 \text{ KW} = 0.21 \text{ HP}$$

En la figura No 28 se muestra el diseño preliminar de un motorreductor diseñado en un programa CAD.



**Figura 28. Diseño preliminar de un motorreductor.**

*Fuente: Propia, 2018*

### 3.19. Diagrama eléctrico de la máquina secadora de café.

Se llevó a cabo el diseño de un diagrama eléctrico unifilar del sistema eléctrico de control y protección de la máquina, para ser precisos, dicho diagrama está basado a la normativa vigente y muestra un diagrama de fuerza y mando para cada motor trifásico.

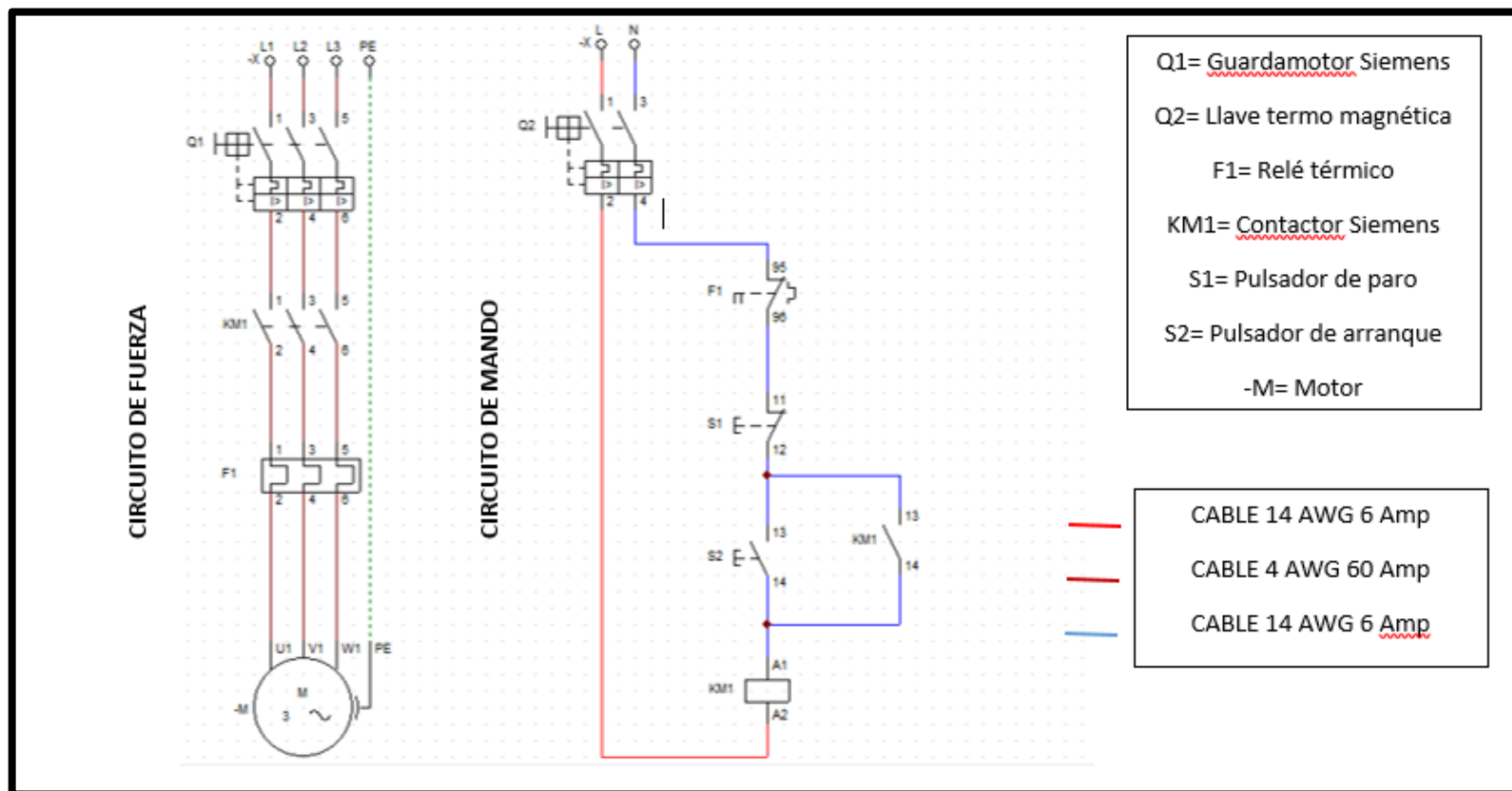


Figura 29. Diagrama eléctrico de la máquina secadora de café.  
Fuente: Propia,2018

### 3.20. Cálculo de la corriente eléctrica (A) para el ventilador.

La mayoría de los motores electricos trabajan con voltaje trifasico de 380 V. Entonces, será está la tensión con la que operará el motor eléctrico del ventilador, el cual también posee un factor de potencia de 0.8 y 5.5 HP de potencia (4101.35 W). Con estos datos hallaremos la corriente trifásica la cuál queda dada por la siguiente fórmula:

$$I = \frac{P_{3\phi}}{\sqrt{3} \times V \times \cos \varphi} \quad \dots(81)$$

Donde:

$$P_{3\phi} = \text{Potencia trifasica}[W]$$

$$V = \text{Voltaje}[V]$$

$$\cos \varphi = \text{Factor de potencia}$$

Entonces:

$$I = \frac{4101.35 \text{ W}}{\sqrt{3} \times 380 \times 0.8} = 7.79 \text{ A}$$

### 3.21. Cálculo de la corriente eléctrica (A) para el moto reductor.

Su voltaje trifasico es de 380 V con la que operará el motor eléctrico del motoreductor, también posee un factor de potencia de 0.8 y 3 HP de potencia (2237.1 W). La corriente electrica va a ser igual:

$$I = \frac{P_{3\phi}}{\sqrt{3} \times V \times \cos \varphi} \quad \dots(82)$$

Donde:

$$P_{3\phi} = \text{Potencia trifasica}[W]$$

$$V = \text{Voltaje}[V]$$

$$\cos \varphi = \text{Factor de potencia}$$

Entonces:

$$I = \frac{2237.1 \text{ W}}{\sqrt{3} \times 380 \times 0.8} = 4.25 \text{ A}$$

### 3.22. Cálculo de la corriente eléctrica (A) para el motor del alimentador sin fin.

Su tensión es de 380 V trifasico con la que operará el motor eléctrico del alimentador sin fin, también posee un factor de potencia de 0.8 y 0.21 HP de potencia (156.597 W). La corriente electrica va a ser igual:

$$I = \frac{P_{3\phi}}{\sqrt{3} \times V \times \cos \phi} \quad \dots(83)$$

Donde:

$$P_{3\phi} = \text{Potencia trifasica}[W]$$

$$V = \text{Voltaje}[V]$$

$$\cos \phi = \text{Factor de potencia}$$

Entonces:

$$I = \frac{156.597 \text{ W}}{\sqrt{3} \times 380 \times 0.8} = 0.3 \text{ A}$$

### 3.23. Simulación del eje principal de transferencia de calor – Análisis térmico

En la figura N° 30 se muestra el análisis térmico utilizando una temperatura de secado de 50 C° y el calor requerido para el secado de 52.96 W.

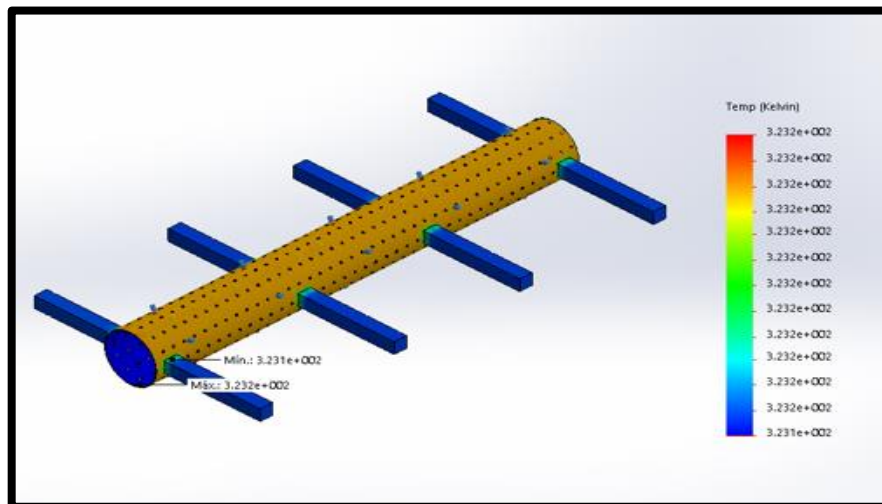


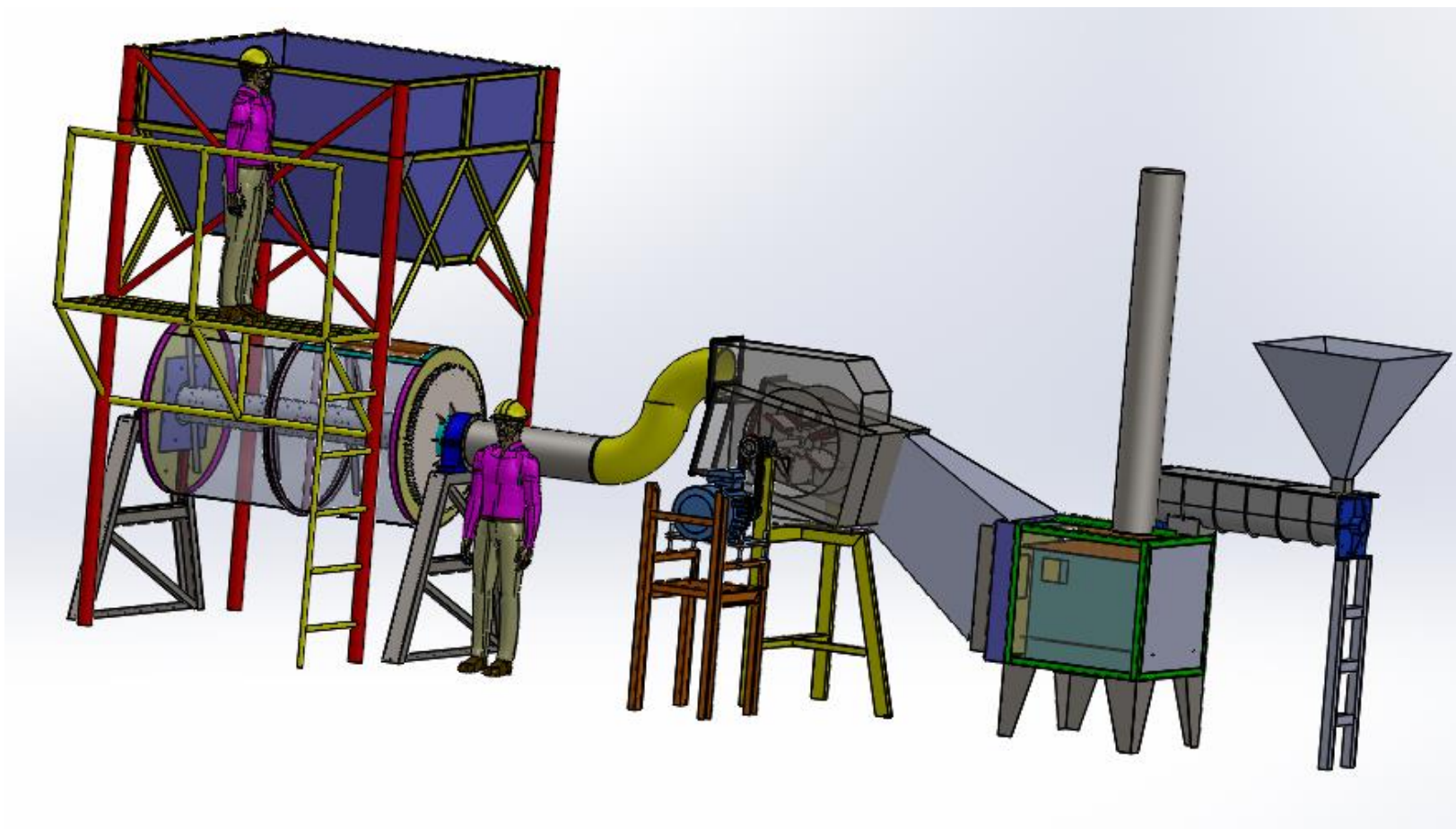
Figura 30. Simulación del eje de transferencia de calor.

Fuente: Propia, 2018

Según nos indica, el eje hueco si soportara toda la temperatura requerida para el secado, la leyenda nos indica que el color azul está a una temperatura que no afectara las aletas, es decir a una temperatura adecuada para el material de AISI 304 que serán fabricadas las aletas.



### 3.24. Diseño final de la maquina secadora de café.



*Figura 31. Diseño final de una máquina secadora horizontal de café.  
Fuente: Propia,*

### 3.25. Análisis Económico.

#### 3.25.1. Inversión.

En los costos de fabricación se ha realizado una descripción de todos los componentes eléctricos, mecánicos y electrónicos de la máquina secadora de café con sus respectivos costos, para tener una idea general del precio total de lo que llega a costar la máquina.

#### 3.25.2. Beneficio.

En el mercado actual una máquina secadora de café se encuentra bordeando un precio de S/. 80000. Al fabricar nuestra máquina se obtiene un beneficio de S/. 54348.

$$ROI = \frac{BENEFICIO - INVERSIÓN}{INVERSIÓN}$$
$$ROI = \frac{54348 - 25652}{25652}$$
$$ROI = 1.19$$

### 3.26. COSTOS DE FABRICACIÓN

A continuación, mencionaremos los costos de cada material empleado.

- **Inversión inicial**

#### Costos directos

Son los costos de cada parte de la máquina y tu entorno que lo constituye.

| Elementos   | Cantidad | Precio Unitario | Precio Total |
|---|----------|-----------------|--------------|
| <b>SISTEMA DE POTENCIA</b>                                |          |                 |              |
| Motor GLONG ALCO 3 HP                                     | 1        | S/590           | S/590        |
| Ventilador extractor modelo CRFT-T de marca Soler y Palau | 1        | S/2000          | S/2000       |
| Motor GLONG ALCO 1 HP                                     | 1        | S/200           | S/200        |
| <b>SISTEMA DE TRANSMISIÓN</b>                             |          |                 |              |
| Eje Principal hueco                                       | 1        | S/300           | S/300        |
| Chaveta Inferior  | 1        | S/13            | S/13         |
| Rodamientos del Eje solido                                | 1        | S/170           | S/170        |

|  |    |        |                   |
|--|----|--------|-------------------|
| Obturador rodamiento eje principal SKF     | 1  | S/9    | S/9               |
| Rodamiento eje hueco                       | 1  | S/280  | S/280             |
| Seguro rodamiento de eje                   | 2  | S/9    | S/18              |
| Piñón de 15 dientes                        | 1  | S/100  | S/100             |
| Engranaje de 110 dientes                   | 1  | S/350  | S/350             |
| <b>SISTEMA DE SECADO</b>                   |    |        |                   |
| Planchas aceradas de 2.5 mm                | 2  | S/150  | S/300             |
| Tapas del cilindro                         | 2  | S/100  | S/200             |
| Aletas de platina de de 50mm x 5mm         | 1  | S/25   | S/25              |
| Tuberías de acero de 12 pulgadas           | 1  | S/35   | S/35              |
| Codos de 90° de 12 pulgadas de acero       | 2  | S/50   | S/100             |
| Pernos tapa                                | 25 | S/1.60 | S/40              |
| <b>CAMARA DE COMBUSTIÓN</b>                |    |        |                   |
| Tubería de 11 pulgadas                     | 1  | S/50   | S/50              |
| Plancha galvanizada de 1 pulgada           | 1  | S/200  | S/200             |
| <b>SISTEMA DE ALIMENTACIÓN</b>             |    |        |                   |
| Tolva de cilindro                          | 1  | S/500  | S/5000            |
| Tolva de la cámara del alimentador sin fin | 1  | S/200  |                   |
| Alimentador sin fin                        | 1  | S/250  | S/250             |
| Soportes de tolva de cilindro              | 4  | S/18   | S72               |
| Escalera del cilindro                      | 1  | S/200  | S/200             |
| <b>ENSAMBLAJE Y FABRICACIÓN</b>            |    |        |                   |
| Soldadura                                  |    | S/500  | S/500             |
| Herramientas                               |    | S/160  | S/160             |
| Pintura                                    |    | S/100  | S/100             |
| Montaje                                    |    | S/500  | S/500             |
| <b>TOTAL</b>                               |    |        | <b>S/11962.00</b> |

| Motores                        | Elemento   | Cantidad | Precio unitario | Precio total |
|--------------------------------|--|----------|-----------------|--------------|
| Ventilador<br>(7.79 A)         | Guardamotor<br>Sirius 3RV1011-<br>1JA10 Siemens 7-<br>10Amp      | 1        | S/100           | S/100        |
|                                | Interruptor termo<br>magnético Sirius 8<br>Amp.                  | 1        | S/60            | S/60         |
|                                | Contacto Sirius<br>3RT1015-1AB01 7<br>Amp                        | 1        | S/150           | S/150        |
|                                | Relé térmico<br>3RU1116-1JB0 7-<br>10 Sirius                     | 1        | S/200           | S/200        |
|                                | Pulsador Metálico<br>1NC   | 2        | S/15            | S/30         |
|                                | Cable AWG 4<br>Indeco  | 20 mt    | S/7.5           | S/150        |
|                                | Cable Tw AWG<br>14 Indeco  | 20 mt    | S/7.5           | S/150        |
| Motoreductor<br>(4,25 A)       | Guardamotor<br>Sirius 3RV1011-<br>1FA10 Siemens<br>3.5 - 5 Amp   | 1        | S/80            | S/80         |
|                                | Interruptor termo<br>magnético Sirius 5<br>Amp.                  | 1        | S/50            | S/50         |
|                                | Contacto Sirius<br>3RT1018-1AC01 5<br>Amp                        | 1        | S/130           | S/130        |
|                                | Relé térmico<br>3RU1116-1FB0<br>3.5 – 5 Amp<br>Sirius            | 1        | S/180           | S/180        |
|                                | Pulsador Metálico<br>1NC   | 2        | S/15            | S/30         |
|                                | Cable AWG 4<br>Indeco  | 20 mt    | S/7.5           | S/150        |
|                                | Cable Tw AWG14<br>Indeco   | 20 mt    | S/7.5           | S/150        |
| Alimentador sin fin<br>(0.3 A) | Guardamotor<br>Sirius 3RV1041-<br>0EA10Siemens<br>0.28 – 0.4 Amp | 1        | S/70            | S/70         |

|              |   |       |       |               |
|--------------|---|-------|-------|---------------|
|              | Interruptor termo magnético Sirius 1 Amp.     | 1     | S/40  | S/40          |
|              | Contactador Sirius 3RT1055-1AB01 1.5 Amp      | 1     | S/120 | S/120         |
|              | Relé térmico 3RU1116-0EB0 0.28 – 4 Amp Sirius | 1     | S/160 | S/160         |
|              | Pulsador Metálico 1NC                         | 2     | S/15  | S/30          |
|              | Cable AWG 4 Indeco                            | 20 mt | S/7.5 | S/150         |
|              | Cable Tw AWG 14 Indeco                        | 20 mt | S/7.5 | S/150         |
| <b>TOTAL</b> |   |       |       | <b>S/2230</b> |

**Total costos directos**

| <b>COSTOS</b>   | <b>VALOR</b>         |
|---|----------------------|
| COSTOS DIRECTOS DE LOS ELEMENTOS DE LA MÁQUINA        | S/ <b>S/11962.00</b> |
| COSTOS DIRECTOS DEL SISTEMA ELÉCTRICO PARA LA MÁQUINA | S/2230               |
| <b>TOTAL</b>  | <b>S/14192</b>       |

**Costos indirectos**

Dentro de este rubro se encuentran los costos que no son materiales o mano de obra directa, como por ejemplo la energía, mano de obra y materiales indirectos, así como otros gastos técnicos y administrativos.

| <b>Elementos</b>              | <b>Cantidad</b> | <b>Precio Unitario</b> | <b>Precio Total</b> |
|-------------------------------|-----------------|------------------------|---------------------|
| <b>MATERIALES INDIRECTOS</b>  |                 |                        |                     |
| Grasa, lubricantes            |                 | S/30                   | S/30                |
| <b>MANO DE OBRA INDIRECTA</b> |                 |                        |                     |
| Diseño e Ingeniería           |                 | S/10000                | S/10000             |

|                             |       |                |
|-----------------------------|-------|----------------|
| Diseño Interfaz             | S/500 | S/500          |
| Planos Mecánicos            | S/70  | S/70           |
| <b>RUBROS OPERACIONALES</b> |       |                |
| Agua                        |       | S/20           |
| Energía eléctrica           |       | S/30           |
| Teléfono/Celular            |       | S/20           |
| Transporte                  |       | S/500          |
| Internet                    |       | S/20           |
| <b>TOTAL</b>                |       | <b>S/11460</b> |

### Costos totales de inversión

| COSTOS            | VALOR          |
|-------------------|----------------|
| COSTOS DIRECTOS   | <b>S/14192</b> |
| COSTOS INDIRECTOS | <b>S/11460</b> |
| <b>TOTAL</b>      | <b>S/25652</b> |

#### 3.26.1. Discusión de resultados

Con el objetivo de dar una solución del proceso de secado de café en el centro poblado El Triunfo, se ha propuesto el diseño de una máquina secadora de café, que será de gran beneficio para los agricultores, capaz de disminuir su tiempo de secado y aumentar la producción en su conjunto. La máquina secadora de café, su capacidad es de 15 quintales, se optó por esta capacidad mediante encuestas realizadas a los agricultores, la cual nos brindaron información de que la cosecha anual es de 40 quintales, con esta máquina podrán secar mucho más café de lo que se podía secar artesanalmente, mucho más eficiente, mejor aroma y calidad, aportando con el medio ambiente por el uso de la misma cascarilla de café que se obtiene de la misma producción. Comparado con una máquina secadora de la empresa Pinhalense de origen brasileño, será mucho más accesible, menos costos y más eficiente, ya que nuestra máquina usará energías renovables en la generación del calor, logrando que el grano pase por el proceso de secado de la mejor manera posible.

# **CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## **IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **4.1. Conclusiones**

- La máquina secadora rotativa fue la alternativa de solución más adecuada según el criterio de ponderado para mejorar la producción de café para solucionar la necesidad del centro poblado el Triunfo de secar los granos de café.
- Se identificaron todos los procesos que tendrá la maquina secadora de café, teniendo en cuenta el más importante que será el secado del grano.
- Para el diseño, se contrastó la maquina secadora de café con todos sus componentes críticos y se añadieron los parámetros necesarios con el fin de que los resultados sean los mejores.
- Se realizaron los planos y las vistas de los componentes viendo en cada sistema y en cada proceso de la maquina secadora horizontal rotativa de café.
- Mediante el programa Solidworks, se diseñó la máquina secadora ingresando todos los datos y parámetros necesarios. Se pudo obtener las vistas, propiedades físicas, planos de todos los componentes diseñados.
- Se hizo el cálculo mecánico, eléctrico y termodinámico que presenta la máquina, obteniendo resultados óptimos, favorables, en cada proceso.
- Teniendo en cuenta los precios de existen ahora en el mercado se elaboraron los costos de fabricación. Cada pieza será de un buen material y marca con el fin que la máquina secadora horizontal rotativa de café realice un buen secado.



## **4.2. Recomendaciones**

1. Se recomienda adicionar un equipo automático, con el fin de tener un mejor control y seguimiento de la humedad en cada grano de café.
2. En el proceso de secado, se recomienda no extralimitar el movimiento del cilindro, ya que el grano de café podría perder su calidad y no estaría en óptimas condiciones.
3. En caso de realizar la implementación de la máquina secadora horizontal rotativa de café, tener en cuenta todas las dimensiones y medidas en los planos.
4. Con los resultados obtenidos, se recomienda implementar la máquina secadora de café en el centro poblado El Triunfo, porque ayudará y beneficiará a cada agricultor que se dedica al negocio del café.

## REFERENCIAS

Hernandez-Diaz.W.N.,Hernandez-Campos.F.J.,Vargas.Galarza.Z.,Rodriguez-Jimenes.F.C., & García-Alvarado.M.A., (2013). Optimización del secado de granos de café en un secador rotatorio. *Mexicana de Ingeniería Química*, 12, 315.

Ghosh.P & VenkatachalaPathi.N. (2014). Processing and Drying of Coffee. *Internacional de Investigación en Ingeniería y Tecnología*, 3, 12.

Victor M. Berrueta-Soriano, Fernando Limon-Aguirre, José L. Fernandez-Zayas y María L. Soto-Pinto, (2003). Participación campesina en el diseño y construcción de un secador solar para café. *Agrociencia*, 37, 95-106.

M.H.H. Suzihaque, Robert Driscoll. (2016). Effects of Solar Radiation, Buoyancy of Air Flow and Optimization Study of Coffee Drying in a Heat Recovery Dryer. *Procedia Engineering* , 148, 812-822.

Alfonso Parra-Coronado, Gonzalo Roa-Mejía, Carlos E. Oliveros-Tascón. (2008). SECAFÉ Parte II: Recomendaciones para el manejo eficiente de los secadores mecánicos de café pergamino. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 12, 428-434.

GUTIERREZ F., J.M.; SANZ U., J.R.; OLIVEROS T., C.E., OROZCO H.,C.A. Ventiladores para secadores de café: Diagnóstico, diseño y construcción económica de ventiladores centrífugos. Chinchiná: FNC: CENICAFÉ, 2012.56 p.

S. Deeto, S. Thepa, V. Monyakul, R. Songprakorp. (2017). The experimental new hybrid solar dryer and hot water storage system of thin layer coffee bean dehumidification. *Renewable Energy*, 2, 1-36.

Fito, MP, Andres, GA., Barat, BJ, Albors, SA. (2016). Introducción al secado de alimentos por aire caliente. *Universitat politècnica de Valencia*.

ANACAFE. (2010). Proceso de secado de café. Guía técnica de construcción y funcionamiento de secadoras solares tipo domo, 127-128.

Montilla P., J.; Arcila P., J.; Aritizábal L., M.; Montoya R., E. C.; Puerta Q., G. I.; Oliveros T., C. E.; Cadena G., G. Propiedades físicas y factores de conversión del café en el proceso de beneficio

Ballinas, M. (1990) Estudio Experimental de un Secador Solar Semicilíndrico para Granos, Trabajo Especial de Grado, Universidad Central de Venezuela, Caracas.

VanWylen, G. (2007). Fundamentos de termodinámica. (2da. Ed.). México, D.F., México: Limusa Wiley.

Texeira, J. (2004). Diseño y construcción de un deshidratador indirecto de cacao mediante el uso de aire calentado por energía solar. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela, Caracas.

Parra C., A.; Roa M., G.; Oliveros T., C. E. Secafé Parte I: Modelamiento y Simulación Matemática en el Secado Mecánico de café Pergamino. Revista Brasileña de Engenharia Agrícola e Ambiental 12(4): 415-427. 2008.

Shigley, J. (2002). Diseño en ingeniería mecánica. (6ta. Ed.). México, D.F., México: McGraw-Hill.

Malave, M., (1990). Diseño y construcción de un secador solar. Trabajo Especial de Grado. Universidad Central de Venezuela, Caracas.

Lindbland, C., (1979). Almacenamiento de granos, manejo, secado, silos. Control de insectos y roedores. México, D.F., México: Editorial Concepto.

Henao, J. (1991). Curso sobre maquinaria y procesos para el beneficio húmedo del fruto del cafeto. Universidad Central de Venezuela, Maracay.

# **ANEXOS**

**Anexo No 1**

**Modelo de entrevista que se le aplicará a los agricultores del Centro Poblado El Triunfo**

**Dirigida los agricultores de café del Centro Poblado El Triunfo.**

**Tema:** Maquina secadora de café.

**EJEMPLO DE ENTREVISTA ESTRUCTURADA**

Fecha: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Nombre del Entrevistado: \_\_\_\_\_

Lugar: \_\_\_\_\_

**OBJETIVO:**

Saber las necesidades de los agricultores sobre el secado de café, sus características, tipos y estrategias con el fin de poder diseñar una máquina que presente los parámetros necesarios para el secado.

**PREGUNTAS:**

1. ¿Cuál es su producción de café al año?

---

---

---

---

---

2. ¿Qué método de secado utiliza?

---

---

---

---

3. ¿Qué tipos de secado usted conoce?

4. ¿Qué cantidad y tiempo realiza el secado?

5. ¿Cuál es el porcentaje de humedad que se requiere en el grano?

6. ¿Por qué es importante el secado en su producción?

7. ¿Qué otros problemas se presenta para el secado de café?

8. ¿Cómo se da cuenta usted cuando el grano ya está seco?

9. ¿Cuál es el beneficio de un buen secado de café?

10. ¿Conoce usted de las máquinas secadoras de café?

11. ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por una máquina secadora de café?

S/.10000

S/.15000

S/.20000

S/.25000

S/.30000

12. ¿Conoce sobre las asociaciones agropecuarias que brinda ayuda económica a los agricultores?

Entrevistador: \_\_\_\_\_

**Elaborado por:** Carranza Lizana, Daniel y Mori Quiroz, Jean

Anexo N° 2

**Código de Ética del Colegio de Ingenieros del Perú (CIP)**



**CÓDIGO DE ETICA DEL CIP**

**APROBADO EN LA III SESIÓN ORDINARIA DEL CONGRESO NACIONAL DE CONSEJOS  
DEPARTAMENTALES DEL PERÍODO 1998 - 1999  
EN LA CIUDAD DE TACNA 22, 23 Y 24 ABRIL 1999**



## Anexo N° 3

### Código de Ética del Colegio de Ingenieros del Perú (CIP) - Continuación

## TITULO I

### DE LA RELACIÓN CON LA SOCIEDAD

- Art. 4.-** Los ingenieros reconocerán que la seguridad de la vida, la salud, los bienes y el bienestar de la población y del público en general, así como el desarrollo tecnológico del país dependen de los juicios, decisiones incorporados por ellos o por su consejo, en dispositivos, edificaciones, estructuras, maquinas, productos y procesos. Por ninguna razón pondrán sus conocimientos al servicio de todo aquello que afecta la paz y la salud.
- Art. 5.-** Los ingenieros cuidarán que los recursos humanos, económicos, naturales y materiales, sean racional y adecuadamente utilizados, evitando su abuso o dispendio, respetarán y harán respetar las disposiciones legales que garanticen la preservación del medio ambiente.
- Art. 6.-** Los ingenieros ejecutarán todos los actos inherentes a la profesión de acuerdo a las reglas técnicas y científicas procediendo con diligencia; autorizaran planos, documentos o trabajos solo cuando tengan la convicción de que son idóneos y seguros, de acuerdo a las normas de ingeniería.
- Art. 7.-** Los ingenieros que adviertan hechos o condiciones que en su opinión puedan poner en peligro la vida, la salud, la seguridad o la propiedad, deberán llamar la atención de ello directamente o a través del CIP a quienes sean responsables para que cumplan con su deber, advirtiendo a las autoridades competentes.
- Art. 8.-** Si el juicio profesional es negado o contradicho y como consecuencia de ello, a juicio del mismo, resultara en peligro la seguridad, el ingeniero deberá informar a su cliente o empleador de las posibles consecuencias, sin perjuicio de dar aviso a la autoridad competente.
- Art. 9.-** Los ingenieros están obligados a cuidar el territorio de trabajo de la ingeniería peruana de acuerdo al Art. 1.05 del Estatuto del CIP, y fomentar el desarrollo tecnológico del Perú "

#### ESTATUTO DEL CIP

##### Sección Primera: De la Ingeniería.

*Art. 1.05.- La ingeniería es ejercida en el Perú exclusivamente por los ingenieros titulados universitarios, miembros habilitados del Colegio de Ingenieros del Perú. Los ingenieros colegiados están al servicios de la sociedad.*

- Art. 10.-** Son actos contrarios a la ética profesional
- a) Faltar a cualquiera de las normas establecidas en este título
  - b) Ejecutar actos reñidos con la buena técnica o incurrir en omisiones culposas, aún cuando fuere en cumplimiento de ordenes de autoridades superiores

Anexo N° 4

**Código de Ética de Investigación de la Universidad Señor de Sipán (USS)**



[www.uss.edu.pe](http://www.uss.edu.pe)

**CÓDIGO DE ÉTICA DE  
INVESTIGACIÓN DE LA USS**

VERSIÓN 03

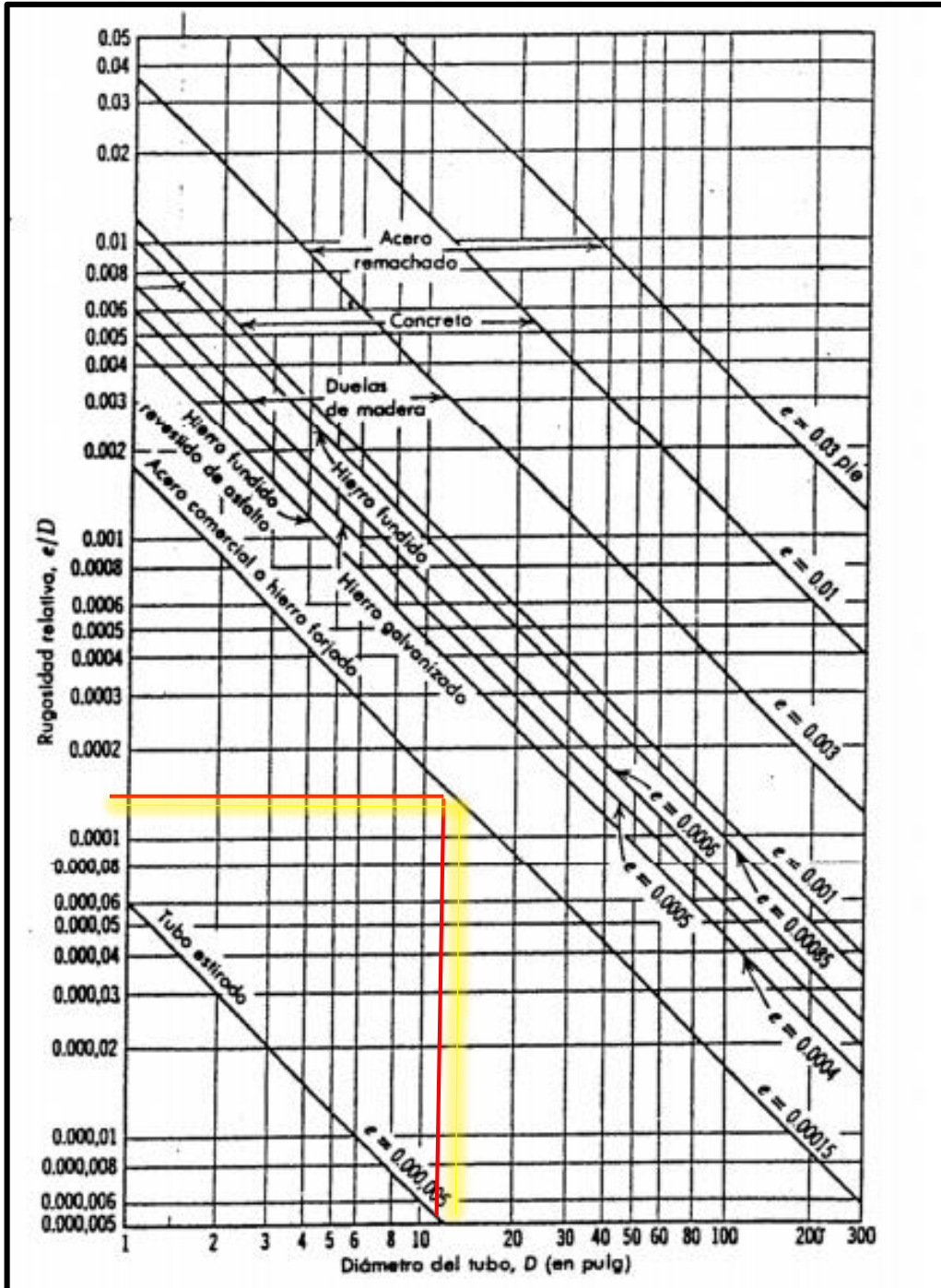
**RATIFICADO POR ACUERDO DE CONSEJO UNIVERSITARIO CON RESOLUCIÓN  
RECTORAL N° 0851-2017/USS**

**CHICLAYO - PERÚ**

|  |  |                    |   |
|--|--|--------------------|---|
| Versión: 03                                  | Código:<br>1/RI-CE   | F. Implementación: | Página 1 de 29  |
| Elaborado por:<br>Dirección de Investigación | Revisado por: Planificación y Desarrollo<br>Institucional – Asesoría Legal |                    | Ratificado con Resolución Rectoral N° 8801-<br>2017/USS |

## Anexo N° 5

### Rugosidad Relativa

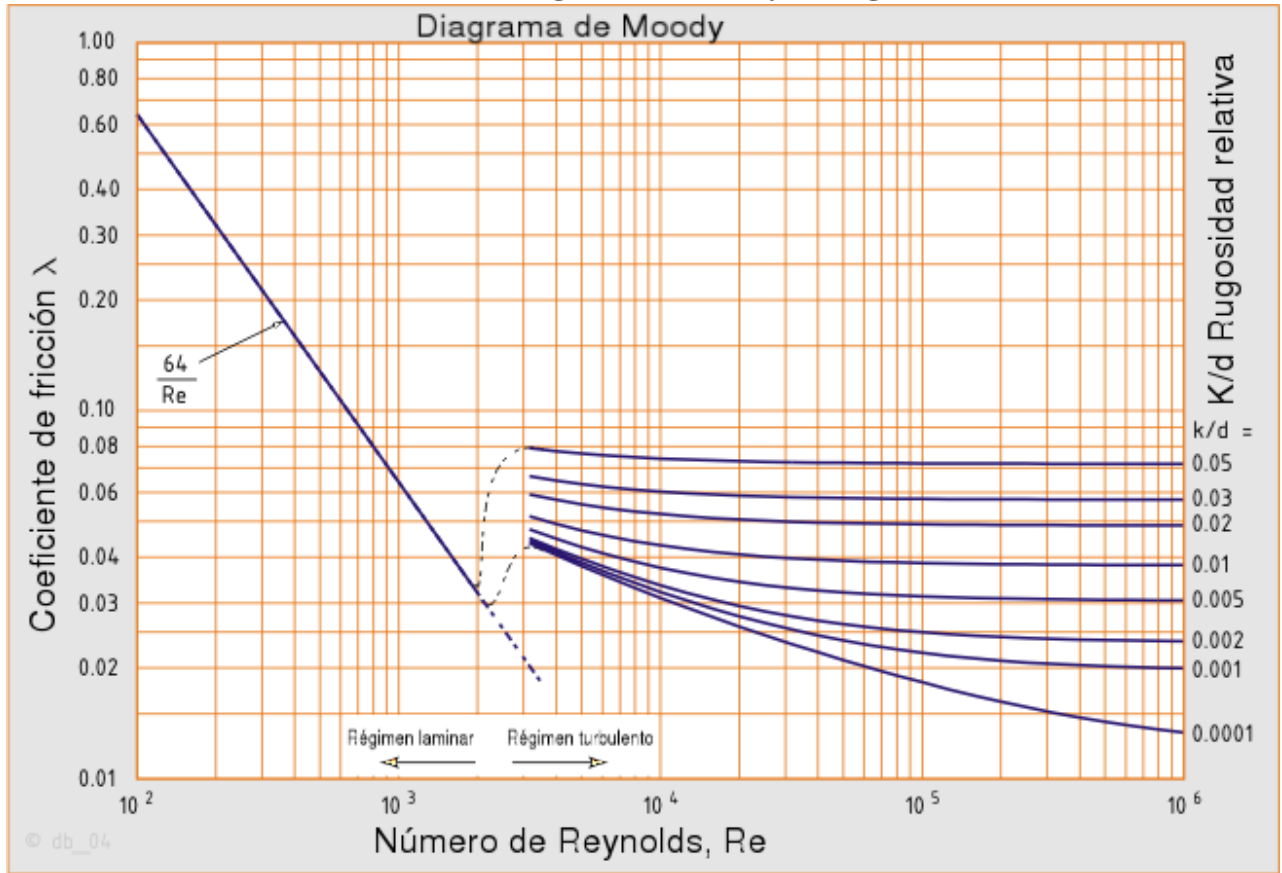


Anexo N° 6

Propiedades del Aire – Yunus Cengel

| Propiedades del aire a 1 atm de presión |  |                                       |  |  |  |   |                            |
|---|--|---------------------------------------|--|--|--|---|----------------------------|
| Temp.<br>T, °C                          | Densidad<br>$\rho$ , kg/m <sup>3</sup> | Calor<br>específico $c_p$<br>J/kg · K | Conductividad<br>térmica<br>k, W/m · K | Difusividad<br>térmica<br>$\alpha$ , m <sup>2</sup> /s | Viscosidad<br>dinámica<br>$\mu$ , kg/m · s | Viscosidad<br>cinemática<br>$\nu$ , m <sup>2</sup> /s | Número de<br>Prandtl<br>Pr |
| -150                                    | 2.866                                  | 983                                   | 0.01171                                | $4.158 \times 10^{-6}$                                 | $8.636 \times 10^{-6}$                     | $3.013 \times 10^{-6}$                                | 0.7246                     |
| -100                                    | 2.038                                  | 966                                   | 0.01582                                | $8.036 \times 10^{-6}$                                 | $1.189 \times 10^{-5}$                     | $5.837 \times 10^{-6}$                                | 0.7263                     |
| -50                                     | 1.582                                  | 999                                   | 0.01979                                | $1.252 \times 10^{-5}$                                 | $1.474 \times 10^{-5}$                     | $9.319 \times 10^{-6}$                                | 0.7440                     |
| -40                                     | 1.514                                  | 1002                                  | 0.02057                                | $1.356 \times 10^{-5}$                                 | $1.527 \times 10^{-5}$                     | $1.008 \times 10^{-5}$                                | 0.7436                     |
| -30                                     | 1.451                                  | 1004                                  | 0.02134                                | $1.465 \times 10^{-5}$                                 | $1.579 \times 10^{-5}$                     | $1.087 \times 10^{-5}$                                | 0.7425                     |
| -20                                     | 1.394                                  | 1005                                  | 0.02211                                | $1.578 \times 10^{-5}$                                 | $1.630 \times 10^{-5}$                     | $1.169 \times 10^{-5}$                                | 0.7408                     |
| -10                                     | 1.341                                  | 1006                                  | 0.02288                                | $1.696 \times 10^{-5}$                                 | $1.680 \times 10^{-5}$                     | $1.252 \times 10^{-5}$                                | 0.7387                     |
| 0                                       | 1.292                                  | 1006                                  | 0.02364                                | $1.818 \times 10^{-5}$                                 | $1.729 \times 10^{-5}$                     | $1.338 \times 10^{-5}$                                | 0.7362                     |
| 5                                       | 1.269                                  | 1006                                  | 0.02401                                | $1.880 \times 10^{-5}$                                 | $1.754 \times 10^{-5}$                     | $1.382 \times 10^{-5}$                                | 0.7350                     |
| 10                                      | 1.246                                  | 1006                                  | 0.02439                                | $1.944 \times 10^{-5}$                                 | $1.778 \times 10^{-5}$                     | $1.426 \times 10^{-5}$                                | 0.7336                     |
| 15                                      | 1.225                                  | 1007                                  | 0.02476                                | $2.009 \times 10^{-5}$                                 | $1.802 \times 10^{-5}$                     | $1.470 \times 10^{-5}$                                | 0.7323                     |
| 20                                      | 1.204                                  | 1007                                  | 0.02514                                | $2.074 \times 10^{-5}$                                 | $1.826 \times 10^{-5}$                     | $1.516 \times 10^{-5}$                                | 0.7309                     |
| 25                                      | 1.184                                  | 1007                                  | 0.02551                                | $2.141 \times 10^{-5}$                                 | $1.849 \times 10^{-5}$                     | $1.562 \times 10^{-5}$                                | 0.7296                     |
| 30                                      | 1.164                                  | 1007                                  | 0.02588                                | $2.208 \times 10^{-5}$                                 | $1.872 \times 10^{-5}$                     | $1.608 \times 10^{-5}$                                | 0.7282                     |
| 35                                      | 1.145                                  | 1007                                  | 0.02625                                | $2.277 \times 10^{-5}$                                 | $1.895 \times 10^{-5}$                     | $1.655 \times 10^{-5}$                                | 0.7268                     |
| 40                                      | 1.127                                  | 1007                                  | 0.02662                                | $2.346 \times 10^{-5}$                                 | $1.918 \times 10^{-5}$                     | $1.702 \times 10^{-5}$                                | 0.7255                     |
| 45                                      | 1.109                                  | 1007                                  | 0.02699                                | $2.416 \times 10^{-5}$                                 | $1.941 \times 10^{-5}$                     | $1.750 \times 10^{-5}$                                | 0.7241                     |
| 50                                      | 1.092                                  | 1007                                  | 0.02735                                | $2.487 \times 10^{-5}$                                 | $1.963 \times 10^{-5}$                     | $1.798 \times 10^{-5}$                                | 0.7228                     |
| 60                                      | 1.059                                  | 1007                                  | 0.02808                                | $2.632 \times 10^{-5}$                                 | $2.008 \times 10^{-5}$                     | $1.896 \times 10^{-5}$                                | 0.7202                     |
| 70                                      | 1.028                                  | 1007                                  | 0.02881                                | $2.780 \times 10^{-5}$                                 | $2.052 \times 10^{-5}$                     | $1.995 \times 10^{-5}$                                | 0.7177                     |
| 80                                      | 0.9994                                 | 1008                                  | 0.02953                                | $2.931 \times 10^{-5}$                                 | $2.096 \times 10^{-5}$                     | $2.097 \times 10^{-5}$                                | 0.7154                     |
| 90                                      | 0.9718                                 | 1008                                  | 0.03024                                | $3.086 \times 10^{-5}$                                 | $2.139 \times 10^{-5}$                     | $2.201 \times 10^{-5}$                                | 0.7132                     |
| 100                                     | 0.9458                                 | 1009                                  | 0.03095                                | $3.243 \times 10^{-5}$                                 | $2.181 \times 10^{-5}$                     | $2.306 \times 10^{-5}$                                | 0.7111                     |
| 120                                     | 0.8977                                 | 1011                                  | 0.03235                                | $3.565 \times 10^{-5}$                                 | $2.264 \times 10^{-5}$                     | $2.522 \times 10^{-5}$                                | 0.7073                     |
| 140                                     | 0.8542                                 | 1013                                  | 0.03374                                | $3.898 \times 10^{-5}$                                 | $2.345 \times 10^{-5}$                     | $2.745 \times 10^{-5}$                                | 0.7041                     |
| 160                                     | 0.8148                                 | 1016                                  | 0.03511                                | $4.241 \times 10^{-5}$                                 | $2.420 \times 10^{-5}$                     | $2.975 \times 10^{-5}$                                | 0.7014                     |
| 180                                     | 0.7788                                 | 1019                                  | 0.03646                                | $4.593 \times 10^{-5}$                                 | $2.504 \times 10^{-5}$                     | $3.212 \times 10^{-5}$                                | 0.6992                     |
| 200                                     | 0.7459                                 | 1023                                  | 0.03779                                | $4.954 \times 10^{-5}$                                 | $2.577 \times 10^{-5}$                     | $3.455 \times 10^{-5}$                                | 0.6974                     |
| 250                                     | 0.6746                                 | 1033                                  | 0.04104                                | $5.890 \times 10^{-5}$                                 | $2.760 \times 10^{-5}$                     | $4.091 \times 10^{-5}$                                | 0.6946                     |
| 300                                     | 0.6158                                 | 1044                                  | 0.04418                                | $6.871 \times 10^{-5}$                                 | $2.934 \times 10^{-5}$                     | $4.765 \times 10^{-5}$                                | 0.6935                     |

### Anexo N°7: Diagrama de Moody - Cengel



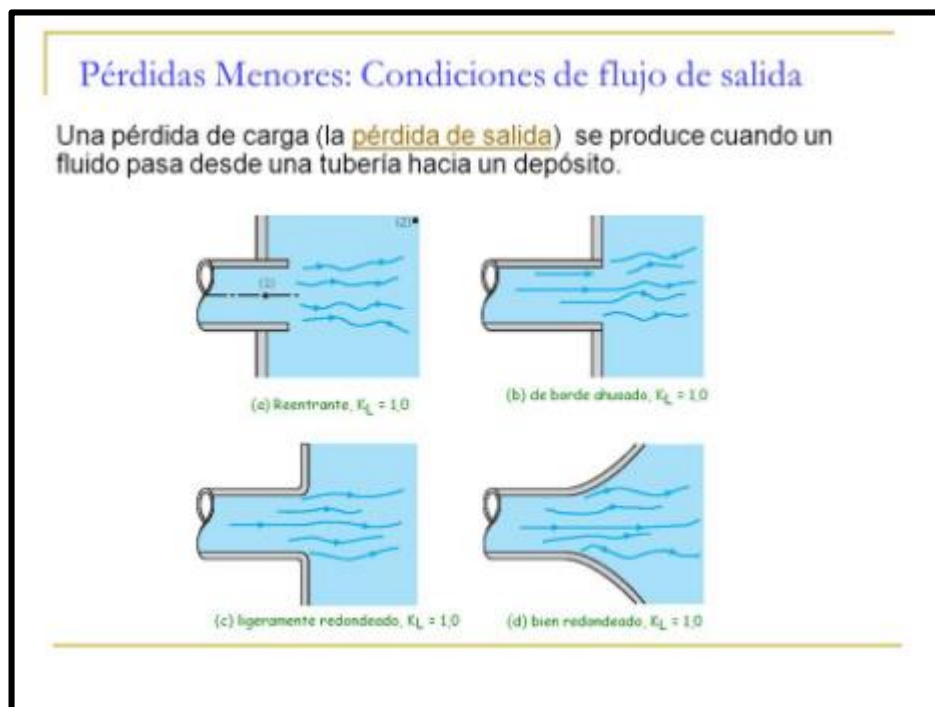
## Anexo N° 8

**Tabla del factor K A-24 - Krane**

|                              |      |      |      |       |       |      |          |      |      |      |         |         |         |
|------------------------------|------|------|------|-------|-------|------|----------|------|------|------|---------|---------|---------|
| Diámetro mm                  | 15   | 20   | 25   | 32    | 40    | 50   | 65,80    | 100  | 125  | 150  | 200,250 | 300-400 | 450-600 |
| Nominal pulg                 | 1/2  | 3/4  | 1    | 1 1/4 | 1 1/2 | 2    | 2 1/2, 3 | 4    | 5    | 6    | 8,10    | 12-16   | 18-24   |
| Factor de fricción ( $f_r$ ) | .027 | .025 | .023 | .022  | .021  | .019 | .018     | .017 | .016 | .015 | .014    | .013    | .012    |

## Anexo N° 9

### Pérdidas menores de un fluido



## Anexo N° 10

### Factores de fricción para el acero comercial

| Tamaño de conducto nominal (pulg) | Factor de fricción, $f_T$ | Tamaño de conducto nominal (pulg) | Factor de fricción, $f_T$ |
|-----------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|---------------------------|
| ½                                 | 0,027                     | 4                                 | 0,017                     |
| ¾                                 | 0,025                     | 5                                 | 0,016                     |
| 1                                 | 0,023                     | 6                                 | 0,015                     |
| 1 ¼                               | 0,022                     | 8 – 10                            | 0,014                     |
| 1 ½                               | 0,021                     | 12 – 16                           | 0,013                     |
| 2                                 | 0,019                     | 18 – 24                           | 0,012                     |
| ⊕½, 3                             | 0,018                     |                                   |                           |

## Anexo N° 11

### Datos Específicos de la cascarilla de café

| Corriente                      | Gases exhaustos gasificador | Gases exhaustos hornos | Aire de secado |
|--------------------------------|-----------------------------|------------------------|----------------|
| Flujo (m <sup>3</sup> /h)      | 16000                       | 38720                  | 26293,8        |
| Densidad (kg/m <sup>3</sup> )  | 1,097                       | 1,097                  | 1,078          |
| Capacidad calorífica (kJ/kg K) | 0,748                       | 0,748                  | 1,008          |
| Temperatura inicial (°C)       | 200                         | 200                    | 25             |
| Temperatura final (°C)         | 50                          | 50                     | 60             |
| Transferencia de calor (MJ/h)  | 1969,3                      | 4765,8                 | -1000          |

## Anexo N° 12

### Informe análisis estático eje de secado



#### Descripción:

Análisis estático de eje de transferencia de calor - Diseño de una máquina secadora de café horizontal rotativa con capacidad de 15 quintales en el departamento de Cajamarca provincia san Ignacio centro poblado el Triunfo.

## Simulación de Eje De transferencia de Calor.

**Fecha:** domingo, 06 de octubre de 2019

**Diseñador:** Solidworks

**Nombre de estudio:** Análisis estático

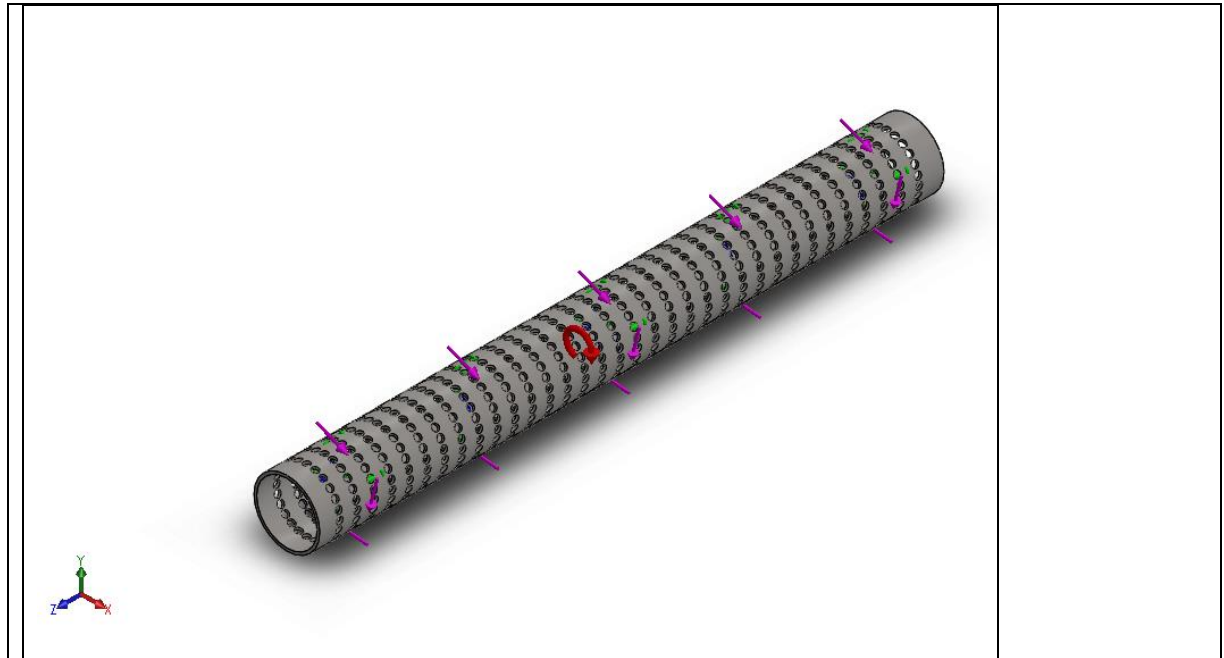
**Tipo de análisis:** Análisis estático

### Tabla de contenidos

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| Descripción.....          | 112 |
| Información de modelo .   | 113 |
| Propiedades de estudio .. | 114 |
| Unidades.....             | 114 |
| Propiedades de material   | 115 |
| Cargas y sujeciones ..... | 116 |
| Información de malla .... | 117 |



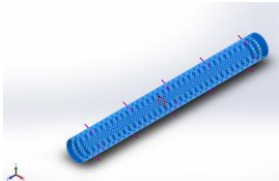
## Información de modelo



Nombre del modelo: **Eje de transferencia de calor**

Configuración actual: **Predeterminado**

### Sólidos

| Nombre de documento y referencia   | Tratado como  | Propiedades volumétricas  | Ruta al documento/Fecha de modificación   |
|--|---------------|---|---|
| <p><b>MatrizL5</b></p>  | <b>Sólido</b> | <p>Masa:191.662 kg<br/> Volumen:0.0248911 m<sup>3</sup><br/> Densidad:7700 kg/m<sup>3</sup><br/> Peso:1878.29 N</p> | <p>C:\Users\Winder™\Desktop\CARPETAS<br/> ESCRITORIO\Carpetas-Escritorio\Tesis-Daniel y Mori\Diseño eje\Eje-Analisis Tesi.SLDPRT<br/> <b>Oct 06 21:17:26 2019</b></p> |


## Propiedades de estudio

|   |  |
|---|--|
| Nombre de estudio   | Análisis estático  |
| Tipo de análisis  | Análisis estático  |
| Tipo de malla   | Malla sólida   |
| Efecto térmico:   | Activar  |
| Opción térmica  | De estudio térmico   |
| Introducir estudio térmico:   | Térmico 1  |
| Intervalo   | 1  |
| Temperatura a tensión cero  | 298 Kelvin   |
| Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation | Desactivar   |
| Tipo de solver  | FFEPlus  |
| Efecto de rigidización por tensión (Inplane):                                 | Activar  |
| Muelle blando:  | Desactivar   |
| Desahogo inercial:  | Desactivar   |
| Opciones de unión rígida incompatibles  | Automático   |
| Gran desplazamiento   | Desactivar   |
| Calcular fuerzas de cuerpo libre  | Activar  |
| Fricción  | Activar  |
| Coefficiente de rozamiento  | 5.000000e-002  |
| Utilizar método adaptativo:   | Desactivar   |
| Carpeta de resultados   | Documento de SOLIDWORKS<br>(C:\Users\Winder™\Desktop\CARPETAS ESCRITORIO\Carpetas-Escritorio\Tesis-Daniel y Mori\Diseño eje) |

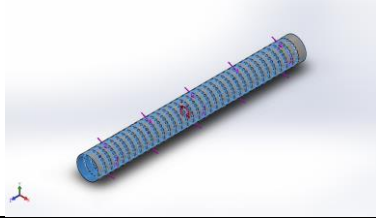
## Unidades


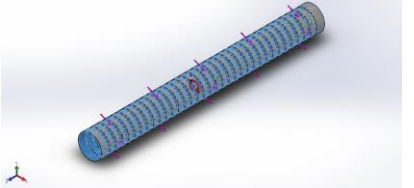

|                         |                  |
|-------------------------|------------------|
| Sistema de unidades:    | Métrico (MKS)    |
| Longitud/Desplazamiento | mm               |
| Temperatura             | Kelvin           |
| Velocidad angular       | Rad/seg          |
| Presión/Tensión         | N/m <sup>2</sup> |

## Propiedades de material

| Referencia de modelo  | Propiedades   | Componentes                                   |
|---|---|---|
|  | <p><b>Material:</b> Acero inoxidable</p> <p><b>Tipo de modelo:</b> Isotrópico elástico lineal</p> <p><b>Criterio de error predeterminado:</b> Tensión de von Mises máx.</p> <p><b>Límite elástico:</b> 6.20422e+008 N/m<sup>2</sup></p> <p><b>Límite de tracción:</b> 7.23826e+008 N/m<sup>2</sup></p> <p><b>Módulo elástico:</b> 2.1e+011 N/m<sup>2</sup></p> <p><b>Coefficiente de Poisson:</b> 0.28</p> <p><b>Densidad:</b> 7700 kg/m<sup>3</sup></p> <p><b>Módulo cortante:</b> 7.9e+010 N/m<sup>2</sup></p> <p><b>Coefficiente de dilatación térmica:</b> 1.3e-005 /Kelvin</p> | <p>Sólido 1(MatrizL5)(Eje-Análisis Tesis)</p> |
| <p>Datos de curva:N/A</p>   |   |   |

## Cargas y sujeciones

| Nombre de sujeción              | Imagen de sujeción  | Detalles de sujeción  |          |                   |
|---------------------------------|---|---|----------|-------------------|
| <b>Fijo-1</b>                   |  | <b>Entidades: 1</b><br><b>cara</b><br><b>Tipo:</b><br><b>geometria fija</b> |          |                   |
| Fuerzas resultantes             |   |   |          |                   |
| <b>Componentes</b>              | <b>X</b>  | <b>Y</b>  | <b>Z</b> | <b>Resultante</b> |
| <b>Fuerza de reacción(N)</b>    | -8.50958  | 0.513428  | 20.1193  | 21.8509           |
| <b>Momento de reacción(N.m)</b> | 0   | 0   | 0        | 0                 |

| Nombre de carga      | Cargar imagen   | Detalles de carga  |
|----------------------|---|--|
| <b>Torsión-1</b>     |   | <b>Entidades:</b> 1 cara(s)<br><b>Referencia:</b> Cara< 1 ><br><b>Tipo:</b> Aplicar momento torsor<br><b>Valor:</b> -3529.64 N.m |
| <b>Temperatura-1</b> |  | <b>Entidades:</b> 1 cara(s)<br><b>Temperatura:</b> 323.15 K  |
| <b>Centrífuga-1</b>  |  | <b>Centrífuga, Ref:</b> Cara< 1 ><br><b>Velocidad angular:</b> 4 rad/s<br><b>Aceleración angular:</b> 0 rad/s^2                  |

## Información de malla

|                                      |                                     |
|--------------------------------------|-------------------------------------|
| Tipo de malla                        | Malla sólida                        |
| Mallador utilizado:                  | Malla estándar                      |
| Transición automática:               | Desactivar                          |
| Incluir bucles automáticos de malla: | Desactivar                          |
| Puntos jacobianos                    | 4 Puntos                            |
| Tamaño de elementos                  | 45.7245 mm                          |
| Tolerancia                           | 2.28623 mm                          |
| Calidad de malla                     | Elementos cuadráticos de alto orden |

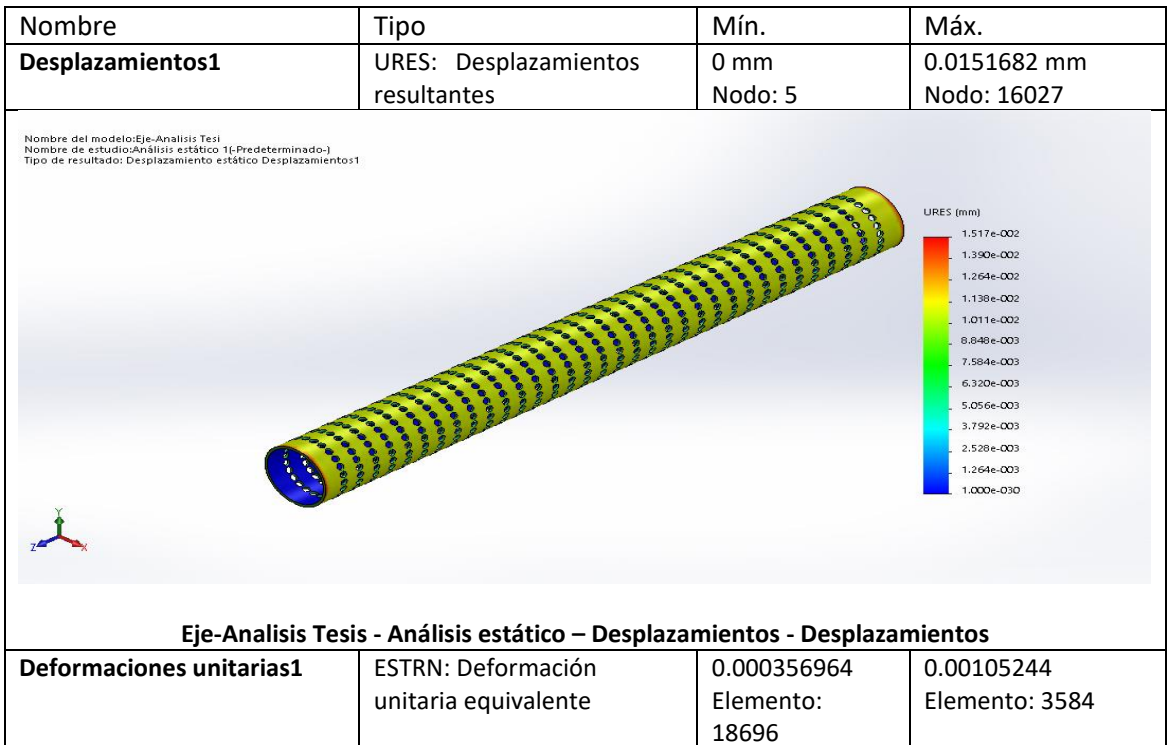
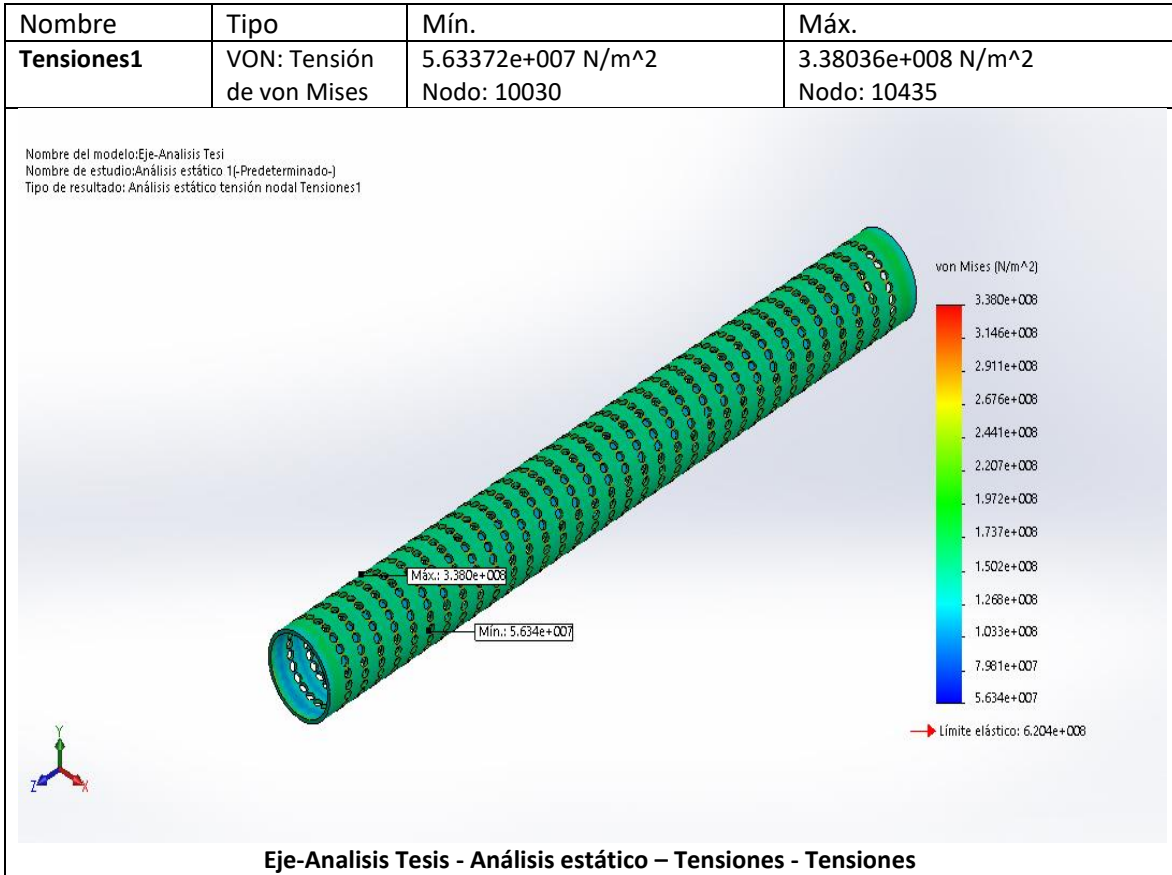
## Información de malla – Detalles

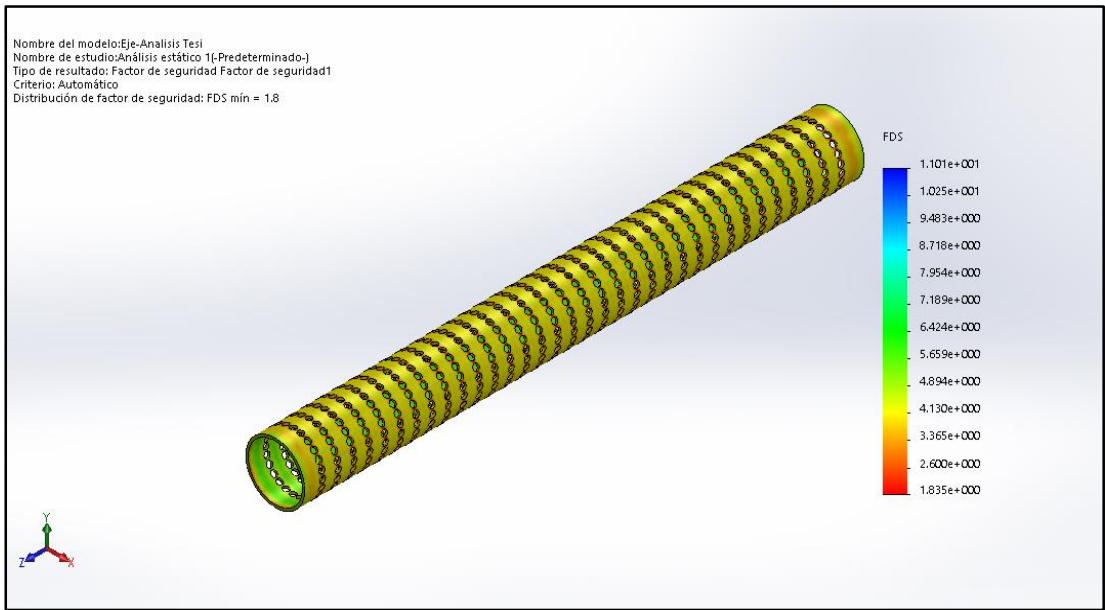
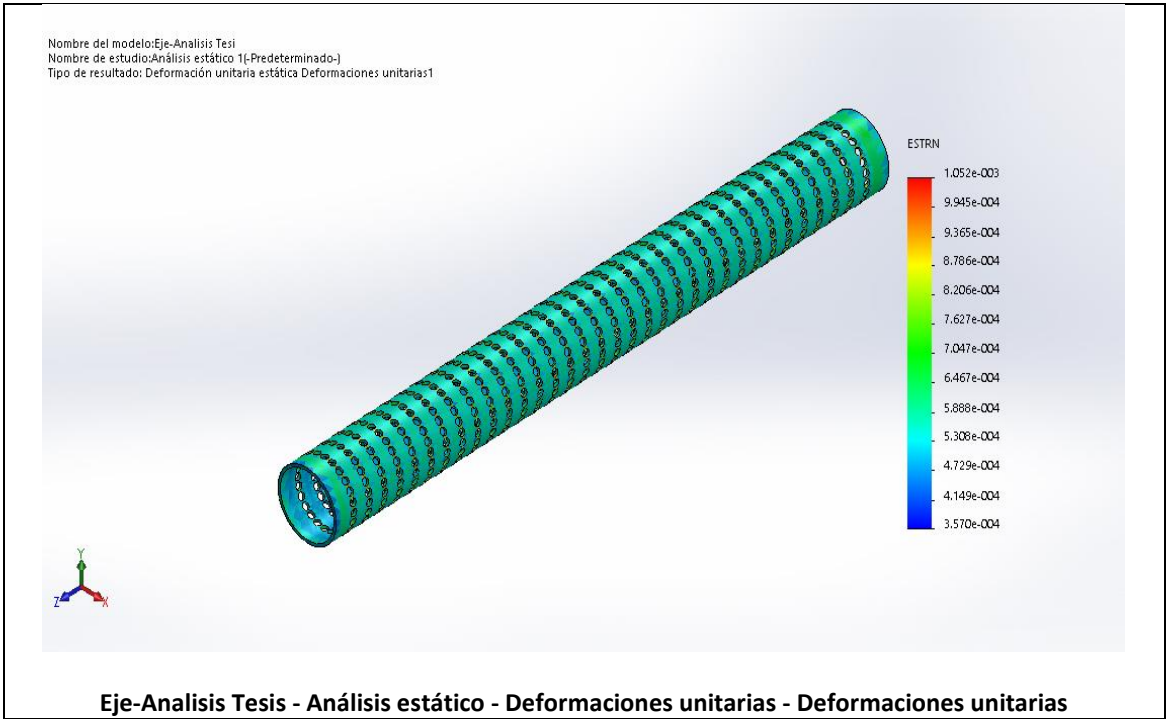
|   |          |
|---|----------|
| Número total de nodos                           | 119810   |
| Número total de elementos                       | 51518    |
| Cociente máximo de aspecto                      | 41.739   |
| % de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3  | 80.1     |
| % de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10 | 0.109    |
| % de elementos distorsionados (Jacobiana)       | 0        |
| Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):      | 00:01:40 |
| Nombre de computadora:                          |          |

Nombre del modelo: Eje-Análisis Tesis  
Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-)  
Tipo de malla: Malla sólida



## Resultados del estudio





| Nombre   | Tipo       | Mín.                   | Máy.                  |
|--|------------|------------------------|-----------------------|
| <b>Factor de seguridad</b>   | Automático | 1.83537<br>Nodo: 10435 | 3.0127<br>Nodo: 10030 |
| <b>Eje-Analisis Tesis-Análisis estático -Factor de seguridad-Factor de seguridad</b> |            |                        |                       |

## Anexo N° 13

### Informe análisis dinámico eje de secado



#### Descripción

Análisis dinámico de eje de transferencia de calor - Diseño de una máquina secadora de café horizontal rotativa con capacidad de 15 quintales en el departamento de Cajamarca provincia san Ignacio centro poblado el Triunfo.

## Simulación de Eje De transferencia de Calor.

**Fecha:** domingo, 06 de octubre de 2019

**Diseñador:** Solidworks

**Nombre de estudio:** Dinámico

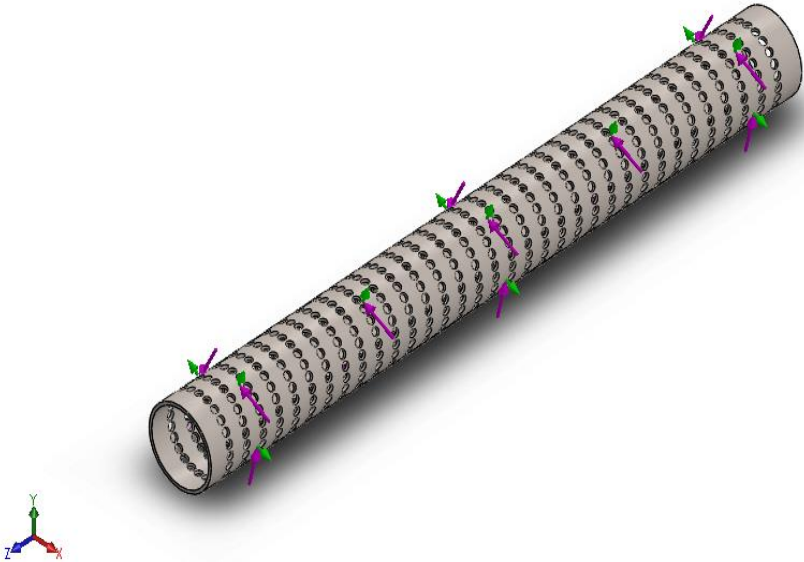
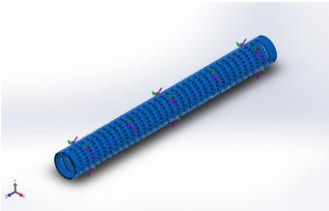
**Tipo de análisis:** Análisis dinámico lineal (Gráfico de historia-tiempo)

### Tabla de contenidos

|                                |                               |
|--------------------------------|-------------------------------|
| Descripción.....               | 120                           |
| Suposiciones.....              | ¡Error! Marcador no definido. |
| Información de modelo .....    | 121                           |
| Propiedades de estudio .....   | 122                           |
| Unidades.....                  | 122                           |
| Propiedades de material ....   | 123                           |
| Cargas y sujeciones .....      | 124                           |
| Definiciones de conector ..... | ¡Error! Marcador no definido. |
| Información de contacto .....  | ¡Error! Marcador no definido. |
| Información de malla .....     | 125                           |
| Detalles del sensor.....       | ¡Error! Marcador no definido. |
| Resultados del estudio.....    | 126                           |
| Conclusión.....                | ¡Error! Marcador no definido. |



## Información de modelo

|  <p>Nombre del modelo: <b>Eje - Analisis Tesis</b><br/>Configuración actual: <b>Predeterminado</b></p> |               |  |   |
|---|---------------|--|---|
| <b>Sólidos</b>  |               |  |   |
| Nombre de documento y referencia  | Tratado como  | Propiedades volumétricas   | Ruta al documento/Fecha de modificación   |
| <p><b>MatrizL5</b></p>   | <b>Sólido</b> | <p>Masa:191.662 kg<br/>Volumen:0.0248911 m<sup>3</sup><br/>Densidad:7700 kg/m<sup>3</sup><br/>Peso:1878.29 N</p> | <p>C:\Users\Winder™\Desktop\CARPETAS ESCRITORIO\Carpetas-Escritorio\Tesis-Daniel y pri\Diseño eje\Eje-Analisis si-Dinámico 1\Eje-Analisis Tesi.SLDPRT<br/><b>Oct 20 21:25:03 2019</b></p> |

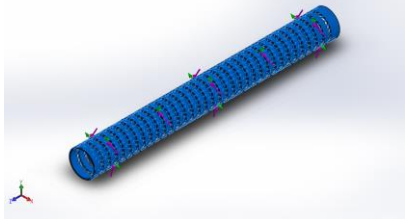
## Propiedades de estudio

|   |   |
|---|---|
| Nombre de estudio   | Dinámico 1  |
| Tipo de análisis  | Análisis dinámico lineal (Gráfico de historia-tiempo)   |
| Tipo de malla   | Malla sólida  |
| Número de frecuencias   | 15  |
| Tipo de solver  | FFEPlus   |
| Muelle blando:  | Desactivar  |
| Opciones de unión rígida incompatibles  | Automático  |
| Opción térmica  | Incluir cargas térmicas   |
| Temperatura a tensión cero  | 298 Kelvin  |
| Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation | Desactivar  |
| Hora de inicio  | 0 Segundos  |
| Fin   | 1 Segundos  |
| Incremento de tiempo  | 0.01 Segundos   |
| Efectos de la carga muerta  | Desactivar  |
| Carpeta de resultados   | Documento de SOLIDWORKS<br>(C:\Users\Winder™\Desktop\CARPETAS ESCRITORIO\Carpetas-Escritorio\Tesis-Daniel y Mori\Diseño eje\Eje-Analisis Tesi-Dinámico 1) |

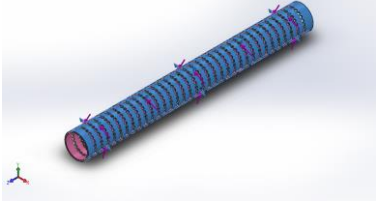
## Unidades

|                         |                  |
|-------------------------|------------------|
| Sistema de unidades:    | Métrico (MKS)    |
| Longitud/Desplazamiento | mm               |
| Temperatura             | Kelvin           |
| Velocidad angular       | Rad/seg          |
| Presión/Tensión         | N/m <sup>2</sup> |

## Propiedades de material

| Referencia de modelo  | Propiedades   | Componentes                                       |
|---|---|---|
|  | <p><b>Nombre:</b> Acero inoxidable</p> <p><b>Tipo de modelo:</b> Isotrópico elástico lineal</p> <p><b>Criterio de error predeterminado:</b> Tensión de von Mises máx.</p> <p><b>Límite elástico:</b> 6.20422e+008 N/m<sup>2</sup></p> <p><b>Límite de tracción:</b> 7.23826e+008 N/m<sup>2</sup></p> <p><b>Módulo elástico:</b> 2.1e+011 N/m<sup>2</sup></p> <p><b>Coefficiente de Poisson:</b> 0.28</p> <p><b>Densidad:</b> 7700 kg/m<sup>3</sup></p> <p><b>Módulo cortante:</b> 7.9e+010 N/m<sup>2</sup></p> <p><b>Coefficiente de dilatación térmica:</b> 1.3e-005 /Kelvin</p> | <p>Sólido 1(MatrizL5)<br/>(Eje-Analisis Tesi)</p> |
| <p>Datos de curva:N/A</p>   |   |   |

## Cargas y sujeciones

| Nombre de sujeción  | Imagen de sujeción  | Detalles de sujeción  |             |            |   |   |            |                       |   |   |   |        |                          |   |   |   |   |
|---|---|---|-------------|------------|---|---|------------|-----------------------|---|---|---|--------|--------------------------|---|---|---|---|
| Condición inicial-1   |  | <p><b>Entidades:</b> 1 cara(s)<br/> <b>Referencia:</b> Cara&lt; 1 &gt;<br/> <b>Tipo:</b> Utilizar geometría de referencia</p> <p><b>Traslación:</b> 0.5<br/> <b>Unidades:</b> m</p> |             |            |   |   |            |                       |   |   |   |        |                          |   |   |   |   |
| <p>Fuerzas resultantes</p> <table border="1" data-bbox="421 938 1315 1048"> <thead> <tr> <th>Componentes</th> <th>X</th> <th>Y</th> <th>Z</th> <th>Resultante</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Fuerza de reacción(N)</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>1e-033</td> </tr> <tr> <td>Momento de reacción(N.m)</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table> |   |   | Componentes | X          | Y | Z | Resultante | Fuerza de reacción(N) | 0 | 0 | 0 | 1e-033 | Momento de reacción(N.m) | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Componentes   | X   | Y   | Z           | Resultante |   |   |            |                       |   |   |   |        |                          |   |   |   |   |
| Fuerza de reacción(N)   | 0   | 0   | 0           | 1e-033     |   |   |            |                       |   |   |   |        |                          |   |   |   |   |
| Momento de reacción(N.m)  | 0   | 0   | 0           | 0          |   |   |            |                       |   |   |   |        |                          |   |   |   |   |

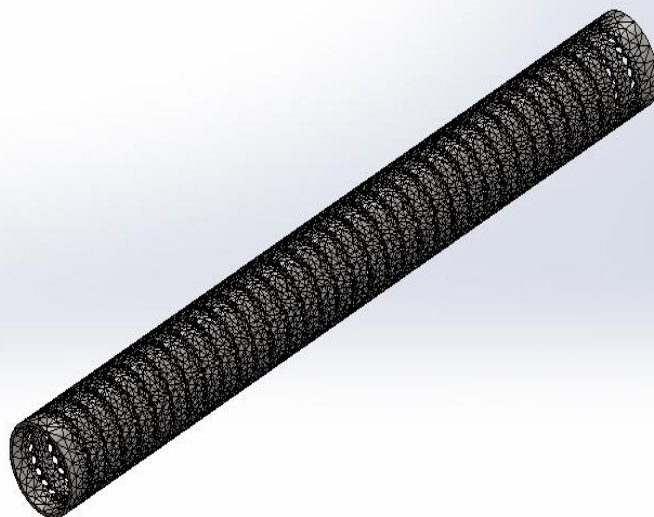
## Información de malla

|                                      |                                     |
|--------------------------------------|-------------------------------------|
| Tipo de malla                        | Malla sólida                        |
| Mallador utilizado:                  | Malla estándar                      |
| Transición automática:               | Desactivar                          |
| Incluir bucles automáticos de malla: | Desactivar                          |
| Puntos jacobianos                    | 4 Puntos                            |
| Tamaño de elementos                  | 44.582 mm                           |
| Tolerancia                           | 2.2291 mm                           |
| Calidad de malla                     | Elementos cuadráticos de alto orden |

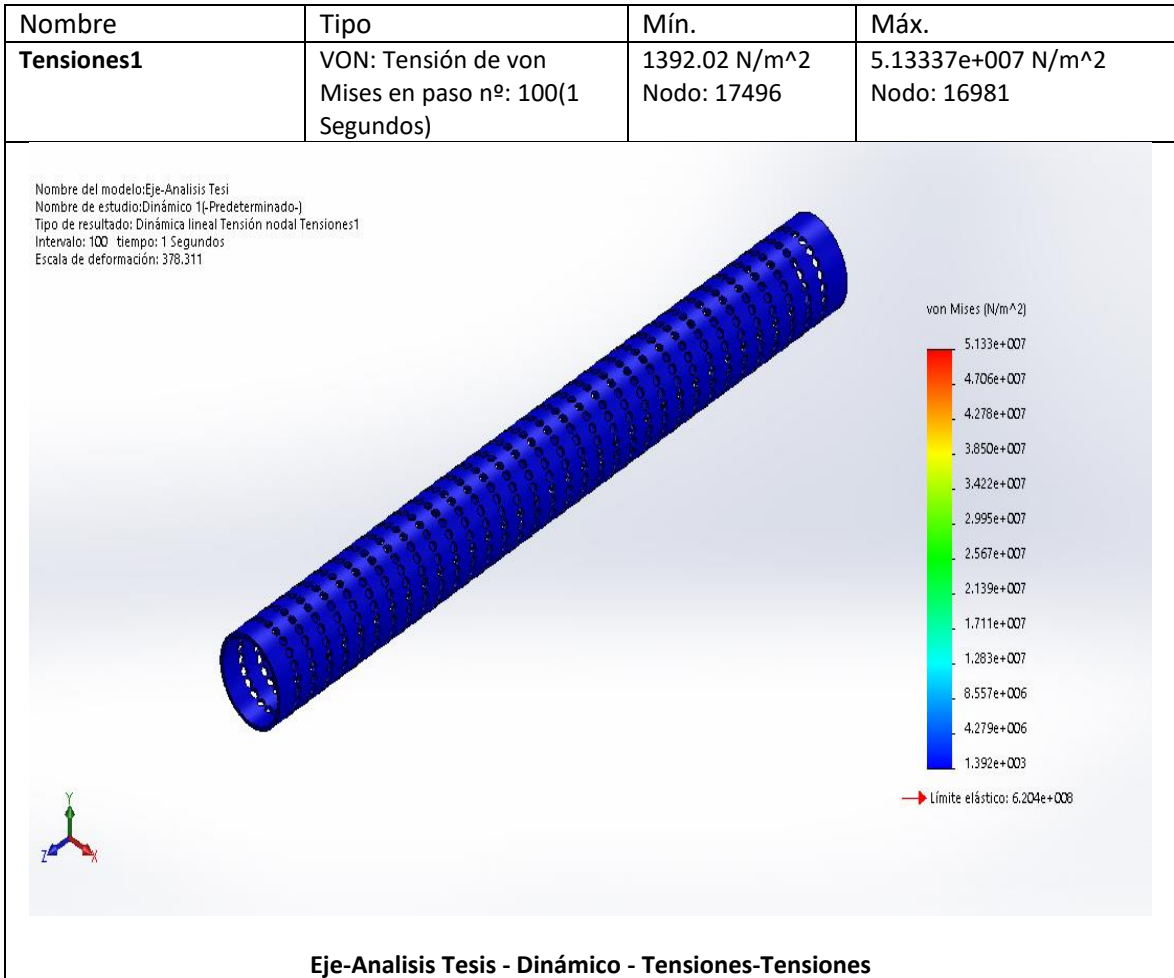
## Información de malla – Detalles

|   |          |
|---|----------|
| Número total de nodos                           | 118183   |
| Número total de elementos                       | 50225    |
| Cociente máximo de aspecto                      | 35.562   |
| % de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3  | 81.4     |
| % de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10 | 0.215    |
| % de elementos distorsionados (Jacobiana)       | 0        |
| Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):      | 00:01:26 |
| Nombre de computadora:                          |          |

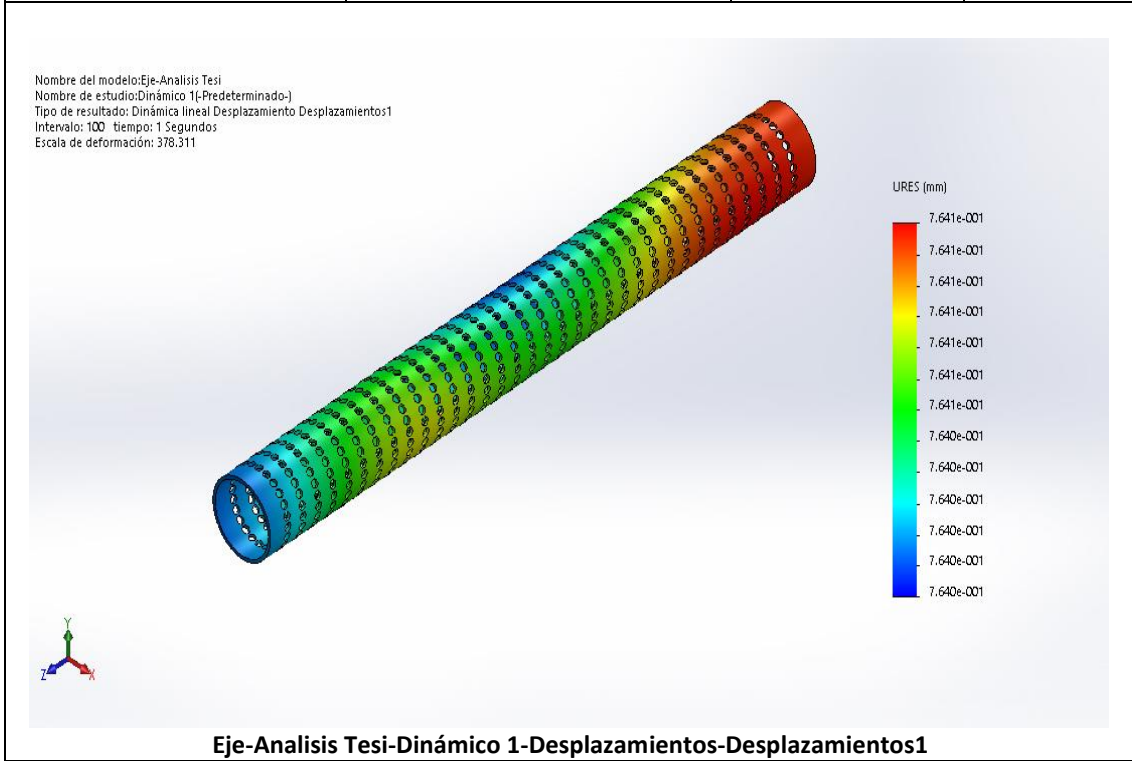
Nombre del modelo: Eje-Analisis Tesi  
Nombre de estudio: Dinámico 1(-Predeterminado-)  
Tipo de malla: Malla sólida



## Resultados del estudio

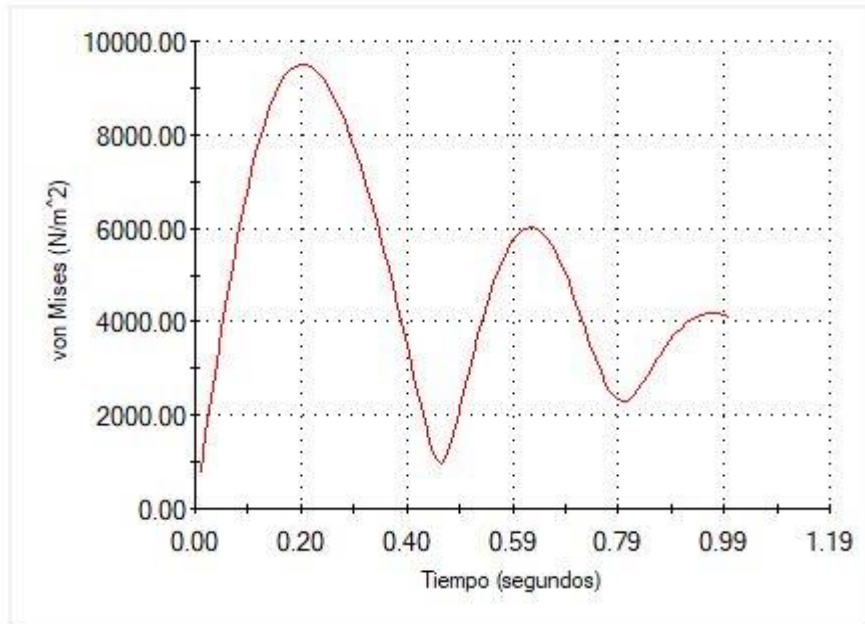


| Nombre                  | Tipo  | Mín.                      | Máx.                     |
|-------------------------|---|---------------------------|--------------------------|
| <b>Desplazamientos1</b> | URES: Desplazamientos resultantes en paso nº: 100(1 Segundos) | 0.763981 mm<br>Nodo: 5811 | 0.76413 mm<br>Nodo: 1262 |



|            |                         |
|------------|-------------------------|
| Nombre     | Tipo                    |
| Respuesta1 | Gráfica Historia-Tiempo |

**Gráfica Historia-Tiempo**



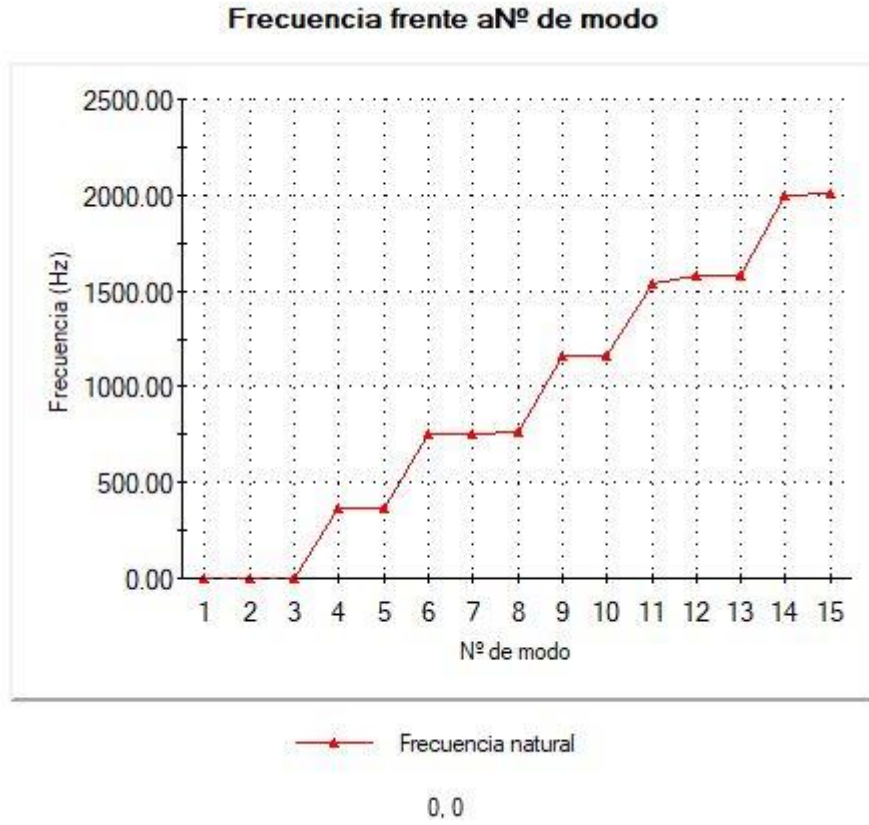
— Nodo 1

0,0

Eje -Análisis Tesis - Dinámico – Respuesta – Respuesta



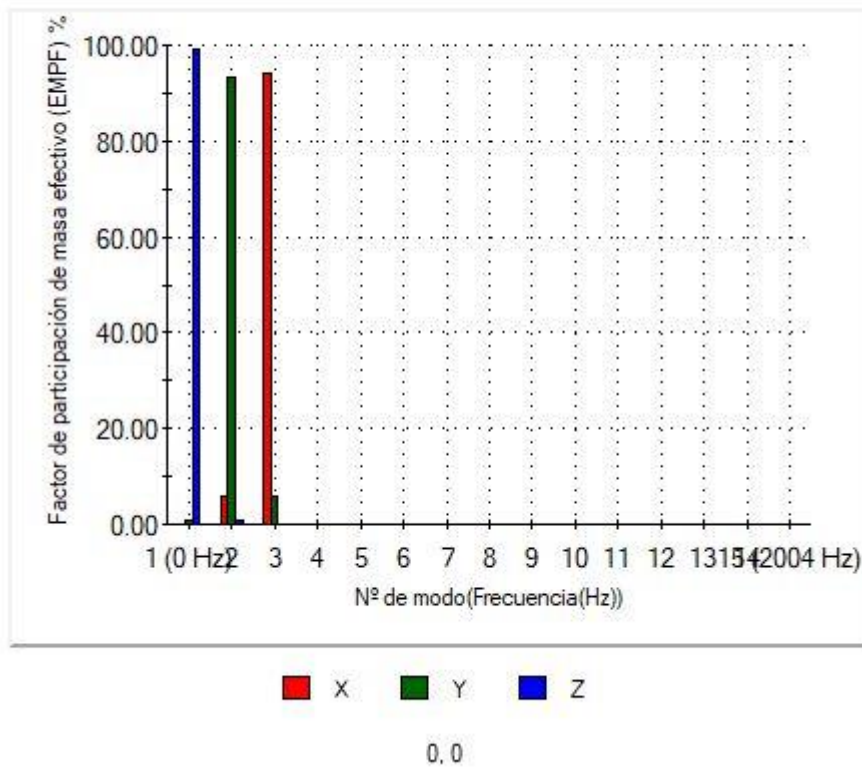
|                                     |                         |
|-------------------------------------|-------------------------|
| Nombre                              | Tipo                    |
| Gráfico de respuesta de frecuencia1 | Respuesta de frecuencia |



Eje-Analisis Tesis - Dinámico - Gráfico de respuesta de frecuencia - Gráfico de respuesta de frecuencia

|                                     |                         |
|-------------------------------------|-------------------------|
| Nombre                              | Tipo                    |
| Gráfico de respuesta de frecuencia2 | Respuesta de frecuencia |

**Frecuencia frente a Factor de participación de masa efectivo (EMPF)**



Eje-Analisis Tesis - Dinámico - Gráfico de respuesta de frecuencia - Gráfico de respuesta de frecuencia

## Anexo N° 14

### Almacenamiento de los granos y cascarilla de café



## Anexo N° 15

### Método de secado artesanal de los granos de café



## Anexo N° 16

### Proceso de lavado y almacenamiento de granos de café



# PLANOS