

**DISEÑO DE UN TRANSPORTADOR SIN FIN PARA DESCARGA DE ESCORIA DE  
CARBON PROVENIENTE DE DOS CALDERAS EN LA EMPRESA FINCA BUGA**

**CARLOS FERNANDO PESCADOR PRIETO**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA  
PEREIRA**

**2022**

**DISEÑO DE UN TRANSPORTADOR SIN FIN PARA DESCARGA DE ESCORIA DE  
CARBON PROVENIENTE DE DOS CALDERAS EN LA EMPRESA FINCA BUGA**

**CARLOS FERNANDO PESCADOR PRIETO**

**TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR AL  
TÍTULO  
INGENIERO MECÁNICO**

**DIRECTOR**

**Ph.D. LUIS CARLOS FLOREZ G.**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA  
PEREIRA**

**2022**

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCION</b> .....	1
<b>1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	2
<b>1.2. OBJETIVOS</b> .....	3
<b>1.2.1 OBJETIVO GENERAL</b> .....	3
<b>1.2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS</b> .....	3
<b>2. MARCO TEORICO</b> .....	4
<b>2.1 EL CARBON Y SU DISTRIBUCION</b> .....	4
<b>2.2 CLASIFICACION DEL CARBON</b> .....	5
<b>2.2.1 ANTRACITA</b> .....	6
<b>2.2.2 HULLA BITUMINOSA</b> .....	6
<b>2.2.3 HULLA SUB-BITUMINOSA</b> .....	6
<b>2.2.4 TURBA Y LIGNITO</b> .....	6
<b>2.3 ESCORIA, RESIDUO DE LA COMBUSTION DE CARBON</b> .....	7
<b>2.4 PROPIEDADES FISICO QUIMICAS DE LA ESCORIA</b> .....	7
<b>2.5 TORNILLO DE ARQUIMEDES</b> .....	8
<b>2.6 TRANSPORTADORES DE TORNILLO SINFIN O HELICOIDALES</b> .....	9
<b>2.7 APLICACIONES DE LOS TRANSPORTADORES SIN FIN</b> .....	9
<b>2.7.1 TORNILLOS SIN FIN EN LA INDUSTRIA ALIMENTICIA</b> .....	10
<b>2.8 CONTEXTO DEL PROBLEMA</b> .....	12
<b>3.0 DISEÑO Y PARAMETROS DE FUNCIONAMIENTO</b> .....	14
<b>3.1 DATOS PRELIMINARES</b> .....	14
<b>3.2 CLASIFICACION DEL MATERIAL</b> .....	14
<b>3.3 CAPACIDAD DE DISEÑO</b> .....	15
<b>3.4 POTENCIA REQUERIDA</b> .....	16
<b>3.6 EXPANSION TERMICA</b> .....	18

<b>3.7 COMPONENTES DEL TRANSPORTADOR.....</b>	<b>19</b>
<b>4.0 ANALISIS DE CARGA Y SIMULACION .....</b>	<b>20</b>
<b>4.1 MATERIALES DE FABRICACION.....</b>	<b>20</b>
<b>4.1.1 CARACTERISTICAS DEL ACERO INOXIDABLE 304.....</b>	<b>20</b>
<b>4.2 METODO DE ELEMENTOS FINITOS .....</b>	<b>22</b>
<b>4.2.1 GEOMETRIA DE ANALISIS .....</b>	<b>22</b>
<b>4.2.2 MALLADO Y CONDICIONES DE CARGA .....</b>	<b>24</b>
<b>4.3 RESULTADOS Y ANALISIS.....</b>	<b>26</b>
<b>4.3.1 ESFUERZO MAXIMO EQUIVALENTE.....</b>	<b>28</b>
<b>4.3.2 DEFORMACION TOTAL.....</b>	<b>29</b>
<b>4.3.3 FACTOR DE SEGURIDAD .....</b>	<b>30</b>
<b>4.4 DISCUSION DE RESULTADOS.....</b>	<b>32</b>
<b>5.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>33</b>
<b>5.1 CONCLUSIONES.....</b>	<b>33</b>
<b>5.2 RECOMENDACIONES.....</b>	<b>34</b>
<b>6.0 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>	<b>35</b>
<b>7.0 ANEXOS.....</b>	<b>36</b>

## LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1. <i>Clasificación del carbón.</i> .....	5
Tabla 2.2. <i>Propiedades fisicoquímicas de la escoria de carbón.</i> .....	8
Tabla 3.1. <i>Clasificación de la escoria de carbón, según manual.</i> .....	15
Tabla 3.2. <i>Parámetros de diseño.</i> .....	16
Tabla 4.1. <i>Características del acero inoxidable 304-316</i> .....	21
Tabla 4.2. <i>Resultados obtenidos tramo del sin fin</i> .....	26
Tabla 4.3. <i>Resultados obtenidos en colgante</i> .....	26

## LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 2.1.</i> Reservas Mundiales de Carbón.....	5
<i>Figura 2.2.</i> Muestras de escoria Finca, Buga.....	7
<i>Figura 2.3.</i> Tornillo de Arquímedes.....	8
<i>Figura 2.4.</i> Eje helicoidal .....	9
<i>Figura 2.5</i> Transportadores sin fin tubulares .....	11
<i>Figura 2.6.</i> Alimentador de materia prima .....	11
<i>Figura 2.7.</i> Tornillos húmedos .....	12
<i>Figura 2.8.</i> Recorrido de la escoria .....	13
<i>Figura 2.9.</i> Zona de acopio de la escoria .....	13
<i>Figura 3.1.</i> Partes de un transportador sin fin .....	19
<i>Figura 4.1.</i> Modelo CAD de tornillo sin fin. ....	22
<i>Figura 4.2.</i> Modelo CAD de colgante. ....	23
<i>Figura 4.3.</i> Interfaz Engeneering data. ....	23
<i>Figura 4.4.</i> Mallado del Sin Fin .....	24
<i>Figura 4.5.</i> Aplicación de carga y puntos de sujeción .....	24
<i>Figura 4.6.</i> Cargas aplicadas al colgante.....	25
<i>Figura 4.7.</i> Dispersión, tamaño de malla en sin fin .....	27
<i>Figura 4.8.</i> Dispersión, tamaño de malla en colgante .....	27
<i>Figura 4.9.</i> Esfuerzo máximo según simulación en sin fin .....	28
<i>Figura 4.10.</i> Esfuerzo máximo según simulación en colgante .....	29
<i>Figura 4.11.</i> Deformación total en sin fin .....	29

<i>Figura 4.12.</i> Deformación total en colgante .....	30
<i>Figura 4.13.</i> Factor de seguridad en sin fin .....	31
<i>Figura 4.14.</i> Factor de seguridad en colgante .....	31
<i>Figura 4.15.</i> Concentraciones de esfuerzo en colgante modificado .....	32

## **1. INTRODUCCION**

El carbón es un mineral ampliamente utilizado como combustible fósil, formado principalmente por carbono, hidrogeno y oxígeno, pero también suele contener hierro, calcio, silicio, aluminio y azufre; los cuales se funden durante la combustión formando trozos vidriosos que eventualmente se endurecen, produciendo lo que se conoce como escoria. Este subproducto se caracteriza por tener una forma irregular porosa de color grisáceo. Al salir directamente de la caldera, la escoria puede alcanzar temperaturas superiores a los 100°C; siendo necesario extremar medidas de cuidado con el fin evitar el contacto con la misma. Además, trae consigo gases residuales de la combustión [1].

El siguiente proyecto de diseño e investigación tiene como objetivo plantear el diseño de un sistema de transporte de escoria de carbón, procedente de dos calderas, con el fin de contribuir en la implementación de buenas prácticas de manufactura y la reducción de factores de riesgo para los empleados de la empresa de alimentos concentrados Finca S.A.S.

El diseño de un transportador sin fin permite optimizar el funcionamiento del sistema de producción de la empresa, al automatizar el desplazamiento de materia prima; disminuyendo consigo los tiempos de transporte de la misma. El presente proyecto supone la oportunidad de demostrar todo el conocimiento adquirido durante la etapa lectiva y la capacidad de liderar proyectos de mejora que contribuyan al desarrollo industrial de la empresa.

## 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Finca S.A.S es una empresa establecida a nivel nacional con más de 50 años de experiencia en la producción de alimentos concentrados para animales; perteneciente al grupo empresarial BIOS, compañía matriz líder del sector agroindustrial en Colombia y que controla directa o indirectamente las siguientes sociedades: Contegral S.A, Finca S.A.S, Operadora Avícola Colombia S.A.S, Avícola Triple A S.A.S, PIC Colombia S.A y Servicios Grupo BIOS S.A.S.

La sede de Finca en el municipio de Buga es una de las más grandes del corporativo, la cual puede producir más de 20 000 toneladas mensuales de alimento balanceado. Uno de los elementos principales durante la producción de concentrado es el vapor saturado. Este es utilizado para acondicionar las harinas provenientes del proceso de molienda, que posteriormente ingresaran al sistema de peletizado y extruido. Además, el vapor saturado también es la fuente principal de energía utilizada durante el proceso de cocción de soya, con el fin de inactivar la ureasa del grano, la cual puede provocar problemas de salud en algunos animales. Otros usos del vapor es la climatización de los tanques de almacenamiento de líquidos como el aceite de palma, sebo y melaza, lo cual disminuye su viscosidad y facilita su manejo. Entre muchos otros usos que conlleve aumentar la temperatura de algún producto o proceso en la empresa.

Para suplir la constante demanda de vapor saturado en la empresa Finca S.A.S, la sede Buga, cuenta con dos calderas piro tubulares de 400 BHP cada una. Estas calderas consumen en promedio 12 000 toneladas mensuales de carbón siendo, por tanto, una cantidad considerable de escoria la que se genera durante la combustión. La escoria es producto de la fundición del material mineral presente en el carbón, que posteriormente se solidifica en la boca del extractor de escoria, [2]. Actualmente la empresa no cuenta con un sistema para transportar la escoria producida, en consecuencia, esta se deposita en un par de carretillas que cada tanto deben ser recogidas por los calderistas, con el fin de vaciar los desechos en un lugar designado. De esta forma, los calderistas se encuentran expuestos a una zona de alto riesgo como lo es un cuarto de calderas en funcionamiento, al transporte de un producto con una temperatura elevada y a gases tóxicos.

Como se mencionó, el calderista de turno debe llevar las carretillas de escoria a través del cuarto de calderas hasta un lugar designado por la empresa; durante el proceso los operarios están expuestos a sufrir quemaduras, a tropezarse y caer por alguno de los desniveles del suelo y a inhalar

los gases que acompañan la escoria. Además, la escoria se acumula al aire libre, obstruyendo el ingreso de personas y tractocamiones a la zona de calderas. Con el desarrollo de un transportador helicoidal, los calderistas ya no tendrían contacto directo con la escoria y los gases presentes en la misma, por tanto, ya no estarían expuestos a los riesgos anteriormente mencionados; y la escoria podría ser depositada en un silo adecuado para su almacenamiento.

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar un transportador de tornillo sin fin capaz de desplazar la escoria producida por dos calderas de 400 BHP cada una, a un elevador para su posterior almacenamiento.

### **1.2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Realizar un estado del arte sobre el diseño de transportadores sin fin.
- Determinar los parámetros de funcionamiento del transportador y seleccionar los materiales a utilizar en el mismo.
- Evaluar las condiciones de carga de forma analítica y por simulación numérica. Realizar los planos del equipo haciendo uso de herramientas CAD.

## **2. MARCO TEORICO**

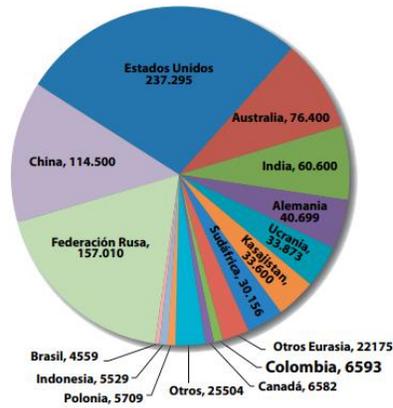
El presente capítulo tiene como objetivo contextualizar y exponer los conceptos teóricos y la información necesaria para definir los parámetros iniciales del diseño conceptual de un transportador sin fin. Describiendo primeramente el material a mover y sus características generales. Posteriormente, se da una introducción a los equipos de transporte de materia prima y los usos que se le dan en la industria alimenticia.

### **2.1 EL CARBON Y SU DISTRIBUCION**

Los combustibles fósiles son vestigios de la vida presente en el planeta hace millones de años, que gracias a un proceso de descomposición pobre en oxígeno(anaeróbico), elevadas presiones, temperaturas moderadas y unas condiciones ideales de preservación, formaron restos orgánicos ricos en minerales, y con un alto poder calorífico, que se almacenan en el subsuelo; los cuales se conocen como petróleo, gas natural y carbón.

El carbón es el combustible fósil más abundante en la naturaleza, con 860 938 millones de toneladas (Mt), en reservas mundiales medidas a finales del 2010, siendo los países con las mayores reservas Estados Unidos con el 27,6%, la Federación Rusa con 18,2%, China el 13,3%, Australia el 8,9% e India el 7,0%, mientras que Colombia se ubica en el decimoprimer lugar con 6 593,4 millones de toneladas equivalentes al 0,8%. Véase figura (2.1). Colombia es el país con mayores reservas de carbón en América Latina, contando con recursos potenciales de 16 436 millones de toneladas (Mt), de los cuales 6,593 Mt son medidas (a diciembre de 2011), 4 571 Mt son indicadas, 4 237 Mt son inferidas y 1,120 Mt son recursos hipotéticos. El 95% de las reservas se ubica en los departamentos de La Guajira, Cesar, Córdoba, Norte de Santander, Cundinamarca, Boyacá, Antioquia, Valle del Cauca y Cauca [7].

Figura 2.1. Reservas Mundiales de Carbón



Fuente: Statistical Review of World Energy Full Report 2011, British Petroleum Company

## 2.2 CLASIFICACION DEL CARBON

El carbón supone la segunda fuente de energía primaria del mundo, solo por detrás del petróleo, debido a su abundancia y valor comercial; siendo ampliamente utilizado en gran variedad de procesos industriales, dependiendo del tipo de carbón que se utilice. Principalmente en la alimentación de calderas.

El carbón puede ser clasificado según el porcentaje de carbono presente en el mineral y el poder calorífico que puede alcanzar. La clasificación mayormente aceptada es la dada por la American Society for Testing and Materials (ASTMD-388-777), mostrada en la Tabla 2.1, que lo divide en cuatro clases según las propiedades referidas a la composición de los vegetales y las condiciones de presión y temperatura (grado de metamorfismo) a las que fueron sometidos durante su formación [7].

Tabla 2.1. Clasificación del carbón, tomada de [7]

Tipo	Carbono Fijo	Materia Volátil	Contenido Humedad	Poder Calorífico	Poder Calorífico	Poder Calorífico
	(%)	(%)	(%)	(Btu/lb)	(Mj/Kg)	(Kcal/Kg)
Antracita	86 – 98	1	< 15	> 14.000	> 32.6	>7.780
Bituminoso	45 – 86	32	15 – 20	10.500 - 14.000	24.5 - 24.5	5.800 - 7.780
Subbituminoso	35 – 45	50	20 – 30	7.800 -10.500	18.2 - 24.5	4.300 - 7.780
Lignito y Turba	25 - 35	96	> 30	4.000 - .7800	9.3 - 18.2	2.200 - 4.300

**2.2.1 ANTRACITA:** carbón duro, con alto contenido de carbono (86% al 98%), bajo contenido de materia volátil y poder calorífico superior a 32,6 MJ/Kg (14 000 BTU/lb). Usado como combustible en generación de calor o vapor en la industria térmica y siderúrgica, también se usa en la fabricación de goma sintética, colorantes y purificación de agua para consumo humano (filtros).

**2.2.2 HULLA BITUMINOSA:** este tipo de carbón posee un menor contenido de carbono y menor poder calorífico que los carbones antracíticos. Por su forma de uso, se conocen como carbones coquizables, usados en procesos de obtención tanto del acero y los carbones térmicos usados en la producción de vapor para generación de energía.

**2.2.3 HULLA SUB-BITUMINOSA:** con menor poder calorífico que los carbones bituminosos, su composición en carbono está entre 35% y 45%, tiene un elevado contenido de material volátil, algunos con poder coquizable. Es empleado en la generación de energía eléctrica y en procesos industriales.

**2.2.4 TURBA Y LIGNITO:** son carbones con alta humedad y alto contenido de ceniza y de material volátil, lo cual hace que posean un bajo poder calorífico. Es empleado para la generación de calórica (calefacción), energía eléctrica, para algunos procesos industriales en donde se requiere generar vapor y más recientemente se han fabricado briquetas de turba y lignito para quemarlas en hornos.

### 2.3 ESCORIA, RESIDUO DE LA COMBUSTION DE CARBON

La combustión del carbón esta siempre acompañada por la producción de escoria y ceniza formada por las reacciones químicas presentes en el mismo, principalmente carbono, hidrógeno y oxígeno, además de hierro, calcio, silicio, aluminio, sodio, azufre entre otros [1]. Estos materiales se funden formando un mineral rocoso y áspero, de forma y tamaño irregular, con tonalidades grises, marrones y negras. Ver figura 2.2.

*Figura 2.2.* Muestras de escoria Finca, Buga



*Fuente: Propia*

### 2.4 PROPIEDADES FISICO QUIMICAS DE LA ESCORIA

Las muestras de escoria tomados directamente en la descarga de las calderas de Finca, Buga presentan concentraciones mínimas inferiores al 0,5 mg/L de arsénico, bario, cadmio, cromo, mercurio, plata, plomo y selenio, materiales caracterizados por ser tóxicos para organismos vivos; un nivel de pH de alrededor de 11 unidades con tendencia alcalina. Presenta nula inflamabilidad y reactividad con otros materiales [6]. Por tanto, se define como un material químicamente inerte.

Investigaciones relacionadas con el tema de estudio establecen una densidad de la escoria según el tipo de carbón utilizada para la combustión de 90-168 lb/ft<sup>3</sup>[1], [2]. Mediciones propias utilizando el principio de Arquímedes para determinar la densidad de muestras tomadas de la zona de calderas arrojan resultados de 99-120 lb/ft<sup>3</sup>. La tabla 2.2 resume la información de la caracterización de la escoria.

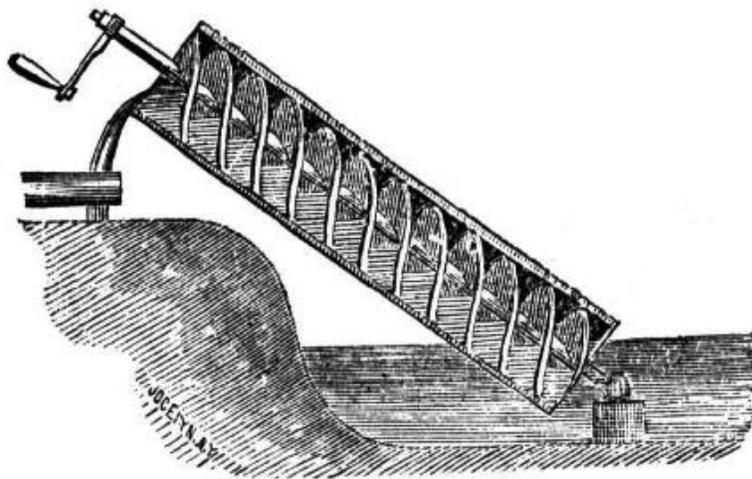
Tabla 2.2. *Propiedades fisicoquímicas de la escoria de carbón.*

Tamaño	2-15 cm
Color	Negro, gris y marrón
Olor	Inodoro
Textura	Áspera porosa
Forma	Rocosa con bordes filosos
pH	11,77
Densidad promedio	105 lb/ft <sup>3</sup>

## 2.5 TORNILLO DE ARQUIMEDES

Un tornillo de Arquímedes es una máquina gravimétrica helicoidal utilizada para elevación de agua, harina, cereales o material excavado. Fue inventado en el siglo III a. C. por Arquímedes. Se basa en un tornillo que se hace girar dentro de un cilindro hueco, situado sobre un plano inclinado, y que permite elevar el cuerpo o fluido situado por debajo del eje de giro. Ver figura 2.3. Desde su invención hasta ahora se ha utilizado para el bombeo de agua. También es llamado tornillo sin fin por su circuito en infinito.

*Figura 2.3.* Tornillo de Arquímedes

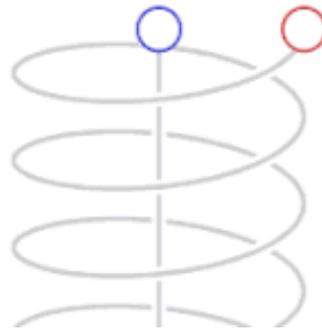


[8] *The turn of the screw: optimal design of an Archimedes screw*

## 2.6 TRANSPORTADORES DE TORNILLO SINFIN O HELICOIDALES

Se llaman transportadores de tornillo sin fin a los equipos que efectúan el desplazamiento de material por un canal, valiéndose de un tornillo giratorio [3]. Los transportadores helicoidales son dispositivos de transporte volumétricos. Mediante a un eje helicoidal, ver figura 2.4, se consigue que, con cada revolución del tornillo helicoidal, se descarga un volumen fijo de material. El propósito de este mecanismo es transferir el producto de un punto a otro. Los transportadores de tornillo mueven materiales ya sea horizontalmente, en pendientes inclinadas o verticalmente. Se utilizan para alimentar, distribuir, recolectar o mezclar materias. Presenta un diseño limpio y compacto, lo que permite ahorrar espacio. Los transportadores sin fin caben en espacios reducidos, son fáciles de mantener y de instalar; además cuestan menos que la mayoría de los otros dispositivos de transporte de materiales a granel [6].

*Figura 2.4.* Eje helicoidal



*Fuente: Kinematic Chains and Machine Components Design*

## 2.7 APLICACIONES DE LOS TRANSPORTADORES SIN FIN

Los transportadores de tornillo helicoidal se utilizan para transportar cualquier tipo de material a granel y se encuentran en miles de aplicaciones. Las diversas aplicaciones de los transportadores de tornillo dependen principalmente de dos factores: las características del material a transportar y las ventajas operativas propias de este tipo de transportador [9]. Las principales industrias que utilizan transportadores de tornillo son:

- Productos químicos de producción agrícola.
- Procesamiento de alimentos.
- Madera y productos de madera.
- Procesamiento de Minería y Minerales.
- Extracción de petróleo y gas.
- Refinación del petróleo.
- Metales primarios.
- Pulpa y papel.
- Caucho y Plásticos.
- Piedra, vidrio y hormigón.
- Ambiental.

Entre las muchas ventajas de los transportadores de tornillo está la posibilidad de tener numerosas aberturas de alimentación y descarga, cada una de las cuales puede contar con una compuerta de regulación, de fácil instalación. En el manejo de algunos materiales tóxicos, los transportadores de tornillo funcionan de manera óptima, ya que el canal de cierre puede hacerse lo suficientemente cerrado para contener polvos o vapores tóxicos, lo que reduce los riesgos para el personal.

### **2.7.1 TORNILLOS SIN FIN EN LA INDUSTRIA ALIMENTICIA**

En la industria de alimentos balanceados, los equipos con sistema de tornillo sin fin son de gran importancia y aplicabilidad, teniendo dos funciones principales en la planta de producción; el transporte de materia prima a granel y la dosificación de harinas. Dada la practicidad de los transportadores sin fin, fácil instalación y bajo costo de mantenimiento, estos son fundamentalmente usados para mover granos como el maíz y la soya del silo de almacenamiento a otros equipos de materia como los elevadores o transportadores de cadena, Este tipo de aplicaciones suele ser llevada a cabo con transportadores de artesa tubular, ya que en posiciones inclinadas, minimiza el retorno de material, además permite un sello con empaque para evitar contaminar el producto, ver figura 2.5.

*Figura 2.5. Transportadores sin fin tubulares*



*Fuente: Propia*

Los Tornillos sin fin dosificadores, son mejor conocidos como alimentadores, están diseñados para regular el flujo de un material almacenado en una tolva o depósito. Durante la alimentación, por lo general la artesa se inunda un 95% de la carga total de la artesa, y a través de variaciones en el paso y la velocidad de giro del tornillo se puede regular la descarga de materia deseada. Ver figura 2.6.

*Figura 2.6. Alimentador de materia prima*



*Fuente: Propia*

## 2.8 CONTEXTO DEL PROBLEMA

La planta de producción de alimentos balanceados Finca, con sede en el municipio de Buga cuenta con 2 calderas pirotubulares, con una capacidad de 400 BHP, una producción de vapor máxima de 13 800 Lb/h y una presión de diseño de 155 Psi cada una. El sistema de alimentación de carbón está completamente automatizado al disponer de un transportador sin fin de artesa ampliada que recibe el mineral de los tractocamiones, y lo descarga en un elevador de cangilones, el cual levanta el carbón a una altura de 10 m sobre el suelo, con el fin de almacenarlo en un par de silos que alimentan ambas calderas. Este sistema es completamente controlado y solo necesita personal humano durante la descarga del carbón del camión al sin fin.

Por su parte el sistema de descarga de escoria esta parcialmente terminado. La parrilla viajera de la caldera alimenta constantemente de carbón la cámara de combustión, a su vez que descarga la escoria generada durante el proceso en la parte inferior de la misma. Con el fin de evacuar la escoria; la empresa desarrollo un equipo conocido como tornillo húmedo, que no es más que un transportador sin fin inclinado de artesa tubular con un tanque de agua en la alimentación del tornillo que enfría la escoria que cae de la cámara de combustión, facilitando su manejo y riesgo para los empleados. Sin embargo, esta alcanza temperaturas inferiores a los 70°C en la descarga del sin fin. La escoria descargada del tornillo se recoge en una carretilla que los calderistas deben recoger aproximadamente cada 15 minutos. Ver figura 2.7.

*Figura 2.7. Tornillos húmedos*



*Fuente. Propia, Se observan ambas calderas con sus respectivos sin fines de evacuación de escoria.*

Cuando el calderista recoge la carretilla con escoria, debe atravesar cerca de 12 m a través del cuarto de calderas hasta el punto de acopio de escoria designado por la empresa, a las afueras del cuarto, ver figura 2.8. Esta permanece a la intemperie durante días, hasta que la empresa encargada de recoger estos desechos haga su disposición final; contaminando la zona y obstaculizando el paso. Ver figura 2.9.

*Figura 2.8. Recorrido de la escoria*



*Fuente: Propia. En el suelo se encuentra el canal donde estará montado el transportador.*

*Figura 2.9. Zona de acopio de la escoria*



*Fuente: Propia*

### **3.0 DISEÑO Y PARAMETROS DE FUNCIONAMIENTO**

El presente capítulo tiene como objetivo establecer los parámetros bajo los cuales va a funcionar el transportador, definiendo las condiciones de trabajo y los resultados esperados. Se comienza describiendo los datos conocidos para posteriormente, con base al material bibliográfico calcular cada uno de los parámetros a tener en cuenta durante el diseño del equipo.

#### **3.1 DATOS PRELIMINARES**

A continuación, se resumen todas las condiciones a tener en cuenta para realizar el proceso de cálculo de cada una de las variables necesarias en el diseño del transportador:

- Material a transportar: Escoria de caldera alimentada con carbón.
- Características Visuales: Forma irregular rocosa.
- Tamaño de partícula: 2 – 15 cm.
- Densidad promedio del material: 105 lb/ft<sup>3</sup>.
- Temperatura ambiente: 35° C.
- Temperatura promedio del material a transportar: 57° C.
- Distancia a transportar: 8,4 m; 331 in.
- Inclinación: 0° C.
- Flujo de alimentación: 2 Ton/h.

Todos los valores mencionados anteriormente fueron medidos y corroborados con personal de la empresa.

#### **3.2 CLASIFICACION DEL MATERIAL**

El presente informe fue realizado, con base en la información recogida del manual de Martin Sprocket [5] y el manual CEMA [6] para el transporte de materiales a granel; y el conocimiento propio del tema. Estos manuales clasifican los materiales a transportar según el tamaño, la fluidez y la abrasividad, entre otras características. La información obtenida en los manuales sirve para clasificar el material en base a uno de características similares.

De la tabla 1-1 y 1-2 de [5], se toma la escoria de alto horno triturada, como material de aproximación a la escoria de carbón, ver anexo B. Del tal modo se define el material a transportar de la siguiente forma; en base a la comparación realizada con la escoria de alto horno, y a lo descrito en la tabla 2.2:

Tabla 3.1. *Clasificación de la escoria de carbón, según manual.*

Densidad de la escoria	105 lb/ft <sup>3</sup>
Tamaño	3 – 7 in, granular
Factor del material	2,4
Carga de artesa	15 %
Fluidez	3, Fluido promedio
Abrasividad	Extrema
Otras características	Alta temperatura, emite humos

El Factor del Material, se usa para determinar la potencia, la carga de artesa indica el porcentaje de llenado que debe utilizarse para determinar el diámetro y la velocidad del transportador. Tal como se mencionó anteriormente, la información recolectada es una aproximación de un material similar, por lo tanto, los datos pueden variar según la toma de muestras tomadas directamente del sitio de evaluación.

### 3.3 CAPACIDAD DE DISEÑO

Para determinar el tamaño y la velocidad de un transportador helicoidal, en primer lugar, debemos identificar el código de material ya que este código controla la carga de artesa que debe ser utilizada. Para el cálculo de la capacidad requerida del transportador se utiliza la siguiente ecuación obtenida de [5].

$$C_{req} = \frac{\dot{m}}{\rho} \left[ \frac{ft^3}{h} \right] \quad (1)$$

Para transportadores con helicoidales de paso estándar o completo, la velocidad puede ser calculada con la siguiente ecuación:

$$N = \frac{C_{req}}{C_{@1\text{ RPM}}} \text{ [RPM]} \quad (2)$$

Siendo:

$C_{@1\text{ RPM}}$ : Pies cúbicos por hora a 1 rpm.

El flujo volumétrico a 1 revolución por minuto utilizado en la ecuación (2), se mide en base a la información de la tabla 1-6 siendo la artesa cargada un 15% de su volumen total. Ver anexo B. El tamaño del transportador helicoidal está determinado por la capacidad requerida, el tamaño y la proporción de las partículas del material que están siendo manejadas. El tamaño de una partícula es la máxima dimensión que tiene. Si una partícula tiene una dimensión más grande que su sección transversal, esa dimensión mayor determinará el tamaño de la partícula [5]. De la tabla 1-7 (anexo B); y observando que solo el 10% de las partículas a mover tienen un tamaño superior a 4 pulgadas es posible afirmar que el diámetro recomendado del sin fin, es de 18 pulgadas. Este tamaño coincide con el diámetro de los tornillos húmedos mostrados en la figura 2.7. La velocidad de giro mínima a la que puede rotar el transportador según cálculos es de 2 rpm, por lo tanto, se ha seleccionado 25 rpm, con el fin de sobredimensionar la potencia consumida por el transportador. De tal forma, que se obtienen los siguientes datos del transportador.

Tabla 3.2. *Parámetros de diseño*

Capacidad requerida	42 ft <sup>3</sup> /h
Velocidad de giro	25 RPM
Diámetro del sin fin	18 in
Paso del sin fin	18 in
Diámetro del eje	4 in

### 3.4 POTENCIA REQUERIDA

La potencia requerida para operar un transportador helicoidal se basa en la forma en la que se instala el sistema de transmisión de potencia, en una alimentación regular y uniforme del material al transportador, entre otras características que se describirán a continuación. La potencia requerida para mover el material puede ser calculada con las ecuaciones planteadas en el manual CEMA [9]:

$$HP_f = \frac{L \cdot N \cdot F_d \cdot F_b}{1\,000\,000} \quad (3)$$

$$HP_m = \frac{C \cdot L \cdot \rho \cdot F_f \cdot F_m \cdot F_p}{1\,000\,000} \quad (4)$$

$$HP_R = \frac{(HP_f + HP_m) F_o}{e} \quad (5)$$

Siendo:

- $HP_f$ : Potencia para mover el transportador vacío.
- $HP_m$ : Potencia para mover el material.
- $HP_R$ : Potencia total requerida para mover el transportador.
- L: Longitud del transportador, en pies. 27,56 ft
- $F_d$ : Factor del diámetro del transportador. 135,00
- $F_b$ : Factor del buje colgante. 4,40
- C: Capacidad en pies cúbico por hora. 41,99 ft<sup>3</sup>/h
- N: Velocidad de operación, en revoluciones por minuto. 25,00 RPM
- $\rho$ : Densidad del material en libras por pie cubico. 105,00 lb/ft<sup>3</sup>
- $F_f$ : Factor de helicoidal. 1,00
- $F_m$ : Factor del material. 2,40
- $F_p$ : Factor de las paletas 1,00
- $F_o$ : Factor de sobrecarga. 2,25
- e: Eficiencia de la transmisión. 0,87

Los factores utilizados en las ecuaciones pueden ser consultados en las tablas adjuntas al anexo de este documento, las cuales son tomadas directamente de [5], ver anexo C. El factor del buje se seleccionó tomando como referencia un buje de hierro endurecido, ya que, aunque los más comerciales son los bujes de bronce; el de hierro permite sobredimensionar la potencia calculada. La eficiencia de la transmisión, se toma teniendo en cuenta que se va a montar un motorreductor con transmisión de cadena. Los valores de potencia calculados son los siguientes:

$$HP_f = 0,41$$

$$HP_m = 0,29$$

$$HP_R = 2$$

Por lo tanto, se puede afirmar que la potencia mínima para accionar el transportador sinfín a 25 rpm es de 2 HP. Sin embargo, para el accionamiento del transportador se va utilizar un motorreductor de engranajes cilíndricos con una salida de 127 rpm y una potencia nominal de 6

HP, de marca SEW, con el fin de sobre estimar las cargas que pueda presentar el transportador y garantizar un funcionamiento continuo del mismo a la máxima capacidad de diseño.

### 3.5 CAPACIDAD TORSIONAL

El torque del transportador está determinado por la siguiente ecuación tomada de [5]:

$$T = \frac{63\,025 \cdot HP_R}{RPM} \quad (6)$$

Donde se tiene que:

$$T = 5\,042 \text{ lb} \cdot \text{in}$$

### 3.6 EXPANSION TERMICA

Dado que se va a transportar un material con una temperatura relativamente alta, se debe de tener en cuenta la expansión térmica que pueden sufrir los materiales en los que está construido el transportador; que en este caso se optó por utilizar láminas de acero inoxidable con el fin de garantizar durabilidad en el equipo. La expansión térmica puede ser calculada con la siguiente ecuación [5]:

$$\Delta L = L \cdot K(T_2 - T_1) \quad (7)$$

Donde:

- $\Delta L$ : Incremento en el cambio de la longitud, en pulgadas.
- L: Largo Total del transportador, en pulgadas.
- K: Coeficiente de expansión lineal, en pulgadas por grado Fahrenheit, que para el acero inoxidable es de  $9,9 \times 10^{-6}$ .
- $T_2$ : Temperatura de trabajo del transportador.
- $T_1$ : Temperatura ambiente en la zona de trabajo.

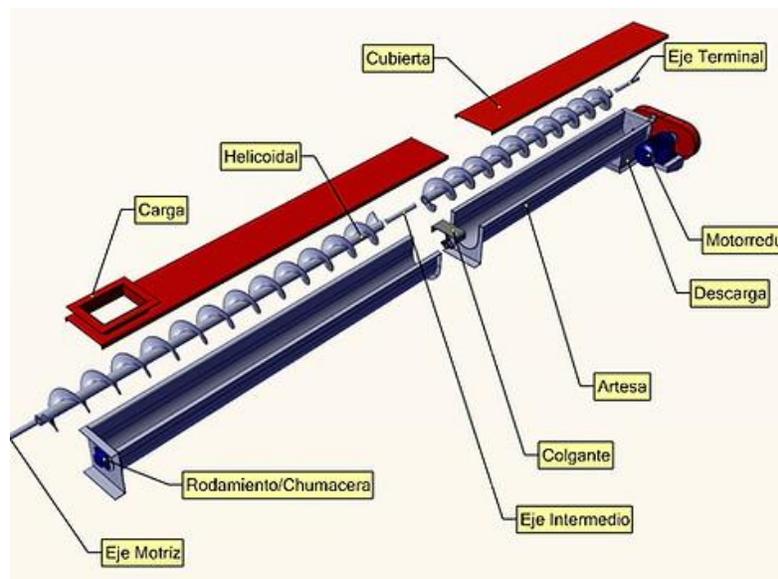
Se tiene que:

$$\Delta L = 0,21 \text{ in, o aproximadamente } \frac{1}{4} \text{ in.}$$

### 3.7 COMPONENTES DEL TRANSPORTADOR

Los transportadores helicoidales están formados por una serie de componentes siendo los más comunes los que se aprecian en la figura 3.0, estos son necesarios para garantizar un desempeño correcto del equipo. Algunos componentes como el sin fin o las artesas deben ser diseñadas en base a los parámetros calculados, pero sus características dimensionales dependen principalmente del lugar de instalación, el material transportado y el criterio propio del diseñador. Los rodamientos y el motorreductor se seleccionan teniendo en cuenta la capacidad del transportador y las especificaciones ofrecidas por el proveedor a nivel comercial, ya que se debe garantizar que estos equipos puedan ser reemplazadas en caso de fallas, por lo tanto, sus repuestos se deben conseguir sin mayor problema en el mercado nacional.

Figura 3.1. Partes de un transportador sin fin



Fuente: <https://www.begahelicoidales.com>

## **4.0 ANALISIS DE CARGA Y SIMULACION**

El presente capítulo tiene como objetivo enseñar la forma en que se avaluó la confiabilidad del equipo, haciendo pruebas que permitan determinar cómo se va a comportar el transportador bajo condiciones de carga. Haciendo uso del sistema de evaluación de elemento finitos mediante el programa de simulación ANSYS v2022, se calcula de forma aproximada el esfuerzo al que estará sometido el equipo y las posibles deformaciones que puede presentar durante la operación del mismo.

### **4.1 MATERIALES DE FABRICACION**

El principal criterio para seleccionar los materiales en los que estará fabricado el transportador es el producto a transportar; ya que estos tienen sus propiedades características; siendo necesario diseñar con el objetivo de que el sinfín pueda mover dicho material. Recopilando la información que se mencionó en capítulo 2 de este documento, se sabe que la escoria de carbón es un mineral rocoso y áspero, de tamaño irregular y bordes filosos en algunas ocasiones; estas características le brindan a la escoria propiedades de ser un material altamente abrasivo. Además, se debe tener en cuenta que la escoria se encuentra en estado húmedo, ya que es enfriada con agua para reducir las altas temperatura a las que sale de la cámara de combustión.

Teniendo en cuenta lo anterior, se sabe que se va transportar un material altamente abrasivo, con tendencias corrosivos y con condiciones de presión y temperatura ligeramente altas. Por lo tanto, se sugiere como material de fabricación el acero inoxidable, específicamente del tipo 304, debido a que su precio es más competitivo en el mercado.

#### **4.1.1 CARACTERISTICAS DEL ACERO INOXIDABLE 304**

El acero inoxidable 304 es el más comercializado y económico dentro de todas las gamas de aceros inoxidables. Es un acero austenítico, aleado con cromo, níquel y bajo contenido de carbono; contiene grandes cualidades, como su increíble resistencia a la corrosión y soldabilidad. Este tipo

de aceros se endurecen por el trabajo en frío. También se caracteriza por ser muy higiénico y no magnético, aunque se vuelve ligeramente magnético al tratarse en frío. A todo ello, hay que sumar que el acero inoxidable tipo 304 es muy fácil de manipular, por lo que el proceso de fabricación de las piezas es relativamente sencillo y adaptado a la demanda. Tiene un mínimo de 18% de cromo y 8% de níquel, combinado con un máximo de 0,08% de carbono. Se define como una aleación austenítica de cromo-níquel. Debido a su buena resistencia a la corrosión, conformado en frío y soldabilidad, este acero es usado extensivamente para arquitectura, industria automotriz y para la fabricación de utensilios domésticos. Además, es utilizado en la construcción de estructuras y/o contenedores para las industrias procesadoras de alimentación y para la industria química de producción del nitrógeno [10]. En la siguiente tabla se describen de manera más detallada las características del acero inoxidable:

Tabla 4.1. Características del acero inoxidable 304-316, tomado de [10]

TABLA DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ACERO INOXIDABLE		SERIE 300		
		Acero al Cromo - Níquel	Acero al Cromo - Níquel - Molibdeno	
DESIGNACIÓN	TIPO AISI	<b>304</b>	<b>316</b>	
	COMPOSICIÓN QUÍMICA	C ≤ 0.08%* Si ≤ 1.00% Mn ≤ 2.00% Cr 18% - 20%* Ni 8% - 10,5%*	C ≤ 0.08%* Si ≤ 1.00% Mn ≤ 2.00% Cr 16% - 18%* Ni 10% - 14%* Mo 2% - 2.5%*	
PROPIEDADES FÍSICAS	PESO ESPECÍFICO A 20C (DENSIDAD) (g/cm <sup>3</sup> )	7.9	7.95 - 7.98	
	MÓDULO DE ELASTICIDAD (N/mm <sup>2</sup> )	193,000	193,000	
	ESTRUCTURA	AUSTENÍTICO	AUSTENÍTICO	
	CALOR ESPECÍFICO A 20C (J/Kg K)	500	500	
	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA A 20C/100C (W/m K)	15 / 16	15 / 16	
	COEFICIENTE DE DILATACIÓN A 100C (x 10 <sup>6</sup> C <sup>-1</sup> )	16.0 - 17.30	16.02 - 16.5	
	INTERVALO DE FUSIÓN (C)	1398/1454	1371/1398	
PROPIEDADES ELÉCTRICAS	PERMEABILIDAD ELÉCTRICA EN ESTADO SOLUBLE RECOCIDO	AMAGNÉTICO 1.008	AMAGNÉTICO 1.008	
	CAPACIDAD DE RESISTENCIA ELÉCTRICA A 20C (μΩm)	0.72 - 0.73	0.73 - 0.74	
PROPIEDADES MECÁNICAS A 20C	DUREZA BRINELL RECOCIDO HRB/CON DEFORMACIÓN EN FRÍO	130150 / 180330	130185 / -	
	DUREZA ROCKWELL RECOCIDO HRB/CON DEFORMACIÓN EN FRÍO	7088 / 1035	7085 / -	
	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN RECOCIDO / DEFORMACIÓN EN FRÍO Rm (N/mm <sup>2</sup> )	520 - 720 / 540 - 750	540690 / -	
	ELASTICIDAD RECOCIDO / CON DEFORMACIÓN EN FRÍO Rp (N/mm <sup>2</sup> )	210 / 230	205410 / -	
	ELONGACIÓN (A <sub>5</sub> ) MIN (%)	≥ 45		
	RESILIENCIA KCUL / KVL (J/cm <sup>2</sup> )	160 / 180	160 / 180	
PROPIEDADES MECÁNICAS EN CALIENTE	ELASTICIDAD	RP(0.2) A 300C/400C/500C (N/mm <sup>2</sup> )	125 / 97 / 93	140 / 125 / 105
		RP(1) A 300C/400C/500C (N/mm <sup>2</sup> )	147 / 127 / 107	166 / 147 / 127
	LÍMITE DE FLUENCIA A 500C/600C/700C/800C σ1/10 <sup>5</sup> /t (N/mm <sup>2</sup> )	68 / 42 / 14.5 / 4.9	82 / 62 / 20 / 6.5	

## 4.2 METODO DE ELEMENTOS FINITOS

El análisis por elementos finitos es un método numérico usado para aproximar el comportamiento de un sistema frente a diversas variables, tales como fuerzas, cambios de temperatura, presión, etc. El método consiste en tomar la geometría de la pieza, sometida a cargas y restricciones, y subdividirla en partes más pequeñas, conocidas como “elementos”, que representan el dominio continuo del problema. De este modo se consigue que un número infinito de variables desconocidas, sean sustituidas por un número limitado de elementos de comportamiento bien definido. Esas divisiones pueden tener diferentes formas, tales como triangular, cuadrangular, entre otros, dependiendo del tipo y tamaño del problema; los elementos finitos están conectados entre sí por puntos, que se llaman nodos. Al conjunto de todos estos ítems – elementos y nodos – se lo denomina malla.

Tal como se mencionó anteriormente, en este caso se utilizará el software de simulación ingenieril ANSYS, y la herramienta de estructura estática para modelar el comportamiento que presentaran algunas piezas del transportador durante su funcionamiento.

### 4.2.1 GEOMETRIA DE ANALISIS

Para el análisis de elementos finitos por medio del software ANSYS, lo primero es definir la geometría a simular; que para este caso serán un tramo del tornillo sin fin y el colgante que debe soportar el peso del mismo (Ver figura 4.1 y 4.2 respectivamente), ya que estas son las piezas más críticas y por tantos soportaran los esfuerzos más grandes.

*Figura 4.1.* Modelo CAD de tornillo sin fin.

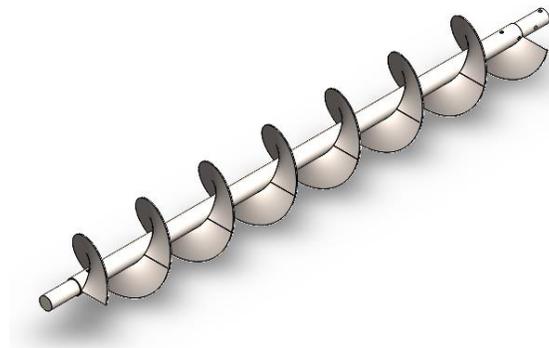
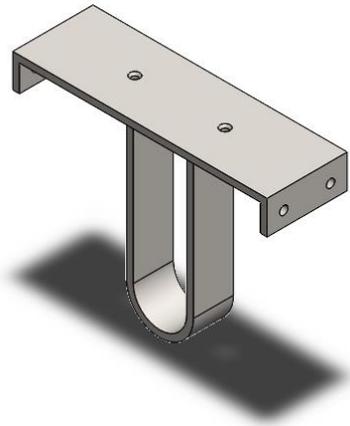


Figura 4.2. Modelo CAD de colgante.



Los modelos presentados, y cada uno de los elementos diseñados para el transportador, fueron modelados con el software CAD SolidWorks; estos deben ser importados al ANSYS como formatos STEP. Una vez se hayan importados los archivos, se debe seleccionar el material del cual estarán fabricadas las piezas, ANSYS ofrece una lista de materiales más comunes usados en la industria; pero si se quiere también se pueden ingresar manualmente los datos técnicos del material. Estas propiedades se deben asignar en la interfaz Engineering data como material existente o modificarlo para que presente estas condiciones necesarias, como se muestra en la figura 4.3. En este caso las propiedades del acero inoxidable 304, se ingresaron manualmente al sistema con base a la ficha técnica del mismo (tabla 4.1).

Figura 4.3. Interfaz Engineering data.

Properties of Outline Row 3: Structural Steel				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	
2	Material Field Variables	Table		
3	Density	7,9	g cm <sup>-3</sup>	
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion			
6	Isotropic Elasticity			
7	Derive from	Young's Modulus and ...		
8	Young's Modulus	193	GPa	
9	Poisson's Ratio	0,3		
10	Bulk Modulus	1,6083E+11	Pa	
11	Shear Modulus	7,4231E+10	Pa	
12	Strain-Life Parameters			
20	S-N Curve	Tabular		
24	Tensile Yield Strength	480	MPa	
25	Compressive Yield Strength	250	MPa	
26	Tensile Ultimate Strength	720	MPa	
27	Compressive Ultimate Strength	460	MPa	

## 4.2.2 MALLADO Y CONDICIONES DE CARGA

Una vez importada la geometría, es necesario definir un tamaño de malla, lo cual dará como resultado la cantidad de elementos y nodos en los que será dividida la pieza a simular; entendiendo que un mayor número de elementos genera un análisis más preciso del comportamiento del objeto simulado.

Para tramo del sin fin por analizar (figura 4.1) se probaron 5 tamaños de malla distintos, hasta alcanzar la independencia de malla; es decir hasta encontrar un tamaño de malla a partir del cual las variaciones en las predicciones del modelo sean independientes del tamaño de la misma. Además de lo anterior se definió una fuerza axial al eje, la cual está aplicada sobre la cara lateral del helicoidal de 30 000 N, y la pieza se fijó en los extremos de la misma, es decir en los ejes de acople.

Figura 4.4. Mallado del Sin Fin

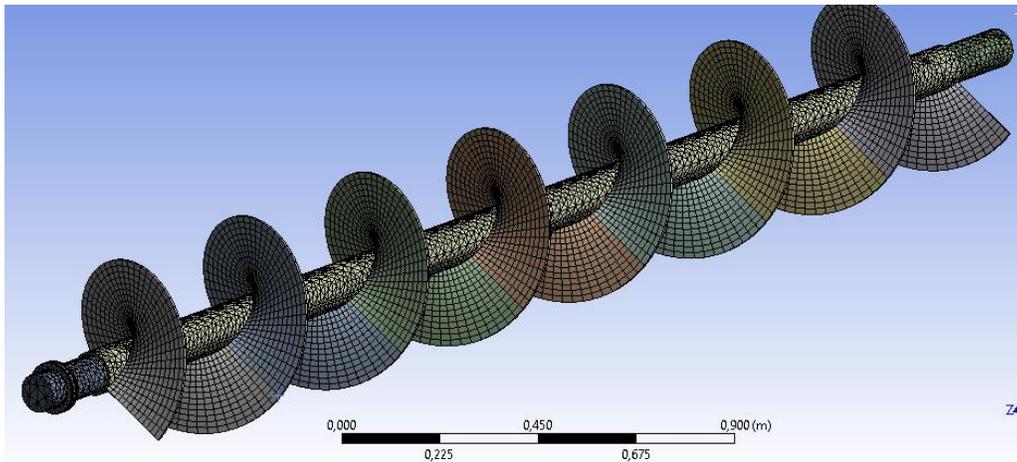
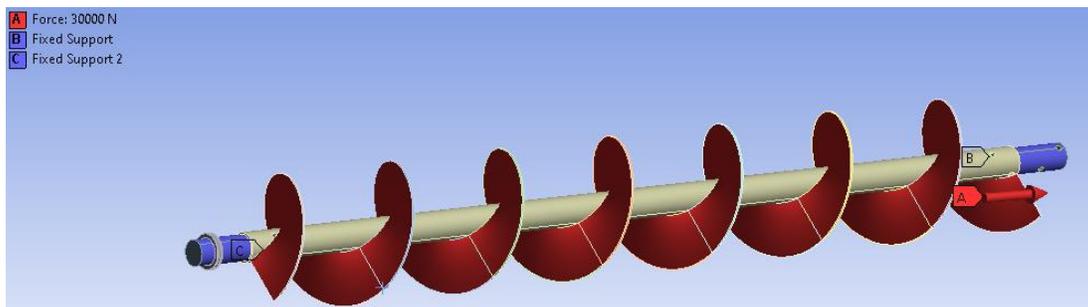


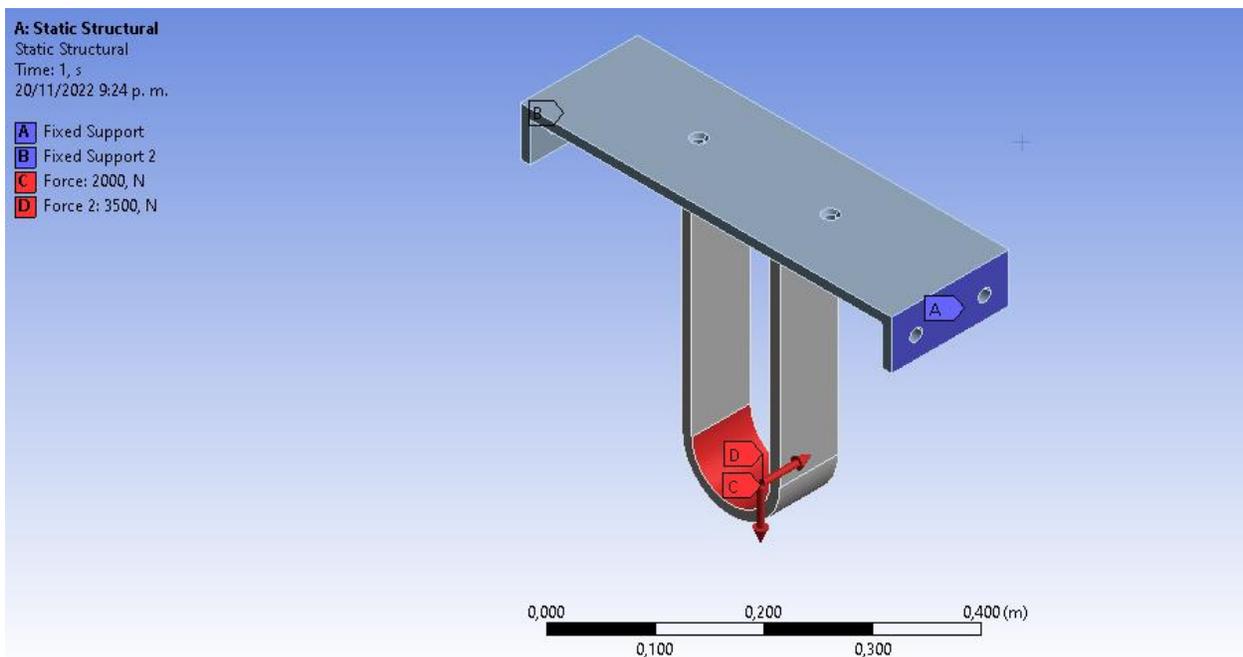
Figura 4.5. Aplicación de carga y puntos de sujeción



Después de definir los tamaños de malla, las condiciones de carga y las sujeciones para esta configuración, se realizaron las respectivas simulaciones variando el tamaño de los elementos; para cada análisis se evaluó el número de elementos, el valor máximo de esfuerzo, la deformación de la pieza y el factor de seguridad resultante.

En el caso del colgante el proceso de simulación y las variables medidas son las mismas que en el tramo del sin fin; pero en este caso se sometió a una carga vertical equivalente al peso que debe soportar del tornillo y a una fuerza axial la cual ejerce el transportador al mover la escoria, las fuerzas fueron de 2 000 N y 3 500 N respectivamente, esta última carga corresponde a la capacidad máxima del transportador de 20 Ton/h, es decir 335 kg/min. El colgante es anclado a los costados de la artesa, siendo esta su punto de sujeción. Ver figura 4.6.

*Figura 4.6.* Cargas aplicadas al colgante.



### 4.3 RESULTADOS Y ANALISIS

Con cada uno de los elementos se simuló las condiciones de carga, evaluando la deformación total, el esfuerzo máximo equivalente y el factor de seguridad; cambiando los tamaños de malla en cada prueba hasta alcanzar un punto donde las variaciones de los resultados obtenidos sean despreciables. A continuación, se muestran los resultados obtenidos en cada simulación.

Tabla 4.2. *Resultados obtenidos tramo del sin fin*

<b>TAMAÑO DE MALLA</b>	<b>ESFUERZO MAXIMO EQUIVALENTE</b>	<b>DEFORMACION TOTAL</b>	<b>FACTOR DE SEGURIDAD MINIMO</b>	<b>CANTIDAD DE ELEMENTOS</b>
50,0 mm	96,315 MPa	0,746 mm	5,00	9 432
30,0 mm	68,661 MPa	0,723 mm	7,00	18 594
20,0 mm	77,600 MPa	0,727 mm	6,18	21 711
15,0 mm	78,876 MPa	0,731 mm	6,00	31 489
14,5 mm	83,815 MPa	0,734 mm	5,73	35 713

Tabla 4.3. *Resultados obtenidos en colgante*

<b>TAMAÑO DE MALLA</b>	<b>ESFUERZO MAXIMO EQUIVALENTE</b>	<b>DEFORMACION TOTAL</b>	<b>FACTOR DE SEGURIDAD MINIMO</b>	<b>CANTIDAD DE ELEMENTOS</b>
10,0 mm	28,377 MPa	2,744 mm	1,83	4 074
6,00 mm	399,64 MPa	2,786 mm	1,30	12 357
5,00 mm	431,93 MPa	2,796 mm	1,20	20 597
4,00 mm	518,13 MPa	2,809 mm	1,00	33 057

A modo de comparación se graficaron los resultados obtenidos en una gráfica de dispersión, con el fin de observar la variación de los mismos al momento de cambiar el tamaño de malla. A continuación, se presentan las respectivas gráficas, en las cuales se observa que al aumentar los elementos, disminuye la variación entre los datos:

Figura 4.7. Dispersión, tamaño de malla en sin fin.

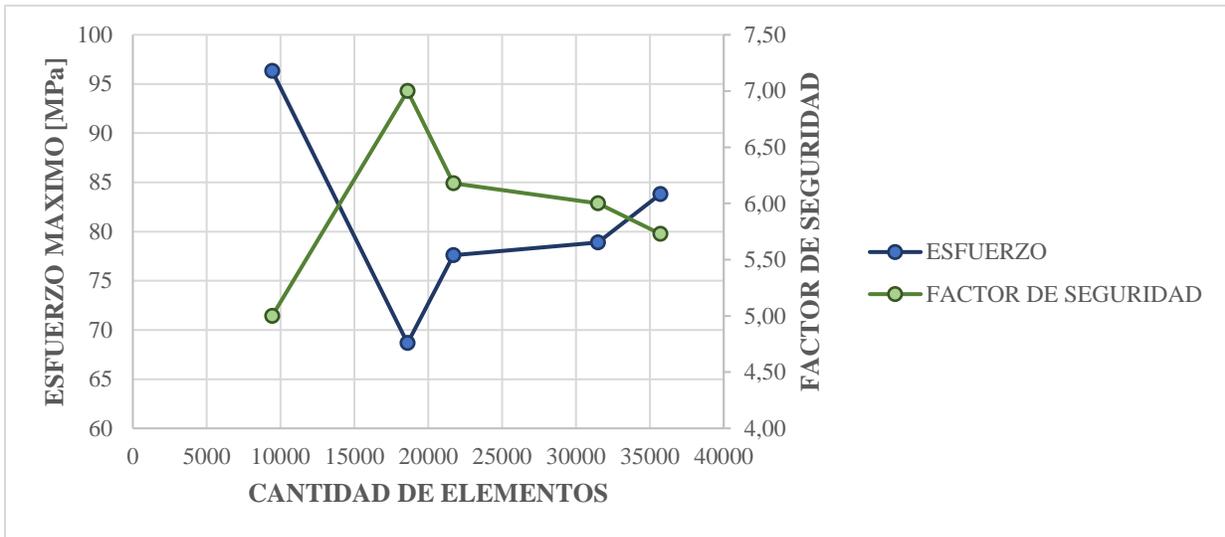
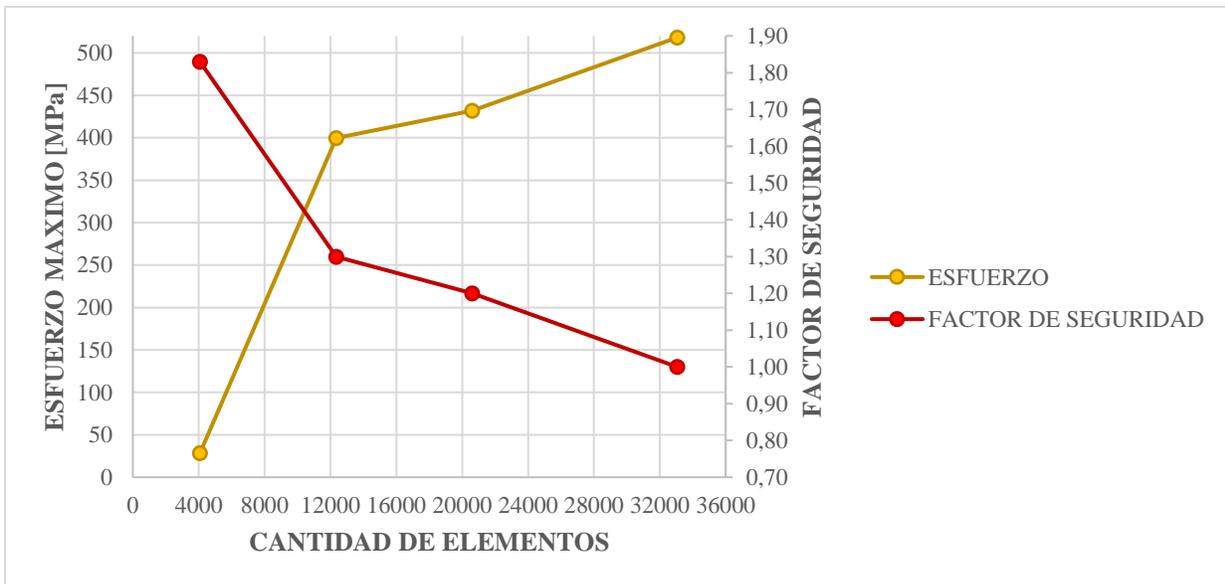


Figura 4.8. Dispersión, tamaño de malla en colgante.

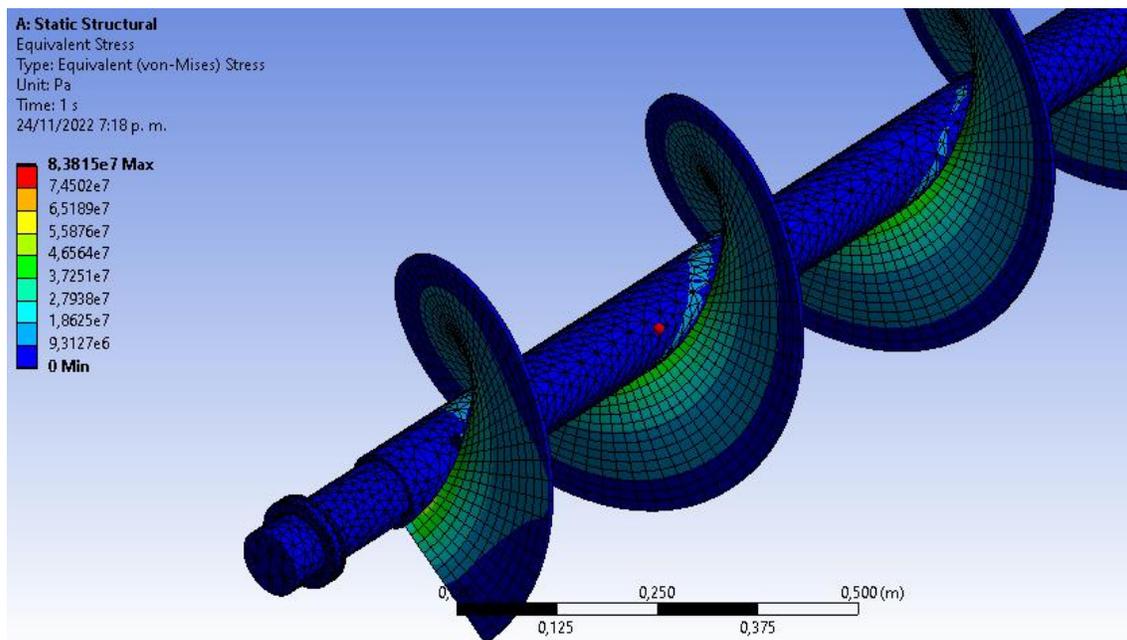


En la figura 4.7 se aprecia que al aumentar la cantidad de elementos (disminuir el tamaño de malla), durante la segunda iteración hay un salto importante en la medida del esfuerzo y factor de seguridad, sin embargo, omitiendo este dato; se puede afirmar que el esfuerzo máximo tiene una tendencia a incrementar; y por tanto el factor de seguridad disminuye, ya que son propiedades inversamente proporcionales. Esto mismo ocurre con el colgante.

### 4.3.1 ESFUERZO MAXIMO EQUIVALENTE

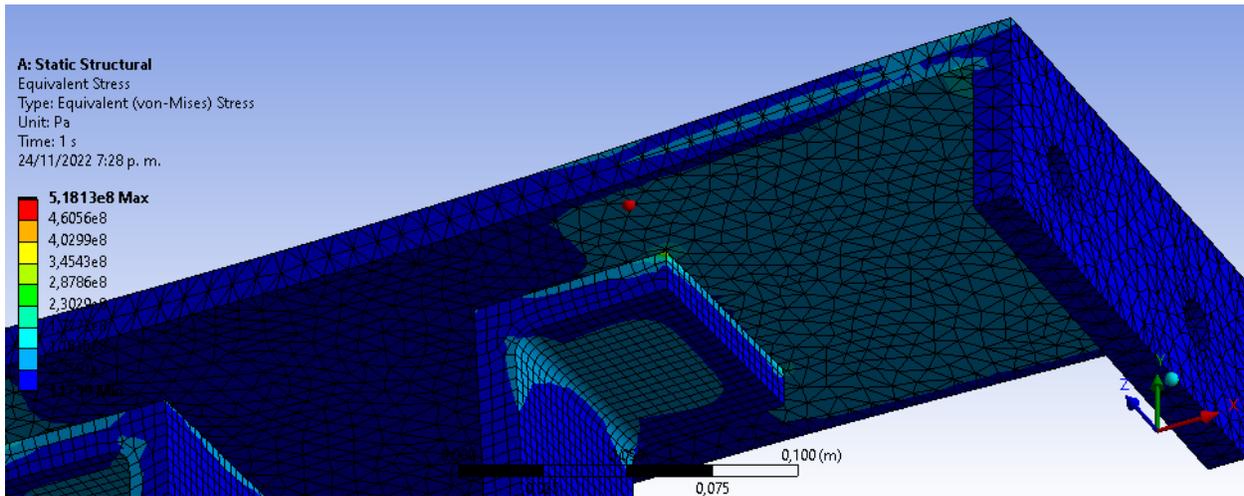
De los resultados mostrados en las tablas 4.2 y 4.3, se toman como validos los valores que corresponden al menor tamaño de malla, ya que a partir de este punto se alcanza la independencia de malla. En la figura 4.9, se presenta el resultado del esfuerzo máximo en el sin fin para el tamaño de elemento asignado de 14,5 mm; en la que se aprecia que el esfuerzo máximo en la pieza, para una fuerza aplicada de 30 000 N, es de 83,815 MPa, y se presenta en la unión entre el eje y la helicoidal; por lo que es importante tener a consideración reforzar esta zona con una soldadura continua a lo largo de la línea de ensamble, en vez de una soldadura por tramos, que es como normalmente se fabrican este tipo de tornillos sin fin.

Figura 4.9. Esfuerzo máximo según simulación en sin fin



En el caso del colgante, se toma como valor correcto el correspondiente al tamaño de malla de 4 mm, dando como resultado un esfuerzo máximo de 518,13 MPa, en la zona mostrada en la figura 4.10; sin embargo, el esfuerzo promedio en la pieza es de 21,89 MPa; un dato mucho menor que el esfuerzo máximo.

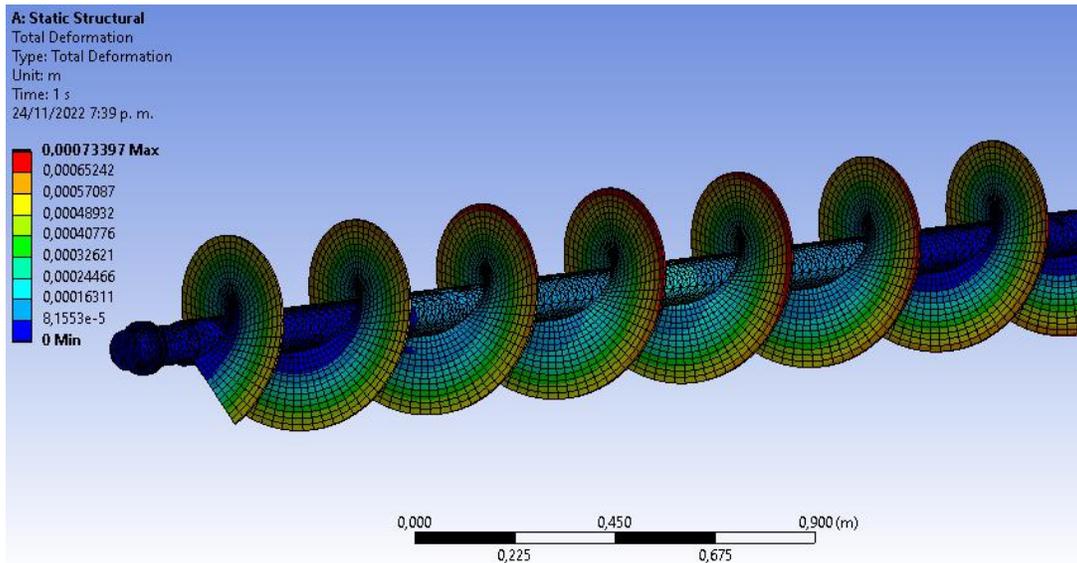
Figura 4.10. Esfuerzo máximo según simulación en colgante



### 4.3.2 DEFORMACION TOTAL

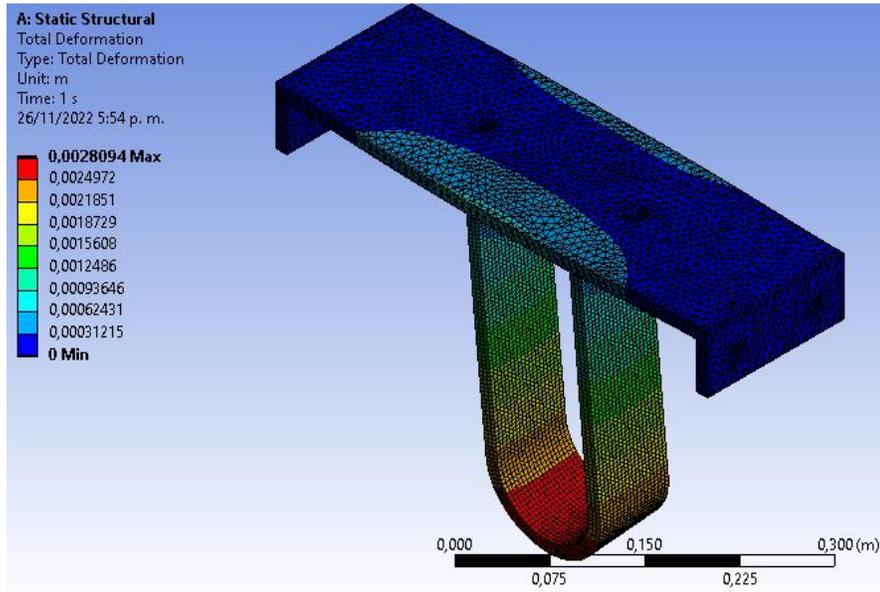
El tornillo sin fin presenta su mayor deformación, alrededor del diámetro más alejado del eje, en la hélice del tornillo, con un valor máximo de 0,734 mm. Además, se puede ver un incremento progresivo de la deformación a medida que aumenta el diámetro de la hélice. Ver figura 4.11.

Figura 4.11. Deformación total en sin fin



El colgante por su parte, presenta su mayor deformación en la parte baja del mismo, lugar en el que se concentran las dos cargas de 2 000 N y 3 500 N, deformándose en total 2,80 mm, y extendiéndose progresivamente la deformación en la zona en la cual se ubica el buje.

Figura 4.12. Deformación total en colgante



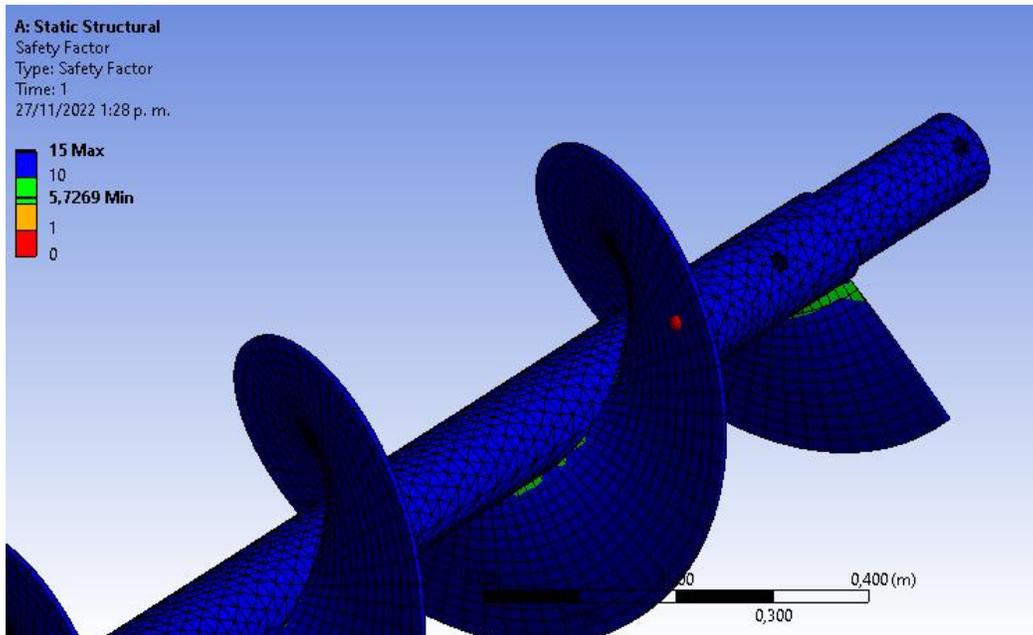
### 4.3.3 FACTOR DE SEGURIDAD

El factor de seguridad representa la relación entre el esfuerzo al que está sometido el elemento y el esfuerzo de fluencia del material antes de llegar a la zona plástica, es decir el cociente entre el esfuerzo máximo que puede resistir la pieza y el esfuerzo al que estará sometido el mismo. Es un dato que nos interesa ya que es una medida de confiabilidad y seguridad de cualquier diseño propuesto.

En el tornillo sin fin, es posible apreciar que a pesar de estar sometido a una carga de 30 000 N; el factor de seguridad más bajo en la pieza es de 5,73. Es decir que la posibilidad de que se presente una falla estructural en el equipo es técnicamente improbable, ya que la capacidad máxima de diseño del transportador es de 20 Ton/h, lo que equivale a una fuerza de 3 500 N. Sin embargo, como se puede ver en la figura 4.9, el máximo esfuerzo se concentra en la línea de ensamble entre

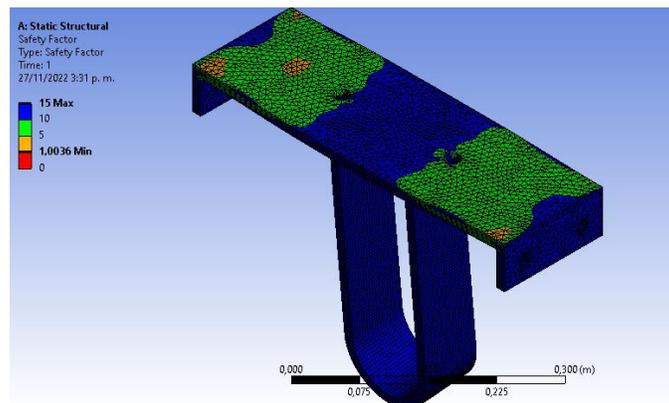
el eje y la hélice, siendo necesario reforzar esta parte, la cual corresponde a su vez con el factor de seguridad más bajo (Figura 4.13).

Figura 4.13. Factor de seguridad en sin fin



El colgante según la simulación tiene un valor de seguridad mínimo de 1,00 es decir que fallará inmediatamente alcance la carga de diseño y no será capaz de soportar ninguna carga adicional; por lo tanto, aunque por seguridad no se aceptan estructuras con factores menor a 1, el diseño de colgante propuesto debe ser reemplazada por uno que pueda soportar las condiciones de trabajo sin presentar posibles riesgos de falla.

Figura 4.14. Factor de seguridad en colgante



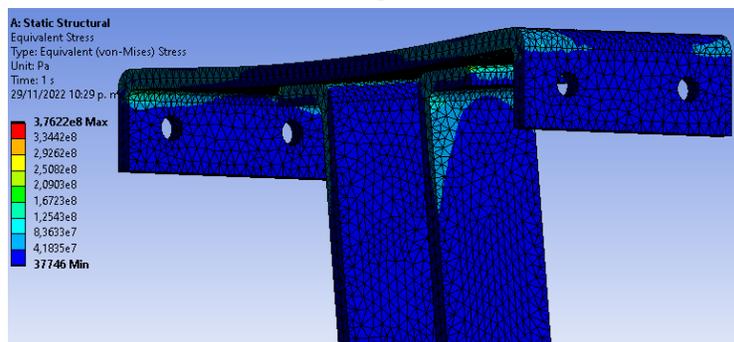
#### 4.4 DISCUSION DE RESULTADOS

Como se pudo observar en el numeral anterior, el tramo de transportador sin fin, no tiene ningún problema para soportar una carga de 30 000 N, la cual es mucho mayor que la carga máxima de diseño de 3 500 N; además de no representar ningún riesgo durante su funcionamiento debido a su elevado factor de seguridad. Este resultado era esperado ya que durante el diseño del tornillo se sobredimensionaron algunas medidas, con el fin de que el acero inoxidable pudiera mitigar la alta abrasividad de la escoria. Por tanto se puede aplicar a todo el tornillo sin fin, ya que el transportador se compone de tres ejes helicoidales de iguales características ensamblados, cambiando únicamente la longitud de uno de ellos.

Debido a la longitud del transportador de 8,4 m, fue necesario dividir el tornillo en tres tramos, los cuales se sostienen con dos colgantes ubicados cada 3,2 m. Ambos colgantes fueron diseñados en base a la recomendación bibliográfica [5,9]; sin embargo la simulación da como resultado una poca confiabilidad debido a su bajo factor de seguridad, por tal motivo aunque funcionan de manera correcta cuando el transportador trabaja a la capacidad requerida de 2 Ton/h; si se da el caso en el que deba trabajar a máxima capacidad de diseño (20 Ton/h), no es posible garantizar su resistencia al fallo y por tanto este tipo de colgante no debe ser usado en la instalación del equipo, siendo necesario reemplazarlo con un colgante de mayor resistencia.

Por este motivo, se realizan modificaciones en el colgante, creando redondeos en los bordes de la pieza, para disminuir tensión y suavizar las líneas de esfuerzo en estas zonas. Al realizar una nueva simulación con las mismas condiciones de carga y tamaño de malla, se obtiene un factor de seguridad mínimo de 1,27 el cual es mayor al factor de la pieza sin redondeos (1,00), siendo un valor que cumple con los estándares comúnmente establecidos, ver figura 4.15.

Figura 4.15. Concentraciones de esfuerzo en colgante modificado



## 5.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 CONCLUSIONES

- Se diseñó un transportador de tipo tornillo sin fin para transporte de escoria, en base a material bibliográfico y conocimiento propio, que cumple con los requisitos establecidos por la empresa, además de poder trabajar por encima de la capacidad exigida, garantizando una alta confiabilidad y durabilidad del equipo.
- Con base al material bibliográfico, a la observación de la zona de trabajo y a las recomendaciones de personas técnicamente calificadas, se determinó que un transportador de tornillo sin fin, con artesa en forma de “U”, era el mejor para desempeñar la labor establecida, ya que es de fácil mantenimiento, tiene un valor de fabricación menor a otros métodos de transporte de materiales, se integra bien al lugar de instalación, de esta forma evitando obstáculos para el paso de personal y dada la geometría de la artesa no genera atascamientos de escoria durante su funcionamiento.
- Después de observar la alta abrasividad de la escoria a transportar, se concluyó que el acero inoxidable es una opción ideal como material de fabricación del equipo, porque reduce la oxidación que podría ser provocada por la humedad presente en los trozos de escoria y sus propiedades mecánicas cumplen con las condiciones de carga a las que se somete el transportador.
- El análisis estático de elementos finitos permitió evaluar y validar la integridad estructural del tornillo sin fin y los colgantes, teniendo en cuenta la seguridad y resistencia de estas piezas, bajo condiciones de operación del transportador; siendo el Software ANSYS una herramienta que permite verificar la confiabilidad de los diseños propuestos.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda para futuras investigaciones relacionadas al tema desarrollado, profundizar más en los métodos de fabricación de esta clase de equipos y los materiales que se pueden ocupar en la fabricación de los elementos que componen un transportador, para generar soluciones confiables e innovadoras.
- Se debe tener a consideración un análisis de elementos finitos, usando como modelo de simulación un ensamble con cordón de soldadura continuo sobre la línea de unión entre el eje del tornillo y la hélice del helicoidal.
- Se recomienda realizar una simulación dinámica y de fatiga del transportador, para tener una aproximación más cercana al funcionamiento real del equipo.

## 6.0 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] Duque, M., Ramírez, O., Rendon, D. (2014). Caracterización mecánica de la escoria de carbón para su uso en la ingeniería. Universidad Nacional de Colombia.
- [2] Lai, Z., Cen, K., Zhou, H. (2022). Applicability of coal slag for application as packed bed thermal energy storage materials. *Solar energy*, vol. 236, pp. 733-742, doi: 10.1016/j.solener.2022.03.031
- [3] Miravete, A., & Larrodé, E. (1996). Transportadores y elevadores. Editorial Reverte.
- [4] Universidad Pontificia Bolivariana. (2022). Análisis CRETIB escoria alimentos Finca (Reporte LCA-22-291). Laboratorio de calidad de aguas UPB Montería.
- [5] Martin Sprocket & Gear. (2018). El Gran Catalogo. Sección H, Manejo de Materiales. <https://es.martinsprocket.com/documents/Safety/Material%20Handling>
- [6] Screw Conveyor Corporation. (2016). Screw conveyor catalog and engineering manual. Catalog 787F. <https://screwconveyor.com/product-solutions/screw-conveyors/>
- [7] Unidad de Planeación Minero Energética (2012). La cadena del carbón. Imprenta Nacional de Colombia.
- [8] Rorres, C. (2000). The Turn of the Screw: Optimal Desing of an Archimedes Screw. *Journal of Hydraulic Engineering*.
- [9] Conveyor Equipment Manufacturers Association. (2019). Screw Conveyors for Bulk Materials. ANSI/CEMA Standard No. 350.
- [10] Empresas Carbone. (2022). Ficha Técnica del Acero Inoxidable. <https://www.empresascarbone.com/pdf/ficha-tecnica-del-acero-inoxidable.pdf>

## 7.0 ANEXOS

### Objetivos de Desarrollo Sostenible

#### Anexo A. Relación de resultados con ODS

Se espera que los resultados del proyecto impacten directamente en el objetivo de desarrollo 8, propuesto por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo - PNUD: *“Promover el crecimiento económico inclusivo y sostenible, el empleo y el trabajo decente para todos”*, específicamente en la meta 8.3: *“Proteger los derechos laborales y promover un entorno de trabajo seguro y protegido para todos los trabajadores, incluidos los trabajadores migrantes, en particular las mujeres migrantes y las personas con empleos precarios”*.

También se espera que los resultados del proyecto impacten directamente en el objetivo de desarrollo 9, propuesto por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo - PNUD: *“Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación”*, específicamente en la meta 9.1: *“Desarrollar infraestructuras fiables, sostenibles, resilientes y de calidad, incluidas infraestructuras regionales y transfronterizas, para apoyar el desarrollo económico y el bienestar humano, con especial hincapié en el acceso equitativo y asequible para todos”*.

#### Anexo B.

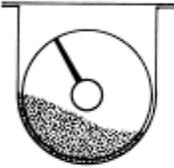
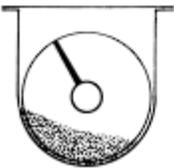
**Tabla 1-1. Código de clasificación del material**

Clase	Características de Material	Código
Densidad	Densidad a Granel, Sin Compactar	Libras por pie cúbico
Tamaño	Muy Fino Malla No. 200 (.0029") y menor Malla No. 100 (.0059") y menor Malla No. 40 (.016") y menor	A <sub>200</sub> A <sub>100</sub> A <sub>40</sub>
	Fino Malla No. 6 (.132) y menor	B <sub>6</sub>
	Granular ½" y menor (malla 6" a ½") 3" y menor (½" a 3") 7" y menor (3" a 7")	C <sub>½</sub> D <sub>3</sub> D <sub>7</sub>
	Terrones 16" y por debajo (0" a 16") Arriba de 16" a ser especificado X=Tamaño Máximo	D <sub>16</sub> D <sub>X</sub>
	Irregular Fibroso, Cilíndrico, etc.	E
Fluidez	Fluido Muy Libre	1
	Fluido Libre	2
	Fluido Promedio	3
	Fluido Lento	4
Abrasividad	Abrasividad Media	5
	Abrasividad Moderada	6
	Abrasividad Extrema	7

**Tabla 1-2. Características de los materiales.**

Material	Peso lb por pie cúbico	Código de Material	Selección de Rodamiento Intermedio	Serie de Componentes	Factor de Material $F_u$	Carga de Artesa
Centeno, forraje	33	B6-35N	L-S-B	1	0.5	30A
Centeno, harina	35-40	B6-35	L-S-B	1	0.5	30A
Centeno, regular	42	B6-35	L-S	1	0.5	30A
Cenurita	-	-	-	-	-	-
Chicharo, seco	45-50	C1/2-15NQ	L-S-B	1	0.5	45
Chicharón, triturado	40-50	D3-45HW	L-S-B	2	1.3	30A
Chocolate, prensado en torta	40-45	D3-25	S	2	1.5	30A
Cloruro de Amonio, cristalino	45-52	A100-45FRS	L-S	3	0.7	30A
Cloruro de Magnesio (magnesita)	33	C1/2-45	L-S	1	1	30A
Cloruro de polivinilo en polvo	20-30	A100-45KT	S	2	1	30A
Cloruro de polivinilo en polvo, pellets	20-30	E-45KPT	S	1	0.6	30A
Cloruro de Potasio, pellets	120-130	C1/2-25TU	H	3	1.6	45
Cloruro de Sodio (ver Sal)	-	-	-	-	-	-
Cobre, Mineral de	120-150	DX-36	H	3	4	30B
Cobre, Mineral, triturado	100-150	D3-36	H	3	4	30B
Coco en trozos	20-22	E-45	S	2	1.5	30A
Coque a granel	23-35	D7-37	H	3	1.2	15
Coque de petróleo, calcinado	35-45	D7-37	H	3	1.3	15
Coque desmenuzado (Ciseco)	25-35	C1/2-37	H	3	1.2	15
Cola en perlas	40	C1/2-35U	L-S-B	1	0.5	30A
Cola molida	40	B6-45U	H	2	1.7	30A
Cola vegetal, en polvo	40	A40-45U	L-S-B	1	0.6	30A
Composta	30-50	D7-45TV	L-S	3	1	30A
Conchas de Ostión (ostra), enteras	80	D3-36TV	H	3	2.1-2.5	30B
Conchas de Ostión (ostra), molida	50-60	C1/2-36T	H	3	1.6-2.0	30B
Concreto premezclado, seco	85-120	C1/2-36U	H	3	3	30B
Copperas (ver Sulfato Ferroso)	-	-	-	-	-	-
Copra en harina	40-45	B6-35HW	H	2	0.7	30A
Copra en torta, en trozos	25-30	D3-35HW	L-S-B	2	0.8	30A
Copra en torta, molida	40-45	B6-45HW	L-S-B	1	0.7	30A
Copra en trozos	22	E-35HW	L-S-B	2	1	30A
Corcho, granulado	15	C1/2-35JY	L-S-B	1	0.5	30A
Corcho, molido fino	5-15	B6-35JNY	L-S-B	1	0.5	30A
Corteza de árbol, molida*	55	B6-45	L-S-B	1	0.7	30A
Corteza de Roble, molida*	55	B6-45	L-S-B	1	0.7	30A
Corteza, de Madera, desperdicio	10-20	E-45TVY	H	3	2	30A
Criolita (mineral de aluminio), polvo	75-90	A100-36L	H	2	2	30B
Criolita (mineral de aluminio), trozos	90-110	D16-36	H	2	2.1	30B
Cromo, mineral	125-140	D3-36	H	3	2.5	30B
Cuarzo - 1/2"	80-90	C1/2-27	H	3	2	15
Cuarzo - malla 100	70-80	A100-27	H	3	1.7	15
Decolorante/Tierra de Fuller, Kaolín, Calcareo)	-	-	-	-	-	-
Detergente (ver Jabón Detergente)	-	-	-	-	-	-
Dióxido de Manganeso*	70-85	A100-35NRT	L-S	2	1.5	30A
Dióxido de Silicio (ver Cuarzo)	-	-	-	-	-	-
Dióxido de Titanio (ver ilmenita mineral)	-	-	-	-	-	-
Disodio de Fosfato (ver Fosfato de Sodio)	-	-	-	-	-	-
Dolomita en trozos	90-100	DX-36	H	2	2	30B
Dolomita, triturada	80-100	C1/2-36	H	2	2	30B
Ebonita, triturada	63-70	C1/2-35	L-S-B	1	0.8	30A
Escoria de alto horno, triturada	130-180	D3-37Y	H	3	2.4	15
Escoria de horno, granulada, seca	60-65	C1/2-37	H	3	2.2	15
Escoria de laminación (de acero)	120-125	E-46T	H	3	3	30B
Escoria, Cemento (ver Cemento Clinker)	-	-	-	-	-	-
Estearita, Talco fino	40-50	A200-45XY	L-S-B	1	2	30A
Feldespató, cribado	75-80	C1/2-37	H	2	2	15

**Tabla 1-6. Capacidad para transportadores helicoidales.**

Carga de Artesa		Diámetro del Helicoidal (Pulgadas)	Capacidad Pies Cúbicos por Hora (Paso Completo)		Máx. RPM
			A 1 RPM	A Máx. RPM	
<b>45%</b>		4	0.62	114	184
		6	2.23	368	165
		9	8.20	1270	155
		10	11.40	1710	150
		12	19.40	2820	145
		14	31.20	4370	140
		16	46.70	6060	130
		18	67.60	8120	120
		20	93.70	10300	110
		24	164.00	16400	100
	30	323.00	29070	90	
<b>30% A</b>		4	0.41	53	130
		6	1.49	180	120
		9	5.45	545	100
		10	7.57	720	95
		12	12.90	1160	90
		14	20.80	1770	85
		16	31.20	2500	80
		18	45.00	3380	75
		20	62.80	4370	70
		24	109.00	7100	65
	30	216.00	12960	60	
<b>30% B</b>		4	0.41	29	72
		6	1.49	90	60
		9	5.45	300	55
		10	7.60	418	55
		12	12.90	645	50
		14	20.80	1040	50
		16	31.20	1400	45
		18	45.00	2025	45
		20	62.80	2500	40
		24	109.00	4360	40
	30	216.00	7560	35	
<b>15%</b>		4	0.21	15	72
		6	0.75	45	60
		9	2.72	150	55
		10	3.80	210	55
		12	6.40	325	50
		14	10.40	520	50
		16	15.60	700	45
		18	22.50	1010	45
		20	31.20	1250	40
		24	54.60	2180	40
	30	108.00	3780	35	

**Tabla 1-7. Tamaños máximos de partículas.**

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

**Anexo C.**

**Tabla 1-12. Factor de diámetro.**

Factor del Diámetro del Transportador, $F_d$			
Diámetro del Helicoidal (Pulgadas)	Factor $F_d$	Diámetro del Helicoidal (Pulgadas)	Factor $F_d$
4	12.0	14	78.0
6	18.0	16	106.0
9	31.0	18	135.0
10	37.0	20	165.0
12	55.0	24	235.0
		30	300.0

**Tabla 1-13. Factor del Buje.**

Factor del Buje para Colgante		
Tipo de Buje		Factor del Buje para Colgante $F_b$
B	Rodamiento de Bolas	1.0
L	Bronce <i>Martin</i>	2.0
S	* Bronce Grafitado * Bronce, Impregnado en Aceite * Madera, Impregnado en Aceite * Nylatron * * Nylon * Teflón * UHMH * Uretano	2.0
	* Hierro Endurecido <i>Martin</i>	3.4
H	* Superficie Endurecida * Stellite * Cerámica	4.4

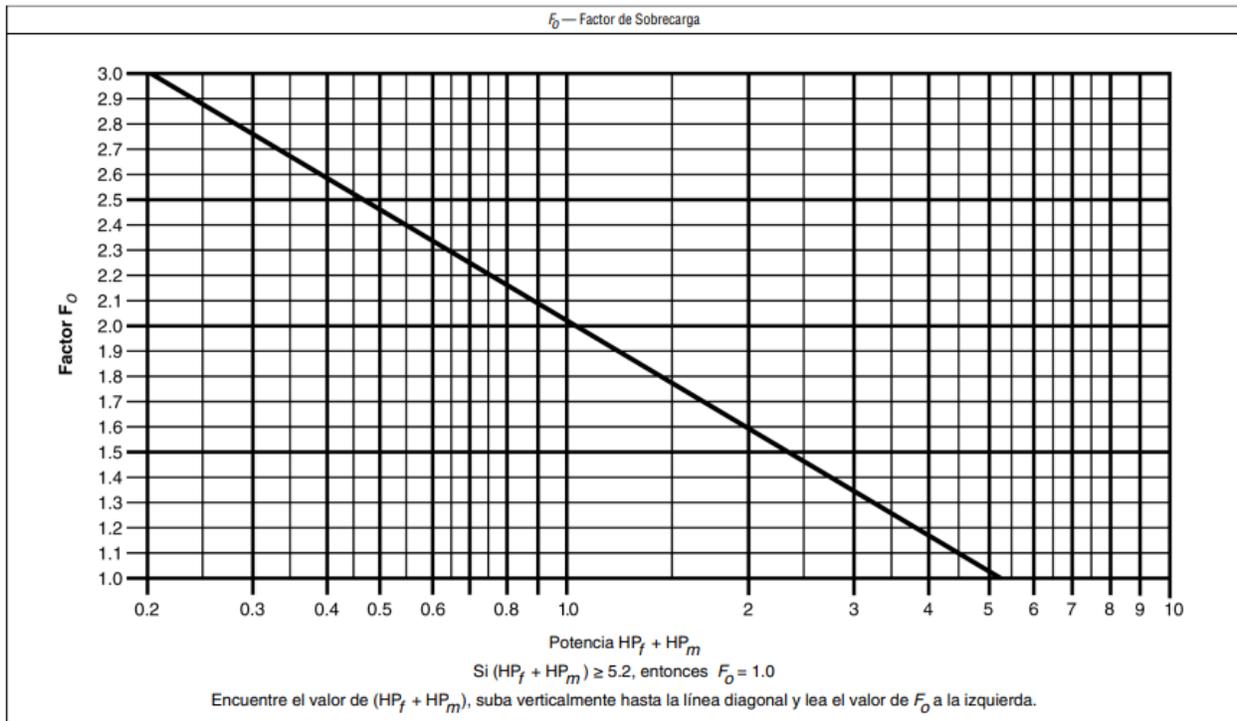
**Tabla 1-14. Factor de helicoidal.**

Tipo de Helicoidal	$F_f$ Factor por porcentaje de carga de transportador			
	15%	30%	45%	95%
Estándar	1.0	1.0	1.0	1.0
Helicoidal con Corte	1.10	1.15	1.20	1.3
Con Corte y Doblez	N.R.*	1.50	1.70	2.20
Helicoidal de Listón	1.05	1.14	1.20	—
*No recomendada				

**Tabla 1-15. Factor de las paletas.**

Factor de Paleta, $F_p$					
Paletas Estándar por Paso. Paletas Ajustadas a 45° Paso Invertido					
Número de Paletas por Paso	0	1	2	3	4
Factor de Paleta — $F_p$	1.0	1.29	1.58	1.87	2.16

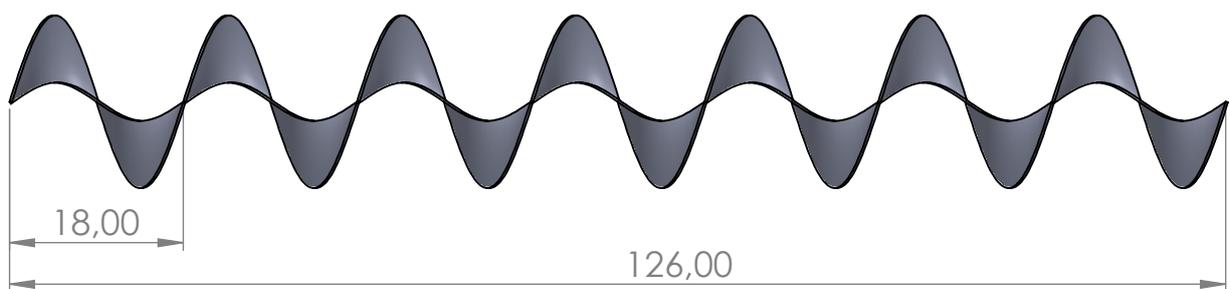
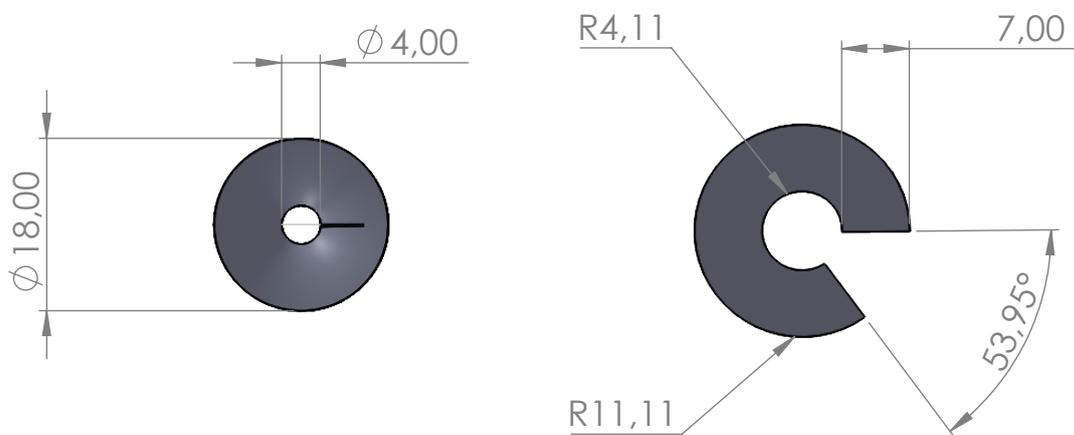
**Tabla 1-16. Factor de sobrecarga.**



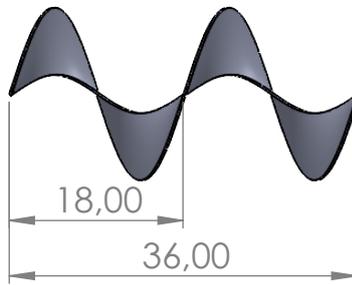
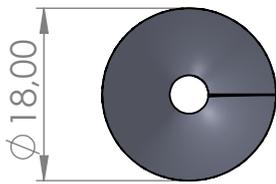
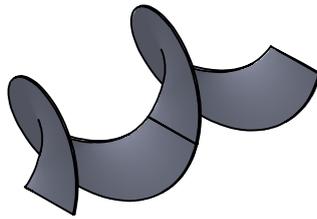
**Tabla 1-17. Factor eficiencia de la transmisión.**

Factor de Eficiencia (e) de las Transmisiones				
Transmisión para Transportador Helicoidal o Montado en Eje con Transmisión de Bandas en "V"	Reductor de Engranajes Helicoidales con Transmisión de Bandas en V y Cople	Motorreductor con Cople	Motorreductor con Transmisión de Cadena	Corona Sinfín
.88	.87	.95	.87	Consulte a <i>Motex</i>

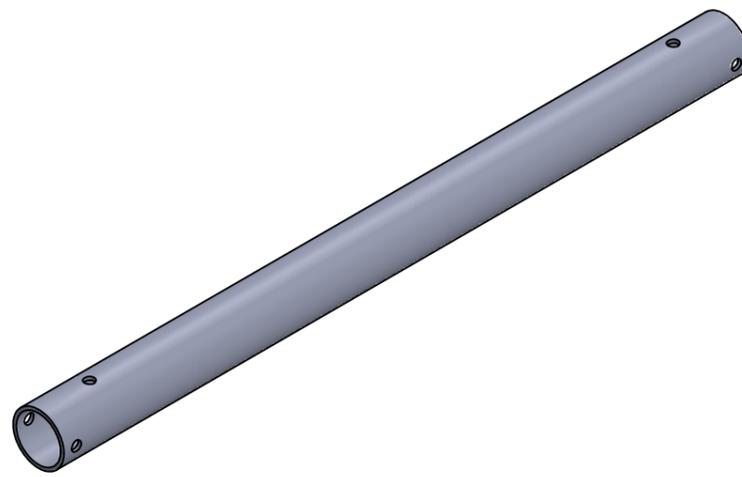
**Anexo D. Planos de fabricación**



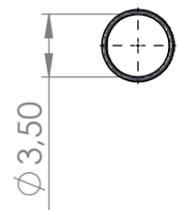
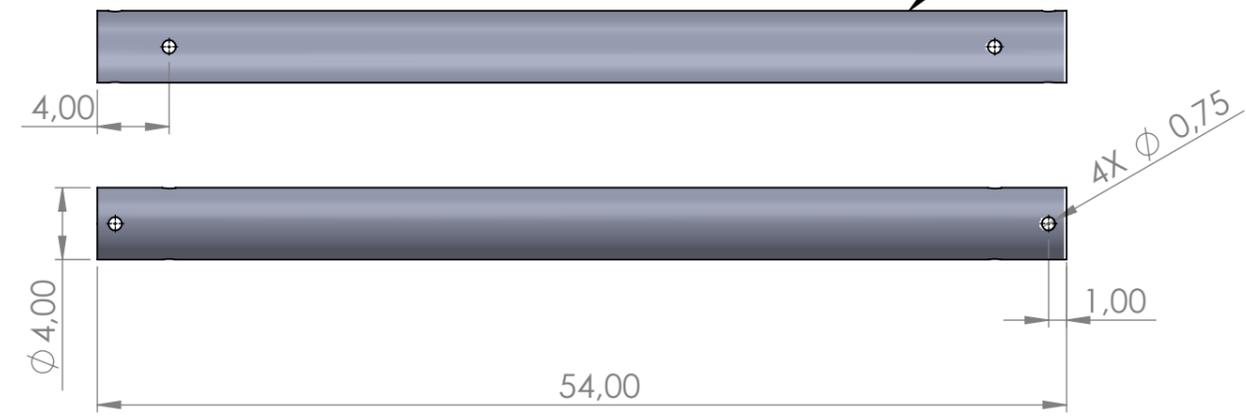
	FECHA	NOMBRE	DOCUMENTO	FINCA S.A.S
DIBUJO	15/11/2022	Carlos Pescador	1088351289	
REVISO				
ESCALA	SIN FIN A			MEDIDAS: PULGADA
1:20				PLANO: 01



	FECHA	NOMBRE	DOCUMENTO	FINCA S.A.S
DIBUJO	15/11/2022	Carlos Pescador	1088351289	
REVISO				
ESCALA	SIN FIN B			MEDIDAS: PULGADA
1:20				PLANO: 02

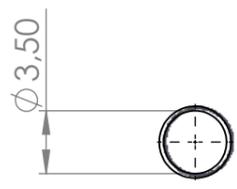


EJE B

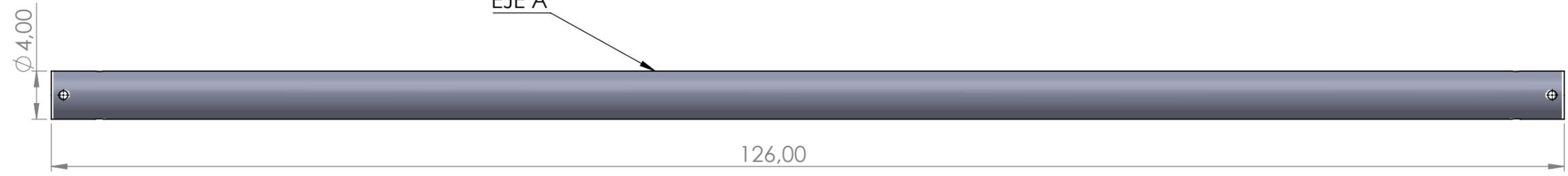


Ø 3,50

EJE A



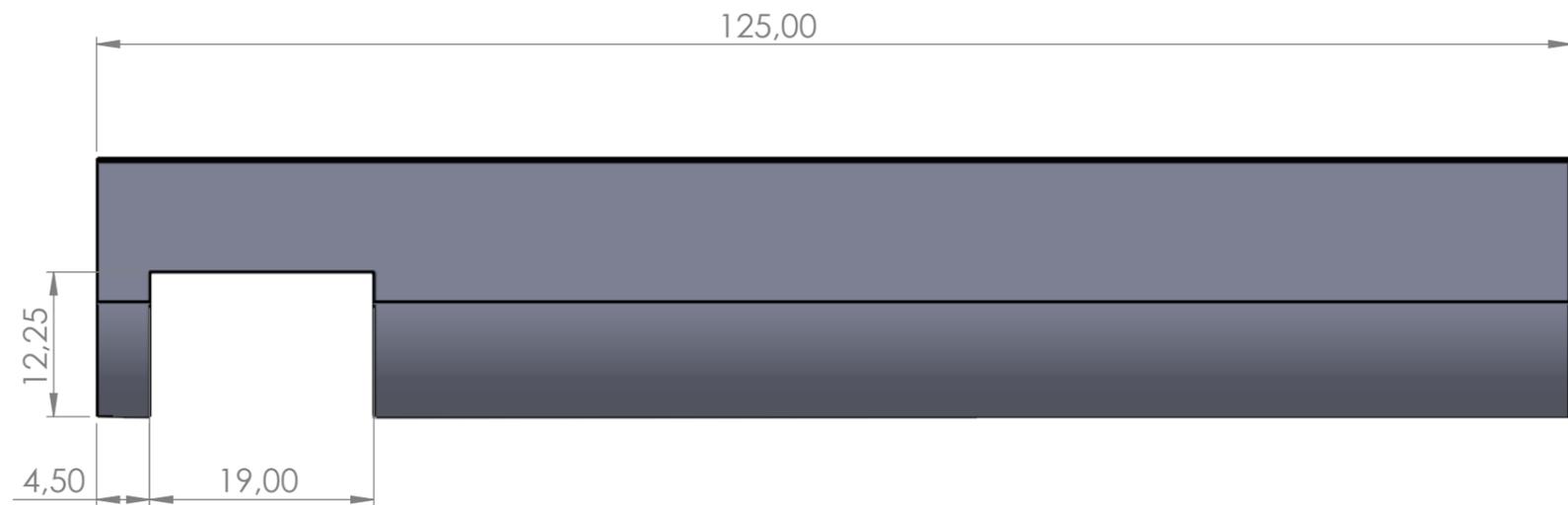
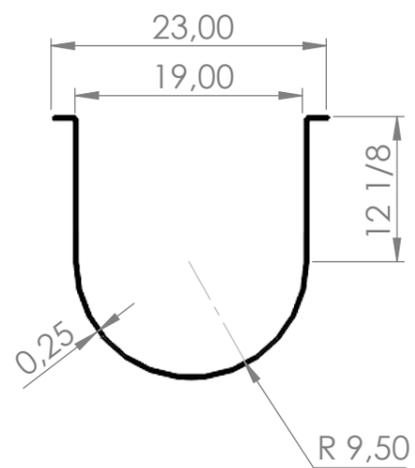
Ø 3,50



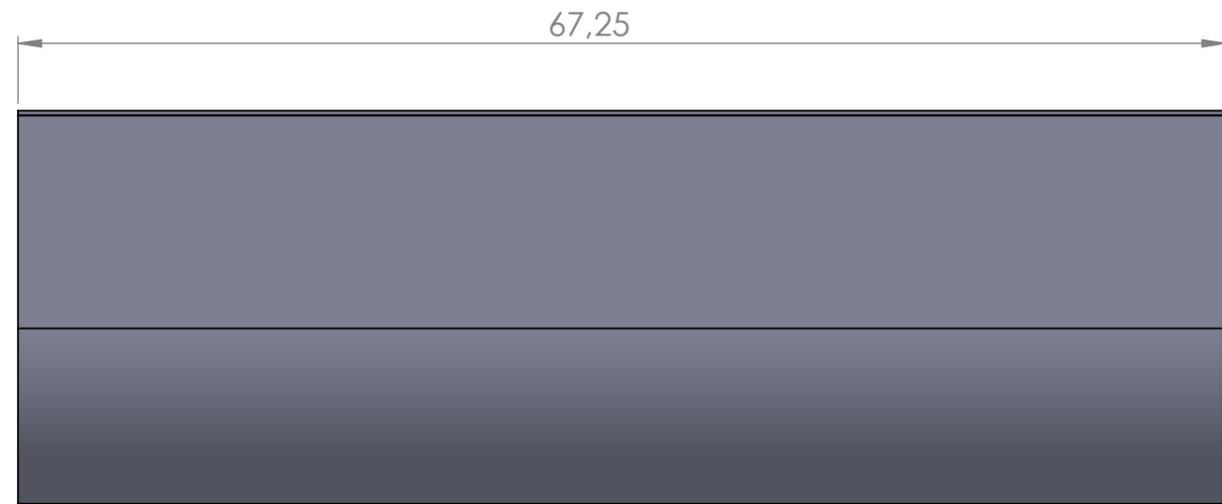
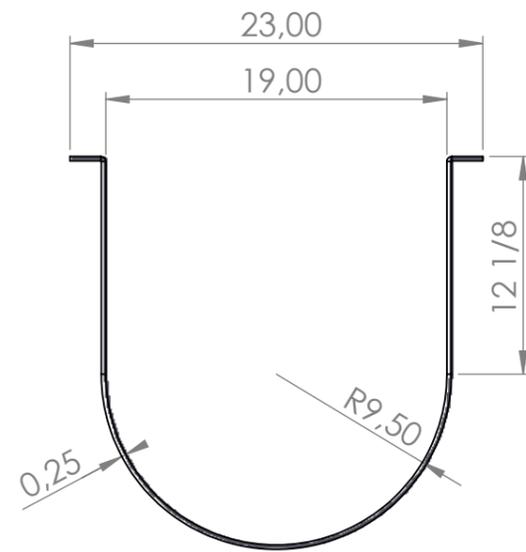
Ø 4,00

126,00

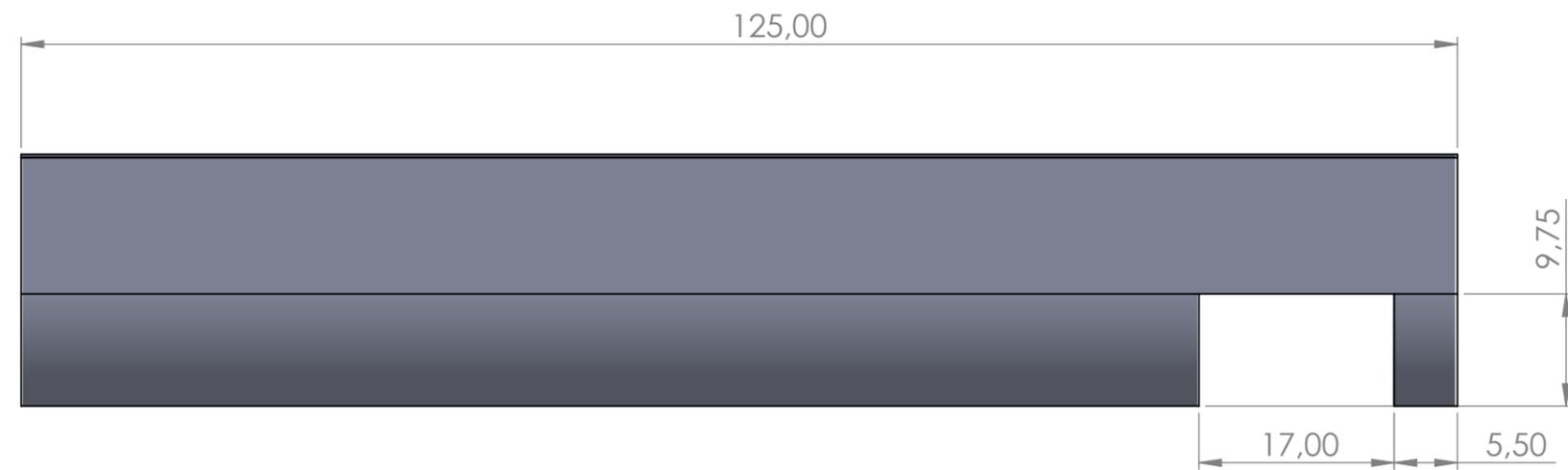
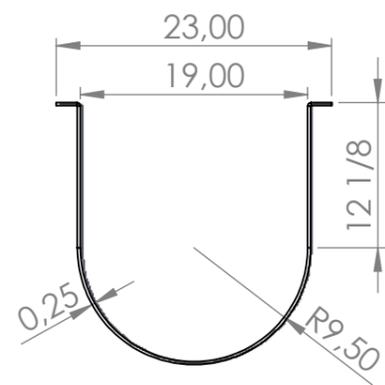
	FECHA	NOMBRE	DOCUMENTO	FINCA S.A.S
DIBUJO	15/11/2022	Carlos Pescador	1088351289	
REVISO				
ESCALA	EJE A-B			MEDIDAS: PULGADA
1:10				PLANO: 03



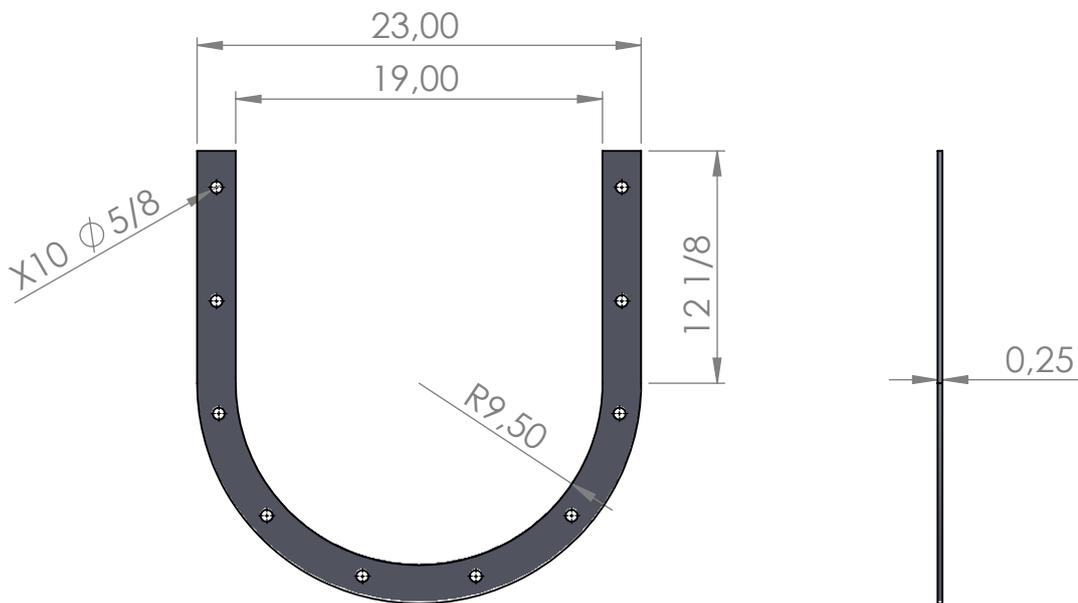
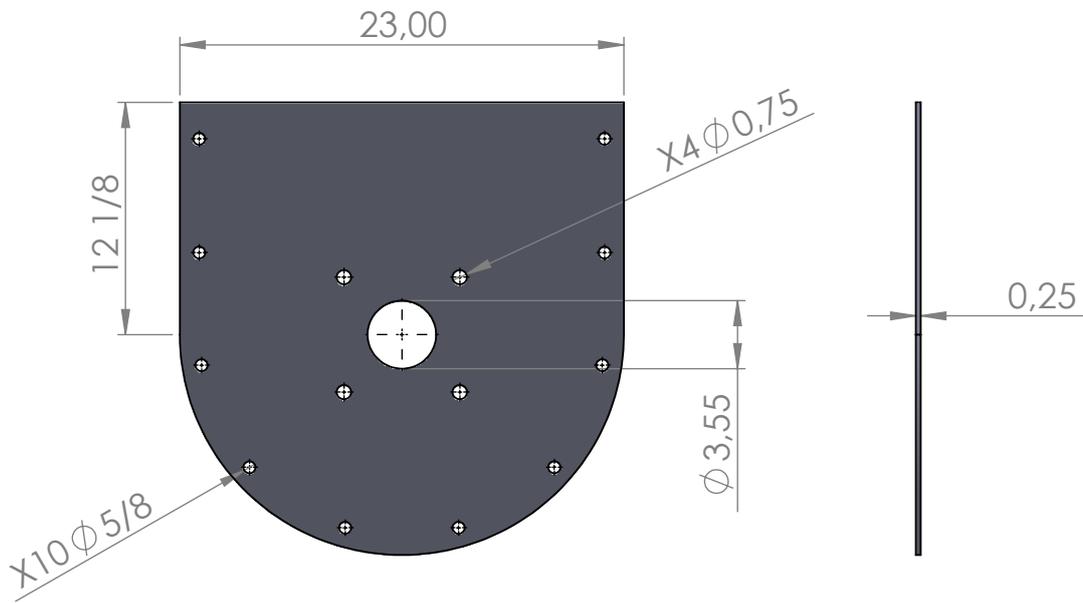
	FECHA	NOMBRE	DOCUMENTO	FINCA S.A.S
DIBUJO	15/11/2022	Carlos Pescador	1088351289	
REVISO				
ESCALA	ARTESA DE ALIMENTACIÓN			MEDIDAS: PULGADA
1:15				PLANO: 04



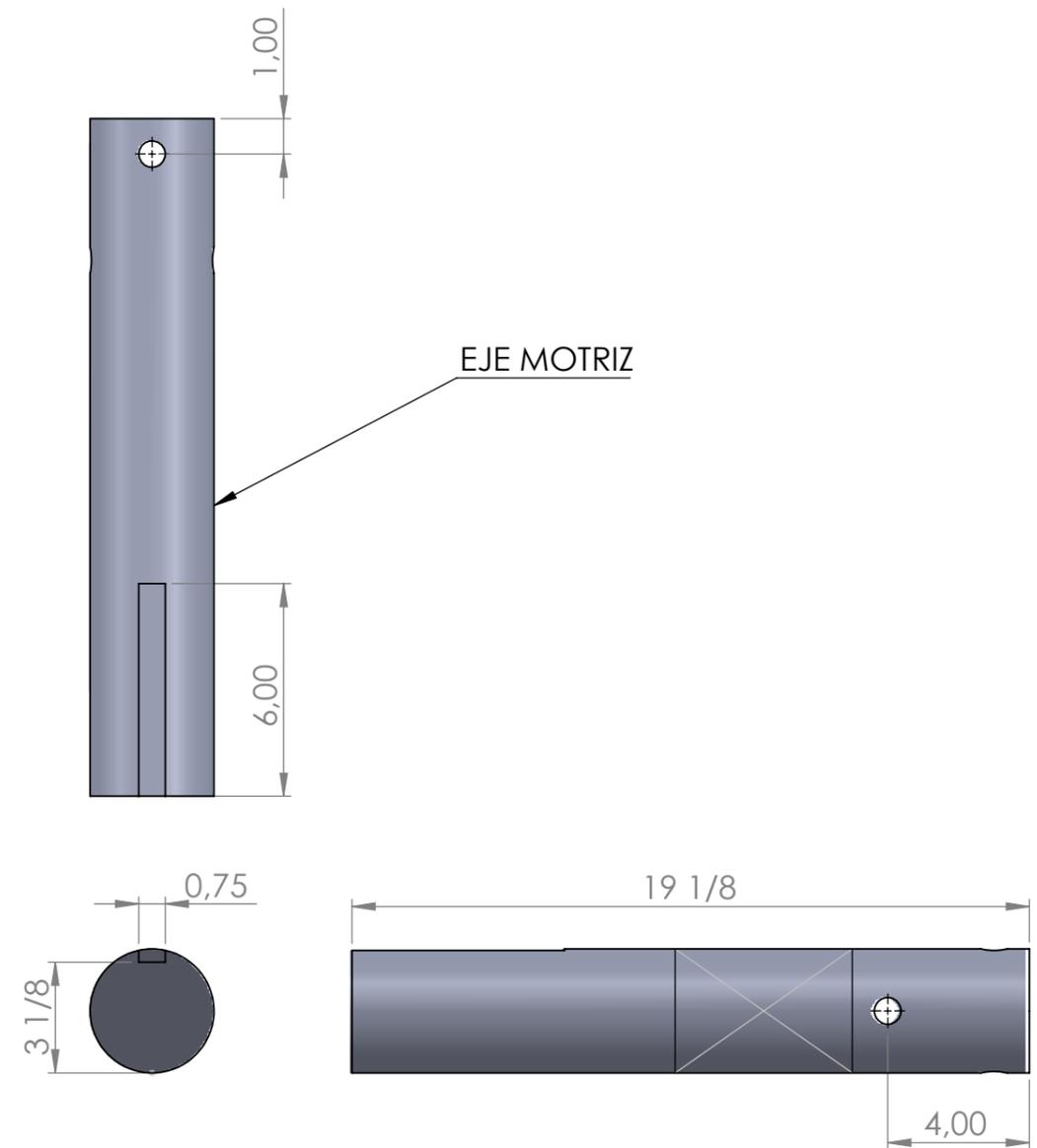
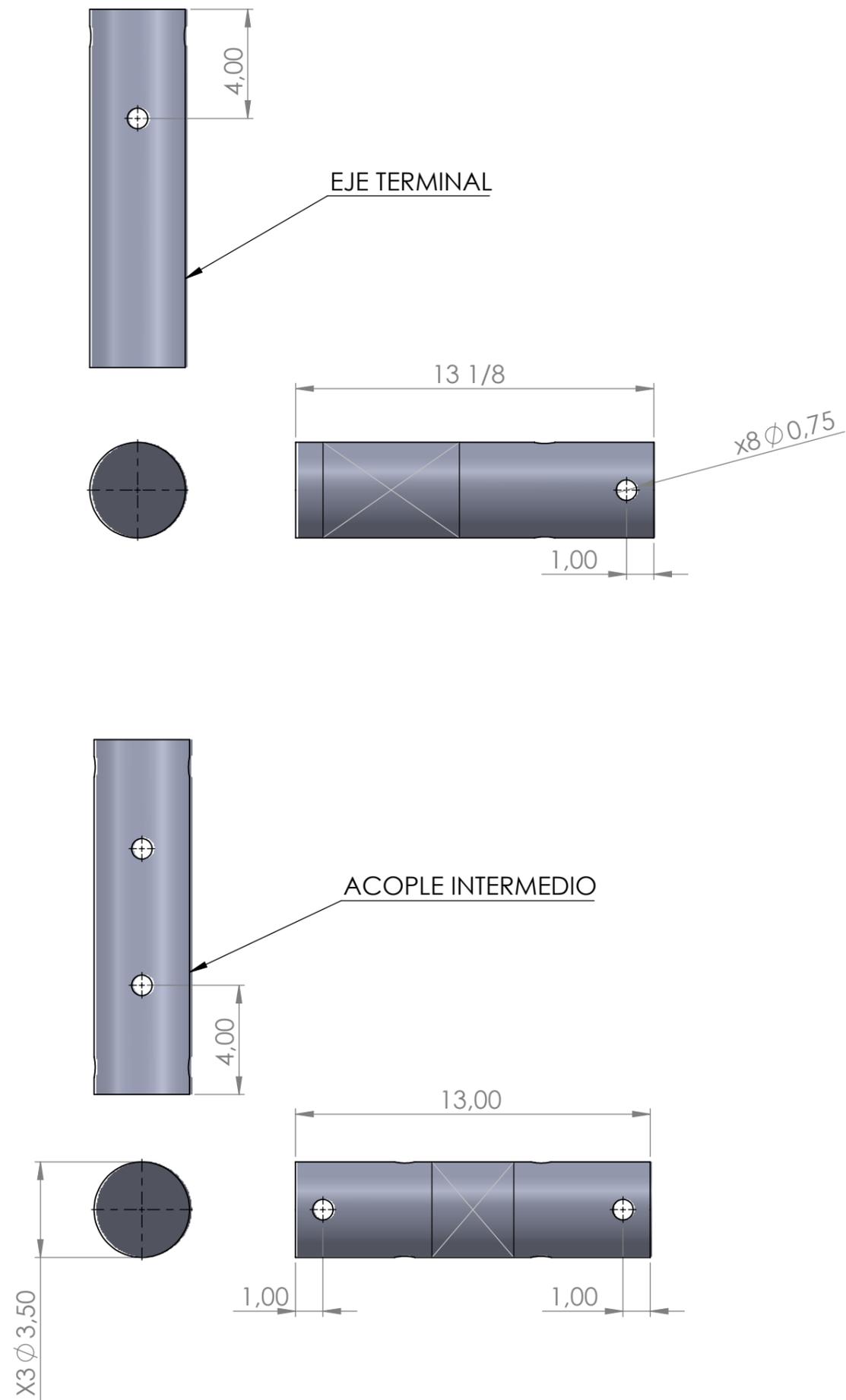
	FECHA	NOMBRE	DOCUMENTO	FINCA S.A.S
DIBUJO	15/11/2022	Carlos Pescador	1088351289	
REVISO				
ESCALA	ARTESA MEDIA			MEDIDAS: PULGADA
1:10				PLANO: 05



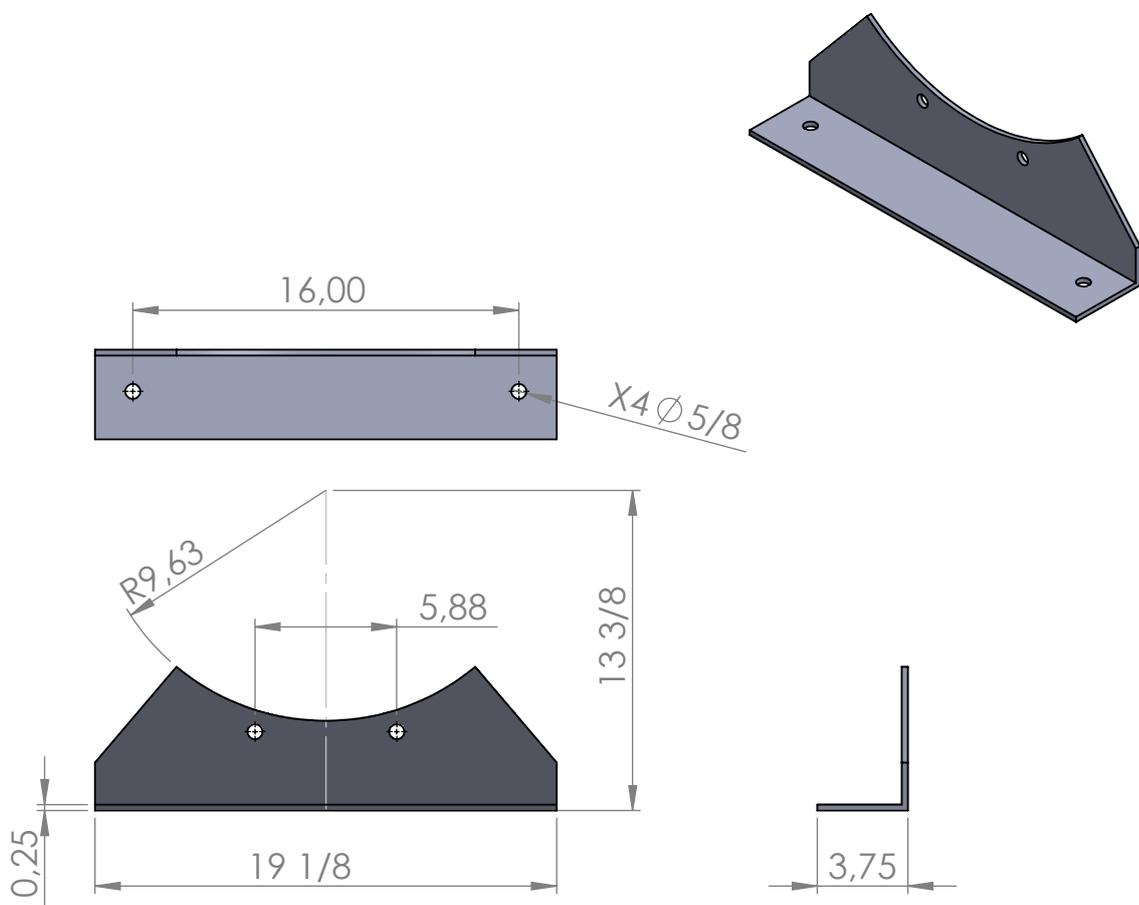
	FECHA	NOMBRE	DOCUMENTO	FINCA S.A.S
DIBUJO	15/11/2022	Carlos Pescador	1088351289	
REVISO				
ESCALA 1:15	ARTESA DESCARGA			MEDIDAS: PULGADA PLANO: 06



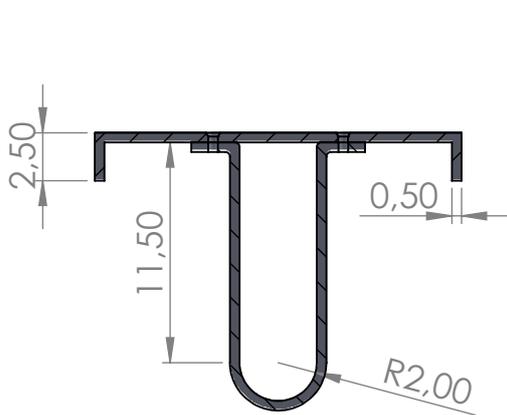
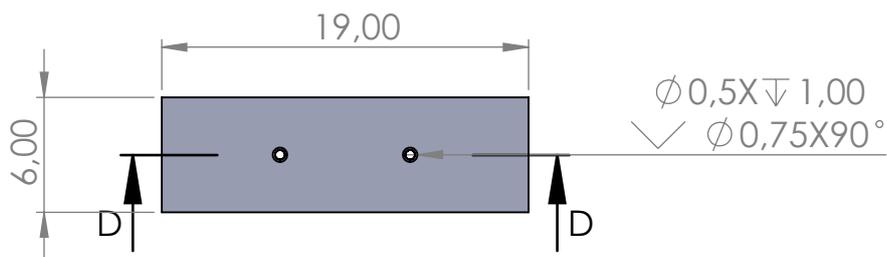
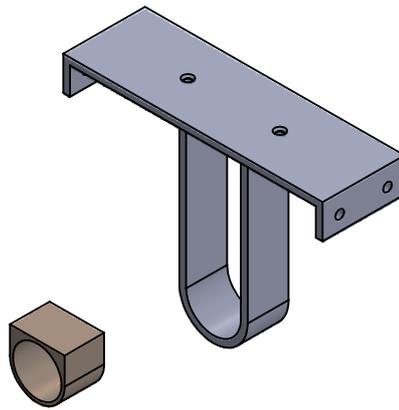
	FECHA	NOMBRE	DOCUMENTO	FINCA S.A.S
DIBUJO	15/11/2022	Carlos Pescador	1088351289	
REVISO				
ESCALA 1:10	BRIDA Y TAPA DE ARTESA			MEDIDAS: PULGADA PLANO: 07



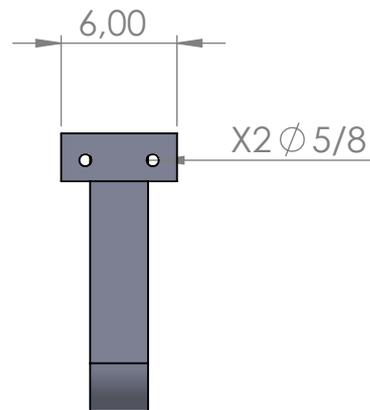
	FECHA	NOMBRE	DOCUMENTO	FINCA S.A.S
DIBUJO	15/11/2022	Carlos Pescador	1088351289	
REVISO				
ESCALA	EJE TERMINAL, MOTRIZ Y ACOPLE			MEDIDAS: PULGADA
1:5				PLANO: 08



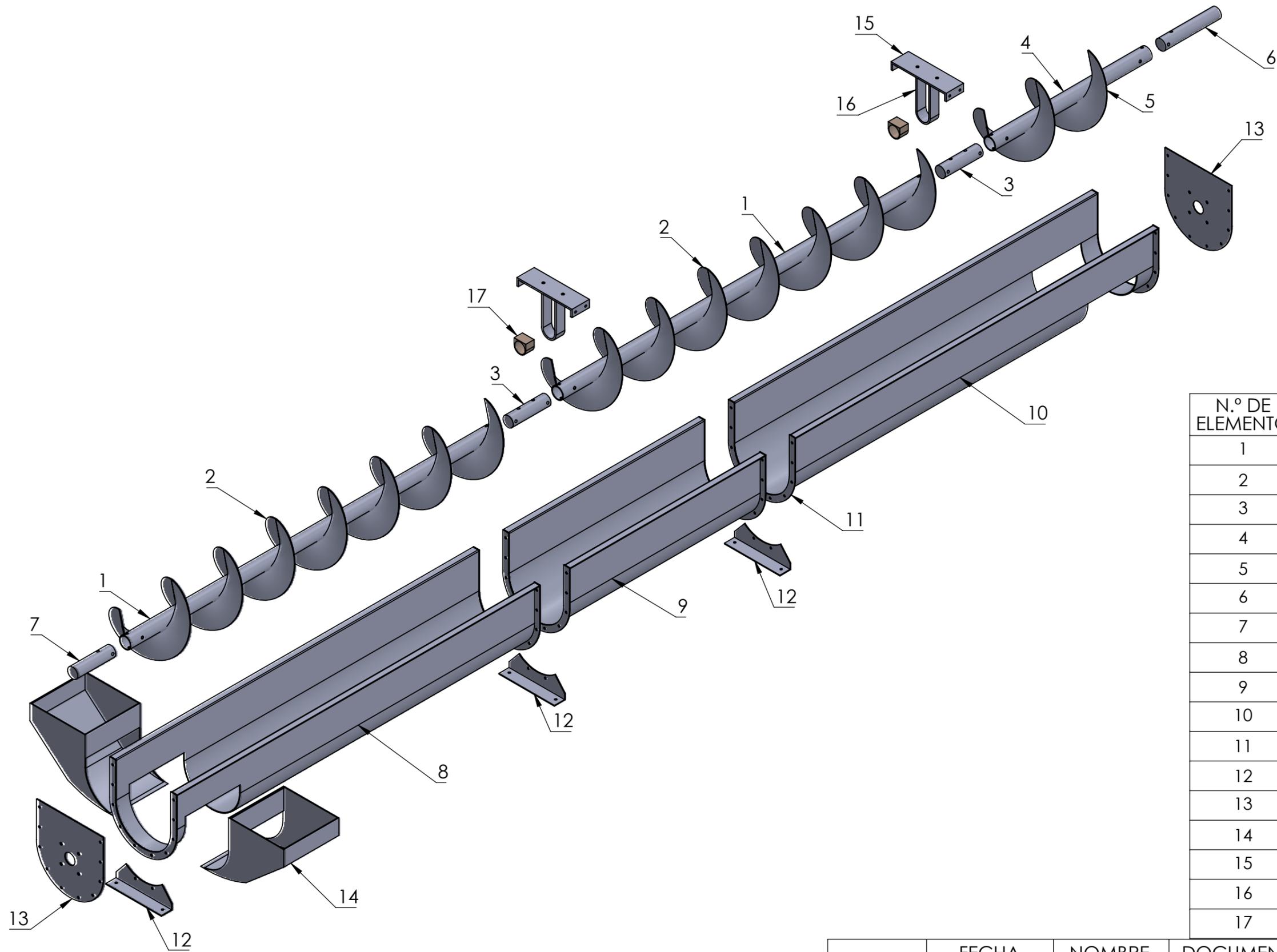
	FECHA	NOMBRE	DOCUMENTO	FINCA S.A.S
DIBUJO	15/11/2022	Carlos Pescador	1088351289	
REVISO				
ESCALA	PIE DE BRIDA			MEDIDAS: PULGADA
1:8				PLANO: 09



SECCIÓN D-D

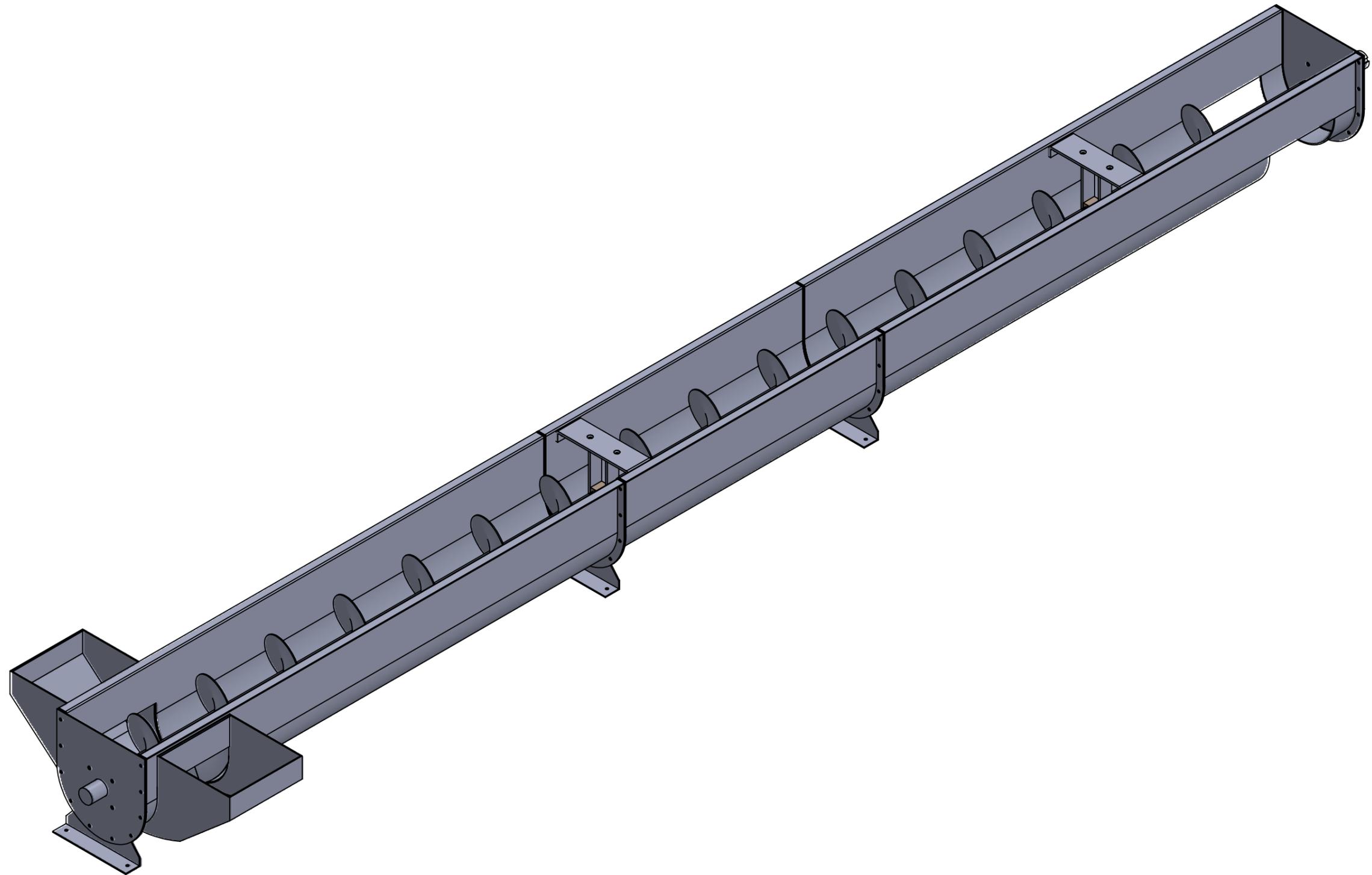


	FECHA	NOMBRE	DOCUMENTO	FINCA S.A.S
DIBUJO	15/11/2022	Carlos Pescador	1088351289	
REVISO				
ESCALA	COLGANTE			MEDIDAS: PULGADA
1:10				PLANO: 10



N.º DE ELEMENTO	PIEZA	CANTIDAD
1	Eje A	2
2	Sin Fin A	2
3	Acople intermedio	2
4	Eje B	1
5	Sin Fin B	1
6	Eje motriz	1
7	Eje terminal	1
8	Artesa	1
9	Artesa media	1
10	Artesa descarga	1
11	Brida Real	6
12	Pie de brida	3
13	Tapa Artesa	2
14	Alimentacion	2
15	Colgante alto	2
16	Colgante Bajo	2
17	Buje intermedio	2

	FECHA	NOMBRE	DOCUMENTO	FINCA S.A.S	
DIBUJO	15/11/2022	Carlos Pescador	1088351289		
REVISO					
ESCALA	VISTA EN EXPLOSIÓN			MEDIDAS: PULGADA	
1:25				PLANO: 11	



	FECHA	NOMBRE	DOCUMENTO	FINCA S.A.S	
DIBUJO	15/11/2022	Carlos Pescador	1088351289		
REVISO					
ESCALA	TRANSPORTADOR DE ESCORIA			MEDIDAS: PULGADA	
1:20				PLANO:	12

## Driveconfigurator

## R57DRN132S4

## Opciones del usuario

1 Búsqueda	2 Variantes	3 Opciones	4 Resumen
------------	-------------	------------	-----------

Datos técnicos			Vista previa del producto	Click en "Completar" para las siguientes funciones:
R57DRN132S4				
Características	Valor	Unidad		Datos CAD Datos CAE Documentación técnica Guardar como plantilla Oferta de producto Pedido de producto
Velocidad nominal del motor	1768	1/min		
Velocidad de salida	127	1/min		
Índice de reducción total	13,95			
Par de salida	415	Nm		
Factor de servicio SEW-FB	1,05			
Posición de montaje	M1			
Pintura imprimación/CapaFinal	5013 azul cobalto (55250130)			
Posición de conexión/caja de bornas	0	°		
Entrada de cable/ Posición del conector		X		
Eje de salida	1.375X2.76	in		
Tipo de diseño	Diseño con patas			
Salida de carga radial permitida a n=1750	3130	N		
Cantidad de lubricante 1er reductor	0,8	Litro		
Potencia del motor	5,5	kW		
Factor de duración	S1-100%			
Clase eficiente	IE3			
Eficiencia (50/75/100% Pn)	90,93 / 91,83 / 91,7	%		
Marcado CE	No			
Tensión del motor	220/440	V		
Esquema de conexionado	R76			
Frecuencia	60	Hz		
Corriente nominal	19,2 / 9,6	A		
Cos Phi	0,82			
Clase de aislamiento	155(F)			
Tipo protección del motor	IP55			
Requisito del diseño	IEC60034 (sin CE)			
Momentos de inercia de masa (en referencia al lado de entrada)	240,80	10 <sup>-4</sup> kgm <sup>2</sup>		
Peso neto	73	Kg		
<b>General</b>				
Protección anticorrosión				
Protección de la superficie OS2 (contaminación ambiental media)				
<b>Opciones del motor</b>				

Aislamiento térmico 155(F)

Color: 5013 azul cobalto (55250130)

Pais de uso Colombia (RETIE/RETIQ  
60 Hz)

Tensión, frecuencia, bobinado

**Opciones 1er reductor**

1 visor de aceite

Eje de salida: 1.375X2.76 in