

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

DISEÑO Y MODELADO 3D DE UN EQUIPO ELEVADOR INCLINADO HELICOIDAL DE GRANOS

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
MECÁNICA**

VICTOR ALEXANDER MONTENEGRO ARTEAGA

victor.montenegro@epn.edu.ec

DIRECTOR: MARIO ALBERTO CESEN ARTEAGA

mario.cesen@epn.edu.ec

DMQ, febrero, 2024

CERTIFICACIONES

Yo, VICTOR MONTENEGRO declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

VICTOR MONTENEGRO

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por VICTOR MONTENEGRO, bajo mi supervisión.

MARIO CESEN

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como los productos resultantes del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

VICTOR MONTENEGRO

MARIO CESEN

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a mis amados padres por su amor incondicional para conmigo, mis hermanos e incluso para aquellos quienes solicitaban un refugio en nuestra morada, a ellos quienes me han educado con valores y principios, y me han sostenido en incontables ocasiones.

A mi amada abuela Isabel y a mi querido padre Víctor quienes ya no están, que su luz continúe guiando mi camino.

A mis hermanos Erick, Eddy y Alejandro con quienes he aprendido a vivir y con lo que he experimentado tantas alegrías, han sido fundamentales para mi vida.

A mis Primos, especialmente a Ismael que es casi mi hermano mayor y mi mentor, a Mabel, Cindy y Andy.

Victor.

AGRADECIMIENTO

Quisiera extender mi más sincero agradecimiento a todas las personas que me han apoyado en la realización de este trabajo de integración curricular. En primer lugar, quiero agradecer a mis padres, mis hermanos y mis familiares más cercanos, gracias por su ayuda incondicional los momentos más difíciles de mi vida, sin el apoyo que me han brindado este trabajo no habría sido posible.

A mi director de este trabajo de integración curricular, Ing. Mario Cesen, por su invaluable orientación y sabiduría durante todo el proceso de elaboración de este trabajo de investigación.

A mis compañeros de clases, quienes me motivaban a seguir adelante y a no rendirme sin importar lo difícil de las situaciones, especialmente a Christian, Ricardo, Ian, Jazmín, Anita, Salma, Richie y Ramón.

A todos mis maestros de la Escuela Politécnica Nacional por las innumerables enseñanzas tanto dentro como fuera de las aulas, aquellos que lograron inculcarme los conocimientos necesarios que culminaron en este trabajo.

A todos ustedes, ¡Muchas gracias por todo!

Victor.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES.....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
RESUMEN	VII
ABSTRACT	VIII
1 Introducción	1
1.1 Objetivo general	1
1.2 Objetivos específicos	1
1.3 Alcance	1
1.4 Marco teórico	2
Transportadores helicoidales	2
Clasificación de los transportadores sin fin por el paso.....	3
Clasificación de los transportadores sin fin según el tipo de helicoides	4
Partes principales de un elevador helicoidal	6
Material a transportar.....	7
Capacidad	7
Velocidad angular	8
Potencia del motorreductor	8
Corrección de la potencia	9
Torque crítico.....	10
Competencia	10
Casa de la calidad	11
2 METODOLOGÍA	14
2.1 Consideraciones para el diseño	14
Características de los granos de maíz	14
Flujo volumétrico del material	15
Velocidad angular del elevador helicoidal	15
Potencia del elevador helicoidal.....	16
Corrección de la potencia	19
Torque crítico.....	19

Otros.....	20
2.2 Selección y diseño de componentes.....	21
Selección del Motorreductor	21
Acople flexible	24
Elementos que soportan torque	27
Tornillo helicoidal	28
Canaleta	39
Extremos de la canaleta	40
Sello de placa	41
Chumaceras	41
Ejes extremos.....	44
Cubierta.....	45
Bridas para extremos de canaletas.....	45
Boquilla de descarga	46
Boquilla de entrada.....	46
Uniones de cubierta y sellos	46
Silletas para canaleta	47
Colgantes con soportes	47
Estructura base.....	48
2.3 Análisis de costos	49
Costos Directos	49
Costos indirectos	50
Costos totales de fabricación	51
3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	52
3.1 Resultados	52
3.2 Conclusiones	54
3.3 Recomendaciones	54
4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56
5 ANEXOS.....	59

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo principal el desarrollo de un elevador helicoidal inclinado de granos de maíz. Inicialmente se presentaron los tipos de transportadores de tornillo sin fin y sus principales características.

Con la búsqueda de distribuidores de estos equipos en el mercado, se tuvo una idea más amplia de las especificaciones técnicas, los precios que presentan y con estos datos realizar la casa de la calidad

Se dimensionan los elementos principales del elevador, como lo son, el tornillo sin fin y el motorreductor, en base a: tipo y carga de maíz que será transportado, el cálculo de la potencia total necesaria para elevar estos granos, la velocidad angular, y el torque crítico.

Se obtienen los diseños de catálogos del motorreductor y del acople flexible y se diseña, en primera instancia, el eje hueco del tornillo helicoidal, al realizar un análisis estático y así obtener valores que permiten la posterior selección de las chumaceras a la entrada y a la salida del sin fin con sus respectivos rodamientos, además, este análisis permite la obtención de esfuerzos y por consiguiente un factor de seguridad para el sin fin.

Se diseña el resto de las piezas y los planos de taller y el plano de conjunto, en base a las referencias y luego se calcula los costos de materias primas, fabricación, y los rubros indirectos que se incluyen en la elaboración de todos los elementos del elevador para obtener una estimación del costo que tendría fabricar un elevador helicoidal inclinado para granos.

PALABRAS CLAVE: elevador, tornillo helicoidal, tornillo sin fin, granos de maíz, potencia, velocidad angular, planos.

ABSTRACT

The main objective of this work is the development of an inclined helical elevator for corn grains. Initially, the types of endless screw conveyors and their main characteristics were presented.

When looking for distributors of this equipment in the market we had a broader idea of the technical specifications and prices they present, and with this data, the house of quality was created.

The main elements of the elevator, such as the helical shaft and the gear motor, are sized based on: the type and load of corn that will be transported, the calculation of the total power necessary to lift these grains, the angular speed, and the critical torque.

The catalog designs of the gear motor and the flexible coupling are obtained, in the first instance the hollow shaft of the helical screw is designed, performing a static analysis, and thus obtaining values that allow the subsequent selection of the bearings at the entrance and exit of the helical shaft with their respective bearings, in addition, this analysis allows obtaining forces and therefore a safety factor for the helical screw.

The rest of the parts are designed, drawings and the assembly drawing are designed, based on the references and then the costs of materials, manufacturing, and the indirect items that are included in the preparation of all the elements of the elevator to obtain an estimate of the cost of manufacturing an inclined helical grain elevator.

KEYWORDS: Elevator, helical screw, endless screw, corn kernels, power, angular speed, drawings.

1 INTRODUCCIÓN

El siguiente trabajo de integración curricular tiene como propósito principal realizar el diseño y la selección de los diferentes elementos que conforman un equipo elevador inclinado helicoidal de granos. Esta máquina permite realizar una alimentación continua y dosificada hacia otros equipos, lo que reduce el esfuerzo humano de transportar cargas dentro de una planta industrial.

1.1 Objetivo general

Diseñar un equipo elevador inclinado helicoidal de granos y modelar sus elementos mediante un software CAD.

1.2 Objetivos específicos

- Realizar la investigación bibliográfica pertinente.
- Determinar las necesidades, definir las especificaciones y proporcionar las alternativas correspondientes al equipo.
- Diseñar y seleccionar los elementos del elevador helicoidal de granos.
- Modelar y ensamblar mediante un software CAD los planos de taller y de conjunto de los elementos del equipo.
- Establecer los costos de los materiales, mano de obra y costos indirectos de fabricación, necesarios para la construcción del elevador helicoidal de granos.

1.3 Alcance

El desarrollo del presente trabajo de integración curricular comenzará con la recopilación de información acerca de los diferentes equipos elevadores existentes en el mercado local.

A continuación, se determinan los requerimientos y las alternativas, se establecen las especificaciones técnicas básicas que deberá tener este equipo, luego de esto, se procederá a definir los módulos necesarios que conforman el equipo.

Una vez identificados los módulos se pasa a evaluar y seleccionar la mejor alternativa de solución a los requisitos establecidos con anterioridad.

Después se procederá a la etapa de cálculo para el diseño y selección de elementos correspondientes de la máquina, además se realizará un modelado 3D de cada componente en un software CAD.

Finalmente se pasará al proceso de ensamblaje, elaboración de planos de conjunto y despiece de los elementos del equipo, así como también, se determina los costos que conllevarán su fabricación.

1.4 Marco teórico

Transportadores helicoidales

Los transportadores helicoidales son equipos para el transporte de materiales sólidos a granel, su principio de funcionamiento se basa en el tornillo de Arquímedes, con más de 2000 años de antigüedad. Actualmente es uno de los métodos más baratos y eficaces para el movimiento continuo de materias primas en cortas distancias. El elemento transportador principal es un metal laminado en forma de hélice alrededor de un tubo en sentido longitudinal, conformando un tornillo sin fin, este reposa en ejes y va acompañado con una canaleta curva que soporta carga, en la que, la fricción en sus paredes junto con la fuerza de gravedad limita el traslado de la materia prima en la dirección axial del sin fin, mientras más inclinado se disponga el transportador estos efectos sobre la carga aumentan.][[1], [2]

El tornillo de Arquímedes es un sistema en el que se basan ciertas bombas hidráulicas, está compuesto por un eje hueco con espiras, también llamado helicoidal o tonillo sin fin, y un tubo rodeándolo, este trabaja generalmente de forma inclinada y el movimiento del eje permite la elevación de elementos líquidos al quedar confinados entre el tubo y las espiras. [3]

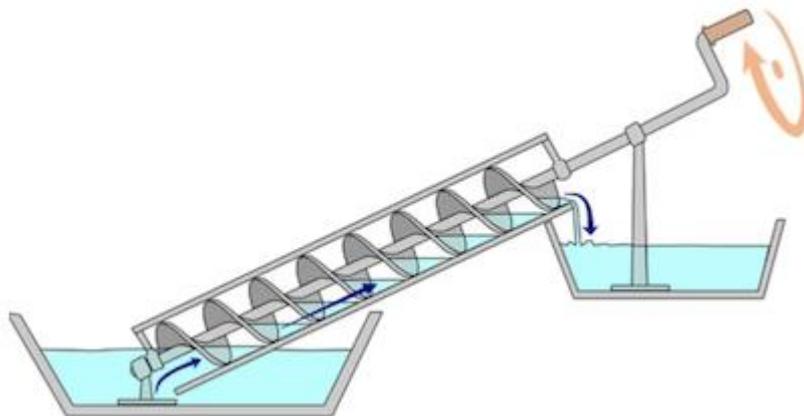


Figura 1.1. Esquema del funcionamiento de un tornillo de Arquímedes. [3]

Clasificación de los transportadores sin fin por el paso

Entiéndase paso como la distancia del final de una espira de la hélice hasta la espira consecutiva en sentido longitudinal del eje o también como el de una vuelta completa (360 grados) de una partícula perteneciente al helicoidal. [1]

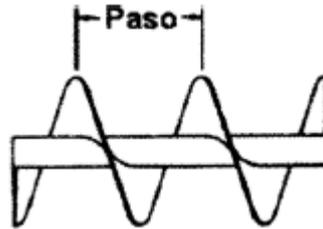


Figura 1.2. Paso de un helicoidal [1]

Transportadores de paso estándar

Estos transportadores se denominan estándar por que el paso de su helicoides es igual a su diámetro, ver figura 1.3.(a). Se utilizan comúnmente en transporte continuo de materiales al granel en posición horizontal. [2], [4]

Transportadores de paso corto

En estos transportadores el paso es $\frac{2}{3}$ del diámetro de su helicoides, se suele usar para transportar carga en inclinaciones de más de 20° , ver figura 1.3.(b). Se utilizan para controlar el ingreso de material y reducir su descarga de forma abrupta. Mientras más corto es el paso del helicoidal el transportador es más eficiente. [2], [4]

Transportadores de paso medio

El paso del helicoidal en estos transportadores es de la mitad de su diámetro, ver figura 1.3.(c). Se utilizan de manera vertical, e inclinada al conducir materiales que tienen alta fluidez. [2]

Transportadores de paso largo

Para estos transportadores el paso es 1,5 veces el diámetro del helicoidal, ver figura 1.3.(d). Son usados comúnmente como agitadores de materiales de alta fluidez. [2]

Transportadores de paso variable

Estos transportadores poseen un helicoidal que de manera gradual incrementan o merman su paso, ver figura 1.3.(e). Son usados para mover de manera uniforme materiales que tienen alta fluidez. [2]

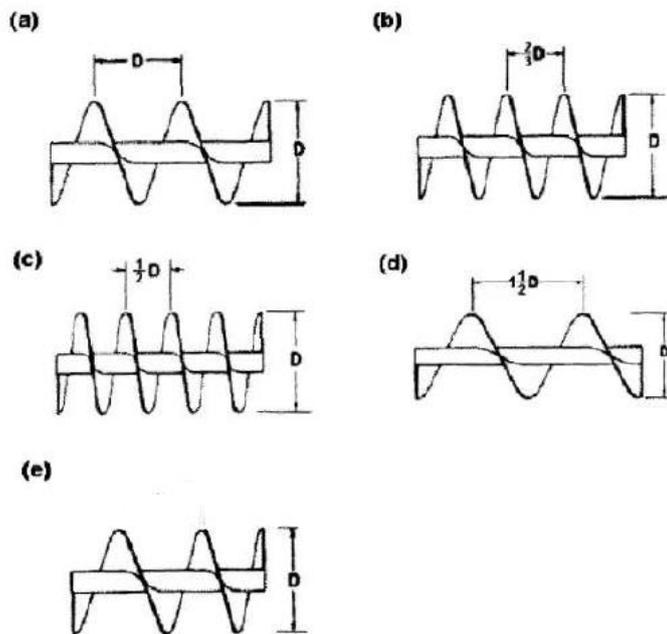


Figura 1.3. Clasificación de los transportadores sinfín por el paso [2]

Clasificación de los transportadores sin fin según el tipo de helicoides

Transportadores de espiras estándares

Las espiras en este tipo de transportadores son completas y no tienen variaciones en su tamaño y forma, ver figura 1.4.(a). Se usan en la mayor parte de transporte continuo de materiales a granel. [2]

Transportadores de espiras recortadas

En estos transportadores, el borde exterior de la espira tiene cortes regulares por toda su longitud, ver figura 1.4.(b). Son usados comúnmente para mezclar y agitar mientras se transporta material. Son ideales para trabajar con material que se compacta al moverse, el cual es desmenuzado por la propia acción del movimiento y las espiras. [2]

Transportadores de espiras recortadas y dobladas

En estos transportadores, las espiras también son recortadas pero estos materiales remanentes no son removidos del helicoidal, sino que se doblan a 90° hacia el lado giro del transportador, debido a la disposición de estos el flujo de material transportado es retardado, se calienta y se mezcla, ver figura 1.4.(c). Son usados comúnmente para enfriar, calentar o airear sustancias de poca densidad según la conveniencia. [2]

Transportadores de cinta

Estos transportadores, poseen un espacio libre entre el borde interior de la espiral y el eje hueco, evitando la acumulación del material que pueda afectar al desempeño de este, ver figura 1.4.(d). Excelentes para mover materiales viscosos o cohesivos (de alta cantidad de arcilla). [2], [4]

Transportador de espiras con paletas

Estos transportadores llevan paletas unidas al tubo que se distribuyen siguiendo una trayectoria opuesta a la del helicoidal, ver figura 1.4.(e). Permite mezclar de manera suave y uniforme el material transportado. [2]

Transportador de paletas

Transportadores formados de paletas unidas al eje central cuadrado o redondo con una distribución igual al caso anterior y donde las espiras han sido desmontadas, ver figura 1.4.(f). Permite transportar y mezclar materiales finos, granulares e incluso secos siempre y cuando se regule la humedad mediante la aplicación de líquidos. [2], [4]

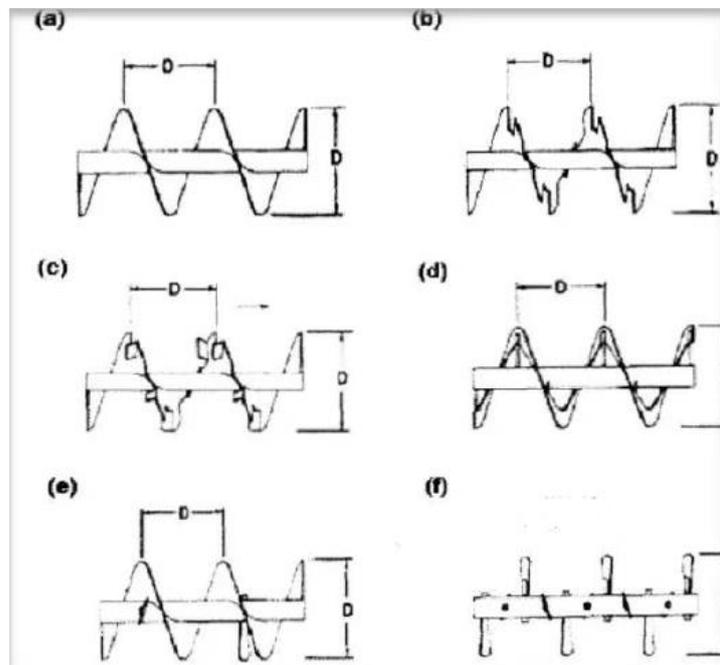


Figura 1.4. Clasificación de los transportadores sin fin según el tipo de helicoides [2]

Partes principales de un elevador helicoidal

Módulo de accionamiento

En este módulo la parte principal es el motorreductor, este va acoplado directamente al resto de una canaleta, y posee una apertura para la boca de carga. El sin fin se une directamente con el motorreductor y está apoyado por medio de un cojinete que lo mantiene en una posición fija. Ver la figura 1.5. [5]

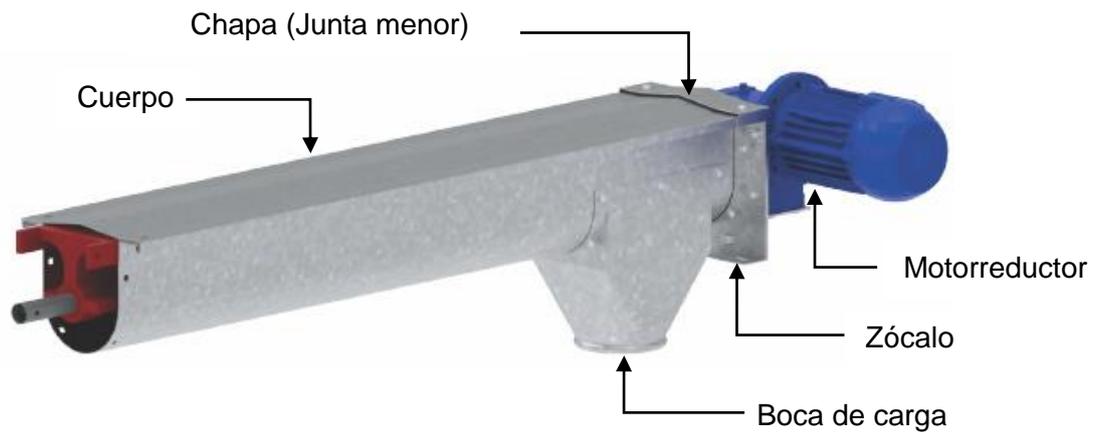


Figura 1.5. Módulo de accionamiento del elevador helicoidal [5]

Cuerpo

El cuerpo se compone de una canaleta en forma de U fabricada, en la parte superior se cubre con una cubierta a través de empalmes, propiciando un área en donde el sin fin trabaja. Este último está compuesto por un tubo de acero en el cual se suelda un helicoide. Ver figura 1.6. [5]

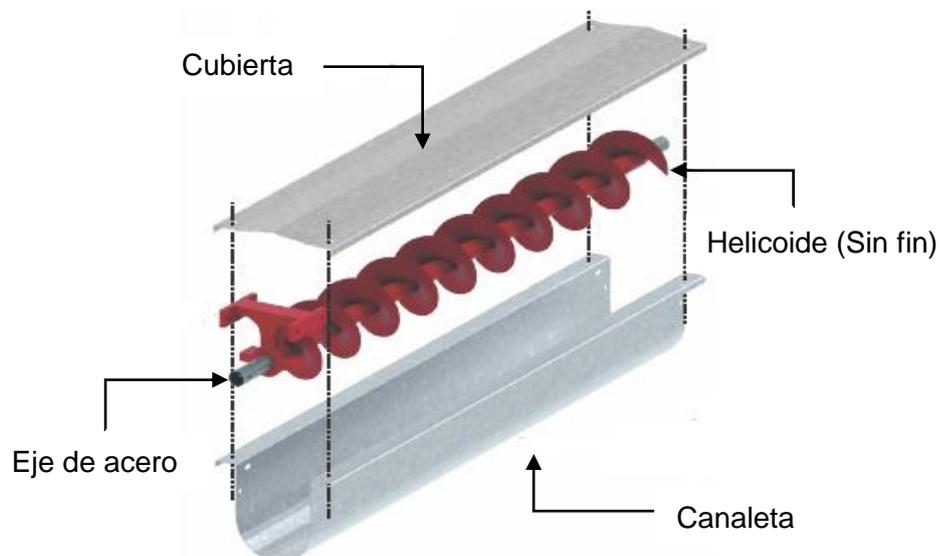


Figura 1.6. Cuerpo del elevador helicoidal [5]

Módulo final

Este módulo lleva ese nombre porque por aquí saldrá el material transportado, al igual que el módulo de accionamiento utiliza un cojinete para fijar el sin fin. Ver la figura 1.7. [5]

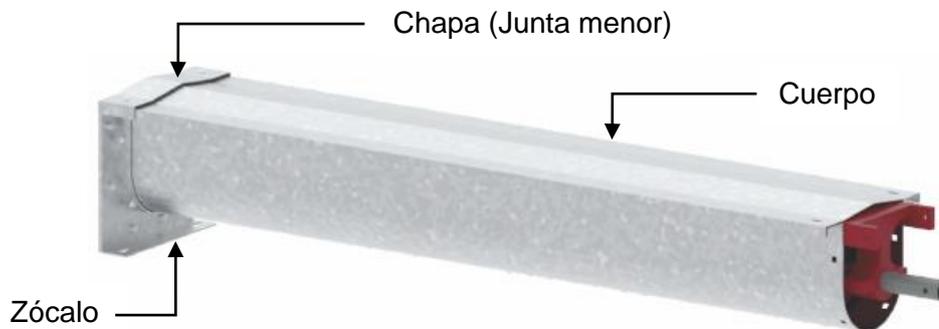


Figura 1.7. Módulo final del elevador helicoidal [5]

Material a transportar

Según el INIAP (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria) las plantas de maíz en el Ecuador poseen un tamaño variado en cuanto a producción por hectárea y a las dimensiones encontradas en los granos y mazorcas, la variedad de maíz con el grano más grande que se puede encontrar es la INIAP-101 (blanco harinoso precoz), que bordea un tamaño cercano a media pulgada, por lo que si este maíz puede ser transportado el resto de las variedades también lo serán. [6]

La variedad del INIAP-122 (Chaucho Mejorado) es equivalente con la del maíz criollo (*Zea Mays L.*), de la cual se tomarán los datos promedios de dimensiones, masa y densidad. [7]

La mazorca tiene de 14,4 granos por hilera, tiene 14,7 de estas últimas y solo los granos pesan 106,66 [g] y la longitud de cada grano es de 1,01 [cm], el ancho del grano de 0,7 [cm], todos estos valores son promedios. [8], [9]

Capacidad

La capacidad del transportador helicoidal corresponde al flujo volumétrico del material a transportar, el cual se puede obtener con la relación entre su flujo másico y su densidad.

$$\dot{m} = \dot{V} \cdot \rho \left[\frac{lb}{h} \right]$$

Ecuación 1.1. Flujo másico [10]

Donde:

$$\dot{V}: \text{flujo volumetrico} \left[\frac{ft^3}{h} \right]$$

$$\rho: \text{densidad} \left[\frac{lb}{ft^3} \right]$$

Velocidad angular

Para obtener la velocidad angular que debe tener el elevador es necesario comparar el flujo volumétrico del material que vamos a elevar con el flujo volumétrico a 1 [rev/min], lógicamente esta velocidad no debe superar la velocidad máxima para el tipo de diámetro elegido del sin fin. La ecuación siguiente es aplicable para un sinfín de paso estándar, los cuales son los más comunes a nivel industrial para transportar material a granel. [11]

$$N = \frac{\dot{V}}{\dot{V} \text{ a } 1 \text{ RPM}} \left[\frac{rev}{min} \right]$$

Ecuación 1.2. Velocidad angular al comparar flujos volumétricos [11]

Donde:

$$\dot{V}: \text{flujo volumétrico} \left[\frac{ft^3}{h} \right]$$

$$\dot{V} \text{ a } 1 \text{ RPM}: \text{flujo volumétrico a } 1 \text{ RPM} \left[\frac{ft^3}{h \cdot \frac{rev}{min}} \right]$$

Potencia del motorreductor

La potencia de un elevador helicoidal inclinado se basa en la cantidad del material a transportar, su fluidez y el ángulo de inclinación que tendrá el elevador. Los transportadores helicoidales pierden eficiencia cuando la se inclinan por encima de los 5° desde su posición horizontal, por lo que, requieren más potencia y torque en el motorreductor para elevar el material y así vencer su retroceso y la fuerza de gravedad, debido a esto, se introduce un factor en los cálculos para corregir la potencia total de un transportador de helicoidal inclinado. [12]

$$P_T = \frac{P_f + (P_m \cdot F_i)}{E_t} [hp]$$

Ecuación 1.3. Potencia total para un transportador de tornillo sin fin inclinado [12]

Donde:

P_f : potencia necesaria para mover el sin fin en vacío [hp]

P_m : potencia requerida para mover el material [hp]

F_i : factor de inclinación

E_t : factor de eficiencia de accionamiento

$$P_f = \frac{F_d \cdot F_b \cdot L \cdot N}{1000000} [hp]$$

Ecuación 1.4. Potencia necesaria para mover el sin fin en vacío [11]

Donde:

F_d : factor de diámetro del sin fin

F_b : factor de rodamiento intermedio

L : longitud total del sinfín o helicoides [pies]

N : velocidad angular $\left[\frac{rev}{min} \right]$

$$P_m = \frac{F_f \cdot F_p \cdot F_m \cdot L \cdot P_e \cdot \dot{V}}{1000000} [hp]$$

Ecuación 1.5. Potencia requerida para mover el material [11]

Donde:

F_f : factor de carga del sin fin

F_p : factor de las paletas del sin fin

F_m : factor del material

L : longitud total del sinfín o helicoides [ft]

P_e : peso específico $\left[\frac{lb}{ft^3} \right]$

\dot{V} : flujo volumétrico $\left[\frac{ft^3}{h} \right]$

Corrección de la potencia

Los transportadores de sin fin que estén por encima de más de 10° de inclinación con respecto a la horizontal deben estar diseñados para trabajar en condición adversa, esta se da cuando se necesita vencer la gravedad y se interrumpe el flujo del material que se desplaza hacia la zona de alimentación inferior impidiendo la correcta elevación del material. Se necesita entonces de una mayor potencia para vencer dicha condición, debido a que, el motorreductor soportara temporalmente una carga del 100% de material a la entrada del elevador. El factor de potencia corregido o factor de sobrecarga se puede ver en la figura 2.2. y se usa para aumentar la potencia del eje conectado al motorreductor, cuando la potencia para mover el material es inferior a los 5 [hp]. [12]

$$P_{CT} = \frac{P_f + P_m^*}{E_t} [hp]$$

Ecuación 1.6. Potencia corregida total de un transportador de tornillo sin fin inclinado [12]

Donde:

P_f : potencia necesaria para mover el sin fin en vacío [hp]

P_m *: potencia requerida para mover el material corregida [hp]

E_t : factor de eficiencia de accionamiento

Torque crítico

El diseño de los elevadores helicoidales principalmente se define por la cantidad de torque que se transmite a través del eje de accionamiento proveniente del motorreductor, y que puede ser transmitido con seguridad a los elementos de unión como pernos y tornillos. [13]

$$T_c = \frac{P_{CT} \cdot (63025)}{N} \text{ [lbf} \cdot \text{pulg]}$$

Ecuación 1.7. Torque crítico [11]

Donde:

P : potencia corregida total para un transportador [hp]

N : velocidad $\left[\frac{rev}{min}\right]$

Competencia

Elevador helicoidal para grano – Synmec

Elevador de tornillo helicoidal de acero inoxidable o al carbono para granos y materiales metálicos como el acero a granel. Tiene la posibilidad de modificar el diámetro del tubo por lo que puede ser adaptado para diversas situaciones. Es de fácil manejo y presenta un consumo energético de alta eficiencia. Tiene un costo de 1000 [USD] si se adquiere solo uno. Se rige a las normas ISO 9001 (certificación ISO9001:2008). Tiene una capacidad de 3 a 30 [ton/h], trabaja con 380 [V] y tiene un diámetro de 200 [mm]. Posee una potencia de 0,75 [kW] o 1 [hp]. Posee una longitud de 3600 [mm], 210 [mm] de ancho y 1500 [mm] de altura, lo que quiere decir, que su ángulo de inclinación estándar de trabajo esta cercano a los 30° desde la horizontal. Presenta una garantía de 1 año en sus componentes principales [14]

Elevador helicoidal para grano – LS 160 Hengyu

La empresa Xinxiang Hengyu Maquinaria Co., Ltd. Es fabricante especializado con más de 25 años de experiencia en maquinaria para el transporte de materiales a granel. Son exportadores directos de más de 98 países. [15]

El modelo LS160 es un transportador de porta paletas en el helicoidal construido en acero inoxidable o al carbono dependiendo de la aplicación, ideal para transporte de polvo, gránulos y piezas pequeñas. Puede colocársele horizontal, vertical o inclinado. Tiene un diámetro del sin fin de 160 [mm] y puede trabar con velocidades de entre 50 a 112 [rev/min], esto último depende de la carga que se va a suministrar. Tiene un costo de 800 [USD] en su versión individual y se rige a las normas ISO 9001. [15]

Tabla 1.1. Especificaciones técnicas de los elevadores helicoidales Hengyu [15]

El modelo		LS100	LS160	LS200	LS250	LS315	LS400	LS500
De diámetro Mm		100	160	200	250	315	400	500
Paso del tornillo Mm		100	160	200	250	315	355	400
Parámetros técnicos	N(r/min).	140	112	100	90	80	71	63
	Q	2.2	8	14	24	34	64	100
	N(r/min).	112	90	80	71	63	56	50
	Q	1.7	7	12	20	26	52	80
	N(r/min).	90	71	63	56	50	45	40
	Q	1.4	6	10	16	21	41	64
	N(r/min).	71	50	50	45	40	36	32
	Q	1.1.	4	7	13	16	34	52

Casa de la calidad

Para el desarrollo de la casa de la calidad se toman en cuenta las necesidades de los clientes, lo que se conoce dentro de este análisis como la voz del usuario, estas serán traducidas en especificaciones técnicas de ingeniería, para su posterior implementación en cada fase del diseño y de la fabricación del producto final si es pertinente. [16]

La voz del usuario

De acuerdo con los anhelos del usuario, el elevador helicoidal debe contar con las siguientes características.

- Que trabaje con una inclinación de 30°.
- Que el conducto que contiene el sinfín tenga una longitud de 3 metros.
- Que tenga una capacidad de carga de 1000 kilogramos por hora.
- Que pueda elevar granos de maíz.
- Que sea silencioso.

- Que sea de fácil mantenimiento.

La voz del ingeniero

Establecidas las demandas del usuario es necesario traducirlas a especificaciones técnicas para el elevador helicoidal, estas puedan ser cuantificadas.

- Ángulo de elevación del canal (α).
- Longitud del canal (L).
- Flujo volumétrico (\dot{V}) o Flujo másico (\dot{m}).
- Potencia del motorreductor (P).
- Material de los componentes transportadores (Acero inoxidable).
- Nivel de ruido.
- Paso del helicoidal.

Análisis de la casa de la calidad

Una vez completada la casa de la calidad, tomando en cuenta que, en la columna donde se evalúa el cumplimiento de este elevador en el mercado actual, las demandas de los usuarios y las especificaciones técnicas dadas por el diseñador se califican con un valor de 1 ya que es la primera vez que se realiza este diseño. Las correlaciones se obtienen al comparar el propio diseño del elevador helicoidal con otros distintos que se encuentran a la venta en el mercado. [16]

Ver ANEXO I

Conclusiones de la casa de la calidad

Una vez obtenida la casa de la calidad, ver anexo 1, es posible definir los requerimientos técnicos más relevantes para el elevador helicoidal inclinado. La carga que puede transportarse, la longitud de y la potencia del motorreductor, son las características con mayor incidencia tal y como se esperaba, sin dejar de lado a la inclinación, el paso del sin fin y el material del que estarán contruidos los elementos transportadores que tienen una incidencia medianamente buena para el diseño. Por último, el nivel de ruido es la característica que no aporta mucho valor al análisis, aunque tampoco debe dejarse de lado.

Las especificaciones técnicas son las siguientes:

- Flujo másico (\dot{m}) de 1000 [kg/h].
- Longitud del elevador (L) igual a 3 [m].
- Potencia del motorreductor (P_{CT}) que no supere los 3 [hp].

- Ángulo de inclinación (α) igual a 30° desde la horizontal.
- Paso del sin fin (p) estándar.
- Material para los elementos transportadores, acero inoxidable.
- Que sea silencioso.

2 METODOLOGÍA

2.1 Consideraciones para el diseño

Características de los granos de maíz

Para nuestro caso se considera, entonces, que existen 211,68 granos por mazorca, ver el apartado 1.4 Material a transportar, por lo que si lo dividimos para el peso de los granos de la mazorca tenemos que cada grano pesa alrededor de 0,5 [g]. si se toma un valor aproximado de 0,9 [cm] en el grueso del maíz, y con los datos antes descritos, haciendo caber al grano dentro de un pequeño hexaedro es posible calcular el volumen de cada grano de maíz, igual a 0,6363 [cm³]. Por lo tanto, la densidad aproximada de los granos será de 791,881 [kg/m³] que al multiplicarlo por la gravedad nos da como resultado el peso específico del material igual a 7768,351 [N/m³] o en unidades inglesas 49,435 [lbf/ft³].

Según la CEMA, la Asociación de fabricantes de equipos transportadores, el peso específico de los granos de maíz tiene un valor promedio de 45 [lbf/ft³], comprobando el valor antes obtenido para el maíz local, ver la tabla 2.1. de donde también se puede obtener el factor del material. [11]

De la tabla 2.1. dentro de las notas especiales, H corresponde a la explosividad que pueden tener los granos al ser sometidos a presión, J corresponde a la afectación ambiental que puede tener el maíz y K que corresponde a que el maíz se degrada con el tiempo. [12]

Con esta información el material que se elige para las piezas del elevador que estarán en contacto con el maíz es el acero inoxidable AISI 316, ya que buscamos mantener la integridad del grano lo mejor posible durante su transporte y este material brinda gran resistencia a la corrosión por la adición de 2% de molibdeno. [17]

Tabla 2.1. Información general sobre las semillas de maíz [12]

Bulk Material	Maximum Particle Size (in.)	Bulk Density (lbs/ft ³)	% Trough Loading	Material Factor (MF)	Component /Bearing Series	Abrasive-ness	Corrosive-ness	Flowability	Special Notes
Corn, Seed	-1/2	45	45	0.4	A1-A2-A3	I	I	II	H, J, K

El largo de promedio de los granos de maíz es de 1,01 [cm] lo que equivale a cerca de 0.4 [in]. La clase de material tiene que ver con el porcentaje de partículas, para este caso tenemos la clase 3, en donde, el 95% de estas partículas tienen el tamaño máximo hasta la mitad del tamaño máximo y el 5% restante son más pequeños que este tamaño máximo, de la tabla 2.2. elegiremos entonces 6 [in] de diámetro del tornillo sin fin, ya que este

permite valores de hasta 0,5 [in] de longitud de partícula cuando el material pertenece a la clase 3. [11]

Tabla 2.2. Tamaño de partícula de materia a granel [12]

Bulk Material Lump Size Table						
Screw Dia.	Pipe Size	Pipe O.D.	Radial Clearance	Class 1 (R = 1.75)	Class 2 (R = 2.5)	Class 3 (R = 4.5)
4"	1-1/4"	1-5/8"	1-11/16"	3/4"	1/2"	1/4"
6"	2"	2-3/8"	2-5/16"	1-1/4"	3/4"	1/2"
9"	2"	2-3/8"	3-13/16"	2"	1-1/2"	3/4"
	2-1/2"	2-7/8"	3-9/16"	2"	1-1/4"	3/4"

Flujo volumétrico del material

El flujo volumétrico del elevador se obtiene entonces despejando el término de la ecuación 1.1. El flujo másico requerido se lo puede hallar en el apartado 1.4 casa de la calidad, este es de 1000 [kg/h], o lo que es lo mismo, 2204,623 [lb/h]. La densidad se obtuvo en el apartado anterior.

$$\dot{V} = \frac{2204,623 \left[\frac{lb}{h} \right]}{49,435 \left[\frac{lb}{ft^3} \right]} = 44,596 \left[\frac{ft^3}{h} \right]$$

Velocidad angular del elevador helicoidal

La carga en la canaleta del elevador se determina por el tipo de material que se va a transportar, para este caso el material a transportar no es abrasivo, no es corrosivo y fluye fácilmente sin causar desgaste excesivo en los componentes del transportador, por lo que se elegirá un volumen en la canaleta de 45%, el cual es recomendado para este tipo de material por la norma ANSI/CEMA 350 5ta edición. Ver las tablas 2.1. y 2.3. [11], [12]

El valor del flujo volumétrico a 1 RPM se obtiene de la tabla 2.3. si tenemos un diámetro del tornillo de igual a 6 [in] el valor del flujo volumétrico a 1 [rev/min] es de 2,23 [ft³/h]. Lo que nos permite calcular con la ecuación 1.2. la velocidad angular que mantendrá el elevador a estar en funcionamiento.

$$N = \frac{44,596 \left[\frac{ft^3}{h} \right]}{2,23 \left[\frac{ft^3}{h \cdot \frac{rev}{min}} \right]} = 19,998 \left[\frac{rev}{min} \right] \approx 20 \left[\frac{rev}{min} \right]$$

Tabla 2.3. Capacidades de transportadores de tornillo sin fin [11]

Material Class Code	Degree of Trough Loading	Screw Dia. (in)	Maximum RPM*	Capacity, ft ³ /hr	
				At Max. RPM	At One RPM
A-15	 45%	6	165	368	2.23
A-25		9	155	1,270	8.2
B-15		12	145	2,820	19.4
B-25		14	140	4,370	31.2
C-15		16	130	6,060	46.7
C-25		18	120	8,120	67.6
		20	110	10,300	93.7
		24	100	16,400	164.0
		30	90	28,795	320.0
		36	75	41,490	553.2

Potencia del elevador helicoidal

Usando la ecuación 1.4. se puede obtener la potencia para que el elevador inicie su movimiento al vencer el peso propio del sin fin. El factor del denominador solo es una conversión de unidades, pero redondeadas, estos valores ya van incluidos en los diferentes factores adimensionales descritos en las figuras, y es la razón principal para trabajar en el sistema de unidades inglesa en el cual también se basa la norma CEMA 350. El valor de la longitud del elevador se describe en el apartado 1.4 Casa de la calidad, con un valor de 3 [m] o lo que es igual 9,843 [ft]. Los factores adimensionales del rodamiento intermedio y del diámetro del sin fin se obtienen de las tablas 2.4. y 2.5. y tiene un valor de 1 y 18 respectivamente.

$$P_f = \frac{18 \cdot 1 \cdot 9,843 [ft] \cdot 20 \left[\frac{rev}{min} \right]}{1000000} = 0,0035 [hp]$$

Tabla 2.4. Factor que depende del rodamiento intermedio F_b [11]

Component Group	Bearing Type	F_b
Group A	Ball	1.0
Group B	Babbit	1.7
	Bronze	
	Graphite bronze *	
	Canvas base phenolic *	
	Oil impregnated bronze *	
Group C	Oil impregnated wood *	2.0
	Plastic *	
	Nylon *	
Group D	PTFE*	4.4
	Chilled hard iron *	
	Hardened alloy sleeve *	

Tabla 2.5. Factor que depende del diámetro del tornillo F_d [11]

Screw Diameter (in)	F_d
6	18
9	31
10	37
12	55
14	78
16	106

De la ecuación 1.5. se tiene la potencia requerida para trasportar el material, los factores de carga y de las paletas del helicoidal se encuentran en las tablas 2.6. y 2.7. respectivamente, ambos con un valor de 1, eso se debe al tipo de espiras estándar del helicoidal, es decir, el paso del sin fin es igual al diámetro de sus espiras y estas últimas no tendrá paletas u otro aditamento. El factor que se basa en el material a trasportar (maíz en grano) es de 0,4, ver la tabla 2.1. El peso específico es de 49,435 [lb/ft³], ver el apartado 2.1 Características de los granos de maíz.

$$P_m = \frac{1 \cdot 1 \cdot 0,4 \cdot 9,843 [ft] \cdot 49,435 \left[\frac{lb_f}{ft^3} \right] \cdot 44,596 \left[\frac{ft^3}{h} \right]}{1000000} = 0,00868 [hp]$$

Tabla 2.6. Factor del tipo del sin fin F_f [11]

Type of Flight	Conveyor Loading			
	15%	30%	45%	95%
Standard	1.00	1.00	1.00	1.00
Cut Flight	1.10	1.15	1.20	1.30
Cut & Folded Flight	N.R. *	1.50	1.70	2.30
Ribbon Flight	1.00	1.14	1.20	-

Tabla 2.7. Factor de las paletas del sin fin F_p [11]

Factor F_p	Standard paddles per pitch set at 45° reverse pitch				
	None	1	2	3	4
	1.00	1.29	1.58	1.87	2.16

La potencia total se obtiene de la ecuación 1.3. El factor de inclinación de la figura 2.1. con un valor de 1,8, ya que la inclinación del elevador se levanta 30 grados desde la una superficie horizontal, y el factor que determina la eficiencia de accionamiento del mecanismo reductor, igual a 0,95 correspondiente a un motorreductor que acciona un tornillo sin fin, ver la tabla 2.8. resultando una potencia de 0,02 [hp].

La potencia obtenida es bastante pequeña y nos da un indicio claro de que aún debe ser ajustada, puesto que, otros elevadores comerciales de similares características y que

también son capaces de trasportar cargas de forma inclinada, trabajan con potencias por encima de 1 [hp] en sus motorreductores, ver el apartado 1.4 Casa de la calidad.

$$P_T = \frac{0,0035 [hp] + (0,00868 [hp] \cdot 1,8)}{0,95} = 0,0199 \approx 0,02 [hp]$$

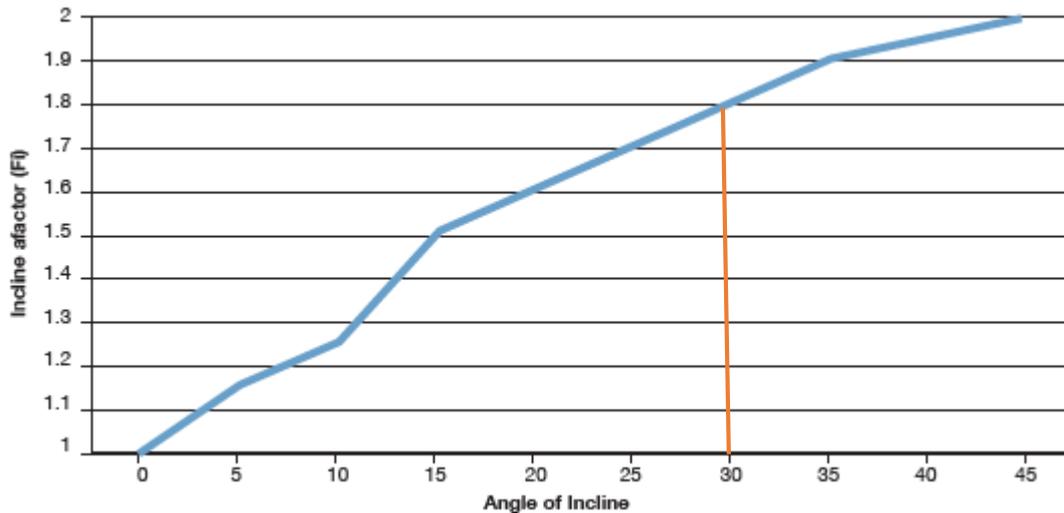


Figura 2.1. Factor de inclinación F_i [12]

Tabla 2.8. Factor de eficiencia de accionamiento del mecanismo reductor E_t [11]

Type of Speed Reduction Mechanism	Approximate Efficiencies
V-Belts and Sheaves	0.94
Precision Roller Chain on Cut Tooth Sprockets, Open Guard	0.93
Precision Roller Chain on Cut Tooth Sprockets, Oil Tight Casing	0.94
Single Reduction Helical or Herringbone Enclosed Gear Reducer or Gearmotor	0.95
Double Reduction Helical or Herringbone Enclosed Gear Reducer or Gearmotor	0.94
Triple Reduction Helical or Herringbone Enclosed Gear Reducer or Gearmotor	0.93
Single Reduction Helical Gear, Enclosed Shaft Mounted Speed Reducers and Screw Conveyor Drives	0.95
Double Reduction Helical Gear, Enclosed Shaft Mounted Speed Reducers and Screw Conveyor Drives	0.94
Low Ratio (up to 20:1 range) Enclosed Worm Gear Speed Reducers	0.90
Medium Ratio (20:1 to 60:1 range) Enclosed Worm Gear Speed Reducers	0.70
High Ratio (over 60:1 to 100:1 range) Enclosed Worm Gear Speed Reducers	0.50
Cut Tooth, Miter or Bevel Gear, Enclosed Countershaft Box Ends	0.93
Cut Tooth Spur Gears, Enclosed, For Each Reduction	0.93
Cut Tooth Miter or Bevel Gear Open Type Countershaft Box Ends	0.90
Cut Tooth Spur Gears, Open For Each Reduction	0.90
Cast Tooth Spur Gears, Open For Each Reduction	0.85

Corrección de la potencia

La justificación para corregir la potencia para transportar el material P_m se encuentra en el apartado 1.4 Corrección de la potencia, y es debido principalmente al trabajo inclinado del elevador helicoidal, haciendo que este trabaje en condición adversa, esta es visible al inicio del transporte de los granos de maíz.

La potencia para transportar al material P_m es de 0,00868 [hp] al multiplicarla por el factor de inclinación de 1,8 de la figura 2.1. tenemos una potencia para elevar el material corregida de 0,0156 [hp]. Ahora, de la figura 2.2. obtenemos la potencia mínima para poder iniciar el transporte de maíz bajo condiciones adversas para un elevador helicoidal inclinado, con un valor de 0,25 [hp], con estos datos y la ecuación 1.6. obtenemos el valor de la potencia total corregida con un valor de 0,267 [hp]. [12]

$$P_{CT} = \frac{0,0035 [hp] + 0,25 [hp]}{0,95} = 0,267 [hp]$$

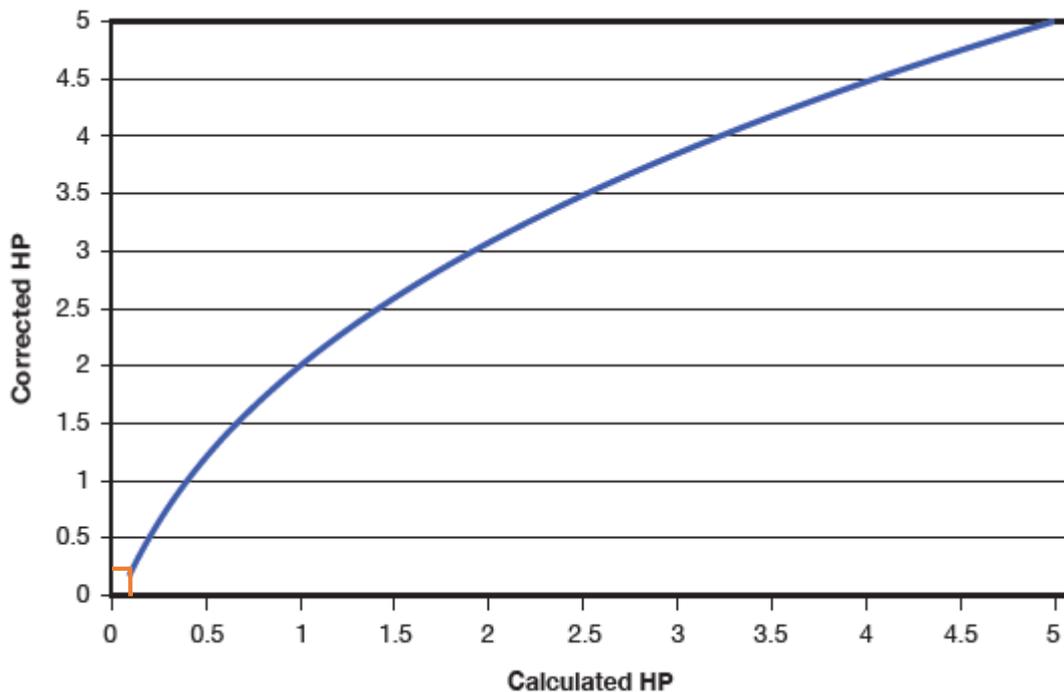


Figura 2.2. Factor de corrección de potencia para transportar el material [12]

Torque crítico

El torque crítico se obtuvo de la ecuación 1.7. y tiene relación con la potencia del motorreductor que se seleccionará, de 0,267 [hp] o superior y la velocidad angular a la cual se ha dispuesto se moverá el elevador helicoidal de 20 [rev/min], calculada previamente.

$$T_c = \frac{0,267 [hp] \cdot (63025)}{20 \left[\frac{rev}{min} \right]} = 841,105 [lb \cdot in]$$

$$T_c = \frac{841,105 [lb \cdot in]}{\frac{1 [lb]}{4,44822 [N]} \cdot \frac{12 [in]}{1 [ft]} \cdot \frac{3,28084 [ft]}{1 [m]}} = 95,032 [N \cdot m]$$

Otros

Inicialmente y basándonos en la Norma ANSI/CEMA 350, el cálculo de la potencia se obtenía de una forma similar al presentado en el apartado 2.1, utilizando las mismas ecuaciones para la potencia P_f y P_m con un valor de 0,0035 [hp] y 0,00867 [hp] respectivamente

$$P_T = \frac{(P_f + P_m) \cdot F_o + P_{elevación}}{E_t} [hp]$$

Ecuación 2.1. Potencia de un motorreductor inclinado [11]

Donde:

- P_f : potencia necesaria para superar la fricción [hp]
- P_m : potencia requerida para transportar el material [hp]
- F_o : factor de sobrecarga (se usa si $P < 5$ HP)
- $P_{elevación}$: potencia inclinada [hp]
- E_t : factor de eficiencia de transmisión

Además, se contaba con una potencia de elevación para poder compensar el peso del material a transportar por el elevador sobre un plano inclinado.

$$P_{elevación} = \frac{(\dot{V} \cdot P_e \cdot H)}{33000} [hp]$$

Ecuación 2.2. Potencia inclinada [18]

Donde:

- \dot{V} : flujo volumétrico $\left[\frac{pie^3}{min} \right]$
- P_e : peso específico $\left[\frac{lb}{ft^3} \right]$
- H : variación de la altura por el grado de inclinación [ft]

Al agregar los valores correspondientes a las ecuaciones antes descritas se tiene la potencia para superar la fricción, es de 0,0055 [hp].

$$P_{\text{elevación}} = \frac{\left(44,596 \left[\frac{ft^3}{h}\right] \cdot 49,435 \left[\frac{lb_f}{ft^3}\right] \cdot 4.921 [ft] \cdot 1 [h]\right)}{33000 * 60 [min]} = 0,0055 [hp]$$

Ahora para hallar la potencia total con la ecuación 2.1. y manteniendo el valor de E_t en 0,95 ya que la generación de potencia la seguirá dando un motorreductor, se utiliza la figura 2.3. para calcular el factor de sobrecarga F_o con un valor de 3, ya que la suma de P_f y P_m da un valor de 0,0122 [hp].

$$P_T = \frac{(0,0035 [hp] + 0,00867 [hp]) \cdot 3 + 0,0055 [hp]}{0,95} = 0,0444 [hp]$$

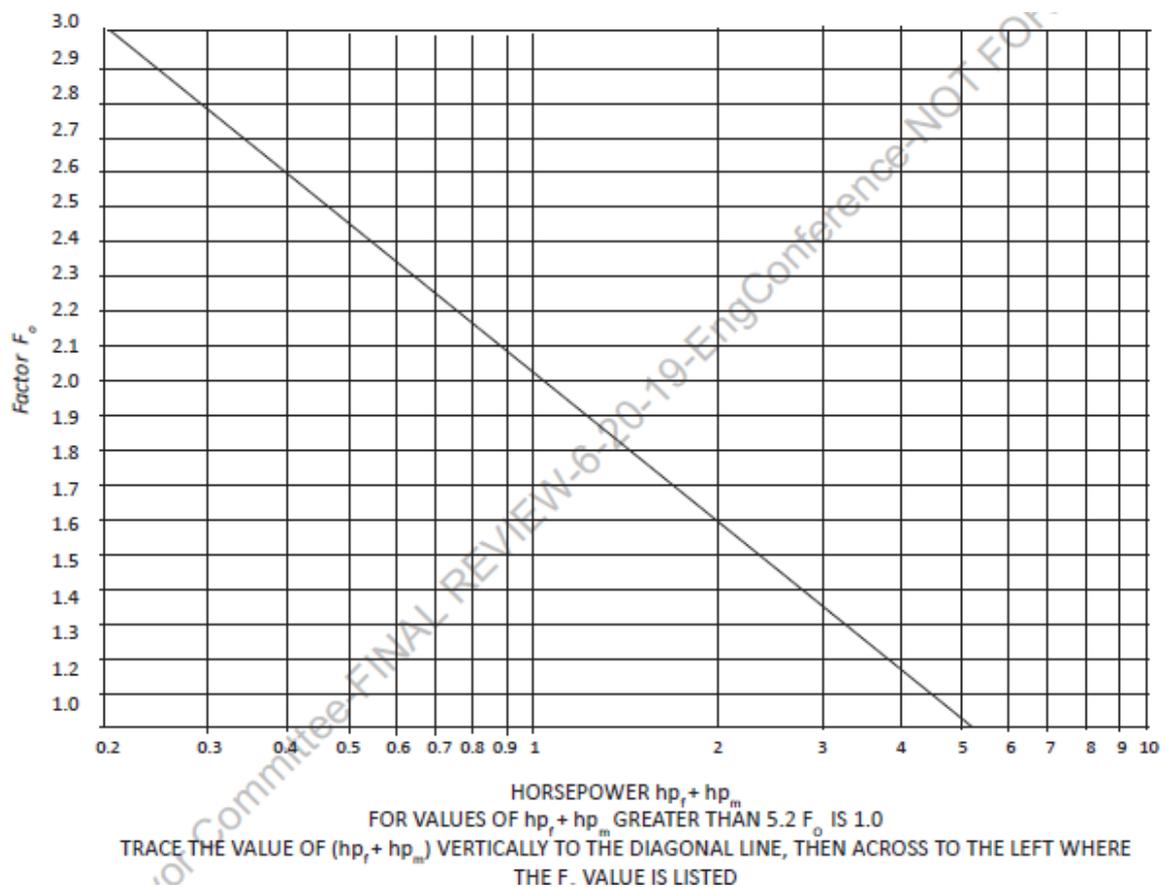


Figura 2.3. Factor de sobrecarga F_o [11]

Al final la potencia total resulto ser muy baja con lo esperada en el mercado, con un valor de 0,0444 [hp], por lo que se descartaron estos análisis, ver el apartado 1.4 Competencia.

2.2 Selección y diseño de componentes

Selección del Motorreductor

El motorreductor es la parte principal del módulo de accionamiento del elevador, ya que es el responsable de suministrar la velocidad de avance, la potencia y torque necesarios para

poder accionar el sin fin, al elegirlo se tomó en cuenta las siguientes características ya antes obtenidas en el apartado 2.1.

- Velocidad: 20 [rev/min],
- Potencia: 0,267 [hp] o 0,2 [kW],
- Torque crítico: 841,105 [lbf·in] o 95,032 [N·m],
- Tipo: colineal con eje de salida,
- Posición del montaje: inclinada,
- Relación de velocidades,
- Factor de servicio.

La relación de velocidad se obtiene al dividir la velocidad estándar de 1750 [rev/min] que presenta un motorreductor de cuatro polos de la marca WEG, para la velocidad de salida del motorreductor que tiene un valor de 20 [rev/min], quedando una relación de velocidades i con un valor de 87,5:1. [19]

El factor de servicio SF es un valor que se multiplica a la potencia del motorreductor, para indicar la carga que puede ser transportada en condiciones de servicio. Para obtener el factor de servicio SF ver la tabla 2.9. de la norma Nema MG1. Motores y generadores de la Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos, se puede ver el factor de servicio para motorreductores con velocidad sincronica de 1800 [rev/min] con una potencia de 1/3 [hp], es igual a 1,35. [19]

Tabla 2.9. Factores de servicio [20]

Hp	Service Factor							
	Synchronous Speed, Rpm							
	3600	1800	1200	900	720	600	514	
1/20	1.4	1.4	1.4	1.4	...	...	...
1/12	1.4	1.4	1.4	1.4	...	...	...
1/8	1.4	1.4	1.4	1.4	...	...	...	Small
1/6	1.35	1.35	1.35	1.35	...	...	...	Motors
1/4	1.35	1.35	1.35	1.35	...	...	...
1/3	1.35	1.35	1.35	1.35	...	...	...
1/2	1.25	1.25	1.25	1.15*	...	...	...	Medium
3/4	1.25	1.25	1.15*	1.15*	...	...	...	Motors
1	1.25	1.15*	1.15*	1.15*	...	...	...
1-1/2-125	1.15*	1.15*	1.15*	1.15*	1.15*	1.15*	1.15*	
150	1.15*	1.15*	1.15*	1.15*	1.15*	1.15*	...	
200	1.15*	1.15*	1.15*	1.15*	1.15*	...	...
250	1.0	1.15*	1.15*	1.15*	...	...	...

La potencia elegida es la adecuada, debido a que, la potencia total corregida calculada es de 0,267 [hp], y este motorreductor tiene una potencia nominal de 1/3 [hp] al multiplicarse por 1,35 nos da un valor de 0,45 [hp] el cual abastece con un margen de seguridad para el propio motorreductor en condiciones de servicio. No se elige el motorreductor de 0,25 [hp], porque, si bien el factor de servicio SF aumentara a 0,338 [hp] la potencia que puede

soportar el motorreductor, una potencia nominal menor puede provocar un pobre desempeño del elevador e incluso un mal funcionamiento de este. [20]

Al considerarse que el trabajo que este equipo afrontará, se tomó un intervalo de tiempo de 8 a 10 horas por día, y que el motorreductor será encendido un máximo de 10 veces cada hora, ver la figura 2.4. esta es la condición de trabajo es la más crítica y nos dará un factor de servicio SF para este motorreductor de 1,42, más que suficiente y conservador para cumplir con la demanda de potencia requerida. [19]

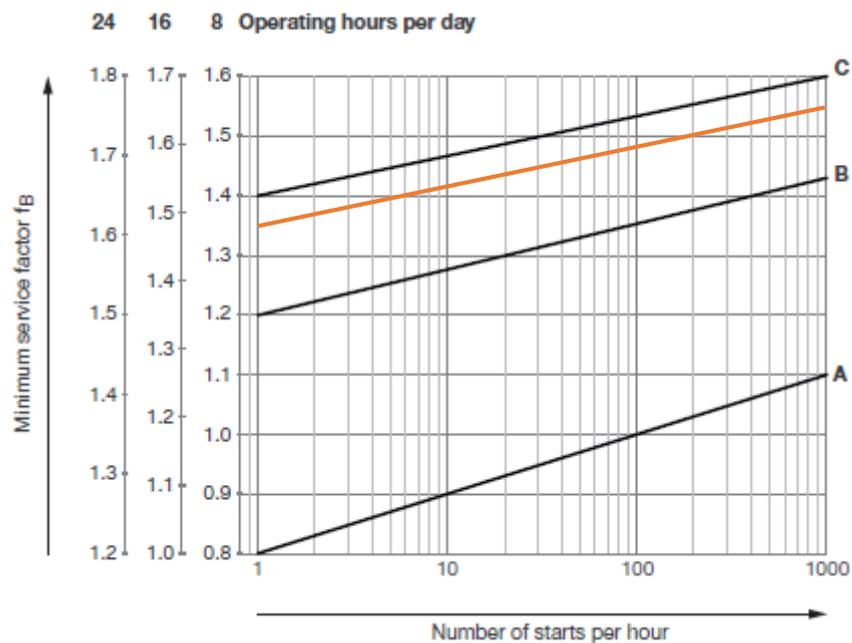


Figura 2.4. Factores de servicio para diferentes periodos de trabajo [19]

Se eligió un motorreductor de la marca Weg WG20, colineal con eje de salida. La potencia seleccionada es de $1/3$ [hp] mayor a 0,267 [hp], la velocidad a la salida del motorreductor es de 20 [rev/min], el torque es de 1066 [lbf-in] que es mayor que el torque crítico calculado en la sección anterior de 841,105 [lbf-in], el factor de servicio es de 1,7 mayor a 1,42, la relación de velocidades calculada fue de 87,5 que es similar a 85,78, el motorreductor elegido es entonces el CG033-11N-71-04E puesto que sus características se aproximan a las antes descritas y se hallan por encima de estas, asegurando que no trabajara en condiciones forzadas, pero tampoco que el motorreductor presente características demasiado alejadas de las obtenidas, ya que a mayor tamaño, más precio y más peso del motorreductor. Para este caso su peso promedio es de 26 [lb], ver la tabla 2.10. [19]

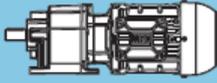
Algunos de estos valores varían si nos dirigimos al ANEXO II donde encontraremos la ficha técnica para el motorreductor real de $1/3$ de [hp] que se eligió. El peso real es de 27.1 [lb], el torque de salida es de 1062 [lbf-in], el factor de servicio es incluso mucho mayor al

estimado de 1,7 y la velocidad angular N y la relación de velocidades i se mantienen iguales.

La nomenclatura del motorreductor CG033-11N-71-04E, es la siguiente:

- C: corresponde al tipo, colineal,
- G: corresponde al diseño, con eje a la salida,
- 03: tamaño de la caja de engranes 03,
- 3: número de etapas 3, a más etapas más reducción de velocidad a la salida,
- 11: es el número de serie, motor integral echo de aluminio,
- N: clase de eficiencia del motor, $IE1 \leq 0,75$ [hp],
- 71: tamaño del motor estándar Nema 71,
- 04: número de polos, 4 polos,
- E: indicador de encendido tipo E. [19], [21]

Tabla 2.10. Motorreductor Weg tipo C (colineales) [19]

$P_N = 0.33$ hp								
60 Hz			i	F_{in}			m	Dimension sheet see page
n_{20}	T_2	f_2		lb				
rpm	lb-in				lb	lb		
9.4	2248	0.80	180.83	**	670			
10	2041	0.90	164.23	940	700			
12	1771	1.00	142.47	1060	740			
13	1608	1.15	129.39	1100	760			
15	1365	1.30	109.79	1170	810			
17	1239	1.45	99.71	1190	830			
20	1066	1.70	85.78	1240	850	CG033-11N-71-04E CF033-11N-71-04E	26 31	140
22	968	1.85	77.90	1260	880			
27	796	2.25	64.05	1280	900			
29	723	2.45	58.17	1280	920			
35	599	3.00	48.22	1300	940			

Ver ANEXO IV 1.01

Acople flexible

Se requirió de un acople flexible para poder transmitir la potencia desde el eje del motorreductor al eje hueco del sin fin para evitar desalineaciones, debido a que el eje que sale del motorreductor tiene 1 [in] y diámetro interno del eje hueco es de 2 [in] (tabla 2.2.), el eje de salida del sin fin (camisa integrada) tiene 1 1/2 [in]. Para esta tarea se seleccionará un acople de la marca Lovejoy de mordaza JW tipo L, este tipo es del tipo estándar para procesos industriales, no requiere lubricación, evita el contacto metal con metal y brindan un servicio confiable para aplicaciones de transmisión de energía por motores o motorreductores eléctricos. [22]

Para transportadores helicoidales el factor de servicio de este acople flexible es de 1,25, ver la figura 2.11.

Tabla 2.11. Factores de Servicio de aplicación, acople tipo mordaza Lovejoy [22]

+Aplicación	Factor de Servicio		
	Motores Eléctricos Torque Estándar	Motores Eléctricos Torque Alto	Turbinas, Motores Neumáticos e Hidráulicos
Transportador de tornillo sin fin	1,25	1,5	1

Se obtiene el torque de diseño, si se considera que el torque nominal es igual al torque máximo del motorreductor del apartado anterior, con un valor de 1062 [lbf·in], multiplicado por el factor de servicio del acople flexible, con un valor de 1,25 se obtiene 1327,5 [lbf·in] como torque máximo que soporta.

Continuando, debemos elegir el tipo de araña (parte elastómera del acople), para este caso seleccionaremos la de goma de color negro. Ver la tabla 2.12.

Tabla 2.12. Características de rendimiento de la araña [22]

Characteristics	Temperature Range	Misalignment		Shore Hardness ¹	Dampening Capacity	Chemical Resistance ²	Color
		Angular Degree	Parallel Inch				
SOX (NBR) Rubber – Nitrile Butadiene (Buna N) Rubber is a flexible elastomer material that is oil resistant, resembles natural rubber in resilience and elasticity and operates effectively in temperature range of -40° to 212° F (-40° to 100° C). Good resistance to oil. Standard elastomer. (Also applies to SXB Cushions.)	-40° to 212° F -40° to 100° C	1°	.015	80A	HIGH	GOOD	BLACK

Tabla 2.13. Datos de torque de las mordazas [22]

Size	Max Bore		Spider Material							
			SOX (NBR) Torque		Urethane Torque		Hytrel Torque		Bronze Torque	
	in	mm	in-lbs	Nm	in-lbs	Nm	in-lbs	Nm	in-lbs	Nm
L035	0.375	9	3.5	0.4	—	—	—	—	—	—
L/AL050	0.625	16	26.3	3.0	39	4.5	50	5.60	50	5.60
L/AL070	0.750	19	43.2	4.9	65	7.3	114	12.90	114	12.90
L/AL075	0.875	22	90.0	10.2	135	15.3	227	25.60	227	25.60
L/AL090	1.000	25	144.0	16.3	216	24.4	401	45.30	401	45.30
L/AL095	1.125	28	194.0	21.9	291	32.9	561	63.40	561	63.40
L/AL099	1.188	30	318.0	35.9	477	53.9	792	89.50	792	89.50
L/AL100	1.375	35	417.0	47.1	626	70.7	1,134	128.00	1,134	128.00
L/AL110	1.625	42	792.0	89.5	1,188	134.0	2,268	256.00	2,268	256.00
L150	1.875	48	1,240.0	140.0	1,860	210.0	3,708	419.00	3,706	419.00
AL150	1.875	48	1,450.0	163.8	—	—	—	—	—	—
L190	2.125	55	1,728.0	195.0	2,592	293.0	4,680	529.00	4,680	529.00
L225	2.625	65	2,340.0	264.0	3,510	397.0	6,228	704.00	6,228	704.00
L276	2.875	73	4,716.0	533.0	—	—	—	—	12,500	1,412.00

Ahora, con el dato de torque de diseño 1327,5 [lbf·in] elegiremos el tamaño de la araña, ver la tabla 2.13. de donde se obtiene la araña AL150, debido a que, el torque que esta soporta es de hasta 1450 [lbf·in], el tamaño del agujero máximo que pueden tener las

mordazas tiene un valor de 1,875 [in], lo cual se encuentra dentro del rango seleccionable, puesto que, el diámetro del eje de salida del motorreductor es de 1 [in]. [22]

Usando ficha técnica sobre el acople AL150, este consta de dos tipos con el diámetro requerido de 1 [in] y solo es posible seleccionar el del tipo L190, debido a que, el torque máximo que es capaz de soportar el acople AL150 tiene valor de 1240 [lbf·in] que es mucho menor al requerido de 1327,5 [lbf·in], por lo que se tomará el acople L190 con el mismo diámetro que soporta un torque de 1728 [lbf·in], en su lugar. Ver las figuras 2.5, 2.6. y el ANEXO III.



Figura 2.5. Torque nominal, acople AL150 [23]



Figura 2.6. Torque nominal, acople L190 [24]

Ver ANEXO IV 1.02

Tabla 2.14. Datos de velocidad del acople tipo mordaza Lovejoy [22]

Size	Elastomeric Member	Number of Jaws	Basic HP Ratings @ Varying RPM				Torque Rating		Max Bore		Max x1000
			100	1200	1800	3600	In-lbs	Nm	In	mm	RPM
L, AL & LC Type											
L035	SOX (NBR)	2	0.006	0.07	0.10	0.22	3.5	0.40	0.375	9	31.0
L050/AL050	SOX (NBR)	2	0.042	0.50	0.75	1.51	26.3	2.97	0.625	16	18.0
L050/AL050	Hytrel*	2	0.080	0.96	1.43	2.88	50.0	5.65	0.625	16	18.0
L070/AL070	SOX (NBR)	2	0.070	0.84	1.23	2.52	43.2	4.88	0.750	19	14.0
L070/AL070	Hytrel	2	0.180	2.16	3.26	6.48	114.0	12.88	0.750	19	3.6
L075/AL075	SOX (NBR)	3	0.140	1.68	2.57	5.04	90.0	10.17	0.875	22	11.0
L075/AL075	Hytrel	3	0.360	4.32	6.48	12.96	227.0	25.65	0.875	22	3.6
L090/AL090/LC090	SOX (NBR)	3	0.230	2.76	4.11	8.28	144.0	16.27	1.000	25	9.0
L090/AL090	Hytrel	3	0.640	7.68	11.50	23.04	401.0	42.31	1.000	25	3.6
L095/AL095/LC095	SOX (NBR)	3	0.310	3.72	5.50	11.16	194.0	21.92	1.125	32	9.0
L095/AL095	Hytrel	3	0.890	10.68	16.00	32.04	561.0	63.38	1.125	32	3.6
L099/AL099/LC099	SOX (NBR)	3	0.500	6.00	9.10	18.00	318.0	35.93	1.180	30	7.0
L099/AL099	Hytrel	3	1.260	15.12	22.60	45.36	792.0	89.48	1.180	30	3.6
L100/AL100/LC100	SOX (NBR)	3	0.660	7.92	11.90	23.76	417.0	47.11	1.380	35	7.0
L100/AL100	Hytrel	3	1.800	21.60	32.40	64.80	1,134.0	128.12	1.380	35	3.6
L110/AL110/LC110	SOX (NBR)	3	1.260	15.12	23.00	45.36	792.0	89.48	1.620	42	5.0
L110/AL110	Hytrel	3	3.600	43.20	65.00	129.60	2,268.0	256.25	1.620	42	5.0
L150/LC150	SOX (NBR)	3	2.000	24.00	35.00	72.00	1,240.0	140.10	1.880	48	5.0
L150	Hytrel	3	5.900	70.80	106.00	212.40	3,708.0	418.95	1.880	48	5.0
AL-150	SOX (NBR)	4	2.300	27.60	41.40	82.80	1,450.0	163.83	1.880	48	5.0
L190/LC190	SOX (NBR)	3	2.700	32.40	49.00	97.20	1,728.0	195.24	2.120	55	5.0
L190	Hytrel	3	7.400	88.80	134.00	266.40	4,680.0	528.77	2.120	55	5.0
L225/LC225	SOX (NBR)	3	3.700	44.40	67.00	133.20	2,340.0	264.38	2.620	65	4.2
L225	Hytrel	3	9.900	118.80	178.00	356.40	6,228.0	703.67	2.620	65	4.2
L276	SOX (NBR)	3	7.500	90.00	135.00	+	4,716.0	532.84	2.880	73	1.8

La velocidad y el torque que es capaz de soportar el acople L190 con la araña de SOX (NBR) es por mucho mayor a la necesaria de 20 [rev/min] y de 1/3 [hp], ver la figura 2.14. El chavetero para el acople se puede ver en la tabla 2.15.

Tabla 2.15. Datos para elegir el chavetero del acople tipo mordaza [22]

Bore	Keyway	L035	L050	L070	L075	L090	L095	L099	L100	L110	L150	L190	L225	L276
1	1/4 x 1/8	—	—	—	—	31296	11091	11342	11516	11739	12107	12288	12425	12586
1	3/16 x 3/32	—	—	—	—	37257	37258	38204	37259	37260	37261	37262	37263	—

Elementos que soportan torque

Es necesaria la selección adecuada de los componentes que transmiten torque, ya que se minimiza el tiempo de inactividad si este fallase y el mantenimiento del elevador puede hacerse en plazos de tiempo más largos, estos elementos deben poder soportar las vibraciones que son transmitidas debidas al movimiento del eje de salida del motorreductor. [12]

Las dimensiones del sin fin se pueden apreciar en la tabla 2.2. que además de contar con la clasificación de materiales a granel, brinda información sobre los diámetros, tanto, del interno de 2 [in] y el externo de 2 3/8 [in], así como también el diámetro de las espiras del sin fin de 6 [in] y el del eje interno del tubo con un diámetro de 1 1/2 [in], como ya se menciona en el apartado 2.2 Acople flexible. Ver la figura 2.7

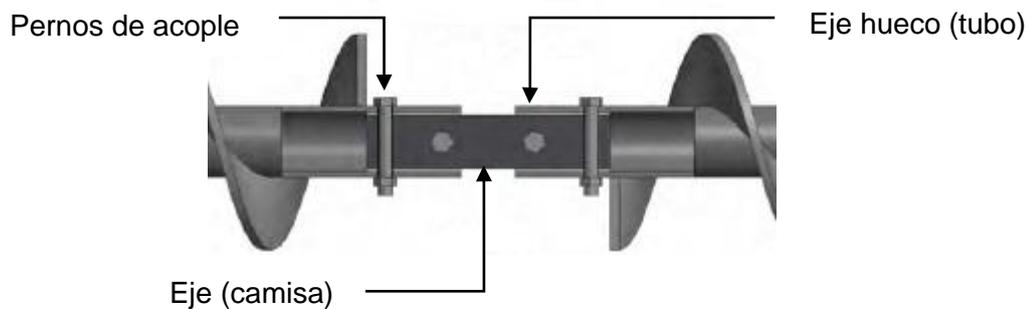


Figura 2.7. Elementos que soportan torque del sin fin [12]

Pernos de acople

Se sugiere para este caso que el diámetro de los pernos de acople sean 1/2 [in] por 3 [in] de largo, están hechos de acero inoxidable 18/8 (18% cromo, 10% de níquel), proporcionado buena resistencia y fijación de los elementos del sin fin, además, permitirán el trabajo con los granos de maíz. Ver la figura 2.8. Cada uno de estos pernos tienen un peso promedio de 0,32 [lb] cada uno. [25]



Figura 2.8. Perno de acople [25]

Tornillo helicoidal

Estos elementos en espiral se fabrican en una máquina de rolado a partir de una cinta continua con el paso y el espesor requeridos, que luego, se unirán con el eje hueco. El espesor del helicoides es del doble en la zona de la base o raíz, es decir, la zona que se halla unida al eje hueco, que la zona donde finalizan las espiras o zona de crestas. [13]

Para este caso el espesor de la raíz del helicoidal y el de sus crestas es de 1/8 [in] y 1/16 [in] respectivamente, el peso por unidad de longitud de 5 [lb/ft] y la longitud estándar de 9 [ft] 10 [in] o 9 5/6 [ft] que es equivalente a 3 [m], de esta última se destaca que es igual la longitud definida del elevador, ver apartado 1.4 Casa de la calidad. Estos tornillos seccionales helicoidales están fabricados con acero inoxidable AISI 316, las espiras están dispuestas a mano derecha, el peso por unidad de longitud del helicoidal es de 5 [lb/ft] y el peso solo tomando en cuenta las espiras por unidad de longitud es de 2 [lb/ft]. Ver la figura 2.9. [25]

Los diámetros de este helicoidal ya se explican en el apartado 2.2 Elementos que soportan torque.



Figura 2.9. Tornillo helicoidal [25]

Ver ANEXO IV 1.03

Si multiplicamos la masa por unidad de longitud por la longitud, obtenemos el valor de la masa de todo el sin fin y con esta obtener el peso del helicoidal, teniendo en cuenta la fuerza de la gravedad, aunque este paso es innecesario para calcular (W_h/L) , el peso total del helicoidal por unidad de longitud, porque el helicoidal tiene la misma longitud que tendrá el elevador, es decir 9 5/6 [ft] o lo que es lo mismo 118 [in] por lo que, solo se multiplica

este peso por longitud de 5 [lb/ft] por la fuerza de la gravedad en sistema inglés como se muestra a continuación.

$$\frac{W_h}{L} = 5 \left[\frac{lb}{ft} \right] \cdot 32,174 \left[\frac{ft}{s^2} \right] = 160,87 \left[\frac{lb_f}{ft} \right] \text{ o } 0,16087 \left[\frac{kip}{ft} \right]$$

$$\frac{W_h}{L} = 218,112 \left[\frac{N}{m} \right] \text{ o } 0,2181 \left[\frac{kN}{m} \right]$$

Análisis usando teoría de falla del material y criterio de fallas combinados por fatiga

Se realizó este análisis basándose en el diagrama resistencia-vida que posee el acero, el cual proporciona la resistencia a la fatiga S_f contra el ciclo de vida de un material N . En la figura 2.10. se destaca que el límite de resistencia a la fatiga S_e de una pieza hecha de acero se da entre los 10^6 y 10^7 ciclos, pero como tal el tornillo helicoidal del elevador se encuentra en el área denominada de vida finita, es decir, que en toda su vida útil tendrá más de 1000 ciclos y por tal razón es necesario aplicar este análisis.

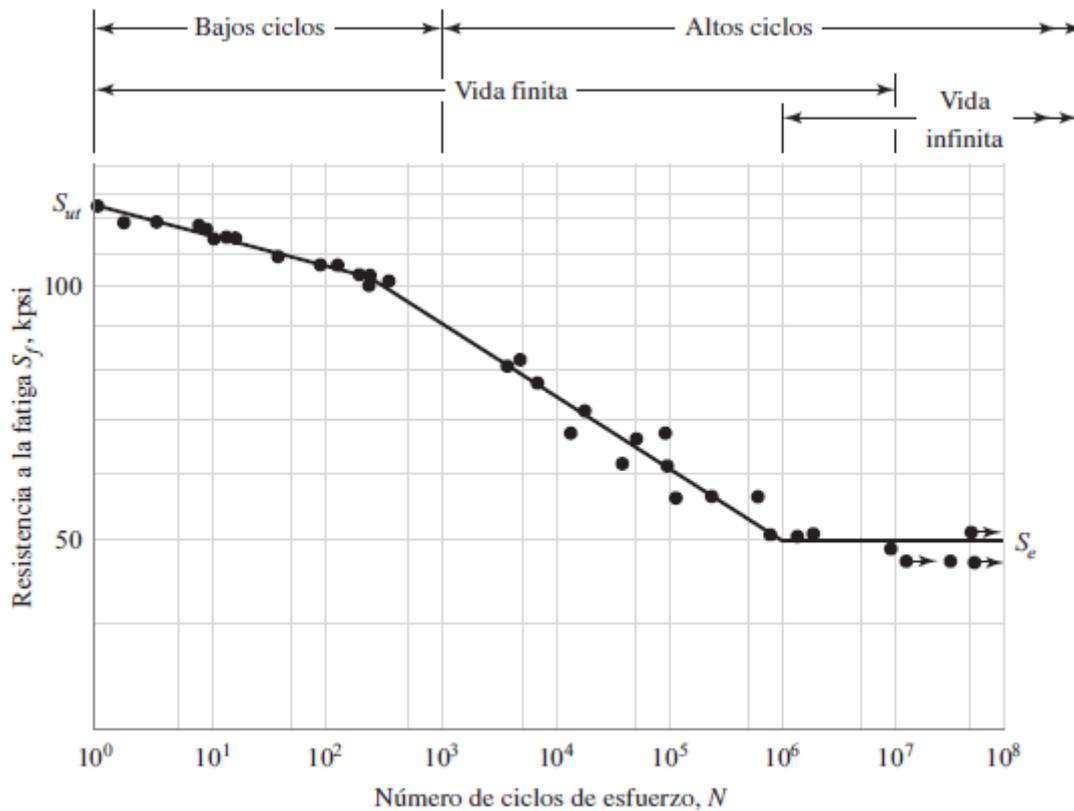


Figura 2.10. Diagrama resistencia-vida para el acero [26]

La velocidad a la que trabaja el tornillo helicoidales de (N) 20 [rev/min], para este análisis es necesario, además del peso total del helicoidal (W_h), calcular también el peso que generaran los granos de maíz sobre el helicoidal (W_m), para el cual necesitaremos el flujo

másico del maíz (m) de 1000 [kg/h] o lo que es lo mismo 2204,623 lb, visto en el apartado 1.4 Casa de la Calidad y la velocidad a la que subirá dentro del elevador (N) vista en el apartado 2.1 Velocidad angular del elevador helicoidal.

$$\frac{W_m}{L} = \frac{2204,623 \text{ lb}}{h \left[\frac{3600 \text{ s}}{h} \right]} \cdot \frac{20 \text{ rev}}{\min \left[\frac{60 \text{ s}}{\min} \right]} = 0,204 \left[\frac{\text{lb}_f}{\text{ft}} \right]$$

Por lo que el peso total por unidad de longitud queda de 161,074, como se muestra a continuación.

$$\frac{W_T}{L} = \frac{W_h}{L} + \frac{W_m}{L} = 160,87 + 0,204 = 161,074 \left[\frac{\text{lb}_f}{\text{ft}} \right]$$

Mediante el diagrama de cuerpo libre, ver figura 2.11. podemos hallar las fuerzas en los apoyos de estos nuevos ejes definidos.

La fuerza W_T es el peso distribuido total del eje hueco contando con sus espiras y los granos de maíz combinados de esta manera podemos obtener las cargas en el eje x (W_{Tx}) y el eje y (W_{Ty}) una vez la carga distribuida se transforme en una carga concentrada puntual (W_T) ubicada a 1,5 [m] de distancia desde el inicio (mitad del tornillo helicoidal).

$$W_T = 161,074 \left[\frac{\text{lb}_f}{\text{ft}} \right] \cdot 9 \frac{5}{6} [\text{ft}] = 1583,894 [\text{lb}_f]$$

$$W_{Tx} = 1583,894 [\text{lb}_f] \cdot \sin(30^\circ) = 791,947 [\text{lb}_f]$$

$$W_{Ty} = 1583,894 [\text{lb}_f] \cdot \cos(30^\circ) = 1371,693 [\text{lb}_f]$$

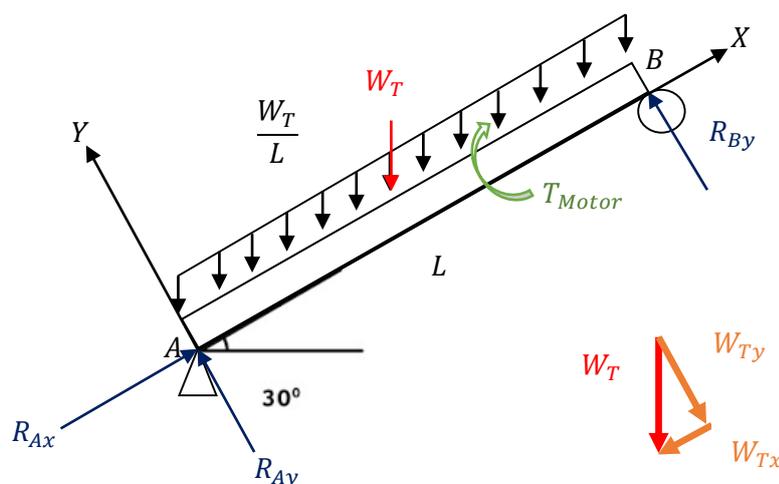


Figura 2.11. DCL del eje hueco del sin fin

El torque nominal del es de $1062 [lb_f \cdot in]$, visto en el apartado 2.2 Selección del motorreductor.

La carga (W_{Tx}) es igual a la fuerza de reacción en el eje x (R_{Ax}) sobre el apoyo A, resultado de la sumatoria de fuerzas en el eje de las abscisas.

$$\begin{aligned}\sum F_x &= 0 \\ R_{Ax} - W_{Tx} &= 0 \\ R_{Ax} = W_{Tx} &= 791,947 [lb_f]\end{aligned}$$

Para el análisis de fuerzas en el eje y ver la figura 2.12. se puede apreciar el diagrama de cargas. Para obtener la carga distribuida nuevamente en el eje de las ordenadas es necesario dividir la carga total para la longitud obteniendo un valor de $139,494 [lb_f/ft]$, como se muestra a continuación.

$$\frac{W_{Ty}}{L} = \frac{1371,693 [lb_f]}{9\frac{5}{6} [ft]} = 139,494 \left[\frac{lb_f}{ft} \right]$$

Con estos valores, la longitud de $118 [in]$ ($3 [m]$) y el programa MDSolids es posible calcular el valor de las reacciones en A y B si consideramos que la fuerza W_1 es igual a W_{Ty}/L .

$$W_1 = \frac{W_{Ty}}{L} = 139,494 \left[\frac{lb_f}{ft} \right]$$

Las reacciones en los extremos de este eje son entonces de.

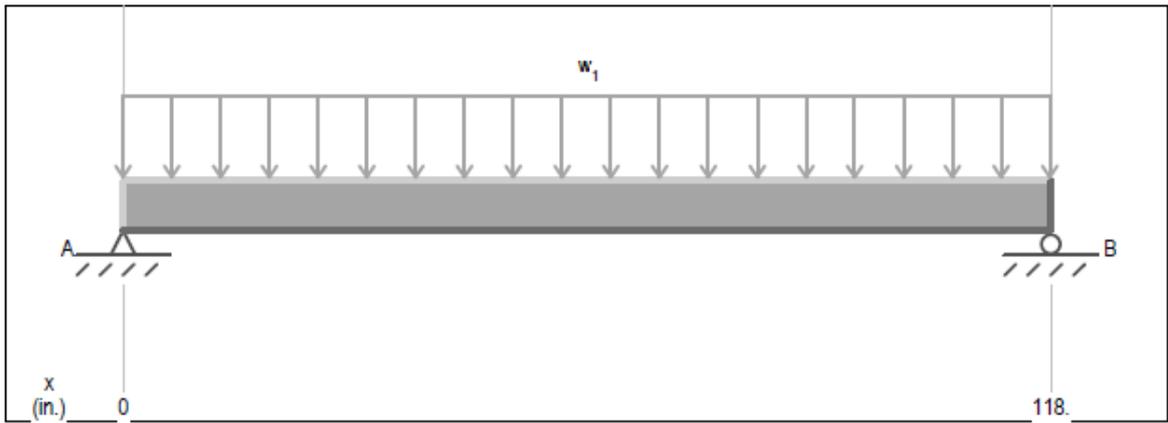
$$A_y = B_y = 685,85 [lb_f]$$

Equivalentes al diagrama de cuerpo libre de la figura 2.10. tenemos.

$$R_{Ay} = R_{By} = 685,85 [lb_f]$$

Con la carga distribuida W_{Ty}/L obtenemos los diagramas de momentos para la posterior selección de las chumaceras y sus rodamientos internos, ver las figuras 2.13. y 2.14, de donde podemos extraer el momento flector y los momentos cortantes del sin fin, con valores de $1686,04 [lb_f \cdot ft]$ y $685,85 [lb_f]$ respectivamente.

Este eje hueco presentara un momento a ambos lados, como si se tratara de una viga en pandeo con sus respectivos apoyos, si analizamos justo en la mitad del eje ($1,5 [m]$) en la parte superior existe un esfuerzo de compresión y en la parte inferior un esfuerzo de tracción, esto visto desde el eje y .

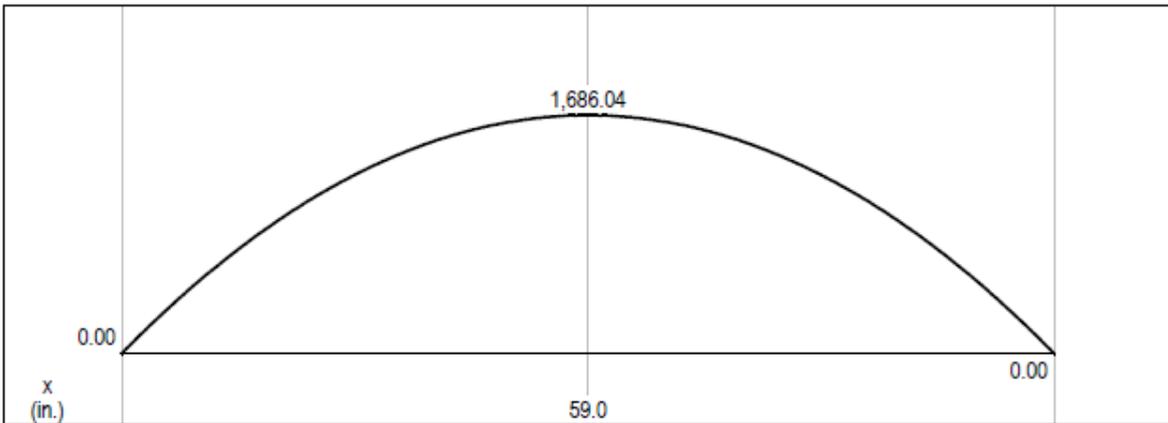


Load Diagram

$w_1 = 139.494 \text{ lb/ft (down)}$

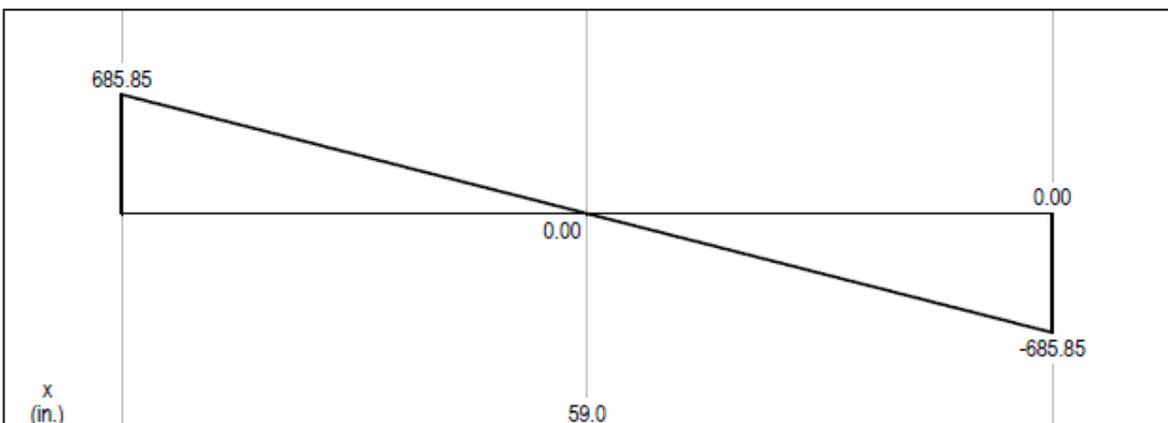
$A_y = 685.85 \text{ lb (up)}$
 $B_y = 685.85 \text{ lb (up)}$

Figura 2.12. Diagrama de cargas del eje hueco del sin fin



Moment Diagram (lb-ft)

Figura 2.13. Momento flector del eje hueco del sin fin



Shear Diagram (lb)

Figura 2.14. Momento cortante del eje hueco del sin fin

Estos esfuerzos tendrán el mismo valor, pero el que nos interesa es el esfuerzo de tracción σ_{xt} , debido a que aquí tenderá a fallar el elemento, este punto en específico suele conocerse como punto crítico.

El momento se calcula con la ecuación 2.3.

$$M = R_{Ay} \cdot \frac{L}{2} [lb_f \cdot in]$$

Ecuación 2.3. Momento [26]

Donde:

R_{Ay} : Reacción en el apoyo A para el eje y [lb_f]

L: longitud del eje helicoidal [in]

Con los valores de la reacción en el apoyo A, $R_{Ay} = 685,85 [lb_f]$ y el de la longitud del helicoidal de 118 [in], estos momentos tienen un valor de.

$$M = 685,85 \cdot \frac{118}{2}$$

$$M = 40465,15 [lb_f \cdot in]$$

Para el eje hueco de sección transversal sólida se presenta la siguiente ecuación, para el momento de inercia. Ver la ecuación 2.4.

$$I = \frac{\pi \cdot (D^4 - d^4)}{64} [in^4]$$

Ecuación 2.4. Momento de inercia [26]

Donde:

D: diámetro externo [in]

d: diámetro interno [in]

Con los valores de los diámetros interno 1,5 [in] y externo 2 [in] del eje hueco que sostiene al helicoidal obtenemos su momento de inercia, considerando como si el peso total del helicoidal más el peso del maíz tiene la forma de este eje hueco, entonces.

$$I = \frac{\pi \cdot (2^4 - 1,5^4)}{64} [in^4]$$

$$I = 0,537 [in^4]$$

Para el cálculo del esfuerzo de tracción en x se utiliza la ecuación 2.5.

$$\sigma_{xt} = \frac{M \cdot c}{I} \text{ [psi]}$$

Ecuación 2.5. Esfuerzo de tracción en x [26]

Donde:

M: momento [$lb_f \cdot in$]

I: momento de inercia [in^4]

c: distancia al eje neutro [in]

Con el momento de Inercia antes calculado, la distancia al eje neutro (*c*) que es de la mitad del diámetro externo del eje hueco con un valor de 1 [in], el valor del momento $M = 40465,15$ [$lb_f \cdot in$], por lo que este esfuerzo tiene un valor de.

$$\sigma_{xt} = \frac{40465,15 \text{ [} lb_f \cdot in \text{]} \cdot 1 \text{ [} in \text{]}}{0,537 \text{ [} in^4 \text{]}}$$

$$\sigma_{xt} = 75354,097 \text{ [psi]}$$

El esfuerzo de compresión en el eje de las x viene dado por la siguiente ecuación 2.6.

$$\sigma_{xc} = \frac{R_{Ax}}{A} = \frac{R_{Ax}}{\frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2)} \text{ [psi]}$$

Ecuación 2.6. Esfuerzo de compresión en x [26]

Donde:

R_{Ax} : reacción A en el eje x [lb_f]

A: área de un círculo hueco [in^2]

Con los valores de la reacción en el apoyo A en el eje x, $R_{Ax} = 791,947$ [lb_f] y el área que tiene un círculo hueco podemos obtener el esfuerzo de compresión.

$$\sigma_{xc} = \frac{791,947 \text{ [} lb_f \text{]}}{\frac{\pi}{4} \cdot (2^2 - 1,5^2) \text{ [} in^2 \text{]}}$$

$$\sigma_{xc} = 576,193 \text{ [psi]}$$

En este punto crítico de la zona de tracción del eje se toma en cuenta el sentido de estos esfuerzos, los esfuerzos de tracción son positivos y los de compresión son negativos, así, el esfuerzo normal en x σ_x , será la resta del esfuerzo medio σ_{xm} del esfuerzo alternante σ_{xa} , como se describe en la ecuación 2.7.

$$\sigma_x = \sigma_{xm} - \sigma_{xa} \text{ [psi]}$$

Ecuación 2.7. Esfuerzo normal en x [26]

Donde:

σ_{xm} : *esfuerzo medio en x [psi]*

σ_{xa} : *esfuerzo alternante en x [psi]*

El valor del esfuerzo medio σ_{xm} se puede obtener al hacer un promedio del esfuerzo máximo σ_{max} y mínimo σ_{min} , y el esfuerzo alternante con la diferencia de estos últimos divididos para dos, como se puede ver en las ecuaciones 2.8 y 2.9.

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} \text{ [psi]}$$

Ecuación 2.8. Esfuerzo medio [26]

Donde:

σ_{max} : *esfuerzo máximo [psi]*

σ_{min} : *esfuerzo mínimo [psi]*

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} \text{ [psi]}$$

Ecuación 2.9. Esfuerzo alternante [26]

Donde:

σ_{max} : *esfuerzo máximo [psi]*

σ_{min} : *esfuerzo mínimo [psi]*

Ahora se consideran los esfuerzos máximo y mínimo con los valores de 75354,097 [psi] y 576,193 [psi] respectivamente, con el uso de las ecuaciones 2.8 y 2.9 obtenemos entonces los esfuerzos medio y alternante.

$$\sigma_m = - \frac{75354,097 \text{ [psi]} - 576,193 \text{ [psi]}}{2}$$

$$\sigma_m = -37388,952 \text{ [psi]}$$

$$\sigma_a = - \frac{75354,097 \text{ [psi]} + 576,193 \text{ [psi]}}{2}$$

$$\sigma_a = -37965,145 \text{ [psi]}$$

Con estos esfuerzos nos es posible obtener el esfuerzo normal en x usando la ecuación 2.7.

$$\sigma_x = -37388,952 \text{ [psi]} - (-37965,145 \text{ [psi]})$$

$$\sigma_x = 576,193 \text{ [psi]}$$

Estos esfuerzos σ_m y σ_a para el eje y son iguales a cero al no seguir el eje longitudinal del eje hueco helicoidal.

También es necesario el cálculo del momento de torsión medio del elemento para lo cual se usará la ecuación 2.10. la cual relaciona el momento M con la distancia al eje neutro c y el momento polar de inercia J .

$$\tau_{xym} = \frac{T_{Motor} \cdot c}{J} \text{ [psi]}$$

Ecuación 2.10. Esfuerzo de torsión alrededor de x [26]

Donde:

T_{Motor} : torque nominal del motor [$lb_f \cdot in$]

J : momento polar de inercia para un tubo [in^4]

c : distancia al eje neutro [in]

El torque nominal del motor tiene un valor de 1062 [$lb_f \cdot in$], c es igual a 1 [in] y el momento polar de inercia se calcula con la ecuación 2.11.

$$I = \frac{\pi \cdot (D^4 - d^4)}{32} \text{ [in}^4\text{]}$$

Ecuación 2.11. Momento polar de inercia [26]

Donde:

D : diámetro externo [in]

d : diámetro interno [in]

Con los valores de los diámetros interno 1,5 [in] y externo 2 [in] del eje hueco obtenemos su momento de inercia, entonces.

$$J = \frac{\pi \cdot (2^4 - 1,5^4)}{32} \text{ [in}^4\text{]}$$

$$J = 1,074 \text{ [in}^4\text{]}$$

Con esto aplicamos la ecuación 2.10. quedando.

$$\tau_{xym} = \frac{1062 \text{ [lb}_f \cdot \text{in}] \cdot 1 \text{ [in]}}{1,074 \text{ [in}^4\text{]}}$$

$$\tau_{xym} = 988,827 \text{ [psi]}$$

El esfuerzo alternante alrededor del eje x es igual a cero, $\tau_{xya} = 0$, ya que este helicoidal se mantiene fijo sobre este eje.

Ahora, se aplica la teoría del esfuerzo cortante máximo para materiales dúctiles, la cual predice de manera aceptable y conservadora la falla de un elemento. [26]

Estos esfuerzos también llamados EMC se pueden hallar con la ecuación 2.12.

$$\sigma'_m = (\sigma_{xm}^2 - \sigma_{xm}\sigma_{ym} + \sigma_{ym}^2 + 3\tau_{xym}^2)^{1/2} [\text{psi}]$$

Ecuación 2.12. EMC medio [26]

Donde:

σ_{xm} : *esfuerzo medio en x [psi]*

σ_{ym} : *esfuerzo medio en y [psi]*

τ_{xym} : *esfuerzo de torsión alrededor de x [psi]*

Como los esfuerzos medio y alternante en y son iguales a cero y al remplazar los valores en la ecuación 2.12. se obtiene.

$$\begin{aligned} \sigma'_m &= ((-37388,952 [\text{psi}])^2 + 3 \cdot (3988,827 [\text{psi}])^2)^{1/2} \\ \sigma'_m &= 38021,914 [\text{psi}] \end{aligned}$$

Basándonos en esta misma ecuación y al no tener un momento torsor alternante, el EMC alternante es igual al módulo del momento alternante.

$$\sigma'_a = |\sigma_a| = 37965,145 [\text{psi}]$$

Usando el criterio de falla por fatiga ante esfuerzos variables, al usar la ecuación 2.13. para obtener el I factor de seguridad n . Considerando que el esfuerzo medio σ_m es menor que cero, el esfuerzo alternante se obtiene como.

$$\sigma'_a = \frac{S_e}{n}$$

Ecuación 2.13. Criterio de Goodman modificado, cuando el EMC medio es negativo [26]

Donde:

S_e : *límite de resistencia a la fatiga [psi]*

σ'_a : *EMC alternante [psi]*

n : *factor de seguridad*

Para obtener el límite de resistencia a la fatiga se usa la ecuación 2.14.

$$S_e = S_{ut} \cdot k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_f$$

Ecuación 2.14. Factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga [26]

Donde:

- S_{ut} : esfuerzo último de fluencia [psi]
- k_a : factor que modifica la condición superficial
- k_b : factor de modificación por el tamaño
- k_c : factor de modificación por la carga
- k_d : factor de modificación por la temperatura
- k_e : factor de confiabilidad
- k_f : factor de modificación por efectos varios

El valor del esfuerzo de fluencia último para barras de acero inoxidable AISI 316 se toma de 60 [kg_f/mm²] o 85,34 [kip] en sistema inglés, ver la tabla 2.16.

Esfuerzo Fluencia [Kg/mm ²]	Esfuerzo Tracción [Kg/mm ²]	Elongación [%]
33	49-63	22

Tabla 2.16. Esfuerzos en barras de acero inoxidable AISI 316 [17]

Para hallar el factor k_a es necesario aplicar la ecuación 2.15.

$$k_a = a \cdot S_{ut}^b$$

Ecuación 2.15. Factor que modifica la condición superficial [26]

Donde:

- S_{ut} : esfuerzo último de fluencia [kip]
- a y b : factores tabulados

Entonces el valor de k_a si se considera a este eje como maquinado.

$$k_a = 2.7 \cdot (85,34)^{-0,265}$$

$$k_a = 0,831$$

El factor k_b se obtiene de la ecuación 2.16.

$$k_b = 0,879 \cdot D^{-0,107}$$

Ecuación 2.16. Factor de modificación por el tamaño [26]

Donde:

- D : diametro externo del eje hueco [in]

Entonces el valor de k_b al no superar las 2 [in].

$$k_b = 0,879 \cdot 2^{-0,107}$$

$$k_b = 0,816$$

El factor de modificación por carga k_c para este caso es igual a 1, ya que estamos considerando un trabajo del elemento a flexión.

El factor k_d que depende de la temperatura tiene también un valor de 1, ya que el elemento trabaja a temperatura ambiente.

Para hallar el factor k_e el cual depende de la confiabilidad, consideremos que uno de estos elementos puede fallar tras haber fabricado 100 iguales, aunque esta afirmación no sea conservadora, como es un caso experimental se tomara de esta forma, entonces podemos decir que, si solo fallara un elemento de 100 fabricados esta confiabilidad R tendrá un valor de 99%. Por tanto, el factor k_e es obtenible de tablas, con un valor de 0,814. [26]

Para el valor de k_f el cual considera las modificaciones de diámetro en un eje este tiene un valor de uno, puesto que, la geometría de este eje hueco se mantiene por toda su estructura.

Ahora, al aplicar estos factores a la ecuación 2.14. obtenemos.

$$S_e = 85,34 [kip] \cdot 0,831 \cdot 0,816 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,814 \cdot 1$$

$$S_e = 47,105 [kip]$$

Finalmente, de la ecuación 2.13. podemos hallar el factor de seguridad, al reemplazar el limite de resistencia a la fatiga S_e y EMC alternante.

$$n = \frac{47,105 [kip]}{37,965 [kip]}$$

$$n = 1,24$$

Canaleta

Cuando el grado de inclinación de una elevador helicoidal supera los 15° desde la horizontal es recomendable elegir una canaleta redonda y no una en forma de U, sin embargo, el material a trasportar presenta una velocidad de elevación relativamente baja, además, tiene una baja abrasividad, baja corrosión y una fluidez media, por lo que se puede elegir una canaleta en U, sin mayor inconveniente, ya que el material siempre tendrá contacto con la zona preestablecida del sin fin del 45% de la canaleta. Ver el apartado 2.1 Características de los granos de maíz y Velocidad angular del elevador helicoidal. [12]

La canaleta seleccionada fue una con bordes angulares, estas están hechas de acero inoxidable AISI 316, brindan una buena rigidez y se usan típicamente en aplicaciones de transporte con cargas livianas y medias, como es el caso de este trabajo. Se fabrica a partir de láminas de 0,125 [in]. Ver la figura 2.15. [25]



Figura 2.15. Canaleta con borde angular en forma de U [25]

Ver ANEXO IV 1.04

Extremos de la canaleta

Estos extremos también son fabricados de acero inoxidable AISI 316, una vez más, esto es necesario por el tipo de material que se transportara y evitara la contaminación. Se fijan a la salida y entrada de la canaleta a forma de tapa, propiciando un ambiente cerrado del cual el material a transportar no se fuge.

Presentan cuatro agujeros para el montaje de la chumacera y los sellos de placas, ocho agujeros estas dispuestos para el acople por pernos a la canaleta y un agujero central permite el paso del eje hueco del helicoidal, ver la figura 2.16. [25]



Figura 2.16. Extremo para canaleta en forma de U [25]

Ver ANEXO II 1.05

Sello de placa

Estos sellos se colocan entre la chumacera que contiene el cojinete y el extremo de la canaleta por medio de pernos, evita así la fuga del material, si este tiene un tamaño de partícula muy pequeño, y evita también contaminación del material que se transporta por el elevador, gracias a que en la zona circular interior cuenta con neopreno. Cuentan además con cuatro orificios para su sujeción, estos últimos presentan una longitud entre centros que permite colocar más de un tamaño de chumaceras, ver la figura 2.17. [11], [25]



Figura 2.17. Sello de placa estándar [25]

Ver ANEXO IV 1.06

Chumaceras

La chumacera soporta cargas radiales debidas principalmente al peso del motorreductor, y cargas axiales las cuales son reacciones al movimiento del material paralelas al eje de rotación del rodamiento interno, si el eje empieza a girar de forma excéntrica se pueden dar desalineaciones con el eje de rotación, por esta razón la unión entre el eje de salida del motorreductor y el eje que sostendrá al eje hueco del helicoidal irán conectadas por el acople flexible previsto en el apartado 2.2 Acople flexible. [25]

Para este caso, se eligió una chumacera con un rodamiento de bolas interior para la salida del elevador y un rodamiento de bolas de contacto angular para la entrada, debido a que, este tipo de rodamientos presenta baja fricción y nivel de ruido, además, soportan cargas radiales y en el caso del que cuenta con un rodamiento de bolas de contacto angular también cargas axiales sin importar el sentido de giro. [25], [27]

En la figura 2.18. se representa una chumacera con rodamiento de bolas simple para la salida del elevador.



Figura 2.18. Chumacera de rodamiento de bolas [25]

Ver ANEXO IV 1.07

Para seleccionar la chumacera de la entrada del elevador se utilizó la carga estática equivalente la cual contiene de las cargas radial y axial que se aplican en el rodamiento. [28]

$$P_0 = X_0 \cdot F_r + Y_0 \cdot F_a \text{ [kN]}$$

Ecuación 2.17. Carga estática equivalente [28]

Donde:

X_0 : factor de carga radial del rodamiento

F_r : carga radial real del rodamiento [kN]

Y_0 : factor de carga axial del rodamiento

F_a : carga axial real del rodamiento [kN]

La carga radial para el rodamiento es igual a $F_r = R_{Ay} = 685,85 \text{ [lb}_f\text{]}$, o lo que es igual a $3,051 \text{ [kN]}$, ver la figura 2.12. y la carga axial $F_a = R_{Ax} = 791,947 \text{ [lb}_f\text{]}$ o $3,523 \text{ [kN]}$, ver el análisis de la figura 2.11. El diámetro del eje es igual a $1 \frac{1}{2} \text{ [in]}$ o $38,1 \text{ [mm]}$, además de que la velocidad a la que trabajara el rodamiento es de 20 rpm.

Para obtener los factores de carga X_0 y Y_0 es necesario acudir a la tabla 2.17.

Tabla 2.17. Factores de carga, rodamientos de bolas [28]

Tipo de Rodamiento	X1	Y1	X2	Y2
De contacto radial	1	0	0,5	1,4
De contacto angular suave	1	1,25	0,45	1,2
De contacto angular fuerte	1	0,75	0,4	0,75
De doble fila (de empuje)	1	0,75	0,63	1,25

Utilizando la ecuación 2.17. de la carga estática equivalente junto con los valores de los factores de carga para un rodamiento de contacto angular suave, ya que, se prioriza la carga axial sin sobrecargas, pues es vital para elevar el material adecuadamente. Se tienen las siguientes cargas.

$$P_1 = 1 \cdot 3,051 [kN] + 1,25 \cdot 3,523 [kN]$$

$$P_1 = 7,455 [kN]$$

$$P_2 = 0,45 \cdot 3,051 [kN] + 1,2 \cdot 3,523 [kN]$$

$$P_2 = 5,601 [kN]$$

Elegimos la carga de mayor valor P_1 de 7,455 [kN].

El momento flector y cortante máximo se obtienen de las ecuaciones 2.18. y 2.19. el peso total W_T/L tiene valor de 161,074 [lb_f/ft] o lo que es igual a 218,387 [N]

$$M_{max} = \frac{W_T \cdot L^2}{8} [N \cdot m]$$

Ecuación 2.18. Momento flector máximo [28]

Donde:

$$\frac{W_T}{L}: \text{peso total del helicoidal más el material por unidad de longitud} \left[\frac{N}{m} \right]$$

L : longitud del elevador [m]

$$V_{max} = \frac{W_T \cdot L}{2} [N]$$

Ecuación 2.19. Momento cortante máximo [28]

Donde:

$$\frac{W_T}{L}: \text{peso total del helicoidal más el material por unidad de longitud} \left[\frac{N}{m} \right]$$

L : longitud del elevador [m]

Usando estas ecuaciones calculamos los momentos máximos permisibles, tanto flectores como cortantes que soporta el rodamiento.

$$M_{max} = \frac{218,387 \left[\frac{N}{m} \right] \cdot (3 [m])^2}{8}$$

$$M_{max} = 245,685 [N \cdot m]$$

$$V_{max} = \frac{218,387 \left[\frac{N}{m} \right] \cdot 3 [m]}{2}$$

$$V_{max} = 327,581 [N]$$

Se elige entonces la chumacera de bolas de contacto angular, que supere la carga estática antes encontrada de 7,455 [kN] o 1678,951 [lb_f], ver la figura 2.19. y la Tabla 2.18. Aquí

se puede ver que la carga estática que esta chumacera soporta tiene un valor máximo de 4271 [lb_f].

Ver ANEXO IV 1.08



Figura 2.19. Chumacera con rodamiento de bolas de contacto angular [29]

Tabla 2.18. Chumacera con rodamiento de bolas de contacto angular [29]

Designación	Dimensiones				Capacidad de carga básica		Velocidad límite
					dinámica	estática	
	d [in]	J [in]	L [in]	T [in]	C [lb _f]	C ₀ [lb _f]	↑↓ [r/min]
F4B 108-FM	1.5	4	5.126	2.287	6 902	4 271	4 800

Ejes extremos

Estos elementos permiten transmitir la rotación (velocidad angular) y el torque entre tornillos sin fin individuales concatenados, siempre y cuando se realicen los agujeros a ambos lados de estos ejes. Principalmente sirven como conexión entre el eje encamisado que va dentro del hueco del helicoidal y las chumaceras a ambos lados del elevador, brindando soporte radial principalmente. Están fabricados de acero inoxidable AISI 316, ver la figura 2.20. [25]



Figura 2.20. Ejes extremos [25]

Ver ANEXO IV p1.09

Cubierta

Se elegirá una cubierta con bridas las cuales empatan y dan rigidez juntos con las bridas de la canaleta al realizar las juntas empernadas, además al tener tan poca velocidad para elevar los granos de maíz no es necesario recurrir a una cubierta especial, porque el volumen del maíz transportado nunca superara la mitad del total disponible en la canaleta, es recomendable atornillar todas las cubiertas en centros cercanos, pero para este caso en general el largo L del elevador helicoidal coincide con la longitud de la tapa de la canaleta, idéntico a lo que paso con el eje helicoidal y la canaleta. Ver la figura 2.21. y el apartado 2.2 Tornillo helicoidal. [25]



Figura 2.21. Cubierta con bridas [25]

Ver ANEXO IV 1.10

Bridas para extremos de canaletas

Se fabrican generalmente con un torno CNC y se sueldan a las canaletas después de ser alineadas, estos elementos permiten juntar dos canaletas entre sí ver la figura. 2.22. [25]

Como solo se dispone de una canaleta estos elementos estarán ya acoplados dentro de la canaleta en forma de U.



Figura 2.22. Brida para extremo de canaleta [25]

Boquilla de descarga

Las boquillas de descarga generalmente se ubican en la parte final del elevador y permiten desalojar el material desde la zona en U de la canaleta, aunque, estas pueden colocarse en cualquier sección a lo largo de la canaleta y dependiendo del requerimiento pueden colocarse dos o más. Nunca se debe colocar una compuerta en la boquilla de descarga si esta es solo una, debido a que, si esta se deja cerrada y el material ya está en movimiento puede causar daños al tornillo sin fin, estará fabricados de acero AISI 316, ver la figura 2.23. [25]

Ver ANEXO IV 1.11



Figura 2.23. Boquilla de descarga [25]

Boquilla de entrada

La boquilla en la entrada, como su nombre lo indica, es por donde ingresara el material a transportar, se ubica en el inicio de la canaleta, pero al igual que el caso anterior se pueden colocar más de una, brindando así varias fuentes de alimentación del maíz hacia la canaleta, se elaborará con acero AISI 316, ver la figura 2.24. [25]

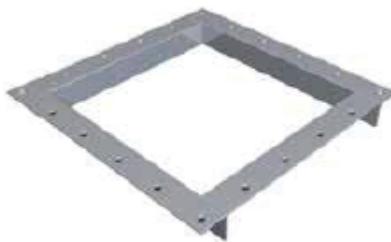


Figura 2.24. Boquilla de entrada [25]

Ver ANEXO IV 1.12

Uniones de cubierta y sellos

Estos elementos se colocan sobre la parte superior uniendo dos cubiertas y cuenta de dos partes diferentes, la pieza que va en la zona inferior (unión) presenta agujeros los cuales permiten el acoplamiento y la sujeción por la parte interna de las canaletas, la pieza superior (sello) va por encima de las tapas de la canaleta ocultando el punto de unión entre

estas, juntos estos elementos proporcionara un sello hermético al polvo u otra partícula exterior, ver la figura 2.25. [25]

Para este caso tampoco serán necesarios estas piezas de sujeción y acople.

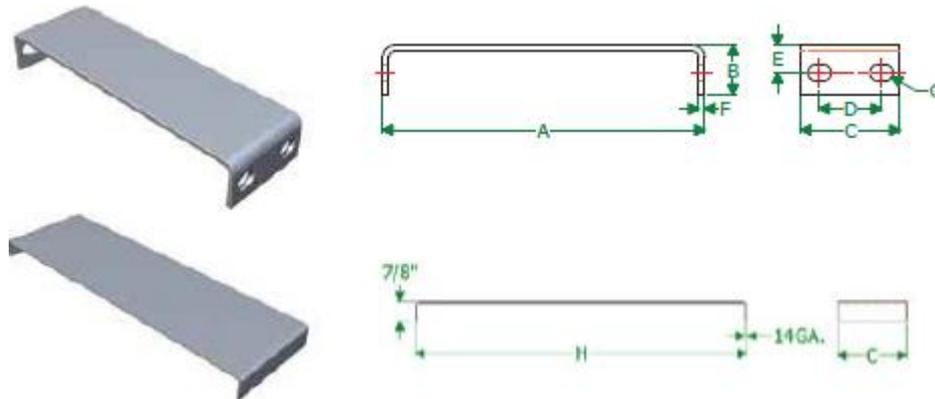


Figura 2.25. Unión de cubierta y sello [25]

Silletas para canaleta

Estas se sueldan en la parte inferior a lo largo de la canaleta en los lugares donde estas se acoplan, brindan soporte y estabilidad al ser fijadas al piso o a un soporte estructural por medio de pernos, ver la figura 2.26. [25]

Para este caso solo se utiliza una silleta ya para brindar soporte a la zona de carga del elevador helicoidal.



Figura 2.26. Silleta para canaleta [25]

Ver ANEXO IV 1.13

Colgantes con soportes

Estos elementos se ubican entre las secciones de unión de cada canaleta y brindan apoyo necesario para la construcción de un elevador más largo que uno estándar, se utilizan cuando se transporta materiales a granel no abrasivos y de alta fluidez, puesto que, sería

necesario un rodamiento y un colgante especial si el material no cumpliera con estos requerimientos, ver la figura 2.27. [25]

Para este caso no será necesario un nuevo soporte intermedio que sirva como apoyo, puesto que, todas las cargas ya están distribuidas en los rodamientos de bolas a la salida y de contacto angular a la entrada, al no disponer de una segunda canaleta.



Figura 2.27. Colgante con rodamiento interno [25]

Estructura base

Para la fabricación de la estructura de apoyo para el elevador helicoidal se tomó un perfil L 50x50x4, en concreto basado en las normas ISO (organización internacional de estandarización) R 657/1. Este perfil está fabricado en acero ASTM A36. [30]

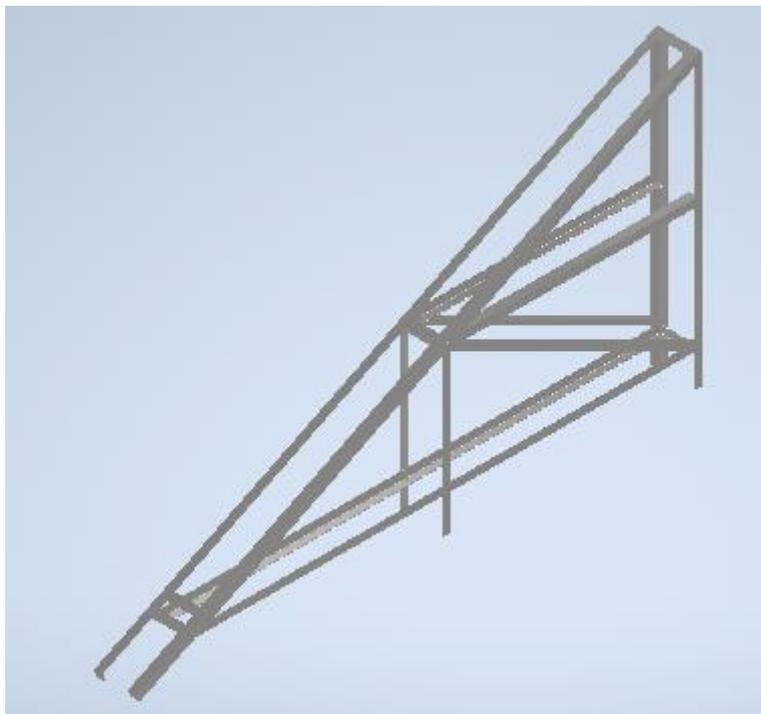


Figura 2.28. Estructura base de perfil L 50x50x4

Para ver el plano de conjunto completo ir al ANEXO IV 1.00.

2.3 Análisis de costos

Costos Directos

Estos se refieren a los diferentes materiales usados en la elaboración de la máquina, estos costos inciden en una actividad u objeto único, generalmente son proporcionales al precio de la máquina final. Los más representativos son los costos de materias primas y la mano de obra. [31]

Con los planos de las piezas y el plano de conjunto nos es posible determinar el costo de fabricación aproximado de todos los componentes que conforman el elevador helicoidal, estos valores se pueden ver en las tablas 2.19. 2.20. y 2.21. a continuación.

Tabla 2.19. Costos directos de materias primas y equipos [25], [32], [33], [34], [35]

Elemento	Código	Cantidad	Material	Peso Unitario [lb]	Peso Total [lb]	Precio Unitario [USD]	Precio por lb [USD/lb]	Precio Total [USD]
Motorreductor	1.01	1	Aluminio	27,1	27,1	120	0	120,00
Acople Flexible	1.02	1	-	15,3	15,3	12,3	0	12,30
Helicoidal	1.03	1	AISI 316	5	5	0	1,133787	5,67
Canaleta	1.04	1	AISI 316	9	9	0	1,133787	10,20
Extremo Canaleta	1.05	2	AISI 316	1	2	0	1,133787	2,27
Sello Placa	1.06	2	ASTM A36	4	8	0	0,408163	3,27
Chumacera Bolas	1.07	1	-	5	5	60	0	60,00
Chumacera B. C. Angular	1.08	1	-	6	6	80	0	80,00
Ejes Extremos	1.09	2	AISI 316	1	2	0	1,133787	2,27
Cubierta	1.10	1	AISI 316	4	4	0	1,133787	4,54
Boquilla Descarga	1.11	1	AISI 316	5	5	0	1,133787	5,67
Boquilla Entrada	1.12	1	AISI 316	5	5	0	1,133787	5,67
Silleta	1.13	1	ASTM A36	3	3	0	0,408163	1,22
Estructura base	1.14	1	ASTM A36	54	54	0	0,408163	22,04
							Costo Total	335,11

Tabla 2.20. Costos directos de pernos y tuercas [32]

Diámetros [in]	Cantidad	Precio Unitario [USD]	Precio [USD]
0,313	2	0,15	0,3
0,438	16	0,25	4
0,5	42	0,45	18,9
Costo total			23,2

Tabla 2.21. Costos de la mano de obra [36]

Acción	Precio/kg [USD/kg]	Peso [kg]	Precio [USD]
Rolado helicoidal	0,96	8,919093	8,562329
Extrusión helicoidal	3,5	13,37864	46,82524
Doblado Canaleta	0,4	39,79592	15,91837
Laminado general	0,8	2,267574	1,814059
Mecanizado ejes	2	24,03624	48,07247
Costo Total			121,1925

Costos indirectos

Estos costos a diferencia de los anteriores no se pueden aplicar a un producto o servicio específico, aunque si son parte del proceso de fabricación del producto. Los más representativos son el uso de máquinas no contempladas en los costos directos, ver la tabla 2.22. [31]

Tabla 2.22. Costos indirectos [32]

Descripción	Precio Unitario [USD/h]	Tiempo [h]	Precio [USD]
Energía eléctrica	0,1	160	16
Agua potable	0,5	4	2
Discos de corte	2,5	5	12,5
EPPs	60	1	60
Herramental menor	40	1	40
Material de limpieza	5	1	5
Costo Total			135,5

Costos totales de fabricación

Una vez se han obtenidos todos los rubros generales en los costos directos e indirectos solo hace falta sumarlos para obtener el valor final que tendrá el elevador helicoidal.

Tabla 2.23. Costos totales de fabricación

Costos totales de fabricación	Precios Totales [USD]
Costos directos materia prima y equipos	335,11
Costos directos pernos y tuercas	23,2
Costos de mano de obra	121,1925
Costos Indirectos	135,5
Precio aproximado del elevador	615,00

3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1 Resultados

Al momento de asumir una de las dimensiones de los granos de maíz y considerando a estos como un pequeño hexaedro, obtuvimos una densidad de 49,435 [lbf/ft³], que es muy similar a la brindada por la CEMA de 45 [lbf/ft³]. Mostrando así que asumir un valor es muchas veces necesario, también podemos destacar que la variación en la densidad se debe al propio maíz ya que este no es igual en este país que en los Estados Unidos. De forma práctica también se consideró que el maíz se incluía en la clase 3 de tamaños de partículas donde casi todas tienen dimensiones similares, confirmando la selección del tamaño del helicoidal de 6 [in], ver el apartado 2.1 Características de los granos de maíz.

La velocidad angular del elevador obtenida en el apartado 2.1 Velocidad angular del elevador helicoidal, es algo baja si la comparamos con la tabla 1.1. para una serie de elevadores comerciales, esto se debe principalmente a la carga inicial de 1000 [kg/h] que se dio como dato del cliente, inicialmente este valor era aún más pequeño, de 100 [kg/h], pero este pasó a ser reconsiderado y aumentado ya que no tenía sentido transportar una carga tan pequeña a una velocidad tan baja cercana a las 2 [rev/min].

El acrónimo KWS corresponde a la transmisión de conocimiento, mano de obra y soluciones.

El cálculo de la potencia para el diseño de una máquina mecánica es prioritario, puesto que, permite el dimensionamiento de la sección motriz, que generalmente, es el equipo con un costo mayor y tiene la tarea principal que es la de brindar el movimiento o accionar el resto de la máquina. Los primeros resultados para la potencia fueron hallados con las ecuaciones descritas en el apartado 2.1 Otros, la potencia total calculada resulto de un valor bastante pequeño, 0,0444 [hp], muy baja con lo esperado en el mercado, por lo que se optó por usar una bibliografía más conservadora. Si bien los cálculos de la potencia para superar la fricción ($P_f = 0,0035$ [hp]) y la potencia para mover el material ($P_m = 0,00868$ [hp]) son las mismas, ya que la KWS Diseño, Ingeniería y Fabricación, (bibliografía actual) también se basa en norma ANSI/CEMA 350, esta empresa posee factores de corrección más reales basados en sus propios análisis, ver la figura 2.2. La potencia calculada total sin corregir tiene un valor de 0,02 [hp] pero con este factor de corrección la potencia para poder mover el material P_m llega a los 0,25 [hp] lo que a su vez eleva considerablemente la potencia total corregida a un valor de 0,267 [hp], la cual es un valor más lógico.

El motorreductor seleccionado basándonos en la potencia fue un Weg WG20 colineal con eje de salida de 1/3 de [hp], para la selección de este se consideró que estaría encendido durante 8 a 10 horas diarias, es decir, trabajando en condiciones críticas obtendremos un factor de servicio SF de 1,42, el valor del factor de servicio de este motor cumple con esta condición de trabajo crítico con un valor de 1,7, este valor es coherente, ya que, va ligado tanto a la potencia, a la relación de velocidades de 85,78 y al torque de 1066 [lbf·in]. En todos estos valores el motor de 1/3 de [hp] cumple, con las especificaciones a las que será sometido.

Las desalineaciones del eje de salida del motorreductor y el eje que va hacia el sin fin se evitaron al elegir un acople flexible de tipo mordaza, para este caso, es de la marca Lovejoy. Como el trabajo que se realizará no implica temperaturas altas y se necesita buena amortiguación se optó por elegir una araña (sección elastómera) de color negro, la cual cumple con el requisito de torque crítico. Inicialmente se eligió un acople flexible AL150 el problema radicaba en que el torque que estas soportaban era de 1240 [lbf·in] el cual es insuficiente ya que se requería 1332,5 [lbf·in] y por esta razón se eligió el acople flexible modelo L190 con un torque crítico de 1728 [lbf·in].

Del análisis estático en el apartado 2.2. Análisis estático, podemos ver que la carga axial que soportará la chumacera de entrada del elevador en el apoyo A, es $R_{Ax} = 791,947 [lb_f]$ y a partir de la carga distribuida que soporta el eje hueco en el eje y , la reacción en este apoyo en dirección radial es de $R_{Ay} = 685,85 [lb_f]$. Con estos valores nos es posible calcular la carga total que soportará el rodamiento de contacto angular de esta chumacera que es de 1678,951 [lb_f], ver el apartado 2.2 Chumaceras, bajo condiciones estáticas la chumacera seleccionada en la tabla 2.18. cumple con esta carga total que soporta con un valor de 4271 [lb_f], además cuenta con rodamientos internos de contacto angular, el cual, nos permite aguantar tanto carga radial como carga axial sin exceder la carga máxima recomendada.

Continuando con el análisis utilizando criterios de falla combinados, este nos brinda un factor de seguridad FS de 1,24 para el eje hueco del helicoidal, mientras mayor sea este factor, el elemento presenta mayor resistencia a fallar cuando se alcanza el esfuerzo de fluencia del material. Este factor es algo bajo a los esperado, si se sabe que el rango donde trabaja un elemento mecánico con condiciones de carga medias y condiciones de trabajo no severas ronda los 2 a 2,5. Pero se le puede atribuir a las consideraciones realizadas.

En el apartado 2.3. se analizaron los costos concernientes a las materias primas y equipos, costos de mano de obra y costos indirectos que al final al ser tabulados y sumados dan un

valor aproximado de 615 [USD], este valor puede parecer un poco alto si lo comparamos con las alternativas de la competencia del apartado 1.4 Competencia pero esto se debe, a que solo se está estimando la construcción de un elevador helicoidal mientras que en estas empresas fabrican de forma masiva estos elevadores abaratando costos de producción.

3.2 Conclusiones

- Se logró diseñar un equipo elevador inclinado helicoidal de granos y los elementos que lo componen, mediante la selección y los criterios de diseño correspondientes, para su posterior modelado en un software CAD 3D.
- Se investigó varias fuentes con el fin de aportar con gran cantidad de información relevante para el presente trabajo de integración curricular las cuales abarcan, normas para la fabricación, catálogos, manuales, libros y trabajos similares a este.
- Se redefinieron las necesidades básicas dadas en un inicio por otras que presentaban mayor volumen de maíz desplazado por unidad de tiempo, debido a, que los valores iniciales tanto del radio del helicoidal como de la velocidad angular y de avance eran muy bajos. Con este cambio se logró definir las especificaciones técnicas y proponer una solución para la construcción de este elevador helicoidal.
- Se elaboraron los planos de taller de todos los elementos indispensables en un elevador inclinado helicoidal, posteriores a su selección u elaboración, además se presentó un plano de conjunto general en donde se muestra al elevador y como se ordenan los diferentes elementos en el ensamble de este.
- Se estimó los costos de producción totales para el elevador desde el punto de vista personal, es decir, que el elevador sea construido por uno mismo. Se desglosaron los valores directos, tanto de materias primas como de mano de obra, así como los valores indirectos para la producción de todas las piezas del elevador helicoidal, al final se obtuvo un costo de producción del elevador aproximado.

3.3 Recomendaciones

- Al momento de realizar la investigación bibliográfica siempre tomar en cuenta las normas existentes para el tipo de maquinaria que se quiere diseñar, aunque, nunca se debe dejar de lado a empresas con experiencia en estos campos, puesto que como ya se demostró en el cálculo de la potencia en este trabajo, estas suelen tener un enfoque

más técnico a la hora de diseñar y no tanto teórico, brindando valores más cercanos a la realidad.

- Siempre procurar que en el diseño mecánico de un elevador inclinado helicoidal todos los elementos que se ensamblen y necesiten de mantenimiento o reemplazo con el tiempo, deben poder desmontarse de manera orgánica del resto del ensamble.
- Verificar el tipo de material que se requiere transportar, para este caso el maíz, debido a que, este determinara el material del que están fabricados los elementos que entren en contacto con este material a transportar.
- Si se requiere transportar otro material hay que referirse a la norma ANSI/CEMA 350 para transportadores helicoidales, la cual presenta información general que permite definir el diámetro ideal para que el elevador presente una funcionalidad adecuada.

4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] P. R. Urquiza, "Diseño del conjunto de transportadores helicoidales para evacuar 1.8 t/h de ceniza de la caldera de la empresa Agrolmos S.A.C.", Escuela Académico Profesional de Ingeniería, Trujillo, 2017. Consultado: el 8 de diciembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/23060>
- [2] "Diseño de un transportador de tornillo sin fin o transportador helicoidal para granalla", 2010. Consultado: el 6 de diciembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.scribd.com/doc/233076221/Diseno-de-Transportadores-Helicoidales>
- [3] "Tornillo de Arquímedes". Consultado: el 3 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.ingenierizando.com/maquinas-y-mecanismos/tornillo-de-arquimedes/>
- [4] "Transportadores Helicoidales Sinfines: Tipos, Usos y Aplicaciones", Bega Helicoidales. Consultado: el 18 de enero de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.begahelicoidales.com/tipos-transportadores-helicoidales>
- [5] Silomax, "HELICOIDAL MODELOS RTH-150 A 400 MANUAL DE INSTRUCCIONES". Consultado: el 8 de diciembre de 2022. [En línea]. Disponible en: www.silomax.com.br
- [6] C. Yáñez *et al.*, "Guía de producción de Maíz de altura", dic. 2008. Consultado: el 21 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/2440/1/iniapscg96.pdf>
- [7] G. E. Tapia, "Evaluación del comportamiento del maíz (*Zea mays* L.), variedad INIAP – 122 bajo dos densidades poblacionales y cuatro niveles de nitrógeno en siembra directa", Universidad Central del Ecuador, Quito, 2020. Consultado: el 21 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/21507>
- [8] "Equivalencia de diversas unidades mundiales". Consultado: el 17 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.fao.org/3/x5041s/x5041S09.htm>
- [9] T. Fuentes Figueroa, J. M. Morán, J. G. Cabrera, y J. G. Ortega, "UNESUM-Ciencias: Revista Científica Multidisciplinaria CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA Y ETNOBOTÁNICA DEL MAÍZ CRIOLLO (*Zea mays* L.) EN LA COMUNA SANCÁN, ECUADOR Anel Dayana Parrales Quimis 2", *Publicación cuatrimestral*, vol. 6, núm. 2, ene. 2022, Consultado: el 21 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://revistas.unesum.edu.ec/index.php/unesumciencias/article/view/631>
- [10] T. Bergman, A. Lavine, F. Incropera, y D. Dewitt, *Fundamentals Heat Mass Transfer*. 2011.
- [11] Screw Conveyor Engineering Committee, Conveyor Equipment Manufacturers Association, y American National Standards Institute., *Screw conveyors for bulk materials ANSI/CEMA Standard No. 350*, 5ta ed. Florida: Conveyor Equipment Manufacturers Association., 2019. Consultado: el 12 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://cemanet.org/wp-content/uploads/2019/06/ANSI-CEMA-350-FinalReview.pdf>

- [12] KWS Design Engineering Manufacturing, "Engineering Guide Screw Conveyors", Burleson, abr. 2016. Consultado: el 10 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.kwsmfg.com/wp-content/themes/va/pdf/Screw-Conveyor-Engineering-Guide.pdf>
- [13] A. H. Zea, "Propuesta de un sistema de transporte helicoidal para uva tipo móvil con una capacidad de 1 ton/hr", Universidad Nacional de San Agustí de Arequipa, Arequipa , 2019. Consultado: el 8 de diciembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.unsa.edu.pe/items/e6f4c160-2eef-435f-8c0f-bf8825a07d49>
- [14] "Tornillo De Grano De Alta Calidad,Elevador De Barrena - Buy Auger,Grain Screw Auger,Screw Auger Product on Alibaba.com". Consultado: el 20 de febrero de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://spanish.alibaba.com/p-detail/High-1112127293.html?spm=a2700.7724857.0.0.21507f2eiP5f4m>
- [15] "Transportador de tornillo helicoidal de móviles para la semilla de grano - China Transportador de tornillo helicoidal, transportador de tornillo helicoidal". Consultado: el 20 de febrero de 2023. [En línea]. Disponible en: https://es.made-in-china.com/co_vibratingscreen/product_Movable-Helical-Screw-Conveyor-for-Grain-Seed_hrrsnernu.html
- [16] C. Riba Romeva, *Diseño concurrente*. Barcelona, 2002.
- [17] Aceros RAY, "AISI 316". Consultado: el 6 de agosto de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://acerosray.cl/acero-inoxidable/aisi-316/>
- [18] B. O. Mamani, R. Samael, M. Escalante Espinoza, y N. Javier, "Diseño modular de transportador helicoidal de inclinación variable aplicando controlador lógico programable", Universidad Nacional del Santa, Nuevo Chimbote, 2023. Consultado: el 22 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/4249>
- [19] WEG, "Gear Units and Geared Motors up to 159,000 lb-in TECHNICAL CATALOG". [En línea]. Disponible en: www.weg.net
- [20] National Electrical Manufacturers Association, "NEMA MG-1: Motor and Generators", Washington, D.C., 2009. Consultado: el 25 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://law.resource.org/pub/us/cfr/ibr/005/nema.mg-1.2009.pdf>
- [21] Watt Drive WEG Group, "Gear Series: Helical Geared Motor Type: CG033-11N-71-04E-TH-TF". Consultado: el 31 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://cat4cad.wattdrive.com/>
- [22] Lovejoy, "Jaw Couplings 1-630-852-0500". [En línea]. Disponible en: www.lovejoy-inc.com
- [23] Lovejoy Inc, "Item Number 68514418039, AL Type Hubs with Keyway - Inch (Imperial) Bores". Consultado: el 7 de agosto de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://cad.timken.com/viewitems/aluminum-jaw-couplings-al-type/al-type-coupling-hubs-w-keyway-imperial?plpver=1013&pcat=lovejoy>
- [24] Lovejoy Inc, "Item Number 68514412288, L Type Hubs with Keyway - Inch (Imperial) Bores", Consultado: el 7 de agosto de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://cad.timken.com/viewitems/standard-jaw-couplings-l-type/l-type-coupling-hubs-w-keyway-imperial?plpver=1013&pcat=lovejoy>

- [25] KWS Design Engineering Manufacturing, “Components Guide Screw Conveyors”, Burleson, ago. 2016. Consultado: el 15 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.screwconveyorparts.com/wp-content/uploads/2018/04/KWS-MFG-Screw-Conveyor-Components-Guide-SCP.pdf>
- [26] R. G. (Richard G. Budynas, J. Keith. Nisbett, y J. Edward. Shigley, *Shigley’s mechanical engineering design*. McGraw-Hill, 2011.
- [27] “Rodamientos rígidos de bolas | SKF | SKF”. Consultado: el 13 de agosto de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.skf.com/co/products/rolling-bearings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings>
- [28] S. Communication Support Centre, “Catálogo General SKF”, 2006. Consultado: el 18 de agosto de 2023. [En línea]. Disponible en: https://0201.nccdn.net/1_2/000/000/166/f50/catalogo-general-skf.pdf
- [29] “Unidades de rodamientos de bolas con pestaña | SKF”. Consultado: el 21 de agosto de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.skf.com/co/products/mounted-bearings/ball-bearing-units/flanged-ball-bearing-units>
- [30] Dlubal Software, “L 50x50x4 | ISO R 657/1 1968 | Mittal Steel South Africa | Propiedades y análisis de secciones transversales”. Consultado: el 9 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.dlubal.com/es/propiedades-de-la-seccion-transversal/l-50x50x4-iso-r-657-1-1968-mittal-steel-south-africa>
- [31] “Costos directos e indirectos de un proyecto | OBS Business School”. Consultado: el 4 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.obsbusiness.school/blog/que-son-los-costos-directos-e-indirectos-de-un-proyecto>
- [32] D. E. Avilés, C. Nelson, y O. C. Cedeño, “Diseño de una Máquina Dispensadora y Empacadora de Granos de Cacao en Sacos de 50 kg”, Guayaquil, 2015. Consultado: el 21 de agosto de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/34979>
- [33] “Motor Weg | MercadoLibre.com.ec”. Consultado: el 7 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://listado.mercadolibre.com.ec/industrias-y-oficinas/motor-weg>
- [34] “FY 1 1/2 TF CHUMACERA SKF BRIDA 4 TORNILLOS 1 1/2” - OSUNA BALERO DISTRIBUIDOR INDUSTRIAL (OBD)”. Consultado: el 7 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.osunabalero.com/producto/fy-1-%c2%bd-tf-chumacera-skf-brid-a-4-tornillos-1-1-2/>
- [35] “Chumaceras Skf 1 | MercadoLibre”. Consultado: el 7 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://listado.mercadolibre.com.co/chumaceras-skf-1>
- [36] “¿Cuál será el piso del precio del acero rolado en caliente en el 2022? - Bmg Latin America”. Consultado: el 9 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://bmglatinamerica.com/cual-sera-el-piso-del-precio-del-acero-rolado-en-caliente-en-el-2022/>

5 ANEXOS

ANEXO I. Casa de la calidad

ANEXO II. Hoja Técnica Motorreductor CG033-11N-71-04E-TH-TF

ANEXO III. Hoja Técnica Acople Lovejoy AI150 y L190

ANEXO IV. Planos de taller y plano de conjunto

ANEXO I

Correlaciones

● muy positivo

◎ positivo

x negativo

Demanda:

B = básica

O = unidimensional

		Correlaciones						A	B	C	D	E	F	G	H	I
		Ángulo de elevación del canal	Longitud del canal	Flujo másico	Potencia motorreductor	Material de los componentes	Nivel de ruido										Paso del helicoidal
								Propio elevador	Elevador LS 160 Hengyu	Elevador Synmec	Objetivos	Índice de mejora	Factor de venta	Impotancia	Ponderación	Ponderación en %
Inclinación requerida	B	●	◎	▽	▽			1	5	5	1	1,0	●	4	4,8	3,5
Longitud requerida	B	◎	●	▽	▽			1	4	3	5	5,0	●	5	37,5	27,1
Capacidad necesaria	B	◎	▽	●	●		▽	1	4	4	5	5,0	●	5	37,5	27,1
Elevación granos de maíz	B	▽	▽	▽	▽		●	1	5	5	5	5,0		5	25,0	18,1
Funcionamiento silencioso	O			▽	▽	◎	●	1	4	4	3	3,0		2	6,0	4,3
Mantenimiento fácil	O				◎	●		1	3	3	3	3,0	●	5	18,0	13,0
Trabajo con alimentos	B					●		1	5	5	2	2,0	●	4	9,6	6,9
															138,4	100,0
Propio elevador		1	1	1	1	1	1									
Elevador LS 160 Hengyu		5	5	5	3	5	4	5								
Elevador Synmec		5	5	5	3	5	4	5								
Incidencia		293	414	411	465	266	92	225	1941							
Incidencia en %		15	21	21	24	14	5	12	100							
		30°	3 m	1000 kg/h	3 hp	Acero inoxidable	80 decibelios	Estándar								

Factor de venta

fuerte = 1.5 ●

medio = 1.2 ●

Factor de incidencia

fuerte = 9 ◎

medio = 3 ◎

ANEXO II

Información técnica del producto



Posición :	1	
Tipo de reductor :	Moto-reductor de engranajes helicoidales	
Tipo :	CG033-11N-71-04E-TH-TF	
<hr/>		
<u>Datos operación :</u>		
Temperatura ambiente :	86	°F
Régimen de servicio :	S1	
<hr/>		
<u>Características reductor :</u>		
Potencia térmica máx.permanente a 86 °F y servicio S1 :	3.2	[hp]
Velocidad de salida :	20	[rpm]
Par de salida :	1062	[lb-in]
Factor de servicio :	1.70	
Gear stages :	3	
Relación de reducción :	85.78	
Juego circunferencial (min-máx) :	8' - 29'	
Par de entrada admisible fB1 :	20.4	[lb-in]
Velocidad entrada máx.perm. :	6000	[rpm]
Forma montaje :	M1	
Eje de salida :	Ø 1.000 x 1.97''	
Material del eje de salida :	C45E (1.1191)	
Pintura :	LC1 - Instalación interior, atmósfera neutra NDFT 60 µm (C1 - DIN EN ISO 12944-5)	
Color :	RAL 5009 (Azul azur)	
<hr/>		
<u>Lado entrada :</u>		
Tipo :	montaje directo	
Eje entrada :	Ø 19 j6	
Brida entrada :	FC120	
<hr/>		
<u>Otras ejecuciones del reductor :</u>		
Lubrificante :	Aceite mineral - CLP ISO VG220	
<hr/>		
<u>Características motor :</u>		
Serie :	Motor Modular WEG (EUSAS)	
Housing material :	Aluminio	
Rendimiento η :	IE1-68.0%	
Serie motores :	11N	
Potencia motor :	0.33	[hp]
Velocidad nominal :	1700	[rpm]
Par nominal :	12	[lb-in]
Tensión :	265/460	[V]
Frecuencia :	60	[Hz]
Conexiónado :	D/Y	
Intensidad nominal :	1.20 / 0.69	[A]

Información técnica del producto



Arranque a intensidad nominal :	3.7	
'cos ϕ ' :	0.67	
Grado de protección :	IP 55	
Posición caja bornes :	Lado 1 entrada cable lado I	
Clase aislamiento :	F	
Momento de inercia :	1.33	[lbm ²]
Rango de tensión - 50 Hz :	220-240 V (D), 380-420 V (Y), 110-120 V (DD), 190-210 V (YY)	
Rango de tensión - 60 Hz :	250-277 V (D), 440-480 V (Y), 125-138 V (DD), 220-240 V (YY)	
Caja de conexiones :	9 terminales, 12 cables (hilos)	

Certificaciones de motor :



Otras ejecuciones de motor :

Ventilador :	Autoventilado
Controlador temperatura :	Termostato bimetalico NCC (TH) y Termistor PTC (TF) para desconexión
Rodamiento :	Estándar

Peso total : 27.1 [lb]

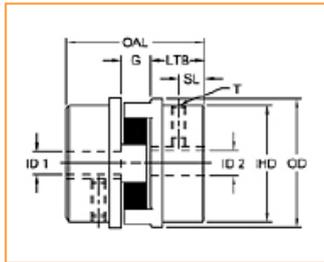
ANEXO III



Lovejoy, Inc.
2655 Wisconsin Avenue
Downers Grove, IL 60515
Phone: 630-852-0500 • Fax: 630-852-2120
Email: info@lovejoy-inc.com
Website: www.lovejoy-inc.com

Item Number 68514418039, AL Type Hubs with Keyway - Inch (Imperial) Bores

- The AL Type coupling consists of two standard AL Type hubs and one spider (find under L Type components, or the AL section for AL150).
- Unless stated otherwise, hub torque and horsepower ratings assume a SOX(NBR) rubber spider is being used.



Specifications

Description	AL150 HUB 1" 1/4X1/8 KW
Hub Style	2
Coupling Type	Jaw
Material	Aluminum
Color	Silver
# of Jaws	3
Elastomeric Member	SOX (NBR) Rubber
Weight	1.58 lb
Weight - Solid	2.80 lb
Weight (Complete Coupling w/ Max. Bores)	3.70 lb

Dimensional Data

Bore Size	1 in
Coupling Size	AL150
Thread (Dimension T)	5/16-18
Keyway Size (W x D)	1/4 x 1/8 in
Length thru Bore	1.75 in 44.45 mm
Overall Length	4.500 in 114.30 mm
Min. Bore (Dimensions ID1/ID2)	0.625 in 16.00 mm
Max. Bore (Dimensions ID1/ID2)	1.875 in 48.00 mm
Hub Length	2.75 in 69.85 mm

Dimension G	1 in 25.40 mm
Dimension HD	3.190 in 81.03 mm
Dimension SL	0.630 in 16.00 mm
Cubic inches	49.67188 in ³

Performance Data

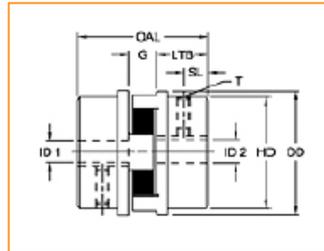
Nominal Torque	1240.00 in-lb
Max. Speed	5000 rpm
Moment of Inertia (Solid) WR^2	7.002 lb-in ²
Rated HP at 100 rpm	2.00 hp
Rated HP at 1,200 rpm	24.00 hp
Rated HP at 1,800 rpm	35.00 hp
Rated HP at 3,600 rpm	72.00 hp



Lovejoy, Inc.
2655 Wisconsin Avenue
Downers Grove, IL 60515
Phone: 630-852-0500 • Fax: 630-852-2120
Email: info@lovejoy-inc.com
Website: www.lovejoy-inc.com

Item Number 68514412288, L Type Hubs with Keyway - Inch (Imperial) Bores

- Standard L Type coupling hub materials are either sintered iron (L035-L190) or cast iron (L225-L276).
- The L Type coupling consists of two standard L Type hubs and one spider.
- Unless stated otherwise, hub torque and horsepower ratings assume a SOX(NBR) rubber spider is being used.



Specifications

Description	L190 HUB 1" 1/4X1/8 KW
Hub Style	2
Coupling Type	Jaw
Material	Sintered Iron
Color	Metallic
# of Jaws	3
Elastomeric Member	SOX (NBR) Rubber
Weight	7.20 lb
Weight (Complete Coupling w/ Max. Bores)	15.30 lb
Weight (Complete Coupling w/ Min. Bores)	12.30 lb

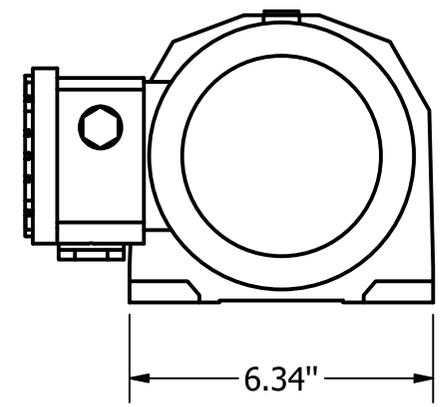
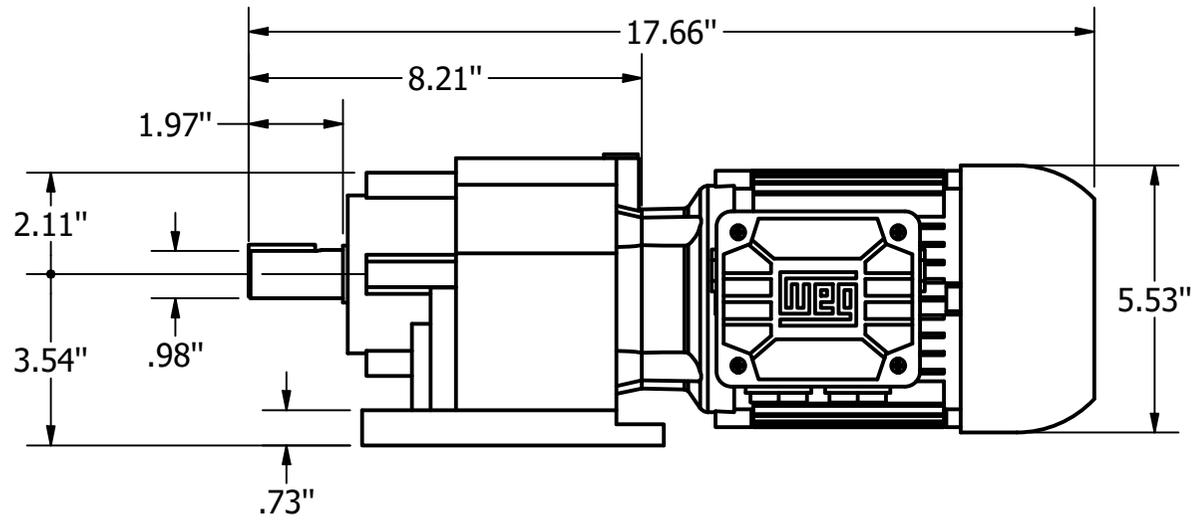
Dimensional Data

Bore Size	1 in
Coupling Size	L190
Keyway Size (W x D)	1/4 x 1/8 in
Length thru Bore	1.94 in 49.28 mm
Overall Length	4.860 in 123.44 mm
Outside Diameter	4.50 in 114.30 mm
Min. Bore (Dimensions ID1/ID2)	0.750 in 19.00 mm
Max. Bore (Dimensions ID1/ID2)	2.125 in 54.00 mm
Hub Length	2.940 in 74.68 mm
Dimension G	1 in 25.40 mm
Dimension SL	0.880 in 22.35 mm
Dimension T	1/2-13
Cubic inches	59.535 in ³

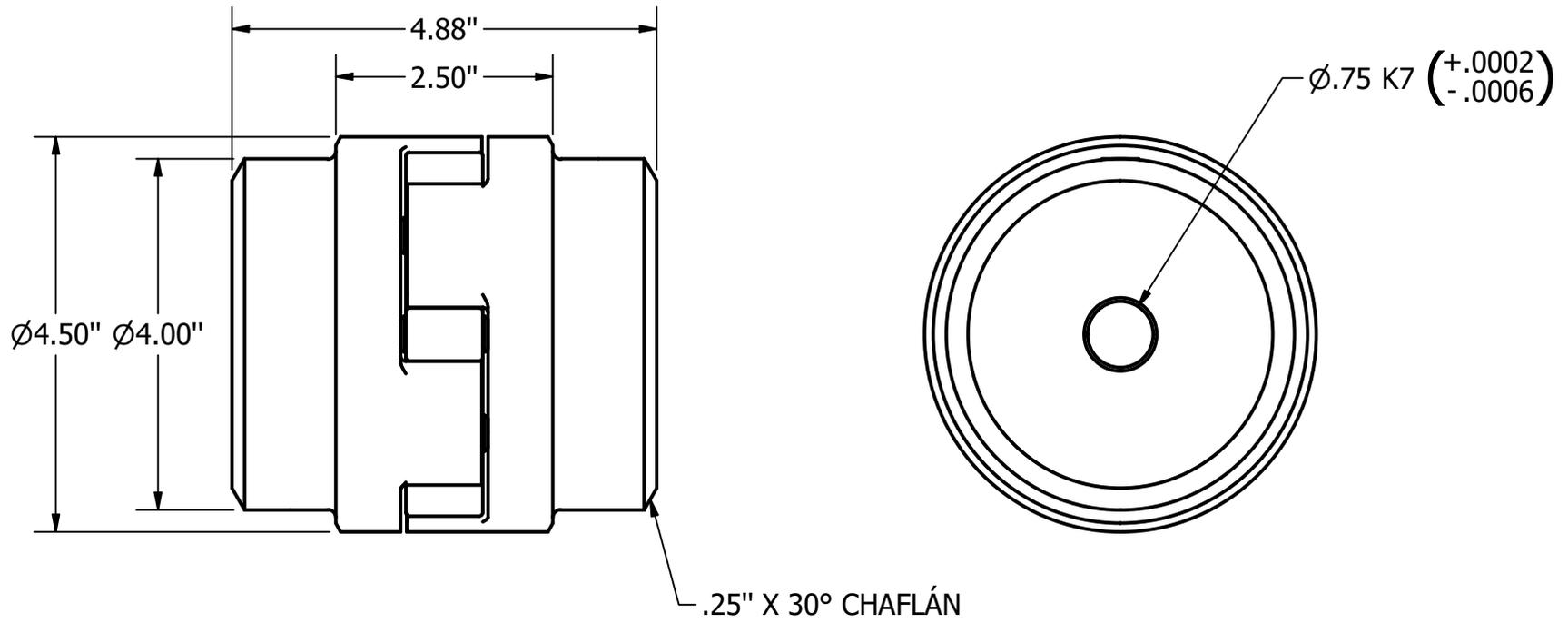
Performance Data

Nominal Torque	1728.00 in-lb
Max. Speed	5000 rpm
Rated HP at 100 rpm	2.70 hp
Rated HP at 1,200 rpm	32.40 hp
Rated HP at 1,800 rpm	49.00 hp
Rated HP at 3,600 rpm	97.20 hp

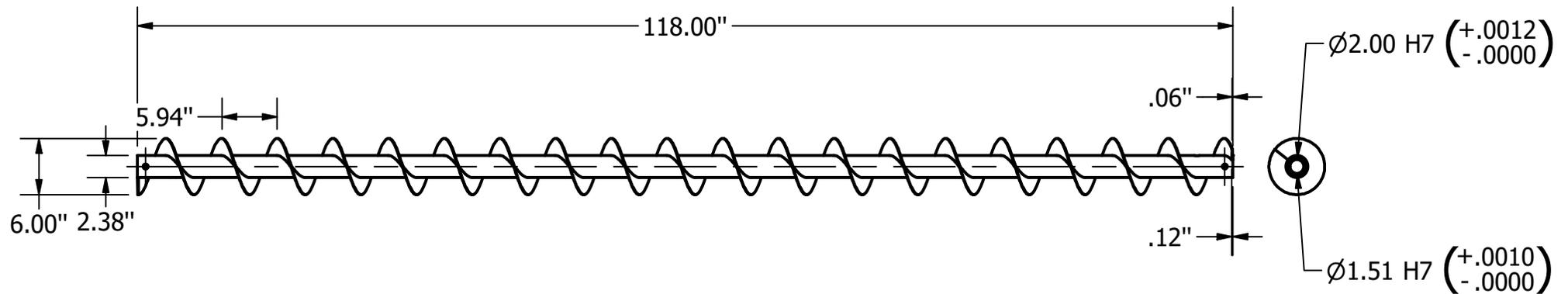
ANEXO IV



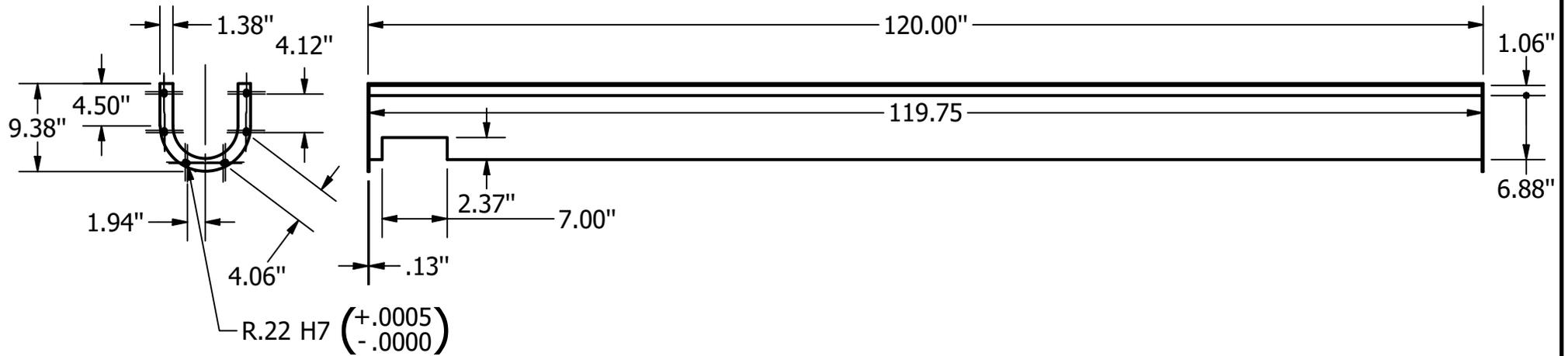
Trat. Térmico	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Victor Montenegro	
MATERIAL: ALUMINIO		Tol. Gral. ±0,005	Escala: 1 : 4	Dis.	Victor Montenegro
				Rev.	Ing. Mario Cesen
MOTORREDUCTOR			1.01		Fecha: 02-08-23



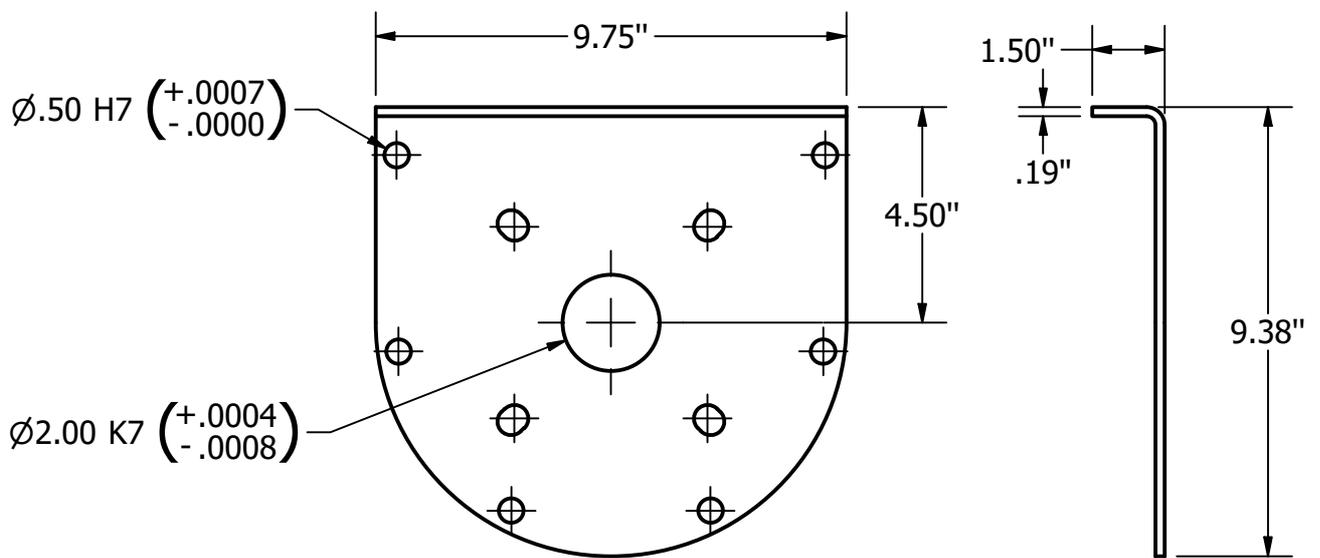
Trat. Térmico	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Victor Montenegro	
MATERIAL:		Escala: 1 : 2	Dis.	Victor Montenegro	
-			Tol. Gral. ±0,005	Rev.	Ing. Mario Cesen
ACOPLE FLEXIBLE			1.02		Fecha: 09-08-23



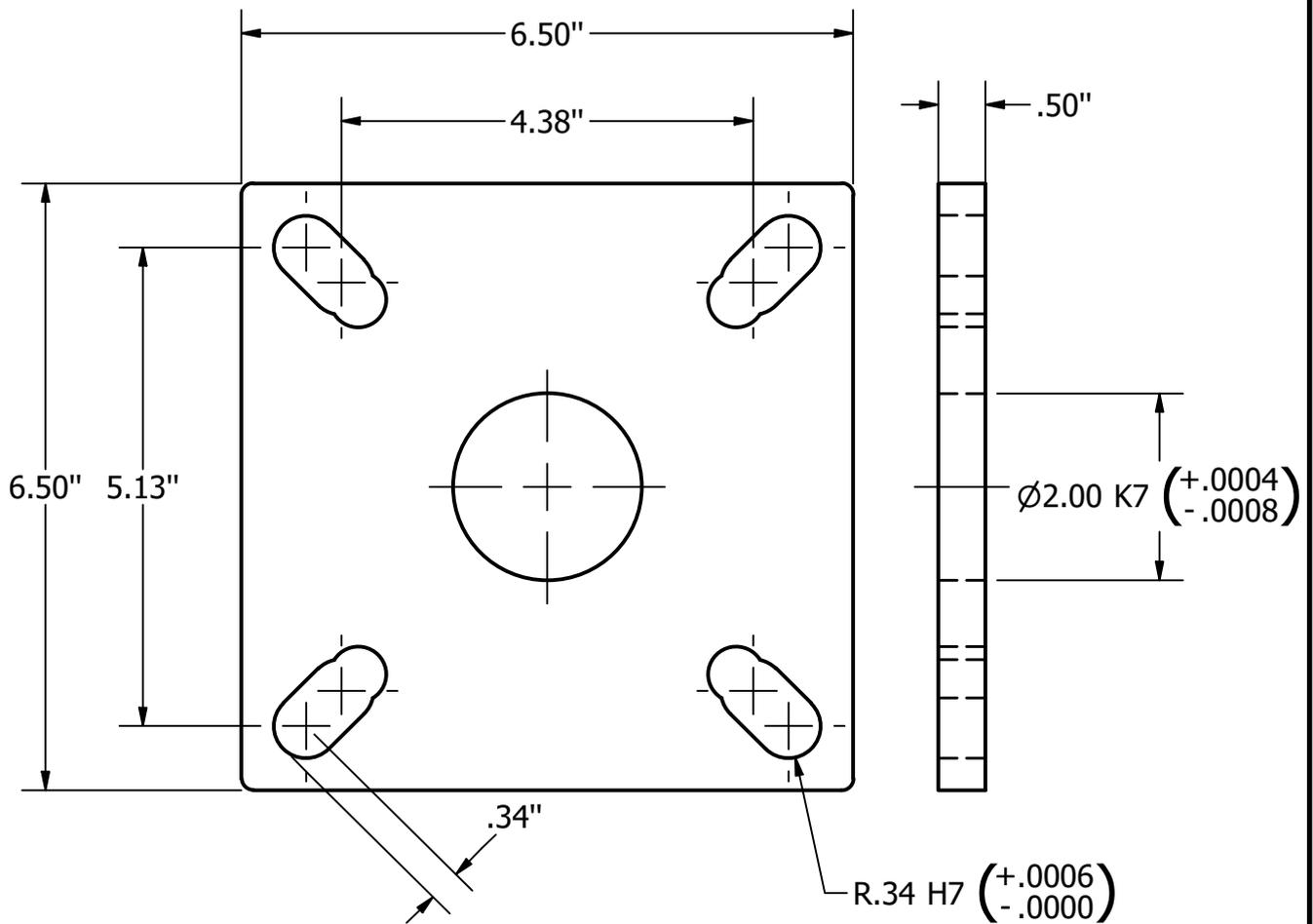
Trat. Térmico	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Victor Montenegro	
MATERIAL: AISI 316		Tol. Gral. ±0,005	Escala: 1 : 16	Dis.	Victor Montenegro
				Rev.	Ing. Mario Cesen
TORNILLO HELICOIDAL			1.03	Fecha: 22-08-23	



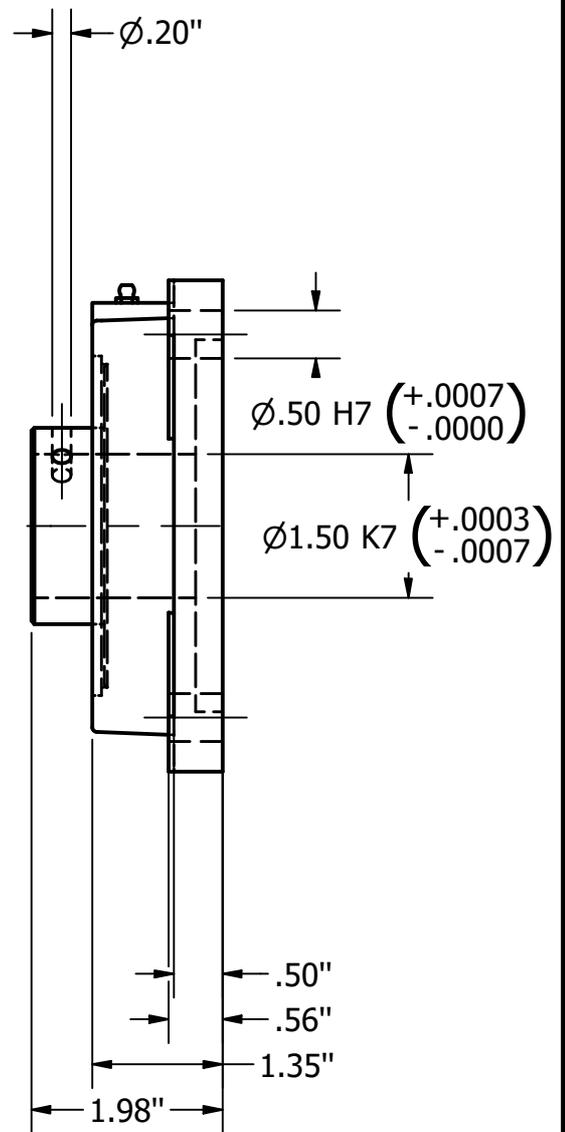
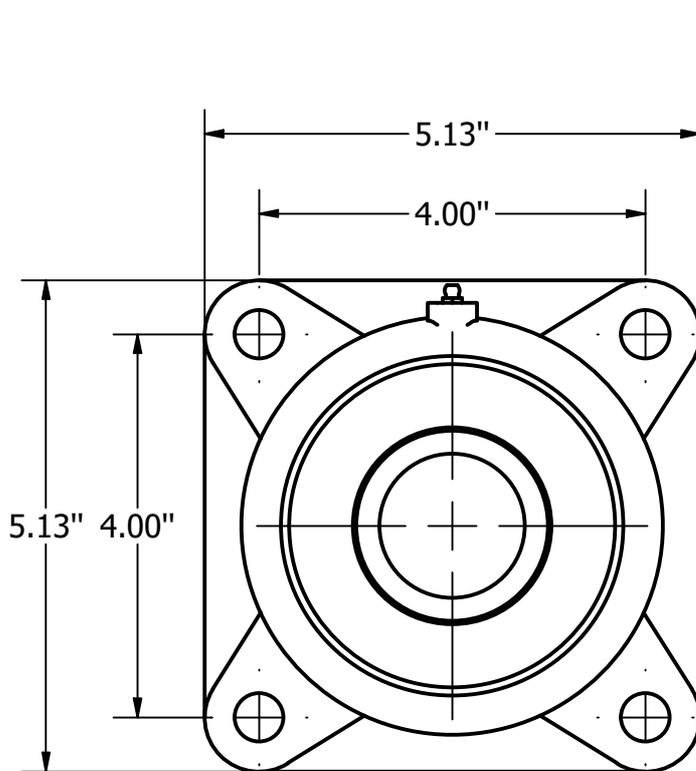
Trat. Térmico	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Victor Montenegro	
MATERIAL:		Escala: 1 : 16	Dis.	Victor Montenegro	
AISI 316			Tol. Gral. ±0,005	Rev.	Ing. Mario Cesen
CANALETA			1.04		Fecha: 22-08-23



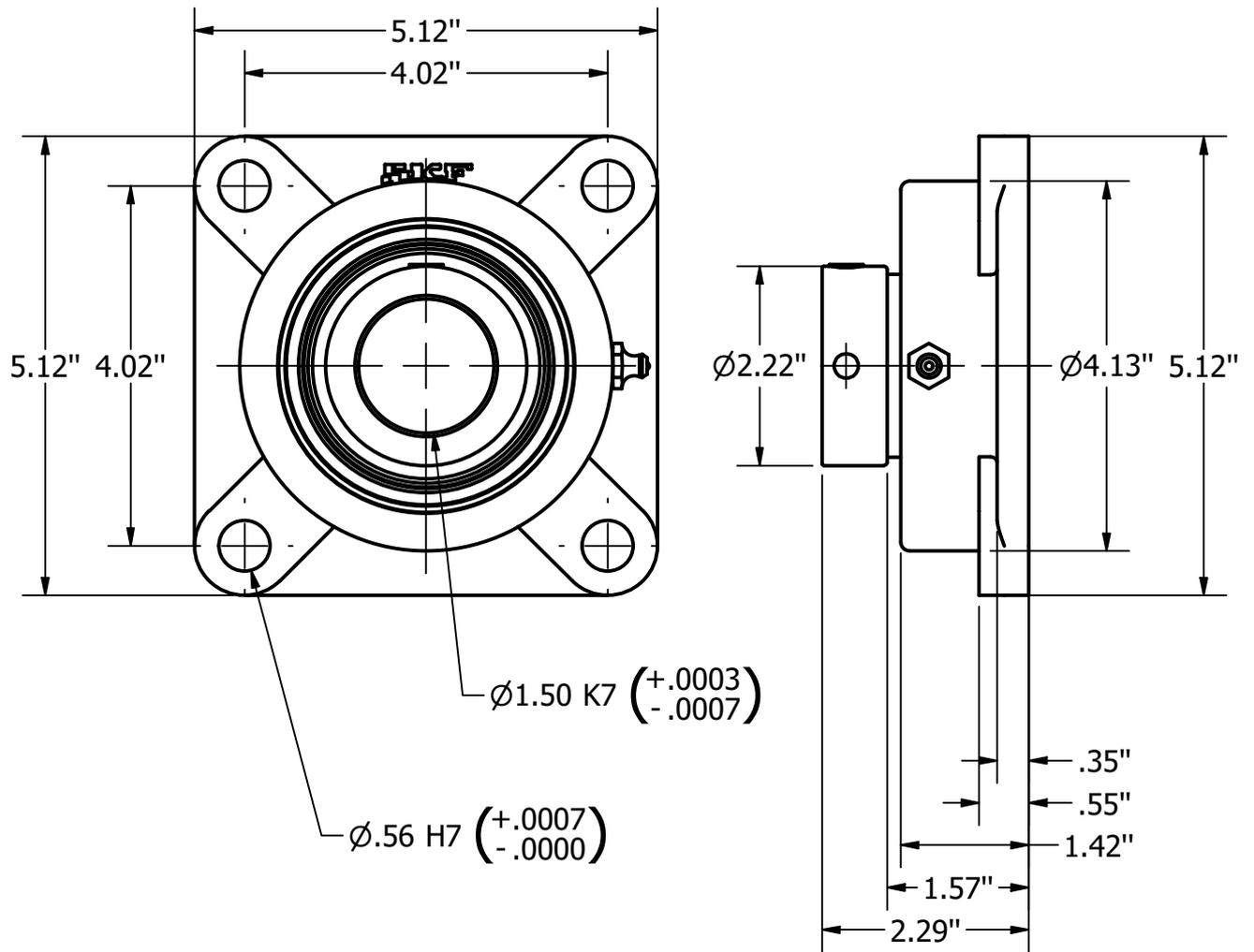
Trat. Térmico	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Victor Montenegro	
MATERIAL: AISI 316		Tol. Gral. ±0,005	Escala: 1 : 4	Dis.	Victor Montenegro
				Rev.	Ing. Mario Cesen
EXTREMO CANALETA			1.05	Fecha:	22-08-23



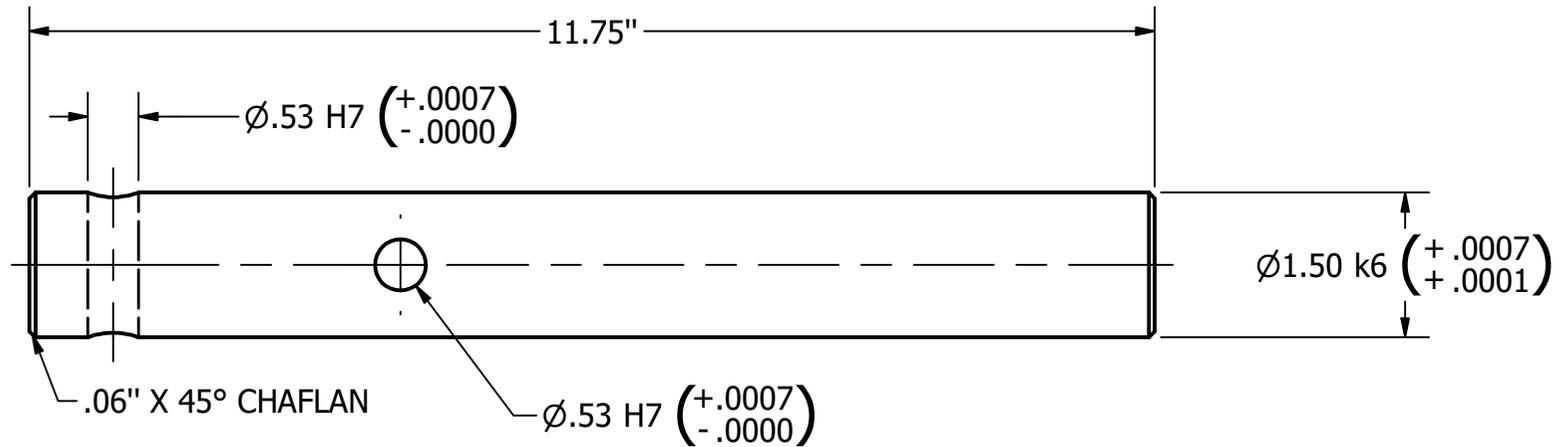
Trat. Térmico	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Victor Montenegro	
MATERIAL: AISI 316		Tol. Gral. 0,005	Escala: 1 : 2	Dis.	Victor Montenegro
				Rev.	Ing. Mario Cesen
SELLO DE PLACA			1.06	Fecha: 22-08-23	



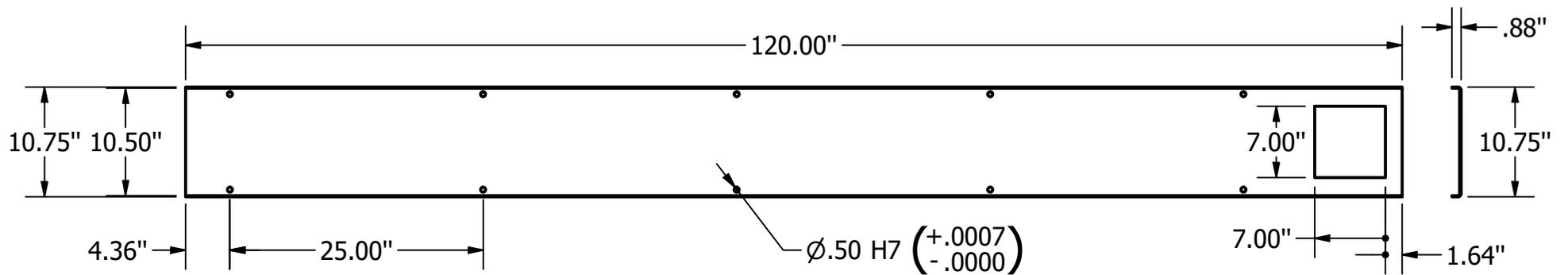
Trat. Térmico	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Victor Montenegro	
MATERIAL:		Escala: 1 / 2	Dis.	Victor Montenegro	
-			Tol. Gral. ±0,005	Rev.	Ing. Mario Cesen
CHUMACERA SALIDA			1.07	Fecha: 22-08-23	



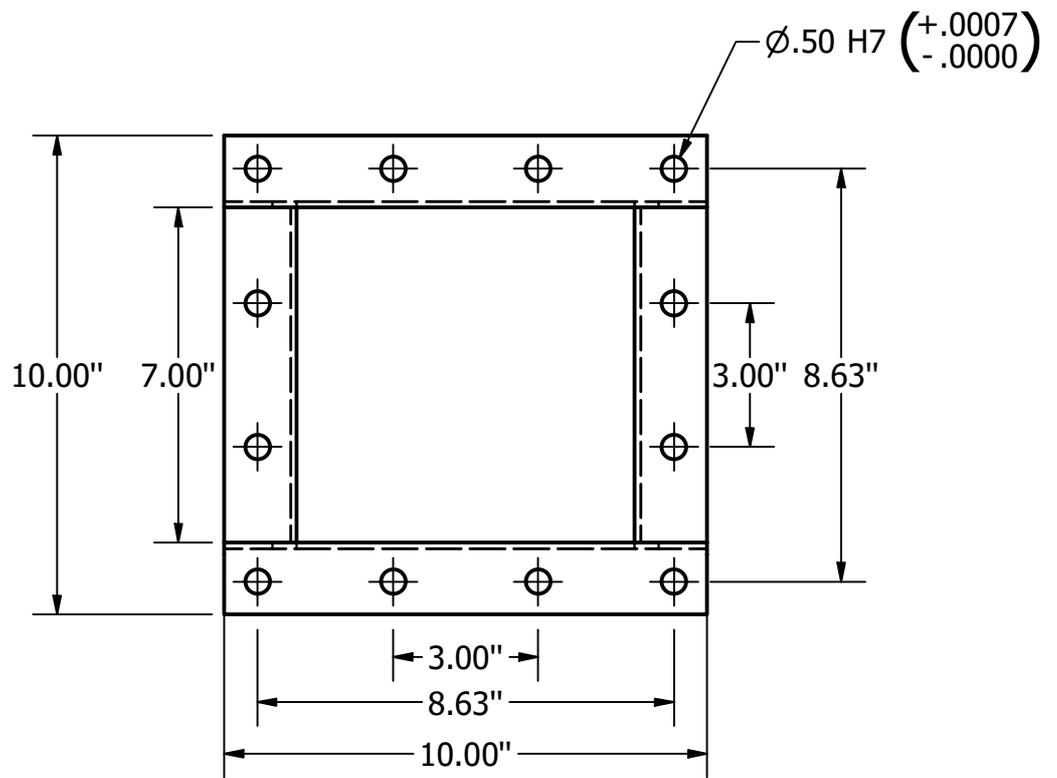
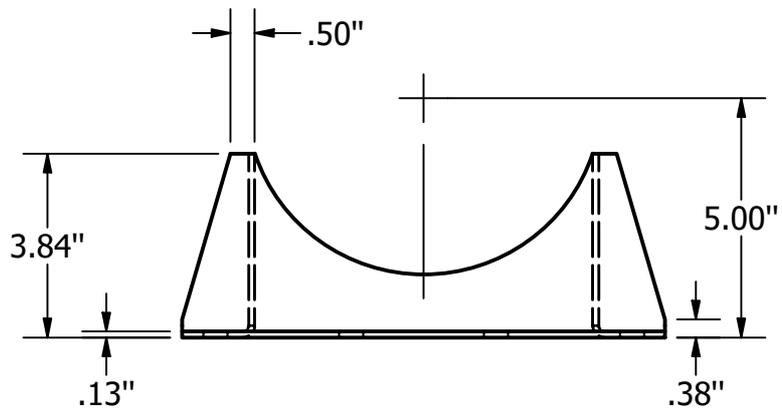
Trat. Térmico	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Victor Montenegro
MATERIAL:	-	Escala: 1 / 2	Dis.	Victor Montenegro
			Rev.	Ing. Mario Cesen
CHUMACERA ENTRADA			1.08	Fecha: 22-08-23



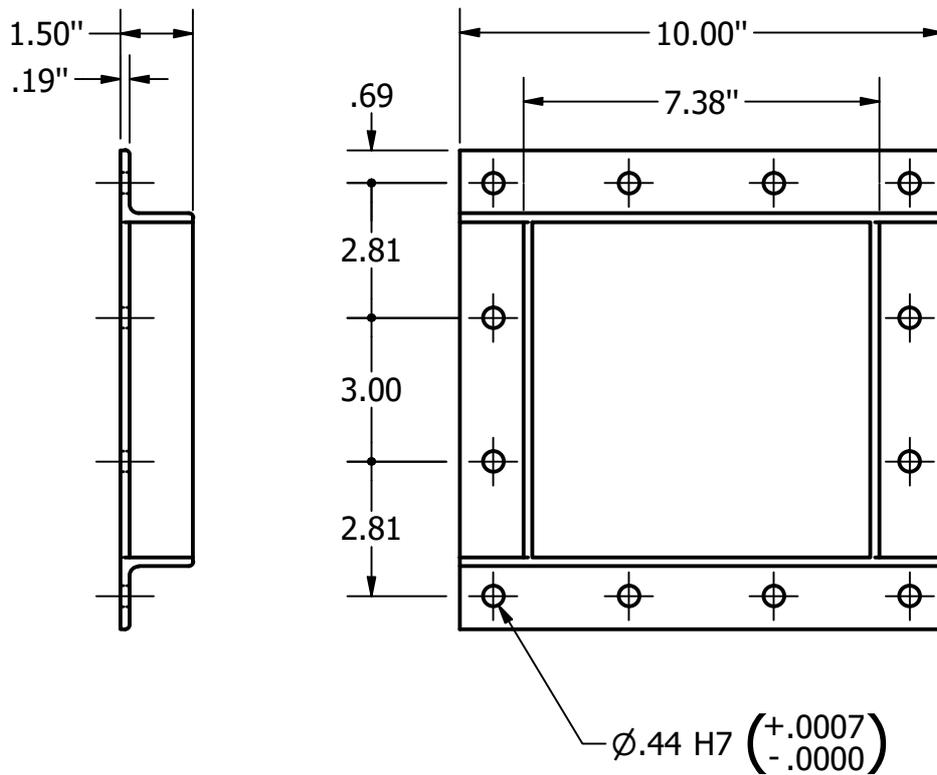
Trat. Térmico	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Victor Montenegro	
MATERIAL: AISI 316		Tol. Gral. ±0,005	Escala: 1 : 2	Dis.	Victor Montenegro
				Rev.	Ing. Mario Cesen
EJES EXTREMOS			1.09	Fecha: 22-08-23	



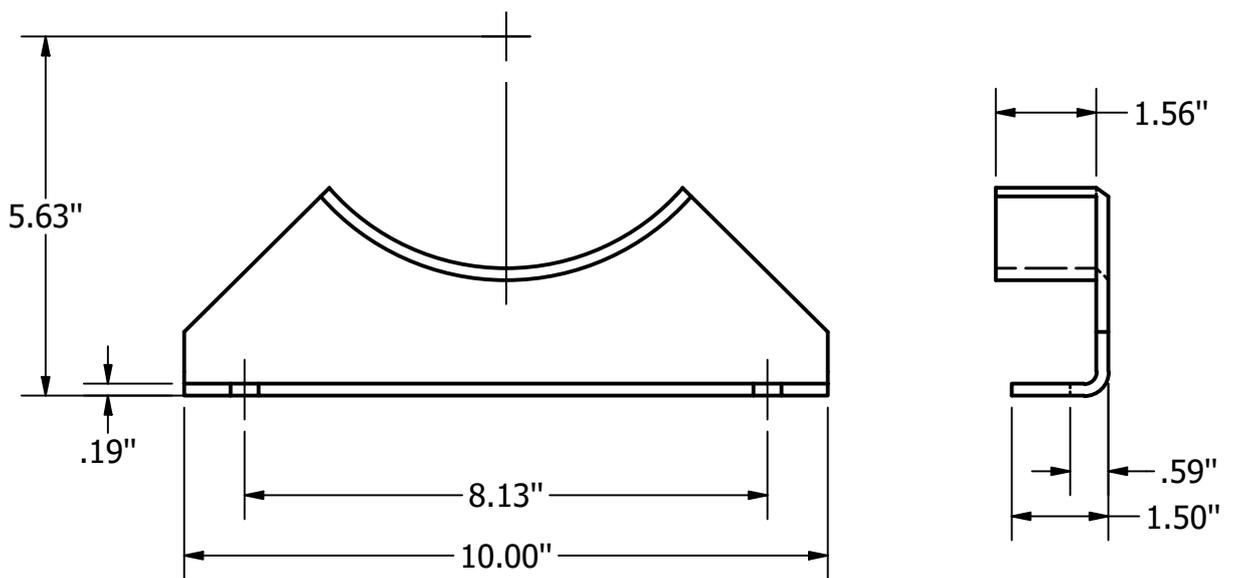
Trat. Térmico	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Victor Montenegro	
MATERIAL: AISI 316		Tol. Gral. ±0,005	Escala: 1 : 15	Dis.	Victor Montenegro
				Rev.	Ing. Mario Cesen
CUBIERTA			1.10	Fecha: 22-08-23	



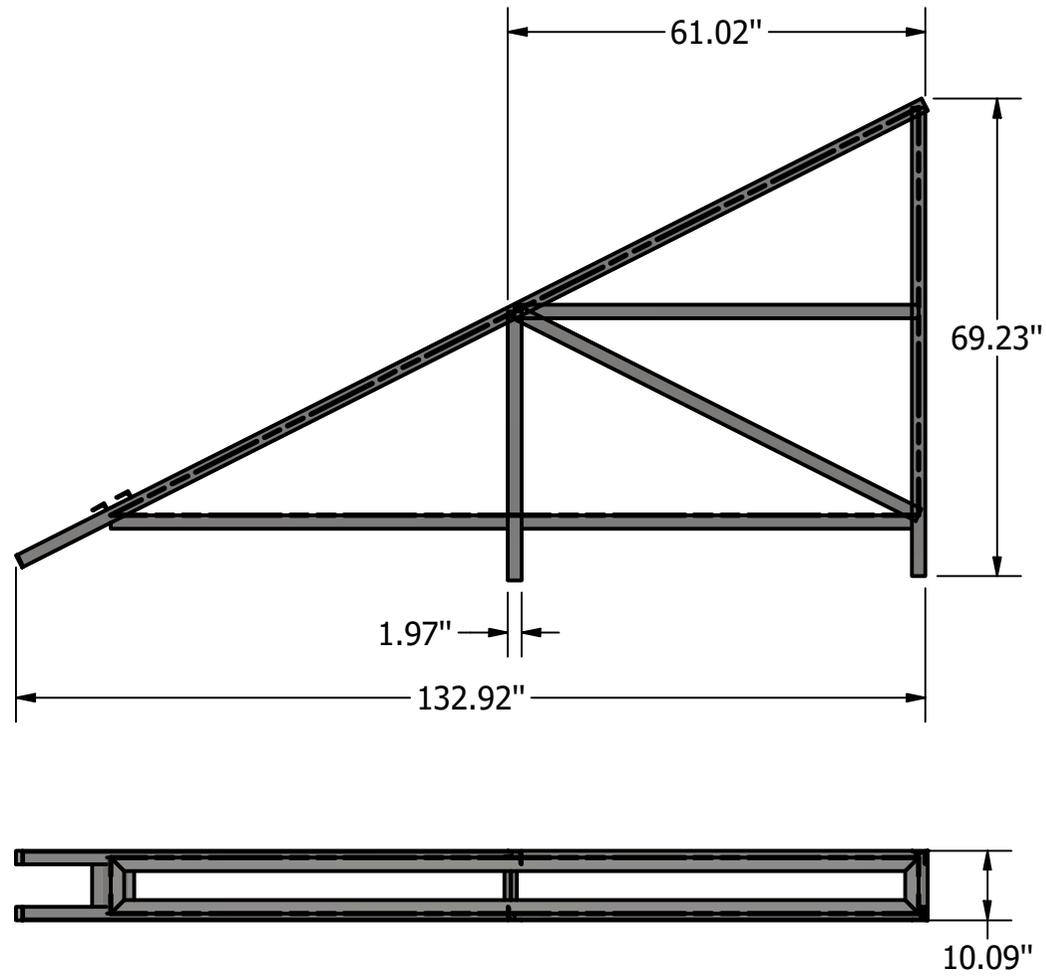
Trat. Térmico	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Victor Montenegro	
MATERIAL: AISI 316		Tol. Gral. ±0,005	Escala: 1 : 4	Dis.	Victor Montenegro
				Rev.	Ing. Mario Cesen
BOQUILLA DE DESCARGA			1.11	Fecha: 22-08-23	



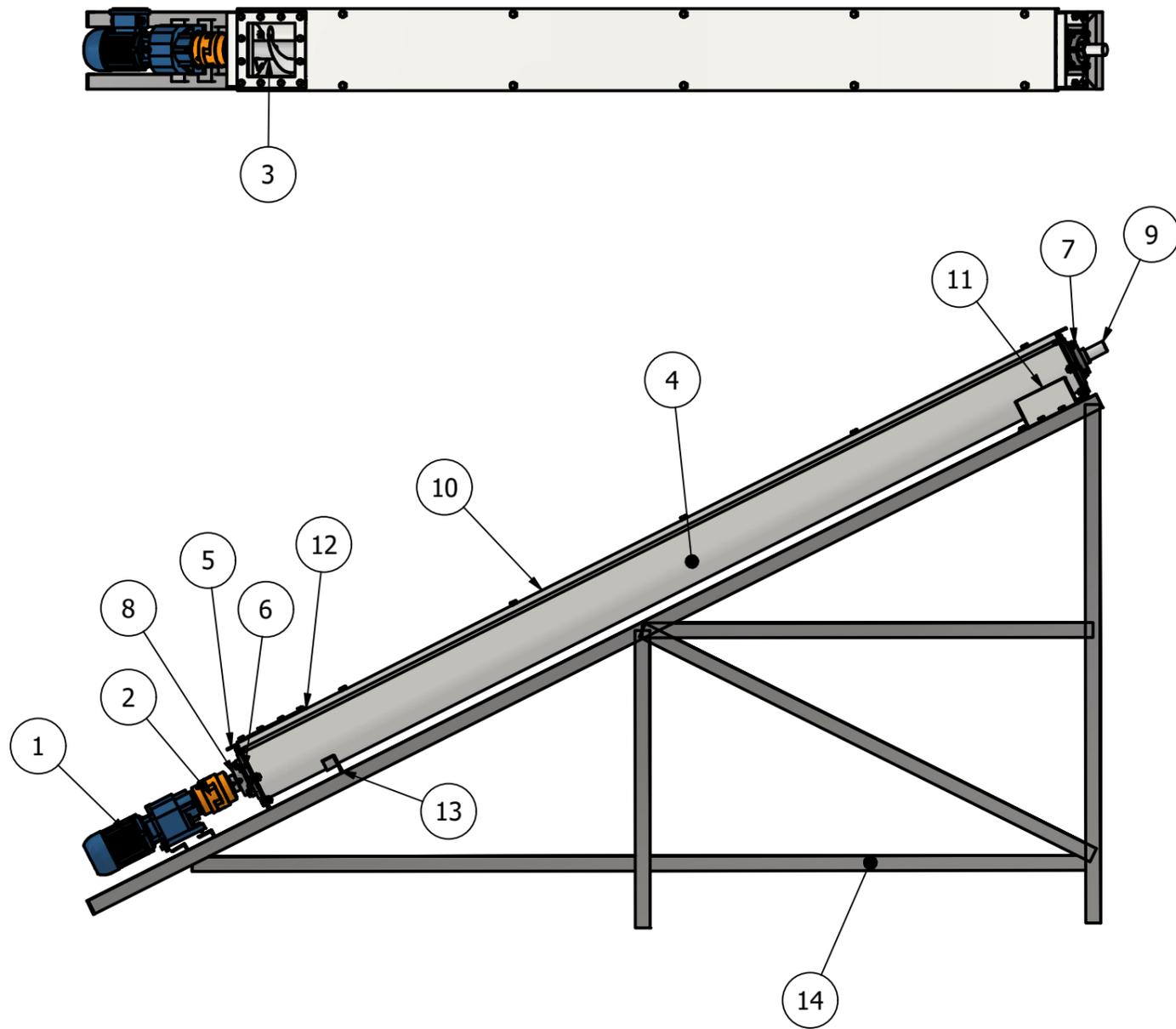
Trat. Térmico	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Victor Montenegro	
MATERIAL: AISI 316		Tol. Gral. ±0,005	Escala: 1 : 4	Dis.	Victor Montenegro
				Rev.	Ing. Mario Cesen
BOQUILLA ENTRADA			1.12	Fecha: 22-08-23	



Trat. Térmico	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Victor Montenegro	
MATERIAL: ASTM A36		Tol. Gral. ±0,005	Escala: 1 : 3	Dis.	Victor Montenegro
SILLETA		1.13		Rev.	Ing. Mario Cesen
				Fecha: 22-08-23	



Trat. Térmico	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Victor Montenegro	
MATERIAL: ASTM A36		Tol. Gral. ±0,005	Escala: 1 :28	Dis.	Victor Montenegro
				Rev.	Ing. Mario Cesen
ESTRUCTURA BASE				1.14	Fecha: 10-02-24



PARTS LIST			
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION
21	12	ANSI/ASME B18.2.1 - 1/2-13 UNC - 1, HBI	Hex Bolt - UNC (Regular Thread - Inch)
20	2	ANSI/ASME B18.2.1 - 5/16-18 UNC - 0.875, HBI	Hex Bolt - UNC (Regular Thread - Inch)
19	16	ANSI/ASME B18.2.1 - 7/16-14 UNC - 0.875, HBI	Hex Bolt - UNC (Regular Thread - Inch)
18	22	ANSI/ASME B18.2.1 - 1/2-13 UNC - 0.75, HBI	Hex Bolt - UNC (Regular Thread - Inch)
17	20	ANSI B18.2.2 - 1/2 - 13, HNI	Hex Nuts (Inch Series) Hex Nut
16	8	ANSI B18.22.1 - 1/2 - wide - Type A	Plain Washer (Inch)Type A and B
15	8	ANSI/ASME B18.2.1 - 1/2-13 UNC - 1.75, HBI	Hex Bolt - UNC (Regular Thread - Inch)
14	1	1.14	ESTRUCTURA BASE
13	1	1.13	SILLETA
12	1	1.12	BOQUILLA ENTRADA
11	1	1.11	BOQUILLA DE DESCARGA
10	1	1.10	CUBIERTA
9	2	1.09	EJES EXTREMOS
8	1	1.08	CHUMACERA ENTRADA
7	1	1.07	CHUMACERA SALIDA
6	2	1.06	SELLO DE PLACA
5	2	1.05	EXTREMO CANALETA
4	1	1.04	CANALETA
3	1	1.03	TORNILLO HELICOIDAL
2	1	1.02	ACOPLE FLEXIBLE
1	1	1.01	MOTORREDUCTOR

1	-	-	ANSI/CEMA 350	1	-	Ninguna
EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA			Dib.	Victor Montenegro	
				Dis.	Victor Montenegro	
				Rev.	Ing. Mario Cesen	
ELEVADOR HELICOIDAL				1.00		Fecha: 10-02-24

Escala:
1 : 20