

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

“Diseño de una tolva de almacenamiento y descarga de subproductos de
atún”

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Mecánico

Presentado por:

Michael Paúl Vera Villacís

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2020

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a mi madre y mi hijo, quienes han sido mi inspiración y motivo durante toda mi carrera académica. A mi padre por ser un ejemplo a seguir. A mi pareja por ser mi apoyo incondicional. A los docentes por los conocimientos y experiencias compartidas. A mis amigos por su aliento y respaldo en las buenas y las malas.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi más sincero agradecimiento a mi tutor M. Sc. Galo Durazno y a mi coordinador Ing. José Macías quienes me guiaron en la realización de este proyecto, a mis compañeros de trabajo que me dieron recomendaciones en las diferentes etapas de diseño. A todos los profesores que me impartieron su conocimiento para obtener la formación académica que tengo.

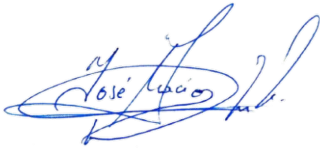
DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, me corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Michael Paúl Vera Villacís doy mi consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”



Michael Paúl Vera Villacís

EVALUADORES



.....
Ing. José Macías Zambrano

CS CamScanner
PROFESOR DE LA MATERIA



.....
M. Sc. Galo Durazno Palacios

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

Actualmente una compañía dedicada a la fabricación de harina y aceite de pescado aumentó su volumen de producción gracias al incremento de proveedores de subproductos de atún. La empresa cuenta con un área de recepción de materia prima cuya capacidad de almacenamiento es menor a la cantidad recibida, por tal motivo existe una etapa de proceso adicional que consiste en descargar los subproductos en contenedores y mediante el uso de montacargas trasladar la materia prima hacia la sala de proceso. Se tiene como objetivo diseñar una tolva para almacenar el subproducto de atún entregado por el proveedor, con sus respectivos sistemas de alimentación y descarga. Los sistemas del tornillo sinfín de 14" de diámetro para la alimentación y tres tornillos sinfín de 16" de diámetro para la descarga, se dimensionaron en base al manual CEMA. A partir del Eurocódigo se diseñó la tolva en acero inoxidable 304 de 12 mm de espesor. Adicionalmente se realizó la simulación de la estructura, utilizando ANSYS, donde se evidenciaron que los esfuerzos y deformaciones se encuentran dentro de rangos permisibles, además se obtuvo un valor de factor de seguridad alto, con lo cual se pudo validar nuestro diseño. Se concluye que con el diseño propuesto se podrá ingresar un flujo másico de 2000 Kg/h de subproductos de atún que serán almacenados hasta una capacidad de 26 toneladas con un flujo másico de descarga de 12000 Kg/h, siendo un diseño de fácil mantenimiento, limpieza efectiva y garantizando la inocuidad del producto.

Palabras Clave: Subproductos de atún, tolva, transportador helicoidal, elementos finitos.

ABSTRACT

A fish meal and oil manufacturing company has increased its production volume due to the increase in suppliers of tuna by-products. This company has a raw material reception area short in storage capacity compared to the quantities are currently delivered by the suppliers, this creates an additional process stage that consists of storing the raw material in containers and using a forklift to transport this container to the further process room. The objective is to design a hopper capable of storing the tuna by-product delivered by the supplier, and the systems for feeding and discharging the raw material. The systems of the 14" diameter screw conveyor for feeding and three 16" diameter screw conveyor for the discharge were designed consulting the CEMA manual. And the design for the hopper was based on the Eurocode, having a resulting thickness of 12 mm considering stainless steel as the main material. Additionally, a simulation for the structure was carried out by using ANSYS, where it could be evidenced that the stresses and deformations are within permissible ranges and in addition to a high safety factor value, the design is validated. It can be concluding, that with this proposed design, the tuna by-products will be loaded by the feeding screw conveyor in to hopper at a rate of 200 Kg/h up to a capacity of 16 tons and will be discharged at a rate of 12000 Kg/h, while maintaining an easy maintenance, cleaning effective and safety guaranteeing design.

Keywords: Tuna by-products, hopper, screw conveyor, finite elements.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS.....	VI
SIMBOLOGÍA.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
ÍNDICE DE PLANOS.....	XII
CAPÍTULO 1.....	1
1. Introducción.....	1
1.1 Definición del Problema.....	1
1.2 Justificación del proyecto.....	1
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 Objetivo General.....	2
1.3.2 Objetivos Específicos.....	2
1.4 Marco teórico.....	2
1.4.1 Subproductos de Pescado.....	2
1.4.2 Harina de Pescado.....	3
1.4.3 Aceite de Pescado.....	3
1.4.4 Fabricación de Harina y Aceite de Pescado.....	3
1.4.4.1 Diagrama de flujo de proceso.....	3
1.4.4.2 Manejo de Subproductos.....	4
1.4.4.3 Cocción y Prensado.....	5
1.4.4.4 Separación de Aceite.....	5
1.4.4.5 Evaporación de agua de cola.....	6
1.4.4.6 Secado y Molienda.....	6
CAPÍTULO 2.....	7
2. Metodología.....	7
2.1 Flujograma de diseño, caja negra y caja transparente.....	7
2.2 Requerimientos y especificaciones de diseño.....	8
2.2.1 Requerimientos de diseño.....	8
2.2.2 Parámetros de diseño.....	9

2.3	Mecanismos de transporte	10
2.3.1	Tornillo sinfín.....	10
2.3.2	Banda transportadora	11
2.3.3	Bomba de pescado	11
2.4	Análisis y selección de alternativa	12
2.5	Diseño de forma	14
2.6	Diseño detallado.....	15
2.6.1	Sistema de alimentación y descarga	15
2.6.1.1	Requerimientos de transporte	15
2.6.1.2	Características del material	15
2.6.1.3	Capacidad de transporte	17
2.6.1.4	Potencia requerida por el transportador	18
2.6.1.5	Tamaño de componentes del transportador.....	21
2.6.1.6	Torque aplicado al transportador.....	22
2.6.1.7	Deflexión y expansión térmica del transportador.....	22
2.6.1.8	Componentes de un tornillo sinfín	24
2.6.2	Tolva de almacenamiento	25
2.6.2.1	Requerimientos de almacenaje	25
2.6.2.2	Características del material	26
2.6.2.3	Parámetros de geometría de la tolva	27
2.6.2.4	Cargas aplicadas en la tolva	29
2.6.2.5	Espesor de plancha de la tolva	32
2.6.2.6	Simulación de la tolva	32
CAPÍTULO 3.....		35
3.	Resultados Y ANÁLISIS	35
3.1	Sistema de alimentación y descarga	35
3.2	Tolva de almacenamiento	36
3.3	Resultados de la simulación de la tolva.....	37
3.4	Análisis de costos.....	39
3.5	Diseño Final	40
CAPÍTULO 4.....		42
4.	Conclusiones Y Recomendaciones	42
4.1	Conclusiones	42
4.2	Recomendaciones.....	43

BIBLIOGRAFÍA
APÉNDICES

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
CEMA	Conveyor Equipment Manufacturers Association
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación
EPA	Ácido eicosapentaenoico
DHA	Ácido docosahexaenoico

SIMBOLOGÍA

m	metro
Hp	Caballo de fuerza
Kg	Kilogramo
h	Hora
in	Pulgada
Ton	Tonelada
ft	Pie
rpm	Revoluciones por minuto
lb.in	Libras por pulgada
Pa	Pascales
psi	Libras por pulgada cuadrada
Hz	Hertz
N	Velocidad del tornillo
C	Capacidad del tornillo
HP _f	Potencia de fricción
HP _m	Potencia del material
HP _t	Potencia total
F _o	Factor de sobrecarga
E	Eficiencia de transmisión
L	Longitud del tornillo
F _d	Factor de diámetro del tornillo
F _b	Factor de soporte del tornillo
ρ	Densidad del material
F _m	Factor de material
F _f	Factor de tipo de hélice del tornillo
F _p	Factor de tipo de paleta
T	Torque
D	Deflexión
E	Módulo de Young
I	Inercia
W	Peso
°	Grados

ΔL	Dilatación térmica
C	Coeficiente lineal de expansión
δ_w	Ángulo de fricción externa
Δ	Ángulo de fricción interna
μ_w	Coeficiente de fricción externa
μ	Coeficiente de fricción interna
β	Ángulo de tolva
ff	Factor de flujo
σ_{crit}	Esfuerzo critico
σ_1	Esfuerzo
H(θ)	Factor de variación de arco
g	Gravedad
B	Ancho de boca de tolva
K	Coeficiente de presiones laterales
P_{vf}	Presión vertical
γ	Peso específico del material
Z_v	Profundidad de tolva
P_{vft}	Presión vertical media
C_b	Coeficiente de mayoración
μ_{heff}	Rozamiento movilizado
F_f	Coeficiente de presiones de llenado
b	Coeficiente empírico en tolvas
n	Potencia de coeficiente de llenado
S	Coeficiente de geometría en tolvas
P_v	Presión vertical
P_{nf}	Presión normal
P_{tf}	Presión de tracción
A	Área de tolva
U	Perímetro de tolva
P_n	Presión de llenado de tolva
H_h	Altura de la tolva
x	Coordenada vertical de tolva
lh	Hipotenusa de tolva

t	Espesor de plancha de tolva
Fs	Factor de seguridad
σ_f	Esfuerzo de fluencia
d	Diámetro de tolva
Z	Números de dientes
ω	revoluciones

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Proceso de Harina y Aceite de Pescado	4
Figura 2.1 Flujograma de Diseño	7
Figura 2.2 Caja Negra	8
Figura 2.3 Caja Transparente.....	8
Figura 2.4 Transportador de tornillo	10
Figura 2.5 Banda transportadora.....	11
Figura 2.6 Bomba de pescado.....	12
Figura 2.7 Diseño de forma	14
Figura 2.8 Factor de sobrecarga, F_o	19
Figura 2.9 Componentes de un tornillo sinfín	25
Figura 2.10 Ángulo de reposo	26
Figura 2.11 Ángulo de fricción externa	26
Figura 2.12 Ángulo de fricción interna	27
Figura 2.13 Grafica de factor de flujo	28
Figura 2.14 Grafica de esfuerzo cortante vs esfuerzo de compactación	28
Figura 2.15 Grafica de factor K.....	29
Figura 2.16 Presiones aplicadas en una tolva	30
Figura 2.17 Definición del material	33
Figura 2.18 Mallado de pieza	33
Figura 2.19 Condición de soporte fijo	34
Figura 2.20 Simulación de distribución de cargas	34
Figura 3.1 Simulación de desplazamientos obtenidos.....	37
Figura 3.2 Simulación de esfuerzos resultantes	38
Figura 3.3 Simulación de factor de seguridad	38
Figura 3.4 Diseño final del proyecto	41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Escala de importancia	9
Tabla 2.2 Tabla de comparación por pares	9
Tabla 2.3 Tabla de sistemas y opciones	13
Tabla 2.4 Alternativas de diseño	13
Tabla 2.5 Escala de Especificaciones	14
Tabla 2.6 Matriz de decisiones	14
Tabla 2.7 Código de clasificación de material	16
Tabla 2.8 Características del material	16
Tabla 2.9 Factores de capacidad	17
Tabla 2.10 Capacidad de transporte	18
Tabla 2.11 Eficiencias mecánicas (arreglos comunes).....	20
Tabla 2.12 Factor de tipo de hélice F_f	20
Tabla 2.13 Factor de paletas, F_p	20
Tabla 2.14 Factor de diámetro de tornillo, F_d	21
Tabla 2.15 Factor de soporte de tornillo, F_b	21
Tabla 2.16 Grupo de componentes	21
Tabla 2.17 Límites de torque	22
Tabla 2.18 Momentos de inercia para tuberías	23
Tabla 2.19 Límites de deflexión y ángulo de punta.....	23
Tabla 2.20 Especificaciones de tornillo estándar.....	24
Tabla 3.1 Resumen de componentes seleccionados	36
Tabla 3.2 Costos del proyecto	39
Tabla 3.3 Costos generados por la compañía	40

ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1 Implementación general del proyecto

PLANO 2 Sistema de alimentación de la tolva

PLANO 3 Tolva de almacenamiento

PLANO 4 Sistema de descarga de la tolva

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Definición del Problema

Las pesqueras ecuatorianas han tenido un crecimiento exponencial en los últimos 30 años, producto de este crecimiento ha sido necesario aprovechar los subproductos que las mismas generan, por tal motivo se crean las industrias que procesan harina y aceite de pescado para generarle valor a esta materia prima.

Una compañía que fabrica harina y aceite a partir de subproductos de atún necesita determinar la forma óptima de almacenar la materia prima y descargarla hacia el galpón de procesos. Al momento se cuenta con un área de recepción de materia prima cuya capacidad es menor a la cantidad de subproductos que ingresa; por tal motivo se almacena el producto en contenedores hasta ser procesado.

1.2 Justificación del proyecto

La compañía cuenta con una tolva de recepción de materia prima, esta es abastecida por medio de dos vías, la primera por un transportador helicoidal con un sistema de pesaje durante las 24 horas y la segunda por medio de descarga de volquetas con una frecuencia de 3-4 veces por día.

La cantidad de materia prima recibida en ocasiones supera la capacidad de almacenamiento y es necesario realizar la descarga de las volquetas en contenedores, esto genera un costo de operación adicional por el uso de montacargas y químicos de limpieza para garantizar la inocuidad del producto final.

Se propone utilizar la tolva actual para descarga de volquetas y diseñar una nueva tolva para recibir el producto que se entrega por el transportador helicoidal.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar una tolva de almacenamiento de subproductos de atún con su respectivo sistema de alimentación y que permita descargar la materia prima hacia el galpón de procesos. Considerando que el diseño deberá permitir maniobras efectivas de limpieza y mantenimiento.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Diseñar la tolva de almacenamiento y los subsistemas de alimentación y descarga.
2. Realizar un análisis estructural mediante métodos de elementos finitos.
3. Seleccionar el tren motriz para los sistemas de alimentación y descarga
4. Realizar los planos de la tolva y los subsistemas.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Subproductos de Pescado

Los subproductos son aquellos residuos que se descartan de las empresas procesadoras del atún, siendo estos las vísceras, huesos, espinas, piel, cabezas y colas resultantes de las diferentes líneas de producción de dichas fábricas.

La calidad de la materia prima depende desde la fase de captura del pescado ya que influye los tiempos, condiciones, artes de pesca y tipos de almacenamiento utilizados para retardar de las actividades bioquímicas y microbiológicas después de la muerte del pescado.

Asimismo, si la materia prima es subproducto de atún depende de la calidad de los procesos utilizados en las atuneras, cantidad de agua utilizada al momento de generar los residuos y un correcto manejo de subproductos donde incluye la manipulación, almacenamiento, transporte y recepción, de esto dependerá los parámetros de proceso de la planta harinera.

1.4.2 Harina de Pescado

El término harina de pescado se refiere al producto sólido obtenido eliminando la mayor cantidad de agua y parte o totalidad de grasa del pescado. Esto se produce a partir de la cocción y prensado de la materia prima, luego pasa a un proceso de secado y molienda antes del envasado. Su mayor uso es como materia prima de alimentos balanceados para mascotas, ganadería y acuicultura, también es utilizada en forma de hidrolisis como fertilizante.

1.4.3 Aceite de Pescado

El término aceite de pescado se refiere al producto líquido obtenido eliminando la totalidad de agua de la fase acuosa generada en el proceso de prensado en la fabricación de harina de pescado. Esto se genera a partir de un proceso de clarificación, separación y purificación del licor de prensa. Su mayor uso es como materia prima de alimentos balanceados para mascotas, ganadería y acuicultura. Refinando el aceite se obtienen materias primas para la industria farmacéutica como lo son el ácido docosahexaenoico (DHA), ácido eicosapentaenoico (EPA) y Omegas 3 y 6.

1.4.4 Fabricación de Harina y Aceite de Pescado

1.4.4.1 Diagrama de flujo de proceso

En la Figura 1.1 se indica el diagrama de flujo del proceso de fabricación de harina y aceite de pescado. Estos procesos se describen a continuación: (A) Corte de pescado, (B) Almacenamiento de materia prima, (C) Cocción, (D) Filtrado, (E) Prensado, (F) Molienda húmeda, (G) Secado, (H) Purificado, (J) Molienda seca, (K) Envasado, (L) Condensación de gases, (M) Quemado de gases incondensables, (N) Decantación, (O) Almacenamiento de licor de decanter, (P) Centrifugado, (R) Almacenamiento de aceite sin pulir, (S) Pulido, (T) Almacenamiento de agua de cola, (U) Evaporación de agua de cola, (V) Almacenamiento de concentrado.

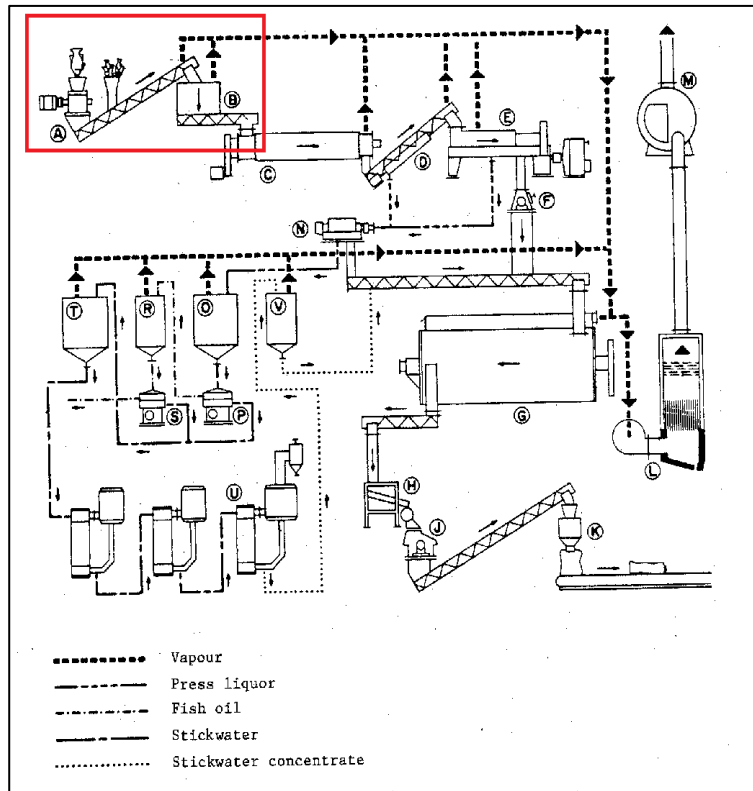


Figura 1.1 Proceso de Harina y Aceite de Pescado

Fuente: FAO

1.4.4.2 Manejo de Subproductos

El correcto manejo de subproductos garantizará una excelente calidad del producto final, por lo tanto, se deben tener las precauciones del caso y la manipulación se debe realizar precautelando la inocuidad del producto durante la generación de los residuos en sus diferentes líneas de proceso evitando cualquier tipo de contaminación cruzada. El almacenamiento debe ser uno de los puntos clave de las buenas prácticas, ya que los recipientes o tolvas pueden ser objeto de contaminación al considerar de manera errónea que el subproducto generado no se le puede agregar valor. El transporte debe ser efectuado a través de volquetas, transportadores o bombas que sean fáciles de limpiar y protecciones que impidan la contaminación del producto durante su traslado; la recepción se debe efectuar en un área limpia y sanitizada sean estas tolvas o piscinas, en un ambiente cerrado que evite el ingreso de plagas, se debe garantizar que las condiciones físico-organolépticas, bioquímicas y microbiológicas no se alteren y que el tiempo de residencia sea el menor posible.

1.4.4.3 Cocción y Prensado

El proceso de cocción tiene tres objetivos principales: esterilizar, coagular la proteína y liberar lípidos. Al someter la materia prima a una temperatura específica se detiene la actividad microbiológica y enzimática responsable de la degradación. Asimismo, las proteínas se coagulan en fase sólida y esto permite que la materia prima soporte la presión requerida para separar el aceite y se libera una cantidad importante de agua retenida. El proceso de prensado se realiza con la finalidad de extraer el aceite de pescado, separando la fase sólida de la líquida, un prensado eficiente se considera cuando la fase sólida contiene la menor cantidad de agua posible y la fracción de grasa es mínima, de igual manera la fase líquida debe contener la menor cantidad de sólidos y la mayor cantidad de grasa posible.

1.4.4.4 Separación de Aceite

El proceso de obtención de aceite de pescado se origina a partir del clarificado de la fase líquida obtenida del proceso de prensado anterior, utilizando fuerza centrífuga se separan los sólidos insolubles de la fase líquida, estos sólidos son recuperados y enviados a la línea de harina de pescado. La siguiente etapa corresponde a la separación de la fase líquida del proceso previo, con ayuda nuevamente de la fuerza centrífuga y velocidades superiores al proceso anterior se obtienen tres fracciones, aceite con un contenido mínimo de agua y/o sólidos que alcanzan trazas, sólidos solubles (agua de cola) mezclada con toda el agua alimentada y una mínima cantidad de sólidos insolubles con un poco de agua. Como proceso final se realiza una purificación del aceite retirando el agua en su totalidad para evitar la oxidación del este y poder conservarlo en los tanques de almacenamiento respectivos para su posterior despacho. Para este proceso se utiliza el mismo principio del proceso anterior, obteniendo tres fracciones, aceite sin agua ni sólidos, sólidos solubles (agua de cola) y una mínima fracción de sólidos insolubles con un poco de agua.

1.4.4.5 Evaporación de agua de cola

El proceso de concentración de solubles consiste en la eliminación de volúmenes importantes de agua por evaporación en equipos multietapas con un principio de intercambio de calor donde la energía utilizada es el vapor del pescado (Vaho) generado en los secadores del proceso de harina de pescado. Se utiliza vacío en el sistema para reducir las presiones y alcanzar la temperatura de ebullición de manera más rápida. El sistema cuenta con un separador, en el que el vapor se separa de la fase líquida concentrada y un condensador para condensar el vapor y eliminarlo del sistema. El producto obtenido de este proceso se ingresa en la etapa de secado de la línea de harina de pescado.

1.4.4.6 Secado y Molienda

El principal objetivo del secado es reducir la humedad de la torta del proceso de prensado a niveles que la cantidad de agua no permite el crecimiento de microorganismos, este nivel también debe evitar reacciones químicas en el producto para poder almacenarlo. Para poder retirar el agua de los sólidos, deben romperse las fuerzas moleculares del agua presente en el sustrato no acuoso, por lo tanto, se necesita energía suficiente para poder separar estas fuerzas y retirar el vapor de agua. Este proceso se realiza por lo general en dos etapas, una en la cual se homogenice el producto y se reduzca la humedad a la mitad o un poco más dependiendo de la materia prima, la segunda etapa se encarga de establecer la calidad final del producto reduciendo la humedad hasta el valor solicitado. El proceso de molienda se encarga a través de un principio de pulverización la granulometría establecida en la ficha técnica del producto para su posterior envasado.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

Se identificaron varias herramientas para el proceso de diseño, siendo una de las más efectivas la matriz de decisiones, la cual permitió seleccionar cual era la mejor alternativa para elaborar el diseño de forma. Con esto se pudo establecer los parámetros deseados para tolva y los sistemas de alimentación y descarga.

2.1 Flujoograma de diseño, caja negra y caja transparente

Mediante los requerimientos solicitados por el usuario, se establecieron los parámetros y/o condiciones de diseño para cada mecanismo, a continuación, en el flujoograma adjunto se explica los componentes a diseñar y seleccionar:

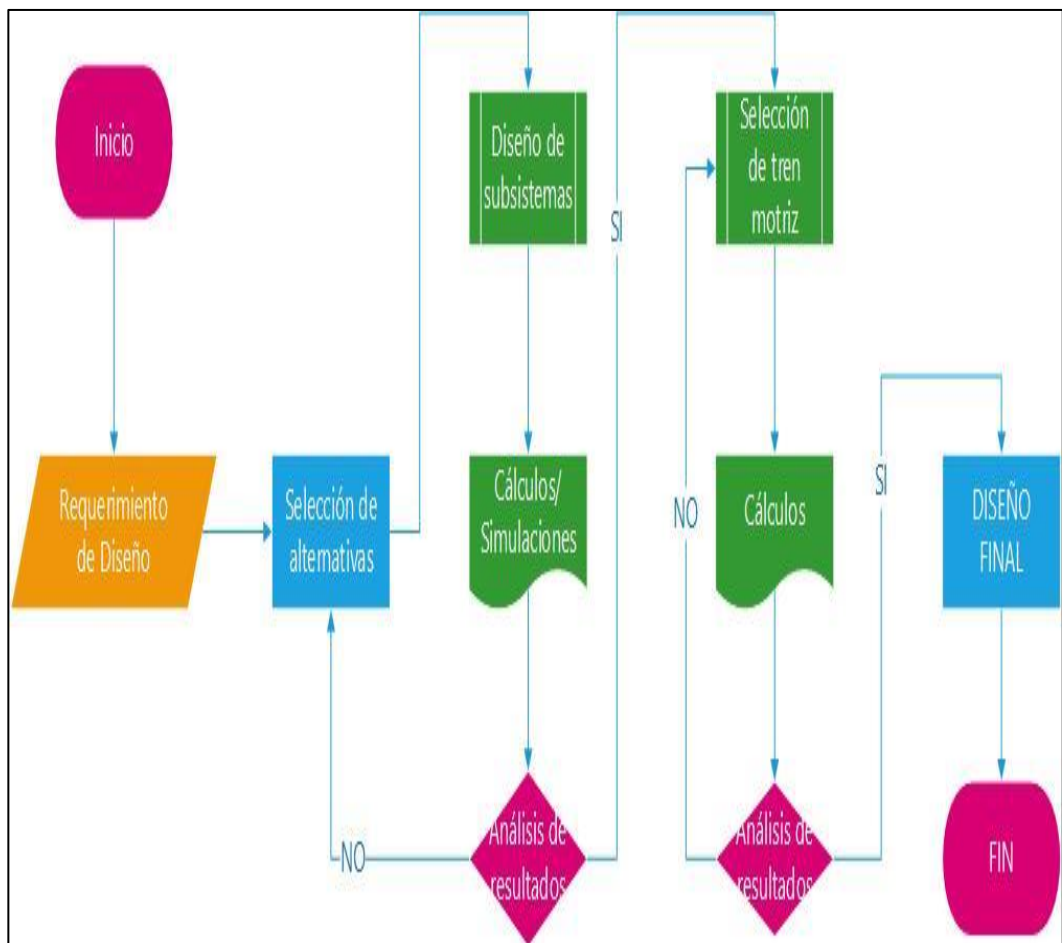


Figura 2.1 Flujoograma de Diseño

Fuente: Elaboración Propia

Usando las herramientas de caja negra y caja transparente, es posible ilustrar las entradas, salidas y sistema, desde la entrega del subproducto hasta su despacho al proceso.



Figura 2.2 Caja Negra
Fuente: Elaboración Propia

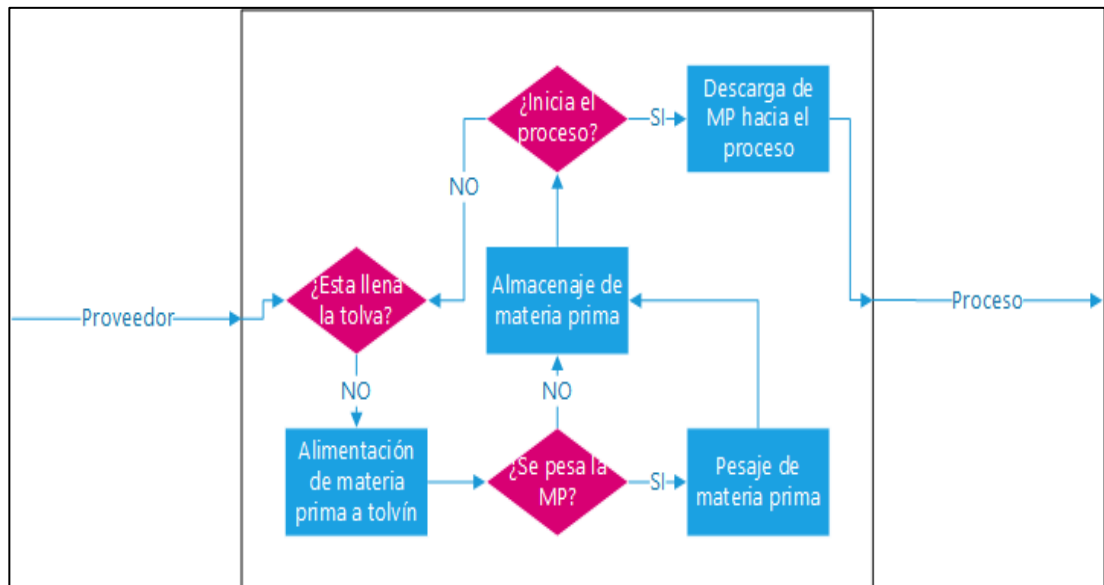


Figura 2.3 Caja Transparente
Fuente: Elaboración Propia

2.2 Requerimientos y especificaciones de diseño

2.2.1 Requerimientos de diseño

A continuación, se detalla el listado de requerimientos del usuario:

- No debe ser costosa.
- Debe brindar facilidad para mantenimiento.
- Materiales de buena calidad.
- Debe garantizar la inocuidad del producto.
- Debe ser fácil de limpiar.

2.2.2 Parámetros de diseño

De los requerimientos anteriores se obtiene los parámetros de diseño, las cuales fijan las variables cuantitativas que sirven como base para la elaboración del diseño:

- Costo
- Mantenimiento
- Durabilidad
- Inocuidad
- Limpieza

Se estableció el peso relativo de cada uno de los parámetros de diseño a través de la comparación por pares, determinando de esta manera su relación e importancia.

Se utilizó la Tabla 2.1 como escala de importancia y se presenta en la Tabla 2.2 los resultados obtenidos.

Tabla 2.1 Escala de importancia

Escala	Importancia
1,00	Igual importancia
5,00	Más importancia
10,00	Muy importante
0,20	Menos importante
0,10	Nada importante

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 2.2 Tabla de comparación por pares

Específic.	Costo	Mantenim.	Durabilidad	Inocuidad	Limpieza	P.T.	P.R.
Costo	1,00	0,10	0,20	0,10	5,00	6,40	8,36%
Mantenim.	10,00	1,00	0,20	0,20	0,10	11,50	15,01%
Durabilidad	5,00	5,00	1,00	0,20	10,00	21,20	27,68%
Inocuidad	10,00	5,00	5,00	1,00	5,00	26,00	33,94%
Limpieza	0,20	10,00	0,10	0,20	1,00	11,50	15,01%
Total						76,60	100,00%

Fuente: Elaboración Propia

2.3 Mecanismos de transporte

2.3.1 Tornillo sinfín

El transportador de tornillo sinfín es uno de los métodos más antiguos conocidos por el hombre para manejo de materiales. Desde su creación ha llegado a ocupar un lugar importante en diferentes procesos industriales que necesiten un método de transporte para alimentación o descarga de un producto en específico siendo hoy en día uno de los mecanismos más eficientes y económicos para transporte de materiales.



Figura 2.4 Transportador de tornillo

Fuente: <https://ingemecanica.com>

Ventajas:

- Son compactos y pueden ser adaptables a cualquier tipo de proceso.
- Sirven para controlar el flujo.
- Pueden utilizarse en diferentes posiciones.
- Puede ser utilizado como mezclador o agitador.
- Se pueden sellar garantizando la inocuidad del producto.
- Se pueden encamisar para secar o enfriar productos utilizando agua caliente o fría en la chaqueta.
- Pueden ser fabricados de diferentes materiales para resistir la corrosión, abrasión, temperatura, etc.
- Pueden ser diseñados con múltiples puntos de carga o descarga.
- Fácil mantenimiento.

2.3.2 Banda transportadora

Las bandas transportadoras son muy utilizadas en la industria y diferentes procesos por su capacidad de manejo de productos al granel con una versatilidad de sus componentes dependiendo el tipo de material a trasladar. Consta principalmente de una cinta transportadora continua que es accionada por un tambor motriz que consta la mayoría de las veces de un motor eléctrico o de algún otro tipo de energía motriz.



Figura 2.5 Banda transportadora

Fuente: Mercado Libre

Ventajas

- Alta capacidad de transporte.
- Adaptación a cualquier tipo de terreno.
- Bajo consumo de energía.
- Bajo índice de degradación del producto al ser transportado.
- Fácil mantenimiento.
- Fácil armado del equipo.

2.3.3 Bomba de pescado

Las bombas de pescado son muy utilizadas en plantas procesadoras de pescado entero y residual para descargar buques o alimentar equipos. Utiliza una fracción de agua en su operación, por lo general el 20%, para no malograr la materia prima.

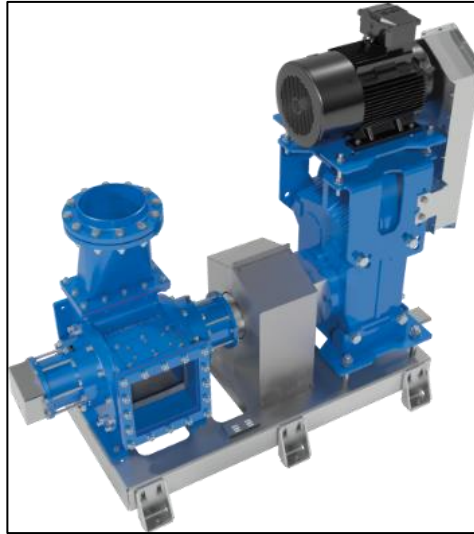


Figura 2.6 Bomba de pescado

Fuente: Haarslev

Ventajas

- Ocupa poco espacio.
- Es hermética, garantizando inocuidad del producto.
- Resiste partículas relativamente grandes sin malograr el impulsor.
- Fácil montaje.
- Consume poca energía.
- Altas longitudes de transporte.

2.4 Análisis y selección de alternativa










Se plantearon varias alternativas de diseño para cada sistema (Tabla 2.3) como posibles soluciones. La alternativa **A** consta de una bomba para el sistema de alimentación, un silo para almacenar la materia prima y una bomba para el sistema de descarga hacia el galpón de procesos. La alternativa **B** consta de un tornillo sinfín para el sistema de alimentación, una tolva rectangular para almacenar la materia prima y un tornillo sinfín para el sistema de descarga hacia el galpón de procesos. La alternativa **C** consta de una banda transportadora para el sistema de alimentación, una tolva rectangular para almacenar la materia prima y una banda transportadora para el sistema de descarga hacia el galpón de procesos.

Tabla 2.3 Tabla de sistemas y opciones

Alternativa	A	B	C
Alimentación	Bomba	Tornillo sinfín	Banda transportadora
Almacenamiento	Silo	Tolva rectangular	Tolva rectangular
Descarga	Bomba	Tornillo sinfín	Banda transportadora

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 2.4 Alternativas de diseño

Alternativa	A	B	C
Alimentación			
	Bomba	Tornillo sinfín	Banda transportadora
Almacenamiento			
	Silo	Tolva rectangular	Tolva rectangular
Descarga			
	Bomba	Tornillo sinfín	Banda transportadora

Fuente: Elaboración Propia

Se elaboró la matriz de decisiones ponderando cada sistema con cada especificación de diseño de cada una de las alternativas. Se utilizó los valores obtenidos en la Tabla 2.2 para establecer el peso de cada parámetro de diseño y se utilizó la escala mostrada en la Tabla 2.5 para asignar los valores a cada sistema de las alternativas presentadas. A continuación, en la Tabla 2.6, se muestra la alternativa ganadora:

Tabla 2.5 Escala de Especificaciones

Escala	Costo	Mantenim.	Durabilidad	Inocuidad	Limpieza
1,00	Alto Costo	Difícil Mantenim.	Baja Durabilidad	No Inocuo	Difícil Limpiar
2,00	Medio Costo	Medio Mantenim.	Media Durabilidad	Medio Inocuo	Medio Limpiar
3,00	Bajo Costo	Fácil Mantenim.	Alta Durabilidad	Inocuo	Fácil Limpiar

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 2.6 Matriz de decisiones

Alt.	Opción	Costo		Mantenim		Durabili.		Inocuidad		Limpieza		Subt.	Total
		8,36%	15,01%	27,68%	33,94%	15,01%							
A	Bomba	1,00	0,08	1,00	0,15	5,00	1,38	5,00	1,70	3,00	0,45	3,77	11,38
	Silo	3,00	0,25	5,00	0,75	4,00	1,11	5,00	1,70	4,00	0,60	4,41	
	Bomba	1,00	0,08	1,00	0,15	3,00	0,83	5,00	1,70	3,00	0,45	3,21	
B	Tom. sinfín	4,00	0,33	4,00	0,60	4,00	1,11	4,00	1,36	4,00	0,60	4,00	12,41
	Tolva rectang.	3,00	0,25	5,00	0,75	4,00	1,11	5,00	1,70	4,00	0,60	4,41	
	Tom. sinfín	4,00	0,33	4,00	0,60	4,00	1,11	4,00	1,36	4,00	0,60	4,00	
C	Banda transp.	3,00	0,25	5,00	0,75	2,00	0,55	2,00	0,68	5,00	0,75	2,98	10,37
	Tolva rectang.	3,00	0,25	5,00	0,75	4,00	1,11	5,00	1,70	4,00	0,60	4,41	
	Banda transp.	3,00	0,25	5,00	0,75	2,00	0,55	2,00	0,68	5,00	0,75	2,98	

Fuente: Elaboración Propia

2.5 Diseño de forma

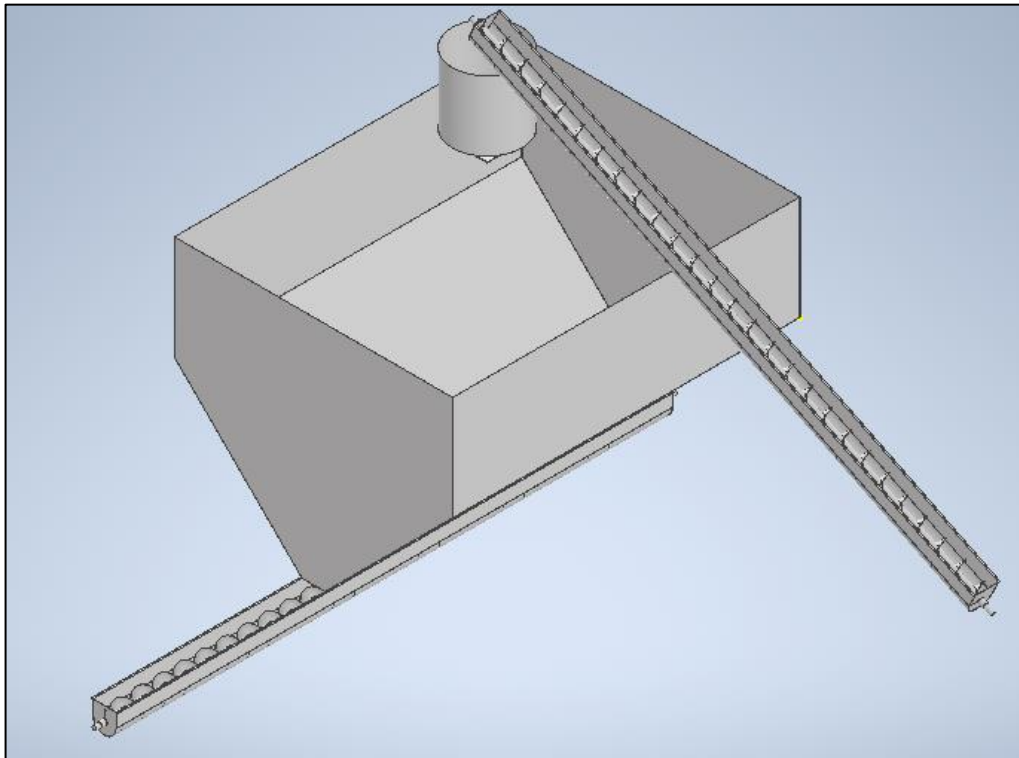


Figura 2.7 Diseño de forma

Fuente: Elaboración Propia

2.6 Diseño detallado

Para el diseño de los sistemas se consideró como tasa de flujo de entrega de subproducto del proveedor un valor máximo de 2000 Kg/h con un trabajo promedio de 20 h/día mediante un tornillo sin fin de 14”.

Se tiene el dato de velocidad de planta de 12 Ton/h con un promedio de trabajo de 8 h/día. Se requiere almacenar 26 Ton de producto y ser entregadas a la etapa de cocción. Se va a utilizar el sistema de pesaje existente.

2.6.1 Sistema de alimentación y descarga

Para el diseño de tornillos sinfín se recomienda seguir siete pasos:

1. Establecer los requerimientos de transporte.
2. Identificar el material y el correspondiente código de material.
3. Determinar la capacidad de transporte, tamaño de tornillo y velocidad.
4. Calcular la potencia requerida.
5. Determinar los tamaños recomendados de componentes.
6. Revisar el torque de los componentes.
7. Revisar la deflexión, expansión térmica y abrasión.

2.6.1.1 Requerimientos de transporte

Los parámetros que se necesitan conocer son los siguientes: Tipo de material a transportar, flujo requerido y distancia que va a ser transportado el material.

2.6.1.2 Características del material

El tipo de material que va ser transportado puede tener una afectación significativa en el tamaño y el tipo de transportador que se necesita. La Tabla 2.7 clasifica los materiales y ayuda en la selección de los componentes adecuados, mientras que la Tabla 2.8 indica las características del material.

Tabla 2.7 Código de clasificación de material

CATEGORY: MATERIAL CHARACTERISTICS		CODE DESIGNATION
Density:		
Bulk Density		avg. lbs/CF
Size:		
Very Fine — 100 mesh and under		A
Fine — 1/8" mesh and under		B
Granular — 1/2" mesh and under		C
Lumpy — containing lumps over 1/2"		D
Irregular — fibrous, stringy, etc		E
Flowability:		
Very free flowing		1
Free flowing		2
Average flowability		3
Sluggish		4
Abrasiveness:		
Mildly abrasive		5
Moderately abrasive		6
Extremely abrasive		7
Other Characteristics:		
Builds up & hardens		F
Generates static electricity		G
Decomposes — deteriorates in storage		H
Flammability		J
Becomes plastic or tends to soften		K
Very dusty		L
Aerates and becomes fluid		M
Explosiveness		N
Stickiness-adhesion		O
Contaminable, affecting use		P
Degradable, affecting use		Q
Gives off harmful or toxic gas or fumes		R
Highly corrosive		S
Mildly corrosive		T
Hygroscopic		U
Interlocks, mats or agglomerates		V
Oils present		W
Packs under pressure		X
Very light and fluffy — may be windswept		Y
Elevated temperature		Z

Fuente: Conveyor Engineering & Manufacturing

Tabla 2.8 Características del material

MATERIAL	MAT'L CLASS CODE	CONV LOADING	COMPONENT GROUP	WEIGHT (LBS/CF)		MAT'L FACTOR F _M	VERT.*
				MIN	MAX		
Ferrous Sulphate (Iron Sulphate, Copperas)	63C35U	30A	2D	50	75	1.0	
Filter-Aid (Diatomaceous Earth, Precoat)	14A36Y	30B	3D	11	17	1.6	?
Fish Meal	38C45HP	30A	1A,1B,1C	35	40	1.0	x
Fish Scrap	45D45H	30A	2A,2B,2C	40	50	1.5	
Flaxseed	44B35X	30A	1A,1B,1C	43	45	0.4	x
Flaxseed Cake (Linseed Cake)	49D45W	30A	2A,2B	48	50	0.7	
Flaxseed Meal (Linseed Meal)	35B45W	30A	1A,1B	25	45	0.4	x
Flour Wheat	37A45LP	30A	1B	33	40	0.6	?

Fuente: Conveyor Engineering & Manufacturing

2.6.1.3 Capacidad de transporte

Para tornillos con paso estándar la velocidad del transportador es:

$$N = \frac{\text{Capacidad requerida [ft}^3/\text{h]}}{\text{Capacidad a 1 rpm [ft}^3/\text{h]}} \quad (2.1)$$

El valor de capacidad de transporte a 1 rpm lo podemos obtener de la Tabla 2.10. "N" no debe ser mayor que la velocidad máxima recomendada. Para el cálculo de velocidad de transportadores especiales donde se utilizan tornillos especiales, se debe usar una capacidad equivalente basada en los factores que indica la Tabla 2.9.

$$\text{Cap. equivalente [ft}^3/\text{h]} = \text{Capacidad requerida} \times CF_1 \times CF_2 \times CF_3 \quad (2.2)$$

Es decir:

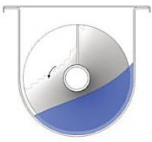
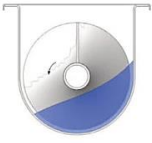

$$N = \frac{\text{Capacidad equivalente [ft}^3/\text{h]}}{\text{Capacidad a 1 rpm [ft}^3/\text{h]}} \quad (2.3)$$

Tabla 2.9 Factores de capacidad

SPECIAL SCREW PITCH CAPACITY FACTOR CF_1				
PITCH	DESCRIPTION			CF_1
Standard (full)	Pitch = Diameter of screw			1.00
Short	Pitch = $\frac{2}{3}$ Diameter of screw			1.50
Half	Pitch = $\frac{1}{2}$ Diameter of screw			2.00
Long	Pitch = $1\frac{1}{2}$ Diameter of screw			0.67
SPECIAL SCREW FLIGHT MODIFICATION CAPACITY FACTOR CF_2				
TYPE OF FLIGHT	CONVEYOR LOADING			
	15%	30%	45%	
Standard	1.00	1.00	1.00	
Cut	1.95	1.57	1.43	
Cut & Folded	not rec.	3.75	2.54	
Ribbon	1.04	1.37	1.62	
SPECIAL SCREW MIXING PADDLE CAPACITY FACTOR CF_3				
STD PADDLES PER PITCH SET AT 45° REVERSE PITCH				
NONE	1	2	3	4
1.00	1.08	1.16	1.24	1.32

Fuente: Conveyor Engineering & Manufacturing

Tabla 2.10 Capacidad de transporte

PERCENT TROUGH LOAD	SCREW DIAMETER	MAXIMUM RECOMMENDED RPM	CAPACITY (FT ³ /HR) at MAX RPM	CAPACITY (FT ³ /HR) per RPM
30% A 	6	120	180	1.5
	9	100	545	5.5
	12	90	1,160	12.9
	14	85	1,770	20.8
	16	80	2,500	31.2
	18	75	3,380	45.0
	20	70	4,370	62.5
	24	65	7,100	109.0
	30	50	10,506	210.0
30% B 	6	60	90	1.5
	9	55	295	5.7
	12	50	646	12.9
	14	47	696	14.8
	16	44	1,382	31.4
	18	41	1,834	44.7
	20	38	2,361	62.1
	24	36	3,928	109.1
	30	27	5,673	210.0
45% 	6	165	368	2.2
	9	155	1,270	8.2
	12	145	2,820	19.4
	14	140	4,370	31.2
	16	130	6,060	46.7
	18	120	8,120	67.6
	20	110	10,300	93.7
	24	100	16,400	164.0
	30	70	22,062	315.0
36	40	21,587	540.0	

Fuente: Conveyor Engineering & Manufacturing

2.6.1.4 Potencia requerida por el transportador

La potencia requerida para operar un tornillo sinfín se muestra en la ecuación 2.4 donde HP_f es la potencia necesaria para vencer la fricción de los componentes del transportador, HP_m es la potencia necesaria para transportar el material.

$$HP_T = \frac{(HP_f + HP_m)F_o}{e} \quad (2.4)$$

$$HP_f = \frac{LNF_dF_b}{1 \times 10^6} \quad (2.5)$$

$$HP_m = \frac{CL\rho F_m F_f F_p}{1 \times 10^6} \quad (2.6)$$

Los siguientes factores determinan la potencia requerida para el tornillo sinfín usando las ecuaciones mostradas anteriormente:

- L = Longitud total del transportador [ft]
- N = Velocidad de operación [rpm]
- C = Capacidad requerida [ft³/h]
- ρ = Densidad del material a transportar [lb/ft³]
- F_d = Factor de diámetro de tornillo (Ver Tabla 2.14)
- F_b = Factor de soporte de tornillo (Ver Tabla 2.15)
- F_m = Factor de material (Ver Tabla 2.8)
- F_f = Factor de tipo de hélice (Ver Tabla 2.12)
- F_p = Factor de paleta (Ver Tabla 2.13)
- F_o = Factor de sobrecarga (Ver Figura 2.8)
- e = Eficiencia de transmisión (Ver Tabla 2.11)

Si la suma de HP_f y HP_m es mayor o igual a 5.2, F_o es igual a 1, caso contrario debe aplicarse la siguiente formula:

$$F_o = (\ln(HP_f + HP_m) \times -0,6115) + 2,024 \quad (2.7)$$

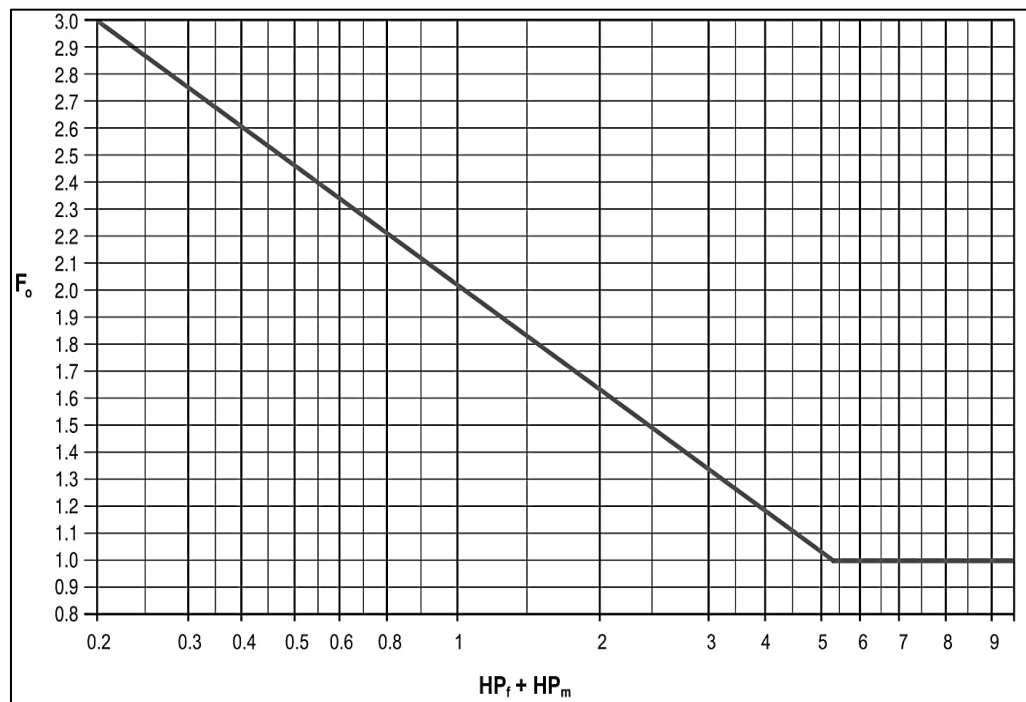


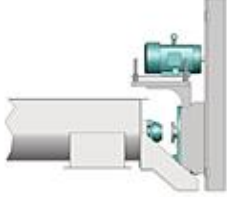
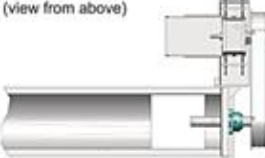


Figura 2.8 Factor de sobrecarga, F_o
Fuente: Conveyor Engineering & Manufacturing

Tabla 2.11 Eficiencias mecánicas (arreglos comunes)

			APPROX. EFFICIENCY "e"
Direct Coupled In-line Drive		Motor, reducer & conveyor drive shaft are mounted in-line and direct-coupled together. Typically supported by drive base attached to floor or conveyor end plate. Best configuration for longer component life of larger conveyors.	0.94
"Screw Conveyor" Drive		Reducer is mounted on trough end and has its own drive shaft which is directly connected to conveyor screw. Reducer includes integral thrust bearing and seal. Separate drive shaft, end bearing, and seal are not required. Motor is connected via V-belt and may be mounted at top, either side or below.	0.88
Shaft Mount Drive		Similar to "Screw Conveyor" drive above except bearing, seal and drive shaft are not included with reducer. Rather, reducer mounts onto extended version of standard conveyor drive shaft. This allows for use of a variety of bearings and seals.	0.88
Gear Motor Reducer or Helical Reducer with Chain & Sprockets	(view from above) 	Integral motor-reducer or scoop mount motor with chain drive to conveyor drive shaft. Usually mounted to side of trough by means of an adapter plate.	0.85

Fuente: Conveyor Engineering & Manufacturing

Tabla 2.12 Factor de tipo de hélice Ff

TYPE OF FLIGHTING	CONVEYOR LOADING			
	15%	30%	45%	95%
Standard	1.00	1.00	1.00	1.00
Cut	1.10	1.15	1.20	1.30
Cut & Folded	NR	1.50	1.70	2.20
Ribbon	1.05	1.14	1.20	NR

Fuente: Conveyor Engineering & Manufacturing

Tabla 2.13 Factor de paletas, Fp

STD PADDLES PER PITCH SET AT 45° REVERSE PITCH				
NONE	1	2	3	4
1.00	1.29	1.58	1.87	2.16

Fuente: Conveyor Engineering & Manufacturing

Tabla 2.14 Factor de diámetro de tornillo, F_d **Tabla 2.15 Factor de soporte de tornillo, F_b**

SCREW DIA.	F_d
6	18
9	31
10	37
12	55
14	78
16	106
18	135
20	165
24	235
30	360
36	512
42	720
48	940
54	1200
60	1500

Fuente: Conveyor Engineering & Manufacturing

COMPONENT GROUP	BEARING TYPE	FACTOR F_b
A	Ball	1.0
B & C	Babbitt	1.7
	Bronze	1.7
	Bronze (oil impregnated)	1.7
	Bronze w/Graphite Plugs	1.7
	Canvas Based Phenolic	1.7
	Ertalyte	2.5
	Gatke	1.7
	Melamine	3.5
	Nylon/Nylatron GS	2.0
	Plastic Resin	2.0
	Ryertex	1.7
Teflon	2.0	
UHMW	2.0	
Wood (oil impregnated)	1.7	
D Req's hardened cplg shaft	Chilled Hard Iron	4.4
	Hardened Alloy Sleeve	4.4
	Stellite	4.4

Fuente: Conveyor Engineering & Manufacturing

2.6.1.5 Tamaño de componentes del transportador

Para seleccionar los componentes adecuados de un tornillo sinfín, se relaciona el código de clasificación del material, el tamaño del tornillo, tamaño de eje, tipo de soportes y espesores.

A continuación, en la Tabla 2.16 se indica los valores de los parámetros antes mencionados para una correcta selección.

Tabla 2.16 Grupo de componentes

SCREW DIA (INCHES)	SHAFT SIZE DIA	BOLTS PER COUPLING	SECTIONAL SCREW FLIGHT THICKNESS*	TROUGH THICKNESS	COVER THICKNESS
Standard Duty Service: Component Groups 2A, 2B, 2C & 2D					
6	1 ½	2-bolt or 3-bolt	10 ga	14 ga	14 ga
9	2	2-bolt or 3-bolt	¾	10 ga	14 ga
10	2	2-bolt or 3-bolt	¾	10 ga	14 ga
12	2 ⅞	2-bolt or 3-bolt	¾	¾	14 ga
12	3	2-bolt or 3-bolt	¼	¾	14 ga
14	2 ⅞	2-bolt or 3-bolt	¾	¾	14 ga
14	3	2-bolt or 3-bolt	¼	¾	14 ga
16	3	2-bolt or 3-bolt	¼	¾	14 ga
18	3	2-bolt or 3-bolt	¼	¾	12 ga
18	3 ⅞	2-bolt or 3-bolt	¼	¾	12 ga
20	3	2-bolt or 3-bolt	¼	¾	12 ga
20	3 ⅞	2-bolt or 3-bolt	¼	¾	12 ga
24	3 ⅞	2-bolt or 3-bolt	¼	¾	12 ga
30	3 ⅞	2-bolt or 3-bolt	¾	¾	12 ga
36**	4 ⅞	2-bolt or 3-bolt	¾	¾	10 ga

Fuente: Conveyor Engineering & Manufacturing

2.6.1.6 Torque aplicado al transportador

Los tornillos sinfín están limitados en longitud y tamaño por la cantidad de torque que transmitan de manera segura a través de los componentes seleccionados. El eje, pernos y tubería deben tener el tamaño adecuado para la potencia y velocidad a trabajar. La Tabla 2.17 combina diversas clasificaciones para poder comparar todas las partes sometidas a esfuerzos del transportador estándar.

Tabla 2.17 Limites de torque

SHAFT DIA	PIPE	SHAFTS*		PIPE	COUPLING BOLTS					
		MATERIAL			SHEAR		LOAD BEARING			
		SS/1018**	4140	SS/CS***	2-BOLT	3-BOLT	w/o PADS 2-BOLT	w/o PADS 3-BOLT	w/ PADS 2-BOLT	w/ PADS 3-BOLT
2"	2-1/2" sch 40	6,354	8,798	13,832	7,977	11,965	7,888	11,833	26,170	39,254
2"	2-1/2" sch 80****	6,354	8,798	17,402	7,977	11,965	7,888	11,833	26,170	39,254
2"	3" sch 40	6,354	8,798	22,413	7,977	11,965	15,345	23,018	35,970	53,955
2"	3" sch 80	6,354	8,798	28,929	7,977	11,965	15,345	23,018	35,970	53,955
2"	3" 80/10 clad	6,354	8,798	42,631	7,977	11,965	18,598	27,896	40,123	60,184
2-7/16"	3" sch 40	12,558	17,388	22,413	9,722	14,582	11,689	17,534	33,955	50,933
2-7/16"	3" sch 80	12,558	17,388	28,929	9,722	14,582	11,689	17,534	33,955	50,933
2-7/16"	3" 80/10 clad	12,558	17,388	42,631	9,722	14,582	14,942	22,413	38,107	57,161
2-7/16"	3-1/2" sch 40	12,558	17,388	31,120	9,722	14,582	18,709	28,063	42,850	64,274
2-7/16"	3-1/2" sch 80	12,558	17,388	40,821	9,722	14,582	18,709	28,063	42,850	64,274
2-7/16"	3-1/2" 80/10 clad	12,558	17,388	58,736	9,722	14,582	22,411	33,617	47,452	71,178
3"	3-1/2" sch 40	23,693	32,806	31,120	17,230	25,845	15,537	23,306	47,037	70,556
3"	3-1/2" sch 80****	23,693	32,806	40,821	17,230	25,845	15,537	23,306	47,037	70,556
3"	3-1/2" 80/10 clad	23,693	32,806	58,736	17,230	25,845	19,980	29,970	52,560	78,840
3"	4" sch 40	23,693	32,806	41,788	17,230	25,845	25,085	37,627	58,835	88,252
3"	4" sch 80	23,693	32,806	55,527	17,230	25,845	25,085	37,627	58,835	88,252
3"	4" 80/10 clad	23,693	32,806	78,223	17,230	25,845	30,067	45,100	64,897	97,345

* Shaft torque limits listed can be increased 10% if a direct coupled drive is used (eliminates bending stress load imposed on drive shaft)

** 304SS, 316SS and 1018 carbon steel shafting (torque limits are equal)

*** 304SS, 316SS and standard carbon steel pipe (torque limits are equal)

**** Thin walled bushing. Consult Conveyor Eng. & Mfg

Fuente: Conveyor Engineering & Manufacturing

El torque producido por la transmisión del transportador está en función del tamaño del motor y la velocidad del tornillo.

$$T = \frac{63,025 \times HP}{N} \quad (2.8)$$

2.6.1.7 Deflexión y expansión térmica del transportador

La cantidad de deflexión que soporta la tubería del tornillo es directamente proporcional a su vida útil. Si el tornillo no tiene medidas estándar deben usarse soportes intermedios para evitar este pandeo.

$$D = \frac{WL^3}{76.8EI} \quad (2.9)$$

Donde, W es el peso total del tornillo en libras, L la longitud total del tornillo en pulgadas, E el módulo de elasticidad, I el momento de inercia de la tubería (Ver Tabla 2.18)

Tabla 2.18 Momentos de inercia para tuberías

NOMINAL PIPE SIZE	MOMENT OF INERTIA		
	SCHED 40	SCHED 80	SCHED 80 CLAD*
2	0.667	0.868	N/A
2 ½	1.53	1.92	N/A
3	3.02	3.89	6.13
3 ½	4.79	6.28	9.57
4	7.23	9.61	14.3
5	15.2	20.7	30.4
6	28.1	40.5	56.8
8	72.5	106	141
10	161	212	280

Fuente: Conveyor Engineering & Manufacturing

Los tornillos con una deflexión mínima pueden tener excesivo ángulo de punta, es aquel ángulo con el que intenta inclinarse el tornillo debido a la deflexión.

$$\text{Angulo de punta} = \frac{180}{\pi} \times \frac{3.2D}{L} = \frac{183D}{L} \quad (2.10)$$

En la Tabla 2.19 se muestran los valores permitidos de deflexión y ángulo de punta y en la Tabla 2.20 se indican los pesos de tornillos sinfín.

Tabla 2.19 Limites de deflexión y ángulo de punta

SITUATION	MAX DEFLECTION*	MAX END ANGLE*	
		2-BOLT	3-BOLT
Standard SS setup**	0.125"	0.200°	0.150°
Screw conv. type drive	0.100"	0.150°	0.135°
Weld-in shafts	0.100"	0.150°	0.135°
Drive on inlet end	0.100"	0.150°	0.135°
Flanged shafts	0.100"	0.150°	0.135°
Tight collar tolerances	0.100"	0.110°	0.135°
Double end bearings	0.100"	0.150°	0.135°

Fuente: Conveyor Engineering & Manufacturing

Tabla 2.20 Especificaciones de tornillo estándar

SCREW DIA	COUPLING SHAFT DIA	SCREW PART #	NOMINAL PIPE SIZE	PIPE OD	FLIGHT THICK.	STD LENGTH	STD LENGTH SCREW WT* (LB)			FLIGHT WT EACH (LB)
							SCH 40	SCH 80	SCH 80 CLAD**	
12	2	12SS412	2 ½	2 ¾	¾	11'-10"	134	151	NA	7.6
12	2	12SS416	2 ½	2 ¾	¼	11'-10"	157	175	NA	10.1
12	2 ⅞	12SS512	3	3 ½	¾	11'-9"	178	208	257	7.1
12	2 ⅞	12SS516	3	3 ½	¼	11'-9"	205	235	284	9.5
12	2 ⅞	12SS524	3	3 ½	¾	11'-9"	258	288	337	14.2
12	3	12SS612	3 ½	4	¾	11'-9"	193	231	287	6.8
12	3	12SS616	3 ½	4	¼	11'-9"	218	256	312	9.0
12	3	12SS624	3 ½	4	¾	11'-9"	268	306	363	13.5
14	2 ⅞	14SS512	3	3 ½	¾	11'-9"	196	226	275	10.2
14	2 ⅞	14SS516	3	3 ½	¼	11'-9"	229	259	308	13.6
14	2 ⅞	14SS524	3 ½	4	¾	11'-9"	311	349	405	19.5
14	3	14SS612	3 ½	4	¾	11'-9"	211	249	305	9.7
14	3	14SS616	3 ½	4	¼	11'-9"	242	280	336	13.0
14	3	14SS624	3 ½	4	¾	11'-9"	304	342	398	19.5
16	3	16SS612	3 ½	4	¾	11'-9"	229	267	323	13.3
16	3	16SS616	3 ½	4	¼	11'-9"	266	304	360	17.7
16	3	16SS624	4	4 ½	¾	11'-9"	360	407	471	25.6
16	3	16SS632	4	4 ½	½	11'-9"	432	479	542	34.1

Fuente: Conveyor Engineering & Manufacturing

Cuando se transportan materiales fríos o calientes, los extremos del tornillo debe permitir la expansión o contracción del mismo teniendo un punto fijo y otro móvil. El cambio de longitud se calcula de la siguiente manera:

$$\Delta L = L(t_1 - t_2)c \quad (2.11)$$

Donde L es la longitud del tornillo en pulgadas, t_1 es el valor máximo de temperatura en grados Fahrenheit, t_2 es el valor mínimo de temperatura en grados Fahrenheit y c es el coeficiente lineal de expansión.

2.6.1.8 Componentes de un tornillo sinfín

En la Figura 2.9 se muestran los componentes de un transportador de tornillo sinfín estándar, los cuales se enlistan a continuación:

- | | |
|--------------------|---------------------|
| 1. Tornillo | 10. Chumacera |
| 2. Eje transmisión | 11. Retenedor |
| 3. Eje de acople | 12. Tapa lateral |
| 4. Eje de cola | 13. Buje |
| 5. Tapa superior | 14. Perno de acople |
| 6. Soporte | 15. Arandela |
| 7. Bocín | 16. Seguro de tapa |
| 8. Descarga | 17. Alimentación |
| 9. Pata | 18. Canal |

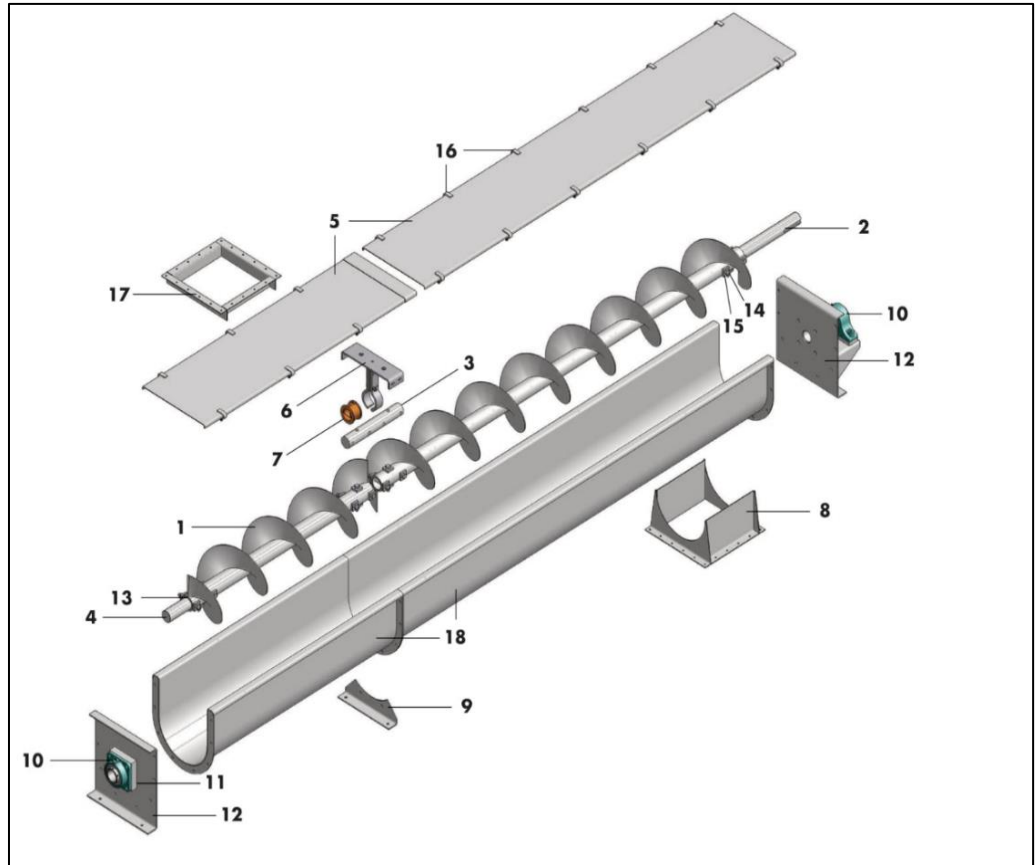


Figura 2.9 Componentes de un tornillo sinfín

Fuente: Conveyor Engineering & Manufacturing

2.6.2 Tolva de almacenamiento

Las consideraciones a tomar en cuenta para el diseño de una tolva son las siguientes:

1. Requerimientos de almacenaje.
2. Características del material.
3. Geometría de la tolva, ángulo de inclinación y ancho de boca.
4. Cargas aplicadas en la tolva.
5. Espesor de plancha.

2.6.2.1 Requerimientos de almacenaje

Los parámetros que se necesitan conocer son los siguientes:

- Tipo de material a almacenar.
- Capacidad de almacenamiento.

2.6.2.2 Características del material

Las principales características para el diseño de una tolva de almacenamiento son los siguientes:

- **Ángulo de reposo:** es aquel ángulo que forma el material al granel con respecto a la horizontal mientras es apilado; depende de muchos factores como la densidad, tamaño y forma de partícula y porcentaje de humedad.

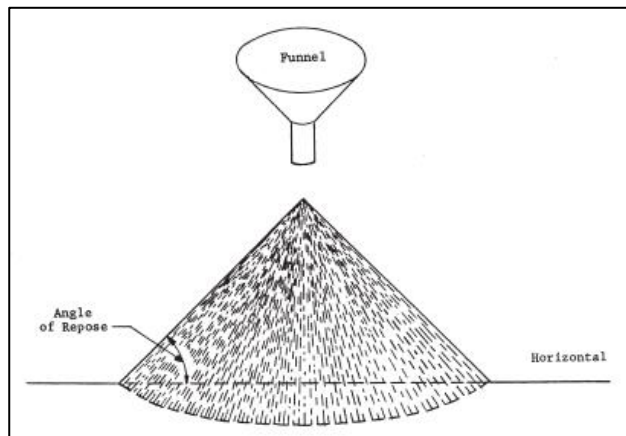


Figura 2.10 Ángulo de reposo

Fuente: Engineering conference bulk handling section, CEMA

- **Ángulo de fricción externa:** es aquel ángulo entre el eje del esfuerzo normal y el lugar geométrico de fluencia de pared o la gráfica que muestra la relación entre el esfuerzo cortante y el esfuerzo normal.

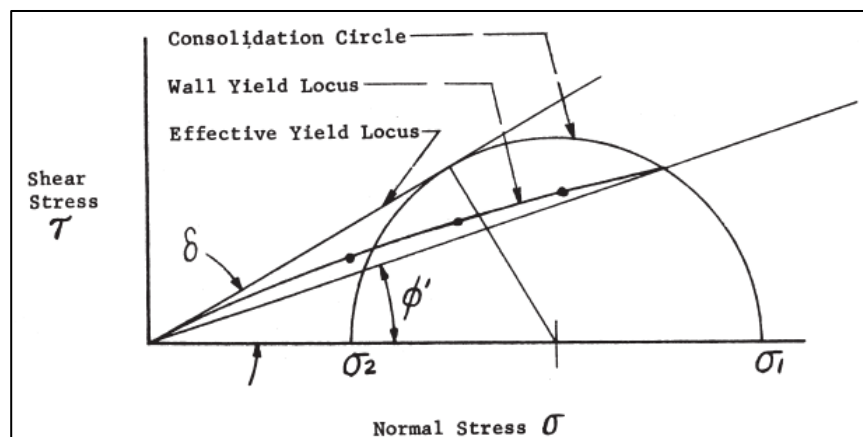


Figura 2.11 Ángulo de fricción externa

Fuente: Engineering conference bulk handling section, CEMA

La tangente de este ángulo es el coeficiente de fricción del material a granel sobre la superficie del material probado.

$$\delta_w = \tan(\mu_w) \quad (2.12)$$

- **Ángulo de fricción interna:** es aquel ángulo entre la tensión normal y el lugar de fluencia, que representa la relación del esfuerzo cortante con el esfuerzo normal debido a deslizamiento o rodadura de las partículas sobre sí mismas como en una prueba de esfuerzo controlado de corte directo.

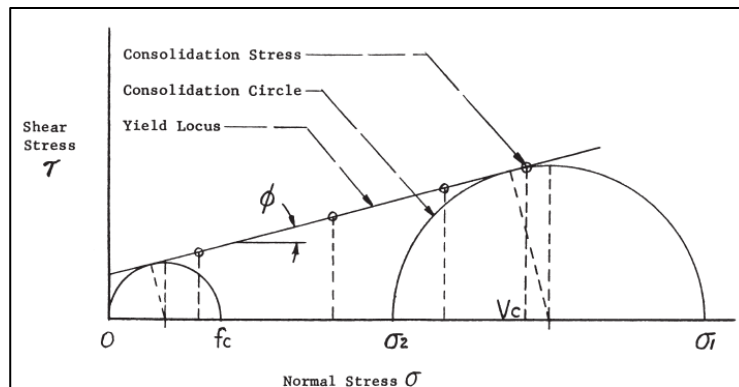


Figura 2.12 Ángulo de fricción interna

Fuente: Engineering conference bulk handling section, CEMA

La tangente de este ángulo ϕ es el coeficiente de fricción interna o fricción del material sobre sí mismo.

$$\delta = \tan(\mu) \quad (2.13)$$

2.6.2.3 Parámetros de geometría de la tolva

- **Factor de Flujo:** es aquella relación constante entre los esfuerzos cortantes y los esfuerzos compactadores, los esfuerzos cortantes son aquellos que permiten que el material fluya, mientras que los esfuerzos compactadores son aquellos que hacen que el material tienda a compactarse y no fluir. En la Figura 2.13 se puede determinar el factor de flujo utilizando los valores de ángulo de fricción interna y ángulo de fricción externa, además podemos obtener el ángulo de inclinación de la tolva β .

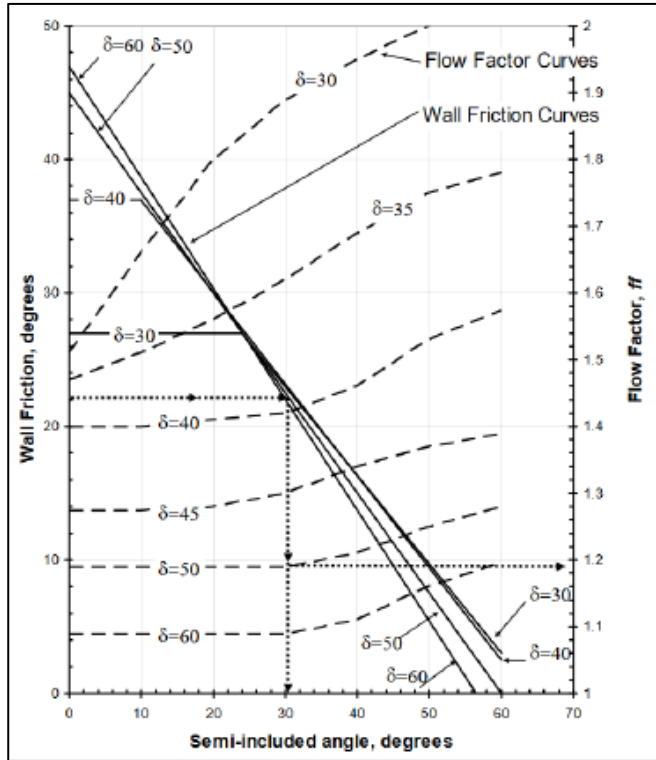


Figura 2.13 Grafica de factor de flujo

Fuente: Storage and flow of solids bulletin

- **Esfuerzo máximo:** Para que exista flujo los esfuerzos cortantes deben ser mayor a los esfuerzos de compactación tal como se muestra en la Figura 2.14.

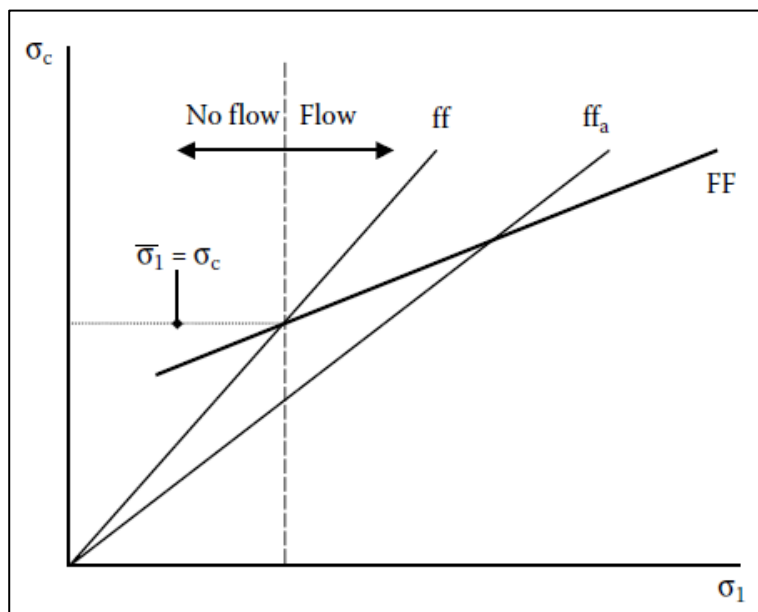


Figura 2.14 Grafica de esfuerzo cortante vs esfuerzo de compactación

Fuente: Multiphase Flow Handbook

Cuando estos dos esfuerzos se igualan se obtiene el límite que permite que el material almacenado fluya o no, tal como se muestra en la siguiente ecuación.

$$\sigma_{crit} = \frac{\sigma_1}{ff} \quad (2.14)$$

- **Atascamiento:** Este fenómeno ocurre en tolvas de tipo flujo másico cuando las partículas son grandes en relación a la salida y las fuerzas de cohesión actúan creando un arco o puente en la descarga, donde la ecuación 2.15 indica la salida mínima para evitar el atascamiento.

$$B = \frac{\sigma_{crit}H(\theta)}{g\rho} \quad (2.15)$$

2.6.2.4 Cargas aplicadas en la tolva

Se debe encontrar utilizando la Figura 2.15 el factor K que indica el coeficiente de presiones laterales de la tolva.

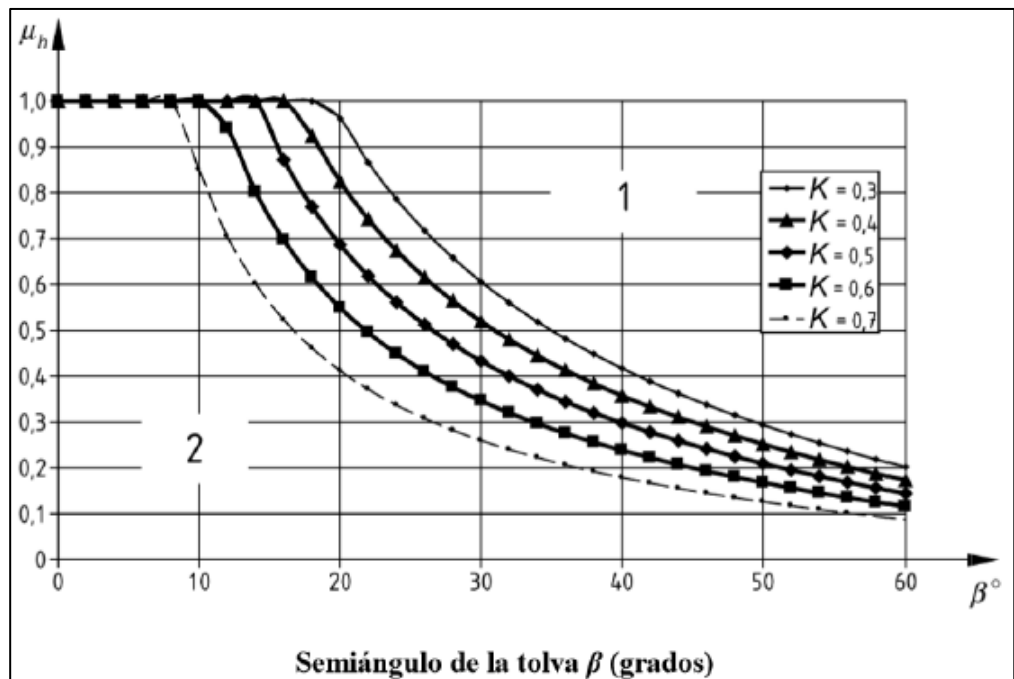


Figura 2.15 Grafica de factor K

Fuente: UNE EN 1991-4, 2011

Para el cálculo de la tolva a continuación se detallan las ecuaciones a utilizar para obtener en secuencia las presiones aplicadas en una tolva (Ver Figura 2.16)

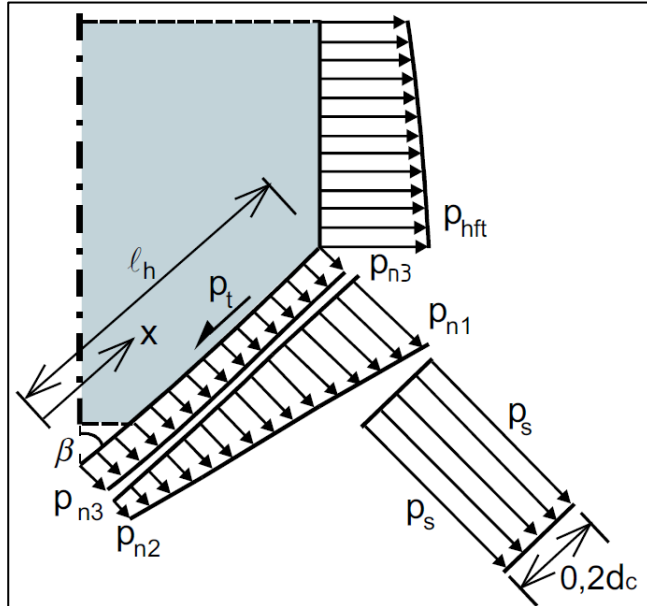


Figura 2.16 Presiones aplicadas en una tolva
Fuente: UNE EN 1991-4, 2011

- **Tensión vertical:**

$$P_{vf} = \gamma z_v \quad (2.16)$$

Donde, γ es el peso específico del material y z_v es la profundidad de la tolva.

- **Tensión vertical media:**

$$P_{vft} = C_b P_{vf} \quad (2.17)$$

Donde, C_b indica el coeficiente de mayoración de cargas.

- **Rozamiento movilizado:**

$$\mu_{heff} = \frac{(1 - K)}{2 \tan \beta} \quad (2.18)$$

Donde, β es el ángulo de inclinación de la tolva.

- **Coefficiente de presiones de llenado:**

$$F_f = 1 - \left\{ \frac{b}{\left(1 + \frac{\tan\beta}{\mu_{heff}}\right)} \right\} \quad (2.19)$$

Donde, b es el coeficiente empírico para las presiones en tolvas.

- **Potencia en el coeficiente de presiones**

$$n = S(1 - b)\mu_{heff} \cot\beta \quad (2.20)$$

Donde, S es el coeficiente de geometría de tolvas.

- **Tensión vertical en solido almacenado:**

$$P_v = \frac{\gamma * h_h}{n - 1} \left\{ \left(\frac{x}{h_h}\right) - \left(\frac{x}{h_h}\right)^n \right\} + P_{vft} \left(\frac{x}{h_h}\right)^n \quad (2.21)$$

Donde, hh es la altura de la tolva, x es la coordenada vertical en la tolva con origen en el vértice de la pirámide.

- **Presión normal:**

$$P_{nf} = F_f P_v \quad (2.22)$$

- **Presión de tracción:**

$$P_{tf} = \mu_{heff} F_f P_v \quad (2.23)$$

- **Presión en la tolva debida al solido contenido en la tolva:**

$$P_{n3} = 3 \frac{A \gamma * K}{U \sqrt{\mu_w}} (\cos\beta)^2 \quad (2.24)$$

Donde, A es el área de las paredes de la tolva, U es el perímetro de las paredes de la tolva, μ es el coeficiente de fricción del producto y la pared de la tolva.

- **Presiones en la tolva debido a la presión vertical:**

$$P_{n2} = P_{vft} C_b (\text{sen}\beta)^2 \quad (2.25)$$

$$P_{n1} = P_{vft} (C_b (\text{sen}\beta)^2 + (\text{cos}\beta)^2) \quad (2.26)$$

- **Presiones de llenado en tolvas**

$$P_n = P_{n3} + P_{n2} + (P_{n1} - P_{n2}) \frac{x}{lh} \quad (2.27)$$

Donde, lh es la hipotenusa de la tolva, x es la coordenada en la hipotenusa.

2.6.2.5 Espesor de plancha de la tolva

Utilizando la presión obtenida anteriormente, el valor de esfuerzo de fluencia y la distancia mayor de la pirámide aplicando un factor de seguridad requerido obtenemos el espesor de plancha de la tolva como se muestra a continuación:

$$t = \frac{F_s * P_n * d}{\sigma_f * 100} \quad (2.28)$$

2.6.2.6 Simulación de la tolva

Con el fin de validar el dimensionamiento de la tolva, se ha de analizar su comportamiento estático estructural utilizando el software Ansys bajo una licencia académica. Para esto se utiliza el siguiente modelo que considera los parámetros a continuación:

- Acero Inoxidable 304 como material
- Elementos hexaédricos con un tamaño mínimo de 150 mm, limitado por la licencia académica.
- Apoyo fijo en toda la cara inferior a la salida de la tolva
- Se considera la presión ejercida por todo el volumen de la tolva lleno, considerando la densidad del subproducto.

Cabe recalcar que se calcularon las fuerzas que aparecen tanto a la entrada como a la salida y que son provocadas por la cantidad de movimiento generada por el avance del subproducto. Dicho esto, estas fuerzas resultaron despreciables (Ver Apéndice C), por lo que no fueron consideradas dentro de la simulación.

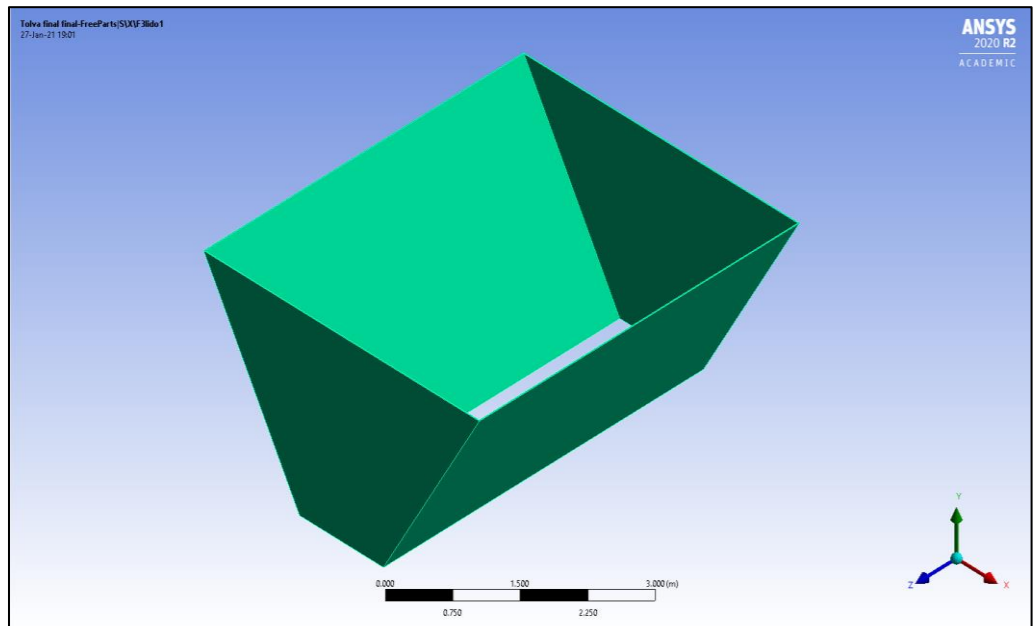


Figura 2.17 Definición del material
Fuente: Elaboración propia (ANSYS 2020 R2)

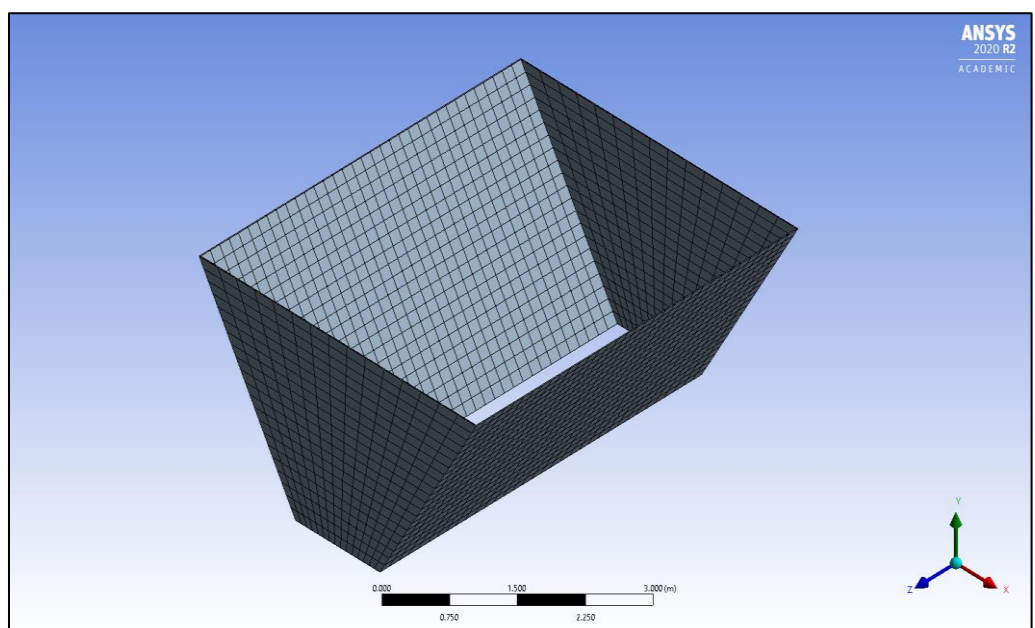


Figura 2.18 Mallado de pieza
Fuente: Elaboración propia (ANSYS 2020 R2)

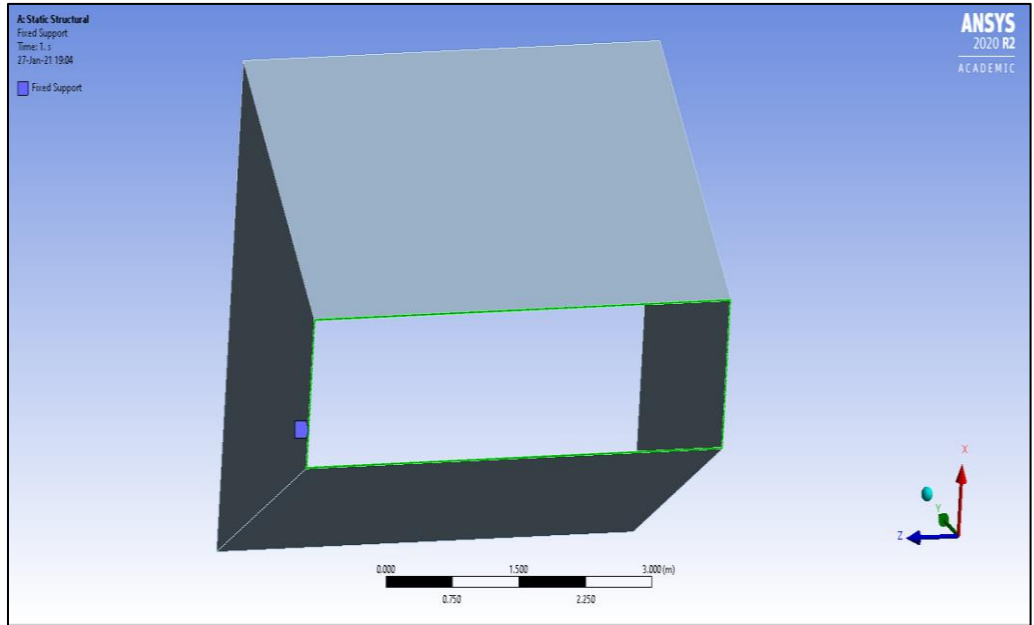


Figura 2.19 Condición de soporte fijo
 Fuente: Elaboración propia (ANSYS 2020 R2)

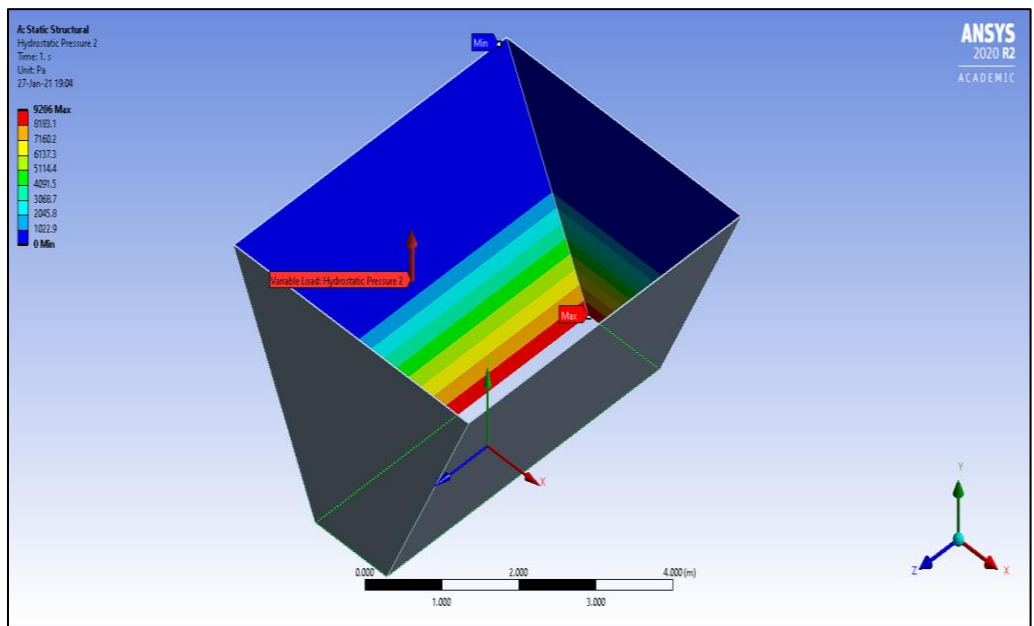


Figura 2.20 Simulación de distribución de cargas
 Fuente: Elaboración propia (ANSYS 2020 R2)

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Sistema de alimentación y descarga

A partir de lo establecido en la sección 2.6 para suplir la necesidad de transportar 2000 kg/h de subproductos de atún por una distancia de 3 metros utilizando un sinfín de 14", se ha calculado que el equipo debe girar a 8 rpm con una potencia de 1 HP, además se verifico que con esta potencia aplicada el torque resultante (13381,10 lb-in) no supera los límites de trabajo permitidos para cada componente. Así mismo se verifico que la deflexión, ángulo de inclinación y expansión térmica no superen los valores indicados por los fabricantes siendo estos 0,03", 0,05° y 0,004" respectivamente.

De igual manera se obtuvo que para satisfacer la necesidad de transportar 12000 kg/h de subproductos de atún con una distancia de 5,8 metros utilizando un sinfín de 16" que dicho equipo debe girar a 18,84 rpm con una potencia de 5 HP, además se verifico que con esta potencia aplicada el torque resultante (16723,78 lb-in) no supera los límites permitidos para cada componente. Así mismo se verifico que la deflexión, ángulo de inclinación y expansión térmica no superen los valores indicados por los fabricantes siendo estos 0,48", 0,39° y 0,008" respectivamente. Estos valores pueden disminuir reduciendo la longitud del tornillo o aumentando el diámetro de la tubería nominal para aumentar el parámetro de inercia.

Se toma en cuenta que debido a la experiencia en otras compañías que se dedican a la misma actividad económica recomiendan que se utilicen de dos a tres tornillos sinfín en el fondo de la tolva de almacenamiento para la descarga de la materia prima, uno de ellos debe estar entregando la materia prima y los dos restantes deben estar mezclando y aflojando el producto, es decir deben girar en sentido contrario a la descarga para evitar que se compacte el producto y se forme un arco o puente que no permita fluir el subproducto de atún.

Se seleccionaron los componentes adecuados según los cálculos que se detallan en el Apéndice A para una correcta operatividad de cada equipo. Se realizó la selección de los trenes motrices para el sistema de alimentación y descarga (Apéndice B), debido a las bajas revoluciones calculadas se asiste a los sistemas de transmisión con un variador de frecuencia a cada tornillo sinfín para llegar a las revoluciones obtenidas en pasos, en la tabla se detalla los componentes seleccionados:

Tabla 3.1 Resumen de componentes seleccionados

Componente	Alimentacion	Descarga
Tubo central	3-1/2"	4"
Espesor de plancha de helicoide	1/4"	1/4"
Espesor de plancha de canal	3/16"	3/16"
Espesor de plancha de tapas laterales	5/16"	5/16"
Espesor de plancha de tapas superiores	5/64"	
Diametro de eje motriz	3"	3"
Diametro de eje de cola	3"	3"
Potencia del motor	1 HP	5 HP
Velocidad del motor	1200 rpm	1200 rpm
Ratio de reductor	32,35	15,22
Piñón Motriz	14T-120-1	14T-120-1
Piñón Conducido	30T-120-1	40T-120-1
Frecuencia de trabajo	17,64 Hz	38,57 Hz

Fuente: Elaboración propia

Según la consulta de sistemas similares en otras plantas procesadoras de harina y aceite de pescado se recomienda utilizar como sistema de descarga de una tolva de subproductos entre 2 y 3 tornillos sinfín. Se propone colocar 3 tornillos sin fin de 16" cada uno lo que equivale a 1,29 m de ancho de boca de la tolva, con lo cual garantizamos que es un valor superior al calculado previamente.

3.2 Tolva de almacenamiento

Se obtiene como resultado que las dimensiones de la cara piramidal de la tolva son las siguientes: base menor 1290,50 mm, base mayor 4313,50 mm y altura 2600 mm, ángulo de inclinación con respecto a la vertical igual a 60°. Se tiene un espacio disponible de 5x5 metros cuadrados por lo tanto la longitud de la tolva será 5000 mm.

Obteniendo las diferentes cargas aplicadas a la tolva (Apéndice C) y sumando sus componentes obtenemos un valor de 38,53 KPa, aplicando un factor de seguridad de 3,5 y utilizando como material acero inoxidable 304 resulta como espesor de plancha 12 mm para nuestro diseño.

3.3 Resultados de la simulación de la tolva

A partir de las condiciones de la simulación descritas en la sección 2.6.2.6 se obtiene como máximo desplazamiento un valor de 27 mm en el borde de la zona roja indicada en la Figura 3.1. Uno de los planteamientos posteriores a este proyecto, es realizar una obra civil donde descansaría esta estructura, lo cual podría reducir incluso más las deformaciones.

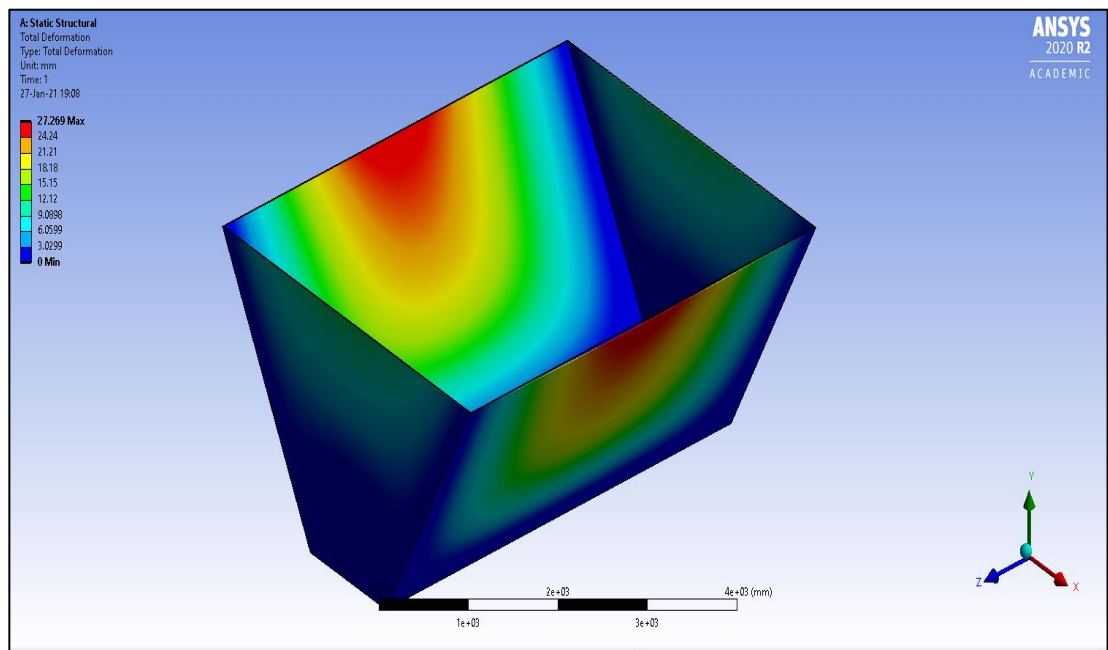


Figura 3.1 Simulación de desplazamientos obtenidos

Fuente: Elaboración propia (ANSYS 2020 R2)

A partir de la simulación de esfuerzos resultantes (Von Mises), se obtiene 80 MPa como máximo esfuerzo en las zonas rojas al inferior de la tolva, esto era de esperarse debido a la distribución de la carga que se muestra en la Figura 2.16

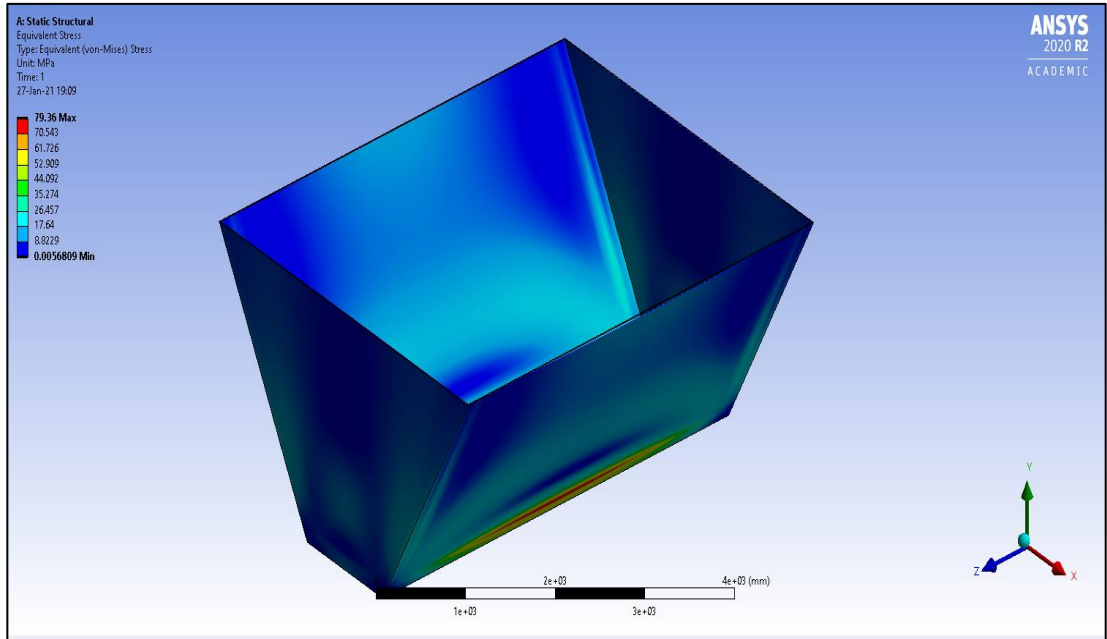


Figura 3.2 Simulación de esfuerzos resultantes

Fuente: Elaboración propia (ANSYS 2020 R2)

De la simulación de factor de seguridad, se obtiene como resultado un mínimo de 3,15 en las zonas inferiores, y un máximo de 15. A partir de esto se puede confirmar que el modelo se mantiene dentro de su límite elástico por un buen margen en toda su geometría.

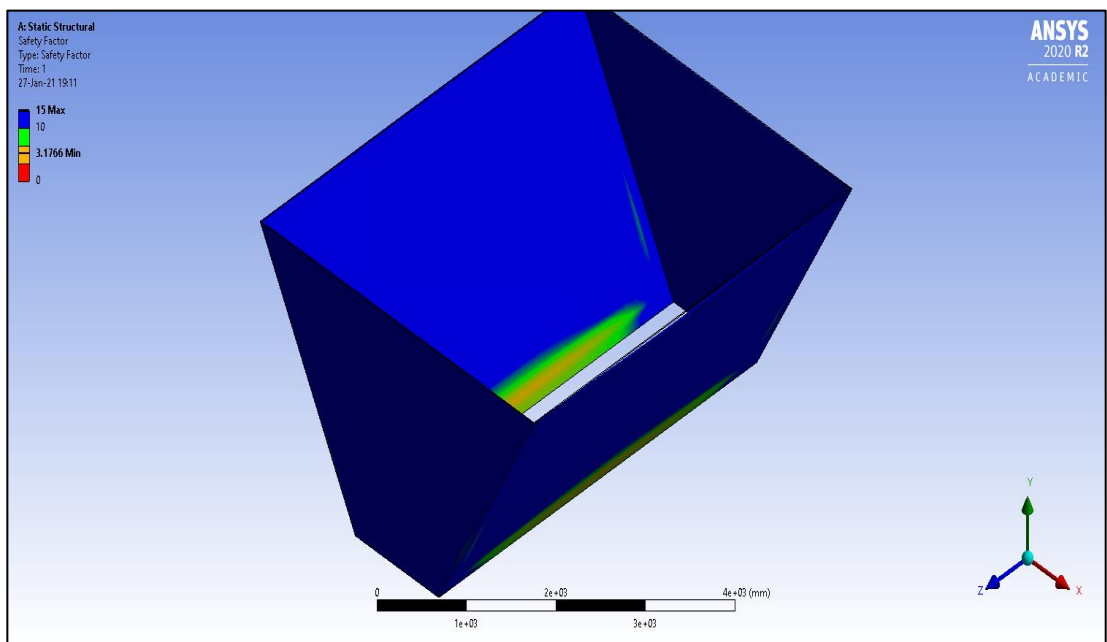


Figura 3.3 Simulación de factor de seguridad

Fuente: Elaboración propia (ANSYS 2020 R2)

3.4 Análisis de costos

A continuación, en la Tabla 3.2 se detallan los costos de materiales y mano de obra para nuestra alternativa de diseño ganadora.

Tabla 3.2 Costos del proyecto

Tolva de almacenamiento			
Cantidad	Producto	Costo	Costo Total
15	Plancha Inox 304 - 12 mm	\$ 1.100,00	\$ 16.500,00
1	Mano de Obra	\$58.887,06	\$ 58.887,06
Sistema de alimentación			
Cantidad	Producto	Costo	Costo Total
1	Tubería inox 3 1/2" sch 40	\$ 247,75	\$ 247,75
1	Plancha Inox 304 - 1/4"	\$ 433,60	\$ 433,60
1	Plancha Inox 304 - 3/16"	\$ 290,40	\$ 290,40
1	Plancha Inox 304 - 5/16"	\$ 609,60	\$ 609,60
1	Plancha Inox 304 - 5/64"	\$ 148,88	\$ 148,88
1	Eje motriz 3"	\$ 285,00	\$ 285,00
1	Eje de cola 3"	\$ 345,00	\$ 345,00
2	Chumacera Inox F215	\$ 280,00	\$ 560,00
1	Piñón 14T-120-1	\$ 45,43	\$ 45,43
1	Piñón 30T-120-1	\$ 164,96	\$ 164,96
1	Cadena 120-1	\$ 132,32	\$ 132,32
1	Motor W22, 1 Hp, 1200 rpm	\$ 364,00	\$ 364,00
1	Reductor MNHL 30/2	\$ 449,19	\$ 449,19
1	Variador de frecuencia 1 Hp	\$ 325,00	\$ 325,00
1	Mano de Obra	\$ 6.300,00	\$ 6.300,00
Sistema de descarga			
Cantidad	Producto	Costo	Costo Total
3	Tubería inox 4" sch 40	\$ 283,14	\$ 849,42
3	Plancha Inox 304 - 1/4"	\$ 433,60	\$ 1.300,80
5	Plancha Inox 304 - 3/16"	\$ 290,40	\$ 1.452,00
1	Eje motriz 3"	\$ 285,00	\$ 285,00
1	Eje de cola 3"	\$ 345,00	\$ 345,00
2	Chumacera Inox F215	\$ 280,00	\$ 560,00
1	Piñón 14T-120-1	\$ 45,43	\$ 45,43
1	Piñón 40T-120-1	\$ 315,34	\$ 315,34
1	Cadena 120-1	\$ 132,32	\$ 132,32
3	Motor W22, 5 Hp, 1200 rpm	\$ 897,00	\$ 2.691,00
3	Reductor MNHL 40/2	\$ 946,47	\$ 2.839,41
3	Variador de frecuencia 5 Hp	\$ 560,00	\$ 1.680,00
3	Mano de Obra	\$14.500,00	\$ 43.500,00
SUBTOTAL			\$ 142.083,91
COSTO DE INGENIERIA			\$ 21.312,59
TOTAL			\$ 163.396,50

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.3 Costos generados por la compañía

Actualidad	Costo
Químicos de limpieza/año	\$14.687,50
Uso de montacargas/año	\$ 6.615,00
Horas extras	\$ 9.375,00
Tiempos muertos/año	\$23.520,00
TOTAL	\$54.197,50

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 3.3 se muestra los costos asociados por año que se generan por las actividades inherentes al no contar la compañía con un área de recepción de materia prima mayor, como lo son los desengrasantes utilizados para la limpieza del área utilizada y de los contenedores, el uso de los montacargas para el desembarque y traslado de la materia hacia la sala de proceso, las horas extras generadas por la limpieza y descarga de la materia prima y los tiempos muertos que se generan en la planta.

Por lo cual se puede inferir que aproximadamente en 3 años podemos recuperar la inversión y aumentar la eficiencia del área de recepción de materia prima de la compañía permitiendo que el subproducto entregado por el proveedor que se encuentra junto a la compañía sea almacenado en la tolva diseñada y la tolva existente sea destinada únicamente para descarga de volquetas.

3.5 Diseño Final

En la Figura 3.4 se observa el diseño final del proyecto basado en la alternativa **B**, que resultó seleccionada en la sección 2.4, conformada por un tornillo sinfín de 14" de diámetro con capacidad de transporte de 2000 Kg/h en acero inoxidable para la alimentación, una tolva rectangular en acero inoxidable de 4313,50 mm de ancho por 5000 mm de largo de 12 mm de espesor con un ángulo de inclinación de 30° permitiendo el flujo del material y almacenar 26 toneladas de subproductos de atún, y por ultimo tres tornillos sinfín de 16" de diámetro con capacidad de transporte de 12000 Kg/h en acero inoxidable.

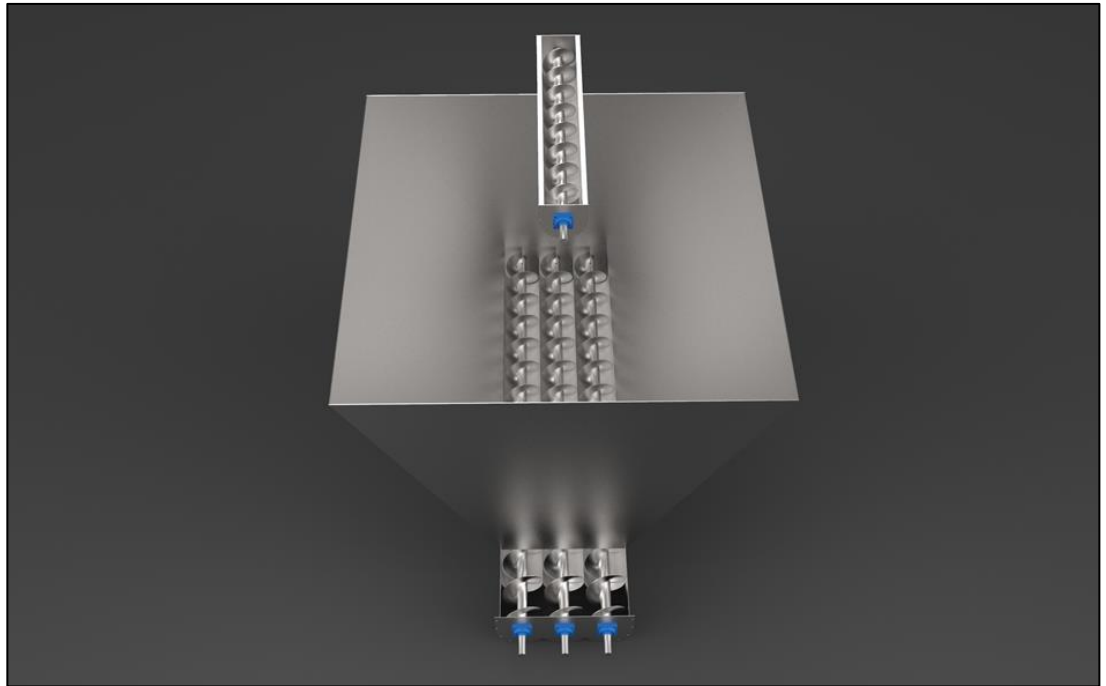


Figura 3.4 Diseño final del proyecto
Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Se determinaron mediante cálculos las dimensiones para un tornillo sinfín de 14" de diámetro con un tren motriz de 1 Hp girando a 4,71 rpm para suplir la necesidad de transportar 2000 Kg/h de subproductos de atún que entrega el proveedor mediante su tornillo sinfín para alimentar la báscula existente y verificar el peso de salida con el peso de entrada, facilitando la limpieza del equipo al ser de acero inoxidable evitando que se adhiere la materia prima a las hélices y carcasa, garantizando la inocuidad del producto mientras es transportado por el uso de tapas adecuadas que evitan la contaminación cruzada, fácil mantenimiento por la correcta ubicación y fácil desarmado de sus componentes y alta durabilidad de los componentes mediante una correcta selección siguiendo las normativas y recomendaciones de los fabricantes.
- Asimismo, se determinaron mediante cálculos las dimensiones para tres tornillos sinfín de 16" de diámetro con un tren motriz de 5 Hp girando a 18,84 rpm cada uno para suplir la necesidad de transportar 12000 Kg/h de subproductos de atún desde la tolva de almacenamiento hacia el tornillo sinfín que alimenta a la siguiente etapa de proceso, de igual manera como en el caso del sistema de alimentación, facilitando la limpieza del equipo al ser de acero inoxidable evitando que se adhiere la materia prima a las hélices y carcasa, garantizando la inocuidad del producto mientras es transportado por el uso de tapas adecuadas que evitan la contaminación cruzada, fácil mantenimiento por la correcta ubicación y fácil desarmado de sus componentes y alta durabilidad de los componentes mediante una correcta selección siguiendo las normativas y recomendaciones de los fabricantes.

- Se definieron las dimensiones para almacenar 26 toneladas de subproductos de atún en una tolva de acero inoxidable 304 que permite descargar la materia prima mediante el cálculo del ángulo de inclinación del equipo que garantice una descarga de manera fluida evitando y calculando el ancho de boca mínimo necesario para evitar el atascamiento del producto, además se utilizó el área física disponible, la cual era una de las restricciones iniciales, en la compañía para la ejecución del proyecto en la cual se garantizara una limpieza eficiente y un mantenimiento eficaz.

4.2 Recomendaciones

- Se recomienda implementar una obra civil que permita soportar las planchas de la tolva con lo cual se reducirían los esfuerzos y deformaciones generadas por el producto almacenado, asimismo se podría reducir el espesor de plancha utilizado lo que se traduce en reducción de costos del proyecto.
- Se debe implementar experimentaciones con cada tipo de materia prima recibida debido a los diferentes parámetros como la humedad y contenido de grasa para identificar los coeficientes de fricción respectiva y obtener límites de diseño y acercar más el proyecto a la necesidad de la compañía.
- Se recomienda utilizar una licencia profesional del software de análisis de elementos finitos (ANSYS), que permita obtener resultados de simulaciones más detallados afinando el mallado e incluyendo en el análisis los cordones de soldadura aplicados en las caras de la tolva.
- Se recomienda elaborar el manual de mantenimiento y limpieza del equipo para garantizar la durabilidad del mismo y la inocuidad del producto para cumplir con lo propuesto.

BIBLIOGRAFÍA

1. (CEMA), C. E. (2019). *2019 CEMA Engineering conference bulk handling section*.
2. Conveyor Engineering & Manufacturing. (s.f.). *Screw Conveyor Components & Design*.
3. D. Miles, R., & P. Jacob, J. (s.f.). Fishmeal: Understanding why this Feed Ingredient is so valuable in poultry diets. *University of Florida IFAS Extension*.
4. Dirección de Investigación, D. I. (2018). Residuos de la pesca: aprovechamiento y valor agregado. *Vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva*.
5. Figueroa, V., & Sanchez, M. (s.f.). *Tratamiento y utilización de residuos de origen animal, pesquero y alimenticio en la alimentación animal*. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación).
6. H. H, P., Sagar Shahaji, C., & Rahul Dattatray, B. (2017). An Overview of Hopper and Design Procedure of a Pyramid Shaped Hopper. *IJSRD - International Journal for Scientific Research & Development*.
7. Hiroaki Masuda, K. H. (2006). *Powder Technology Handbook*. CRC Press.
8. KWS Design Engineering Manufacturing. (2016). *Screw Conveyors Engineering Guide*.
9. McGlinchey, D. (2004). *Characterisation of bulk solids*. CRC Press.
10. Ortega Peralvo, D. F., & Torres Andrade, F. S. (2016). *Diseño de un silo de fondo cónico para almacenar maíz con capacidad de 25 toneladas con carga y descarga*. Quito: Universidad Politecnica Salesiana.
11. Ortega-Rivas, E. (2012). *Unit operations of particulate solids*. CRC Press.
12. Schulze, D. (2011). *Flow Properties of Powders and Bulk Solids*.
13. T. Crowe, C. (2006). *Multiphase flow handbook*. CRC Press.
14. Union, T. E. (2011). *Eurocode 1: Actions on structures - Part 4: Silos and tanks*.
15. W. Jenike, A. (1964). *Storage and Flow of solids*. Bulletin of the University of Utah.
16. Zevenhoven, R. (2018). *Powder mechanics & powder flow testing*.

APÉNDICES

APÉNDICE A

CÁLCULO DE SISTEMA DE ALIMENTACIÓN Y DESCARGA

Sistema de Alimentación

Requerimientos de transporte

- Material a transportar: Subproducto de pescado.
- Flujo de transporte: 2000 Kg/h.
- Distancia a transportar: 3 metros, 9,84 pies, 118,11 pulgadas.

Características del material

Según la Tabla 2.8 obtenemos la siguiente información del subproducto de pescado:

- Código del Producto: 45D45H, es decir tiene una densidad de 45 lb/ft³, es un material granular, flojo, medio abrasivo y perecedero. (Ver Tabla 2.7)
- Capacidad de carga: 30A
- Componentes: 2A, 2B, 2C
- Densidad Mínima: 40 lb/ft³
- Densidad Máxima: 50 lb/ft³
- Factor de Material: 1.5

Cálculo de capacidad de transporte

Se tiene como dato que el material a transportar es subproducto de pescado con un valor de 45 lb/ft³ con una tasa de flujo de 2000 kg/h, es decir la capacidad de transporte es:

$$C = \frac{2000 \text{ Kg}}{h} \times \frac{2,20 \text{ lb}}{1 \text{ Kg}} \times \frac{ft^3}{45 \text{ lb}} = 97,98 [ft^3/h]$$

Se conoce que el proveedor entrega la materia prima a través de un tornillo sin fin de 14" por lo tanto se utilizara esta misma dimensión para el diseño del tornillo de alimentación de la tolva de pesaje. De la Tabla 2.10 Capacidad de transporte Tabla 2.10 obtenemos el valor de 20,8 ft³/h correspondiente a la capacidad de transporte de un tornillo 14" a 1 rpm con una capacidad de carga igual a 30A. Aplicando la Ecuación 2.1 obtenemos la velocidad de transporte:

$$N = \frac{\text{Capacidad requerida } [ft^3/h]}{\text{Capacidad a 1 rpm } [ft^3/h]} = \frac{97,98 [ft^3/h]}{20,8 [ft^3/h]} = 4,71 [rpm]$$

Se verifica que el valor obtenido no supere el valor máximo de rpm que indica la Tabla 2.10 que en este caso es 85 rpm.

Cálculo de Potencia

Se conoce que uno de los requerimientos del equipo es que su sistema de transmisión sea a través de piñón-cadena y que utilice descansos de nylon. En la Tabla A-1 se indican los valores de cada factor:

Tabla A-1. Factores de corrección tornillo sistema de alimentación

Factor		Valor
F _d	Factor de diámetro de tornillo	78
F _b	Factor de soporte de tornillo	2
F _m	Factor de material	1,5
F _f	Factor de tipo de hélice	1
F _p	Factor de paleta	1
e	Eficiencia de transmisión	0,85

Fuente: Elaboración propia

Utilizando la ecuación 2.5 obtenemos la potencia de fricción:

$$HP_f = \frac{LNF_d F_b}{1 \times 10^6} = \frac{9,84 [ft] \times 4,71 [rpm] \times 78 \times 2}{1 \times 10^6} = 0,01 [HP]$$

Utilizando la ecuación 2.6 obtenemos la potencia del material:

$$HP_m = \frac{CL\rho F_m F_f F_p}{1 \times 10^6} = \frac{97,98 [ft^3/h] \times 9,84 [ft] \times 45 [lb/ft^3] \times 1,5 \times 1 \times 1}{1 \times 10^6} = 0,07 [HP]$$

Sumando los valores de HP_f y HP_m (0,01+0,07=0,08) debemos aplicar la ecuación 2.7 para determinar el factor de sobrecarga Fo:

$$F_o = (\ln(HP_f + HP_m) \times -0,6115) + 2,024 = (\ln(0,01 + 0,07) \times -0,6115) + 2,024 = 3,57$$

Aplicando la ecuación 2.4 obtenemos la potencia total del tornillo:

$$HP_T = \frac{(HP_f + HP_m)F_o}{e} = \frac{(0,01 [HP] + 0,07 [HP]) * 3,57}{0,85} = 0,34 [HP]$$

Debido a que se pueden presentar atascamientos por objetos extraños en la materia prima se utiliza un factor de 2 por seguridad para evitar estos inconvenientes por lo tanto nos dará como resultado una potencia de 0,68 Hp siendo su valor comercial e inmediato superior 1 Hp.

Tamaños de componentes

De la Tabla 2.16 con un valor de diámetro de tornillo de 14" y diámetro de eje de 3" para un grupo de componentes 2A, 2B, 2C como indica al que pertenece el subproducto de pescador se obtiene que podemos utilizar 2 pernos por acople, un espesor de helicoide de 1/4", un espesor de canal de 3/16" y un espesor de tapa superior de 14 ga.

Revisión de torque de los componentes

Aplicando la ecuación 2.8 obtenemos el torque producido por la transmisión del transportador

$$T = \frac{63025 \times HP}{N} = \frac{63025 \times 1 [HP]}{4,71 [rpm]} = 13381,1 [lb \cdot in]$$

Revisando la Tabla 2.17 con los valores de diámetro de eje 3" y diámetro de tubería 3-1/2"-sch40, observamos que el valor obtenido de torque no supera los valores de los componentes siendo 23693 lb-in del eje, 31120 lb-in de la tubería y 17230 lb-in de los pernos.

Cálculo de deflexión y expansión térmica

Aplicando la ecuación 2.9 obtenemos el valor de la deflexión en la tubería, usando un valor de 242 lb para una longitud de 11,75 ft (Ver Tabla 2.20) y 4,79 in⁴ como valor de inercia para una tubería 3-1/2"-sch40 (Ver Tabla 2.18), es decir:

$$D = \frac{WL^3}{76.8 EI} = \frac{\left(\frac{242 [lb]}{11,75 [ft]} \times 9,84 [ft] \right) [lb](118,11 [in])^3}{76.8 (2,9 \times 10^7 [psi])(4,79 in^4)} = 0,03 [in]$$

Aplicando la ecuación 2.10 para determinar el ángulo de punta, obtenemos lo siguiente

$$Angulo\ de\ punta = \frac{183D}{L} = \frac{183 \times 0,03 [in]}{118,11 [in]} = 0,05^\circ$$

Verificando en la Tabla 2.19 no excedemos los límites permitidos de deflexión de 0,125" y 0,2° ángulo de punta.

Aplicando la ecuación 2.11 obtenemos el cambio de longitud producido por expansión térmica teniendo como dato que la temperatura inicial es 89,6°F y la temperatura final es 86°F:

$$\Delta L = L(t_1 - t_2)c = 118,11 [in](89,6 - 86)[^{\circ}F] (9,6 \times 10^{-6}) = 0,004 [in]$$

Sistema de Descarga

Requerimientos de transporte

- Material a transportar: Subproducto de pescado.
- Flujo de transporte: 12000 Kg/h.
- Distancia a transportar: 5,8 metros, 19,03 pies, 228,35 pulgadas.

Cálculo de capacidad de transporte

Se tiene como dato que el material a transportar es subproducto de pescado con un valor de 45 lb/ft³ según la Tabla 2.8 con una tasa de flujo de 12000 kg/h, es decir la capacidad de transporte es:

$$C = \frac{12000 \text{ Kg}}{h} \times \frac{2,20 \text{ lb}}{1 \text{ Kg}} \times \frac{\text{ft}^3}{45 \text{ lb}} = 587,90 [\text{ft}^3/\text{h}]$$

Se conoce que la materia prima se va a entregar a un tornillo sin fin de 16" por lo tanto se utilizara esta misma dimensión para el diseño del tornillo de descarga de la tolva de almacenamiento. De la Tabla 2.10 obtenemos el valor de 31,2 ft³/h correspondiente a la capacidad de transporte de un tornillo 16" a 1 rpm con una capacidad de carga igual a 30A. Aplicando la Ecuación 2.1 obtenemos la velocidad de transporte:

$$N = \frac{\text{Capacidad requerida} [\text{ft}^3/\text{h}]}{\text{Capacidad a 1 rpm} [\text{ft}^3/\text{h}]} = \frac{587,90 [\text{ft}^3/\text{h}]}{31,2 [\text{ft}^3/\text{h}]} = 18,84 [\text{rpm}]$$

Se verifica que el valor obtenido no supere el valor máximo de rpm que indica la Tabla 2.10 que en este caso es 80 rpm.

Cálculo de Potencia

Se conoce que uno de los requerimientos del equipo es que su sistema de transmisión sea a través de piñón-cadena y que utilice descansos de nylon. En la Tabla A-2 se indican los valores de cada factor:

Tabla A-2. Factores de corrección tornillo sistema de descarga

Factor		Valor
F _d	Factor de diámetro de tornillo	106
F _b	Factor de soporte de tornillo	2
F _m	Factor de material	1,5
F _f	Factor de tipo de hélice	1
F _p	Factor de paleta	1
e	Eficiencia de transmisión	0,85

Fuente: Elaboración propia

Utilizando la ecuación 2.5 obtenemos la potencia de fricción:

$$HP_f = \frac{LN F_d F_b}{1 \times 10^6} = \frac{19,03 [ft] \times 18,84 [rpm] \times 106 \times 2}{1 \times 10^6} = 0,08 [HP]$$

Utilizando la ecuación 2.6 obtenemos la potencia del material:

$$HP_m = \frac{CL \rho F_m F_f F_p}{1 \times 10^6} = \frac{587,90 [ft^3/h] \times 19,03 [ft] \times 45 [lb/ft^3] \times 1,5 \times 1 \times 1}{1 \times 10^6} = 0,76 [HP]$$

Sumando los valores de HP_f y HP_m (0,08+0,76=0,84) debemos aplicar la ecuación 2.7 para determinar el factor de sobrecarga Fo:

$$F_o = (\ln(HP_f + HP_m) \times -0,6115) + 2,024 = (\ln(0,08 + 0,76) \times -0,6115) + 2,024 = 2,13$$

Aplicando la ecuación 2.4 obtenemos la potencia total del tornillo:

$$HP_T = \frac{(HP_f + HP_m) F_o}{e} = \frac{(0,08 [HP] + 0,76 [HP]) 2,13}{0,85} = 2,10 [HP]$$

Debido a que se pueden presentar atascamientos por objetos extraños en la materia prima se utiliza un factor de 2 por seguridad para evitar estos inconvenientes por lo tanto nos dará como resultado una potencia de 4,2 Hp siendo su valor comercial e inmediato superior 5 Hp.

Tamaños de componentes

De la Tabla 2.16 con un valor de diámetro de tornillo de 16" y diámetro de eje de 3" para un grupo de componentes 2A, 2B, 2C como indica al que pertenece el subproducto de pescador se obtiene que podemos utilizar 2 pernos por acople, un espesor de helicoide de 1/4", un espesor de canal de 3/16" y un espesor de tapa superior de 14 ga.

Revisión de torque de los componentes

Aplicando la ecuación 2.8 obtenemos el torque producido por la transmisión del transportador

$$T = \frac{63025 \times HP}{N} = \frac{63025 \times 5 [HP]}{18,84 [rpm]} = 16723,78 [lb \cdot in]$$

Revisando la Tabla 2.17 con los valores de diámetro de eje 3" y diámetro de tubería 3-1/2"-sch40, observamos que el valor obtenido de torque no supera los valores de los componentes siendo 23693 lb-in del eje, 31120 lb-in de la tubería y 17230 lb-in de los pernos.

Cálculo de deflexión y expansión térmica

Aplicando la ecuación 2.9 obtenemos el valor de la deflexión en la tubería, usando un valor de 360 lb para una longitud de 11,75 ft (Ver Tabla 2.20) y 7,23 in⁴ como valor de inercia para una tubería 4"-sch40 (Ver Tabla 2.18), es decir:

$$D = \frac{WL^3}{76.8 EI} = \frac{\left(\frac{266 [lb]}{11,75 [ft]} \times 19,03 [ft]\right) [lb] (228,35 [in])^3}{76.8 (2,9 \times 10^7 [psi]) (4,79 in^4)} = 0,48 [in]$$

$$Angulo\ de\ punta = \frac{183D}{L} = \frac{183 \times 0,48 [in]}{118,11 [in]} = 0,39^\circ$$

Aplicando la ecuación 2.11 obtenemos el cambio de longitud producido por expansión térmica teniendo como dato que la temperatura inicial es 89,6°F y la temperatura final es 86°F:

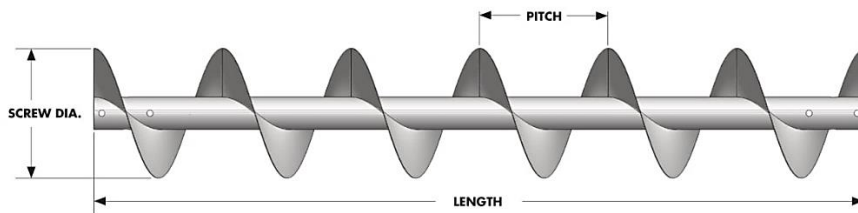
$$\Delta L = L(t_1 - t_2)c = 228,35 [in] (89,6 - 86) [^\circ F] (9,6 \times 10^{-6}) = 0,008 [in]$$

Selección de componentes de los tornillos sinfín de entrada y salida

Se utilizan las tablas del manual "Screw Conveyor Components & Design" (Conveyor E&M, 2012) para la selección de los componentes de los respectivos sistemas de alimentación y descarga. Se indica con color rojo el componente del sistema de entrada y con color verde el sistema de salida.

Tornillo

Tabla A-3. Tabla de selección de tornillo estándar



SCREW DIA	COUPLING SHAFT DIA	SCREW PART #	NOMINAL PIPE SIZE	PIPE OD	FLIGHT THICK.	STD LENGTH	STD LENGTH SCREW WT* (LB)			FLIGHT WT EACH (LB)
							SCH 40	SCH 80	SCH 80 CLAD**	
14	2 7/16	14SS512	3	3 1/2	3/16	11'-9"	196	226	275	10.2
14	2 7/16	14SS516	3	3 1/2	1/4	11'-9"	229	259	308	13.6
14	2 7/16	14SS524	3 1/2	4	3/16	11'-9"	311	349	405	19.5
14	3	14SS612	3 1/2	4	3/16	11'-9"	211	249	305	9.7
14	3	14SS616	3 1/2	4	1/4	11'-9"	242	280	336	13.0
14	3	14SS624	3 1/2	4	3/16	11'-9"	304	342	398	19.5
16	3	16SS612	3 1/2	4	3/16	11'-9"	229	267	323	13.3
16	3	16SS616	3 1/2	4	1/4	11'-9"	266	304	360	17.7
16	3	16SS624	4	4 1/2	3/16	11'-9"	360	407	471	25.6
16	3	16SS632	4	4 1/2	1/2	11'-9"	432	479	542	34.1

Fuente: Conveyor Engineering & Manufacturing

Pernos de acople

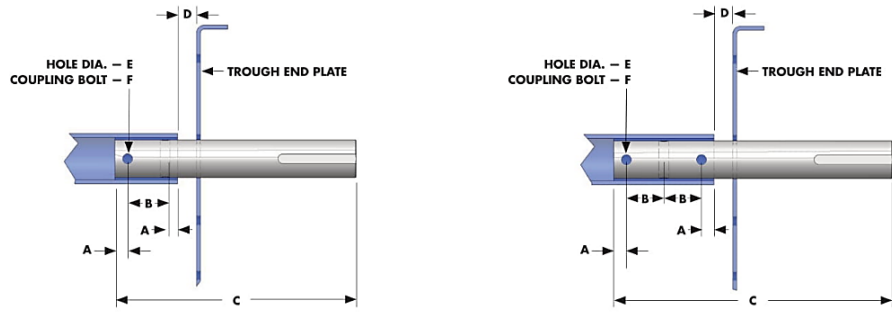
Tabla A-4. Tabla de selección de pernos de acople

SHAFT SIZE	NOMINAL PIPE SIZE	BOLT SIZE (316SS, UNC)		MAX TORQUE* (FT-LB) 316SS	MAX TORQUE* (FT-LB) GRADE 5 CS
		w/o BOLT PADS	w/ BOLT PADS		
2 7/16	3	5/8 x 5	5/8 x 6	95	150
2 7/16	3 1/2	5/8 x 5 1/2	5/8 x 6 1/2	95	150
2 7/16	4	5/8 x 6	5/8 x 7	95	150
3	3 1/2	3/4 x 5 1/2	3/4 x 6 1/2	130	260
3	4	3/4 x 6	3/4 x 7	130	260
3	5	3/4 x 7	3/4 x 8	130	260
3 7/16	4	7/8 x 6	7/8 x 7	200	430
3 7/16	5	7/8 x 7	7/8 x 8	200	430
3 7/16	6	7/8 x 8	7/8 x 9	200	430

Fuente: Conveyor Engineering & Manufacturing

Eje de transmisión

Tabla A-5. Tabla de selección de eje de transmisión



2-BOLT DRIVE SHAFT

3-BOLT DRIVE SHAFT

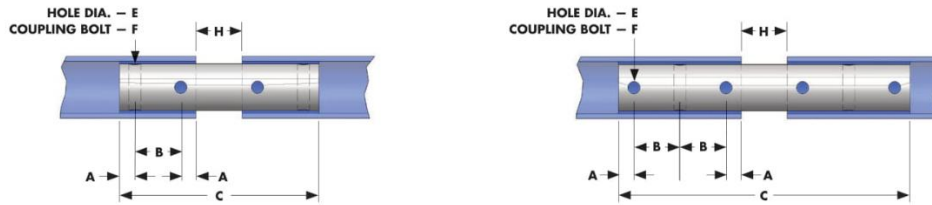
SHAFT DIA	2-BOLT PART #	3-BOLT PART #	A	B	KEYWAY LENGTH	KEYWAY WIDTH	KEYWAY DEPTH
2 1/16	CDS2716	CDS2716-3B	1 1/16	3	5 1/2	5/8	5/16
3	CDS3	CDS3-3B	1	3	6 1/4	3/4	3/8
3 3/16	CDS3716	CDS3716-3B	1 1/2	4	7 1/4	7/8	7/16

SHAFT DIA	C 2-BOLT*	C 3-BOLT*	D	E HOLE DIA	F CPLG. BOLT	2-BOLT WEIGHT	3-BOLT WEIGHT
2 1/16	17 3/4	20 3/4	1 1/2	2 1/32	5/8	22.7	26.5
3	19 1/4	22 1/4	1 1/2	2 5/32	3/4	37.3	42.9
3 3/16	23 1/4	27 1/4	2	2 9/32	7/8	59.1	69.1

Fuente: Conveyor Engineering & Manufacturing

Eje de acople

Tabla A-6. Tabla de selección de eje de acople



2-BOLT STANDARD COUPLING SHAFT

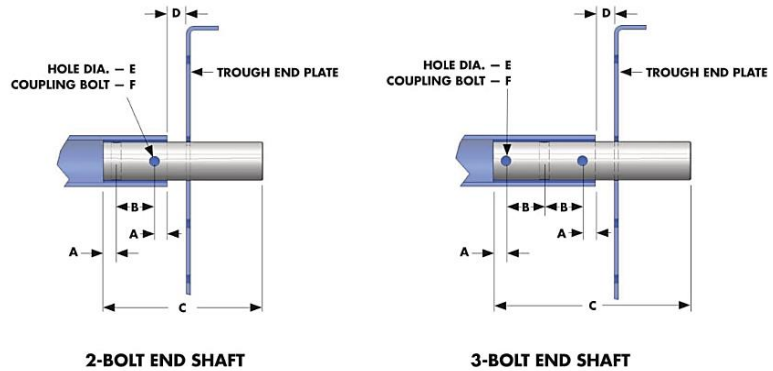
3-BOLT STANDARD COUPLING SHAFT

SHAFT DIA	2-BOLT PART #	3-BOLT PART #	A	B	C 2-BOLT	C 3-BOLT	H	E HOLE DIA	F CPLG BOLT	2-BOLT WT	3-BOLT WT
2 1/16	CC2716	CC2716-3B	1 5/16	3	12 3/4	18 3/4	3	2 1/32	5/8	16.0	23.5
3	CC3	CC3-3B	1	3	13	19	3	2 5/32	3/4	24.5	35.7
3 3/16	CC3716	CC3716-3B	1 1/2	4	18	26	4	2 9/32	7/8	44.9	64.8

Fuente: Conveyor Engineering & Manufacturing

Eje de cola

Tabla A-7. Tabla de selección de eje de cola

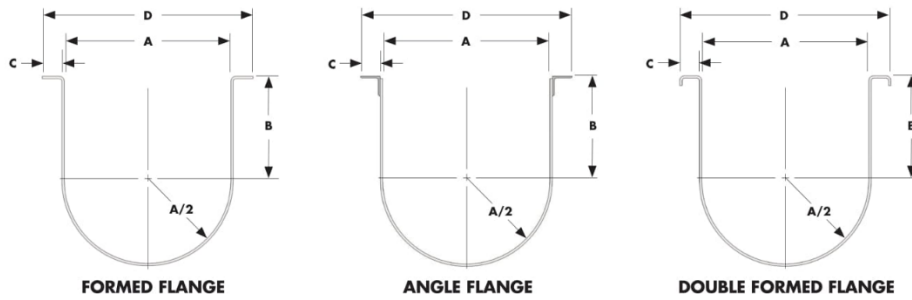


SHAFT DIA	2-BOLT PART #	3-BOLT PART #	A	B	C 2 BOLT*	C 3 BOLT*	D	E HOLE DIA	F CPLG BOLT	2-BOLT WT	3-BOLT WT
2 7/16	CES2716	CES2716-3B	1 5/16	3	11 3/4	14 3/4	1 1/2	2 1/32	5/8	15.1	18.8
3	CES3	CES3-3B	1	3	12 1/2	15 1/2	1 1/2	25/32	3/4	24.3	29.9
3 7/16	CES3716	CES3716-3B	1 1/2	4	15 3/4	19 3/4	2	29/32	7/8	40.2	50.1

Fuente: Conveyor Engineering & Manufacturing

Canal

Tabla A-8. Tabla de selección de canal

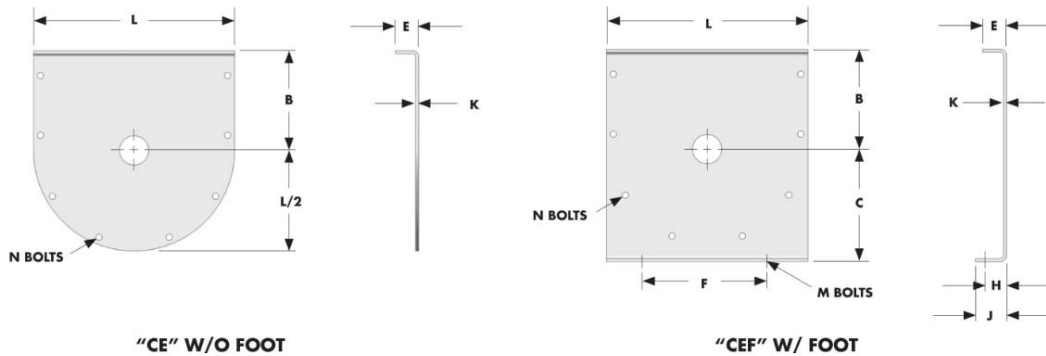


SCREW DIA	TROUGH THICKNESS	FORMED FLANGED PART #	WEIGHT STD LENGTH	ANGLE FLANGE PART #	WEIGHT STD LENGTH	DOUBLE FORMED PART #	WEIGHT STD LENGTH	A	B	C	D	STD LENGTH
14	12 ga	CTF1412	216	CTA1412	256	CTDF1412	222	15	9 1/4	2	19 1/4	12'-0"
14	10 ga	CTF1410	274	CTA1410	308	CTDF1410	281	15	9 1/4	2	19 3/16	12'-0"
14	3/16	CTF147	408	CTA147	431	CTDF147	418	15	9 1/4	2	19 3/8	12'-0"
14	1/4	CTF143	526	CTA143	540	CTDF143	537	15	9 1/4	2	19 1/2	12'-0"
16	10 ga	CTF1610	309	CTA1610	344	CTDF1610	316	17	10 3/8	2	21 3/16	12'-0"
16	3/16	CTF167	460	CTA167	483	CTDF167	471	17	10 3/8	2	21 3/8	12'-0"
16	1/4	CTF163	594	CTA163	608	CTDF163	605	17	10 3/8	2	21 1/2	12'-0"
18	10 ga	CTF1810	355	CTA1810	424	CTDF1810	362	19	12 1/8	2 1/2	24 3/16	12'-0"
18	3/16	CTF187	527	CTA187	581	CTDF187	537	19	12 1/8	2 1/2	24 3/8	12'-0"
18	1/4	CTF183	679	CTA183	721	CTDF183	690	19	12 1/8	2 1/2	24 1/2	12'-0"

Fuente: Conveyor Engineering & Manufacturing

Tapas laterales

Tabla A-9. Tabla de selección de tapa lateral

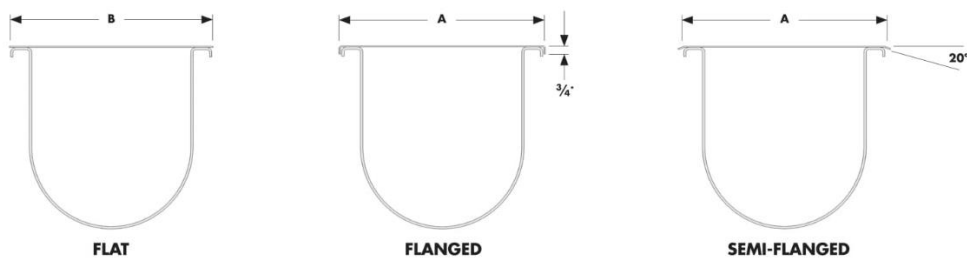


SIZE	SHAFT DIA	PART # (W/O FOOT)	PART # (W/ FOOT)	B	C	E	F	H	J	K	L	M (BOLT)	N (BOLT)	"CE" WT	"CEF" WT
6	1 1/2	CE6112	CEF6112	4 1/2	5 5/8	1 1/2	8 1/8	1	1 3/4	3/16	9 7/8	3/8	3/8	5	7
9	1 1/2	CE9112	CEF9112	6 1/2	7 7/8	1 5/8	9 3/8	1 1/2	2 5/8	1/4	13 1/2	1/2	3/8	12	17
9	2	CE92	CEF92	6 3/8	7 7/8	1 5/8	9 3/8	1 1/2	2 5/8	1/4	13 1/2	1/2	3/8	12	17
10	1 1/2	CE10112	CEF10112	6 3/8	8 7/8	1 3/4	9 1/2	1 3/4	2 7/8	1/4	14 1/2	1/2	3/8	14	20
10	2	CE102	CEF102	6 3/8	8 7/8	1 3/4	9 1/2	1 3/4	2 7/8	1/4	14 1/2	1/2	3/8	14	20
12	2	CE122	CEF122	7 3/4	9 3/8	2	12 1/4	1 5/8	2 3/4	1/4	17 1/2	5/8	1/2	20	26
12	2 7/16	CE122716	CEF122716	7 3/4	9 3/8	2	12 1/4	1 5/8	2 3/4	1/4	17 1/2	5/8	1/2	20	26
12	3	CE123	CEF123	7 3/4	9 3/8	2	12 1/4	1 5/8	2 3/4	1/4	17 1/2	5/8	1/2	20	26
14	2 7/16	CE142716	CEF142716	9 1/4	10 7/8	2	13 1/2	1 5/8	2 7/8	3/16	19 1/2	5/8	1/2	32	42
14	3	CE143	CEF143	9 1/4	10 7/8	2	13 1/2	1 5/8	2 7/8	3/16	19 1/2	5/8	1/2	32	42
16	3	CE163	CEF163	10 5/8	12	2 1/2	14 7/8	2	3 1/4	3/16	21 1/2	5/8	3/8	40	53
18	3	CE183	CEF183	12 1/2	13 3/8	2 1/2	16	2	3 1/4	3/8	24 1/2	5/8	3/8	62	79
18	3 7/16	CE183716	CEF183716	12 1/2	13 3/8	2 1/2	16	2	3 1/4	3/8	24 1/2	5/8	3/8	62	79

Fuente: Conveyor Engineering & Manufacturing

Tapas superiores

Tabla A-10. Tabla de selección de tapa superior

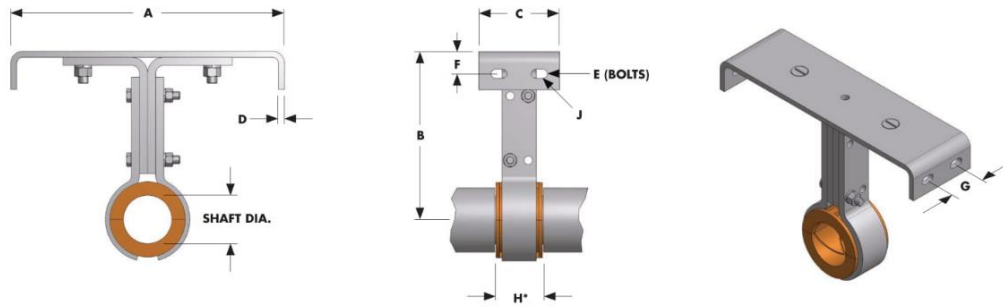


SCREW DIA	COVER THICKNESS	STD FLAT PART #	WEIGHT STD LENGTH	STD FLANGE PART #	WEIGHT STD LENGTH	SEMI-FLANGED PART #	WEIGHT STD LENGTH	A*	B	C	STD LENGTH
12	14 ga	CTC1214	55	CTC1214-F	61	CTC1214-S	61	17 3/4	17 1/2	2	12'-0
12	12 ga	CTC1212	77	CTC1212-F	85	CTC1212-S	85	17 3/4	17 1/2	2	12'-0
12	10 ga	CTC1210	99	CTC1210-F	109	CTC1210-S	109	17 3/4	17 1/2	2	12'-0
14	14 ga	CTC1414	62	CTC1414-F	67	CTC1414-S	67	19 3/4	19 1/2	2	12'-0
14	12 ga	CTC1412	86	CTC1412-F	94	CTC1412-S	94	19 3/4	19 1/2	2	12'-0
14	10 ga	CTC1410	111	CTC1410-F	121	CTC1410-S	121	19 3/4	19 1/2	2	12'-0
16	12 ga	CTC1612	86	CTC1612-F	103	CTC1612-S	103	21 3/4	21 1/2	2 1/2	12'-0
16	10 ga	CTC1610	122	CTC1610-F	132	CTC1610-S	132	21 3/4	21 1/2	2 1/2	12'-0
18	12 ga	CTC1812	108	CTC1812-F	116	CTC1812-S	116	24 3/4	24 1/2	2 1/2	12'-0
18	10 ga	CTC1810	139	CTC1810-F	149	CTC1810-S	149	24 3/4	24 1/2	2 1/2	12'-0

Fuente: Conveyor Engineering & Manufacturing

Soportes

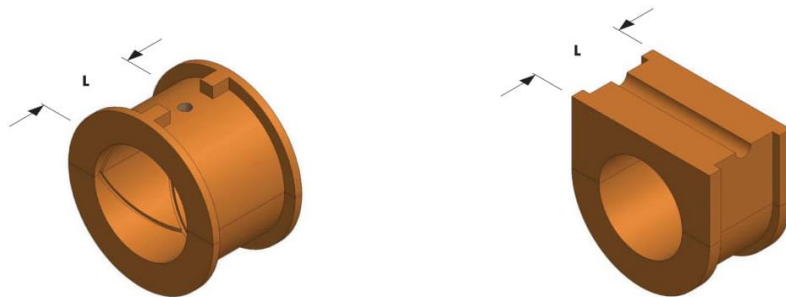
Tabla A-11. Tabla de selección de soporte



SIZE	SHAFT DIA	PART #	A	B	C	D	BOLTS E	F	G	H*	SLOT J	WEIGHT
12	2	QCCH122262	13	7 3/4	5	3/8	1/2	1 1/4	2 1/2	2	3/16 x 1	13.8
12	2 1/16	QCCH122262716	13	7 3/4	5	3/8	1/2	1 1/4	2 1/2	3	3/16 x 1	18.3
12	3	QCCH122263	13	7 3/4	5	3/8	1/2	1 1/4	2 1/2	3	3/16 x 1	18.8
14	2 7/16	QCCH142262716	15	9 1/4	5	3/8	1/2	1 3/8	2 1/2	3	3/16 x 1	20.0
14	3	QCCH142263	15	9 1/4	5	3/8	1/2	1 3/8	2 1/2	3	3/16 x 1	20.0
16	3	QCCH162263	17	10 3/8	5	3/8	1/2	1 3/8	2 1/2	3	3/16 x 1	26.0
18	3	QCCH182263	19	12 1/8	5	1/2	5/8	1 3/8	3 1/2	3	1/16 x 1	35.5
18	3 7/16	QCCH182263716	19	12 1/8	5	1/2	5/8	1 3/8	3 1/2	4	1/16 x 1	46.0

Fuente: Conveyor Engineering & Manufacturing

Tabla A-12 Tabla de selección de bocín



CBX (fits 220 & 226 style hangers)

CB (fits 216 & 230 style hangers)

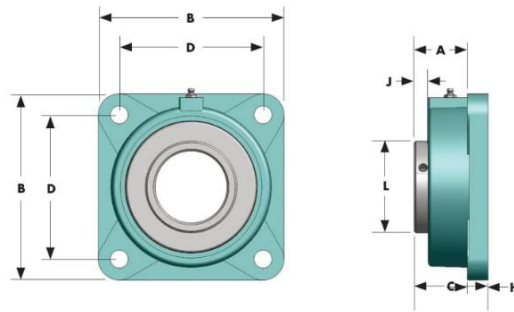
SHAFT DIA	PART NUMBER	PART NUMBER	NOMINAL BORE	"L" LENGTH THROUGH BORE**
2 7/16	CBX2716-*	CB2716-*	2.445	2 7/8
3	CBX3-*	CB3-*	3.010	2 7/8
3 7/16	CBX3716-*	CB3716-*	3.448	3 13/16
3 15/16	CBX31516-*	CB31516-*	3.948	3 13/16

* Material Types: BBT: Babbitt ER: Ertalyte NY: Nylon UHMW: UHMW
 BR: Bronze GR: Graphite PR: Plastic Resin UR: Urethane
 BR-G: Bronze w/graphite plugs HI: Hard Iron RY: Ryertex WD: Wood
 CER: Ceramic MEL: Melamine SYN: Synthane

Fuente: Conveyor Engineering & Manufacturing

Rodamientos

Tabla A-13 Tabla de selección de rodamientos

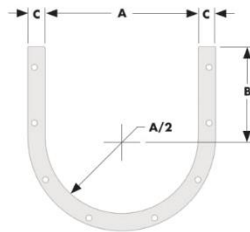


SHAFT	PART #	A	B	C	D	H	J	L	BOLT DIA	WEIGHT
1 1/2	F4B-SC-108	1 11/16	5 1/8	1 7/8	4	3/16	17/32	2 3/64	1/2	5
2	F4B-SCM-200	1 27/32	6 1/2	2 9/32	5 1/8	1 1/16	9/16	2 23/32	5/8	10
2 7/16	F4B-SC-207	1 63/64	6 7/8	2 9/32	5 5/8	1 1/16	9/16	2 31/32	5/8	11
3	F4B-SCM-300	2 11/32	7 3/4	3 7/32	6	7/8	1 9/32	3 53/64	3/4	21
3 7/16	F4B-SCM-307	2 31/64	8 7/16	3 11/32	6 3/4	1	9/16	4 23/64	3/4	28

Fuente: Conveyor Engineering & Manufacturing

Bridas

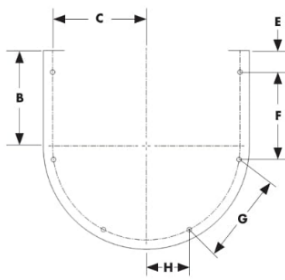
Tabla A-14 Tabla de selección de brida



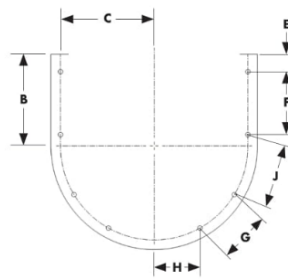
SCREW DIA	FLANGE PART #	"A" IF TROUGH THICKNESS IS...		B	C	FLANGE THICKNESS	FLANGE BOLTS	FLANGE WEIGHT	GASKET PART #
		≤ 10 GA	3/16" - 1/4"						
12	CFP12-U	13 3/4	13 1/2	7 3/4	2	1/4	1/2	5.5	CFG12-U
14	CFP14-U	15 1/4	15 1/2	9 1/4	2	1/4	1/2	6.5	CFG14-U
16	CFP16-U	17 1/4	17 1/2	10 5/8	2	1/4	5/8	7.4	CFG16-U
18	CFP18-U	19 1/4	19 1/2	12 1/8	2 1/2	1/4	3/4	10.4	CFG18-U

Fuente: Conveyor Engineering & Manufacturing

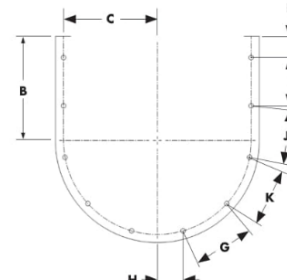
Tabla A-15. Tabla de selección de orificios de bridas



6 HOLE FLANGE PATTERN



8 HOLE FLANGE PATTERN



10 HOLE FLANGE PATTERN

SCREW DIA	BOLTS		B	C	E	F	G	H	J	K	L
	DIA	HOLES									
12	1/2	8	7 3/4	7 15/16	1 1/2	5 5/8	4 1/16	3 7/8	5 3/8	--	--
14	1/2	8	9 1/4	8 15/16	2 17/32	5 5/8	5 19/16	3	5 15/16	--	--
16	3/8	8	10 3/8	10	2 3/8	6 3/8	6 3/8	3 3/4	6 3/8	--	--
18	3/8	10	12 1/8	11	2 23/32	5 15/16	5 7/8	2 15/16	5 7/8	5 7/8	--

Fuente: Conveyor Engineering & Manufacturing

APÉNDICE B

SELECCIÓN DE TREN MOTRIZ DE SISTEMA DE ALIMENTACIÓN Y DESCARGA

Selección de tren motriz para sistema de alimentación

Se conoce que para facilidad de mantenimiento y estandarización de equipos se utiliza en la compañía como piñón motriz 14 dientes, paso 120 (1-1/2") y 30 dientes como piñón conducido en los sistemas de transmisión piñón-cadena para tornillos de 14". Se utiliza como modelo estándar los motores de la serie W22-IE3 marca Weg, y reductores modelos MNHL marca SITI. Utilizando la página web de la compañía Weg en su apartado de selección de productos, se selecciona "Motores IEC baja tensión", luego "Uso general ODP/TEFC", luego "Uso general TEFC (Hierro Gris)" y por último "W-22 Uso general TEFC (Hierros gris), en la ventana que aparece se selecciona los siguientes filtros:

- Eficiencia: IE3
- Potencia: 1 HP
- Numero de polos: 6
- Frecuencia: 60 Hz
- Patas: sin pies
- Brida: FF

Se obtiene como resultado el siguiente producto: *W22 IE3 1 HP 6P 90L 3F 220/440 V 60 Hz IC411 - TEFC - B5L(D)* con código 13060626, de donde obtenemos el tamaño de carcasa igual a 90L, la norma IEC 60034-1 indica que el motor seleccionado tiene un eje de 24 mm y una brida de 200 mm, en la Figura B-1 se indica las características antes mencionadas del motor.

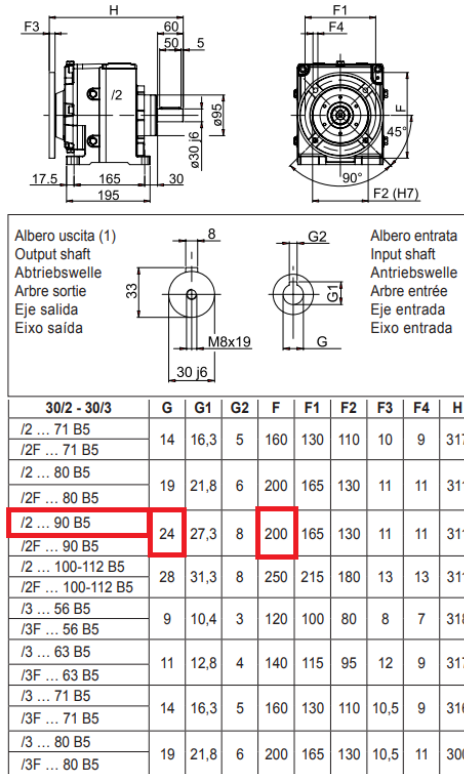
Norma	IEC 60034-1	Potencia	1 HP
Frecuencia	60 Hz	Fijación	Sin pies
Tensión	220/440 V	Brida	FF
Numero de polos	6	Forma constructiva	B5L(D)
Grado de protección	IP55	Caja de conexión ¹	Posición izquierda
Rotación sincrona	1200 rpm	Refrigeración	IC411 - TEFC

Figura B-1. Resumen de parámetros del motor del sistema de alimentación

Fuente: Weg.net

En la Tabla B-1 con el valor de eje y brida se selecciona el modelo MNHL 30/2 ... 90 B5, en la Tabla B-2 con el valor de la potencia (1 HP=0,75 kW) se identifica el ratio requerido siendo este 32,35, por lo tanto el modelo es *MNHL 30/2 32,35 90 B5*

Tabla B-1. Selección de modelo de reductor MNHL 30/2



Fuente: Catalogo NHL-MNHL, SITI

Tabla B-2. Selección de ratio de reductor MNHL 30/2

i	n ₁	n ₂	M ₂	kW ₁	HP ₁	RD	sf
2,25	900	400,0	51	2,2	3	0,97	1,68
3,08		292,2	70	2,2	3	0,97	1,67
3,63		247,9	82	2,2	3	0,97	1,64
4,72		190,7	107	2,2	3	0,97	1,51
5,43		165,7	123	2,2	3	0,97	1,70
6,34		142,0	144	2,2	3	0,97	1,61
7,43		121,1	168	2,2	3	0,97	1,67
8,76		102,7	198	2,2	3	0,97	1,61
9,97		90,3	226	2,2	3	0,97	1,61
11,43		78,7	259	2,2	3	0,97	1,40
13,21		68,1	299	2,2	3	0,97	1,21
15,43		58,3	349	2,2	3	0,97	1,04
18,29		49,2	207	1,1	1,5	0,97	1,75
20,69		43,5	234	1,1	1,5	0,97	1,55
23,66		38,0	268	1,1	1,5	0,97	1,36
27,43		32,8	311	1,1	1,5	0,97	1,17
32,35		27,8	250	0,75	1	0,97	1,45
38,65		23,3	219	0,55	0,75	0,97	1,66
43,43		20,7	246	0,55	0,75	0,97	1,48
48,76	18,5	276	0,55	0,75	0,97	1,32	

Fuente: Catalogo NHL-MNHL, SITI

Aplicando el principio de relación de transmisión de un sistema piñón-cadena con los valores calculados se obtiene el número de rpm del equipo.

$$\omega_1 Z_1 = \omega_2 Z_2$$

$$\omega_2 Z_2 = \frac{\omega_1 Z_1}{Z_2} = \frac{(\omega_m/i) Z_1}{Z_2} = \frac{(1200 [rpm]/32,25)(14)}{30} = 17,31 [rpm]$$

Utilizando un variador de frecuencia sabiendo que a 60 Hz el equipo girara a 17 rpm, se necesita bajar la frecuencia a 17,64 Hz para obtener las 5 rpm requeridas.

Selección de tren motriz para sistema de descarga

Se conoce que para facilidad de mantenimiento y estandarización de equipos se utiliza en la compañía como piñón motriz 14 dientes, paso 120 (1-1/2”) y 40 dientes como piñón conducido en los sistemas de transmisión piñón-cadena para tornillos de 16”. Se utiliza como modelo estándar los motores de la serie W22-IE3 marca Weg, y reductores modelos MNHL marca SITI.

Utilizando la página web de la compañía Weg en su apartado de selección de productos, se selecciona “Motores IEC baja tensión”, luego “Uso general ODP/TEFC”, luego “Uso general TEFC (Hierro Gris)” y por último “W-22 Uso general TEFC (Hierros gris), en la ventana que aparece se selecciona los siguientes filtros:

- Eficiencia: IE3
- Potencia: 5 HP
- Numero de polos: 6
- Frecuencia: 60 Hz
- Patas: sin pies
- Brida: FF

Se obtiene como resultado el siguiente producto: *W22 IE3 5 HP 6P 132S 3F 220/440 V 60 Hz IC411 - TEFC - B5L(D)* con código *13061139*, de donde obtenemos el tamaño de carcasa igual a 132S, la norma IEC 60034-1 indica que el motor seleccionado tiene un eje de 38 mm y una brida de 300 mm, en la Figura B-2 se indica las características antes mencionadas del motor.

Norma	IEC 60034-1	Potencia	5 HP
Frecuencia	60 Hz	Fijación	Sin pies
Tensión	220/440 V	Brida	FF
Numero de polos	6	Forma constructiva	B5L(D)
Grado de protección	IP55	Caja de conexión ¹	Posición izquierda
Rotación sincrona	1200 rpm	Refrigeración	IC411 - TEFC

Figura B-2. Resumen de parámetros del motor del sistema de descarga

Fuente: Weg.net

En la Tabla B-3 con el valor de eje y brida se selecciona el modelo MNHL 40/2 ... 132 B5, en la Tabla B-4 con el valor de la potencia (5 HP=3,5 kW) se identifica el ratio requerido siendo este 32,35, por lo tanto el modelo es *MNHL 40/2 15,22 90 B5*

Tabla B-3. Selección de modelo de reductor MNHL 40/2

40/2 - 40/3	G	G1	G2	F	F1	F2	F3	F4	H
/2 ... 80 B5	19	21,8	6	200	165	130	15	11,5	392
/2F ... 80 B5									
/2 ... 90 B5	24	27,3	8	200	165	130	15	11,5	395
/2F ... 90 B5									
/2 ... 100-112 B5	28	31,3	8	250	215	180	15	14	395
/2F ... 100-112 B5									
/2 ... 132 B5	38	41,3	10	300	265	230	15	14	425
/2F ... 132 B5									
/3 ... 63 B5	11	12,8	4	140	115	95	12	9	379,5
/3F ... 63 B5									
/3 ... 71 B5	14	16,3	5	160	130	110	10	9	385,5
/3F ... 71 B5									
/3 ... 80 B5	19	21,8	6	200	165	130	11	11	379,5
/3F ... 80 B5									
/3 ... 90 B5	24	27,3	8	200	165	130	11	11	379,5
/3F ... 90 B5									

Fuente: Catalogo NHL-MNHL, SITI

Tabla B-4. Selección de ratio de reductor MNHL 40/2

i	n ₁	n ₂	M ₂	kW ₁	HP ₁	RD	sf
2,27		396,5	129	5,5	7,5	0,97	1,18
3,17		283,9	179	5,5	7,5	0,97	1,18
3,78		238,1	214	5,5	7,5	0,97	1,18
4,53		198,7	256	5,5	7,5	0,97	1,03
5,06		177,9	286	5,5	7,5	0,97	1,34
5,96		151,0	337	5,5	7,5	0,97	1,29
7,04		127,8	399	5,5	7,5	0,97	1,24
8,38		107,4	474	5,5	7,5	0,97	1,14
10,06		89,5	414	4	5,5	0,97	1,33
11,45		78,6	471	4	5,5	0,97	1,28
13,14	900	68,5	541	4	5,5	0,97	1,14
15,22		59,1	470	3	4	0,97	1,31
17,85		50,4	551	3	4	0,97	1,12
21,30		42,3	658	3	4	0,97	0,94
23,45		38,4	531	2,2	3	0,97	1,24
29,05		31,0	658	2,2	3	0,97	1,00
32,78		27,5	742	2,2	3	0,97	0,89
37,96		23,7	703	1,8	2,5	0,97	0,94
42,21		21,3	782	1,8	2,5	0,97	0,84
47,40		19,0	732	1,5	2	0,97	0,90
53,09		16,9	603	1,1	1,5	0,97	0,98

Fuente: Catalogo NHL-MNHL, SITI

Aplicando el principio de relación de transmisión de un sistema piñón-cadena con los valores calculados se obtiene el número de rpm del equipo.

$$\omega_1 Z_1 = \omega_2 Z_2$$

$$\omega_2 Z_2 = \frac{\omega_1 Z_1}{Z_2} = \frac{(\omega_m/i) Z_1}{Z_2} = \frac{(1200 [rpm]/15,22)(14)}{40} = 27,59 [rpm]$$

Utilizando un variador de frecuencia sabiendo que a 60 Hz el equipo girara a 28 rpm, se necesita bajar la frecuencia a 38,57 Hz para obtener las 18 rpm requeridas.

APÉNDICE C

CÁLCULO DE TOLVA DE ALMACENAMIENTO

Características del material

Según CEMA el ángulo de reposo es 45°, bajo experimentación (Clayton, 2006) se tiene que el ángulo de fricción externa es de 22°, el ángulo de fricción interna es 50°, el esfuerzo de consolidación es 1,8 KPa.

Cálculo de ancho de boca de tolva

Utilizando la Figura 2.13 se obtiene que el ángulo de inclinación β es 30° y el factor de flujo ff es 1,2. Obtenemos con ayuda de la ecuación 2.14 el esfuerzo crítico:

$$\sigma_{crit} = \frac{\sigma_1}{ff} = \frac{1800 [Pa]}{1,2} = 1500 [Pa]$$

Utilizando la ecuación 2.15 obtenemos el ancho mínimo de boca de la tolva. Se conoce que el factor de variación de arco es 2,2 para tolvas planas (Ortega-Rivas, 2012).

$$B = \frac{\sigma_{crit}H(\theta)}{g\rho} = \frac{(1500 [Pa])(2,2)}{(9,81 \left[\frac{m}{s^2}\right])(720,83 [lb/ft^3])} = 0,467 [m]$$

Cálculo de presiones en tolva

De la Figura 2.15 con un valor de ángulo medio de 30° y un coeficiente de fricción de pared de 0,36 se obtiene un factor $K=0,6$. Se obtiene el valor de coeficiente de mayoración $C_b=1,3$ (UNE EN 1991-4, 2011).

Utilizando la ecuación 2.16 se obtiene la tensión vertical de la tolva:

$$P_{vf} = \gamma z_v = (7,07 [KN/m^3])(2,6 [m]) = 18,38 [KPa]$$

Utilizando la ecuación 2.17 se obtiene la tensión vertical media de la tolva:

$$P_{vft} = C_b P_{vf} = (1,3)(18,38 [KPa]) = 23,90 [KPa]$$

Utilizando la ecuación 2.18 se obtiene el coeficiente de rozamiento movilizado:

$$\mu_{heff} = \frac{(1 - K)}{2 \tan \beta} = \frac{(1 - 0,6)}{2 \tan(30^\circ)} = 0,346$$

Utilizando la ecuación 2.19 se obtiene el coeficiente de presiones en la tolva después del llenado:

$$F_f = 1 - \left\{ \frac{b}{\left(1 + \frac{\tan\beta}{\mu_{h_{eff}}}\right)} \right\} = 1 - \left\{ \frac{0,2}{\left(1 + \frac{\tan(30^\circ)}{0,346}\right)} \right\} = 0,925$$

Utilizando la ecuación 2.20 se obtiene la potencia en el coeficiente de presiones en la tolva:

$$n = S(1 - b)\mu_{h_{eff}}\cot\beta = 1(1 - 0,2) * (0,346 * \cot(30^\circ)) = 0,479$$

Utilizando la ecuación 2.21 se obtiene la tensión vertical del solido almacenado:

$$P_v = \frac{\gamma * h_h}{n - 1} \left\{ \left(\frac{x}{h_h}\right) - \left(\frac{x}{h_h}\right)^n \right\} + P_{vft} \left(\frac{x}{h_h}\right)^n$$

$$P_v = \frac{(7,07 \text{ [KPa]}) * 2,6 \text{ [m]}}{0,479 - 1} \left\{ \left(\frac{x}{2,6 \text{ [m]}}\right) - \left(\frac{x}{2,6 \text{ [m]}}\right)^{0,479} \right\} + (23,90 \text{ [KPa]}) \left(\frac{x}{2,6 \text{ [m]}}\right)^{0,479}$$

$$\frac{d}{dx} \left[\frac{(7,07) * 2,6}{0,479 - 1} \left\{ \left(\frac{x}{2,6}\right) - \left(\frac{x}{2,6}\right)^{0,479} \right\} + (23,90) \left(\frac{x}{2,6}\right)^{0,479} \right] = \frac{17,937}{x^{0,521}} - 13,5701 = 0$$

$$x = 1,7083$$

$$P_v = \frac{(7,07 \text{ [KPa]}) * 2,6 \text{ [m]}}{0,479 - 1} \left\{ \left(\frac{1,70 \text{ [m]}}{2,6 \text{ [m]}}\right) - \left(\frac{1,70 \text{ [m]}}{2,6 \text{ [m]}}\right)^{0,479} \right\} + (23,90 \text{ [KPa]}) \left(\frac{1,70 \text{ [m]}}{2,6 \text{ [m]}}\right)^{0,479}$$

$$= 25,21 \text{ [KPa]}$$

Utilizando la ecuación 2.22 se obtiene la presión normal:

$$P_{nf} = F_f P_v = 0,925(25,21 \text{ [KPa]}) = 23,31 \text{ [KPa]}$$

Utilizando la ecuación 2.23 se obtiene la presión de tracción:

$$P_{tf} = \mu_{h_{eff}} F_f P_v = (0,346)(0,925)(25,21 \text{ [KPa]}) = 8,07 \text{ [KPa]}$$

Utilizando la ecuación 2.24 se obtiene la presión en la tolva debido al solido contenido.

Conociendo que el área seccional es 44,54 m² y el perímetro interno es 55,18 m:

$$P_{n3} = 3 \frac{A \gamma * K}{U \sqrt{\mu_w}} (\cos \beta)^2 = 3 \frac{44,54 (7,07) * (0,6)}{55,18 \sqrt{(0,36)}} (\cos 30^\circ)^2 = 12,84 \text{ [KPa]}$$

Utilizando la ecuación 2.25 se obtiene la presión vertical en la tolva debido al almacenamiento del producto:

$$P_{n2} = P_{vft} C_b (\text{sen}\beta)^2 = (23,90 \text{ [KPa]})(1,3)(\text{sen}(30^\circ))^2 = 7,76 \text{ [KPa]}$$

Utilizando la ecuación 2.26 se obtiene la presión vertical en la tolva debido al almacenamiento del producto:

$$P_{n1} = P_{vft} (C_b (\text{sen}\beta)^2 + (\text{cos}\beta)^2) = (23,90) (1,3(\text{sen}(30)) + (\text{cos}(30))^2) = 25,69 \text{ [KPa]}$$

Utilizando la ecuación 2.27 obtenemos la presión de llenado en la tolva:

$$P_n = P_{n3} + P_{n2} + (P_{n1} - P_{n2}) \frac{x}{lh} = 12,84 + 7,76 + (25,69 - 7,76) = 38,53 \text{ [KPa]}$$

Utilizando la ecuación 2.28 obtenemos el espesor de plancha:

$$t = \frac{F_s * P_n}{\sigma_f * 100} \frac{d}{2} = \frac{(3,5)(38,53)}{240 * 100} \frac{(4,3)}{2} = 12,08 \text{ [mm]}$$

Cantidad de movimiento.

Se deben considerar las fuerzas que ejercen el fluido sobre la entrada y la salida de la tolva, se calculan las cantidades de movimiento en ambos casos

$$\dot{m}_{out} = 12000 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 3,33 \text{ Kg/s}$$

$$Q_{out} = \frac{3,33 \text{ Kg/s}}{720 \text{ Kg/m}^3} = 4,635 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V_{out} = \frac{Q_{out}}{A_{out}} = \frac{4,635 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}{1,29 \text{ m} \times 5 \text{ m}} = 7,17 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$

$$\dot{m}_{out} V_{out} = (3,33 \text{ Kg/s})(7,17 \times 10^{-4} \text{ m/s}) = 2,39 \times 10^{-3} \text{ N}$$

$$\dot{m}_{in} = 2000 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 0,56 \text{ Kg/s}$$

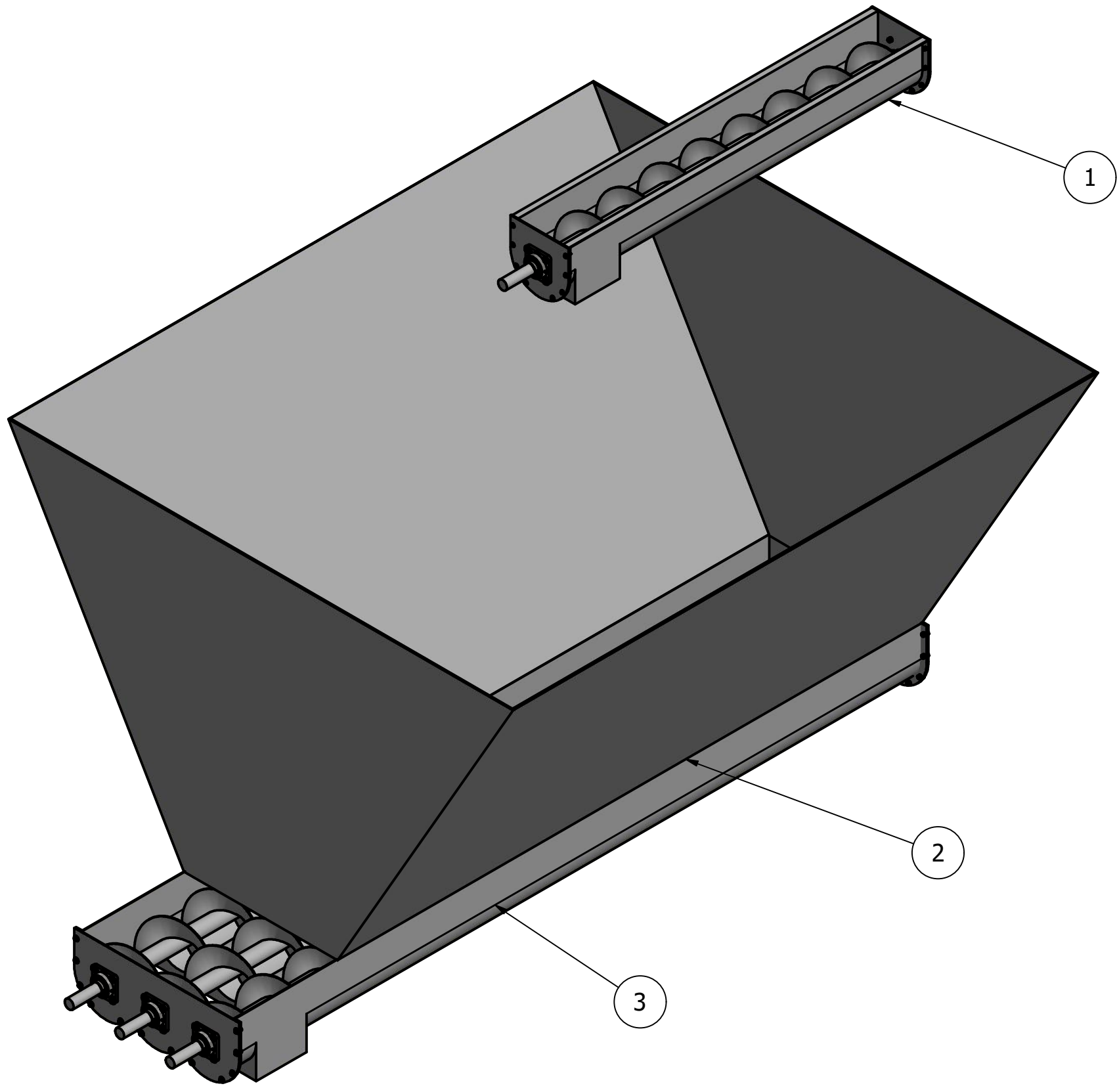
$$Q_{in} = \frac{0,56 \text{ Kg/s}}{720 \text{ Kg/m}^3} = 7,78 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V_{in} = \frac{Q_{in}}{A_{in}} = \frac{7,78 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}}{4,3 \text{ m} \times 5 \text{ m}} = 3,62 \times 10^{-5} \text{ m/s}$$

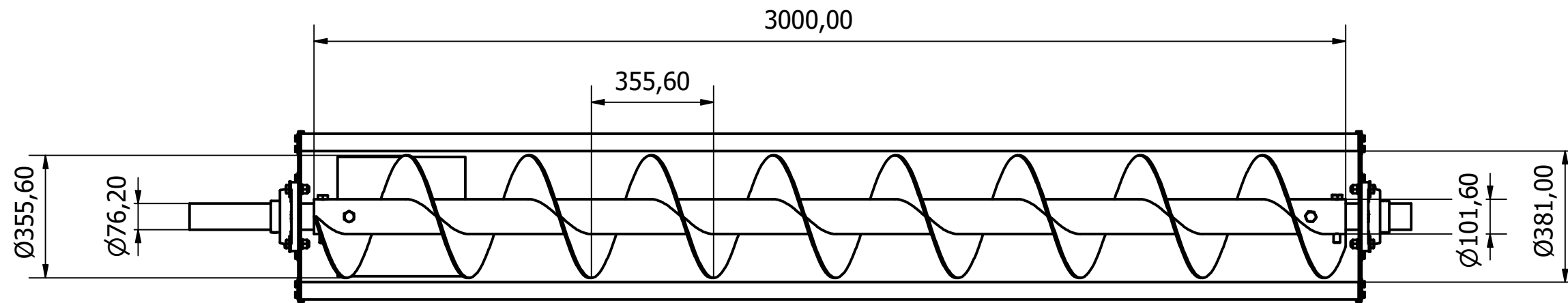
$$\dot{m}_{in} V_{in} = (0,56 \text{ Kg/s})(3,62 \times 10^{-5} \text{ m/s}) = 2,03 \times 10^{-5} \text{ N}$$

Estas cargas son muy pequeñas por lo tanto son despreciables en la simulación realizada.

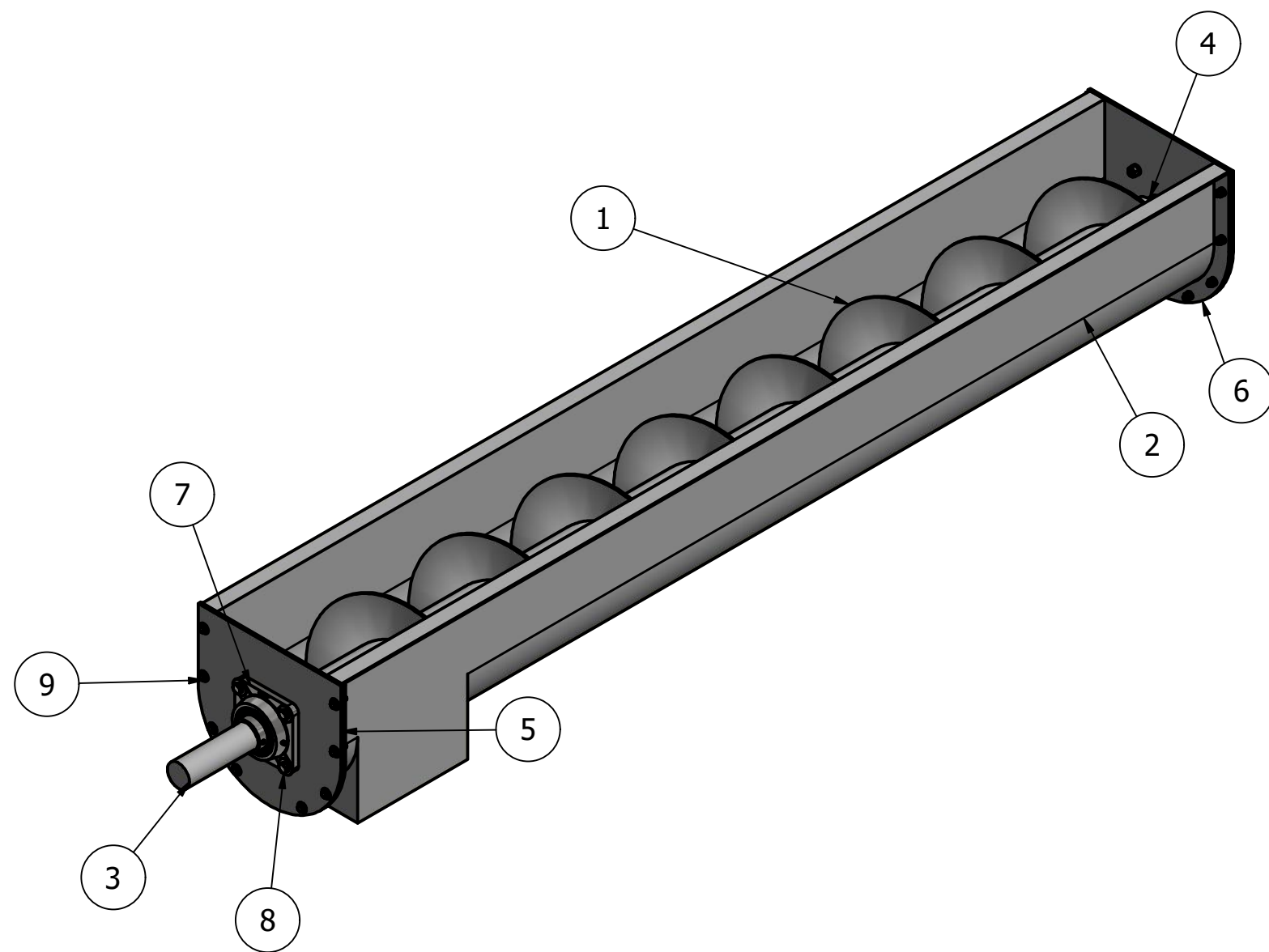
LISTA DE PIEZAS		
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA
1	1	Sistema de alimentación
2	1	Tolva de almacenamiento
3	1	Sistema de descarga



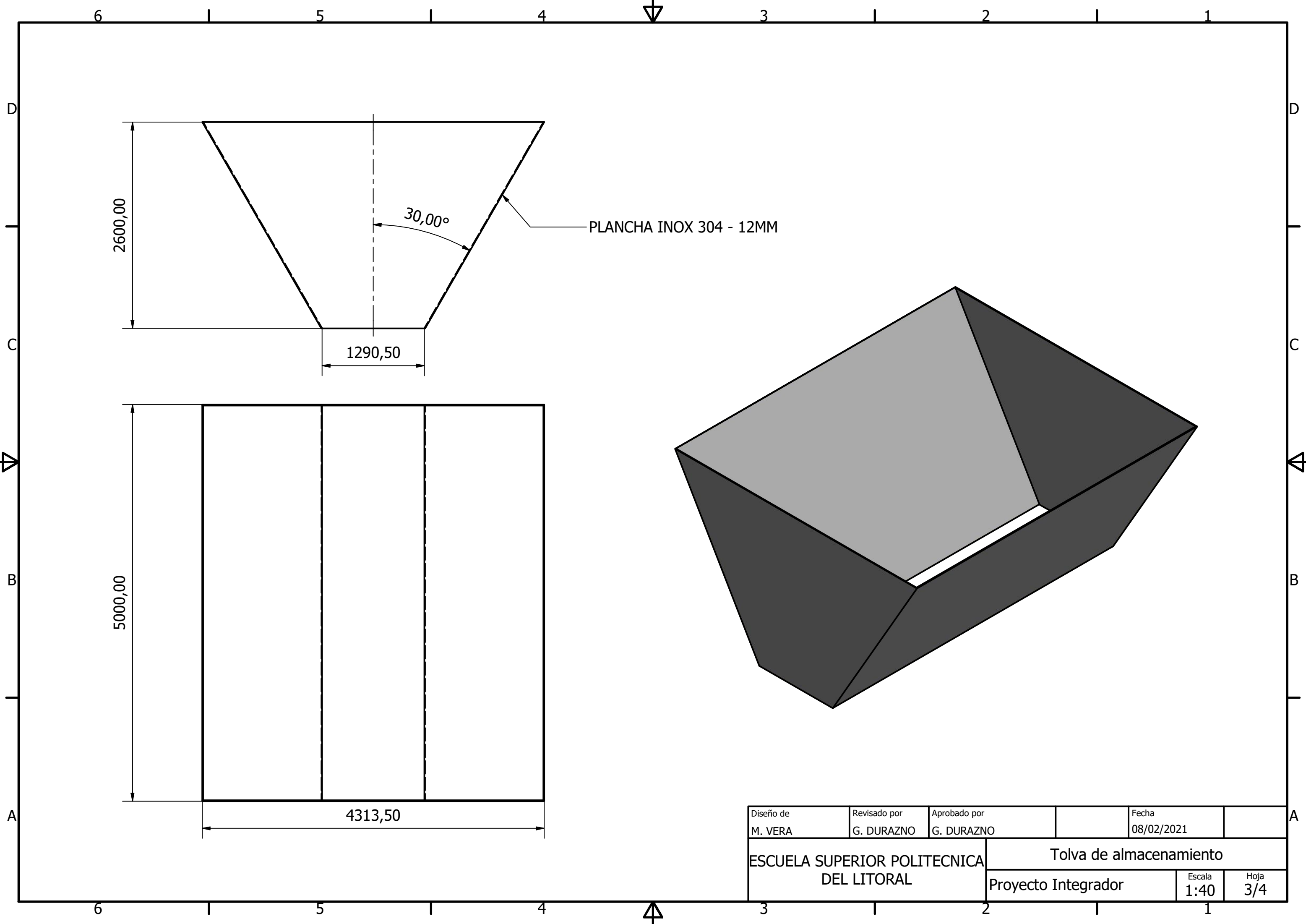
Diseño de M. VERA	Revisado por G. DURAZNO	Aprobado por G. DURAZNO	Fecha 08/02/2021
ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL		PROYECTO INTEGRADOR	
		PROYECTO INTEGRADOR	Escala 1:25
			Hoja 1/4



LISTA DE PIEZAS		
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA
1	1	Tornillo sinfín
2	1	Canal
3	1	Eje de transmisión
4	1	Eje de cola
5	2	Tapa lateral
6	2	Brida
7	2	Chumacera
8	8	AS 2465 - 5/8 x 2 1/4 UNC
9	16	AS 2465 - 7/16 x 1 1/2 UNC



Diseño de M. Vera	Revisado por G. Durazno	Aprobado por G. Durazno	Fecha 08/02/2021
ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL		Sistema de alimentación	
		Proyecto Integrador	Escala 1:15
			Hoja 2/4



2600,00

1290,50

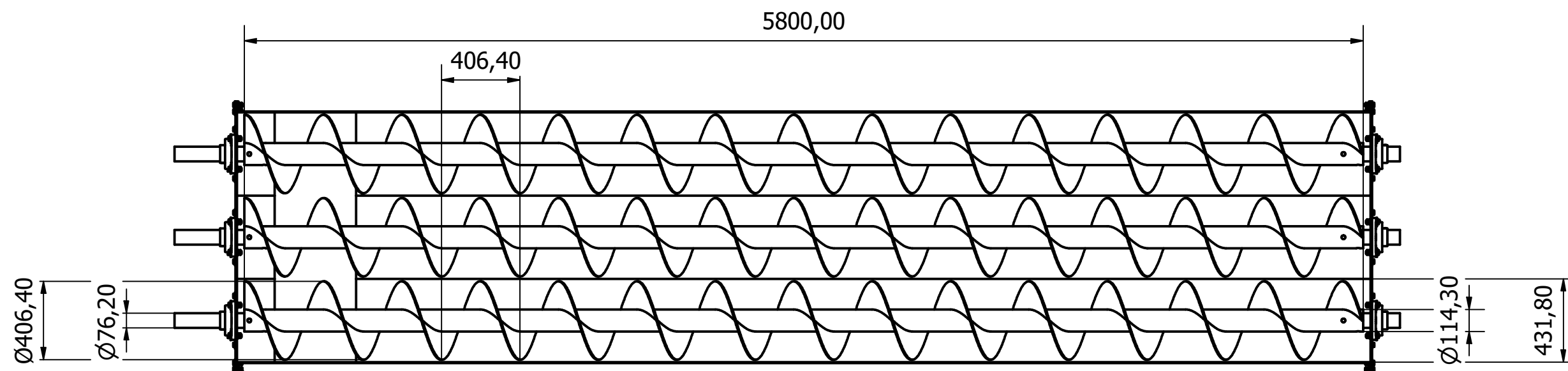
30,00°

PLANCHA INOX 304 - 12MM

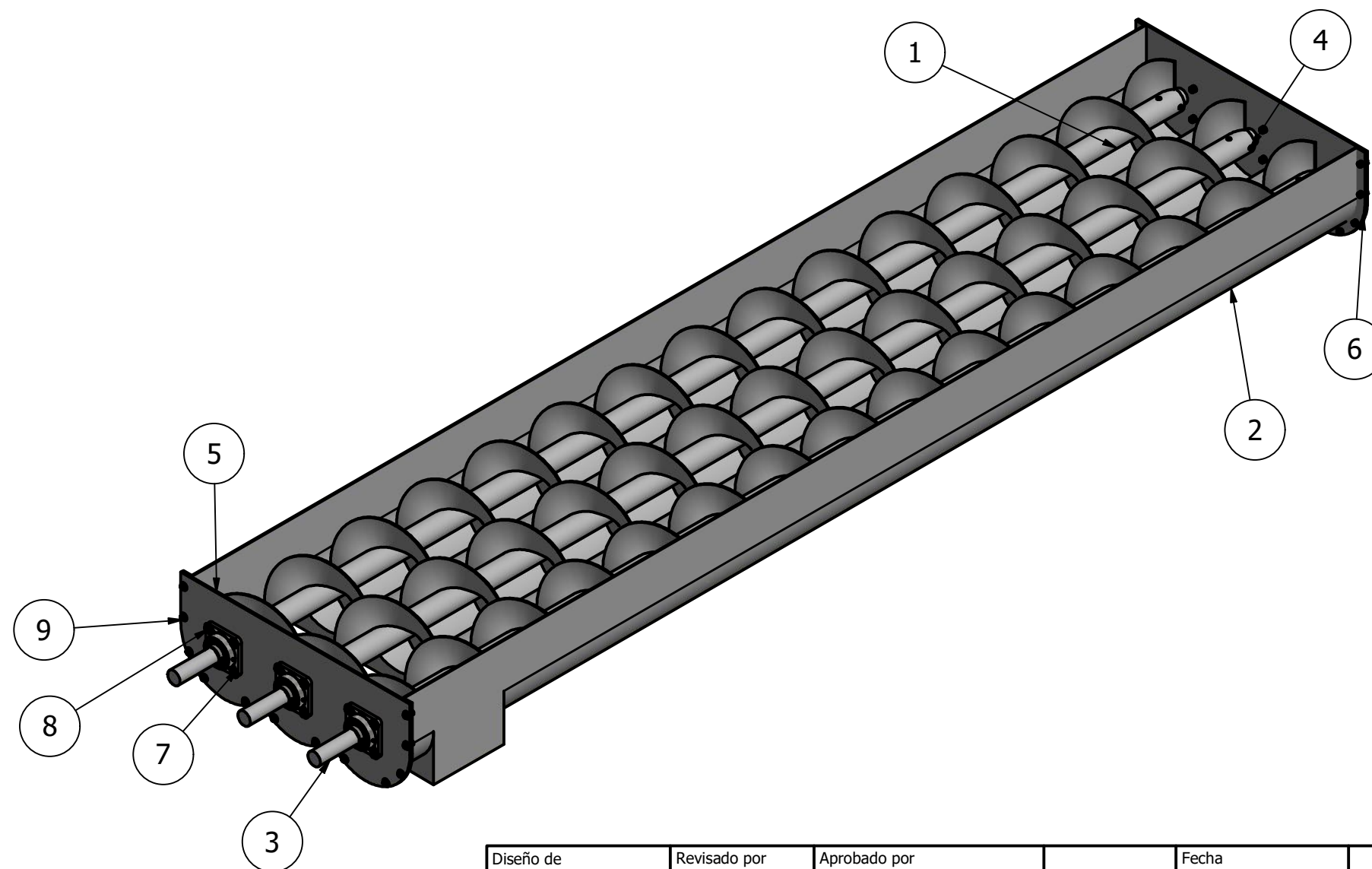
5000,00

4313,50

Diseño de M. VERA	Revisado por G. DURAZNO	Aprobado por G. DURAZNO	Fecha 08/02/2021
ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL		Tolva de almacenamiento	
		Proyecto Integrador	Escala 1:40 Hoja 3/4



LISTA DE PIEZAS		
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA
1	3	Tornillo sinfín
2	1	Canal
3	3	Eje de transmisión
4	3	Eje de cola
5	2	Tapa lateral
6	2	Brida
7	6	Chumacera
8	24	AS 2465 - 5/8 x 2 1/4 UNC
9	24	AS 2465 - 9/16 x 1 1/2 UNC



Diseño de M. VERA	Revisado por G. DURAZNO	Aprobado por G. DURAZNO	Fecha 08/02/2021
ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL		Transportadores helicoidales de descarga	
		PROYECTO INTEGRADOR	Escala 1:25
			Hoja 4/4