

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción

"Diseño de una Máquina Dispensadora y Empacadora de Granos de
Cacao en Sacos de 50 kg"

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Materia Integradora

Previo la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentado por:

Daniel Eduardo Avilés Cedeño

Nelson Orlando Chiriboga Cedeño

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2015

AGRADECIMIENTOS

A la ESPOL, por la inmejorable formación recibida. Al Ing. Ernesto Martínez por su invaluable colaboración y dirección en este trabajo. Al Ph.D Ángel Ramírez por su constante seguimiento y supervisión a lo largo del tiempo de elaboración de este proyecto.

Y especialmente a nuestras familias, que con su apoyo, motivación y confianza nos han permitido llegar hasta aquí.

DECLARACIÓN EXPRESA

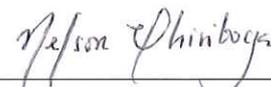
"La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de la materia integradora corresponde exclusivamente al equipo conformado por:

Daniel Eduardo Avilés Cedeño
Nelson Orlando Chiriboga Cedeño
Ing. Ernesto Rolando Martínez Lozano
Ph.D. Ángel Diego Ramírez Mosquera

Y el patrimonio intelectual del mismo a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP) de la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL".

Estamos también de acuerdo que el vídeo de la presentación oral es de plena propiedad de la FIMCP.


Daniel Avilés C.


Nelson Chiriboga C.


Ing. Ernesto Martínez L.


Ph.D. Angel Ramírez M.

RESUMEN

El proyecto tiene como finalidad diseñar una máquina dosificadora y empacadora de granos de cacao. Esta máquina deberá ser de operación sencilla, el precio de la misma deberá ser competitivo en el mercado y permitirá dosificar la producción de los agricultores. Esto facilitará el empaque de su producto y su posterior venta al cliente final, eliminando cualquier dependencia de terceros en este proceso.

Para esto se procedió a realizar el diseño de los principales componentes de la máquina. En el tornillo transportador y el elevador de cangilones se empleó la norma CEMA para dimensionamiento y selección de elementos normalizados. La norma UNE EN 1991-4 y el software ANSYS fueron empleados para el diseño de la tolva de alimentación. En cuanto a la estructura, el análisis se realizó mediante el método de diseño por factores de carga y resistencia (LRFD) mencionado en la norma AISC 360-10 y empleando el software SAP2000. En cuanto al transportador de rodillos se seleccionaron los componentes del manual de un fabricante internacional. Por último la parte eléctrica y los sistemas de control se diseñaron empleando conocimientos previos.

La capacidad de la máquina que se diseñó corresponde a 3 ton/h, o 60 sacos de 50 kg de producto por hora a su máxima capacidad. Se realizó el diseño detallado de cada componente así como la valoración del costo por manufactura de la máquina y su montaje en sitio. Después de realizar el análisis económico se obtuvo una TIR de 35%, esto justifica la inversión en el proyecto.

La máquina permite realizar la operación de manera más segura y rápida, en comparación con el método tradicional. Además no se limita al procesamiento de granos de cacao, puede emplearse para otros tipos de materiales a granel, siempre que estos no sobrepasen un tamaño de $\frac{1}{2}$ ".

Palabras Clave: Granos de Cacao Secos, Material a Granel, Dispensadora, Empacadora de Sacos.

ABSTRACT

The project aims to design a dosing and packing machine for cocoa beans. This machine should be simple to operate, its price must be competitive in the market and must allow dosing the production of the farmers. This will allow farmers to pack their product and sell it to customers, eliminating any dependence on third parties in this process.

We proceeded to make the design of the main components of the machine. For the screw conveyor and bucket elevator, we used CEMA standard for sizing and selection of elements. UNE EN 1991-4 and ANSYS software were used to design the feed hopper. Regarding the structure, the analysis was performed using the design method for load and resistance factors (LRFD) mentioned in AISC 360-10 standard and SAP2000 software. Using a catalogue of an international manufacturer we selected the parts for the roller conveyor. Finally the electrical and control systems were designed using prior knowledge.

The capacity of the machine corresponds to 3 ton/h, or 60 bags of 50 kg of product per hour at full capacity. We accomplished the detailed design of each component as well as the assessment of the cost for manufacturing the machine and its mounting. After performing the economic analysis, we obtained an IRR of 35%, indicating that the investment is justified.

The machine enables the safer and faster operation compared to the traditional method. Furthermore it's not limited to processing only cocoa beans, it can be used for other types of bulk materials, as long as they don't exceed a size of 1/2".

Keywords: *Dried Cocoa Beans, Bulk Material, Dispenser, Packing Bags.*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
ABSTRACT	II
ABREVIATURAS	V
SIMBOLOGÍA	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	IX
ÍNDICE DE PLANOS	XI
CAPÍTULO 1.....	1
1. Introducción	1
1.1 Descripción del problema	1
1.2 Justificación del Diseño	2
1.3 Objetivos	2
1.3.1 Objetivo General	2
1.3.2 Objetivos Específicos.....	2
1.4 Marco Teórico	3
1.4.1 Sistemas de Dosificación.....	3
1.4.2 Sistemas Transportadores de Materiales	5
1.4.3 Sistema de Sellado	6
CAPÍTULO 2.....	7
2. Metodología del Diseño	7
2.1 Alternativas de Diseño	7
2.2 Selección de la Alternativa a Trabajar	7
2.3 Factores de Influencia.....	9
2.4 Descripción del Funcionamiento de la Máquina	10
2.5 Diseño de Forma	11
2.6 Diseño Detallado de la Máquina.....	12
2.6.1 Elevador de Cangilones.....	12
2.6.2 Tolva de Alimentación.....	14
2.6.3 Tornillo Alimentador	16
2.6.4 Sistema Eléctrico y Celda de Carga	17
2.6.5 Sistema de Sellado	18
2.6.6 Transportador de Rodillos.....	18

2.6.7	Estructura de la Máquina	18
CAPÍTULO 3.....		21
3.	RESULTADOS.....	21
3.1	Selección de Elementos	21
3.1.1	Elevador de Cangilones	21
3.1.2	Tolva de Alimentación.....	24
3.1.3	Tornillo Alimentador	24
3.1.4	Sistema Eléctrico y Celda de Carga	28
3.1.5	Sistema de Sellado	30
3.1.6	Transportador de Rodillos.....	30
3.1.7	Estructura de la Máquina	32
3.2	Análisis de Costos	32
3.2.1	Costos Directos.....	32
3.2.2	Costos Indirectos	33
3.2.3	Costos de Ingeniería.....	34
3.3	Retorno de la Inversión.....	35
3.3.1	Ingresos por Producción	35
3.3.2	Costos de Mano de Obra	35
3.3.3	Costos Directos de Producción.....	35
3.3.4	Costos Indirectos de Producción	36
CAPÍTULO 4.....		38
4.	DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	38
4.1	Discusión.....	38
4.2	Conclusiones	38
4.3	Recomendaciones	39
BIBLIOGRAFÍA.....		40
APÉNDICES.....		42
A.	APÉNDICE A	42
a.	Cálculos del Elevador de Cangilones	42
b.	Cálculos de la Tolva de Alimentación.....	44
c.	Cálculos del Tornillo Alimentador	52
d.	Funcionamiento del Sistema Eléctrico y de la Celda de Carga.....	56
e.	Cálculos de la Estructura de la Máquina	57
PLANOS ESQUEMÁTICOS		60

ABREVIATURAS

AISC	American Institute of Steel Construction
ANSI	American National Standards Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials
AWS	American Welding Society
CEMA	Conveyor Equipment Manufacturers Association
DIN	Deutsche Industrie Normen
EN	European Norms
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FIMCP	Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción
INEN	Servicio Ecuatoriano de Normalización
LRFD	Diseño por Factores de Carga y Resistencia
NEC	Norma Ecuatoriana de Construcción
PCH	Pies Cúbicos por Hora
SINAGAP	Sistema de Información Nacional del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca MAGAP
TIR	Tasa Interna de retorno
TPH	Toneladas por Hora
VAN	Valor Actual Neto

SIMBOLOGÍA

A_b	Área total del perno
A_t	Área de esfuerzo de tensión
A_w	Área cortante por longitud de soldadura
C	Constante de rigidez de la junta
D	Carga muerta (cálculo de la estructura)
E_b	Módulo de elasticidad del perno
F_b	Factor de buje colgante
F_d	Factor de diámetro
F_{exc}	Fuerza de excavación en los cangilones
F_f	Factor de helicoidal
F_m	Factor de material
F_o	Factor de sobrecarga
F_p	Factor de paletas
F_{req}	Fuerza necesaria por el motor para vencer la fricción generada por el peso de la columna de material
HP_f	Potencia necesaria para vencer la fricción interna del material
HP_m	Potencia necesaria para desplazar el material dentro del transportador
HP_{total}	Potencia total necesaria del motor
K	Relación de carga horizontal
K_b	Constante de rigidez del perno
K_m	Constante de rigidez del material
L	Carga viva (cálculo de la estructura)
L_d	Longitud sin roscar
L_t	Longitud de la tuerca
L_r	Carga cubierta (cálculo de la estructura)
$M_{máx}$	Momento máximo
N_1	Fuerza normal en el cálculo de la fuerza de dragado
N_2	Fuerza normal del cálculo para vencer la fricción en el tornillo
P_{hel}	Perímetro exterior de la helicoidal
P_{hf}	Presión horizontal
P_{h0}	Presión horizontal debido a partículas sólidas almacenadas
P_n	Presión sobre las paredes inclinadas de la tolva
P_{otfric}	Potencia para vencer la fricción estática generada por el peso del material sobre el tornillo
P_s	Presión generada en la transición en silos con flujo másico
P_t	Presión debido a la fricción que se genera en las paredes inclinadas
P_{vf}	Presión vertical
P_{wf}	Presión friccional de tracción

R	Carga producida por la lluvia (cálculo de la estructura)
S	Carga producida por el granizo (cálculo de la estructura)
S_w	Módulo de sección por unidad de longitud de soldadura
T_{perm}	Esfuerzo cortante permisible
U	Perímetro interno
$V_{lineal\ elevador}$	Velocidad lineal de la banda del elevador
$V_{máx}$	Esfuerzo cortante máximo
V_{torn}	Velocidad lineal del tornillo
V_T	Volumen de la tolva
W	Carga producida por el viento (cálculo de la estructura)
W_1	Peso del material en el cálculo de la fuerza de dragado
W_2	Peso del material sobre el tornillo transportador
Y_r	Perfil de presiones
Z_0	Profundidad característica de acuerdo con la teoría de Janssen
a_k	Factor de conversión para la relación de carga horizontal
d_c	Diámetro característico
e	Eficiencia de la transmisión
f_b	Carga de flexión por unidad de longitud de soldadura
f_s	Carga cortante por unidad de longitud de soldadura
h	Altura total de la tolva
h_0	Distancia entre la superficie equivalente de la base al punto G
t	Dimensión de la garganta de la soldadura
β	Ángulo de inclinación
μ	Coeficiente de fricción entre las paredes metálicas y el cacao
μ_s	Coeficiente de fricción estática interna de los granos de cacao
Φ_r	Ángulo de reposo
γ	Peso específico

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Dosificador de Tornillo	3
Figura 1.2 Dosificador de Compuerta Rotativa	4
Figura 1.3 Dosificador de Banda Rodante	4
Figura 1.4 Dosificador de Vasos Telescópicos	4
Figura 1.5 Transportador de Banda	5
Figura 1.6 Elevador de Cangilones.....	6
Figura 1.7 Cosedora de Sacos	6
Figura 2.1 Diseño de Forma de la Máquina	11
Figura 2.2 Diagrama de Fuerzas en el Cangilón.....	13
Figura 2.3 Presiones Sobre las Paredes Verticales	14
Figura 2.4 Perfil de Presiones en las Paredes	15
Figura 2.5 Presiones que se Generan en el Cambio de Sección	15
Figura 2.6 Esquema del Tornillo	16
Figura 2.7 Esquema de la Estructura.....	19
Figura 2.8 Factores Geométricos para Analizar Soldadura como Línea	20
Figura 3.1 Dimensiones del Elevador	22
Figura 3.2 Rotación del Helicoidal	25
Figura 3.3 Sentido de Giro del Tornillo.....	25
Figura 3.4 Diagrama Unifilar Eléctrico	28
Figura 3.5 Tablero de Control del Motor del Elevador.....	29
Figura 3.6 Ubicación de los Sensores de Nivel.....	29
Figura 3.7 Tablero de Control del Motor del Tornillo Transportador	29
Figura 3.8 Sistema de Control del Peso de los Sacos	30
Figura A.1 Diámetro Característico para Diferentes Secciones.....	44
Figura A.2 Tipo de Flujo del Material para Tolvas Cónicas	45
Figura A.3 Distribución de los Esfuerzos en la Tolva	49
Figura A.4 Distribución de los Esfuerzos en las Esquinas de la Tolva	50
Figura A.5 Factor de Sobrecarga.....	54
Figura A.6 Diagrama de Fuerzas en el Tornillo.....	54
Figura A.7 Carga Muerta y Viva en la Estructura	57
Figura A.8 Estructura con Perfiles Optimizados y Capacidades de Carga	58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Matriz de Selección.....	8
Tabla 2.2 Características de los Materiales	12
Tabla 2.3 Significado del Código	12
Tabla 2.4 Propiedades de los Materiales a Granel	14
Tabla 2.5 Capacidad de Transporte para Alimentadores Helicoidales	16
Tabla 2.6 Grado de Inclinación para Transportador de Rodillos por Gravedad	18
Tabla 2.7 Ecuaciones y Cargas del Método LRFD.....	19
Tabla 3.1 Número de Elevador, Cangilones y Banda Correspondientes.....	21
Tabla 3.2 Dimensiones de Caja, Poleas y Ejes.....	21
Tabla 3.3 Dimensiones del Elevador	21
Tabla 3.4 Tamaño y Capacidad del Cangilón	22
Tabla 3.5 Ubicación de las Perforaciones en el Cangilón	23
Tabla 3.6 Espaciamiento y Cantidad de Cangilones Requeridos	23
Tabla 3.7 Cantidad y Dimensiones de los Tornillos.....	23
Tabla 3.8 Características de la Banda	23
Tabla 3.9 Grupo de Componentes 1	24
Tabla 3.10 Dimensiones del Alimentador.....	24
Tabla 3.11 Dimensiones de las Artesas.....	25
Tabla 3.12 Dimensiones de la Brida de Unión	26
Tabla 3.13 Dimensiones de las Descargas del Tornillo.....	26
Tabla 3.14 Dimensiones de la Tapas Exteriores con Pie para Artesas Tubulares	26
Tabla 3.15 Dimensiones de los Rodamientos de Bolas de Pared.....	27
Tabla 3.16 Dimensiones del Tornillo Transportador.....	27
Tabla 3.17 Dimensiones del Tubo	27
Tabla 3.18 Dimensiones del Árbol de Transmisión	28
Tabla 3.19 Dimensiones del Chavetero	28
Tabla 3.20 Datos Técnicos y Dimensiones Módulo de Soporte	30
Tabla 3.21 Datos Técnicos de Rodillos.....	31
Tabla 3.22 Tipo de Rodamientos y Medidas para Rodillo Tipo Eje de Muelle	31
Tabla 3.23 Datos Técnicos y Dimensiones de Soporte Rodillos	31
Tabla 3.24 Cantidad Total de Acero	32
Tabla 3.25 Poleas y Rodamientos	32
Tabla 3.26 Elementos del Sistema Motriz.....	32
Tabla 3.27 Elementos del Sistema de Cangilones	33
Tabla 3.28 Pernos y Tuercas.....	33
Tabla 3.29 Varios	33
Tabla 3.30 Soldadura	33
Tabla 3.31 Costo Total y Precio de Venta de la Máquina	34
Tabla 3.32 Ingresos por Producción	35
Tabla 3.33 Costo Mano de Obra.....	35
Tabla 3.34 Costos Directos por Producción	35
Tabla 3.35 Costo de Servicios Básicos.....	36
Tabla 3.36 Costos de Mantenimiento	36
Tabla 3.37 Costos de Repuestos.....	36
Tabla 3.38 Costos Indirectos	36
Tabla 3.39 Costos de Limpieza	36
Tabla 3.40 Valor Actual Neto y Tasa Interna de Retorno	37
Tabla A.1 Clasificación en Categorías de los Materiales según su Fricción.....	45
Tabla A.2 Valores Característicos Superiores e Inferiores.....	46
Tabla A.3 Valor Característico según la Carga Analizada.....	46

Tabla A.4 Factor de Diámetro	53
Tabla A.5 Factor de Helicoidal	53
Tabla A.6 Factor de Paletas	53
Tabla A.7 Capacidad Torsional de los Elementos del Transportador.....	55
Tabla A.8 Elementos y Peso Correspondiente (Carga Muerta).....	57
Tabla A.9 Ecuaciones Combinadas y sus Resultados	58

ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1	Banda con Cangilones
PLANO 2	Plataforma de Acceso
PLANO 3	Bota del Elevador
PLANO 4	Cabeza del Elevador
PLANO 5	Elevador de Cangilones
PLANO 6	Estructura
PLANO 7	Tolva de Alimentación
PLANO 8	Acoples
PLANO 9	Artesa Inferior
PLANO 10	Artesa Tubular
PLANO 11	Descarga
PLANO 12	Tapas de las Artesas
PLANO 13	Tornillo 1
PLANO 14	Tornillo 2
PLANO 15	Sistema Dosificador
PLANO 16	Rodillo
PLANO 17	Sección Horizontal
PLANO 18	Sección Descendente
PLANO 19	Ensamble Máquina Dispensadora y Empacadora de Cacao

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción del problema

La producción de cacao a nivel nacional ha crecido significativamente en los últimos años. En el año 2009 la cantidad de hectáreas de cacao sembradas en el Ecuador era de 468,840 Ha, en contraste para el año 2011 este número aumentó a 521,091 Ha. (MAGAP, 2014)

En el año 2011 la producción de cacao estaba en manos de 94,855 familias, de ellas 55,499 (59%) eran pequeños productores los cuales poseen menos de 10 Ha. (Sistema de Información Nacional de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, 2013)

Los pequeños productores carecen de la maquinaria que les permitan realizar la dosificación y empaquetado de los granos secos de cacao de acuerdo a las exigencias requeridas por las industrias procesadoras nacionales. Por este motivo dichos productores se ven en la necesidad de acudir a intermediarios o centros de acopios, los cuales compran su producción de cacao y se encargan del manejo, empaquetado y gestión del mismo.

El problema radica en que estos intermediarios o centros de acopios les compran el cacao a un precio por debajo de lo establecido en el mercado nacional. Los productores aceptan estos precios por miedo a perder su producción y esto conlleva a pérdidas económicas para el productor y deriva en que este no posea la capacidad económica para expandirse o mejorar su infraestructura.

1.2 Justificación del Diseño

Con la situación previamente expuesta existe la necesidad de proveer una alternativa de solución, que permita a las asociaciones de productores procesar los granos de cacao secos y empacarlos en sacos de polipropileno de manera autónoma, rápida y eficiente, sin depender de terceros. Para esto se propone el diseño de una máquina que cumpla con este cometido.

Esta máquina cuyo diseño será simple, aumenta la exactitud en la medición y la velocidad de empacado permitiendo llenar más sacos en un menor tiempo. El producto a empacar inicialmente, son granos de cacao secos, aunque se puede modificar la máquina para transportar otros tipos de granos o polvos utilizando el mismo principio de empaque.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar una máquina dispensadora y empacadora de granos de cacao, que permita a una agrupación de pequeños productores empacar su producción y negociar directamente con el comprador el precio de venta, sin intermediarios.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Analizar las características de la máquina que permitan soportar las condiciones de trabajo del medio y abarque la producción de los agricultores.
- Detallar la configuración de la máquina para que sea sencilla y permita una fácil operación al trabajador.
- Comparar el costo de la máquina con alternativas del mercado.

1.4 Marco Teórico

1.4.1 Sistemas de Dosificación

Son sistemas que permiten controlar y regular la cantidad de material a envasar, garantizando una operación rápida, exacta, limpia y con la menor cantidad de desperdicios de manera que se minimizan las pérdidas económicas. La selección del mecanismo de dosificación depende de las características del material que se desea envasar, la velocidad de dosificación y la precisión necesaria.

Los sistemas de dosificación que se utilizan en materiales sólidos se dividen en dos categorías:

- Dosificadores volumétricos
- Dosificadores gravimétricos

1.4.1.1 Dosificadores Volumétricos

Son sistemas alimentados mediante tolvas, las cuales aseguran un flujo continuo y uniforme de material, impidiendo que este se aglomere y produzca obstrucciones en el sistema. Se basan en el cálculo del volumen del material para controlar la velocidad y exactitud de la dosificación. Dentro de esta categoría se encuentran:

1.4.1.1.1 Dosificadores de Tornillo

El principal elemento de este sistema es un tornillo que se encuentra por debajo de la tolva de alimentación. Durante la operación los hilos del tornillo transportan determinados volúmenes del producto y el túnel ayuda a guiar al material evitando la dispersión del mismo. La velocidad angular del tornillo determina la velocidad de dosificación del material. Son los sistemas más usados en máquinas dosificadoras debido a su exactitud.

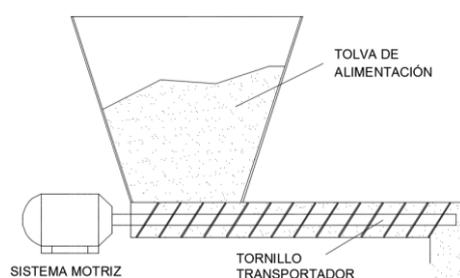


Figura 1.1 Dosificador de Tornillo

Fuente: Elaboración Propia

1.4.1.1.2 Dosificadores de Compuerta Rotativa

El principal elemento de este sistema es una compuerta rotativa robusta, la cual permite el transporte de determinados volúmenes de material. De igual manera que en el caso anterior, la velocidad de dosificación está determinada por la velocidad angular de la compuerta y por el tamaño o volumen de cada recámara de la misma.

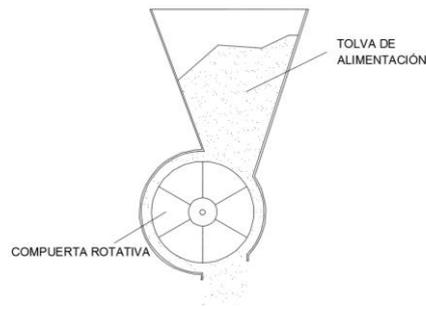


Figura 1.2 Dosificador de Compuerta Rotativa

Fuente: Elaboración Propia

1.4.1.1.3 Dosificador de Banda Rodante

Se basa en la apertura de la compuerta que permite el despacho de material a través de la banda, por esta razón la velocidad de dosificación de este sistema está determinada por la velocidad de la banda transportadora y por la regulación de la compuerta a la salida de la tolva.

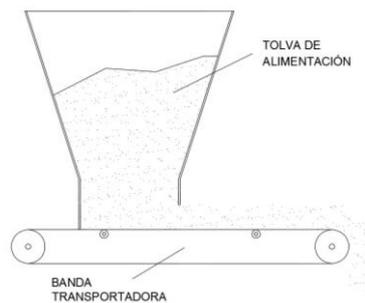


Figura 1.3 Dosificador de Banda Rodante

Fuente: Elaboración Propia

1.4.1.1.4 Dispensador de Vasos Telescópicos

Este mecanismo funciona en base a un volumen preestablecido. De acuerdo a la cantidad a dispensarse de producto, se calcula el volumen de la masa correspondiente y se fabrican recipientes con las medidas adecuadas.

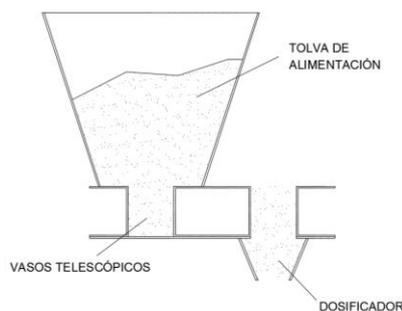


Figura 1.4 Dosificador de Vasos Telescópicos

Fuente: Elaboración Propia

1.4.1.2 Dosificadores Gravimétricos

Tienen una mayor precisión que los volumétricos, ya que no se basan en el volumen del material sino en el peso que tiene el mismo.

La mayoría de los dosificadores volumétricos pueden adaptarse para que funcionen como dosificadores gravimétricos. Para esto pueden utilizarse contactores (relés magnéticos) o celdas de cargas, los cuales detectan el peso y lo convierten en señales eléctricas, de forma que cuando se llegue al valor deseado, apaguen el motor que mueve el elemento principal (tornillo, compuerta rotativa, compuerta).

1.4.2 Sistemas Transportadores de Materiales

Son mecanismos usados para transportar materiales. Tienen varias ventajas por lo que son sumamente utilizadas en la industria, la principal es que son independientes de obreros u operadores. Se pueden usar los transportadores para fijar la velocidad de trabajo, ya que el material llegará de un lado a otro sin intervención humana.

Los transportadores siguen rutas fijas, haciéndolos adecuados para líneas de producción. Existen diferentes sistemas entre los que destacan:

1.4.2.1 Transportadores de Banda

Es un sistema que utiliza una banda resistente de diferentes materiales (comúnmente caucho reforzado) la cual se apoya sobre varios rodillos que permiten el movimiento de la misma. Consta de 2 tambores, el tambor motriz se conecta a un motor que suministra la potencia para el movimiento de la banda y el material.

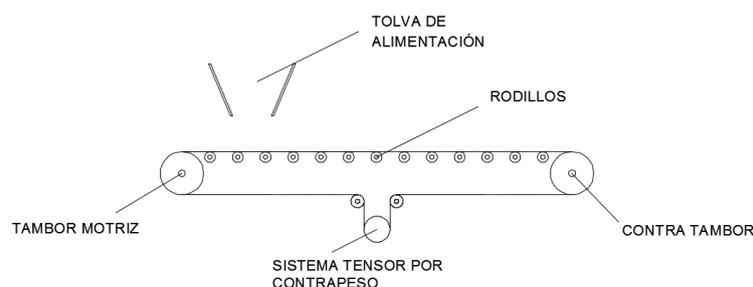


Figura 1.5 Transportador de Banda

Fuente: Elaboración Propia

1.4.2.2 Elevador de Cangilones

Es un sistema utilizado para el transporte vertical de materiales, específicamente a granel, productos secos y húmedos. Utiliza una cinta o cadena motora conectada al tambor motriz, en esta cinta se fijan el número de cangilones deseados. Los cangilones son baldes con diferentes forma y medidas. Estos se fijan a la banda por medio de remaches o tornillos de manera que quedan rígidamente unidos a esta. Este tipo de sistemas puede estar provisto de un freno de retroceso (tipo cuña o trinquete), para prevenir el atascamiento.

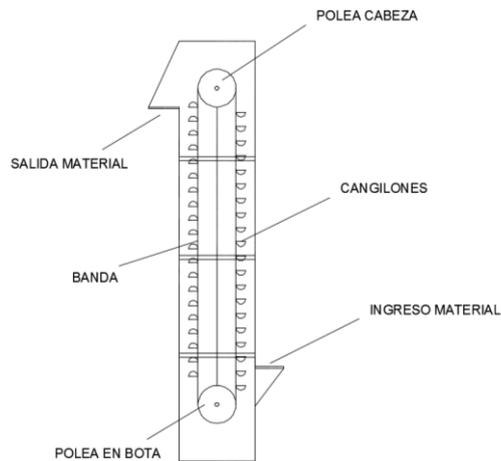


Figura 1.6 Elevador de Cangilones

Fuente: Elaboración Propia

1.4.3 Sistema de Sellado

Para el sellado de los sacos de polipropileno se utilizará la costura del saco. Para esto se emplean máquinas especializadas, las cuales realizan puntadas simples, cruzadas o dobles dependiendo de la calidad del empaquetado que se desea.

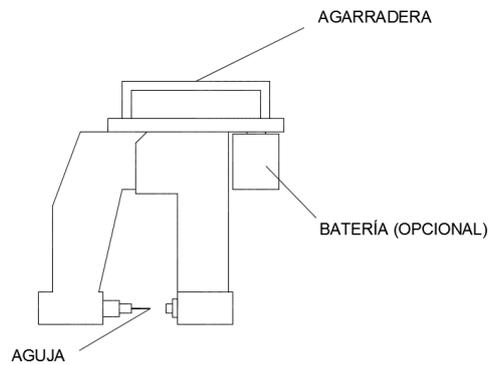


Figura 1.7 Cosedora de Sacos

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA DEL DISEÑO

2.1 Alternativas de Diseño

Para la concepción de la máquina a diseñar se presentaron los principales tipos de dosificadores para material a granel, en estado sólido. Entre las opciones que se consideraron para la elección constan las siguientes:

Dispensador de Vasos Telescópicos: Es una alternativa sencilla donde se deben determinar las dimensiones de los vasos y a qué revoluciones debe girar para satisfacer la demanda. Dependiendo de la cantidad a dispensar puede llegar a ser de dimensiones considerables y pesada.

Dispensador de Compuerta Rotativa: Es un método muy bueno para la dosificación del producto, basado en un principio similar al de los vasos telescópicos. Tiene la desventaja de ser robusto y de dimensiones un poco grandes.

Dispensador de Tornillo Sinfín: Es el método más preciso de entre las opciones mencionadas, tiene la ventaja de ocupar menos espacio. Como desventaja la manufactura es un poco más compleja que las demás.

Las alternativas de diseño se enfocarán solamente en el sistema de dosificación. Esto debido a que la estructura global de la máquina poseerá los mismos componentes, tales como: tolva de alimentación, elevador de cangilones, balanza y cosedora. Es decir, lo que diferencia a las alternativas es el sistema de dosificación.

2.2 Selección de la Alternativa a Trabajar

Para escoger la mejor alternativa se utilizó el método de la matriz de selección. Este método consiste en realizar una tabla mediante la cual se comparan los diferentes diseños, en base a los criterios que se deseen en la futura máquina.

Los criterios se dividieron en técnicos y económicos. Los criterios técnicos hacen referencia al peso, dimensiones, velocidad, precisión de dosificación. Mientras que los criterios económicos implican los costos de fabricación, operación y mantenimiento de la máquina.

La ponderación de cada criterio se la realiza asignando un número del 1 al 10 de acuerdo a la importancia que tiene en el diseño deseado, siendo 1 de muy poca importancia y 10 sumamente importante.

Las notas parciales de cada alternativa se las calificó con números del 1 al 5, siendo 1 la menor nota mientras 5 es la mejor.

Una vez se obtienen todas las notas de los criterios de cada alternativa, se las suma para obtener el puntaje total de alternativa (PTA). La alternativa final escogida para el diseño, depende de la nota total obtenida.

Tabla 2.1 Matriz de Selección

Criterios	Valor de Ponderación	Dispensador de Tornillo Transportador		Dispensador por Vasos Telescópicos		Dispensador de Compuerta Rotativa		
		Nota Parcial Asignada	Puntaje Obtenido	Nota Parcial Asignada	Puntaje Obtenido	Nota Parcial Asignada	Puntaje Obtenido	
Técnicos	Dimensiones	7	4	28	2	14	3	21
	Peso	6	4	24	3	18	3	18
	Facilidad de Operación	8	4	32	4	32	4	32
	Velocidad de dosificación	8	5	40	2	16	3	24
	Precisión de Dosificación	10	5	50	3	30	3	30
	Nivel de ruido	5	3	15	4	20	3	15
	Montaje e Instalación	5	4	20	4	20	4	20
	Mantenimiento	8	4	32	2	16	3	24
	Vida útil	7	3	21	3	21	3	21
Económicos	Costo de Fabricación	10	4	40	3	30	3	30
	Disponibilidad Local de Materiales y Elementos	8	4	32	4	32	4	32
	Costo de Mantenimiento	6	5	30	3	18	4	24
	Costo de Operación	6	5	30	3	18	3	18
	Tiempo de Fabricación	7	4	28	4	28	4	28
	Puntaje Máximo:	500	PTA:	422	PTA:	313	PTA:	337
		NTA:	8,4	NTA:	6,3	NTA:	6,7	

Fuente: Elaboración Propia

El puntaje máximo que puede obtener una máquina es de 500 puntos, de los cuales 315 puntos son de criterios técnicos y 185 son de criterios económicos.

El dispensador tornillo transportador obtuvo 262 de 315 puntos en criterios técnicos con una nota total de 8.0 y 160 de 185 puntos en criterios económicos con una nota total de 8.3. La puntuación total de alternativas fue de 422 de 500 puntos con una nota total de alternativa de 8.4, siendo la mejor alternativa según la matriz realizada.

El dispensador de compuerta rotativa obtuvo 205 de 315 puntos en criterios técnicos con una nota total de 6.4 y 132 de 185 puntos en criterios económicos con una nota total de 7.1. La puntuación total de alternativas fue de 337 de 500 puntos con una nota total de alternativa de 6.7.

El dispensador por vasos telescópicos obtuvo 187 de 315 puntos en criterios técnicos con una nota total de 5.8 y 126 de 185 puntos en criterios económicos con una nota total de 6.8. La puntuación total de alternativas fue de 313 de 500 puntos con una nota total de alternativa de 6.3.

Por lo tanto, el sistema a escoger para realizar el diseño de la máquina es el tornillo transportador.

2.3 Factores de Influencia

Los factores de influencia a considerar en el diseño tienen relación con las propiedades físicas del producto, las condiciones de trabajo de la máquina y el tiempo de vida.

Peso Específico: Afecta en la fuerza que ejerce el material sobre el elemento transportador. Para el caso de granos de cacao varía desde 30-45 lb/ft³. El valor promedio es de 38 lb/ft³ (Densidad=aproximadamente 635 kg/m³). (M. De Lucia y D. Assennato, 1993).

Tamaño de los Granos: Influye en el dimensionamiento del tornillo que dosifica el material. Los granos de cacao tienen diámetro de grano menor a 1/2”.

Fluidez del Material: El material clasifica en la categoría 2, flujo libre.

Abrasividad: Los materiales abrasivos tienen una alta dureza y cuando se ponen en contacto con el elemento motriz se producen altas fricciones que terminan por desgastarlos, disminuyendo su vida útil. Los granos de cacao son ligeramente abrasivos.

Material Degradable: Los granos de cacao son degradables, por lo que se debe tener fácil acceso al sistema motriz para limpiarlo e impedir que se contamine.

Corrosión: Aunque los granos deben estar secos antes de empaquetarse, puede darse el caso que no se encuentren completamente secos y estos desprendan humedad que genere corrosión, por esta razón se debe aplicar un recubrimiento para las zonas en contacto directo con los granos.

Condiciones Ambientales: Se debe tener en cuenta el lugar donde opera el equipo, la humedad relativa y si funciona dentro o fuera de un edificio.

Tiempo de Vida: Se debe considerar cuanto tiempo de vida se espera que tenga el equipo, de ello dependen los materiales y la selección de elementos a utilizar.

2.4 Descripción del Funcionamiento de la Máquina

La máquina deberá cumplir las funciones necesarias para ser capaz de recibir el material (granos de cacao secos), almacenarlo momentáneamente, dosificarlo en la medida requerida y sellar el empaque. Esto deberá realizarse con tres operadores: uno que introduzca material al elevador y otros dos que se encarguen de la manipulación del saco para el sellado por costura. Deberá ser de construcción sencilla, sin partes complejas y sensibles a los factores externos, donde el operador sólo deba encender la máquina y apagarla. La operación de la máquina dosificadora y empacadora constará de los siguientes pasos:

Encendido de la Máquina: Se activará la máquina en su totalidad, accionando el elevador de cangilones, el tornillo sinfín, el sistema de pesado y sellado.

Recepción del Material a Granel: La recepción del material será realizada por una tolva de alimentación, la cual poseerá un volumen adecuado para alimentar el dosificador. El material a empacar será depositado en la tolva por un elevador de cangilones, el cual vaciará los granos del producto continuamente en la tolva.

Dosificación del Material: La dosificación se llevará a cabo gracias a un tornillo sinfín, el cual girará trasladando los granos de producto desde la parte inferior de la tolva hasta el final del ducto del dosificador, luego caerá en los sacos con los que se empacará el producto. El despacho de material tendrá a lugar hasta alcanzar la masa requerida.

Medición de Masa del Producto: A medida que se llene el saco con el material, habrá un mecanismo que medirá la masa receptada. Una vez que se alcancen los kilogramos requeridos en el saco, se apagará el motor del tornillo. El saco será sostenido por un operador.

Sellado del Saco: Cuando el saco tenga la cantidad de producto necesaria, se procederá a sellarlo. Esto se hará por medio de una cosedora manual.

2.5 Diseño de Forma

A través del funcionamiento descrito en el punto anterior, se propone un diseño de forma para una visualización de la posible morfología de la máquina.

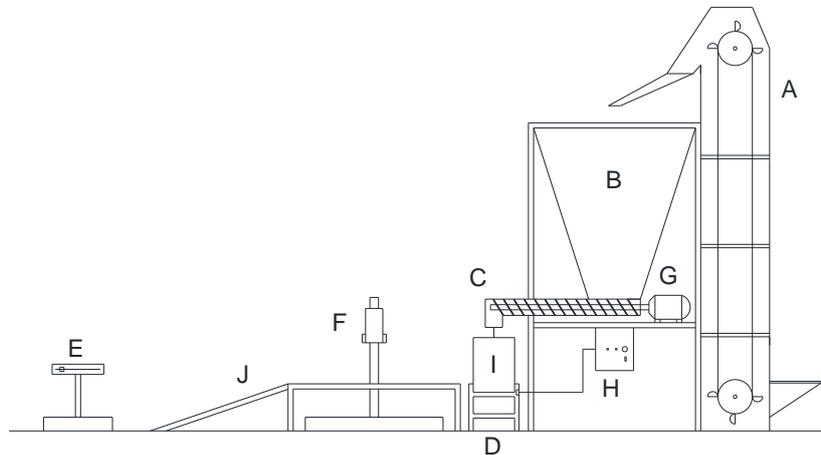


Figura 2.1 Diseño de Forma de la Máquina

Fuente: Elaboración Propia

Partes Componentes:

A: Elevador de Cangilones

B: Tolva de Alimentación

C: Tornillo Dispensador

D: Base del Saco con Celda de Carga

E: Balanza de Control

F: Cosedora

G: Sistema Motriz

H: Panel de Control

I: Saco de Producto

J: Transportador de Rodillos

A continuación en el diseño detallado se procederá a determinar la metodología de diseño de la máquina: la capacidad de la tolva y de los elevadores, las características del tornillo y demás puntos.

2.6 Diseño Detallado de la Máquina

Para realizar el diseño detallado de la máquina se deben tener en cuenta las propiedades del producto a procesar, las normas respectivas de diseño y de manufactura, aspectos económicos y facilidad de adquisición de materia prima y componentes de la máquina.

El material a transportar son granos de cacao, el caudal de diseño es de 3 ton/hora, o un saco de 50 kg por minuto. Las propiedades se las obtienen del código asignado al mismo en la norma CEMA.

Tabla 2.2 Características de los Materiales

Material	Peso (lb/ft ³)	Código del Material
Cacao en semilla	30-45	38C1/2-5Q

Fuente: Norma CEMA. Elaboración Propia

Además, el significado del código se da en la Tabla 2.3. Se indican las propiedades más relevantes para el diseño detallado de los componentes principales de la máquina.

Tabla 2.3 Significado del Código

Clase	Características del material	Código
Densidad	Densidad al granel, sin compactar	38 lb/ft ³
Tamaño	Granular 1/2" y menor	C1/2
Fluidez	Fluido Libre	2
Abrasividad	Abrasividad media	5
Misceláneas	Degradable-afecta su uso	Q

Fuente: Norma CEMA. Elaboración Propia

Además, los sacos serán fabricados de polipropileno y tendrán medidas de 900 mm de alto y 700 mm de ancho.

2.6.1 Elevador de Cangilones

Para el diseño del elevador de cangilones se empleará la norma "ANSI/CEMA, Elevador de Cangilones, Guía de Diseño" para indicaciones generales y además un manual del fabricante Martin Sprocket para la selección de elementos normalizados. Ya se indicó anteriormente que se deberá transportar 3 ton/h como mínimo para el proceso productivo, este caudal será el punto de partida para el diseño, se calculará con la siguiente fórmula:

$$PCH = \frac{TPH * 2000}{\rho \text{ lb/ft}^3}$$

En el manual de Martin, de acuerdo al tipo de material se sugiere un elevador acorde. Con los PCH teóricos se escoge un modelo de elevador de los que se encuentran

tabulados. Una vez que se escoge el modelo requerido, de las tablas proporcionadas se deben seleccionar los elementos normalizados y las dimensiones generales del elevador.

Si el elevador tiene una capacidad mayor a la requerida se deberán analizar los factores que inciden en el diseño del mismo. Dos pueden ser considerados críticos: la velocidad de la banda y el número de cangilones. De la velocidad de banda depende el caudal de producto a depositar en la tolva, en conjunto con los cangilones. Sin embargo, al disminuir la velocidad de esta, tendrían que disminuir las RPM del conjunto. Sería más costoso conseguir un reductor para la velocidad más baja. La solución en este caso es disminuir la cantidad de cangilones en la banda y obtener el caudal de trabajo requerido.

Finalmente para determinar la potencia requerida por el sistema se empleará una fórmula obtenida del manual de Martín y un análisis sobre el dragado del material.

$$P_{oper} = 0.12 + 0.01 * D.Centro (ft)$$

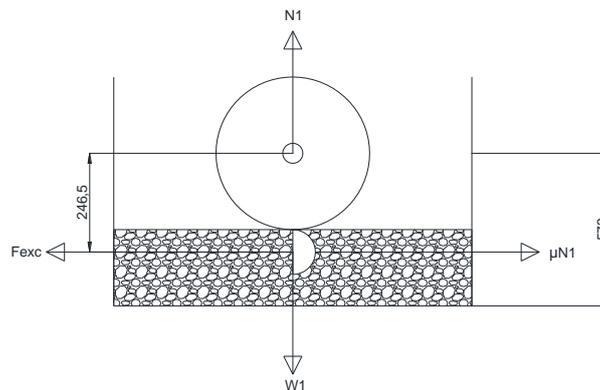


Figura 2.2 Diagrama de Fuerzas en el Cangilón
Fuente: Elaboración Propia

Del análisis de esta figura se tiene que las siguientes fórmulas permitirán el cálculo de la potencia de dragado:

$$N_1 = W_1 + ma_n = W_1 + \frac{W_1}{g} \left(\frac{V_{lineal}^2}{r_c} \right)$$

$$F_{exc} = \mu N_1$$

$$P_{drag} = F_{exc} * V_{lineal}$$

Con esto quedaría definido el sistema del elevador de cangilones.

2.6.2 Tolva de Alimentación

Para el diseño de la tolva se empleará la norma UNE-ENV 2006, Bases de Proyecto y Acciones en Estructuras, y la DIN 1055-6, Acciones en Estructuras.

Antes de realizar los cálculos se define la forma adecuada para la tolva y el volumen que tendrá. Esto es considerando que la capacidad máxima será de 250 kg. La parte superior de la tolva tendrá una sección transversal cuadrada, mientras que en la descarga el área transversal variará para coincidir con la entrada al tornillo. Esto para lograr que la mayor cantidad de material esté en contacto directo con el tornillo para que se produzca la correcta alimentación del material.

El siguiente paso es obtener la relación entre la altura y el diámetro característico, para determinar a qué tipo de silo correspondería. Luego, se consultan las propiedades mediante la Tabla 2.4.

$$\frac{h}{d_c} = \frac{0.80}{0.80} = 1 \leq 1$$

Tabla 2.4 Propiedades de los Materiales a Granel

Tipo de Material	Peso Específico γ		Ángulo de Reposo	Ángulo Interno de Fricción ϕ_i		Radio de Presión Lateral K		Coeficiente de Fricción μ			
	Min γ_l	Max γ_u	ϕ_r	ϕ_{im}	α_ϕ	K_{in}	α_k	D1	D2	D3	α_μ
	kN/m ³	kN/m ³	grados	grados							
Material por defecto	6	22	40	35	1.3	0.5	1.5	0.32	0.39	0.5	1.4

Fuente: Norma ENV 1991-4. Elaboración Propia

Con estos datos se procede a calcular el coeficiente de fricción y el tipo de flujo que existe en la tolva. El paso siguiente es realizar el cálculo de las presiones, en las paredes verticales e inclinadas y en los cambios de sección, donde se dan las mayores magnitudes de presiones.

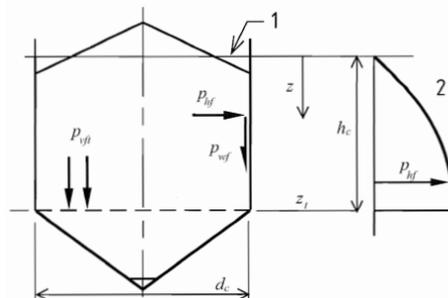


Figura 2.3 Presiones Sobre las Paredes Verticales

Fuente: Norma DIN 1055-6

La fórmula para el cálculo de la presión horizontal es:

$$P_{hf} = P_{h0} Y_r$$

También se debe obtener el perfil de presiones, el cual tendría un comportamiento parabólico. Esto brindará una idea general de la variación de las presiones a lo largo de las secciones transversales de la tolva.

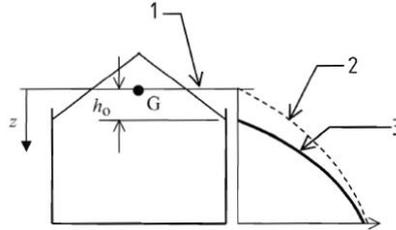


Figura 2.4 Perfil de Presiones en las Paredes

Fuente: Norma ENV 1991-4

El perfil de las presiones se calcula a partir de la fórmula:

$$Y_r = \left(1 - \left\{ \frac{z - h_0}{z_0 - h_0} + 1 \right\}^n \right)$$

La presión vertical se calculará con la siguiente expresión:

$$P_{vf} = \gamma z_v$$

Además, en el cambio de sección de la tolva se dan esfuerzos combinados, los cuales deben tenerse en cuenta para los esfuerzos sobre el material. El diagrama se muestra en la Figura 2.5.

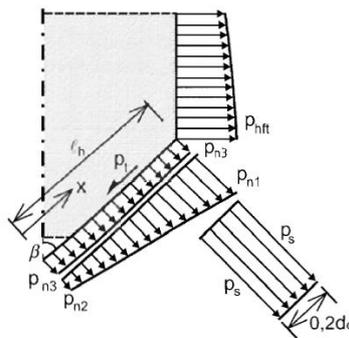


Figura 2.5 Presiones que se Generan en el Cambio de Sección

Fuente: Norma ENV 1991-4

$$p_n = p_{n3} + p_{n2} + (p_{n1} - p_{n2}) \frac{x}{I_h}$$

Donde:

$$p_{n1} = p_{vft} (C_b (\sin \beta)^2 + (\cos \beta)^2)$$

$$p_{n2} = p_{vft} C_b (\sin \beta)^2$$

$$p_{n3} = 3 \frac{A \gamma K}{U \sqrt{\mu_h}} (\cos\beta)^2$$

Una vez que se obtienen las presiones que actúan sobre la geometría de la tolva, se necesitará determinar el espesor del material y el cordón de soldadura. Para este apartado se utilizará el programa de elementos finitos ANSYS. Se generarán sólidos de distintos espesores para el análisis.

En la interfaz del programa se ingresa el archivo de CAD y los datos de presiones y condiciones del modelado. Una vez que acaba la simulación se analizan los datos y se identifica el sólido de menor espesor que soporte las condiciones de trabajo. Esta será la solución que se necesita.

2.6.3 Tornillo Alimentador

Para el diseño del tornillo se utilizarán las normas ANSI/CEMA 300, Transportador de Tornillo, Dimensiones y la ANSI/CEMA 350, Transportador de Tornillo para Materiales a Granel. Ambas normas indican el procedimiento a seguir para el dimensionamiento y selección de los componentes del tornillo alimentador.

Primero se identifica el tipo de tornillo, el cual es estándar, lo que significa que el paso es igual al diámetro, la helicoidal es sencilla y no posee paletas de mezclado.

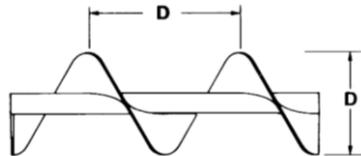


Figura 2.6 Esquema del Tornillo

Fuente: Norma CEMA

Como las dimensiones y forma del tornillo son estándar, la capacidad requerida no se altera. En la Tabla 2.5, dependiendo del tamaño del material a transportar se determina el diámetro del tornillo. Las revoluciones a las que debe girar el tornillo se calculan mediante la siguiente fórmula.

$$N = \frac{\text{Capacidad requerida}}{\text{PCH a 1 RPM}}$$

Tabla 2.5 Capacidad de Transporte para Alimentadores Helicoidales

Diámetro del Alimentador	Tamaño Máx. Partículas	Velocidad Máxima RPM	Capacidad PCH	
			A 1 RPM	A Máx. RPM
6	3/4	70	4.8	336

*Dimensiones en pulgadas

Fuente: Norma CEMA. Elaboración Propia

La capacidad del tornillo por hora se obtiene de la siguiente fórmula:

$$PCH = \frac{\text{flujo másico}}{\text{peso específico}}$$

Con esta información se escogerán los elementos protectores, rodamientos, ejes y tubos que conforman al tornillo. Estos elementos están normalizados y son de simple selección.

La potencia requerida por el motor se calcula mediante la suma de potencia necesaria para transportar el material y la necesaria para vencer la fricción estática o dinámica que se genera por el peso del material que se encuentra sobre el tornillo transportador.

$$HP_{total} = \frac{(HP_f + HP_m)F_0}{e} + Pot_{fric}$$

Para determinar el tipo de pernos para el tornillo se aplica el criterio del torque admisible.

$$T = \frac{63025 * HP}{RPM}$$

Dependiendo del valor calculado de esta fórmula se escogen los pernos necesarios para el conjunto.

2.6.4 Sistema Eléctrico y Celda de Carga

Se diseñará el sistema eléctrico para suministrar energía a todos los elementos de la máquina, los cuales son el motor del elevador, el motor del tornillo alimentador y el rectificador que es el encargado de suministrar corriente directa a los sistemas de control de ambos motores. También se debe tener en cuenta las protecciones de los diversos elementos, por lo que se colocarán disyuntores en cada uno y de esta manera se evitará que se fundan en caso de un posible pico de corriente.

Los paneles de control de los motores deberán tener la opción de operación manual, off o automática. Para el diseño del panel de control del motor del elevador se utilizan sensores de nivel, los cuales emiten una señal externa al sistema cuando el nivel de granos en la tolva sobrepasa el límite máximo establecido y ordena al motor apagarse. De igual manera cuando el nivel de granos llegue al límite mínimo, un sensor deberá emitir una señal para que el motor del elevador se encienda.

En el diseño del panel de control del motor del tornillo alimentador en cambio se utilizará una celda de carga, cuyo principal componente es un puente de Wheatstone. El peso al que se desee llegar se fijará por medio de un potenciómetro y a través de un comparador se lograr verificar que el saco alcance el peso deseado. Los paneles de control se basan principalmente en el uso de contactores, de manera que cuando llega corriente a estos, cierran los contactos y permitan de esta manera la formación de un camino para que llegue la corriente al motor.

2.6.5 Sistema de Sellado

Para la selección de la máquina de coser, es necesario determinar la cantidad de sacos por hora que podría sellar la máquina. Si la capacidad de la máquina que se está diseñando es de 50 kg/min, en una hora sellaría 60 sacos. Esta sería la tasa mínima de trabajo.

La máquina de coser debe tener cierta facilidad de traslado, para facilitar su manipulación y configuración. Por este motivo se escogerá una que sea manual y portátil, la cual además de ser liviana, posee dimensiones contenidas cumpliendo los requerimientos antes mencionados.

La puntada del hilo es otra característica a considerar. En el mercado existe de puntada simple, doble y triple. Se escogerá la triple puntada. Además, debe adquirirse un soporte que permita ajustar la altura a la que se encuentra la máquina de coser. Esto para que al operador de la misma se le facilite el sellado de los sacos, que pasarán por un transportador de rodillos.

2.6.6 Transportador de Rodillos

La norma a utilizar para el diseño del transportador de rodillos será la ANSI/CEMA 401, Transportador de Rodillos no Motorizados y se seleccionarán los elementos en el manual Interroll de Rodillos Transportadores.

El transportador será uno del tipo no motorizado, impulsado manualmente y por gravedad, a través de una pendiente. Servirá para facilitar el sellado del saco con la máquina de coser y para trasladarlos hasta un lugar de almacenamiento. El transportador constará por tanto de dos módulos: uno que facilitará el paso por la máquina de coser, será horizontal; y otro que actuará como salida del saco, con una pendiente determinada.

Tabla 2.6 Grado de Inclinación para Transportador de Rodillos por Gravedad

Artículo	Peso Aproximado (lb)	Pendiente Transportador (Pulgadas por 10 Pies)
Cajas, Madera	100-250	3 1/8

Fuente: Norma CEMA. Elaboración Propia

Las dimensiones de los componentes del transportador se encuentran tabulados. Para la selección de los mismos se necesita la carga a transportar (50 kg), las dimensiones del saco y las longitudes de traslación del producto.

2.6.7 Estructura de la Máquina

Para el diseño del soporte estructural de la máquina se emplearán la norma ANSI/AISC 360-10, para Construcciones de Acero y la NEC-SE-AC, Norma Ecuatoriana de Construcción, Estructuras de Acero. Se utilizará el método de Diseño por Factores de Carga y Resistencia LRFD. Este método consiste en que la resistencia del diseño debe

igualar o exceder los efectos de las cargas incrementadas, de acuerdo a las siguientes combinaciones:

Tabla 2.7 Ecuaciones y Cargas del Método LRFD

Nº	Ecuación Combinada
1	1,4 D
2	1,2 D + 1,6 L + 0,5 máx(Lr;S;R)
3	1,2 D + 1,6 máx(Lr;S;R) + máx(L;0,5W)
4	1,2 D + 1,0 W + L + 0,5 máx(Lr;S;R)
5	1,2 D + 1,0 E + L + 0,2 S
6	0,9 D + 1,0 W
7	0,9 D + 1,0 E

Fuente: Elaboración Propia

Para este caso las cargas que actuarán en la estructura serán: carga muerta y carga viva. No se considerarán los demás tipos de carga. El esquema de la estructura se puede observar en la Figura 2.7.

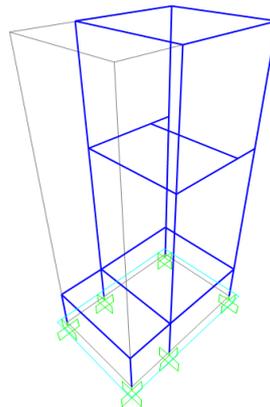


Figura 2.7 Esquema de la Estructura

Fuente: Elaboración Propia

Para la carga muerta de los elementos del 3er nivel se aplicará una fuerza resultado del peso del cangilón y de la tolva. Para los elementos del 2do nivel, la fuerza corresponderá al peso del motor, del panel de control, de la caja reductora y del tornillo. Para la carga viva se considerará el material que caiga en la tolva. La masa de los granos para llenar la capacidad de la tolva será soportada por los elementos del 2do y 3er nivel. Para el diseño se sobredimensionarán las cargas descritas anteriormente como un factor de seguridad adicional para el sistema.

Una vez definidas las cargas a utilizar (D, L), se aplicarán las ecuaciones antes mostradas. La ecuación que tenga mayor magnitud será la utilizada para el diseño.

Los cálculos estructurales se realizarán empleando el programa SAP2000. Aquí se ingresarán todos los datos recopilados anteriormente para obtener los resultados. El diseño se verificará si la capacidad de resistencia de los perfiles seleccionados no sobrepasa a la unidad.

Para la soldadura de unión viga-columna, se empleará el método de Diseño de Soldadura como Línea, el cual se encuentra en la norma AWS D1.1, Código de Soldadura Estructural. Los factores geométricos se obtienen de la siguiente figura.

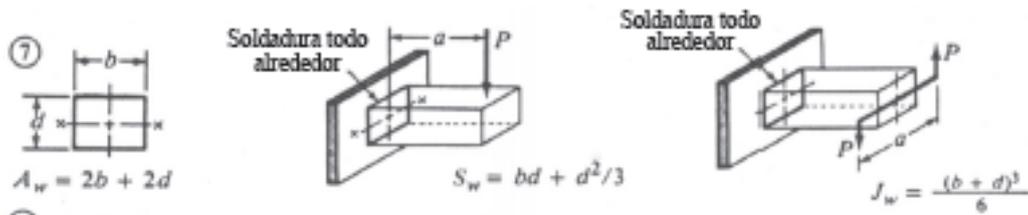


Figura 2.8 Factores Geométricos para Analizar Soldadura como Línea

Fuente: Diseño de Máquinas, Norton

Se emplearán las siguientes fórmulas de Carga Cortante y Carga de Flexión por Longitud de Soldadura.

$$f_s = \frac{V}{A_w}$$

$$f_b = \frac{M}{S_w}$$

Y para el espesor del cordón de soldadura se emplea la siguiente expresión:

$$t = \frac{F_r}{\tau_{perm}}$$

Concluyendo así la sección estructural de la máquina.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS

3.1 Selección de Elementos

3.1.1 Elevador de Cangilones

El elevador seleccionado es el modelo B64-141. En la Tabla 3.1 se indican las dimensiones de los cangilones, la banda respectiva, la velocidad, etc.

Tabla 3.1 Número de Elevador, Cangilones y Banda Correspondientes

Número de Elevador	Capacidad	Cangilones				Banda		Tamaño Máx. Partícula	
	Máx. P.C.H.	Ancho	Proy.	Prof.	Espacio	Ancho	P.P.M.	100%	10%
B64-141	293	6	4	4 1/4	13	7	235	1/2	2 1/2

* Dimensiones en pulgadas

** La capacidad máxima es con cangilones cargados al 75%

Fuente: Norma CEMA. Elaboración Propia

La Tabla 3.2 provee dimensiones nominales de la caja protectora del elevador, de las poleas de cabeza y bota con sus respectivos ejes y la potencia requerida.

Tabla 3.2 Dimensiones de Caja, Poleas y Ejes

Tamaño nom. de la Caja		Polea en Cabeza			Polea en Bota		H.P. en Eje de Cabeza	
Ancho	Prof.	Diámetro	Diámetro Eje	RPM	Diámetro	Diámetro Eje	Terminal	Por Distancia Centros
11 3/4	35	20,00	1 15/16	43,80	16,00	1,50	0,12	0,01

* Dimensiones en pulgadas

** Basada en cangilones cargados con agua al 100%

Fuente: Norma CEMA. Elaboración Propia

La Tabla 3.3 indica las medidas correspondientes a los elementos del elevador: el cuerpo, la bota o parte inferior y la cabeza o parte superior. Esta tabla en conjunto con la Figura 3.1, proveen una idea gráfica de las dimensiones finales del elevador de cangilones.

Tabla 3.3 Dimensiones del Elevador

Número de Elevador	Cuerpo		Bota										Cabeza						
	A	B	F	G	H	J	K	L	M	N	P	R	S	T	U	V	Y	Z	D-1
B64-141	11 3/4	35	13	9	26 1/2	43	72	17 1/2	14 1/2	15 1/2	13	29 3/4	10	28 1/2	42	19 1/2	17 1/2	30 1/2	14

Fuente: Norma CEMA. Elaboración Propia

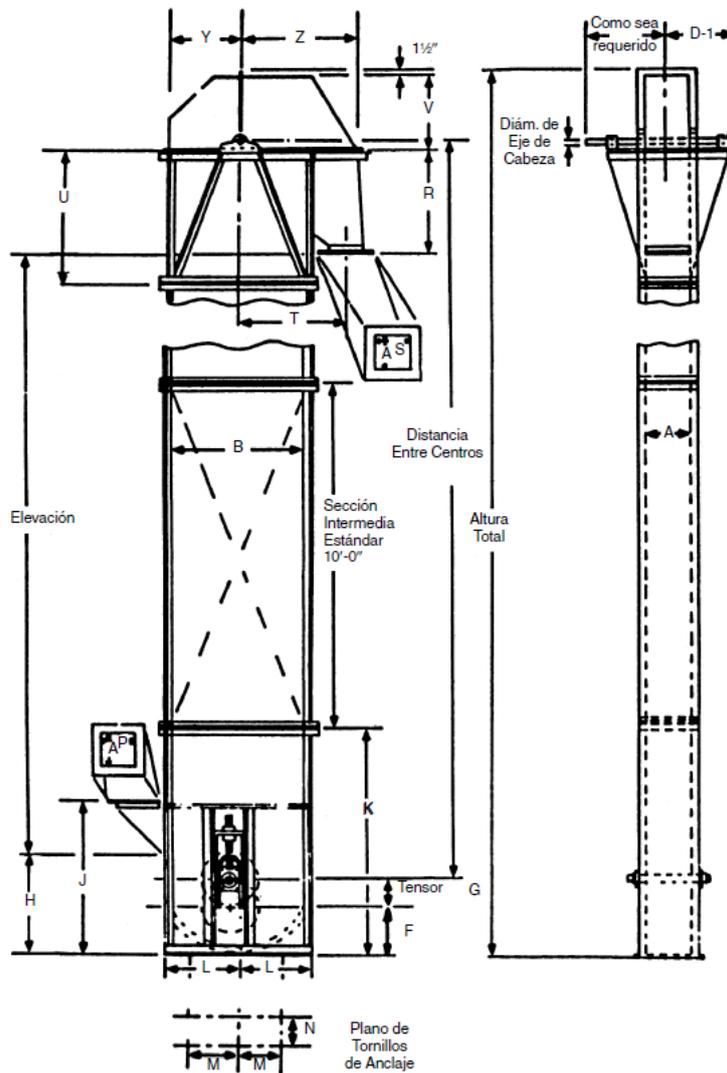


Figura 3.1 Dimensiones del Elevador

Fuente: Manual de Martin para Manejo de Material a Granel

Los espesores recomendados para las partes del elevador son: 1.9 mm para la cabeza, 2.7 mm para el cuerpo y 3.4 mm para la bota.

Adicionalmente la Tabla 3.4 indica el tipo de cangilón a emplear con el elevador B64-141. Este cangilón es del tipo A-A, indicados para elevadores de descarga centrífuga con materiales de flujo relativamente libre. Tiene capacidad de 0.03 ft³ y puede ser fabricado en plástico o en hierro.

Tabla 3.4 Tamaño y Capacidad del Cangilón

Tamaño de Cangilón			Peso lb	Capacidad ft ³ X - X
A	B	C		
6	4	4 1/4	2.7	0.03

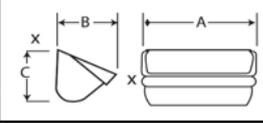
* Dimensiones en pulgadas

Fuente: Norma CEMA. Elaboración Propia

El cangilón deberá estar sujeto a la banda. Este método de unión es mediante pernos.

Tabla 3.5 Ubicación de las Perforaciones en el Cangilón

Longitud de Cangilón	Cangilones de Acero Estilo A, AA, AA-RB, B, C, etc.			
	Perforación	A	B	C**
6	B-1	4 3/8	5/8	1/4



* Dimensiones en pulgadas

** Diámetro de Perno

Fuente: Norma CEMA. Elaboración Propia

Según la Tabla 3.6, los cangilones necesarios serían 20. Sin embargo como el caudal corresponde a un elevador de 5 ton/h, se realiza otro cálculo para definir el número de cangilones. La cantidad correcta es de 12.

Tabla 3.6 Espaciamiento y Cantidad de Cangilones Requeridos

Número de Elevador	Cangilones Estilo AA Maleable		
	Tamaño	Espaciamiento	Cantidad
B64-141	4x3	13	4,34+(1,85xDistancia entre Centros)

* Dimensiones en pulgadas

** Tornillos Norway

Fuente: Norma CEMA. Elaboración Propia

Los tornillos para ajustar los cangilones seleccionados tienen diámetro de 1/4" y una longitud de 1". La cantidad necesaria es de 24 tornillos.

Tabla 3.7 Cantidad y Dimensiones de los Tornillos

Número de Elevador	Tornillos para Cangilones y Roldanas	
	Tamaño	Cantidad
B64-141	1/4x1	2x(No. De Cangilones)

* Dimensiones en pulgadas

Fuente: Norma CEMA. Elaboración Propia

Finalmente, la banda tendrá 30 perforaciones y contará con una longitud total de 26 ft. Además esta banda deberá ser de 4 capas de recubrimiento.

Tabla 3.8 Características de la Banda

Número de Elevador	Banda (Incluyendo 3 Cangilones Traslapados)	
	No. De Perforaciones en Banda	Longitud (Pies)
B64-141	6+ (No. De Tornillos)	9'+(2xDistancia entre Centros)

Fuente: Norma CEMA. Elaboración Propia

Una vez realizados los cálculos necesarios, se determina que el sistema requerirá un motor de $\frac{3}{4}$ HP como mínimo para funcionar, sin embargo se optará por escoger un motor de 1 HP.

3.1.2 Tolva de Alimentación

La tolva tiene como dimensiones 800 mm de largo, 800 mm de ancho y una altura de 800 mm.

Los resultados del ANSYS nos indican que el espesor de la plancha de acero A36 necesaria para la fabricación de la tolva corresponde a 5 mm. Con los mismos datos, se concluye que el espesor del cordón de soldadura necesario es de 5mm.

El método de unión de la tolva con la estructura de la máquina es mediante pernos. Se emplearán 16 pernos M4, grado 4.6 y longitud de 70 mm.

3.1.3 Tornillo Alimentador

Para un diámetro de tornillo de 6", se tiene que el tamaño máximo de grano que puede transportar es $\frac{3}{4}$ " por lo que se cumple lo estipulado en la norma.

Los grupos de componentes ayudan a relacionar los códigos de clasificación del material con el diámetro del helicoidal, el tamaño del tubo, el tipo de rodamientos y el espesor de la artesa.

Tabla 3.9 Grupo de Componentes 1

Diámetro del Helicoidal	Diámetro del eje	Número del helicoidal		Espesor	
		Continuos	Seccionales	Artesa	Cubierta
6	1 1/2	6H304	6S307	Calibre 16	Calibre 16

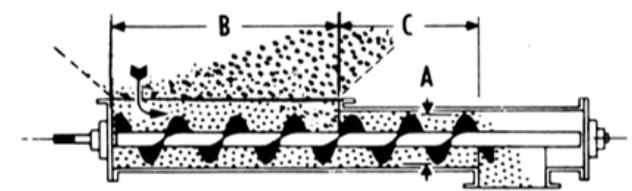
*Dimensiones en pulgadas

Fuente: Norma CEMA. Elaboración Propia

La extensión del alimentador helicoidal es tan corta que no se requiere colocar bujes para colgantes intermedios. Por esta razón el factor que se usa para el dimensionamiento del motor es $F_b=1$.

Tabla 3.10 Dimensiones del Alimentador

Diámetro del Alimentador A	B	C
6	36	12



*Dimensiones en pulgadas

Fuente: Norma CEMA. Elaboración Propia

La sección que se encuentra debajo de la tolva de alimentación es 24". La siguiente sección tiene una longitud de 14.6" por lo que la extensión total del tornillo es de 38.6". Los confinamientos sirven para proteger el material a transportar del ambiente o el ambiente de algún material peligroso. El confinamiento requerido es de clase II E. Consiste en construcciones que proporcionan alguna protección contra el polvo al material que está siendo transportado.

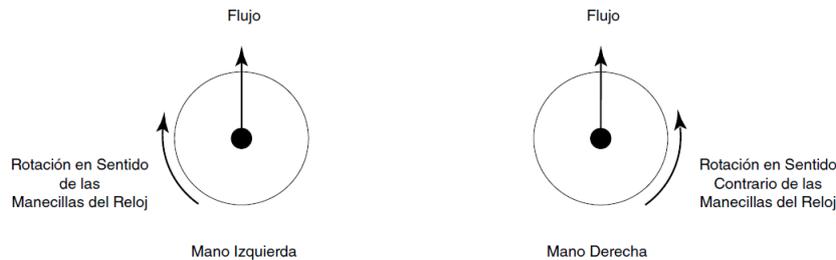


Figura 3.2 Rotación del Helicoidal

Fuente: Manual de Martin para Manejo de Material a Granel

Se escoge una helicoidal mano izquierda, el cual rota en sentido horario, a favor de las manecillas del reloj como se muestra en la Figura 3.3.

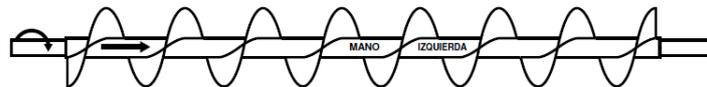


Figura 3.3 Sentido de Giro del Tornillo

Fuente: Manual de Martin para Manejo de Material a Granel

Se utilizan artesas tubulares bipartidas con ceja formada, ya que se desensambla fácilmente para su mantenimiento. Son resistentes al polvo y pueden operar llenas.

Tabla 3.11 Dimensiones de las Artesas

Díámetro del Transportador	Espesor de Artesa	A	B	C
6	Cal 16	7	9 5/8	1 1/4

Artesa Tubular Solida

Artesa Tubular Bipartida con Ceja

Artesa Tubular Bipartida con Ceja de Angulo

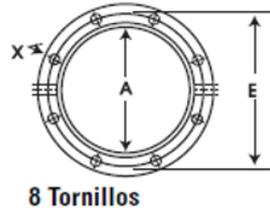
*Dimensiones en pulgadas

Fuente: Norma CEMA. Elaboración Propia

Se emplearán bridas de unión tipo tubulares las cuales se acoplan a la forma de artesa escogida.

Tabla 3.12 Dimensiones de la Brida de Unión

Diámetro del Helicoidal	Tornillos en la Brida	Diámetros de los Pernos	A	E
6	8	3/8	7	8 7/8



8 Tornillos

*Dimensiones en pulgadas

Fuente: Norma CEMA. Elaboración Propia

La descarga estándar es el tipo más empleada a nivel industrial, se le acopla una boquilla la cual deja caer el material a los sacos.

Tabla 3.13 Dimensiones de las Descargas del Tornillo

Diámetro del Transportador	A
6	7



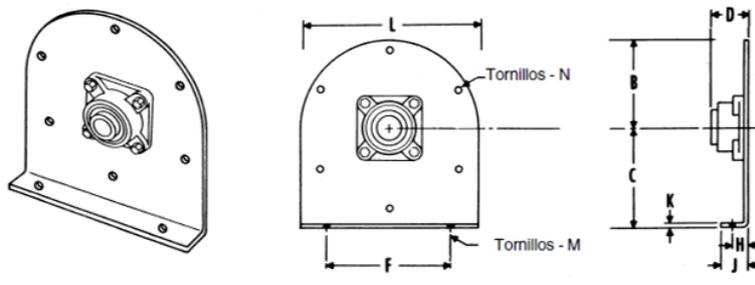
*Dimensiones en pulgadas

Fuente: Norma CEMA. Elaboración Propia

Se utilizarán tapas exteriores con pie para arquetas tubulares, las cuales tienen una base o soporte y se le puede acoplar rodamientos de pared de bronce o de bolas estándares. Las dimensiones de las mismas se las puede visualizar en la Tabla 3.14.

Tabla 3.14 Dimensiones de la Tapas Exteriores con Pie para Artesas Tubulares

Diámetro del Transportador	Diámetro del Eje	B	C	D	F	H	J	K	L	M	N	Peso
6	1 1/2	5 1/16	5 5/8	8 1/8	8 1/8	1	1 3/4	1/4	10 1/8	3/8	3/8	5



*Dimensiones en pulgadas

Fuente: Norma CEMA. Elaboración Propia

Se usarán rodamientos de bolas los cuales van montados sobre las tapas de las artesas, las dimensiones de los mismos y los códigos se los muestra en la siguiente tabla.

Tabla 3.15 Dimensiones de los Rodamientos de Bolas de Pared

Diámetro del eje	C	D	E	G	N	Número de parte
1 1/2	4	5 1/8	2	9/16	1/2	TEB3BB

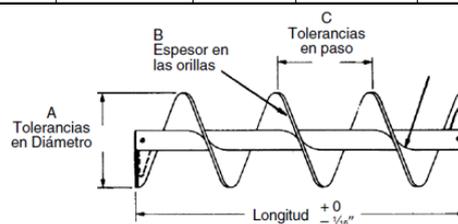
*Dimensiones en pulgadas

Fuente: Norma CEMA. Elaboración Propia

Se usan helicoidales seccionales, las cuales son hélices individuales obtenidas de placas de acero con el diámetro y el paso deseado, estas se sueldan al tubo para formar la helicoidal.

Tabla 3.16 Dimensiones del Tornillo Transportador

Diámetro del Helicoidal y Paso	Diámetro Eje	Designación del Tamaño	Tamaño de Tubo (Cedula 40)	Longitud (ft)	A		B	C	
					Tolerancia del Diámetro			Espesor	Tolerancia del Paso
					Más	Menos	Más		Menos
6	1,5	6S307	2	10	1/16	3/16	12 Ga.	42219	42095

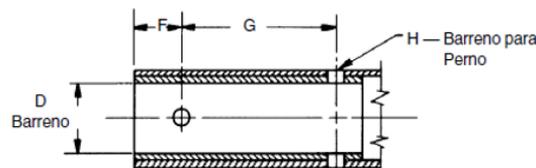


*Dimensiones en pulgadas

Fuente: Norma CEMA. Elaboración Propia

Tabla 3.17 Dimensiones del Tubo

Designación del Tamaño	D		F	G	H	
	Diámetro Interno del Buje	Mínimo	Máximo	Distancia al 1er Barreno	Centro al 2do Barreno	Tamaño Nominal Perforación del Tornillo
6S307		1,505	1,516	7/8	3	17/32



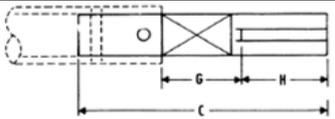
*Dimensiones en pulgadas

Fuente: Norma CEMA. Elaboración Propia

Se escoge el tipo de eje motriz número uno, el cual se utiliza cuando se tienen tapas estándares. También facilita la instalación.

Tabla 3.18 Dimensiones del Árbol de Transmisión

Diámetro del eje	C	G	H	Peso [lb]
1 1/2	11 1/2	3 1/2	3 1/4	5.6



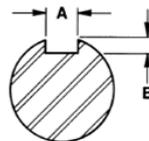
*Dimensiones en pulgadas

Fuente: Norma CEMA. Elaboración Propia

Las dimensiones que requiere el chavetero se detallan en la Tabla 3.19.

Tabla 3.19 Dimensiones del Chavetero

Diámetro del Eje	A	B
1 1/2	3/8	3/16



*Dimensiones en pulgadas

Fuente: Norma CEMA. Elaboración Propia

3.1.4 Sistema Eléctrico y Celda de Carga

La Figura 3.4 muestra el diagrama unifilar del equipo. Se presentan los principales componentes: tablero de control, motor del tornillo y motor del elevador de cangilones.

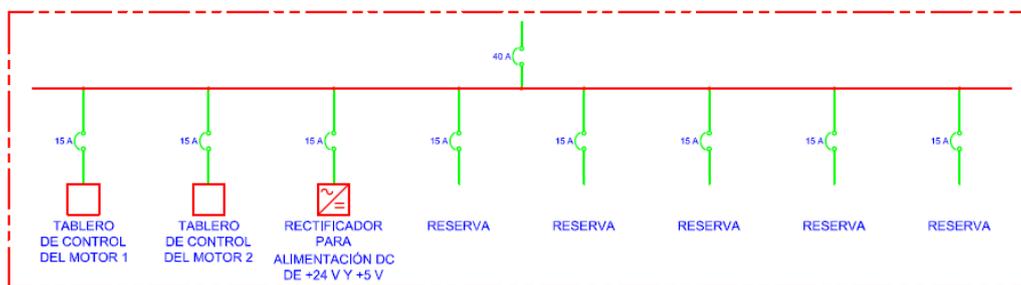


Figura 3.4 Diagrama Unifilar Eléctrico

Fuente: Elaboración Propia

La Figura 3.5 muestra el circuito del tablero de control del motor del elevador, este cuenta con modo manual, off y automático. También se presentan los sensores de nivel S1 y S2, en la Figura 3.6, ubicados para que el nivel no sobrepase los 70 cm ni llegue por debajo de 20 cm asegurando que siempre exista una cantidad mínima de granos para que se produzca la dosificación.

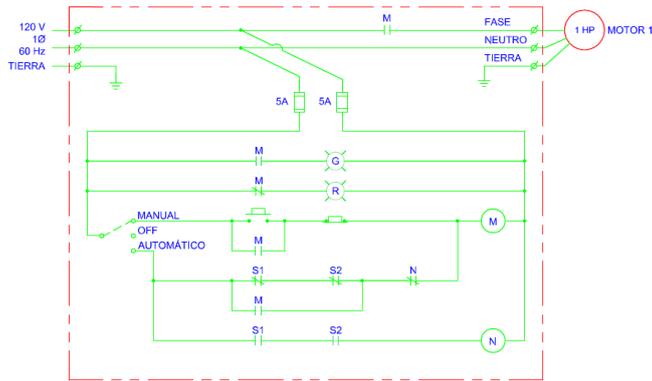


Figura 3.5 Tablero de Control del Motor del Elevador

Fuente: Elaboración Propia

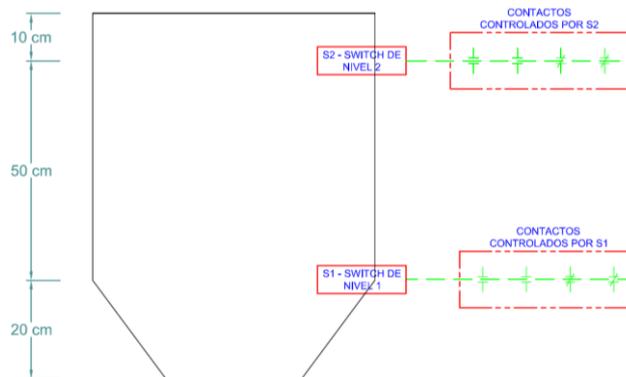


Figura 3.6 Ubicación de los Sensores de Nivel

Fuente: Elaboración Propia

La Figura 3.7 muestra el tablero de control del motor que mueve el tornillo transportador. Cuando se encuentra en modo automático es afectado por una señal externa que viene del circuito de la celda de carga que se muestra en la Figura 3.8. Este circuito utiliza un puente de Wheatstone para convertir la señal del peso en una señal eléctrica. El potenciómetro se utiliza para fijar el peso de referencia al que se desea llegar.

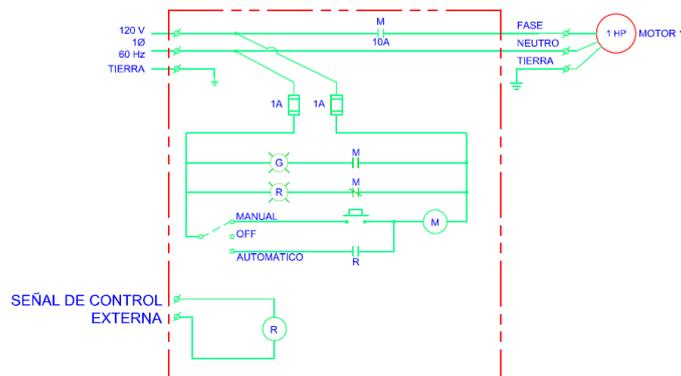


Figura 3.7 Tablero de Control del Motor del Tornillo Transportador

Fuente: Elaboración Propia

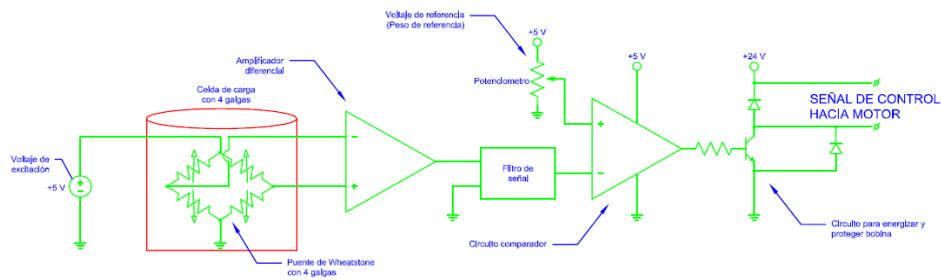


Figura 3.8 Sistema de Control del Peso de los Sacos

Fuente: Elaboración Propia

3.1.5 Sistema de Sellado

Las características de la máquina de coser escogida se enlistan a continuación:

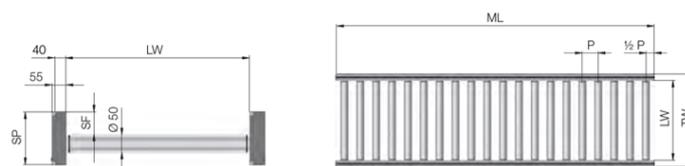
- Potencia: 90 W. 110 V
- Peso: 4.5 kg.
- Dimensiones: 27.5 x 37.0 x 30.5 cm.
- Velocidad: 1700 rpm.
- Largo de Puntada: 7.2 mm
- Capacidad: 300 sacos/min.

3.1.6 Transportador de Rodillos

Para la parte horizontal del transportador se ha considerado una longitud de 1 m, a una altura de 0.35 m del suelo. Para la pendiente, una longitud proyectada horizontal de 2 m. La caída será desde 0.35 m hasta el nivel del suelo. La carga de diseño para el transportador es de 100 kg/m.

Tabla 3.20 Datos Técnicos y Dimensiones Módulo de Soporte

Datos técnicos generales	
Capacidad de carga máx.	100 kg/m
Pendiente Ascendente/Descendente	Adecuado para pendientes descendentes
Temperatura ambiente	-5 hasta +50 °C
Rodillo	
Tipo de Rodillo	Interroll Serie 1100, rodillo transportador de marcha suave
Diámetro del rodillo	50 mm
Material del rodillo	Acero, zincado, PVC
Perfil lateral	
Perfil 150	150 mm de altura 65 mm por encima del borde superior del rodillo
Dimensiones	
LW Ancho	310 hasta 1010 mm en pasos de 50 mm
ML Longitud máx. del módulo	3000 mm
TW Ancho del módulo	LW + 84 mm
P Paso entre rodillos	55 / 75 / 100 / 125 mm
SP Perfil lateral	80 / 150 mm
SF Guía lateral	5 / 65 mm



Fuente: Interroll. Elaboración Propia

El diámetro de rodillo será de 50 mm. La norma indica que el largo de los mismos debe ser mayor en 50 mm que el ancho del artículo a transportar. Por lo tanto los rodillos deben tener 750 mm de largo mínimo. Se escoge el rodillo de L=800 mm.

Tabla 3.21 Datos Técnicos de Rodillos

Datos técnicos generales							
Capacidad de carga máx.		350N					
Velocidad máx. de transporte		0,3 m/s					
Rango de temperatura		-5 hasta +40 °C					
Rodillo							
Cabezal		Polipropileno					
Junta		Polipropileno					
Bola		Acero al carbono o acero inoxidable					
Material del tubo	φ de tubo mm	φ de eje mm	Capacidad de carga máx. en N con longitud de montaje en mm				
			600	700	800	900	1000
Acero	50 x 1,5	10/12	350	350	350	350	350

Fuente: Interroll. Elaboración Propia

El rodillo soporta alrededor de 35 kg, dos serían suficientes para el saco de 50 kg. No se puede emplear un paso de 300 mm porque el saco corre el riesgo de caer del transportador. Se escoge el paso de 125 mm, de la Tabla 3.20. El saco tendrá un total de 7 rodillos como soporte. En total serán 24 rodillos.

Los módulos tendrán un ancho de carril de 810 mm y de módulo 894 mm. El perfil lateral será de 70 mm y la guía de 20 mm. Los módulos tendrán longitudes de 1000 mm y de 2030 mm para la pendiente. El tipo de rodamiento indicado es el presentado en la Tabla 3.22. La altura del sistema será de 350 mm. El ancho del mismo es de 800 mm.

Tabla 3.22 Tipo de Rodamientos y Medidas para Rodillo Tipo Eje de Muelle

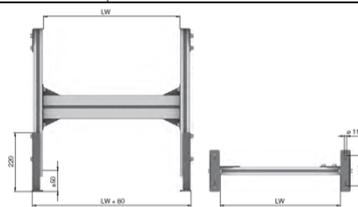
Tubo		Rodamiento de Bolas	φ de eje mm	φ de tubo mm	RL mm	AGL mm	F mm
Material	φ mm						
Acero	50 x 1,5	Estándar	10	50	EL - 10	EL + 20	11



Fuente: Interroll. Elaboración Propia

Tabla 3.23 Datos Técnicos y Dimensiones de Soporte Rodillos

Datos técnicos generales	
Capacidad de carga máx.	200 kg
Perfil lateral	
Cantidad de traviesas	1 con 350 hasta 800 mm altura superior rodillo
Dimensiones	
LW Ancho	210 hasta 1010 mm
T.O.R. Altura superior rodillo	350 hasta 2000 mm
Rango de ajuste	±50 mm



Fuente: Interroll. Elaboración Propia

3.1.7 Estructura de la Máquina

Para las columnas y vigas se emplearán tubos cuadrados de 50x50x3 mm. El cordón mínimo para resistir las fuerzas en la unión viga-columna es de 0.44 mm de garganta. Sin embargo se utilizará un cordón con garganta de 3 mm, que corresponde al espesor del tubo. Este mismo cordón será empleado en las demás uniones de la estructura.

3.2 Análisis de Costos

3.2.1 Costos Directos

Estos engloban a los materiales empleados directamente en la construcción de la máquina. Una vez que se generaron los planos de los elementos totales de la máquina, se procedió a determinar la cantidad de material requerido para la elaboración de la misma. Esto se hizo para los elementos de acero, los rodamientos y poleas, los componentes del sistema motriz, del elevador, y el resto de partes necesarias para la máquina.

Tabla 3.24 Cantidad Total de Acero

Acero Total para Máquina Dispensadora Ensacadora							
Elemento	Cantidad	Material	Peso Unitario (kg)	Peso Total (kg)	P. Unitario (USD)	Precio (USD/kg)	Precio (USD)
Plancha 1220x2440x5	3	A36	116,84	350,52	\$ 157,04	\$ 0,90	\$ 315,47
Plancha 1220x2440x3	2	A36	70,10	140,21	\$ 104,69	\$ 0,90	\$ 126,19
Plancha 1500x6000x3	1	A36	211,95	211,95	\$ 197,82	\$ 0,90	\$ 190,76
Tubo Cuadrado 50x50x3 L=6000	3	A36	25,50	76,50	\$ 24,98	\$ 0,90	\$ 68,85
L 75x75x6 L=6000	7	A36	40,69	284,83	\$ 29,00	\$ 0,90	\$ 256,35
Tubo Redondo 50x1,5 L=6000	3	A36	10,92	32,76	\$ 11,24	\$ 0,90	\$ 29,48
Eje Diámetro 10,0 mm L=850 mm	23	SAE 1018	1,00	23,00	\$ 2,00	\$ 2,00	\$ 46,00
Eje Diámetro 38,1 mm L=1000 mm	1	SAE 1019	10,00	10,00	\$ 2,00	\$ 2,00	\$ 20,00
Eje Diámetro 50,0 mm L=1000 mm	2	SAE 1020	15,90	31,80	\$ 31,80	\$ 2,00	\$ 63,60
Costo Mecanizado							\$ 500,00
Costo Total							\$ 1.616,69

Fuente: Aceros Bohler, Hyundai Steel, KOCAER, Alchevsk Iron & Steel Works.
Elaboración Propia

Tabla 3.25 Poleas y Rodamientos

Poleas y Rodamientos para Máquina Dispensadora Ensacadora						
Elemento	Cantidad	D. Eje (mm)	D. Externo (mm)	Ancho (mm)	P. Unitario (USD)	Precio (USD)
Polea Cabeza	1	50	500	300	\$ 400,00	\$ 400,00
Polea Bota	1	38,1	400	300	\$ 300,00	\$ 300,00
Rodamientos Bola Eje Cabeza	2	50	-	-	\$ 53,87	\$ 107,74
Rodamientos Bola Rodillos	46	50	-	-	\$ 4,68	\$ 215,28
Rodamientos Bola Tornillo (TEB3BB)	2	38,1	-	-	\$ 41,70	\$ 83,40
Rodamientos Tensores	2	38,1	-	-	\$ 91,74	\$ 183,48
Costo Total						\$ 1.289,90

Fuente: NTN, Serintu. Elaboración Propia

Tabla 3.26 Elementos del Sistema Motriz

Sistema Motriz para Máquina Dispensadora Ensacadora				
Elemento	Cantidad	Potencia (HP)	P. Unitario (USD)	Precio (USD)
Motorreductor Trifásico	2	1	\$ 767,85	\$ 1.535,70
Acoples	2	1	\$ 59,04	\$ 118,08
Costo Total				\$ 1.653,78

Fuente: Siemens, Serintu. Elaboración Propia

Tabla 3.27 Elementos del Sistema de Cangilones

Sistema de Cangilones						
Elemento	Cantidad	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Altura (mm)	P. Unitario (USD)	Precio (USD)
Cangilones	12	150	100	108	\$ 30,00	\$ 360,00
Banda	1	8000	180	-	\$ 400,00	\$ 400,00
Costo Total						\$ 760,00

Fuente: Serintu. Elaboración Propia

Tabla 3.28 Pernos y Tuercas

Pernos y Tuercas para Máquina Dispensadora Ensacadora						
Elemento	Cantidad	Largo (mm)	Diámetro (mm)	P. Unitario (USD)	Precio (USD)	
Perno M4	16	70	4	\$ 0,03	\$ 0,48	
Perno M6	30	30	6	\$ 0,03	\$ 1,02	
Perno M9	4	30	9	\$ 0,11	\$ 0,44	
Perno M10	56	30	10	\$ 0,11	\$ 6,16	
Perno M12	12	60	12	\$ 0,37	\$ 4,44	
Perno M18	4	50	18	\$ 0,65	\$ 2,60	
Tuerca M4	16	-	-	\$ 0,02	\$ 0,32	
Tuerca M6	30	-	-	\$ 0,02	\$ 0,60	
Tuerca M9	4	-	-	\$ 0,03	\$ 0,12	
Tuerca M10	103	-	-	\$ 0,03	\$ 3,50	
Tuerca M12	12	-	-	\$ 0,08	\$ 0,96	
Tuerca M18	4	-	-	\$ 0,26	\$ 1,04	
Tuerca Tensor	2	-	-	\$ 0,26	\$ 0,52	
Costo Total						\$ 22,20

Fuente: American Screw. Elaboración Propia

Tabla 3.29 Varios

Varios para la Máquina Dispensadora Ensacadora			
Elemento	Unidad	Cantidad	Precio (USD)
Balanza 100 kg	U	1	\$ 100,00
Cosedora Manual Portátil	U	1	\$ 149,00
Soporte Cosedora H=1,50 m	U	1	\$ 25,00
Tablero de Accionamiento Motores	U	1	\$ 251,00
Sistema de Celda de Carga	U	1	\$ 800,00
Cables Electricos	M	25	\$ 60,00
Costo Total			\$ 1.385,00

Fuente: Varios. Elaboración Propia

Tabla 3.30 Soldadura

Soldadura para Máquina							
Electrodo	Cordón (m)	Rendimiento (m)	Cant. Electrodos	Kg/funda	Cantidad	P. Unit. (USD/kg)	P. Total (USD)
E6010	11,52	0,25	47,02	5	4	\$ 3,19	\$ 63,80
Costo Total							\$ 63,80

Fuente: Indura. Elaboración Propia

3.2.2 Costos Indirectos

Este conjunto de costos incluyen a los elementos que no se pueden percibir directamente en la construcción del equipo pero fueron empleados para este fin, tales como gastos administrativos y de oficina, mano de obra, máquinas empleadas, materiales fungibles y transporte. Estos pueden ser observados en la Tabla 3.31.

3.2.3 Costos de Ingeniería

Los costos de ingeniería corresponden a la remuneración de los ingenieros que participaron en el proceso de diseño de la máquina. Estos pueden ser observados en la Tabla 3.31.

Tabla 3.31 Costo Total y Precio de Venta de la Máquina

MACRO: FABRICACIÓN MÁQUINA DISPENSADORA-ENSACADORA DE CACAO 50 KG.						
Primera Revisión		13-ago-15				
Segunda Revisión		20-ago-15				
Tiempo de Entrega		20 Días				
Peso Total de la Máquina		1500 kg				
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNID.	CANT.	V. UNIT.	SUBTOTAL	PARCIAL
GENERALES						
1	Comunicaciones	Mes	0,3	\$ 100,00	\$ 30,00	\$ 280,00
2	Gastos de Oficina	Mes	0,3	\$ 150,00	\$ 45,00	
3	Papelería	Global	1	\$ 40,00	\$ 40,00	
4	Alquiler	Mes	0,3	\$ 250,00	\$ 75,00	
5	Energía Eléctrica	Mes	0,3	\$ 200,00	\$ 60,00	
6	Agua Potable	Mes	0,3	\$ 100,00	\$ 30,00	
MOVILIZACIONES						
7	Camioneta	Día	1	\$ 100,00	\$ 100,00	
TRANSPORTE						
8	Camión	Viaje	1	\$ 250,00	\$ 250,00	
MATERIALES DIRECTOS						
9	Acero para Máquina	Kg	1161,57	\$ 1,39	\$ 1.616,69	
10	Poleas y Rodamientos	Global	1	\$ 1.289,90	\$ 1.289,90	
11	Sistema Motriz	Global	1	\$ 1.653,78	\$ 1.653,78	
12	Sistema de Cangilones	Global	1	\$ 760,00	\$ 760,00	
13	Pernos y Tuercas	Global	1	\$ 22,20	\$ 22,20	
14	Varios	Global	1	\$ 1.385,00	\$ 1.385,00	
15	Soldadura	Kg	20	\$ 3,19	\$ 63,80	
16	Cables de Conexión	M	15	\$ 3,50	\$ 52,50	
17	Pintura Anticorrosiva	Galón	5	\$ 8,00	\$ 40,00	
MATERIALES INDIRECTOS						
18	Discos y Gratas	U	20	\$ 2,50	\$ 50,00	\$ 612,50
19	Seguridad Gafas/mandiles/mangas/guantes	Global	1	\$ 60,00	\$ 60,00	
20	Extensiones para Máquinas 4x#8	M	35	\$ 2,50	\$ 87,50	
21	Conexiones para Extensiones (8+8)	Par	3	\$ 5,00	\$ 15,00	
22	Herramienta Menor Varias	Día	10	\$ 40,00	\$ 400,00	
MANO DE OBRA TALLER						
23	Supervisor	Día	10	\$ 40,00	\$ 400,00	\$ 950,00
24	Armador	Día	10	\$ 30,00	\$ 300,00	
25	Soldador	Día	10	\$ 40,00	\$ 400,00	
26	Ayudante	Día	10	\$ 25,00	\$ 250,00	
MONTAJE EN SITIO						
27	Supervisor	Día	5	\$ 40,00	\$ 200,00	\$ 455,00
28	Armador	Día	5	\$ 30,00	\$ 150,00	
29	Ayudante	Día	5	\$ 25,00	\$ 125,00	
30	Electricista	Día	3	\$ 30,00	\$ 90,00	
31	Mecánico	Día	3	\$ 30,00	\$ 90,00	
EQUIPOS Y MAQUINARIAS						
32	Soldadora	Día	5	\$ 15,00	\$ 75,00	\$ 290,00
33	Pulidora	Día	5	\$ 4,00	\$ 20,00	
34	Equipo de Pintura	Día	1	\$ 10,00	\$ 10,00	
35	Máquina Dobladora	Día	5	\$ 8,00	\$ 40,00	
36	Cizalla	Día	5	\$ 4,00	\$ 20,00	
37	Equipo de Corte por Plasma	Día	5	\$ 15,00	\$ 75,00	
38	Tecla 2 Ton	Día	10	\$ 5,00	\$ 50,00	
COSTO FABRICACIÓN E INSTALACIÓN					\$ 10.421,37	
IMPREVISTOS 5%					\$ 521,07	
INGENIERÍA 15%					\$ 1.563,21	
UTILIDAD 20%					\$ 2.501,13	
P.V.					\$ 15.006,77	
VALOR C/KG					\$ 10,00	

Fuente: Elaboración Propia

3.3 Retorno de la Inversión

Primeramente, debemos estimar los ingresos y costos de la operación de la máquina en un periodo de 5 años.

3.3.1 Ingresos por Producción

Cada agricultor contará con 7 Ha. promedio y rendimiento de 0.46 ton/Ha. (Coordinación General del Sistema de Información Nacional, 2013). La cantidad de agricultores aumentará a 8, 11, 13 y 15 hasta el año 5.

Tabla 3.32 Ingresos por Producción

Ingresos por Producción Año 1	
Precio del Saco de 50 kg (USD)	\$ 150,00
Cantidad Agricultores por Máquina	6
Producción por Agricultor al Año (kg)	3200
Sacos Correspondientes a Producción Total	384
Ingreso Anual por Producción	\$ 57.600,00

Fuente: Elaboración Propia

3.3.2 Costos de Mano de Obra

Se necesitarán 3 operadores: uno que alimente al elevador y dos que dosifiquen y sellen los sacos. Los datos presentados en la Tabla 3.33 son del primer año. Los demás valores son proyectados.

Tabla 3.33 Costo Mano de Obra

Costo Mano de Obra Año 1	
Costo Hora/Hombre	\$ 10,00
Número de horas requeridas a la semana	18
Cantidad de Operadores	3
Número de horas requeridas al año	108
Costo total de mano de obra	\$ 1.080,00

Fuente: Elaboración Propia

3.3.3 Costos Directos de Producción

Se consideran gastos tales como insumos, mantenimiento, servicios básicos y repuestos.

Tabla 3.34 Costos Directos por Producción

Costos por Producción Año 1	
Costo de Granos de Cacao (kg)	\$ 1,92
Cantidad Agricultores por Máquina	6
Producción por Agricultor al Año (kg)	3200
Costo de Sacos de Polipropileno	\$ 0,25
Número de Sacos a Utilizar	384
Servicios Básicos	\$ 19,80
Mantenimiento	\$ 4.932,00
Repuestos	\$ 1.817,18
Costo Directo por Producción	\$ 43.728,98

Fuente: Elaboración Propia

Así mismo se proyectarán todos los valores a 5 años.

Tabla 3.35 Costo de Servicios Básicos

Servicios Básicos Año 1	
Consumo Energía Diario (kw-h)	30
Días/Año de Trabajo de la Máquina	2
Kw-h/Año	60
Costo kw-h (USD)	\$ 0,10
Costo Energía Eléctrica (USD)	\$ 6,00
Consumo Agua Mensual (m3)	1
M3/Año	12
Costo kw-h (USD)	\$ 1,15
Costo Energía Eléctrica (USD)	\$ 13,80
Costo Total Servicios Básicos (USD)	\$ 19,80

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.36 Costos de Mantenimiento

Mantenimiento	
Lubricación de Rodamientos y Ejes (Mes)	\$ 8,00
Herramientas Varias (Mes)	\$ 15,00
Pintura (Mes)	\$ 8,00
Encargado Mantenimiento (Mes)	\$ 380,00
Costo Mantenimiento Anual (USD)	\$ 4.932,00

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.37 Costos de Repuestos

Repuestos	
Poleas y Rodamientos	\$ 257,98
Sistema de Cangilones	\$ 152,00
Pernos	\$ 22,20
Varios	\$ 1.385,00
Costo Total Repuestos (USD)	\$ 1.817,18

Fuente: Elaboración Propia

3.3.4 Costos Indirectos de Producción

Aquí se consideran los sueldos del personal administrativo, el costo de limpieza y las reparaciones imprevistas. Estos serán constantes en el tiempo de vida del proyecto.

Tabla 3.38 Costos Indirectos

Costos Indirectos	
Costo Administrativo	\$ 6.000,00
Costo de Limpieza	\$ 4.920,00
Reparaciones Imprevistas	\$ 2.000,00
Costo Indirecto de Producción	\$ 12.920,00

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.39 Costos de Limpieza

Limpieza	
Utensilios de Limpieza (Mes)	\$ 30,00
Encargado Limpieza (Mes)	\$ 380,00
Costo Limpieza Anual (USD)	\$ 4.920,00

Fuente: Elaboración Propia

Una vez detallados los costos e ingresos de la producción, se procede al cálculo del VAN y la TIR.

Tabla 3.40 Valor Actual Neto y Tasa Interna de Retorno

	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5
INGRESOS		57600,00	76800,00	105600,00	124800,00	144000,00
COSTO TOTAL DE LA MANO DE OBRA		-1080,00	-1440,00	-1980,00	-2340,00	-2700,00
COSTOS INDIRECTOS DE PRODUCCIÓN		-12920,00	-12920,00	-12920,00	-12920,00	-12920,00
COSTOS DIRECTOS DE PRODUCCIÓN		-43728,98	-56048,98	-74531,98	-86854,98	-99177,98
COSTO DEPRECIACIÓN		-1500,68	-1500,68	-1500,68	-1500,68	-1500,68
RESULTADO ANTES IMPUESTOS		-1629,66	4890,34	14667,34	21184,34	27701,34
IMPUESTOS (15%)		244,45	-733,55	-2200,10	-3177,65	-4155,20
UTILIDAD DESPUÉS IMPUESTOS		-1385,21	4156,79	12467,24	18006,69	23546,14
COSTO DE MÁQUINAS Y EQUIPOS	-15006,77					
COSTOS PRE OPERATIVOS	-1000,00					
COSTO DE ACTIVOS DEPRECIABLES	-15006,77					
CAPITAL DE TRABAJO	-4000,00	-1000,00	-1000,00	-1000,00	-1000,00	8000,00
RESTITUCIÓN DE DEPRECIACIÓN		1500,68	1500,68	1500,68	1500,68	1500,68
FLUJO NETO DE EFECTIVO	-20006,77	-884,53	4657,47	12967,92	18507,37	33046,82
	\$ 41.139,53					
VALOR ACTUAL NETO	\$ 21.132,75					
TASA INTERNA DE RETORNO	35,18%					

Fuente: Elaboración Propia

El año 0 se tiene el costo por la compra del equipo y los costos pre-operativos que engloban capacitaciones del uso correcto del equipo y otros gastos antes de comenzar a operar.

Se considera que el equipo se deprecia de forma lineal, de esta manera se obtiene el costo por depreciación. Se obtienen los impuestos a la resta de los ingresos y los costos. También se considera el capital de trabajo, el año cero es de \$4000 porque está iniciando la producción, pero los otros años disminuye a \$1000. En el año 5 se restituye el capital de trabajo correspondiente a los años anteriores.

Luego se restituye la depreciación y se obtiene el flujo neto de efectivo para cada año. Al final se transfieren todos estos resultados a valor presente y se determina que el valor actual neto (VAN) es de \$21132.75, una cifra razonable para la inversión realizada en la compra del equipo.

Se obtuvo que la TIR es 35.18%. Este valor es referencial para 6 agricultores iniciales, pero si se asocian más agricultores este valor aumenta. Además existe la posibilidad de prestar el servicio de ensacado para personas externas. Con esto se obtendrían más ingresos por lo que se mejoraría la TIR.

CAPÍTULO 4

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

El diseño de la máquina permite que pueda transportar otro tipo de materiales a granel, siempre que estos no tengan un diámetro mayor a $\frac{1}{2}$ ". De esta manera puede dosificarse otros granos y aumentar la producción de la máquina.

El diseño de la máquina es simple ya que debe ser fácil de operar por cualquier persona. Para disminuir la cantidad de operadores se colocarán sensores de nivel en la tolva, los cuales le indican al motor una altura mínima de material cuando debe encenderse y una altura máxima cuando debe apagarse. De igual manera se puede ubicar un sensor de peso (galgas extensiométricas) en la base de apoyo de los sacos, el cual ayudaría a obtener la precisión requerida en la dosificación.

Para el diseño de algunos componentes, como la tolva y la estructura de apoyo, se prefirió realizar los cálculos utilizando software como ANSYS o SAP2000 y de esta manera obtener valores más exactos, en comparación con el método manual. Además al tener la distribución real de los esfuerzos se puede diseñar cada elemento de manera óptima, evitando el sobredimensionamiento y por ende la disminución de costos.

Para el diseño de la estructura se utilizó el mismo tamaño de vigas cuadradas (50x50x3 mm) para todos los tramos. Esto debido a que comercialmente se venden en longitudes de 6 metros y generaría demasiado desperdicio usar una viga de menor tamaño en los tramos que soportan menos esfuerzos.

La tasa interna de retorno fue de 35%, un valor aceptable para el sector de la agricultura. Este valor puede aumentar dependiendo del crecimiento de la cantidad de agricultores que utilizan esta máquina.

4.2 Conclusiones

Se consiguió el objetivo principal de diseñar una máquina dispensadora y ensacadora de granos de cacao, con la cual los agricultores pueden empacar su propia producción según las exigencias de los posibles compradores y de esta manera evitar que ellos tengan que negociar con intermediarios.

El diseño se realizó según la capacidad requerida por las agrupaciones de pequeños agricultores, tomando en consideración que cada agricultor posee aproximadamente 7 hectáreas con una producción unitaria de 3200 kg al año. La máquina permite dosificar 50 kg (el equivalente a un saco) por minuto con exactitud, siendo más rápido que el método artesanal.

La incorporación de la máquina permite generar empleos, tanto en la construcción, como cuando se encuentre operando, ya que esta requiere de 3 operadores mínimo para que el ensacado se realice de una manera eficaz y fluida. El diseño de la máquina permite que el trabajo se realice con mayor seguridad porque los granos son elevados mecánicamente mediante el elevador, evitando tener que realizar trabajos en altura.

Al utilizar la máquina para empacar los granos se evita la fuga de capital, debido a que los agricultores pueden negociar directamente con las industrias que se dedican al procesamiento y les permite vender su producción al precio real del mercado.

El precio de la máquina es aproximadamente un 30% más económica que el precio de máquina importadas con iguales características, esto hace que sea más accesible para las pequeñas agrupaciones adquirir este equipo.

4.3 Recomendaciones

Se recomienda la construcción de la máquina y realizar las pruebas necesarias para verificar que la operación sea correcta. De ser posible debería dársele un seguimiento para conocer si existe alguna falla y cuál es el elemento que lo presenta. También se debería recoger las opiniones de los agricultores con respecto a la máquina y si se ajusta a la capacidad de trabajo que ellos necesitan.

Utilizando los datos recopilados con las pruebas y experiencias, se debería realizar los ajustes necesarios en el diseño, de esta manera se tiene una mejora continua de la máquina.

Se debería realizar programas de limpieza y mantenimiento para evitar la acumulación de material en el fondo del elevador de cangilones o del tornillo que pueda llevar a descomponerse.

Se recomienda que el grupo de agricultores posea un silo de almacenamiento para una mayor eficiencia en la alimentación de la máquina con la materia prima a dosificar y empacar.

BIBLIOGRAFÍA

- American Institute of Steel Construction. (2010). *Especificación ANSI/AISC 360-10 para Construcciones de Acero*. Asociación Latinoamericana del Acero.
- American Welding Society (AWS). (2010). *Código de Soldadura Estructural - Acero* (D1.1M:2010 ed.). American Welding Society (AWS).
- ANSI/CEMA. (2009a). *ANSI/CEMA Standard #300, Screw Conveyor Dimensional Standards* (4ta ed.). ANSI/CEMA.
- ANSI/CEMA. (2009b). *ANSI/CEMA Standard #350, Screw Conveyors for Bulk Materials, & 300/352* (4ta ed.). ANSI/CEMA.
- ANSI/CEMA. (2009c). *ANSI/CEMA Standard #401, Roller Conveyors, Non-Powered* (4ta ed.). ANSI/CEMA.
- ANSYS Inc. (2014). ANSYS Workbench (Version 15.0) [Windows]. ANSYS Inc.
- Asociación Española de Normalización y Certificación. (2007). *Bases de Proyecto y Acciones en Estructuras. Parte 4: Acciones en Silos y Depósitos*.
- AutoDesk. (2015). AutoCAD (Version 20.0) [Windows]. AutoDesk.
- Carlos Humberto Herrera. (n.d.). Curso de Manejo Programa SAP 2000. Diseño y Análisis por medio de Elemento Finito. Construaaprende. Retrieved from www.construaaprende.com
- Computers & Structures, Inc. (CSI). (2014). SAP 2000 (Version 16) [Windows]. Computers & Structures, Inc.
- Coordinación General del Sistema de Información Nacional. (2013). *Boletín Situacional Cacao* (p. 4). Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. Retrieved from <http://sinagap.agricultura.gob.ec/boletin-cacao/descargables-cacao/file/3963-boletin-situacional-cacao-2013>
- Deutsches Institut für Normung (DIN). (2005). *Actions on Structures - Part 6: Design Loads for Buildings and Loads in Silo Bins* (2005th–03 ed.). Deutsches Institut für Normung (DIN).
- Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (2006). *Cacao en Grano. Requisitos* (1ra ed.).

- Interroll. (2013). Rodillos Transportadores. Interroll. Retrieved from http://www.interroll.com/es/grupo-interroll/descargas/accionamiento-rodillos/drives___rollers_1.php
- MAGAP, C. (2014). *Serie Histórica 2000-2012* (Tabla de Datos Cacao: Superficie, Producción y Rendimiento a Nivel Provincial Años 2000-2012). Retrieved from <http://sinagap.agricultura.gob.ec/cacao-2/file/3520-serie-historica-2000-2012>
- Martin Sprocket. (n.d.). Manejo de Materiales a Granel. Asociación de Fabricantes de Equipos de Transporte CEMA. Retrieved from [http://www.martinsprocket.com/docs/default-source/catalog-screw-conveyor/manejo-de-materiales-a-granel-\(bulk-material-handling\).pdf?sfvrsn=6](http://www.martinsprocket.com/docs/default-source/catalog-screw-conveyor/manejo-de-materiales-a-granel-(bulk-material-handling).pdf?sfvrsn=6)
- M. De Lucia y D. Assennato, F. (1993). La Ingeniería Agraria en el Desarrollo - Manejo y Tratamiento de Granos Postcosecha. Retrieved June 23, 2015, from <http://www.fao.org/docrep/x5041s/x5041S00.htm#Contents>
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI). (2011). *NEC-11 Cargas y Materiales* (Vol. 1). MIDUVI.
- Robert L. Norton. (n.d.). *Diseño de Máquinas. Un Enfoque Integrado* (4ta ed.). Pearson.
- Sistema de Información Nacional de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca. (2013). *Análisis del Sector Cacao y Elaborados* (Tabla de Datos Cacao: Superficie, Producción y Rendimiento a Nivel Provincial Años 2000-2012) (p. 42). PRO ECUADOR.
- SolidWorks Corp. (2014). SolidWorks (Version SP3 2014) [Windows]. SolidWorks Corp.
- VOGES Motors. (n.d.). Motores Eléctricos Monofásicos y Trifásicos NEMA. Uso General. VOGES Motors. Retrieved from http://www.grupoar.com.ec/descargas/motores_electricos.pdf

APÉNDICES

A. APÉNDICE A

a. Cálculos del Elevador de Cangilones

i. Cálculo del Caudal de Trabajo del Elevador

Se debe trabajar con las unidades de la norma respectiva, esto es ft³/h (PCH), mediante la siguiente expresión:

$$PCH = \frac{3 \text{ ton/h} * 2000}{38 \text{ lb/ft}^3} = 157.89 \text{ ft}^3/\text{h}$$

ii. Cálculo de la Distancia entre Centros

Se desea que la tolva esté a una altura no mayor de 2300 mm, es decir, H + Elevación debe ser 2300 mm. Si H=26.5" (673 mm), por lo tanto Elevación=1627 mm. Además, la distancia entre centros se la obtiene de la siguiente expresión:

$$V + R + Elevación + H = V + D.Centros + G + F$$

$$19.5" + 29.75" + 64" + 26.5" = 19.5" + D.Centros + 9" + 13"$$

$$D.Centros = 98.25" \text{ o } 2496 \text{ mm}$$

iii. Cálculo de la Potencia del Motor

Para calcular la potencia operativa del motor del elevador, se utiliza la ecuación de la Tabla 3.2:

$$P_{oper} = 0.12 + 0.01 * D.Centro (ft) = 0.12 + 0.01 * 8.19 = 0.20 \text{ HP}$$

Para la potencia en el dragado de material, se tiene en la Figura 2.2 el diagrama de cuerpo libre con las fuerzas que actúan en el cangilón. Donde, F_{exc} corresponde a la fuerza de excavación del cangilón en el material en reposo, N₁ la fuerza normal, W₁ el peso del material acumulado y μN₁ la fricción correspondiente. Se procede a realizar el cálculo:

$$W_1 = 635 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * V_{acum}$$

Donde el material acumulado corresponde a la sección de la bota bajo la parte inferior de la polea. La altura es de 364 mm, el ancho 889 mm y el espesor 298 mm.

Por lo tanto,

$$W_1 = 635 \frac{kg}{m^3} * 9.8 \frac{m}{s^2} * 0.0966 m^3$$

$$W_2 = 600 N$$

De acuerdo al diagrama, N_1 es igual a:

$$N_1 = W_1 + ma_n$$

$$N_1 = W_1 + \frac{W_1}{g} \left(\frac{V_{lineal}^2}{r_c} \right)$$

$$N_1 = 600 N + \frac{600 N}{g} \left(\frac{1.1938 m/s^2}{0.2572 m} \right) = 630 N$$

Donde $V_{lineal\ elevator} = 1.1938 m/s$ y $r_c = 0.2572 m$ (datos del elevador). Por lo tanto la fuerza de excavación es de:

$$F_{exc} = \mu N_1 = 0.5 * 630 N = 315 N$$

Finalmente la potencia corresponde a la fuerza de excavación multiplicado por la velocidad lineal, esto es de 0.376 kW o 0.5 HP. Por lo tanto es necesario un motor de $\frac{3}{4}$ HP.

iv. Cálculo de los Cangilones Requeridos

Se han determinado los componentes principales con sus respectivas dimensiones del elevador. Sin embargo, hay que recordar que el elevador seleccionado tiene capacidad de 293 ft³/h, es decir 5567 kg/h. Para la máquina se requiere 3000 kg/h.

Para modificar la cantidad de cangilones, se utiliza la velocidad de banda (235 ft/min), la longitud de banda (26 ft) y la capacidad del elevador (5567 kg/h). Si se divide la velocidad para la longitud de la banda, se obtiene la cantidad de vueltas por minuto. Realizando la operación:

$$\frac{\# vueltas}{min} = \frac{PPM}{Longitud Banda} = \frac{235 ft/min}{26 ft} = 9 \frac{vueltas}{min}$$

Es decir que en estas 9 vueltas de la banda, habrán pasado 180 cangilones depositando su carga. Es decir, 93 kg/min. Se requiere 53 kg/h, incluido un 5% adicional para operación. Para llegar a este caudal, se realiza una regla de tres. Se tiene:

$$Cangiloness_{53 \text{ kg/h}} = \frac{53 \text{ kg} * 180 \text{ cangiloness}}{93 \text{ kg}} = 103 \text{ cangiloness}$$

Como la banda da 9 vueltas, tendremos que utilizar 12 cangiloness.

b. Cálculos de la Tolva de Alimentación

i. Cálculo del Volumen de la Tolva

Se diseña para una masa de 200 kg por lo que el volumen mínimo que debe tener es:

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{200 \text{ kg}}{635 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0.315 \text{ m}^3$$

La tolva consta de una parte rectangular de sección constante y una parte donde se disminuye su sección por lo que el volumen es:

$$A_1 = l_1 * l_2 = 0.8 * 0.8 = 0.64 \text{ m}^2$$

$$A_2 = l_1 * l'_2 = 0.8 * 0.6 = 0.48 \text{ m}^2$$

$$V_1 = \frac{h}{3} (A_1 + \sqrt{A_1 * A_2} + A_2) = \frac{0.6}{3} (0.64 + \sqrt{0.31} + 0.48) = 0.335$$

$$V_2 = \frac{h_1 * (l_1 + d)}{2} (l'_2) = \frac{0.2 * (0.8 + 0.178)(0.6)}{2} = 0.059 \text{ m}^3$$

$$V_T = 0.394 \text{ m}^3$$

El volumen de la tolva se diseña de mayor tamaño que el requerido para evitar derrames del material.

ii. Cálculo de Presiones para Tolva

Se define la relación entre la altura total de la tolva y el diámetro característico. Para el caso de secciones cuadradas el diámetro característico equivale al diámetro del círculo inscrito como se muestra en la Figura A.1.

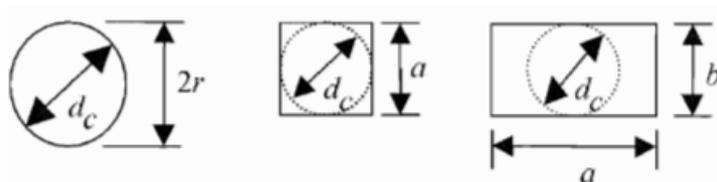


Figura A.1 Diámetro Característico para Diferentes Secciones

Fuente: Norma ENV 1991-4

$$\frac{h}{d_c} = \frac{0.80}{0.80} = 1 \leq 1$$

Como es igual a 1 se clasifica como silo extremadamente corto. Las propiedades usadas para los cálculos se obtienen de la Tabla 2.4 para materiales a granel en general. Los tipos de paredes según su fricción se clasifican en:

Tabla A.1 Clasificación en Categorías de los Materiales según su Fricción

Categoría	Título Descriptivo	Materiales Típicos de la Pared
D1	Baja Fricción Clasificada como "Slippery"	Acero inoxidable rolado en frío Acero inoxidable pulido Cubierta de superficie diseñada para baja fricción Aluminio pulido Polietileno de peso molecular ultra pesado
D2	Fricción Moderada Clasificada como "Smooth"	Acero al carbono de templado suave (construcciones soldadas o empernadas) Acero inoxidable de acabado de fabrica Acero al carbón galvanizado Aluminio oxidado Cubierta para la superficie diseñado para resistencia a la corrosión o abrasividad
D3	Alta Fricción Clasificada como "Raspy"	Concreto, acero terminado con concreto, hormigón envejecido Acero al carbón corroído Acero anti abrasivo Acabado de cerámica
D4	Irregular	Paredes horizontales corrugadas Paredes no standard con altas aberraciones

Fuente: Norma ENV 1991-4

El acero al carbono se encuentra en la categoría D2 y su coeficiente de fricción es:

$$\mu = 0.39$$

El ángulo de inclinación se lo obtiene de la geometría de la tolva:

$$\beta = 33.07^\circ$$

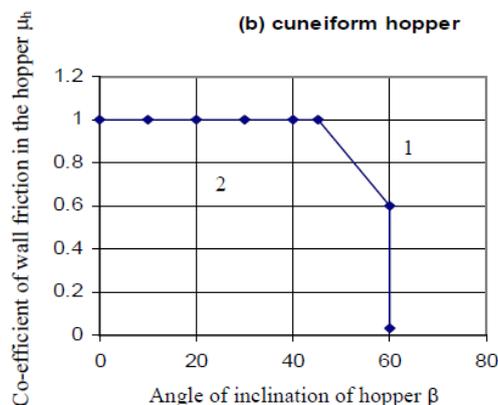


Figura A.2 Tipo de Flujo del Material para Tolvas Cónicas

Fuente: Norma DIN 1055-6

El tipo de flujo de la tolva, que se determina usando la figura anterior, corresponde a un flujo másico. Las propiedades tienen un límite superior e inferior y sus valores se calculan con las siguientes formulas:

Tabla A.2 Valores Característicos Superiores e Inferiores

Valor	Fórmula
Valor característico superior de K	$K = a_K K_m$
Valor característico inferior de K	$K = K_m / a_K$
Valor característico superior de μ	$\mu = a_\mu \mu_m$
Valor característico inferior de μ	$\mu = \mu_m / a_\mu$
Valor característico inferior de ϕ_i	$\phi_i = a_\phi \phi_{im}$
Valor característico superior de ϕ_i	$\phi_i = \phi_m / a_\phi$

Fuente: Norma ENV 1991-4

La siguiente tabla describe cuando se utiliza el límite inferior y el superior:

Tabla A.3 Valor Característico según la Carga Analizada

Tipo de Carga Examinada	Valor Característico a ser Calculado		
	Coefficiente de Fricción de la Pared μ	Radio de Carga Horizontal K	Ángulo de Fricción Interno ϕ_i
Máxima carga horizontal perpendicular a la pared vertical	Inferior	Superior	Inferior
Máxima carga de fricción en la pared vertical	Superior	Superior	Inferior
Máxima carga vertical en la tolva	Inferior	Inferior	Superior
Máxima carga de llenado en la tolva	Inferior	Superior	Superior

Fuente: Norma ENV 1991-4

La presión horizontal es:

$$P_{hf} = P_{h0} Y_r$$

Donde:

$$P_{h0} = \frac{\gamma A}{\mu U}$$

$$\mu = 1.4 * 0.39 = 0.546$$

$$A = 0.8 * 0.8 = 0.64 \text{ m}^2$$

$$U = 3.2 \text{ m}$$

$$P_{h0} = \frac{6.3(0.64)}{0.546 * 3.2} = 2.31 \frac{KN}{m^2}$$

El perfil de las presiones se calcula a partir de la fórmula:

$$Y_r = \left(1 - \left\{ \frac{z - h_0}{z_0 - h_0} + 1 \right\}^n \right)$$

$$z_0 = \frac{A}{K\mu U} = \frac{0.64}{0.75 * 0.546 * 3.2} = 0.488$$

$$K = a_K K_m = 0.5 * 1.5 = 0.75$$

$$h_0 = \frac{d_c}{4} \tan \varphi_r = \frac{0.80}{4} \tan 40 = 0.168m$$

$$n = -(1 + \tan \varphi_r) \left(1 - \frac{h_0}{z_0} \right) = -(1 + \tan 40) \left(1 - \frac{0.168}{0.488} \right) = -1.21$$

La mayor presión en la pared es igual a:

$$Y_r = \left(1 - \left\{ \frac{0.6 - 0.168}{0.488 - 0.168} + 1 \right\}^{-1.21} \right) = 0.644$$

$$P_{hf} = (2.31)(0.644) = 1.49 \frac{KN}{m^2}$$

La presión friccional de tracción:

$$P_{wf} = \mu P_{hf} = 0.546 * 1.49 = 0.81 \frac{KN}{m^2}$$

La presión vertical:

$$P_{vf} = \gamma z_v$$

$$z_v = h_0 - \frac{1}{(n + 1)} \left(z_0 - h_0 - \frac{(z + z_0 - 2h_0)^{n+1}}{(z_0 - h_0)^n} \right)$$

$$z_v = 0.168 - \frac{1}{(-1.21 + 1)} \left(0.448 - 0.168 - \frac{(0.6 + 0.448 - 2 * 0.168)^{-1.21+1}}{(0.448 - 0.168)^{-1.21}} \right)$$

$$z_v = 0.405$$

$$P_{vf} = 6.3(0.405) = 2.55 \frac{KN}{m^2}$$

Como es un silo extremadamente corto puede despreciarse la presión de carga. La salida es simétrica por lo que la presión de descarga también puede ignorarse.

Las presiones en la tolva se pueden observar en la Figura 2.7 y se calcula mediante las siguientes formulas:

$$p_n = p_{n3} + p_{n2} + (p_{n1} - p_{n2}) \frac{x}{I_h}$$

Donde:

$$p_{n1} = p_{vft}(C_b(\sin\beta)^2 + (\cos\beta)^2)$$

$$p_{n2} = p_{vft}C_b(\sin\beta)^2$$

$$p_{n3} = 3 \frac{A}{U} \frac{\gamma K}{\sqrt{\mu_h}} (\cos\beta)^2$$

Como puede generarse carga dinámica

$$C_b = 1.6$$

$$p_{n1} = 2.55(1.6(\sin 33.07)^2 + (\cos 33.07)^2) = 3.01 \frac{KN}{m^2}$$

$$p_{n2} = 2.55(1.6)(\sin 33.07)^2 = 1.22 \frac{KN}{m^2}$$

$$\mu_h = \frac{\mu_m}{a_\mu} = \frac{0.39}{1.4} = 0.28$$

$$p_{n3} = 3 * \frac{0.64 (6.3)(0.75)}{3.2 \sqrt{0.28}} (\cos 33.07)^2 = 3.76 \frac{KN}{m^2}$$

La presión generada para cada punto es:

$$p_n(x) = 4.98 + (1.79) \frac{x}{0.37}$$

La fricción que se genera en la pared es:

$$p_t = p_n \mu_h$$

$$p_t = 1.394 + 0.501 \frac{x}{0.37}$$

El flujo en la tolva es de tipo másico por lo que se genera una presión en la transición, distribuida en una distancia de:

$$0.2 d_c = 0.2 * 0.8 = 0.16 \text{ m}$$

$$p_s = 2Kp_{vft}$$

$$p_s = 2(0.75)(2.55) = 3.83 \frac{KN}{m^2}$$

iii. Cálculo del Espesor de la Tolva

Para determinar el espesor que debe tener la plancha de la tolva se utiliza el software ANSYS. El material que se utiliza para la construcción de la tolva es acero A36 el cual tiene un esfuerzo de fluencia de 250 MPa.

Como la tolva es simétrica con respecto al plano YZ se analiza solo la mitad usando simetría para ahorrar memoria de cálculo al programa. Se ubican las presiones obtenidas mediante las formulas previamente calculadas en las paredes del sólido y se colocan las restricciones que tiene el cuerpo, con lo que se obtienen los esfuerzos que se generan en cada punto del sólido:

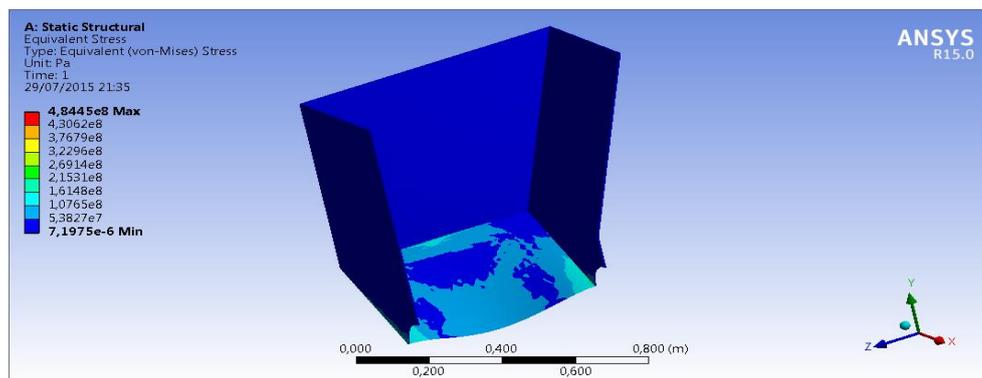


Figura A.3 Distribución de los Esfuerzos en la Tolva

Fuente: ANSYS. Elaboración Propia

Se puede observar que en las paredes verticales la mayoría de los esfuerzos están en el rango de 7.2 MPa muy por debajo del esfuerzo de fluencia del material. En las zonas centrales de las paredes inclinadas de la tolva los esfuerzos se encuentran en rangos desde los 53.8 MPa a 107 MPa.

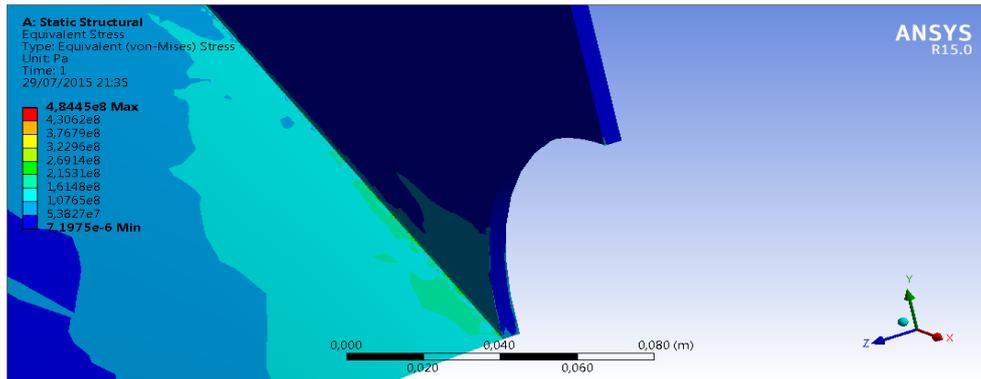


Figura A.4 Distribución de los Esfuerzos en las Esquinas de la Tolva
Fuente: ANSYS. Elaboración Propia

En las esquina los esfuerzos se disparan a rangos desde los 161 MPa hasta los 215 MPa principalmente por lo concentradores de esfuerzos que en estas zonas se generan. Además se producen puntos donde los esfuerzos llegan a 485 MPa.

Aunque en estos puntos se supera el esfuerzo de fluencia del material, por ser el acero A36 dúctil y tratarse de carga estática no se deben considerar los concentradores de esfuerzos ya que solo producen una fluencia local y solo se deforma el material en este punto sin afectar el sólido.

La tolva se suelda en las esquinas, el electrodo que se utiliza es E70XX, que tiene una resistencia a la tensión de 482 MPa y una resistencia a la fluencia de 393 MPa. Mediante el análisis en ANSYS se puede apreciar que en las esquinas con un espesor de 5 mm los esfuerzos están en su mayoría en el rango de los 215 MPa a 269 MPa, como es menor que el esfuerzo de fluencia del electrodo se puede utilizar este ancho de cordón de soldadura.

iv. Cálculo de Pernos para Tolva

La conexión de la tolva con la estructura se realiza mediante pernos, se colocan 4 en cada lado por lo que son 16 pernos en total. La tolva está construida para tener siempre 200 kg pero soporta hasta 300 kg en su interior. La tolva tiene un peso de 86 kg pero se redondea todo a 400 kg lo que equivale a una fuerza de 4000 N en total.

Los pernos están sometidos solamente a tensión, y la fuerza que actúa sobre cada uno corresponde a:

$$P_{perno} = \frac{P_{total}}{16} = 250N$$

El factor de carga es 3:

$$n_c = \frac{S_p A_t - F_i}{CP} = \frac{F_p - F_i}{CP}$$

Los pernos son grado 4.6 que tienen $S_p=225$ MPa.

Los pernos son reusables por lo que la precarga es $F_i=0.75 F_p$.

$$n_c = \frac{0.25F_p}{CP}$$

La constante de rigidez de la junta es:

$$C = \frac{K_b}{K_b + K_m}$$

Para comenzar a iterar, las constantes del material y el perno se pueden aproximar como:

$$K_m \cong 6 - 8 K_b$$

Se escoge $K_m = 6 K_b$

$$C = 0.14$$

$$F_p = \frac{n_c CP}{0.25} = 420$$

El área transversal del cortante se calcula mediante la fórmula:

$$A_t = \frac{F_p}{S_p} = 1.87 \text{ mm}^2$$

Se usan **pernos M4** que tienen un área de esfuerzo de 8.78 mm².

La confirmación de C se realiza calculando las constantes de rigidez del perno y el material:

$$K_b = \frac{A_t A_b}{A_b L_t + A_t L_d} E_b$$

Donde L_t es la longitud de la tuerca y equivale a $0.7d=3$ mm, L_d es la longitud sin roscar que es 50 mm, el módulo de elasticidad del perno es 207×10^9 Pa y el área $A_b=12.57$ mm².

$$K_b = 4.79 \times 10^7 \frac{N}{m}$$

Para el material se debe recordar que son perfiles cuadrado, es decir hay dos placas de 3 mm y en el intermedio aire por lo que se consideran solo las placas.

$$K_n = \frac{0.577\pi E d}{\ln \left[\frac{(1.15t_n + D_n - d)(D_n + d)}{(1.15t_n + D_n + d)(D_n - d)} \right]}$$

$$D_1 = 1.5 d = 0.006 \text{ m}$$

$$t_1 = 0.005m, t_2 = 0.003m, t_4 = 0.003m$$

$$D_2 = 0.009 m$$

$$K_1 = 1.67 \times 10^9 \frac{N}{m}$$

$$K_2 = 1.59 \times 10^9 \frac{N}{m}$$

$$K_4 = 2.13 \times 10^9 \frac{N}{m}$$

$$\frac{1}{K_m} = \frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2} + \frac{1}{K_4} \rightarrow K_m = 5.89 \times 10^8 \frac{N}{m}$$

$$C = 0.08$$

Y el factor de seguridad real que se tiene es de:

$$n_c = \frac{0.25 S_p A_t}{CP} = 25$$

c. Cálculos del Tornillo Alimentador

i. Cálculo de la Capacidad del Tornillo

Se requiere llenar una bolsa de 50 kg con granos de cacao en un minuto, esto significa que por hora se necesita dosificar una masa de:

$$\text{Masa transportada } \times \text{ hora} = 50 * 60 = 3000 \frac{kg}{h} * \frac{2.2 lb}{1kg} = 6600 \frac{lb}{h}$$

Usando el peso específico del material se calcula el volumen de material que se desea transportar por hora:

$$PCH = \frac{6600 \frac{lb}{h}}{38 \frac{lb}{ft^3}} = 173.68 \frac{ft^3}{h}$$

ii. Cálculo de la Velocidad del Tornillo

De la Tabla 2.5 se obtiene el valor de los PCH a 1 RPM para alimentadores helicoidales de extensión estándar. Un tornillo de 6" de diámetro debe girar a:

$$N = \frac{173.68 \frac{ft^3}{h}}{\frac{4.8 \frac{ft^3}{h}}{1 RPM}} = 36.18 RPM$$

La velocidad obtenida es aceptable ya que según el manual la velocidad máxima para este tamaño de tornillo es de 70 RPM.

iii. Cálculo de la Potencia del Tornillo

La potencia total requerida por el motor del tornillo es la suma de las potencias necesarias para vencer la fricción producto del peso del material sobre el tornillo y la potencia de transporte del material.

$$HP_{total} = \frac{(HP_f + HP_m)F_0}{e} + Pot_{fric}$$

Para el cálculo de la potencia de transporte del material, se debe encontrar la potencia para vencer la fricción interna del material HP_f y la potencia necesaria para desplazar el material dentro del transportador HP_m . En las siguientes tablas se encuentran los factores necesarios para los cálculos.

Tabla A.4 Factor de Diámetro

Diámetro del Helicoidal	F _d
6	18

*Dimensiones en pulgadas

Fuente: Norma CEMA. Elaboración Propia

Tabla A.5 Factor de Helicoidal

Tipo de Helicoidal	F _f Factor por porcentaje de carga 95%
Estándar	1

Fuente: Norma CEMA. Elaboración Propia

Tabla A.6 Factor de Paletas

Paletas Estándar por Paso, Paletas ajustadas a 45° Paso invertido	
Número de paletas por paso	0
F _p	1

Fuente: Norma CEMA. Elaboración Propia

$$HP_f = \frac{LN F_b F_d}{1000000}$$

Donde, L=3 ft, F_b=1, N=36rpm, F_d=18:

$$HP_f = \frac{3.3 * 36 * 1 * 18}{1000000} = 2.14 * 10^{-3} HP$$

$$HP_m = \frac{CLW F_f F_m F_p}{1000000}$$

Donde, $C=173.68$ PCH, $L=3$ ft, $W=38$ lb/ft³, $F_f=1$, $F_m=0.5$, $F_p=1$.

$$HP_m = \frac{173.68 * 3.3 * 38 * 1 * 0.5 * 1}{1000000} = 0.011HP$$

Se procede a sumar ambos valores y luego se corrige el mismo usando el factor de sobrecarga y la eficiencia de la transmisión:

$$HP = \frac{(HP_f + HP_m)F_0}{e}$$

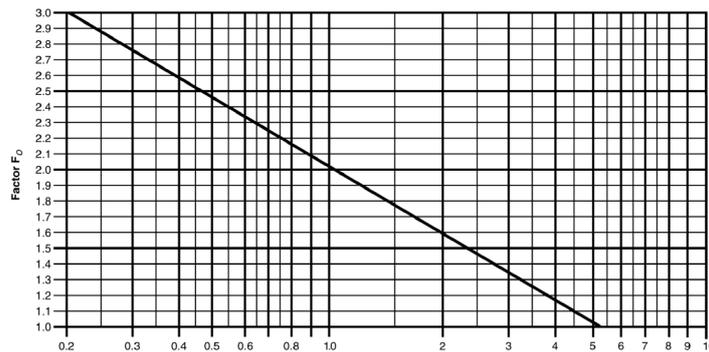


Figura A.5 Factor de Sobrecarga

Fuente: Norma CEMA

El factor de sobrecarga se obtiene de la Figura A.5. La suma entre $HP_f + HP_m = 0.013$ es menor que 0.2 por lo que se escoge un $F_0=3$. El reductor escogido es el de corona y tornillo sinfín.

$$HP = \frac{(2.14 * 10^{-3} + 0.011) * 3}{0.67} = 0.06 HP$$

Para el cálculo de la potencia requerida para vencer la fricción que se genera por el peso del material sobre el tornillo, primero se realiza el diagrama de cuerpo libre:

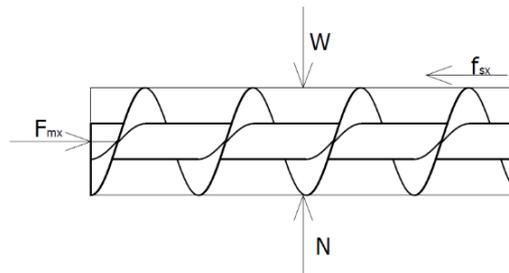


Figura A.6 Diagrama de Fuerzas en el Tornillo

Fuente: Elaboración Propia

Se realizan las sumatorias de fuerzas en la componente vertical y horizontal. Se toma como peso máximo 300 kg, aunque se trabaja solo con 200 kg.

$$N = W = 300 * 9.8 = 2940 N$$

Se analiza el caso crítico cuando el motor se encuentra arrancando y se debe vencer la fricción estática. El ángulo interno de presión se obtiene de la Tabla 2.4.

$$\mu_s = \tan\theta_{in} = 0.7$$

$$F_m = f_s = \mu N = 2058N$$

El material se mueve siguiendo la dirección de la helicoidal, la velocidad lineal se calcula usando el perímetro exterior de la helicoidal:

$$V = Nl = 36 \frac{rev}{min} * \frac{1 min}{60 s} * \frac{0.502 m}{1 rev} = 0.3 \frac{m}{s}$$

De esta manera se encuentra la potencia para vencer la fricción generada por el peso del material:

$$Pot_{fric} = F_m V = 617.4W = 0.83 HP$$

La potencia total requerida del motor por lo tanto es de:

$$HP_{total} = 0.06 + 0.83 = 0.89 HP$$

Por esta razón se usa un motor de 1 HP.

iv. Cálculo del Torque Admisible

El diseño del tornillo tiene como limitación el torque que pueden soportar los ejes, tubos y pernos de acoplamiento. Para esto primero se calcula el torque producido, se usa la potencia del motor escogido:

$$T = \frac{63025 * HP}{RPM}$$

$$T = \frac{63025 * 1}{36} = 1750 lb - in$$

Tabla A.7 Capacidad Torsional de los Elementos del Transportador

Acoplamiento	Tubo (Cédula 40)		Ejes	Pernos					
	Diámetro del Eje	Tamaño		Torque	CEMA Estándar C-1045	Diámetro del Perno	Pernos al corte		Pernos en Rodamientos
No. de pernos			No. de pernos						
						2	3	2	3
1 1/2	2	7500	3727	1/2		3660	5490	5000	7500

*Dimensiones en pulgadas

**Torques en lb-in

Fuente: Norma CEMA. Elaboración Propia

El eje es de 1 ½". Usando la Tabla A.7, el torque admisible es 7500 lb-in, como es mayor que 1750 lb-in, es aceptable. También puede observarse el diámetro del tubo y de los pernos, además, de que son suficientes 2 pernos grado 2.

La potencia a ser transmitida está limitada por los elementos y se puede observar en la tabla que el torque obtenido es menor al permisible de todos los elementos.

d. Funcionamiento del Sistema Eléctrico y de la Celda de Carga

La función del rectificador es proveer de corriente directa a los sistemas de control de nivel y del peso de los sacos durante su llenado. Los sistemas cuentan con disyuntores de 16 A, los cuales protegen los equipos durante los picos de corriente que pueden darse. También se dejan espacios de reserva ya que la caja estándar es de 8 puntos.

Cuando se encuentra en modo OFF, el circuito no se encuentra energizado y no llega energía al motor. Todas las luces permanecen apagadas. Cuando se encuentra en modo manual, el sistema funciona mediante un botón. Cuando se presiona el botón pasa corriente por medio de un contactor M, el cual abre los contacto de M cerrados y se cierra los contactos que en el circuito se encuentran abiertos, esta acción hace que se apague la luz rojo y se prenda la luz verde. Además permite que llegue la corriente al motor, encendiéndolo. Para apagar el motor se tiene otro botón que permite desconectar el circuito. El circuito consta con 2 fusibles de 5A que protegen al sistema de control de una posible sobrecarga.

En el modo automático para el caso del motor del elevador, el sistema depende de una señal externa (en este caso los sensores de nivel S1 y S2), los sensores se activan cuando el nivel sobrepasa las referencias dada en la figura 2.18, en este caso los contactos cambian las posiciones referenciales del gráfico.

Cuando el nivel se encuentra por debajo de la referencia S1 y S2, la corriente llega directamente al contactor M y lo activa. Luego al subir al nivel S1 se desactiva el contacto S1 de la línea, pero la corriente sigue llegando al motor por la línea activada por el contacto M por lo que sigue encendido. Al subir sobre el nivel S1 y S2 se activa el contactor N que bloquea la corriente que llega al motor y lo apaga.

El funcionamiento del sistema de la celda de carga utiliza principalmente un puente de Wheatstone el cual convierte el peso de los sacos en señales eléctricas. Esta señal posteriormente se amplifica por medio de un amplificador diferencial. La señal pasa por un filtro para eliminar el ruido que pueda generarse.

La parte más importante del circuito es el comparador, este usa como referencia un potenciómetro con el que fija el peso que se desea dosificar en los sacos. Cuando el voltaje en la línea del potenciómetro (+) es mayor que el voltaje de la línea que llega del puente de Wheatstone (-) se genera un voltaje en la salida del OPAMP que llega a la base del transistor y permite que llegue corriente al contactor R el cual mantiene cerrado el contacto en el circuito del panel de control del motor y de esta manera llega corriente a este y permanece encendido.

Es decir que mientras el voltaje generado por el puente de Wheatstone, el cual depende del peso del saco sobre la plataforma no sea mayor que el peso de referencia fijado en el potenciómetro el motor seguirá encendido. Una vez el peso del saco supera la referencia establecida, el voltaje en la línea (-) es mayor que en la línea de (+) haciendo que en la salida del OPAMP no se genere un voltaje, por lo que no llega corriente al contactor y se abre el circuito, de esta manera se apaga el motor.

e. Cálculos de la Estructura de la Máquina

Las columnas tienen una longitud de 2.30 m y las vigas 0.80 m. Para la carga muerta de los elementos del 3er nivel se aplica una fuerza de 1590 N/m a cada uno. Para los elementos del 2do nivel, la fuerza será de 1160 N/m para la viga intermedia, y de 350 N/m para las demás vigas.

Tabla A.8 Elementos y Peso Correspondiente (Carga Muerta)

Elemento	Masa (kg)	Fuerza (N)
Tolva	106/4	260
Motores	15	150
Elevador	100	1000
Panel	10	100
Reductor	60	600
Tornillo	50	500

Fuente: Elaboración Propia

La masa de los granos para llenar la capacidad de la tolva es de 200 kg, la cual es soportada por los elementos del 2do y 3er piso. En total 8 elementos soportan esta carga viva, 25 kg/elemento. Sin embargo se considera 50 kg/elemento. Esto representa 500 N/m. En la Figura A.7 se encuentra un diagrama con las cargas muertas y vivas aplicadas a los elementos. Sin embargo para el diseño se sobredimensionan estas cargas.

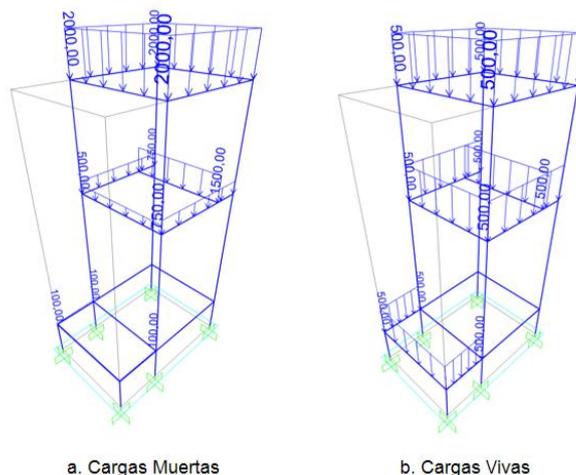


Figura A.7 Carga Muerta y Viva en la Estructura

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla A.9 se puede observar que la ecuación #2 arroja la mayor carga. Por lo tanto esta es la que se utiliza para el diseño estructural.

Tabla A.9 Ecuaciones Combinadas y sus Resultados

N°	Ecuación Combinada	Resultado (N)
1	1,4 D	2800
2	1,2 D + 1,6 L + 0,5 máx(Lr;S;R)	3200
3	1,2 D + 1,6 máx(Lr;S;R) + máx(L;0,5W)	2900
4	1,2 D + 1,0 W + L + 0,5 máx(Lr;S;R)	3091
5	1,2 D + 1,0 E + L + 0,2 S	2900
6	0,9 D + 1,0 W	1991
7	0,9 D + 1,0 E	1800

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura A.8 se pueden observar los resultados del programa SAP 2000. Ningún elemento está cargado a más del 12.9%, por lo que el análisis de fuerzas distribuidas en los lugares donde se colocan los motores y demás apoyos de piezas no afecta al cálculo.

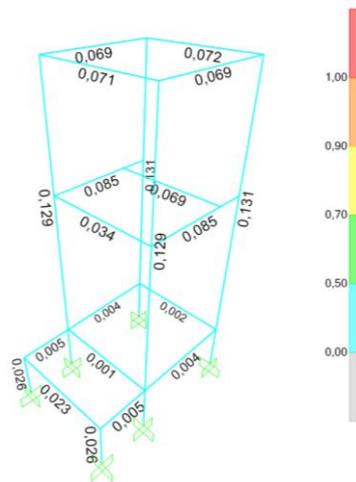


Figura A.8 Estructura con Perfiles Optimizados y Capacidades de Carga

Fuente: Elaboración Propia

Para el cálculo de la soldadura se necesitan la fuerza cortante máxima y el momento máximo. Estos se los obtiene del programa SAP2000. Estos valores son $V_{m\acute{a}x}=260$ lb y $M_{m\acute{a}x}=1120$ lb-in. Se utiliza la Figura 2.11.

Se obtienen $A_w=7.88$ " y $S_w=5.17$ ". Se procede a calcular las cargas f_s y f_b con las siguientes fórmulas:

$$f_s = \frac{V}{A_w} = \frac{260 \text{ lb}}{7.88 \text{ in}} = 33 \frac{\text{lb}}{\text{in}}$$

$$f_b = \frac{M}{S_w} = \frac{1120 \text{ lb in}}{5.17 \text{ in}^2} = 217 \frac{\text{lb}}{\text{in}}$$

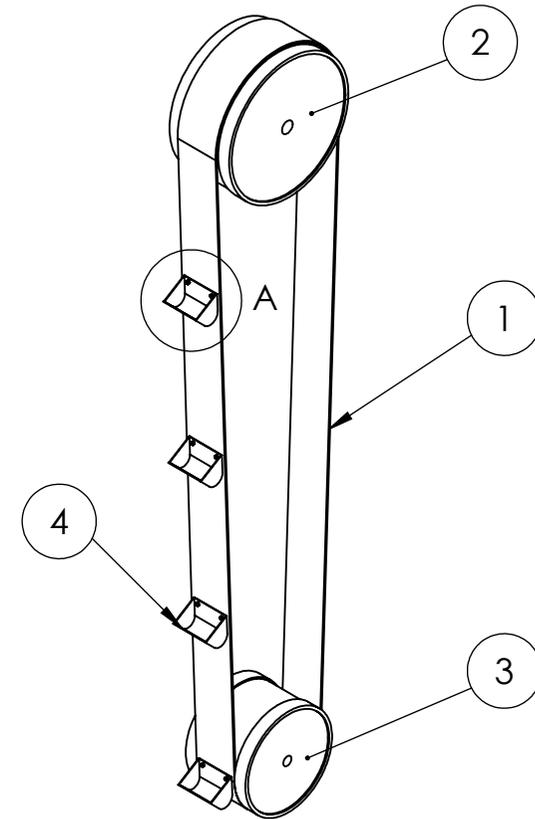
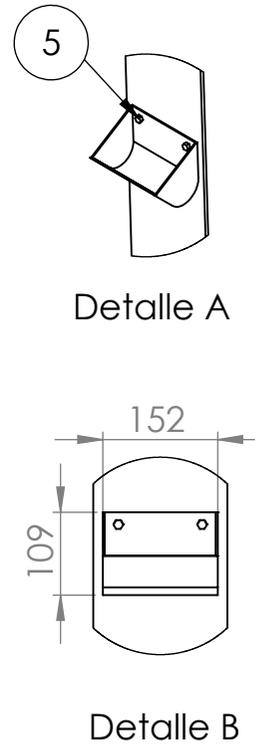
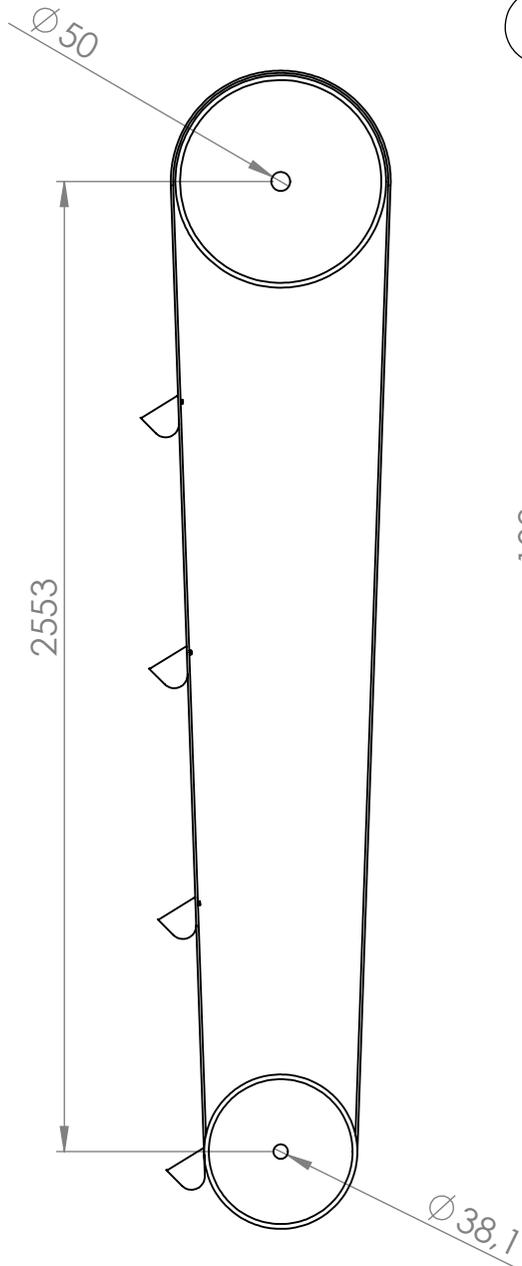
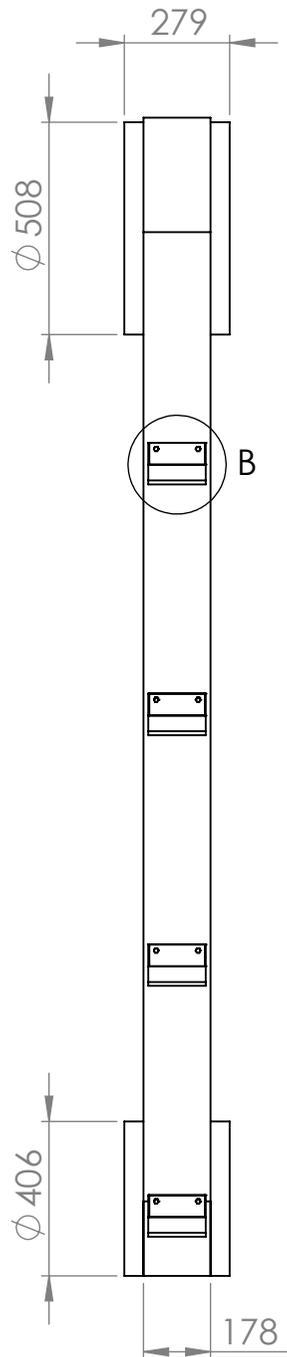
Donde F_r resultante es de 220 lb/in. Se emplea electrodo E60XX para la estructura, donde $\tau_{perm}=0.30 S_{ut}$, para el electrodo E60XX $S_{ut}=60000$ psi. Por lo tanto, $\tau_{perm}=18000$ psi. La pierna de la soldadura corresponde a:

$$t = \frac{F_r}{\tau_{perm}} = \frac{220 \text{ lb/in}}{18000 \text{ psi}} = 0.0122 \text{ in}$$

Y la garganta es:

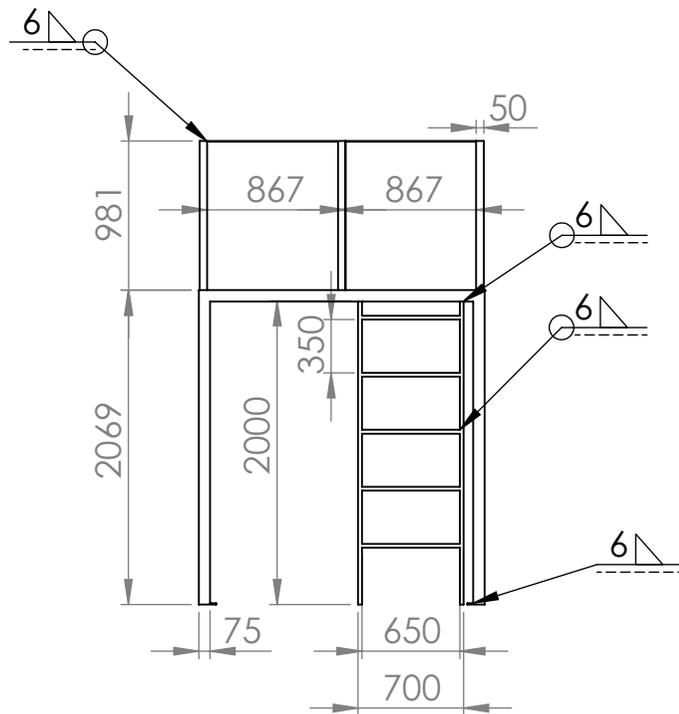
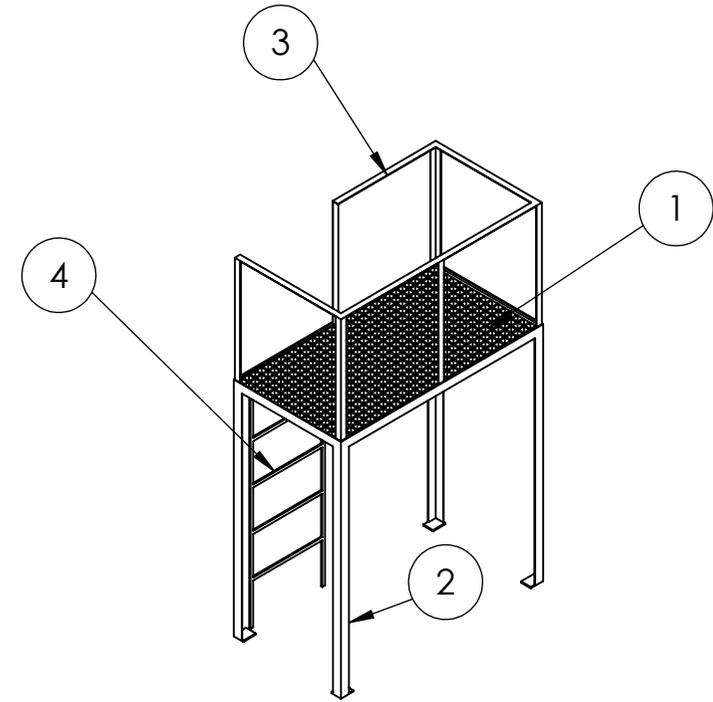
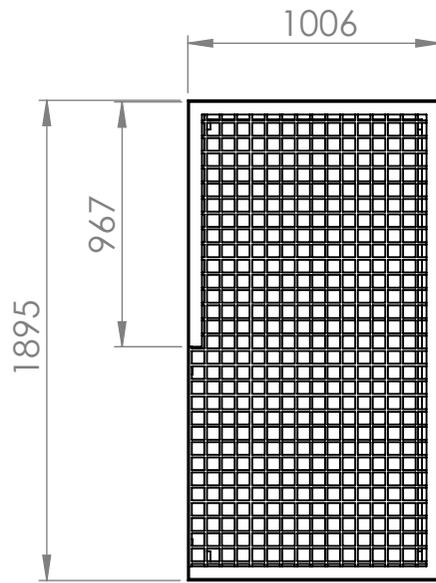
$$w = \frac{t}{0.707} = \frac{0.0122 \text{ in}}{0.707} = 0.0172 \text{ in o } 0.44 \text{ mm}$$

PLANOS ESQUEMÁTICOS



ELEMENTO	PIEZA	PERFIL	LONGITUD	CANTIDAD
1	Banda	e=6	8000	1
2	Polea Tambor de Cabeza	ϕ 508	-	1
3	Polea Jaula de Ardilla Bota	ϕ 406	-	1
4	Cangilón	-	-	12
5	Perno M6	-	32	24
6	Tuerca M6	-	-	24

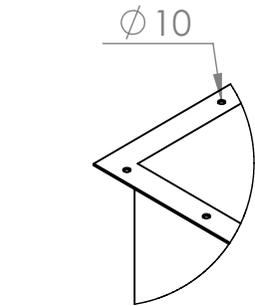
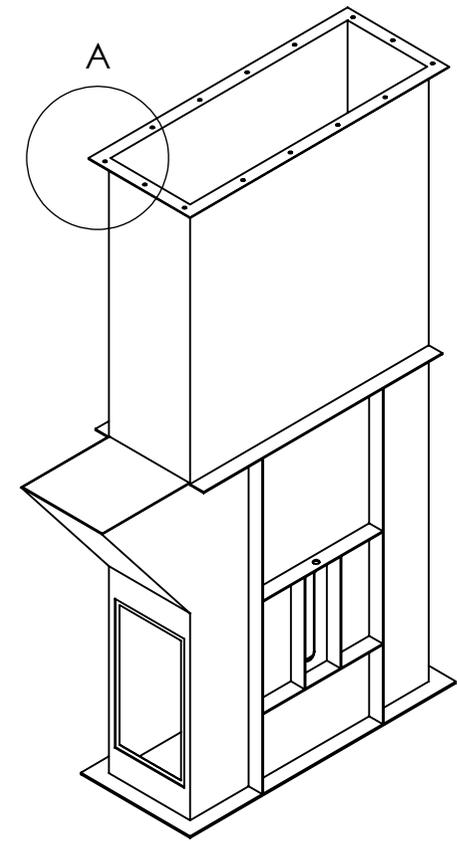
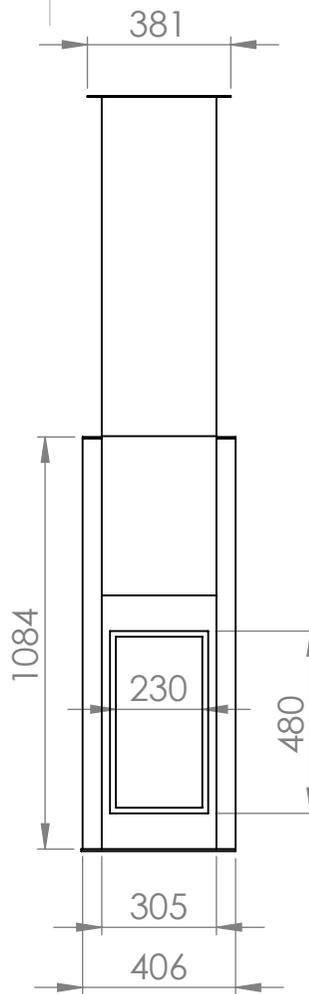
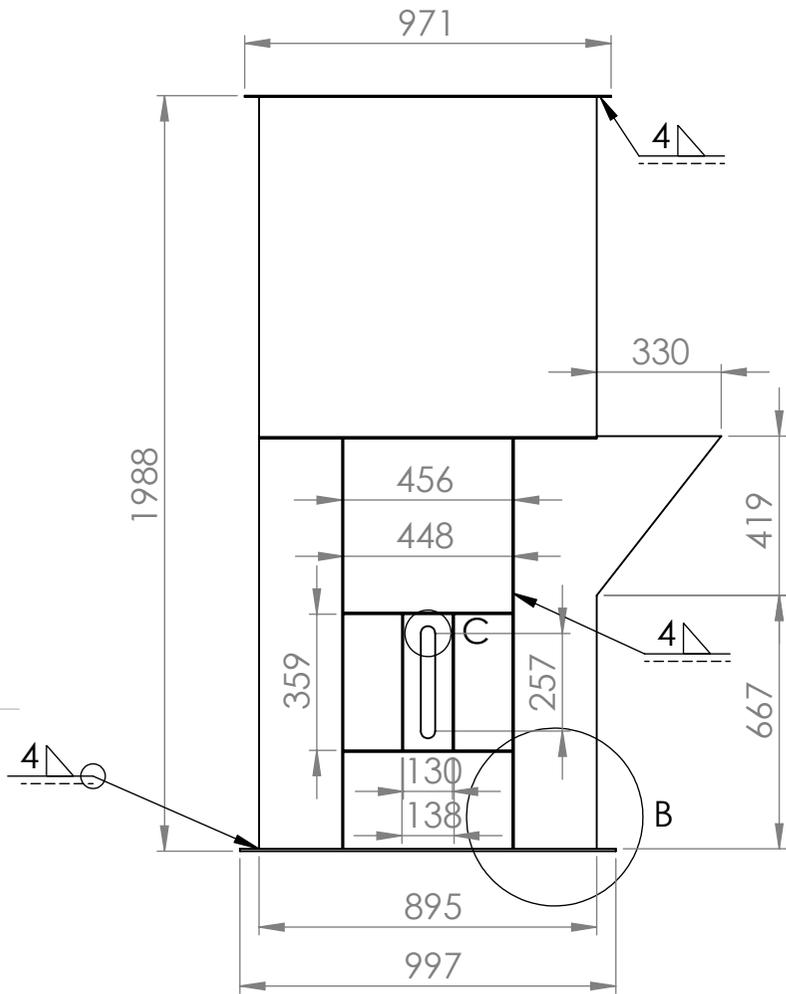
DISEÑADO: Avilés, Chiriboga	APROBADO:	TÍTULO: ELEVADOR DE CANGILONES
FECHA: 31/08/2015	FECHA:	
N° DE ELEMENTOS: 1		
MATERIAL: Acero A36	N.º DE DIBUJO: Banda con Cangilones	A4
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL	ESCALA: 1:20	HOJA 1 DE 5



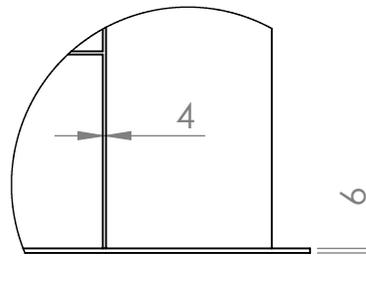
ELEMENTO	PIEZA	PERFIL	LONGITUD	CANTIDAD
1	Plancha Expandida	e=5 mm	-	1
2	Estructura	-	-	1
3	Pasamanos	L 50x50x3	-	1
4	Escalera de Acceso	Ø 16	-	1
5	Placa Base	P 115x115x10	-	1

DISEÑADO: Avilés, Chiriboga	APROBADO:	TÍTULO: ELEVADOR DE CANGILONES	
FECHA: 31/08/2015	FECHA:		
N° DE ELEMENTOS: 1		N.º DE DIBUJO Plataforma de Acceso	
MATERIAL: Acero A36			
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL		ESCALA: 1:50	HOJA 2 DE 5

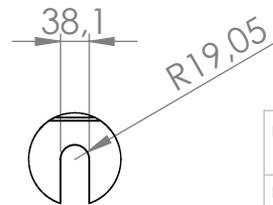
A4



Detalle A

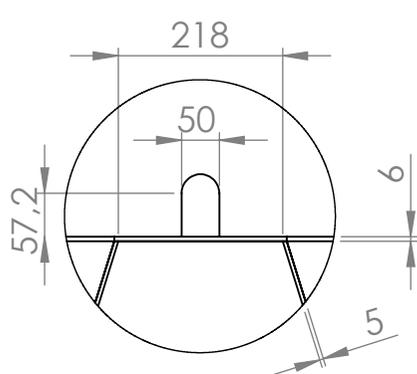
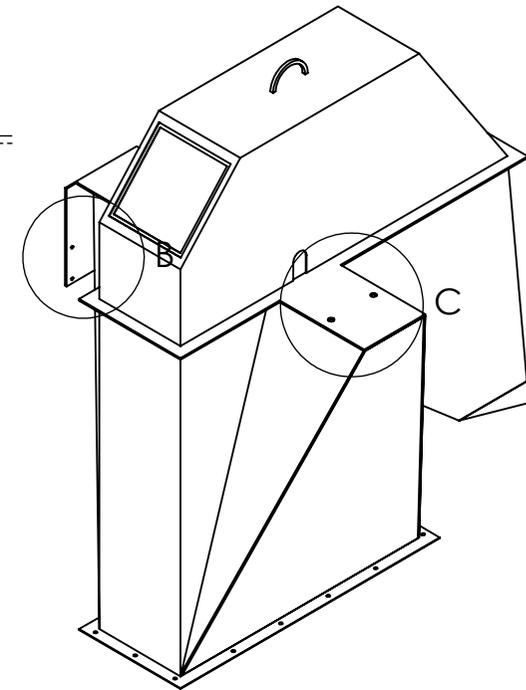
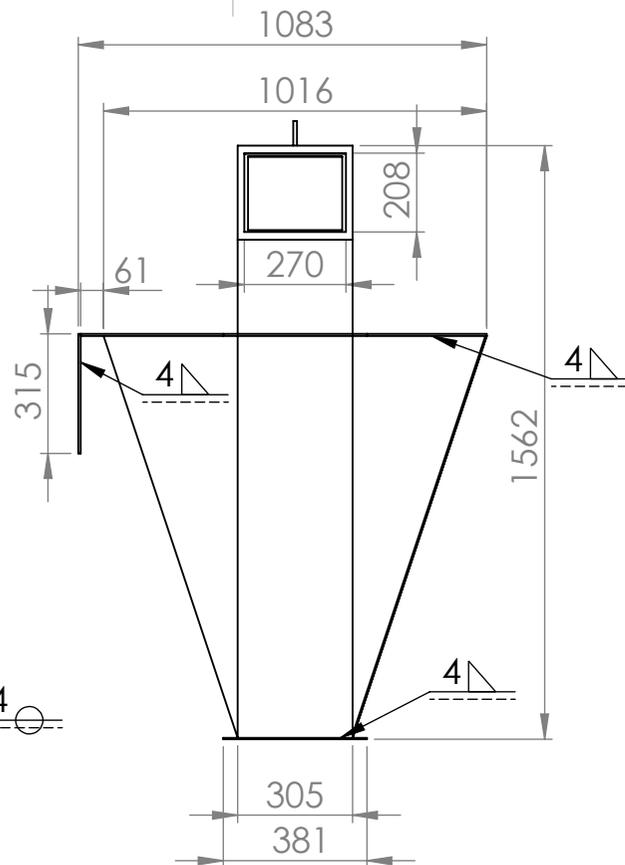
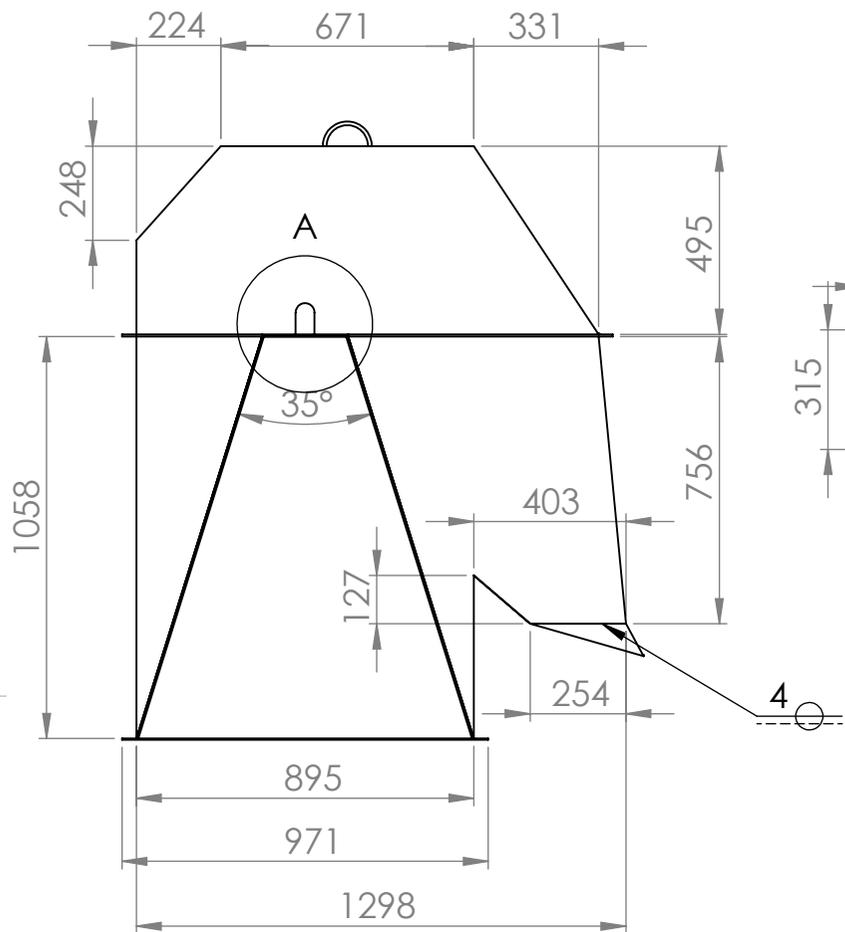


Detalle B

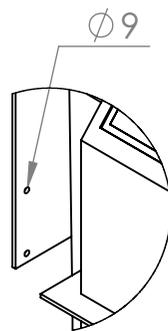


Detalle C

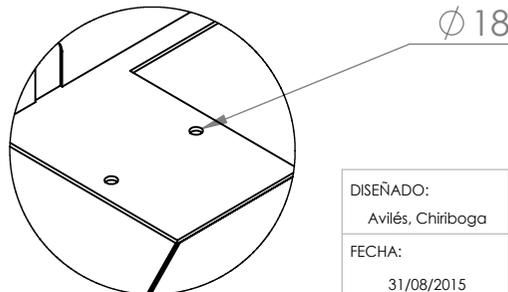
DISEÑADO: Avilés, Chiriboga	APROBADO:	TÍTULO: ELEVADOR DE CANGILONES	
FECHA: 31/08/2015	FECHA:	N.º DE DIBUJO Bota del Elevador	
MATERIAL: Acero A36		N.º DE ELEMENTOS: 1	
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL		ESCALA: 1:20	HOJA 3 DE 5
			A4



Detalle A

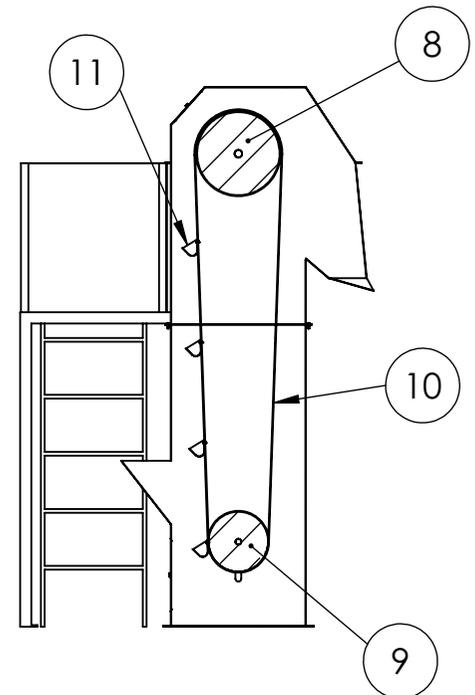
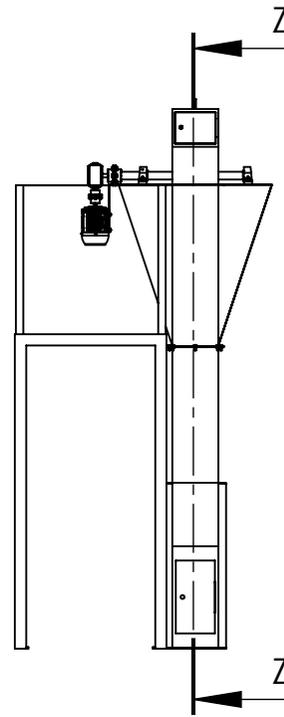
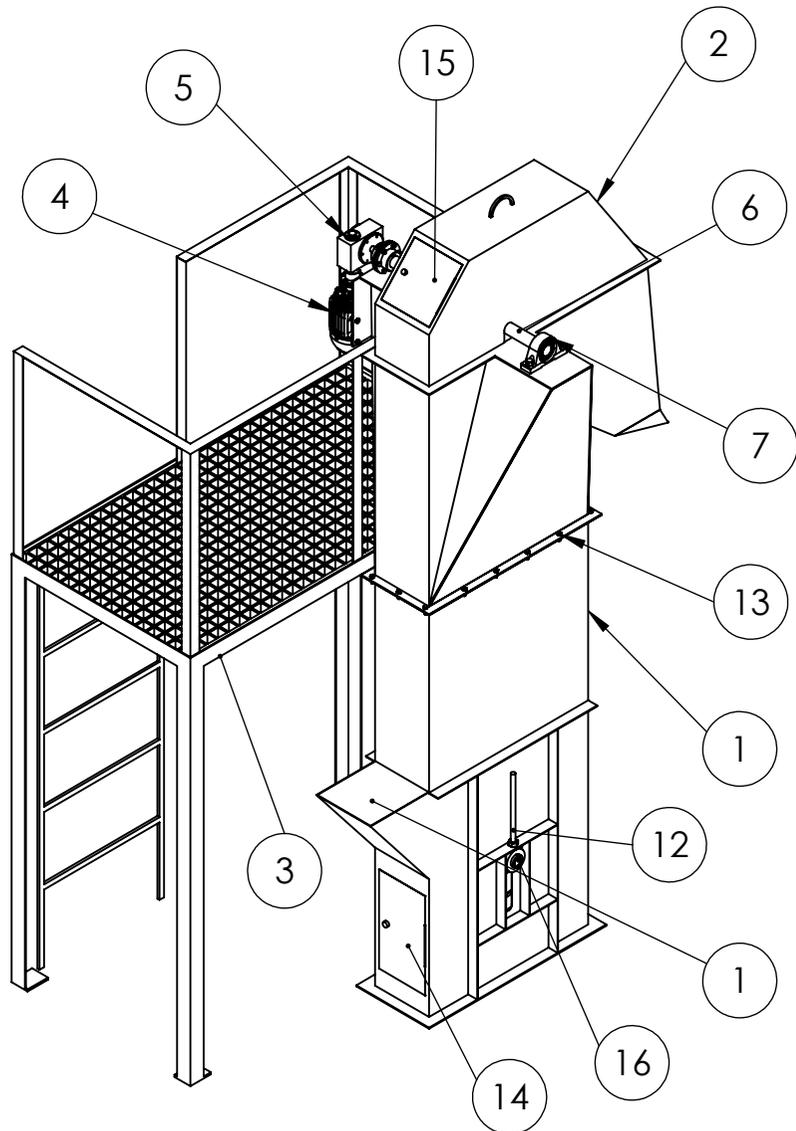


Detalle B



Detalle C

DISEÑADO: Avilés, Chiriboga	APROBADO:	TÍTULO:	
FECHA: 31/08/2015	FECHA:	ELEVADOR DE CANGILONES	
N° DE ELEMENTOS: 1			
MATERIAL: Acero A36		N° DE DIBUJO: Cabeza del Elevador	A4
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL		ESCALA: 1:50	HOJA 4 DE 5



ELEMENTO	PIEZA	LONGITUD	CANTIDAD
1	Bota del Elevador	-	1
2	Cabeza del Elevador	-	1
3	Plataforma	-	1
4	Motor 1 HP	-	1
5	Reductor 50:1	-	1
6	Eje Cabeza \varnothing 50 mm	900	1
7	Rodamiento	-	1
8	Polea de Cabeza	-	1
9	Polea de Bota	-	1
10	Banda	8000	1
11	Cangilones	-	12
12	Tensor	-	2
13	Pernos y Tuercas M10	-	14
14	Ventana Limpieza 1	-	1
15	Ventana Limpieza 2	-	1
16	Eje Bota \varnothing 38.1 mm	400	1

DISEÑADO:
Avilés, Chiriboga

FECHA:
31/08/2015

Nº DE ELEMENTOS: 1

MATERIAL:
Acero A36

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

APROBADO:

FECHA:

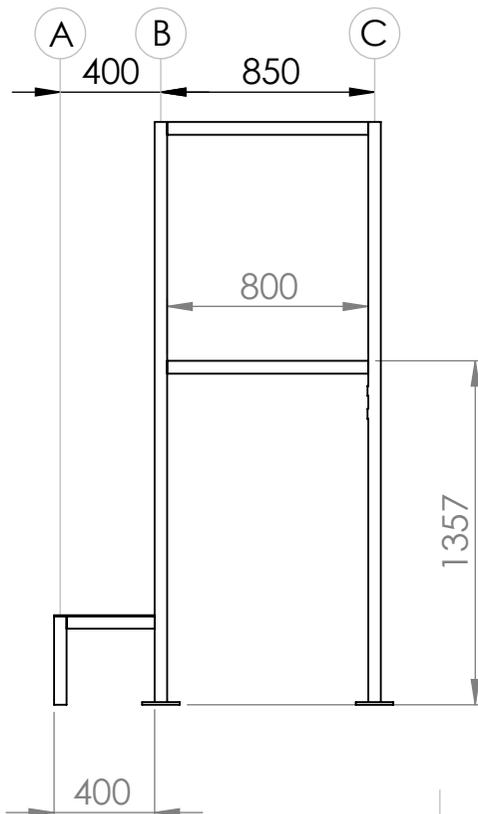
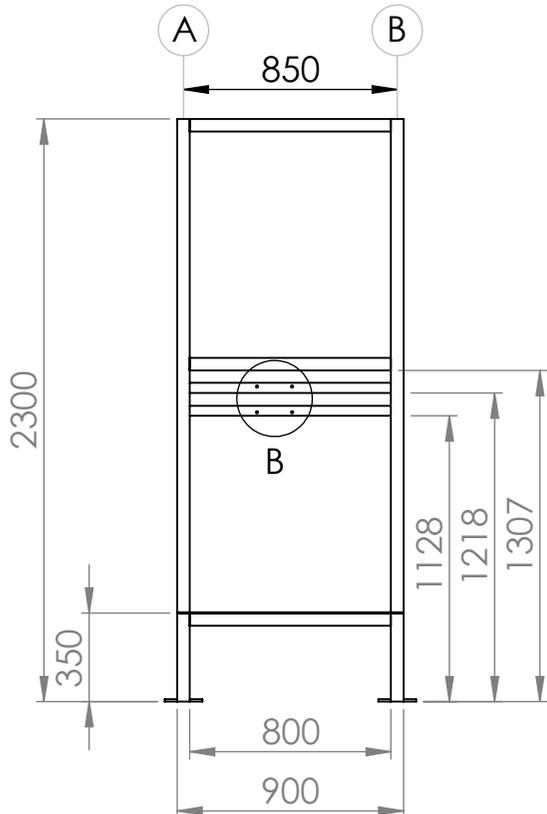
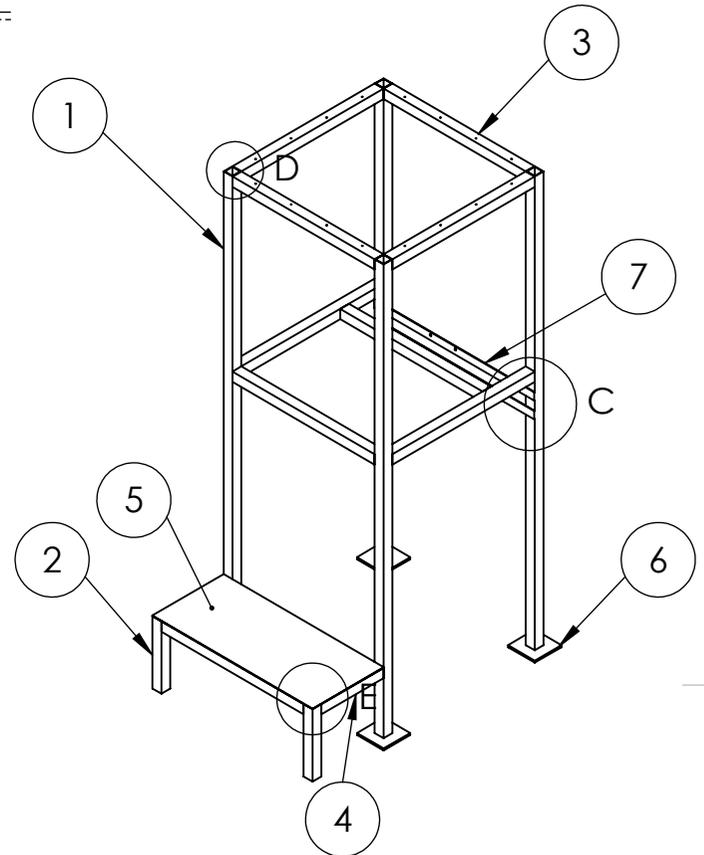
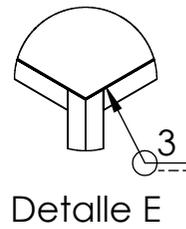
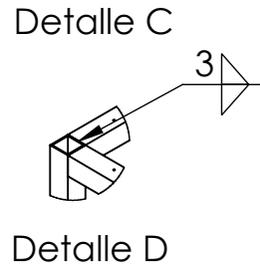
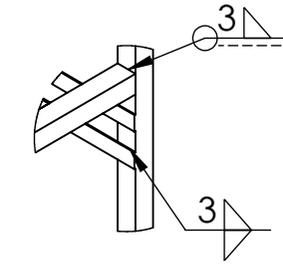
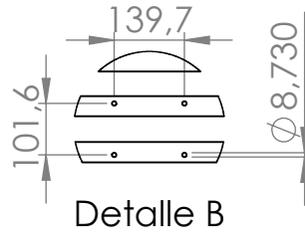
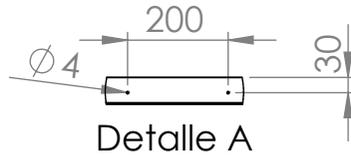
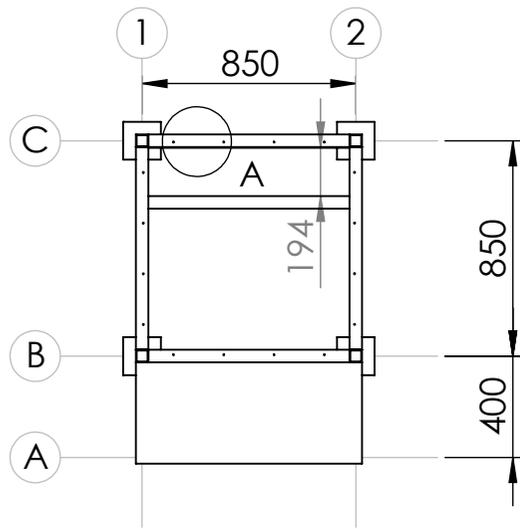
TÍTULO:
ELEVADOR DE CANGILONES

Nº DE DIBUJO

A4

ESCALA: 1:20

HOJA 5 DE 5



ELEMENTO	PIEZA	PERFIL	LONGITUD	CANTIDAD
1	Columna Principal	50X50X3	2290	4
2	Columna Secundaria	50X50X3	350	1
3	Viga Principal	50X50X3	9	9
4	Viga Secundaria	50X50X3	2	2
5	Placa Celda	P 900X400X4	-	1
6	Placa Base	P 150X150X10	-	4
7	Placa Motor	P 900X40X3	-	2

DISEÑADO:
Avilés, Chiriboga

APROBADO:

TÍTULO:

FECHA:
31/08/2015

FECHA:

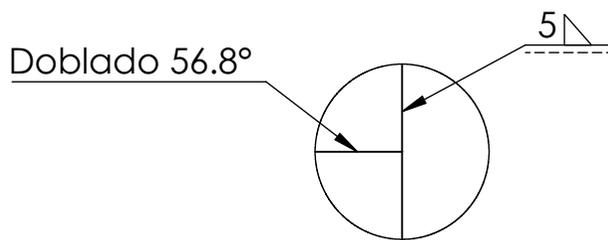
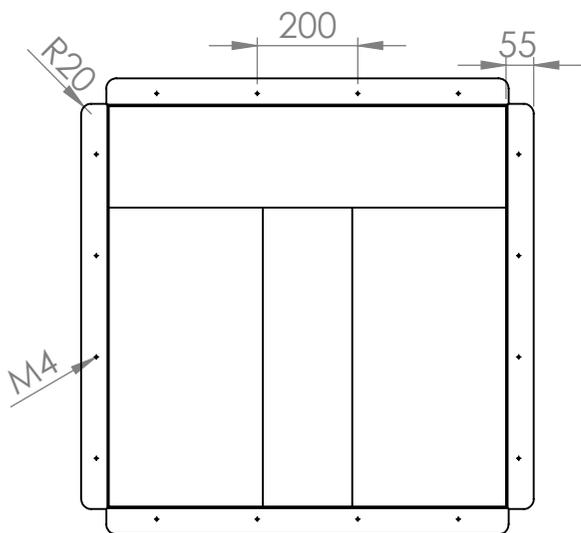
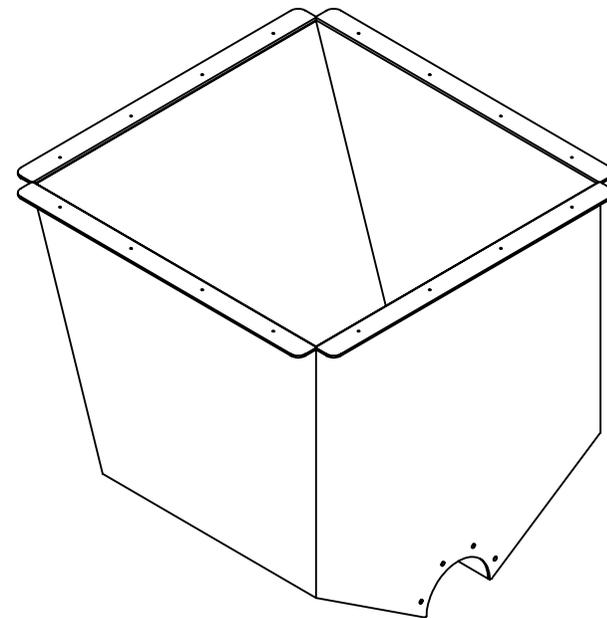
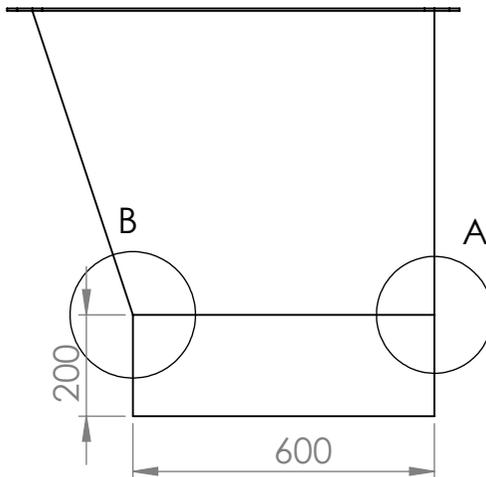
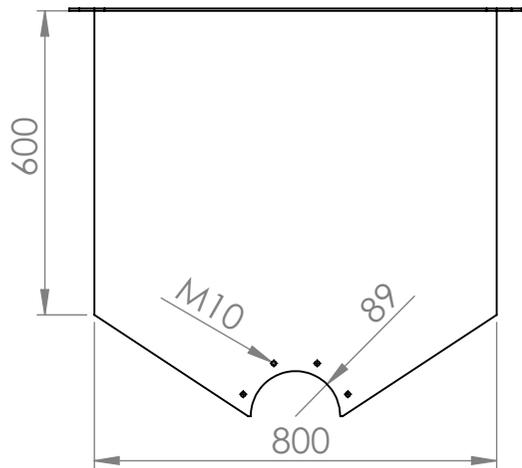
ESTRUCTURA

Nº DE ELEMENTOS: 1

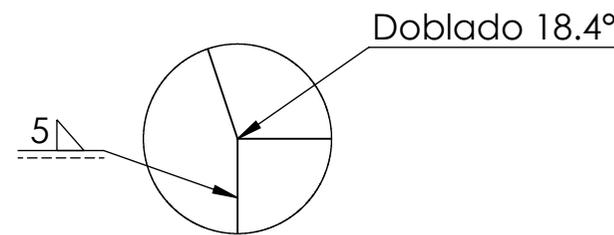
MATERIAL:
Acero A36

N.º DE DIBUJO

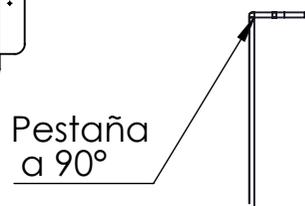
A4



Detalle A



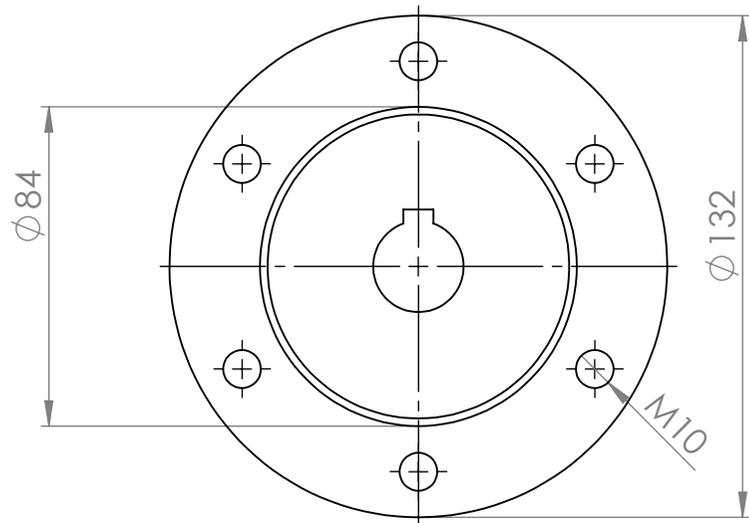
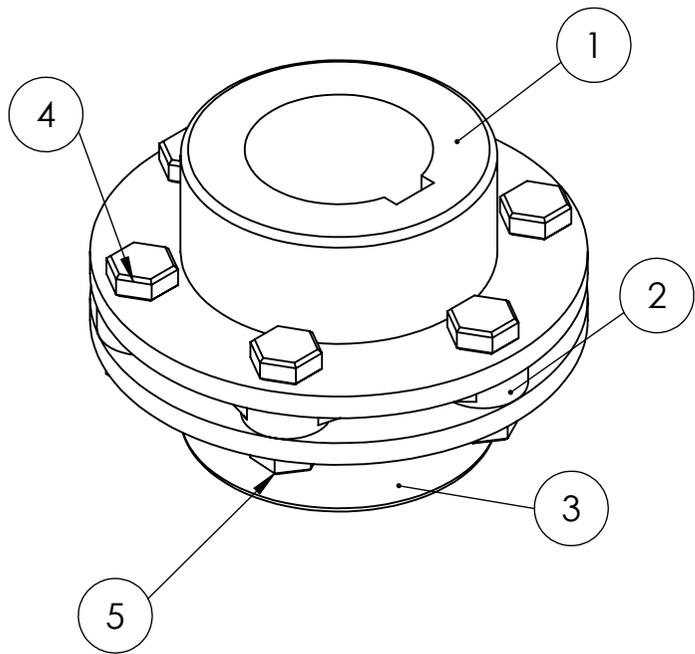
Detalle B



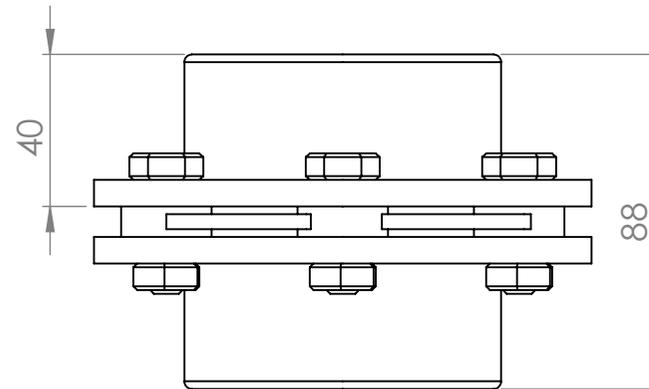
Detalle C

Espesor de plancha: 5 mm

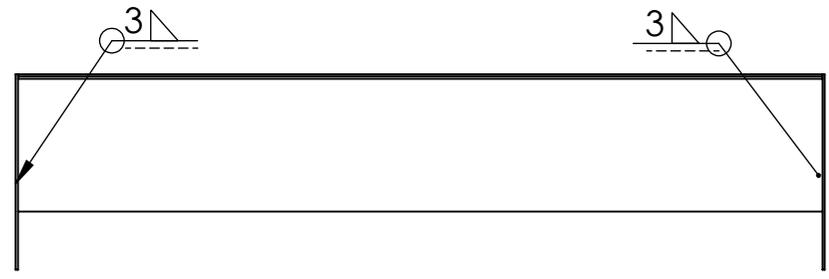
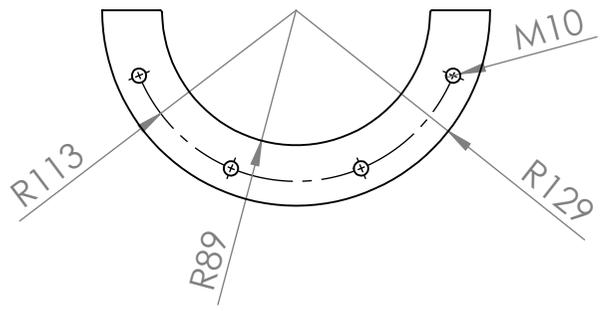
DISEÑADO: Avilés, Chiriboga	APROBADO:	TÍTULO:	
FECHA: 31/08/2015	FECHA:	TOLVA DE ALIMENTACIÓN	
NO CAMBIE LA ESCALA		N.º DE DIBUJO	A4
MATERIAL: Acero A36		Tolva	
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL		ESCALA: 1:15	HOJA 1 DE 1



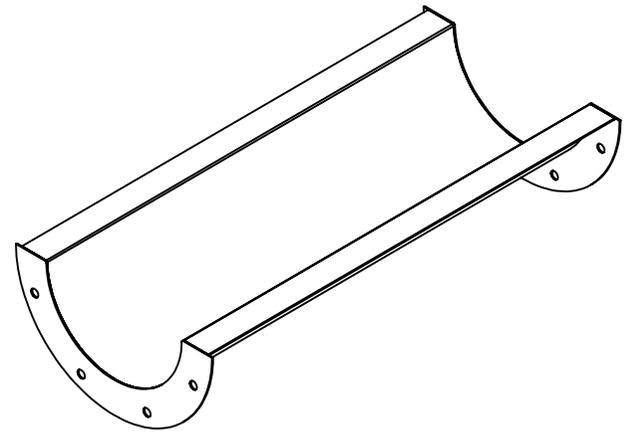
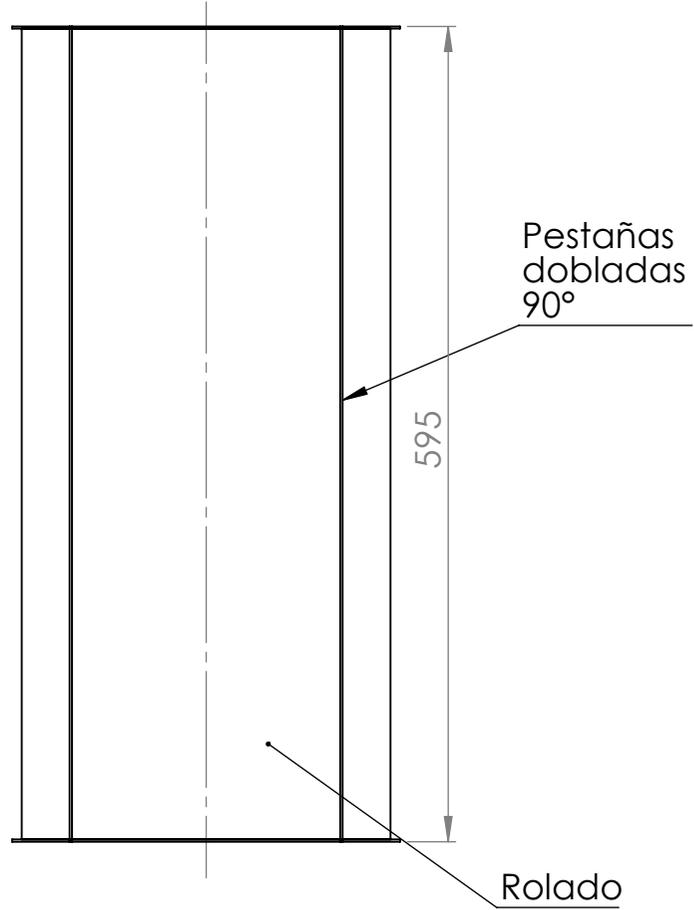
ELEMENTO	PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Acople	90-6, agujero de $\phi 38$ mm	1
2	Rejilla Intermedia	-	1
3	Acople	90-6, agujero de 24 mm	1
4	Perno M10		6
5	Tuerca M10		6



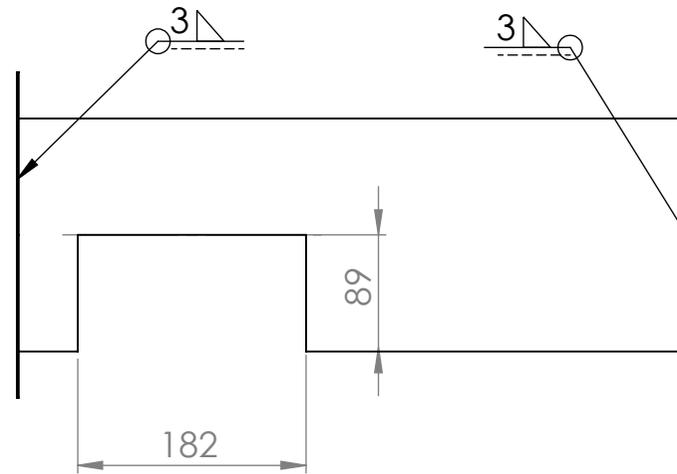
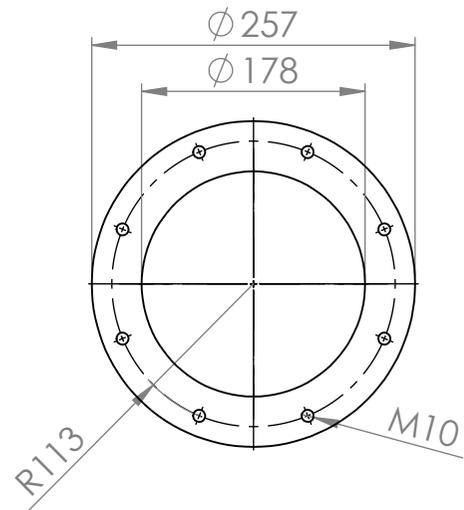
DISEÑADO: Avilés, Chiriboga	APROBADO:	TÍTULO:
FECHA: 31/08/2015	FECHA:	SISTEMA DOSIFICADOR
NO CAMBIE LA ESCALA		
MATERIAL: Acero A36	N.º DE DIBUJO:	Acoples
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL		ESCALA:2:15
		HOJA 1 DE 2
		A4



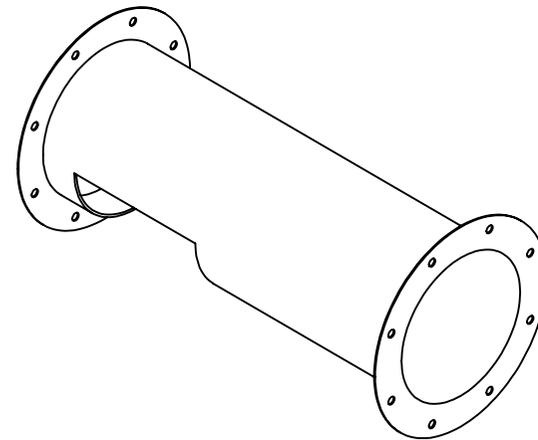
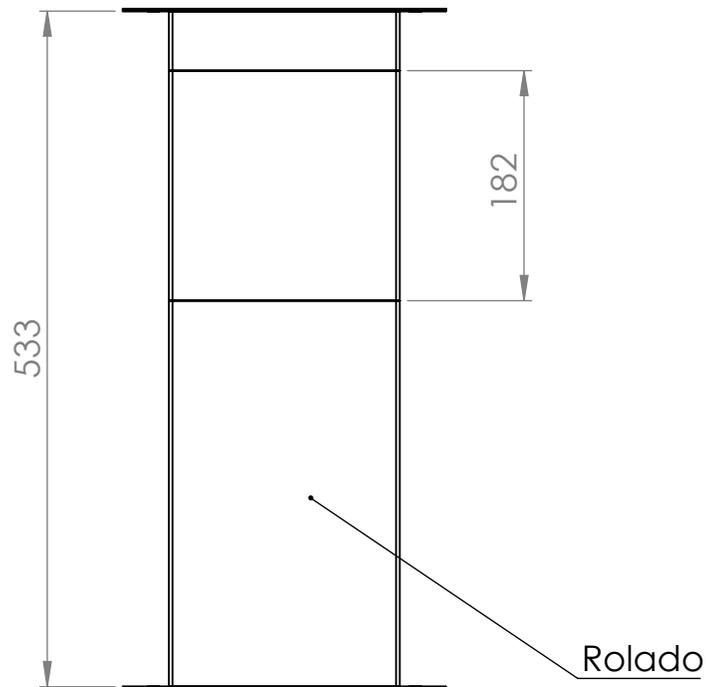
Espesor de plancha: 5 mm



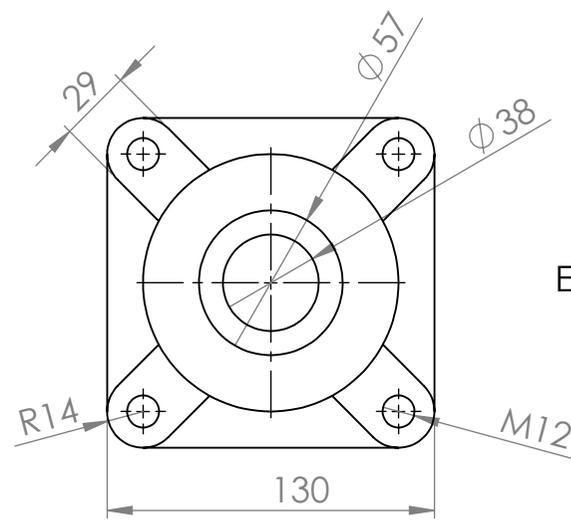
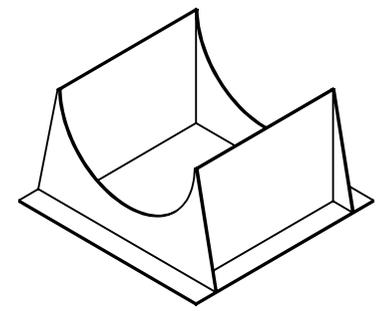
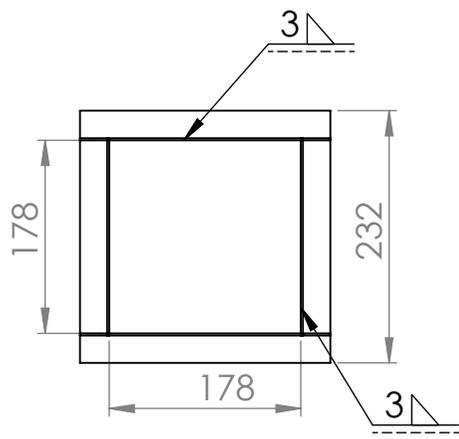
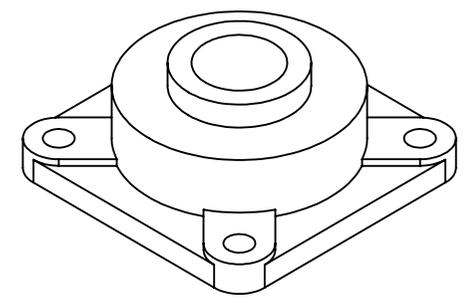
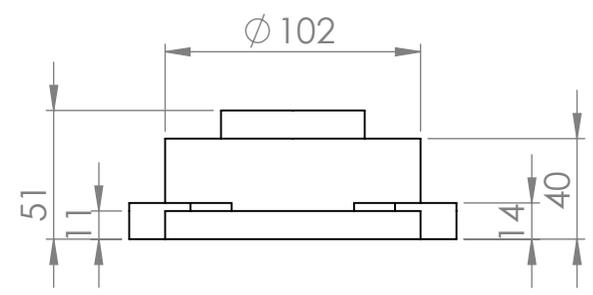
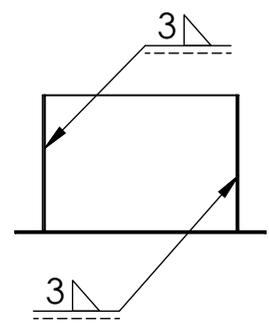
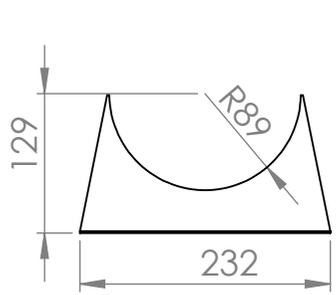
DISEÑADO: Aviés, Chiriboga	APROBADO:	TÍTULO: SISTEMA DOSIFICADOR	
FECHA: 31/08/2015	FECHA:	N.º DE DIBUJO: Artesa Inferior	
NO CAMBIE LA ESCALA		A4	
MATERIAL: Acero A36		ESCALA: 1:15	
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL		HOJA 1 DE 1	



Espesor de plancha: 5 mm

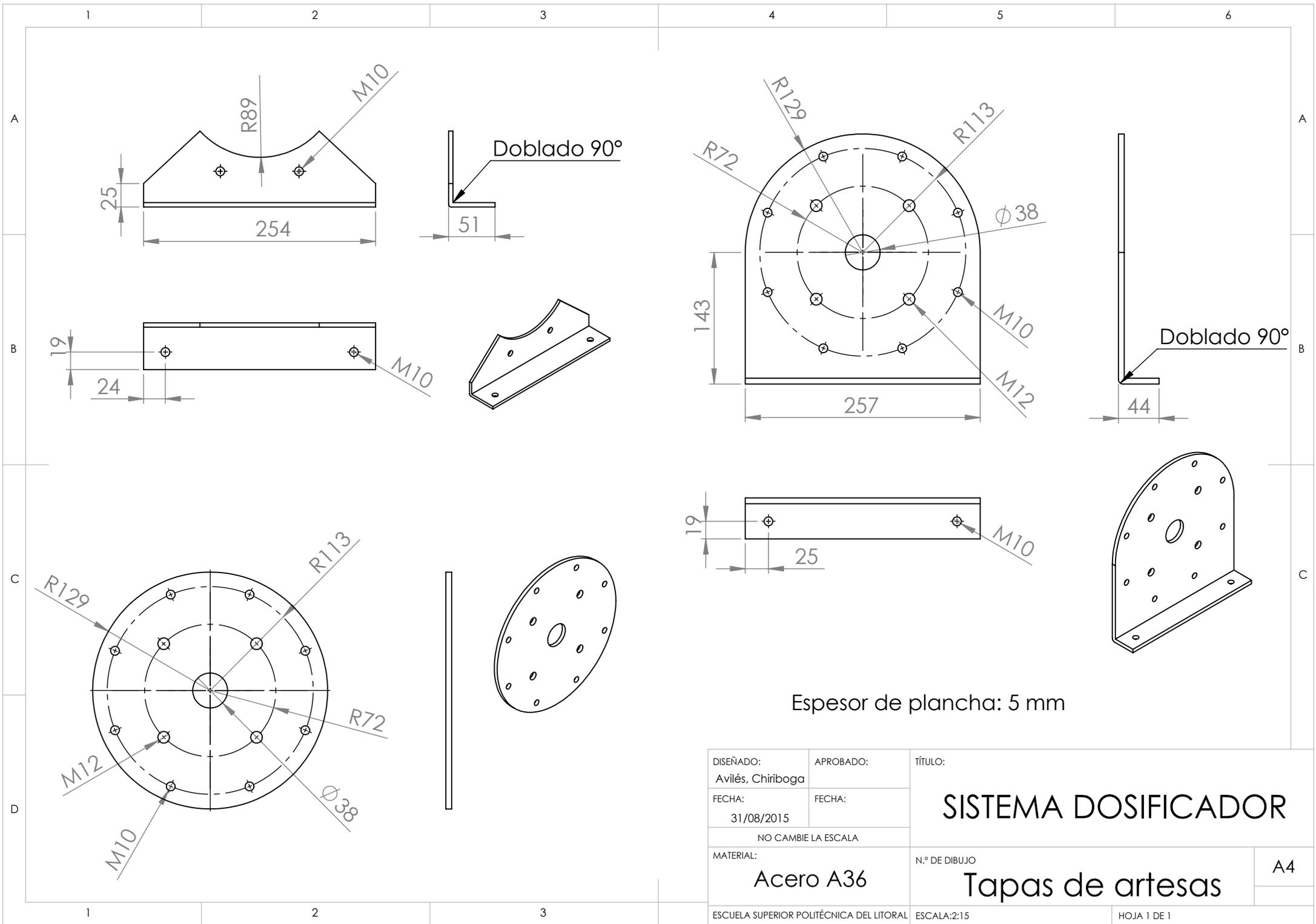


DISEÑADO: Aviés, Chiriboga	APROBADO:	TÍTULO:	
FECHA: 31/08/2015	FECHA:	SISTEMA DOSIFICADOR	
NO CAMBIE LA ESCALA			
MATERIAL: Acero A36	N.º DE DIBUJO	Artesa Tubular	
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL	ESCALA: 1:15		
		HOJA 1 DE 1	

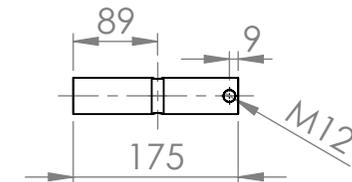
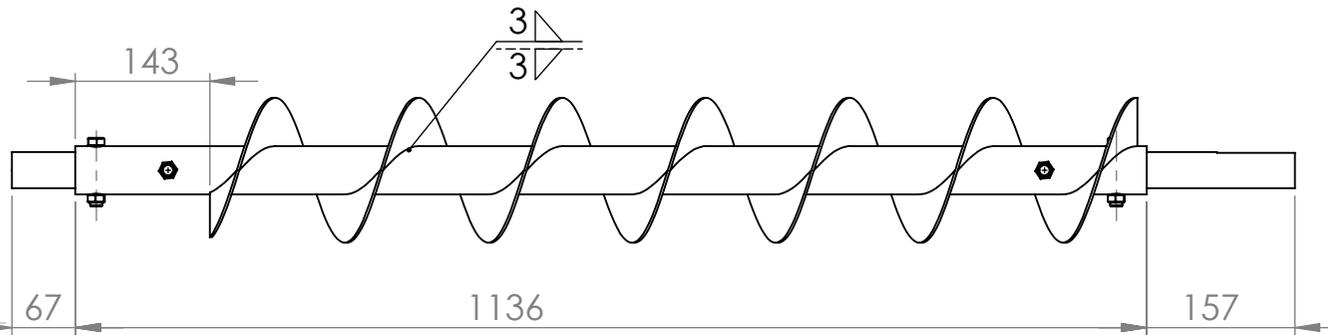
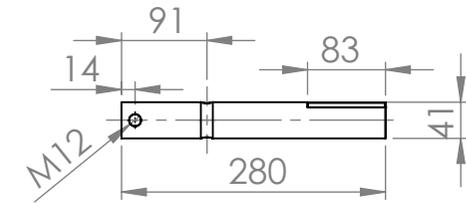
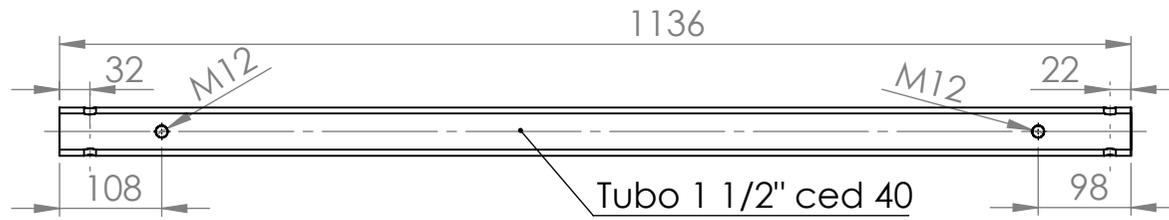


Espesor de plancha: 3 mm

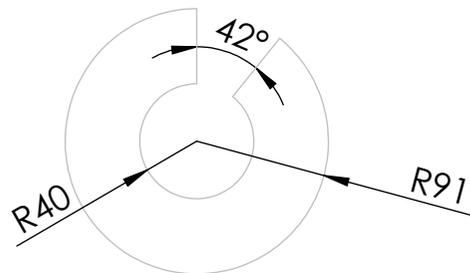
DISEÑADO: Avilés, Chiriboga	APROBADO:	TÍTULO:	
FECHA: 31/08/2015	FECHA:	SISTEMA DOSIFICADOR	
NO CAMBIE LA ESCALA			
MATERIAL: Acero A36	N.º DE DIBUJO:	Descarga	A4
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL	ESCALA:2:15		HOJA 1 DE 1



DISEÑADO: Avilés, Chiriboga	APROBADO:	TÍTULO: SISTEMA DOSIFICADOR
FECHA: 31/08/2015	FECHA:	Tapas de artesas
NO CAMBIE LA ESCALA		
MATERIAL: Acero A36	N.º DE DIBUJO	A4
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL	ESCALA:2:15	HOJA 1 DE 1

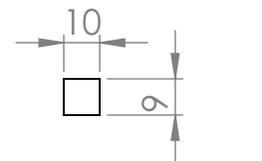
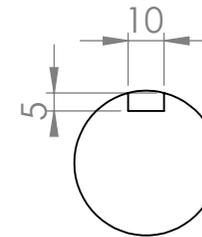


Máquinar de eje de 45 mm



6 1/2 artesas

Tornillo
 Paso: 152 mm
 Diámetro: 152 mm
 Extensión: 981 mm
 Espesor: 3 mm



Sección de la chaveta

DISEÑADO: Avilés, Chiriboga	APROBADO:	TÍTULO:	
FECHA: 31/08/2015	FECHA:	SISTEMA DOSIFICADOR	
NO CAMBIE LA ESCALA			
MATERIAL: Acero A36	N.º DE DIBUJO:	Tornillo	A4
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL	ESCALA:2:15		HOJA 1 DE 1

1 2 3 4 5 6

A

A

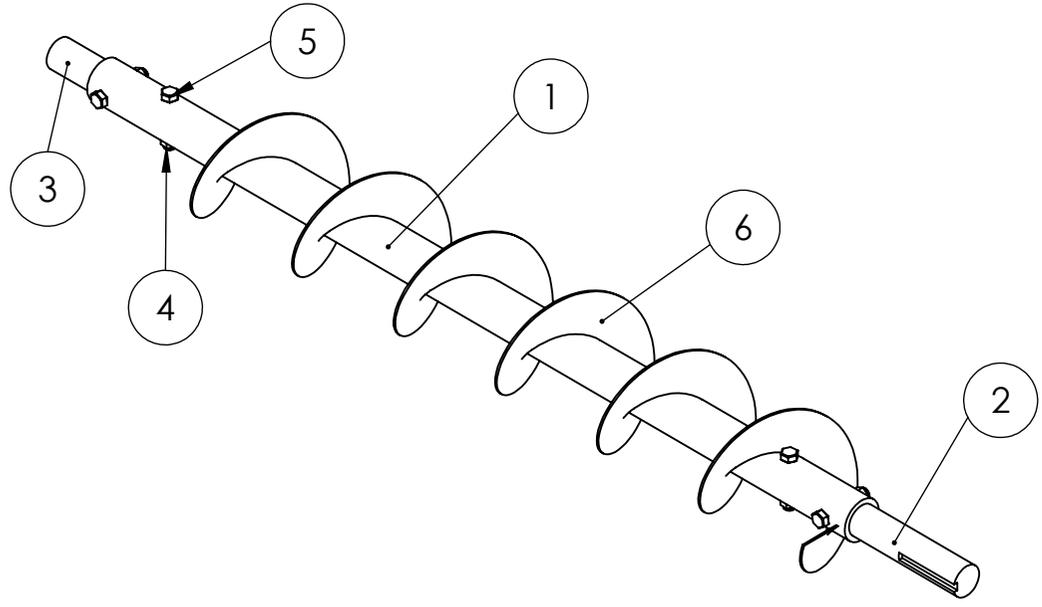
B

B

C

C

D



ELEMENTO	PIEZA	DESCRIPCIÓN	LONGITUD	CANTIDAD
1	Tubo	Ø 1 1/2 ced 40	1136.4	1
2	Eje Motriz	Eje Ø 41	280	1
3	Eje Terminal	Eje Ø 41	175	1
4	Tuerca	M12	-	4
5	Tornillo	M12	63.5	4
6	Artesa	3mm		6 1/2

DISEÑADO: Avilés, Chiriboga	APROBADO:	TÍTULO: SISTEMA DOSIFICADOR	
FECHA: 31/08/2015	FECHA:		
NO CAMBIE LA ESCALA			
MATERIAL: Acero A36		N.º DE DIBUJO Tornillo	A4
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL		ESCALA:2:15	HOJA 1 DE 1

1 2 3

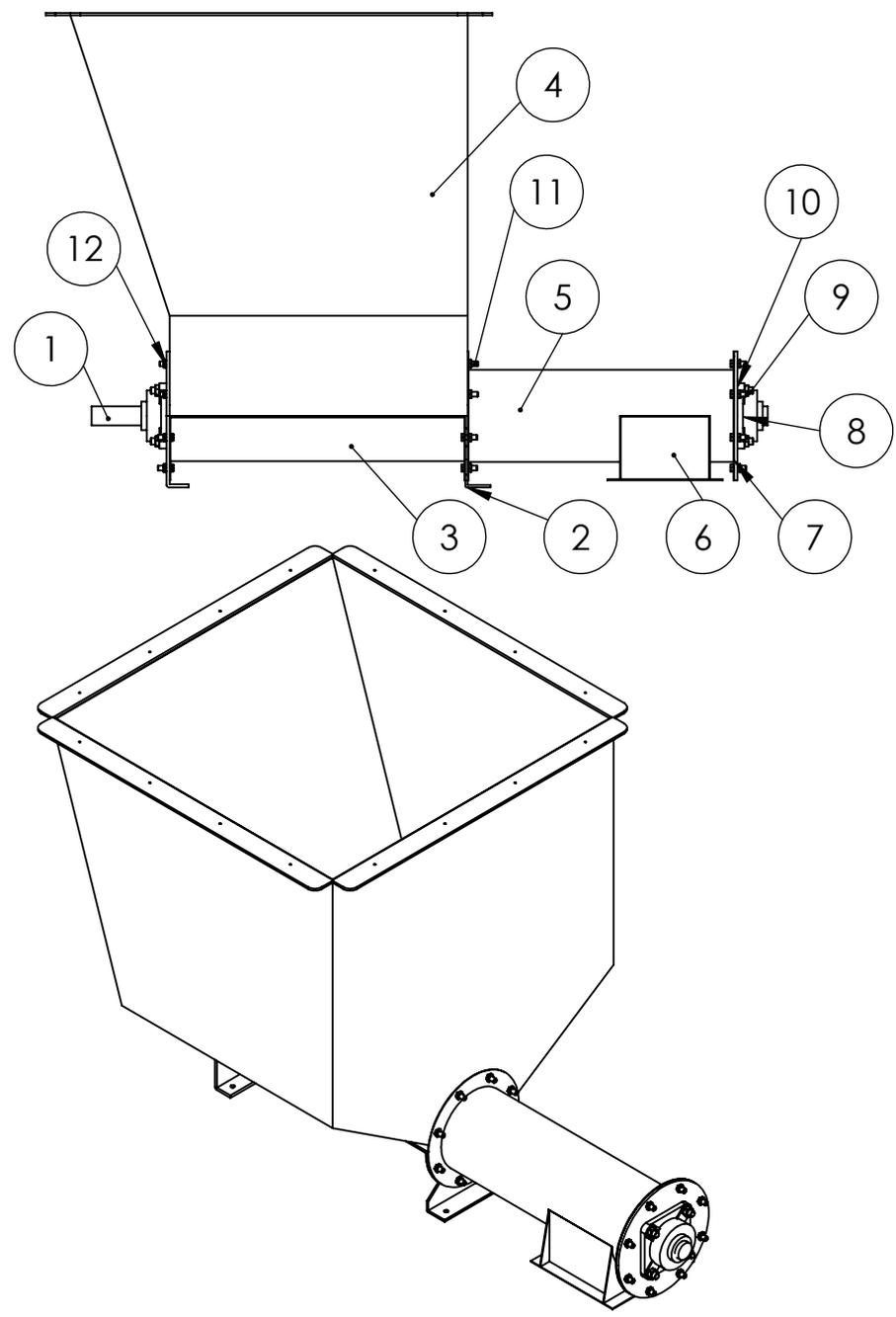
1 2 3 4 5 6

A

B

C

D



ELEMENTO	PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	Longitud
1	Tornillo Sinfín	-	1	
2	Tapa con Pie	-	2	
3	Artesa Inferior	-	1	595
4	Tolva	5 mm de espesor	1	
5	Artesa Tubular	-	1	537
6	Descarga	-	1	
7	Tapa sin Pie	-	1	
8	Rodamiento de Bolas	Ø 1.5 in	2	
9	Pernos de los Rodamientos	M12	8	38
10	Tuerca de los Rodamientos	M12	8	
11	Pernos de Unión	M10	24	25
12	Tuercas de Unión	M10	28	
13	Pernos de Unión a la Base o Estructura	M10	4	60

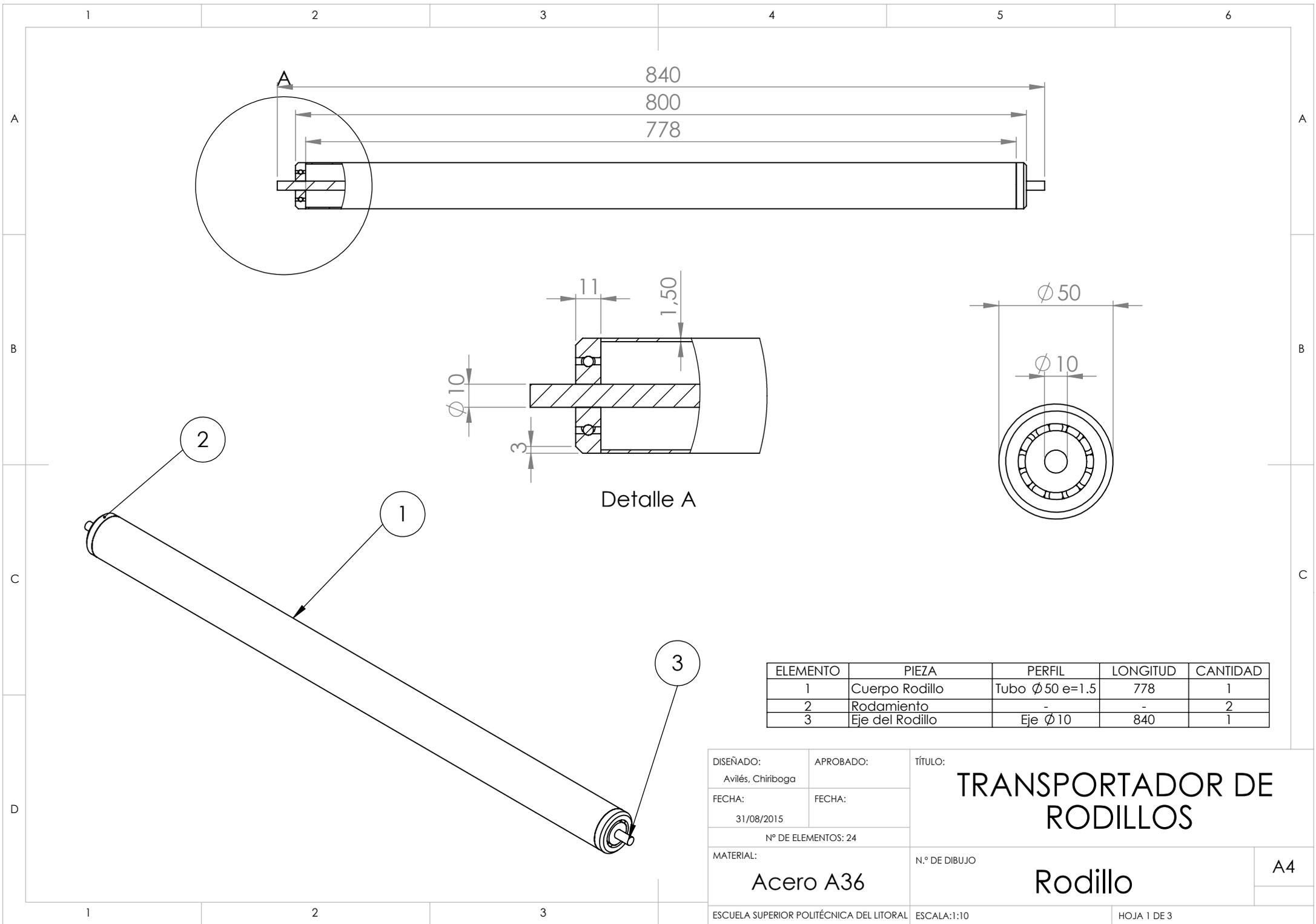
A

B

C

DISEÑADO: Avilés, Chiriboga	APROBADO:	TÍTULO:	
FECHA: 31/08/2015	FECHA:	<h1>SISTEMA DOSIFICADOR</h1>	
NO CAMBIE LA ESCALA			
MATERIAL: Acero A36	N.º DE DIBUJO	<h2>Tabla de Elementos</h2>	
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL	ESCALA:2:15		
		HOJA 1 DE 1	

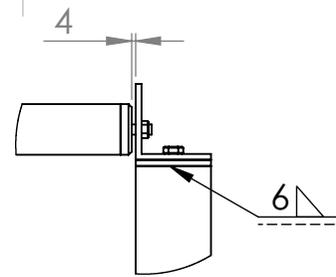
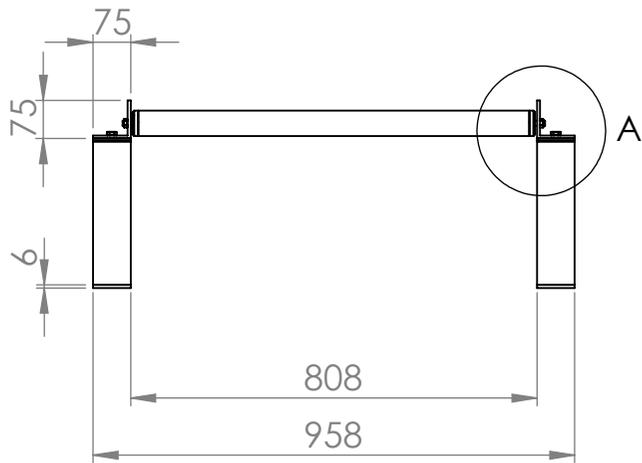
1 2 3 ESCALA:2:15 HOJA 1 DE 1



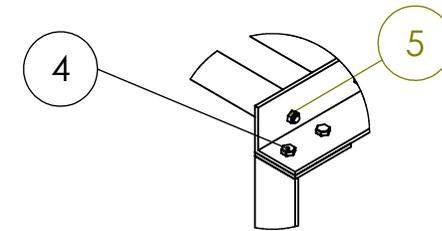
Detalle A

ELEMENTO	PIEZA	PERFIL	LONGITUD	CANTIDAD
1	Cuerpo Rodillo	Tubo $\varnothing 50$ e=1.5	778	1
2	Rodamiento	-	-	2
3	Eje del Rodillo	Eje $\varnothing 10$	840	1

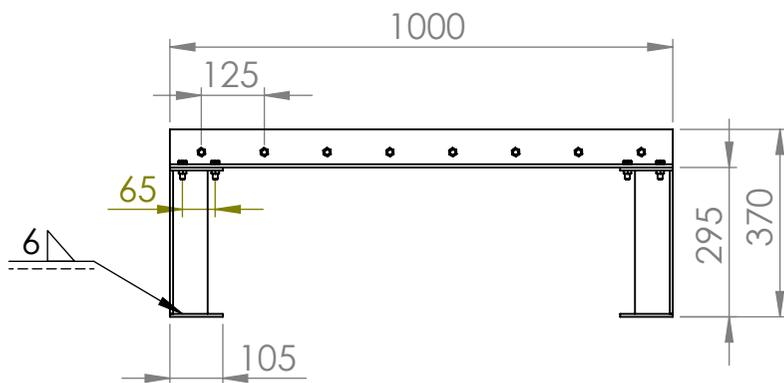
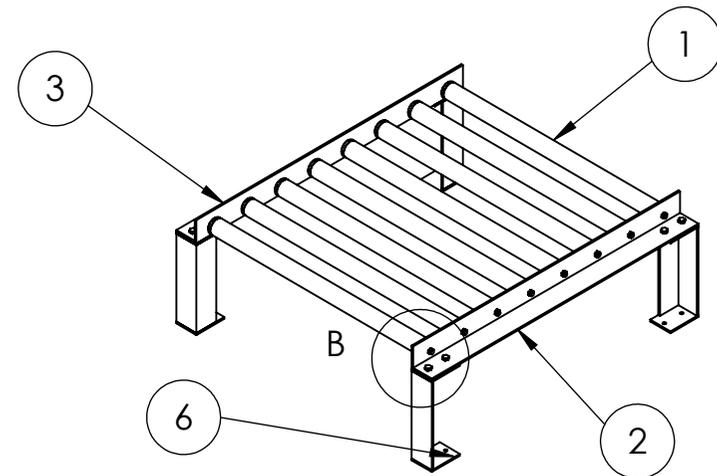
DISEÑADO: Avilés, Chiriboga	APROBADO:	TÍTULO: TRANSPORTADOR DE RODILLOS	
FECHA: 31/08/2015	FECHA:	N.º DE DIBUJO Rodillo	
N.º DE ELEMENTOS: 24			
MATERIAL: Acero A36		ESCALA: 1:10	A4
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL		ESCALA: 1:10	HOJA 1 DE 3



Detalle A



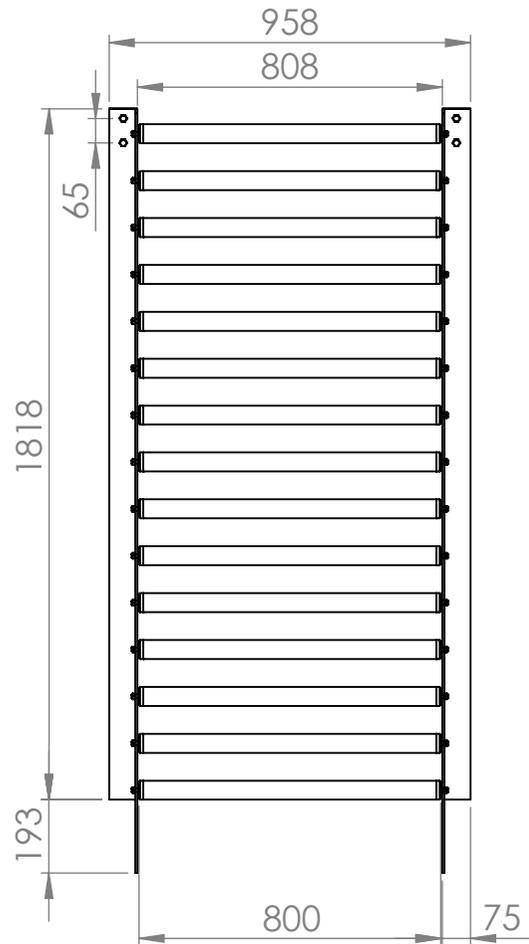
Detalle B



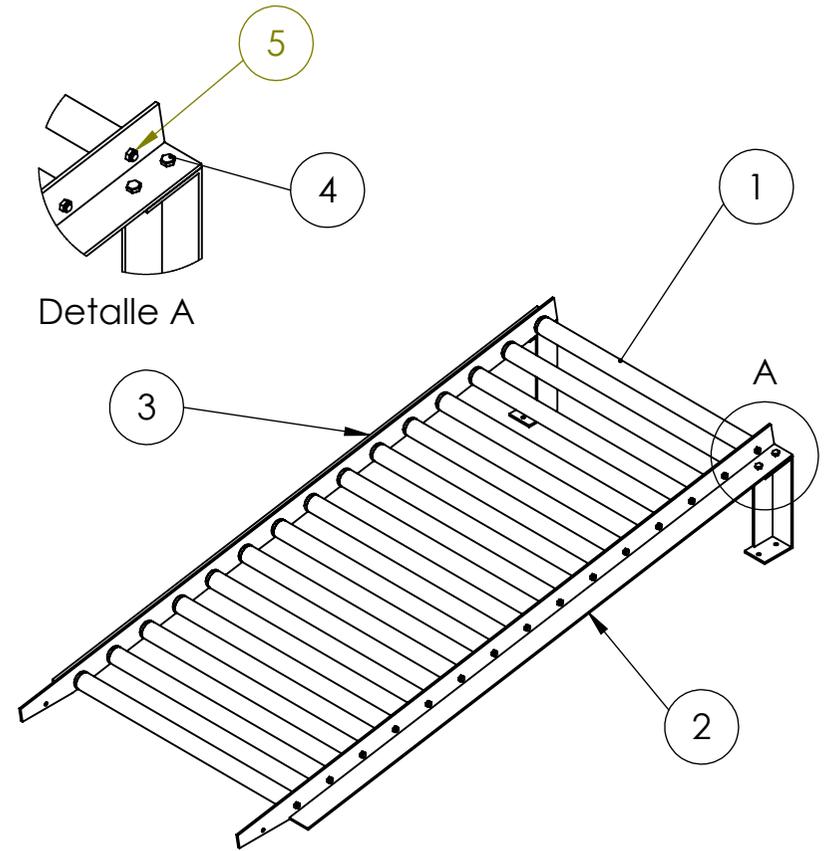
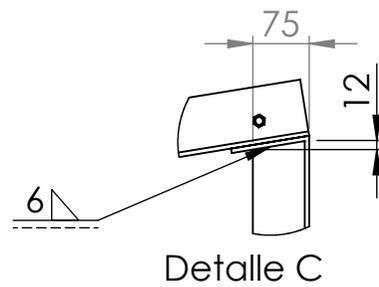
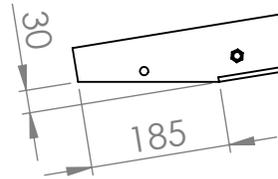
ELEMENTO	PIEZA	PERFIL	LONGITUD	CANTIDAD
1	Rodillo	Tubo \varnothing 50 e=1.5	800	8
2	Carril Derecho	L 75x75x6	1000	1
3	Carril Izquierdo	L 75x75x6	1000	1
4	Perno M10	-	30	8
5	Tuerca M10	-	-	24
6	Placa Base	P 75x100x6	-	8

DISEÑADO: Avilés, Chiriboga	APROBADO:	TÍTULO: TRANSPORTADOR DE RODILLOS	
FECHA: 31/08/2015	FECHA:		
N° DE ELEMENTOS: 1		N.º DE DIBUJO Sección Horizontal	
MATERIAL: Acero A36			
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL		ESCALA: 1:20	HOJA 2 DE 3

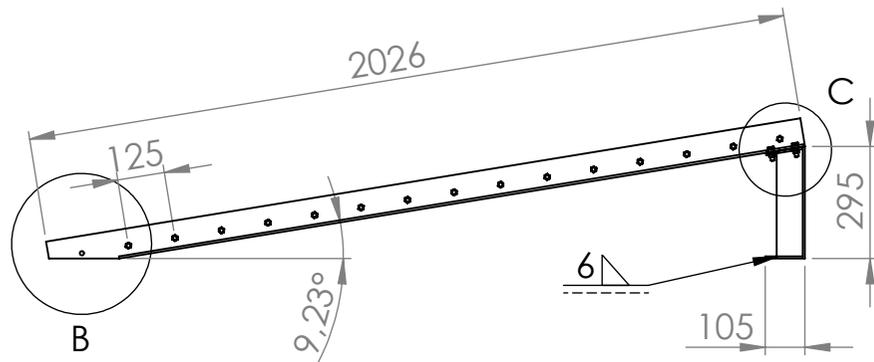
A4



Detalle B

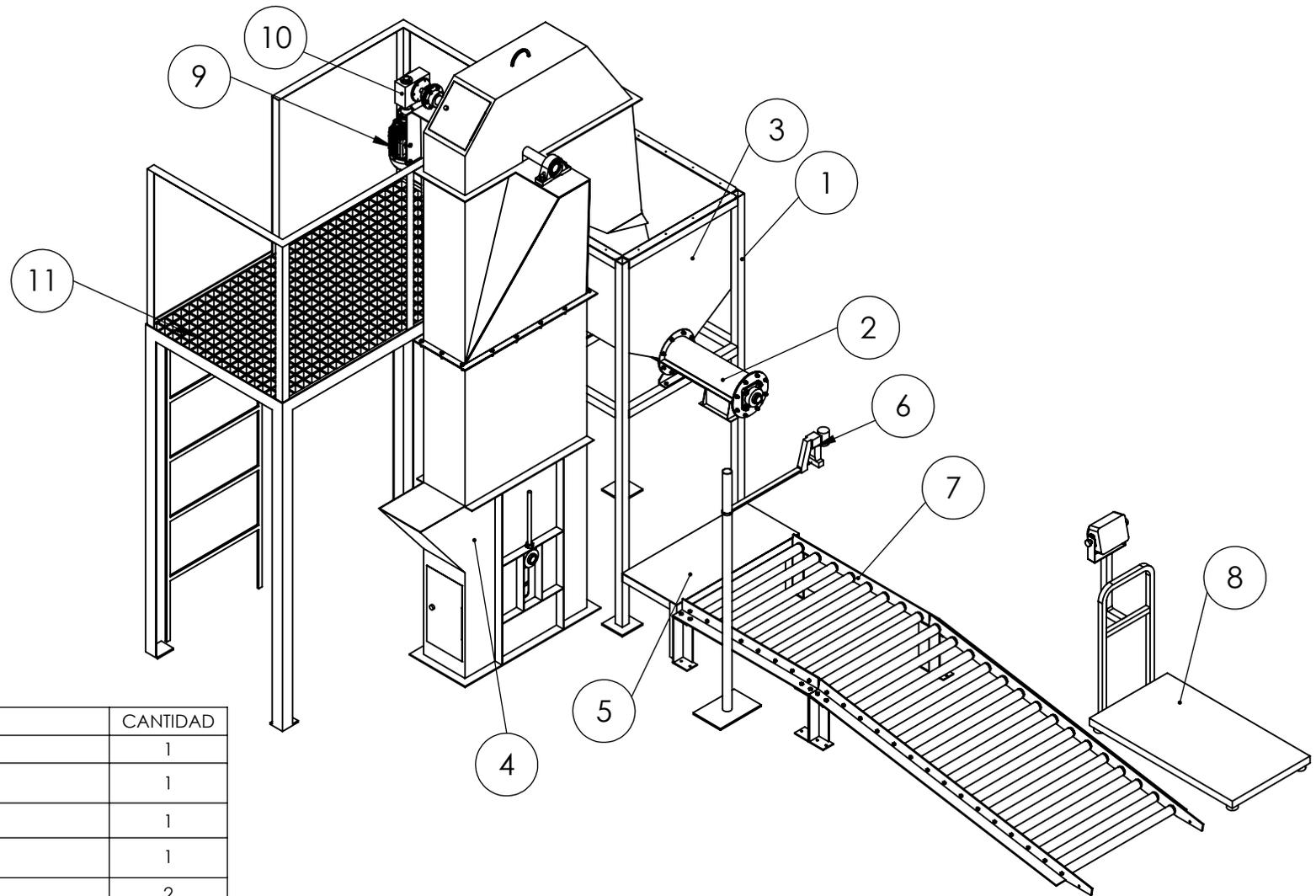


ELEMENTO	PIEZA	PERFIL	LONGITUD	CANTIDAD
1	Rodillo	Tubo Φ 50 e=1.5	800	15
2	Carril Derecho	L 75x75x6	2000	1
3	Carril Izquierdo	L 75x75x6	2000	1
4	Perno M10	-	30	4
5	Tuerca M10	-	-	34
6	Placa Base	P 75x100x6	-	4



DISEÑADO: Avilés, Chiriboga	APROBADO:	TÍTULO: TRANSPORTADOR DE RODILLOS	
FECHA: 31/08/2015	FECHA:	N.º DE DIBUJO Sección Inclinada	
MATERIAL: Acero A36		N.º DE ELEMENTOS: 1	
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL		ESCALA: 1:50	HOJA 3 DE 3

A4



ELEMENTO	ESTRUCTURA	CANTIDAD
1	Estructura	1
2	Tornillo Alimentador	1
3	Tolva de Alimentación	1
4	Elevador de Cangilones	1
5	Placa Soporte Sacos	2
6	Cosedora Manual	2
7	Transportador de Rodillos	1
8	Balanza	9
9	Motor	2
10	Reductor	1
11	Plataforma de Acceso	1

DISEÑADO: Avilés, Chiriboga	APROBADO:	TÍTULO: DOSIFICADORA Y ENSACADORA	
FECHA: 31/08/2015	FECHA:	N.º DE DIBUJO	
NO CAMBIE LA ESCALA		A4	
MATERIAL: Acero A36		ESCALA:2:15	
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL		HOJA 1 DE 2	