

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

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

“Rediseño de componentes de una línea de procesamiento de fréjol de
palo para la industria alimenticia”

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Mecánico

Presentado por:

Karen Lissette Benites Segura

Augusto Manuel Ramírez Chalén

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2021

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico en primer lugar a mis padres Nancy y Marco, quienes me han brindado su comprensión y apoyo incondicional durante toda mi vida.

A mi abuela materna Clemencia y mi tío Wilson, por su amor y palabras de aliento en todo momento.

A Sueanny Moreno y Darío Erreyes, por su invaluable amistad y apoyo durante mi etapa de depresión más profunda en la carrera.

A Pierina Gavilanez, Doménica Cepeda, Angie González, Dayanna Solano, Gladys Maldonado, Karen Zambrano y Abigail Veloz; mis queridas amigas del colegio.

A Augusto Ramírez, por su infinita paciencia y cariño durante la etapa final de mi carrera universitaria, una de las más difíciles.

Finalmente, a la banda surcoreana BTS, por su invaluable consuelo y aliento a través de su música y contenido; que fueron claves para no desistir durante los momentos más duros de mi vida.

Karen Benites Segura

El proyecto va dedicado a mi padre Augusto y mi madre Blanca, mi abuela paterna Enriqueta del Carmen, mi abuela materna Juana y hermano Wilson que con sus enseñanzas de la vida diaria me fueron formando hasta la actualidad.

Dedicado a mi tía Ibeth, fallecida hace años, que tuvo un papel muy importante en mi vida tanto en valores como en educación. Siempre la recordaré con mucho amor.

A Génesis Fuentes y James Flores que juntaron sus vidas, les deseo más que felicidad en el porvenir.

A Brenda Morales, Antonella Chávez, Shirley Tipanquiza, Kelly Castro, Fabiola Gutiérrez, Lisseth Calle, Nohelya Borrero, Karla Vilema, Víctor Sánchez y Luis Armijos que fueron un apoyo permanente en muchas dificultades, siempre tendrán un lugar especial en mi corazón.

A Karen Benites que en poco tiempo demostró su calidad y calidez como persona, teniendo todo mi cariño y mi apoyo en todo lo que ella se proponga.

Augusto Ramírez Chalén

AGRADECIMIENTO

Mi más sincero agradecimiento a mi padre Marco Benites, por su silenciosa pero potente lección de perseverancia que me ha dejado con su esfuerzo por conquistar sus metas.

A nuestros tutores Jorge Amaya, PhD; Ing. Fausto Maldonado e Ing. Galo Durazno, por su valiosa guía y consejos durante la ejecución del proyecto.

A Augusto, por su comprensión durante mis dificultades y arduo aporte en el proyecto.

A Sueanny y Darío; por integrarme a su vida cuando yo más lo necesitaba. Sin darse cuenta, evitaron que mi depresión se agudizara. Gracias por su valiosa compañía.

A la banda surcoreana BTS, por su invaluable mensaje de aceptación y amor propio en su arte, que me ayudó a salir adelante en esta etapa de mi vida. Ellos son mi galaxia.

Karen Benites Segura

Agradezco a los profesores de la ESPOL, los cuales tienen la ardua tarea de preparar a los profesionales del futuro. Especialmente a nuestros tutores con su conocimiento y guía permanente para la elaboración de este proyecto.

A Karen por sus esenciales aportaciones a este proyecto y su ardua labor para la obtención de este.

Augusto Ramírez Chalén

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Karen Lissette Benites Segura* y *Augusto Manuel Ramírez Chalén* damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”



Karen Benites Segura



Augusto Ramírez Chalén

EVALUADORES



Firmado electrónicamente por:
MIGUEL ANGEL
QUILAMBAQUI
JARA

Miguel Quilambaqui Jara, PhD

PROFESOR DE LA MATERIA

Digitally signed
by JORGE LUIS
AMAYA RIVAS

Date:
2021.09.20
'19:31:10 -05'00

JORGE
LUIS
AMAYA
RIVAS

Jorge Amaya Rivas, PhD

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

Actualmente una empresa dedicada al procesamiento de fréjol de palo experimenta problemas por su baja capacidad de producción, incapacitándola para satisfacer la demanda del mercado. Esto se debe al diseño antiguo de los componentes de la línea: la banda transportadora y el elevador de cangilones, por lo que, necesitan ampliar su capacidad de producción de 2 ton/h a 4 ton/h. Así, el proyecto surge con el objetivo de rediseñar la banda transportadora y el elevador de cangilones de la línea procesadora para el aumento de su capacidad de producción.

Para este propósito, se aplicó el respectivo proceso de diseño mecánico en base a los requerimientos del cliente: capacidad y velocidad de producción; tamaño de los componentes en base al espacio disponible, entre otros. A partir de los éstos, se plantearon las alternativas de solución; las cuales se evaluaron mediante los criterios de selección, también escogidos a partir de los requerimientos del cliente. Para el diseño detallado se emplearon los procedimientos de la normativa enfocada en el diseño de bandas para material al granel CEMA (Conveyor Equipment Manufacturers Association), para el cálculo del ancho de banda del elevador y la banda horizontal. Además, se emplearon catálogos de diferentes fabricantes para la selección de los elementos adicionales de los sistemas de transmisión, motriz y tensor. Conjuntamente, se utilizó el software Autodesk Inventor Nastran para la simulación de estructuras para validar su resistencia a las cargas a las cuales estarán sometidas.

Los resultados muestran que el diseño realizado resiste a las condiciones de operación normales de la planta; como lo evidencian los altos factores de seguridad obtenidos durante los cálculos teóricos y de la simulación computacional. Además, logra adaptarse a las limitaciones físicas y económicas, considerando la disponibilidad de materiales y mano de obra en el mercado nacional.

Finalmente, se concluye que la propuesta de diseño planteada cumple con el objetivo principal planteado, siendo además económicamente viable frente a otras soluciones del mercado internacional.

Palabras Clave: Banda transportadora, elevador, fréjol de palo, estructura.

ABSTRACT

Currently, a company dedicated to the processing of pigeon pea seeds is experiencing problems with low production capacity, making it unable to meet market demand. This is due to the old design of the line's components: the conveyor belt and the bucket elevator, thus, they need to increase their production capacity from 2 tons/h to 4 tons/h. Therefore, the project arose with the aim of redesigning the conveyor belt and bucket elevator of the processing line to increase its production capacity.

For this purpose, the respective mechanical design process was applied based on the customer's requirements: production capacity and speed; size of the components based on the available space, and others. Based on these requirements, alternative solutions were proposed, which were evaluated using the selection criteria, also chosen based on the customer's requirements. For the detailed design, the procedures of the CEMA (Conveyor Equipment Manufacturers Association) bulk material belt design standard were used for the calculation of the elevator and the horizontal belt width. In addition, catalogues of different manufacturers were used for the selection of the additional elements of the transmission, drive and tensioning systems. In addition, Autodesk Inventor Nastran software was used for the simulation of structures to validate their resistance to the loads to which they will be subjected.

The results show that the design is resistant to the normal operating conditions of the plant, as evidenced by the high safety factors obtained during the theoretical calculations and the computational simulation. Furthermore, it manages to adapt to the physical and economic limitations, considering the availability of materials and labor in the national market.

Finally, it is concluded that the proposed design fulfils the main objective and is economically viable compared to other solutions on the international market.

Keywords: *Conveyor belt, elevator, pigeon pea, structure.*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS.....	VI
SIMBOLOGÍA.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	X
ÍNDICE DE PLANOS.....	XI
CAPÍTULO 1.....	1
1 Introducción	1
1.1 Antecedentes de la industria de fréjol de palo a nivel nacional	1
1.2 Situación actual de la producción de fréjol de palo ecuatoriano.....	1
1.3 Definición del Problema.....	2
1.4 Justificación del proyecto	3
1.5 Objetivos	3
1.5.1 Objetivo General.....	3
1.5.2 Objetivos Específicos.....	3
1.6 Marco teórico.....	3
1.6.1 Etapas de procesamiento de fréjol de palo.....	3
1.6.2 Maquinaria	7
1.6.3 Normativas y Catálogos.....	9
CAPÍTULO 2.....	10
2 Metodología	10
2.1 Flujo de diseño, cajas negra y transparente.....	10
2.2 Diseño de forma	12
2.2.1 Parámetros de diseño.....	12

2.2.2	Requerimientos del cliente.....	13
2.2.3	Especificaciones de diseño.....	13
2.2.4	Criterios de selección.....	15
2.2.5	Alternativas de diseño.....	16
2.2.6	Selección de la mejor alternativa	21
2.2.7	Diseño de forma de la alternativa escogida	24
2.3	Diseño detallado.....	25
2.3.1	Sistema de transmisión.....	25
2.3.2	Sistema de tensión	28
2.3.3	Cálculos para banda transportadora.....	30
2.3.4	Cálculos para elevador de cangilones	32
2.3.5	Selección de componentes.....	35
2.3.6	Diseño de estructuras	36
CAPÍTULO 3.....		39
3	Resultados y análisis	39
3.1	Resultados teóricos	39
3.1.1	Banda transportadora	39
3.1.2	Elevador de cangilones.....	39
3.1.3	Sistema de tensión	41
3.1.4	Selección de componentes.....	42
3.2	Diseño de estructuras.....	50
3.2.1	Banda transportadora	50
3.2.2	Elevador inclinado de cangilones.....	54
3.3	Presupuesto de implementación	56
3.4	Diseño final de banda transportadora y elevador de cangilones.....	61
CAPÍTULO 4.....		69
4	Conclusiones y recomendaciones	69

4.1	Conclusiones.....	69
4.2	Recomendaciones.....	70

BIBLIOGRAFÍA

APÉNDICES

ABREVIATURAS

AISI	American Iron and Steel Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials
CEMA	Conveyor Equipment Manufacturers Association
ESPAC	Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
INEC	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos

SIMBOLOGÍA

ft	Pie
ft/min	Pie por minuto
ft ³ /h	Pie cúbico por hora
ha	Hectárea
Hz	Hertz
in	Pulgada
kg/h	Kilogramo por hora
kg/m	Kilogramo por metro
KW	Kilovatio
m	Metro
m/min	Metro por minuto
m/s	Metro por segundo
m/s ²	Metro por segundo al cuadrado
mm	Milímetro
mm ⁴	Milímetro a la cuarta
MPa	Megapascales
N	Newton
Nm	Newton metro
RPM	Revoluciones por minuto
TM	Toneladas métricas
ton/h	Toneladas por hora
V	Voltaje

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Recepción del fréjol de palo. [Castro,2017].....	4
Figura 1.2 Desgranado del fréjol de palo. [Guamán, Ruiz,2014].....	4
Figura 1.3 Clasificadora de granos. [Sirca Ecuador]	5
Figura 1.4 Sistema de lavado. [FAMASA]	5
Figura 1.5 Máquina de secado. [FAMASA]	6
Figura 1.6 Enlatado del fréjol de palo. [Guamán, Ruiz,2014]	6
Figura 1.7 Sellado de latas de fréjol de palo. [Guamán, Ruiz,2014].....	6
Figura 1.8 Banda de cadenas. [RShaboral].....	7
Figura 1.9 Banda plana. [DirectIndustry]	8
Figura 1.10 Elevador de cangilones tipo contenedor. [Metalmont]	8
Figura 1.11 Banda transportadora inclinada de cangilones tipo paleta. [MadelnChina.com].....	9
Figura 2.1 Diagrama de flujo del proceso de diseño [Elaboración propia].....	10
Figura 2.2. Caja negra banda transportadora [Elaboración propia]	11
Figura 2.3. Caja transparente para banda transportadora [Elaboración propia]	11
Figura 2.4. Caja negra para elevador de cangilones [Elaboración propia]	12
Figura 2.5. Caja transparente para el elevador de cangilones [Elaboración propia].....	12
Figura 2.6 Esquema de situación actual. [Elaboración propia]	14
Figura 2.7 Esquema de situación actual del elevador. [Elaboración propia]	15
Figura 2.8 Banda transportadora implementada [Cliente]	17
Figura 2.9 Banda transportadora modular [DirectIndustry].....	18
Figura 2.10 Banda transportadora de tela con núcleo de metal. [Cotecno].....	18
Figura 2.11 Elevador de cangilones inclinado. [Elaboración propia]	19
Figura 2.12 Elevador de cangilones vertical de contenedores. [Elaboración propia].....	20
Figura 2.13 Elevador en serpentín. [Elaboración propia].....	21
Figura 2.14 Diseño conceptual de las alternativas escogidas	25
Figura 2.15. Disposición de engranajes. [Ammeraal Beltech]	26
Figura 2.16 Perfil de eje circular. [Elaboración propia]	27
Figura 2.17 Deflexión en un eje. [Elaboración propia]	28
Figura 2.18 Esquema de banda transportadora. [Elaboración propia]	31

Figura 2.19 Dimensiones de elevador inclinado de cangilones. [Elaboración propia].....	33
Figura 2.20 Esquema de banda transportadora inclinada. [Elaboración propia]	34
Figura 2.21 Cargas y apoyos en estructura de banda transportadora. [Elaboración propia en Autodesk Inventor Nastran]	37
Figura 2.22 Cargas y apoyos en estructura de elevador inclinado de cangilones. [Elaboración propia en Autodesk Inventor Nastran]	38
Figura 3.1 Tornillo tensor con tuercas seleccionadas. [Elaboración propia].....	42
Figura 3.2. Modelo 3D del engranaje seleccionado [Ammeraal Beltech]	43
Figura 3.3 Disposición de engranajes a lo largo del eje. [Elaboración propia].....	44
Figura 3.4 Chumacera Koyo de 25 mm. [Elaboración propia]	45
Figura 3.5 Chumacera tensora Koyo de 25 mm. [Elaboración propia]	45
Figura 3.6 Motorreductor seleccionado. [Elaboración propia]	47
Figura 3.7 Motor seleccionado. [WEG].....	48
Figura 3.8 Bandas y poleas seleccionadas. [Elaboración propia].....	49
Figura 3.9. Modelo del cangilón seleccionado. [Ammeraal Beltech].....	50
Figura 3.10 Análisis de esfuerzos de Von Mises de la banda transportadora. [Elaboración propia en Autodesk Inventor Nastran]	52
Figura 3.11 Análisis de esfuerzo para elevador inclinado de cangilones. [Elaboración propia en Autodesk Inventor Nastran]	55
Figura 3.12 Banda transportadora y elevador de cangilones ensamblados. [Elaboración propia].....	63
Figura 3.13. Sistema motriz y de transmisión del elevador de cangilones. [Elaboración propia].....	64
Figura 3.14. Sistema tensor de elevador de cangilones y sistema motriz de banda transportadora. [Elaboración propia]	65
Figura 3.15. Sistema de tensión de banda transportadora. [Elaboración propia]	66
Figura 3.16. Línea de procesamiento de fréjol de palo antes de las modificaciones. [Elaboración propia].....	67
Figura 3.17. Línea de procesamiento de fréjol de palo modificada con elementos diseñados. [Elaboración propia]	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Especificaciones de diseño para banda transportadora	13
Tabla 2.2 Especificaciones de diseño para elevador.....	14
Tabla 2.3 Ponderación para comparación de pares	21
Tabla 2.4 Comparación por pares de criterios de selección para la banda transportadora	22
Tabla 2.5 Comparación por pares de criterios de selección para el elevador	22
Tabla 2.6 Calificación cualitativa y cuantitativa para selección de alternativa	23
Tabla 2.7 Selección de alternativa para banda transportadora	23
Tabla 2.8 Selección de alternativa para elevador.....	24
Tabla 2.9 Dimensiones del elevador inclinado de cangilones	32
Tabla 2.10 Condiciones de simulación para las estructuras.....	37
Tabla 3.1. Resultados para la banda transportadora horizontal	39
Tabla 3.2. Resultados para el elevador inclinado de cangilones	40
Tabla 3.3 . Características técnicas del tornillo tensor calculado	41
Tabla 3.4 Características de tornillo seleccionado	42
Tabla 3.5 Engranaje seleccionado para sistema de transmisión.....	43
Tabla 3.6 Especificaciones técnicas de chumacera para eje motriz.....	44
Tabla 3.7 Especificaciones técnicas de chumacera para sistema tensor	45
Tabla 3.8 Especificaciones técnicas de motorreductor seleccionado.....	46
Tabla 3.9 Especificaciones técnicas de motor seleccionado	47
Tabla 3.10 Especificaciones técnicas de banda seleccionada.	48
Tabla 3.11 Especificaciones técnicas de polea motriz seleccionada.....	49
Tabla 3.12. Especificaciones técnicas de polea impulsada seleccionada	49
Tabla 3.13 Especificaciones técnicas de cangilón seleccionado.....	50
Tabla 3.14 Resultados relevantes de la estructura de la banda transportadora.....	53
Tabla 3.15 Resultados relevantes de la estructura del elevador inclinado de cangilones.	56
Tabla 3.16. Presupuesto de implementación: materiales	57
Tabla 3.17. Presupuesto de implementación: servicios de mano de obra.....	58
Tabla 3.18 Equipos de trabajo y seguridad para la elaboración del proyecto	59
Tabla 3.19 Detalle de costos de importación de equipos desde China.	61

ÍNDICE DE PLANOS

PLANO C.1 Banda transportadora.

PLANO C.2 Elevador de cangilones inclinado.

PLANO C.3 Conjunto armado.

CAPÍTULO 1

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes de la industria de fréjol de palo a nivel nacional

El fréjol de palo (*Cajanus Cajan*); también conocido como gandul, chíchara o arveja, es una leguminosa de ciclo corto cultivado en zonas tropicales; siendo codiciada por el gran contenido de proteínas que posee, teniendo de 18 a 25 g por cada 100 g de producto (Jiménez, 2014). Se utiliza principalmente para la alimentación humana y de diferentes tipos de ganado, elaboración de forraje, abono, entre otros.

La planta del fréjol de palo puede ocupar un área de cosecha alrededor de 0.38 metros cuadrados y una altura aproximada de dos a tres metros. El fruto es una vaina de color verde, con 2 a 5 semillas en su interior. (Padilla, Colom, Díaz , & González , 2003).

En Ecuador, los primeros registros del cultivo del fréjol de palo en territorio nacional datan del siglo XVII y XVIII con propósitos de consumo familiar y comunitario (Galarza, Naranjo, & Falcón, 2019). En la década de los 90, la empresa privada mostraba interés en su producción a nivel industrial; surgiendo iniciativas de capacitación a los agricultores con el fin de incentivar el comercio directo entre ellos y las plantas procesadoras de la época (Bonilla, 2018). Posteriormente, aparecieron más empresas dedicadas al procesamiento de fréjol de palo en Guayas, Manabí, Imbabura y Carchi; compañías que se expandieron con el paso de los años.

En la década de los 2000, la producción de esta leguminosa continuó en ascenso, alcanzando un pico en el 2015. En este año, según resultados de la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua ESPAC (INEC, 2015), se cosecharon 26121 ha de fréjol de palo en el país, produciendo 12878 TM. A partir de entonces, la producción y comercialización ha decrecido; debido principalmente a las crisis económicas que ha atravesado el país desde el 2016.

1.2 Situación actual de la producción de fréjol de palo ecuatoriano

En el año 2019, según la encuesta ESPAC actualizada, se cosecharon 24006

ha de fréjol de palo a nivel nacional, produciendo 14743 TM (INEC, 2019). De esta cantidad, aproximadamente el 90% se destina a la exportación, siendo sus principales clientes países Centroamericanos, Estados Unidos y Suiza; mientras que el producto restante queda para consumo interno (Bonilla, 2018). En el 2020, la producción anual de fréjol de palo se ha visto reducida a 17964 ha cosechadas y 11873 TM producidas (INEC, 2021), representando una disminución del 20% en comparación con el 2019. Esta baja puede atribuirse al impacto de la crisis sanitaria del COVID-19 a nivel mundial, aunque no hay datos certeros al respecto.

A pesar de la reducción en la producción nacional del gandul en comparación con años anteriores, se produce la cantidad suficiente para poder satisfacer las necesidades del mercado. Sin embargo, aún no existen empresas suficientes en el país para procesar todo lo que se genera (Bonilla, 2018), a pesar de contar con una demanda internacional en constante crecimiento. Por consiguiente, las empresas ya establecidas no se dan abasto para cubrir la producción actual ni responder a las necesidades del mercado internacional. Esta situación ha generado una sobre oferta del producto por parte de los agricultores hacia las procesadoras, generando pérdidas económicas para aquellos que no consiguen un cliente al cual venderle su cosecha de fréjol (Bonilla, 2018).

En definitiva, a pesar de tener un gran potencial; la industria alimenticia del fréjol de palo a nivel nacional aún tiene dificultades por superar. Las empresas dedicadas a su procesamiento han estado trabajando para mejorar su situación actual, incorporando mejoras tecnológicas en sus procesos, lo que contribuirá al desarrollo de la industria en los próximos años.

1.3 Definición del Problema

En el Ecuador, la industria de procesamiento de fréjol de palo se encuentra en ascenso. Sin embargo, se presentan problemas en su crecimiento por la baja capacidad de producción que tienen las plantas existentes. Una empresa que procesa este producto tiene este problema debido al diseño actual de la banda transportadora y elevador de cangilones, mismo desde hace 20 años, incapacitándola para satisfacer la demanda del mercado, traduciéndose en pérdidas económicas. En base a este problema, se requiere realizar

modificaciones en la línea de producción para poder satisfacer la demanda del mercado. Para ello, se deben realizar todas las actividades de diseño, rediseño, y selección de los componentes que conforman la línea.

1.4 Justificación del proyecto

Debido a la falta de capacidad que se tiene para satisfacer la demanda de producción de fréjol de palo por el diseño actual de la línea; junto con sus respectivas consecuencias económicas, se necesita una propuesta de rediseño de banda transportadora y elevador de cangilones de la línea para aumentar su capacidad de producción que satisfaga la demanda actual.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

Rediseñar la banda transportadora y elevador de cangilones de la línea de procesamiento de fréjol de palo para el aumento de su producción.

1.5.2 Objetivos Específicos

1. Analizar los componentes de la línea de producción a modificar.
2. Diseñar los equipos necesarios en función de las especificaciones y características de la línea de producción de fréjol de palo.
3. Seleccionar elementos complementarios para los equipos rediseñados.
4. Realizar un presupuesto de la implementación del proyecto.

1.6 Marco teórico

1.6.1 Etapas de procesamiento de fréjol de palo

En Ecuador, la siembra de esta leguminosa comienza en los primeros meses del año en la costa: enero, febrero o marzo; y se cosecha a los 10 meses de crecimiento de la planta. Realizada la cosecha, se deposita en sacos y se envía a la fábrica procesadora, en donde pasa por diferentes etapas hasta el producto final, que se resume en las siguientes (Calderón Utreras & Montalvo Rivas, 2011):

Recepción del fréjol de palo

El proceso de recepción empieza con la llegada de los camiones desde la zona de cultivo hasta la planta procesadora (Figura. 1.1). El producto al granel es descargado en las zonas cercanas de la línea procesadora,

donde un operario se encarga de depositarlos en la desgranadora.



Figura 1.1 Recepción del fréjol de palo. [Castro,2017]

Desgranado

El fréjol de palo pasa al proceso de desgranado para que los granos sean separados de la cáscara, llevando las cáscaras y otros desechos por un ducto inferior en la parte de atrás. Por otro lado, el fréjol pasa por otro ducto hasta una banda transportadora para ser llevado a selección (Figura 1.2).



Figura 1.2 Desgranado del fréjol de palo. [Guamán, Ruiz,2014]

Selección

El fréjol de palo es sometido a un proceso de selección de acuerdo con el tamaño del grano. Esta labor es realizada por una clasificadora de granos mediante el empleo de planchas de orificios con unos diámetros establecidos (Figura 1.3).



Figura 1.3 Clasificadora de granos. [Sirca Ecuador]

Lavado

El fréjol clasificado es por el sistema de lavado mediante agua en recirculación. Con este procedimiento, se limpia rastros de suciedad al fréjol como tierra proveniente de la zona de cosecha o polvo (Figura 1.4).



Figura 1.4 Sistema de lavado. [FAMASA]

Secado

El producto luego de ser lavado es llevado a una zona de secado, esta se realiza a través de una estructura en forma de túnel que tiene orificios permitiendo el paso de aire para interactuar con el fréjol. Esto permite que el producto no tenga humedad al finalizar este proceso (Figura 1.5).



Figura 1.5 Máquina de secado. [FAMASA]

Enlatado y sellado

Finalmente, se emplea una tolva y una máquina colocando la cantidad requerida en la lata, la cual tiene información necesaria que se solicita de acuerdo con el país. Es empleada una selladora a presión para las latas de forma eficiente y ser enviadas a bodega (Figura 1.6, Figura 1.7).



Figura 1.6 Enlatado del fréjol de palo. [Guamán, Ruiz,2014]

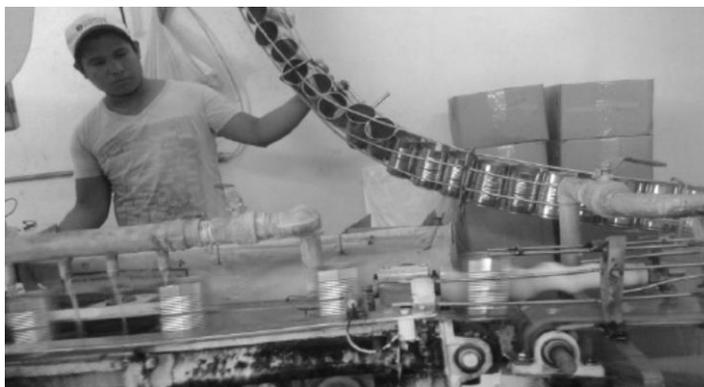


Figura 1.7 Sellado de latas de fréjol de palo. [Guamán, Ruiz,2014]

1.6.2 Maquinaria

1.6.2.1 Bandas transportadoras

Son dispositivos mecánicos empleados en la industria para trasladar un producto hasta una distancia determinada, con desplazamientos horizontales al mismo nivel (Konakalla Naga & Vaitla, 2013). Entre los diseños de bandas transportadoras, dependiendo del tipo de banda y aplicación se consideran las siguientes:

Banda de cadenas (figura 1.8): Mediante la utilización de cadenas y engranajes, disponiendo de eslabones de cadenas independientes de los eslabones aledaños. Estas bandas son utilizadas en industrias que tienen una producción masiva y constante, en la cual resulta perjudicial al proceso que las bandas se detengan.



Figura 1.8 Banda de cadenas. [RShaboral]

Banda plana (figura 1.9): Se utilizan comúnmente en la industria minera y alimenticia, donde se coloca el producto al granel sobre la banda para ser trasladado hasta su lugar de destino.

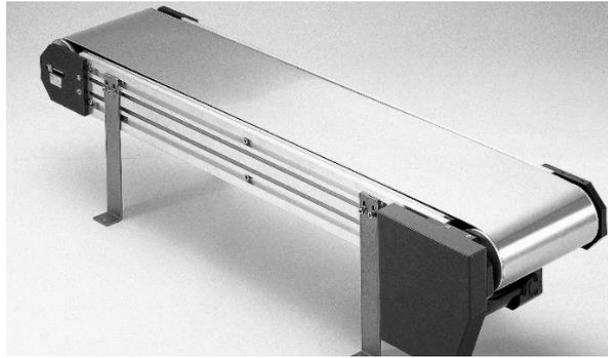


Figura 1.9 Banda plana. [DirectIndustry]

1.6.2.2 Elevadores de cangilones

Un elevador de cangilones es un dispositivo con la capacidad de elevar un producto al granel a una altura donde será procesado (Patel, Patel, & Patel, 2012). Tienen la característica de tener cangilones, son elementos añadidos a las bandas transportadoras cuando recorren tramos con pendientes altas, funcionando como contenedor a lo largo de las bandas. Este accesorio traslada un producto al granel con facilidad desde el punto de recepción hasta la entrega. Entre los distintos tipos de elevadores, existen los siguientes:

Elevador de cangilones tipo contenedor (figura 1.10): Estos elevadores son utilizados para elevar un producto al granel estrictamente de forma vertical, con el fin de no ocupar espacios horizontales. Se coloca una cubierta a este tipo de elevador para evitar que el producto desbordado se pierda.



Figura 1.10 Elevador de cangilones tipo contenedor. [Metalmont]

Elevador de cangilones tipo paleta (figura 1.11): Los elevadores de este tipo son una variación de las bandas transportadoras con bandas planas, pero entre los segmentos de las cintas, existen paletas que trasladan el material al granel. Estos suelen ser útiles cuando se dispone de un espacio de traslado tanto vertical como horizontal.



Figura 1.11 Banda transportadora inclinada de cangilones tipo paleta.
[MadelnChina.com]

1.6.3 Normativas y Catálogos

Manual de Cintas transportadoras para material al granel de CEMA (Conveyor Equipment Manufacturers Association): Manual donde se describe el procedimiento sistemático el cual debe ser seguido para poder realizar los diseños de bandas transportadoras en función del tipo de material y capacidad a transportar.

Manual de ingeniería para bandas transportadoras y elevador de cangilones de Ammeraal Beltech: Manual de diseño para bandas de cintas y cadenas para cada industria y aplicaciones.

Catálogo de rodamientos NTN Corporation: catálogo usado en el proceso de selección de rodamientos de bolas y rodillos.

CAPÍTULO 2

2 METODOLOGÍA

Para el diseño de los componentes requeridos, se inició con estableciendo las funciones de los elementos a diseñar; y luego se definieron los requerimientos del diseño, junto con los criterios de selección. En base a las funciones y requerimientos del cliente, se establecieron las alternativas de solución; y, en base a los criterios de selección, se empleó una matriz de decisión para la selección de la mejor alternativa de diseño de banda transportadora y elevador. Finalmente, se propuso el diseño de forma de la solución y se procedió al diseño detallado de cada componente.

2.1 Flujo de diseño, cajas negra y transparente

La metodología utilizada para el diseño de la banda transportadora y el elevador de cangilones se muestra resumida en el diagrama de flujo mostrado a continuación (Figura 2.1):

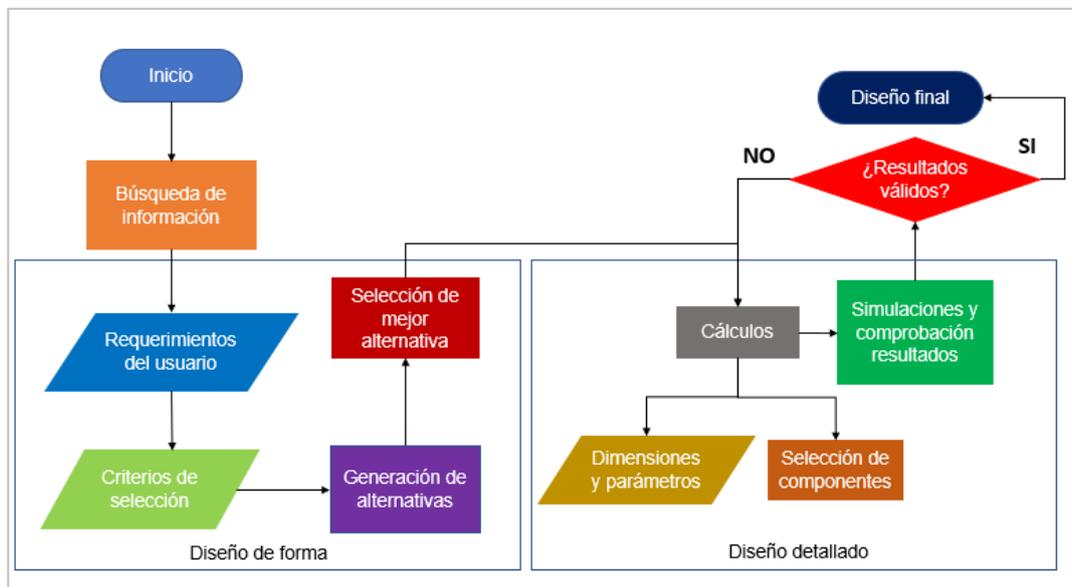


Figura 2.1 Diagrama de flujo del proceso de diseño. [Elaboración propia]

Para el establecimiento de las funciones y elementos de ambos componentes se emplearon las herramientas de caja negra y transparente. La caja negra es una representación gráfica de los componentes que serán diseñados como una “caja”; en la que se muestran los datos de entrada en el lado izquierdo, y

los datos de salida en el derecho. En la caja transparente, se muestran las funciones y procesos que ocurren en los componentes que transforman los datos de entrada en datos de salida (Dym & Little, 2002).

Para la banda transportadora; en el caso particular de este proyecto, se tiene como entrada el fréjol de palo que se descarga de las desgranadoras durante el desgranado (Véase sección 1.6.1,

Desgranado). Este fréjol se desplaza horizontalmente por la banda hasta el elevador de cangilones en la etapa de selección (Véase sección 1.6.1, Selección). En la figura 2.2 se muestra la caja negra de la banda transportadora. En la caja transparente, se describe el mecanismo de funcionamiento de la banda para trasladar el fréjol. (figura 2.3).



Figura 2.2. Caja negra banda transportadora. [Elaboración propia]

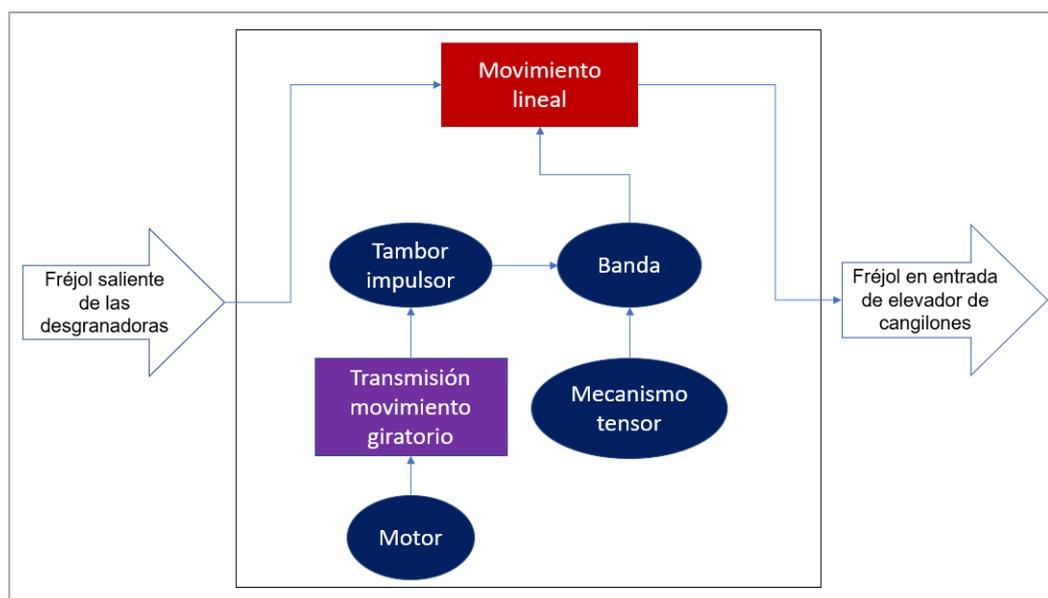


Figura 2.3. Caja transparente para banda transportadora. [Elaboración propia]

Para el elevador de cangilones, se tiene como entrada el fréjol de palo que sale de la banda transportadora al final del proceso de desgranado a nivel del suelo. A la salida del elevador, el fréjol es llevado hasta la seleccionadora, ubicada a una altura superior, al inicio del proceso de selección (Véase sección 1.6.1). En las figuras 2.4 y 2.5 se muestran las cajas negras y transparentes para este componente.



Figura 2.4. Caja negra para elevador de cangilones. [Elaboración propia]

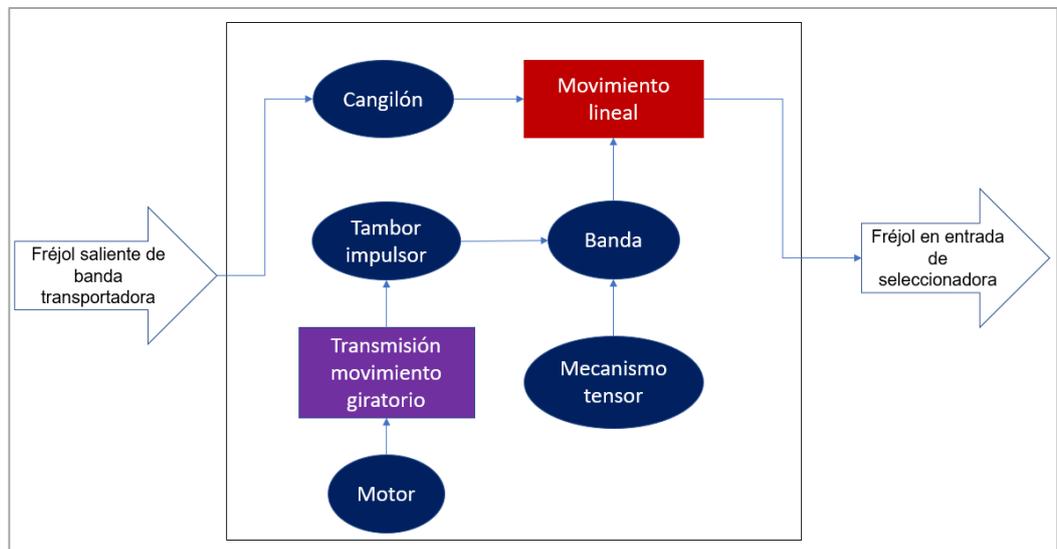


Figura 2.5. Caja transparente para el elevador de cangilones. [Elaboración propia]

2.2 Diseño de forma

2.2.1 Parámetros de diseño

Los parámetros de diseño se determinaron a partir de los requerimientos del cliente para cumplir con sus necesidades, para lo cual se siguió el proceso descrito a continuación:

2.2.2 Requerimientos del cliente

Según lo establecido por el cliente, se necesita que ambos componentes diseñados cumplan con lo siguiente:

- a) Que su implementación no sea costosa
- b) Que sea de fácil instalación, considerando el tiempo que tomará y el espacio disponible.
- c) Que no sea necesario realizar mantenimientos con demasiada frecuencia

En cuanto a los requerimientos específicos de cada componente, el cliente requiere lo siguiente:

Para la banda transportadora

- a) Que la banda pueda durar por mucho más tiempo en óptimas condiciones

Para el elevador de cangilones

- a) Que los materiales para su construcción sean de fácil acceso
- b) Que pueda adaptarse a posibles modificaciones futuras en la línea

2.2.3 Especificaciones de diseño

Los parámetros fueron determinados a partir de las necesidades del cliente y de las maquinarias involucradas con los dispositivos diseñados.

Las desgranadoras de la línea actual tienen una capacidad de 500 Kg/h cada una, existiendo hasta el momento 4 unidades. Debajo de ellas, se ubica la banda transportadora, la cual opera a una velocidad de 20 m/min (Figura 2.6). El cliente realizará un aumento de 4 desgranadoras, por lo que requiere modificar el largo y la potencia de la actual banda para satisfacer la demanda de 8 unidades (Tabla 2.1).

Tabla 2.1 Especificaciones de diseño para banda transportadora.
[Elaboración propia]

Banda transportadora		
Características	Actual	Requerido
Capacidad	2 ton/h	4 ton/h
Velocidad	20 m/min	20 m/min
Largo total	8 m	16 m

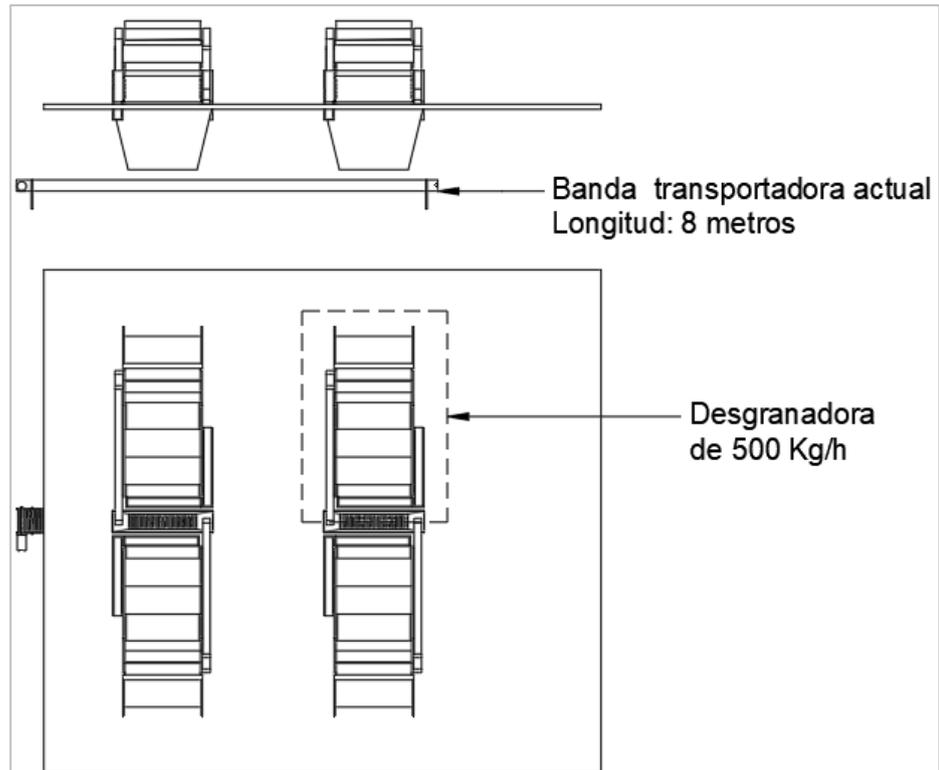


Figura 2.6 Esquema de situación actual. [Elaboración propia]

Para llevar el producto desde la salida de la banda transportadora hasta la seleccionadora, se emplea un elevador de 2 m de altura (Figura 2.7). Por los cambios en la línea, la entrada del producto de la seleccionadora será reposicionada encima de la zona de lavado a 4 metros desde el nivel de suelo, requiriendo un elevador que sea capaz de elevar los granos de fréjol a la seleccionadora (Tabla 2.2).

Tabla 2.2 Especificaciones de diseño para elevador. [Elaboración propia]

Elevador		
Características	Actual	Requerido
Capacidad	2 ton/h	4 ton/h
Velocidad	20 m/min	20 m/min
Altura	2 m	4 m
Espacio plano usado	0.5 m ²	A disposición

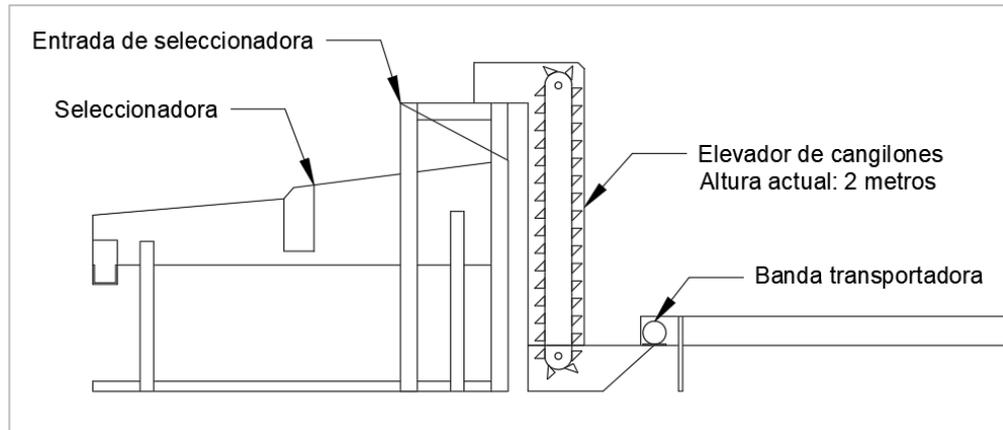


Figura 2.7 Esquema de situación actual del elevador. [Elaboración propia]

2.2.4 Criterios de selección

En base a los requerimientos del cliente antes mencionados, se definen los criterios de diseño que se tomarán en cuenta en la selección de la mejor alternativa de solución.

Los criterios de diseño que serán usados para la evaluación de ambos componentes son:

Costos de implementación: Se refiere al costo de adquisición de materiales y de mano de obra involucrada en la instalación de cada máquina.

Frecuencia de mantenimiento: Aquí se hace referencia a qué tan frecuente se necesite realizar mantenimientos no programados ocasionados por mal funcionamiento de la estructura.

Facilidad de instalación: Se refiere al grado de dificultad que implica la instalación de cada componente, tomando en cuenta el tiempo que requiere y el espacio disponible.

Además, el criterio específico que se tomará en cuenta en la selección de la banda transportadora empleada es:

Vida útil: Se refiere a si la solución es duradera o se tendrá que modificar al poco tiempo de ser implementada.

Para el elevador, los criterios específicos son:

Disponibilidad: se refiere a si los recursos para la implementación de la alternativa son de fácil acceso.

Adaptabilidad: se refiere a la facilidad que tenga la alternativa para ser

modificada en un futuro en función de los cambios que se realicen en la línea.

2.2.5 Alternativas de diseño

En base a los requisitos y los criterios establecidos, se generaron alternativas de diseño que cumplen de diferentes formas los requerimientos del cliente. Una de las alternativas se desempeñará de manera más eficiente que las otras alternativas propuestas.

2.2.5.1 Banda transportadora

La banda transportadora actual tiene 20 años de operaciones, el cual ha tenido un desempeño regular, pero en los últimos años se han aumentado los mantenimientos no programados debido a fallos. Para la ampliación se requiere una banda más larga y con una mayor potencia de la actual, por lo que se proponen las siguientes alternativas.

Alternativa #1 para banda transportadora: Alargamiento y restauración de la banda existente (Figura 2.8)

La misma banda implementada puede ser modificada a los requerimientos solicitados, es necesario implementar una estructura de soporte adicional.

Ventajas

- Económicamente viable.
- No requiere cálculos de ancho de banda.
- Se aprovecha la maquinaria ya existente.
- Tiempo de implementación de hasta dos semanas.

Desventajas

- El estado de los materiales es crítico debido al tiempo de vida de estos, tratarlos para reacondicionar tendría un alto costo y no quedarían en buen estado.

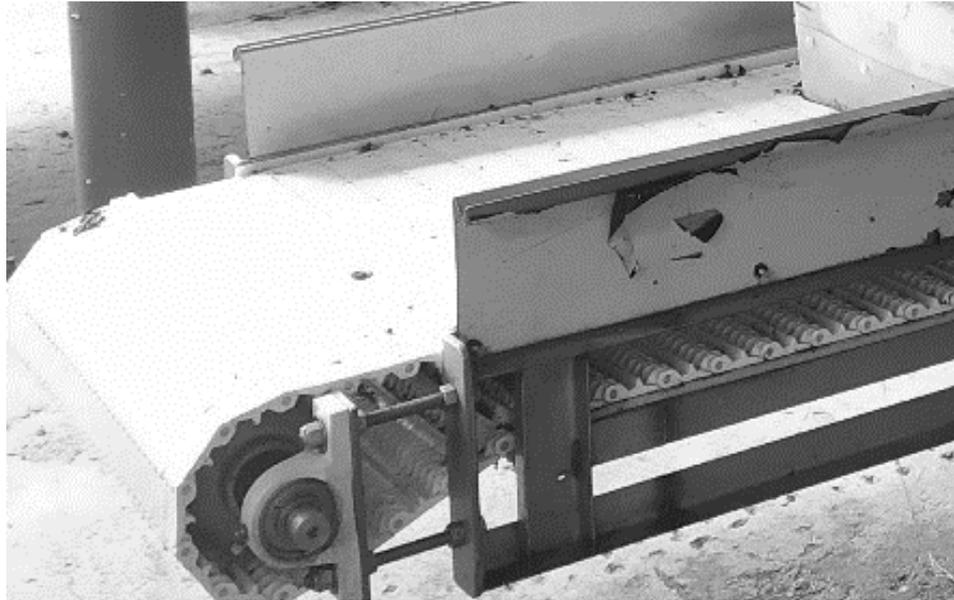


Figura 2.8 Banda transportadora implementada [Cliente]

Alternativa #2 para banda transportadora: Diseño de una nueva banda transportadora modular (Figura 2.9):

Se propone un reemplazo completo de la banda ya existente, debido a la antigüedad de esta; realizando para ello el diseño desde cero, pero del mismo tipo de la banda existente.

Ventajas

- Diseño específico para cumplir con los requerimientos de las maquinarias contiguas.
- Facilidad de mantenimientos programados que son recomendados por el fabricante.
- Estará diseñado en base a normativas.
- Facilidad de lavado con equipo de limpieza estándar.
- Facilidad de intercambio de piezas en caso de averías.
- Pueden implementarse accesorios con facilidad.
- Necesidad de una baja potencia para movilizar.
- El material de la banda es ligero.

Desventajas

- Inversión considerable para la implementación.
- Tiempo de implementación de hasta un mes.

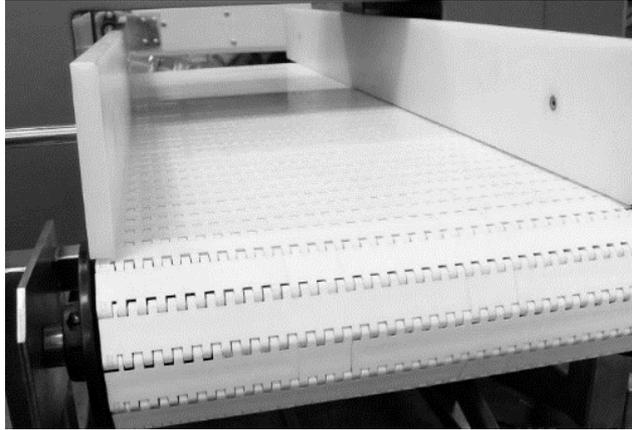


Figura 2.9 Banda transportadora modular. [DirectIndustry]

Alternativa #3 para banda transportadora: Diseño de una nueva banda de tela con núcleo de metal (Figura 2.10):

Este tipo de banda es utilizada para trabajos de grandes proporciones, tiene una alta resistencia al impacto y a la ruptura.

Ventajas

- Posee resistencia a la ruptura.
- Vida útil prolongada.
- Puede trabajar largos periodos por día.

Desventajas

- Necesidad de una estructura con mayor rigidez.
- La potencia para movilizarla es considerablemente grande.
- Dificultad para labores de mantenimiento
- La tela de la banda absorbe suciedades o bacterias con facilidad.

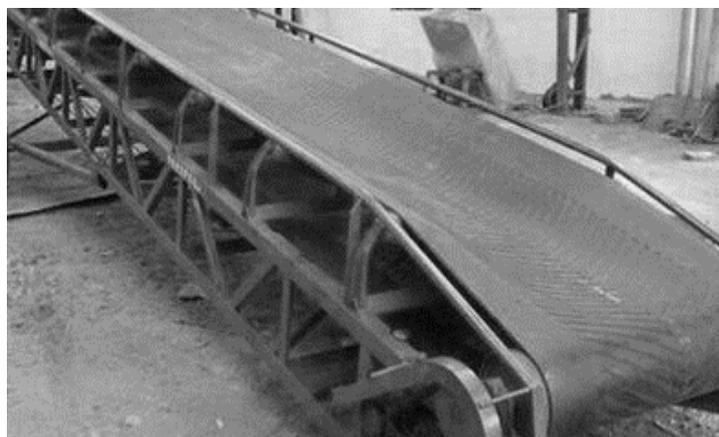


Figura 2.10 Banda transportadora de tela con núcleo de metal. [Cotecno]

2.2.5.2 Elevador

La ampliación de la zona de desgranadora provoca la reubicación del seleccionador, que sería elevado a una altura de 2 metros por encima del suelo. Por ende, se plantean las siguientes alternativas.

Alternativa #1 para elevador: Elevador de cangilones inclinado (Figura 2.11)

Esta opción da comodidades para realizar operaciones en la maquinaria y genera un espacio que puede ser aprovechado para cualquier situación.

Ventajas

- Aprovecha el espacio de forma horizontal, requiriendo menos banda transportadora.
- Fácil implementación.
- Estructura similar a una banda transportadora.
- Información técnica fácilmente accesible.
- Se pueden implementar accesorios como los cangilones.
- Facilidad de mantenimiento.

Desventajas

- No permite grandes cargas.

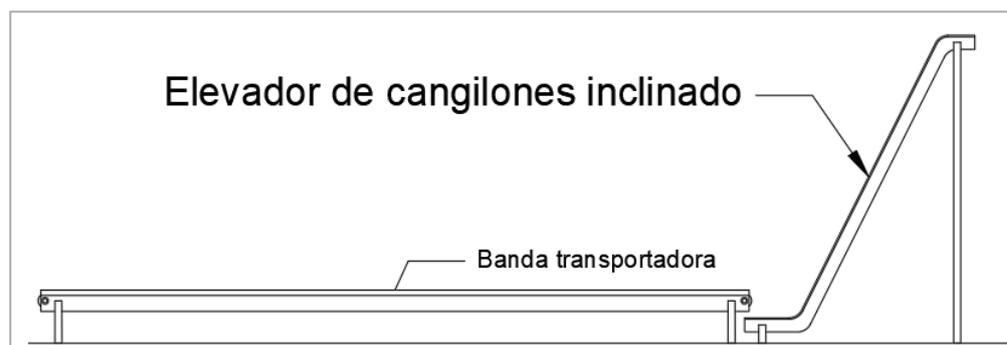


Figura 2.11 Elevador de cangilones inclinado. [Elaboración propia]

Alternativa #2 para elevador: Elevador de cangilones vertical de contenedores (Figura 2.12):

Un elevador con la capacidad de elevar un producto al granel de forma estrictamente vertical, esto se considera en espacios muy reducidos.

Ventajas

- Espacio reducido para su implementación
- Utilización de contenedores para trasladar el producto
- Modelos prediseñados en base al producto a transportar.
- Posee una cubierta que protege el producto.
- Se puede implementar para grandes alturas.

Desventajas

- Necesidad de mayor ampliación en la banda transportadora.
- Dificultad de mantenimiento.
- Estructura compleja.



Figura 2.12 Elevador de cangilones vertical de contenedores. [Elaboración propia]

Alternativa #3 para elevador: Elevador en serpentín (Figura 2.13):

Este elevador tiene la capacidad de elevar un producto a grandes alturas con una banda transportadora en forma de serpentina. Éste tiende a ocupar grandes espacios y trabajar con velocidades bajas debido a su forma en espiral.

Ventajas

- Posibilidad de movilizar grandes cargas
- Se puede implementar para grandes alturas

Desventajas

- Funciona a velocidades bajas debido a las fuerzas centrípetas
- Ocupa un gran espacio
- Estructura de soporte de gran complejidad
- Posibilidad de desplome a tierra del producto.

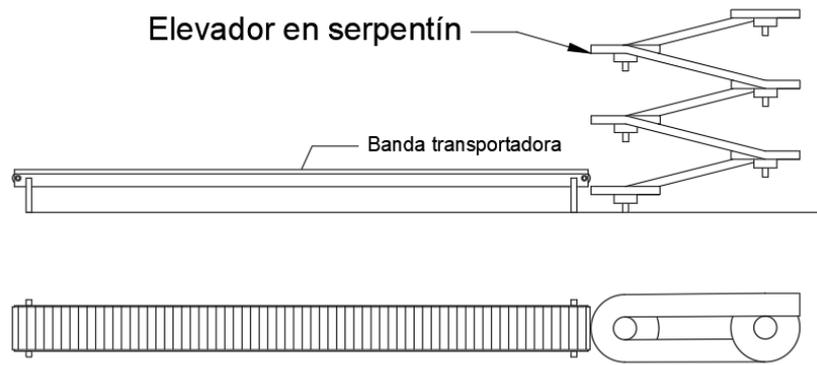


Figura 2.13 Elevador en serpentín. [Elaboración propia]

2.2.6 Selección de la mejor alternativa

El procedimiento para elegir la mejor alternativa fue realizado mediante la ponderación de los criterios de selección por comparación de pares, los cuales se calificaron de la siguiente forma (tabla 2.3).

Tabla 2.3 Ponderación para comparación de pares. [Elaboración propia]

Ponderación de pares	
Más importante que...	2
Igual de importante que...	1
Menos importante que...	0

Los criterios de selección para la banda transportadora fueron ponderados entre sí para definir cuál de los criterios tendrían una mayor valoración en el contexto planteado (Tabla 2.3).

Tabla 2.4 Comparación por pares de criterios de selección para la banda transportadora. [Elaboración propia]

	Costo de implementación	Frecuencia de mantenimiento	Facilidad de instalación	Vida útil	Total	%
Costo de implementación	1	2	2	0	5	31.25%
Frecuencia de mantenimiento	0	1	0	1	2	12.50%
Facilidad de instalación	0	2	1	0	3	18.75%
Vida útil	2	1	2	1	6	37.5%
Total					16	100.00%

Para el elevador, los criterios de selección fueron ponderados con el mismo método para determinar el grado de importancia (Tabla 2.5).

Tabla 2.5 Comparación por pares de criterios de selección para el elevador. [Elaboración propia]

	Costo de implementación	Frecuencia de mantenimiento	Facilidad de instalación	Disponibilidad de materiales	Adaptabilidad	Total	%
Costo de implementación	1	2	2	0	2	7	28%
Frecuencia de mantenimiento	0	1	0	0	0	1	4%
Facilidad de instalación	0	2	1	0	1	4	16%
Disponibilidad de materiales	2	2	2	1	2	9	36%
Adaptabilidad	0	2	1	0	1	4	16%
Total						25	100%

Establecidas las ponderaciones por cada criterio, se procedió a seleccionar la alternativa en base a los criterios tanto para la banda transportadora y el elevador. Para este proceso, se estableció un sistema de calificación de forma cualitativa y cuantitativa (tabla 2.6).

Tabla 2.6 Calificación cualitativa y cuantitativa para selección de alternativa. [Elaboración propia]

Cualitativo	Cuantitativo
Excelente	5
Bueno	4
Neutral	3
Regular	2
Malo	1

Las alternativas de la banda transportadora fueron calificadas en base a las características que presentaban con respecto a los criterios de selección ponderados (Tabla 2.7).

Tabla 2.7 Selección de alternativa para banda transportadora. [Elaboración propia]

Alternativas	%	Restauración de banda existente		Banda nueva modular		Banda nueva de tela con núcleo de metal	
		Calificación	Puntaje	Calificación	Puntaje	Calificación	Puntaje
Costo de implementación	31.25	4	1,25	3	0,9375	2	0,625
Frecuencia de mantenimiento	12.50	1	0,125	4	0,5	4	0,5
Facilidad de instalación	18.75	2	0,375	4	0,75	3	0,5625
Vida útil	37.50	2	0,75	3	1,125	4	1,5
		Total	2,5	Total	3,31	Total	3,18

Para escoger la mejor alternativa en el elevador, se realizó el mismo procedimiento de calificación en base a los criterios seleccionados para el elevador que ya fueron ponderados con anterioridad (Tabla 2.8).

Tabla 2.8 Selección de alternativa para elevador. [Elaboración propia]

Alternativas Criterios	%	Elevador de cangilones inclinado		Elevador de cangilones vertical de contenedores		Elevador de serpentín	
		Calificación	Puntaje	Calificación	Puntaje	Calificación	Puntaje
Costo de implementación	28%	4	1,12	3	0,84	3	0,84
Frecuencia de mantenimiento	4%	2	0,08	4	0,16	3	0,12
Facilidad de instalación	16%	4	0,64	3	0,48	1	0,16
Disponibilidad de materiales para construcción	36%	5	1,8	3	1,08	5	1,8
Adaptabilidad	16%	3	0,48	1	0,16	2	0,32
		Total	4,12	Total	2,72	Total	3,24

En base a los resultados obtenidos, se decidió por el diseño de una banda transportadora modular y el diseño de un elevador de cangilones inclinado.

2.2.7 Diseño de forma de la alternativa escogida

A continuación, se presenta el diseño de forma de las alternativas seleccionadas para la banda transportadora y el elevador (Figura 2.14):



Figura 2.14 Diseño conceptual de las alternativas escogidas [Elaboración propia, Autodesk Inventor 2022 versión estudiantil]

2.3 Diseño detallado

Para el diseño detallado se empezó con el dimensionamiento de ambas estructuras en base a las normativas y manuales antes mencionados (Véase sección 1.6.3), además de las especificaciones del cliente. A continuación, se describe el procedimiento para el cálculo de todos los parámetros teóricos involucrados en el diseño, selección de componentes y simulación de estructuras. Los cálculos detallados se muestran en el apéndice B.

2.3.1 Sistema de transmisión

Los componentes que forman parte del sistema de transmisión de movimiento desde el sistema motriz hasta la banda son comunes en banda transportadora y elevadores; por lo que su procedimiento de cálculo y selección es el mismo en ambos casos.

2.3.1.1 Número de engranajes impulsores

El número de engranajes que comprenderán el sistema de transmisión de potencia desde el eje motriz hasta la banda se determinó con las expresiones 2.1 y 2.2, basadas en el ancho de banda y fuerza de tensión:

$$n_{sp} \approx \frac{B}{0.1524} + 1 \quad (2.1)$$

$$n_{sp} \geq \frac{F_t}{SP_{permisible}} \quad (2.2)$$

Donde n_{sp} es el número mínimo de engranajes requeridos por la banda, $SP_{permisible}$ es la carga permisible por engranaje, cuyo valor se encuentra en el apéndice A.1; y F_t es la fuerza de tensión en la banda. En la Figura 2.15 se muestra la distribución de engranajes.

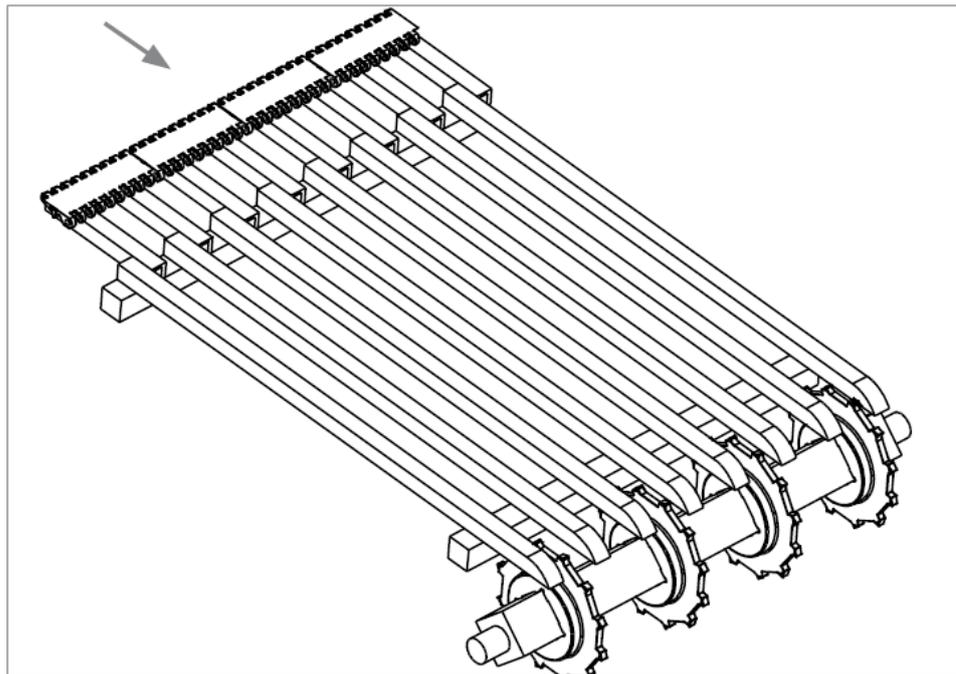


Figura 2.15. Disposición de engranajes. [Ammeraal Beltech]

2.3.1.2 Eje motriz

Los ejes de transmisión tienen definida su forma dependiendo del tipo de engranajes seleccionados, para ser acoplados adecuadamente. Con la ecuación 2.3 se determinó el diámetro del eje circular aplicando un

método iterativo, colocando diámetro, fuerza de tensión y el paso diametral de los engranajes.

$$d \geq 0.51 * \sqrt[3]{p_d * F_t} \quad (2.3)$$

Donde d es el diámetro del eje (mm), p_d es el paso diametral del engranaje (mm), dato que proporciona el apéndice A.4 y F_t es la fuerza de tensión (N). En la figura 2.16, se representa al eje circular sólido.

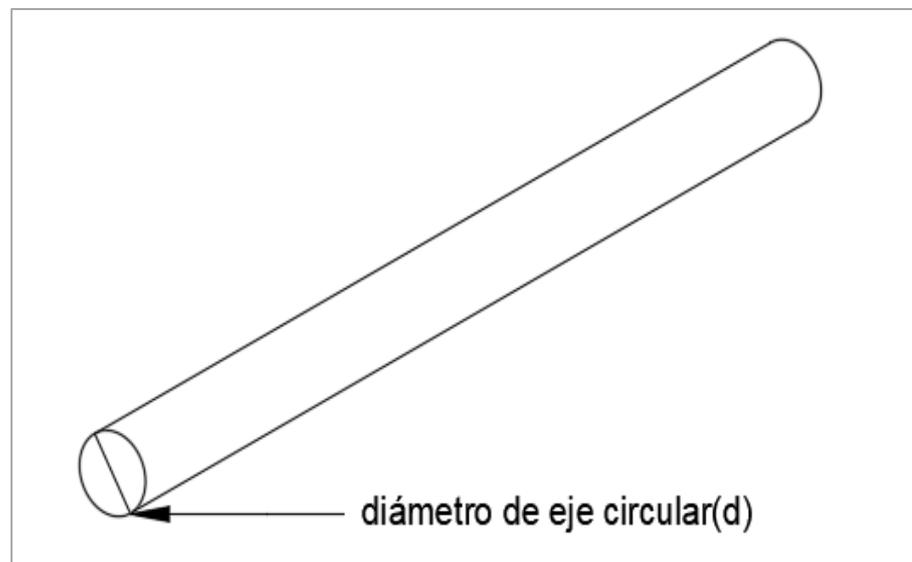


Figura 2.16 Perfil de eje circular. [Elaboración propia]

Los engranajes y la forma del eje son elegidos en conjunto debido a que el engranaje contiene un orificio por el cual el eje debe ser ajustado. El escogido se muestra en el apéndice A.4, el cual tiene un orificio de forma circular. Para la verificación de este engranaje se utilizó la ecuación 2.3.

Potencia requerida

La potencia mínima requerida para aplicar al eje en KW, se colocan valores de fuerza de tensión (F_t) en Newtons, Velocidad de la banda (m/s) y eficiencia del motor (η) que es encontrada en tablas. En la ecuación 2.4 se presenta la expresión a continuación.

$$P = \frac{F_t * V}{60000} \quad (2.4)$$

Prueba de deflexión

Esta deformación se produce en el punto más alejado de los soportes de un eje y describe la diferencia de altura entre el punto de deflexión y los soportes. Para encontrar la deflexión se debe tener en consideración el peso del eje sólido de acero inoxidable, usando para ello la expresión 2.5; que toma el peso del eje como parte de las fuerzas involucradas.

$$F_d = \sqrt{(F_t)^2 + (m_s * l_1 * C)^2} \quad (2.5)$$

Donde F_d es la fuerza equivalente a la aplicada al eje y al peso del eje (N). m_s es el valor de peso del eje (kg/m). l_1 es el largo total del eje. La deflexión se determinó por la ecuación 2.6, el cual involucra características del eje como la forma y el material.

$$u = \frac{F_d * L_s^3}{384 * E * I} \quad (2.6)$$

Donde u es el valor teórico de deflexión en el eje (mm). L_s es la distancia entre los soportes del eje (mm). E es el módulo de elasticidad de Young del material (N/mm^2). I es la inercia del eje (mm^4). En la figura 2.17 se muestra un esquema de la prueba.

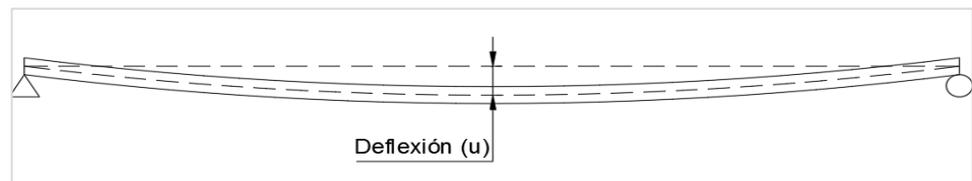


Figura 2.17 Deflexión en un eje. [Elaboración propia]

2.3.2 Sistema de tensión

El sistema de tensión empleado en la banda transportadora y el elevador fue el tornillo de potencia. El tornillo de tensión tiene el propósito de tensar la banda cuando está operando para que no presente holguras. Estos se colocan junto a los rodamientos y tienen la capacidad de fijar una distancia utilizando un tornillo y una tuerca.

Para el dimensionamiento del tornillo se siguieron los siguientes pasos:

- a) Definir la carga que debe ser soportada por el tornillo, el cual es la mitad de la fuerza de tensión.
- b) Hallar el esfuerzo axial con la fuerza definida y el área de esfuerzo.
- c) Con el esfuerzo encontrado y el esfuerzo de fluencia, hallar el factor de seguridad aplicado al caso.
- d) Utilizando expresiones matemáticas descritas en el apéndice B, hallar el torque en el tornillo y el esfuerzo cortante en el tornillo, para finalmente definir la altura mínima de la tuerca a utilizar.

Para hallar todos los parámetros involucrados se usaron las siguientes expresiones:

El cálculo del esfuerzo de tensión y el factor de seguridad se realizaron con las expresiones 2.7 y 2.8:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2.7)$$

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma} \quad (2.8)$$

En donde P representa la carga de tensión del tornillo en N; A el área transversal del tornillo en m^2 ; S_y el esfuerzo de fluencia del material del tornillo en MPa; σ el esfuerzo de tensión en MPa, y η el factor de seguridad. Para hallar la altura mínima del tornillo h en mm ; se calculó primero el esfuerzo cortante del tornillo en función del torque con la ecuación 2.9; y finalmente se hizo un reemplazo de magnitudes en la ecuación de esfuerzo cortante considerando su definición principal de fuerza aplicada P sobre área de corte, despejando la altura mínima del tornillo, resultando así la ecuación 2.10:

$$\tau = \frac{16 \left(\frac{P \cdot d_p}{2000} \right)}{\pi d_m^3} \quad (2.9)$$

$$h = \frac{2P}{\pi \cdot d \cdot \tau} \quad (2.10)$$

Donde τ es el esfuerzo cortante en MPa; d_p (mm) el diámetro de paso del tornillo; d_m (mm) el diámetro menor del tornillo de potencia y d el diámetro mayor.

2.3.3 Cálculos para banda transportadora

2.3.3.1 Ancho de banda

El ancho de banda es un parámetro que se utiliza para el cálculo de la fuerza de tensión, así como base para elegir las características técnicas del material del cual se confeccionará.

Para hallar el ancho de la banda transportadora, se siguió el siguiente procedimiento sugerido en la norma CEMA:

- a) Establecer el ángulo de sobrecarga en base a las características del producto
- b) Establecer la densidad promedio del producto
- c) Establecer la capacidad equivalente a 100 *ft/min*
- d) Determinar el ancho de banda, en base al ángulo de sobrecarga y la capacidad equivalente

Para la determinación del ángulo de sobrecarga, densidad promedio del producto y el ancho de banda, se emplearon tablas y figuras de la normativa CEMA (Véase apéndice B.1, B.2 y B.3), cuyos parámetros dependen de las características del material transportado.

Capacidad equivalente

Para calcular la capacidad equivalente, primero se realiza una conversión de la capacidad en *ton/h* a *ft³/h*, utilizando la ecuación 2.11:

$$C_{ft^3/h} = \frac{\left(\frac{C_{ton}}{h}\right) * 2000}{\rho_{producto}} \quad (2.11)$$

En donde $C_{ton/h}$ representa la capacidad en *ton/h* y $C_{ft^3/h}$ es la capacidad en *ft³/h*.

A continuación, se procede a calcular la capacidad equivalente a 100 *ft/min*, usando la ecuación 2.8:

$$C_{eq} = C_{ft^3/h} * \frac{100}{V} \quad (2.12)$$

En donde C_{eq} es la capacidad equivalente en *ft³/h*, y V es la velocidad de la banda en *ft/min*.

2.3.3.2 Fuerza de tensión

En la ecuación 2.13 se muestra la fórmula para el cálculo de la fuerza de tensión en una banda transportadora horizontal:

$$F_t = \{[(m_p + 2m_b) * L * \mu] * B * C\} * F_{servicio} \quad (2.13)$$

Donde F_t , es la fuerza de tensión en la banda (N); m_p es el peso del producto en kg/m , determinado en función de la capacidad de las maquinarias; m_b es el peso de la banda en kg/m , que depende del material y el ancho de la banda (Apéndice A.1). L es el largo de la banda en m; μ es el coeficiente de fricción entre la banda y las guías de desgaste, que se determina con el apéndice A.2; B es el ancho de la banda en m y C es la constante de gravedad de $9.8 m/s^2$. El valor de $F_{servicio}$ es un factor de corrección debido a las condiciones de trabajo, que se encuentra en el apéndice A.3. En la figura 2.15, se observa un esquema con los parámetros mencionados.

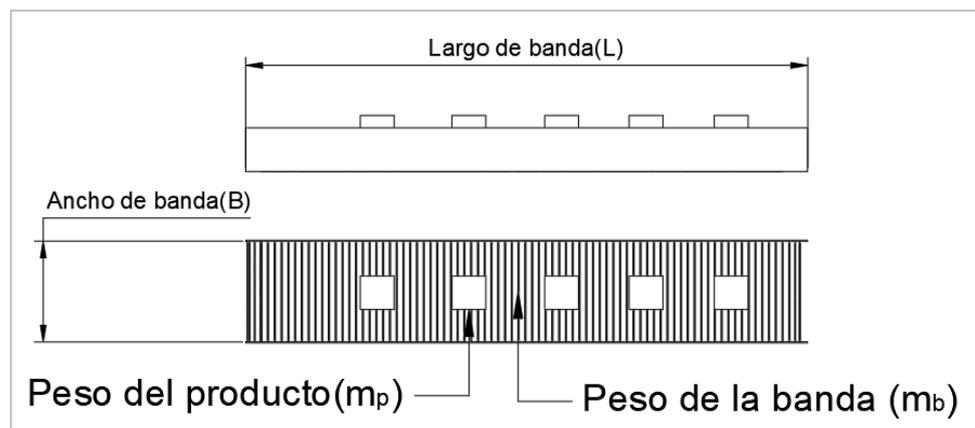


Figura 2.18 Esquema de banda transportadora. [Elaboración propia]

Para el cálculo de la fuerza de tensión, se siguieron los siguientes pasos:

- Determinar los parámetros conocidos
- Determinar el peso de la banda
- Determinar el coeficiente de fricción
- Determinar el factor de servicio
- Hallar la fuerza de tensión

Parámetros conocidos

Los parámetros conocidos corresponden a los datos de las especificaciones de diseño y otros parámetros calculados previamente. Estos valores son: largo de banda B , ancho de banda L ; constante de gravedad C ; y el peso del producto m_p , que se obtiene a partir de la capacidad de la banda en kg/h y su velocidad en m/h .

Los parámetros restantes: peso de banda m_B , coeficiente de fricción μ y factor de servicio $F_{servicio}$ se determinaron según indicaciones en el manual de Ammeraal Beltech (Véase sección 1.6.3 y Apéndice B). Finalmente, se determinó la fuerza de tensión de la banda con la ecuación 2.13.

2.3.4 Cálculos para elevador de cangilones

Las dimensiones de los tramos horizontales, longitud de la inclinación, ángulo de inclinación y el radio de curvatura fueron propuestos al cliente y en conjunto se realizaron modificaciones a estas para llegar a medidas que cumplan con los requerimientos solicitados. En la tabla 2.9 se especifican las dimensiones en milímetros.

Tabla 2.9 Dimensiones del elevador inclinado de cangilones. [Elaboración propia]

Parámetro	Dimensiones
Sección 1 (Primer tramo horizontal)	600 mm
Sección 2 (Tramo inclinado)	3700 mm
Sección 3 (Segundo tramo horizontal)	600 mm
Radio de curvatura	400 mm
Inclinación	70°

Con las medidas definidas, se pudo realizar un esquema representativo del elevador inclinado de cangilones a escala que es mostrado en la figura 2.19.

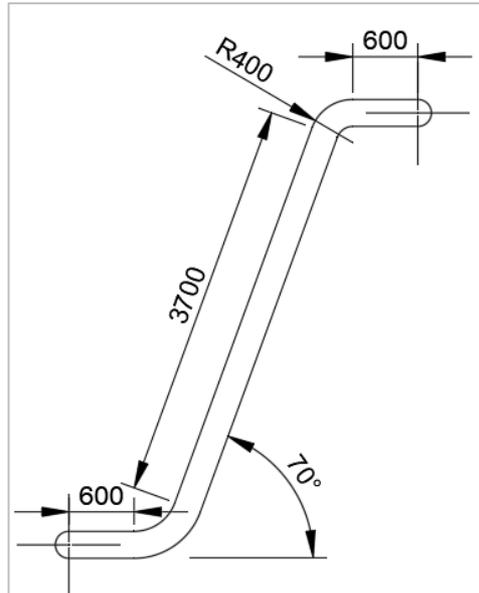


Figura 2.19 Dimensiones de elevador inclinado de cangilones. [Elaboración propia]

2.3.4.1 Ancho de banda

El elevador inclinado de cangilones comparte parámetros como capacidad y velocidad de la banda transportadora, y ya que la determinación del ancho de banda depende solamente de estas características, el procedimiento de cálculo es el mismo que para la banda horizontal.

2.3.4.2 Fuerza de tensión

Para la fuerza de tensión en una banda transportadora inclinada, se toma en consideración los parámetros mencionados en la sección 2.3.2.2 añadiendo los siguientes elementos:

- La longitud de arco (S_i), que se encuentra a partir del radio de curvatura (R_i) en metros, y el ángulo de inclinación (α) en grados sexagesimales.
- La sección de la banda inclinada (D_i), que comprende la zona recta (L_i) y la curva próxima (S_i), esto permitirá dar una expresión que facilite el cálculo de fuerza en curvas. Se la obtiene a partir de la ecuación 2.14.

$$D_i = L_i + S_i \quad (2.14)$$

En las ecuaciones 2.15, 2.16 y 2.17 muestran las fuerzas de tensión por sección, involucrando los parámetros encontrados anteriormente.

La ecuación 2.18 muestra la fuerza de tensión total:

$$F_1 = (2m_B + m_p) * D_1 * B * C * K_{inc} \quad (2.15)$$

$$F_2 = [F_1 + m_p * (\mu \cos(\alpha) + \sin(\alpha)) * C * D_2 * B] * K_{inc} \quad (2.16)$$

$$F_3 = [F_2 + (2m_B + m_p) * \mu * L_3 * C] \quad (2.17)$$

$$F_t = F_3 * F_{servicio} \quad (2.18)$$

Donde F_1 , F_2 y F_3 hacen referencia a la fuerza de tensión por sección. El factor de corrección K_{inc} , en las ecuaciones de F_1 y F_2 , se utiliza debido a la presencia de curvas el elevador, se encuentra a partir de la fricción μ y el ángulo de inclinación del elevador con el apéndice A.5. El coeficiente de fricción μ es determinado con la tabla en el apéndice A.2 que depende del material de la banda y el material de las guías de desgaste. La figura 2.20 muestra un esquema de los parámetros involucrados:

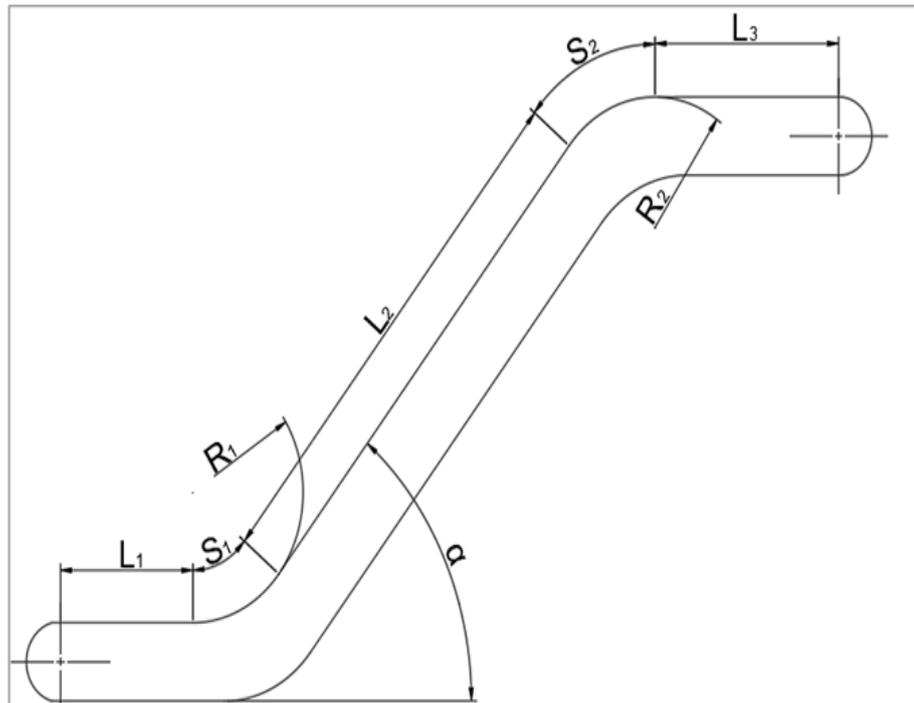


Figura 2.20 Esquema de banda transportadora inclinada. [Elaboración propia]

Para el cálculo del peso de la banda, peso del producto y factor de servicio se emplearon los mismos procedimientos que en la sección 2.3.2.

Factor de corrección de inclinación

Este parámetro realiza una corrección debido a los efectos de curvaturas para el elevador inclinado. Para su cálculo se recurrió a la tabla mostrada en el apéndice A.5, en donde se requieren los datos de ángulo de inclinación de la banda y coeficiente de fricción entre la banda y las guías de desgaste.

2.3.5 Selección de componentes

2.3.5.1 Rodamientos

Para la selección de rodamientos se siguió el procedimiento que se sugiere en el catálogo de NTN Corporation:

- a) Determinar el tipo de fuerza al que estará sometido el rodamiento. En este caso, los rodamientos están sometidos a una fuerza radial, el cual va a ser la mitad de la fuerza de tensión.
- b) Determinar la carga equivalente dinámica, en donde se deben incluir parámetros como las horas de vida útil para banda transportadora que está entre $[4-12] \times 10^3$ horas y el número de revoluciones por minuto del rodamiento.
- c) Escoger en el catálogo de rodamientos, en la columna de Carga equivalente dinámico (ver Apéndice B.6), el rodamiento con carga equivalente menor que la hallada en el literal b.
- d) Seleccionado el rodamiento, hallar el valor de carga equivalente estática y verificar que sea mayor a 2 por recomendación del fabricante.

Las expresiones matemáticas involucradas en el proceso se muestran en el apéndice B.

2.3.5.2 Cangilones

Para la selección de cangilones del elevador inclinado se consultó con el cliente la altura que requiere, para hallar luego la distancia entre cangilones según recomendaciones del fabricante Ammeral Beltech.

2.3.5.3 Sistema motriz

Motorreductor

El motorreductor se seleccionó con la ayuda del catálogo de WEG, el cual requiere de dos parámetros, el torque y las revoluciones por minuto; hallados sobre la base de datos como el diámetro de paso de los engranajes, velocidad de la banda y fuerza de tensión.

Motor

El motor fue seleccionado en base a los datos de entrada necesarios que indica el motorreductor como la potencia nominal del motor y el número de revoluciones por minuto nominal. Se seleccionó un motor de la empresa WEG para que éste sea compatible con el motorreductor.

2.3.6 Diseño de estructuras

Para el diseño de la estructura se utilizó el software Autodesk Inventor 2022 Versión estudiantil, en el cual se realizó el boceto lineal de las estructuras de la banda transportadora y del elevador inclinado. Utilizando el complemento Autodesk Inventor Nastran, se realizó el procedimiento para establecer las condiciones de simulación. Definiendo el material utilizado, las dimensiones de los perfiles utilizados, las dimensiones del mallado y las cargas distribuidas que son el resultado de la suma del peso de la banda por metro (m_B), el peso del producto por metro (m_p) y el peso de las planchas utilizadas como guías de desgaste. Las cargas del peso de la banda y de las planchas como guías de desgaste son fuerzas permanentes, mientras que el peso del producto se considera una doble capa del producto y únicamente en la zona superior tanto de la banda como del elevador. Los resultados entregados de la simulación serán el esfuerzo de Von Mises, los factores de seguridad de la estructura y las deflexiones existentes. En la tabla 2.10 se indican las condiciones de simulación a las cuales fueron sometidos las estructuras.

Tabla 2.10 Condiciones de simulación para las estructuras. [Elaboración propia]

Parámetro	Estructura	
	Banda transportadora	Elevador inclinado de cangilones
Material	ASTM A36	ASTM A36
Dimensiones (mm)	40x40	40x40
Espesor del perfil (mm)	2	2
Tamaño de secciones (mm)	20	20
Carga total en zona superior (Flechas en rojo) (N)	2700	1000
Carga total en zona inferior (Flechas en verde) (N)	1650	600

En las figuras 2.21 y 2.22 se presentan las estructuras diseñadas con las condiciones establecidas en la tabla 2.10, donde se puede observar las restricciones en los apoyos, las cargas establecidas, y el mallado de la estructura. En este tipo de simulación, el software considera que los elementos están soldados adecuadamente. En el análisis de deflexión de banda transportadora no debe exceder un valor específico que se determina con la ecuación 2.19.

$$Deflexión\ máxima\ permitida = \frac{Distancia\ entre\ apoyos}{500} \quad (2.19)$$

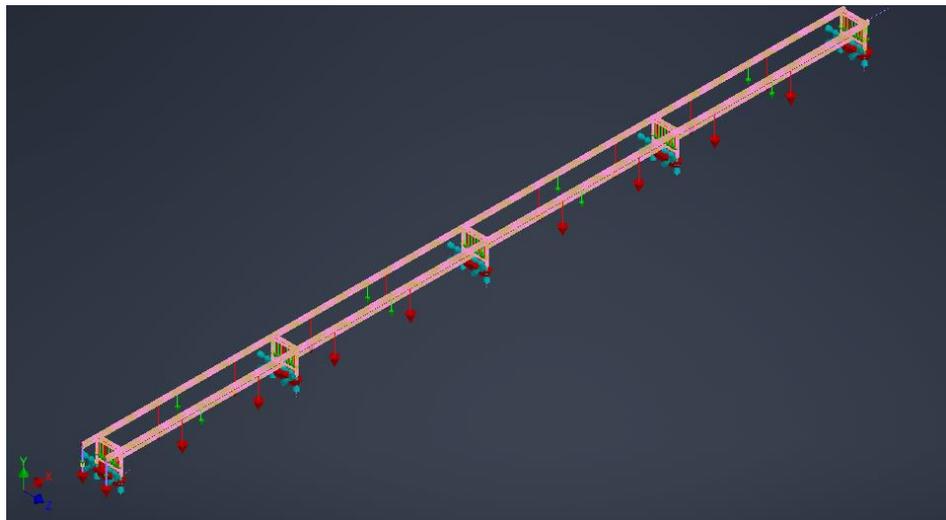


Figura 2.21 Cargas y apoyos en estructura de banda transportadora. [Elaboración propia en Autodesk Inventor Nastran]

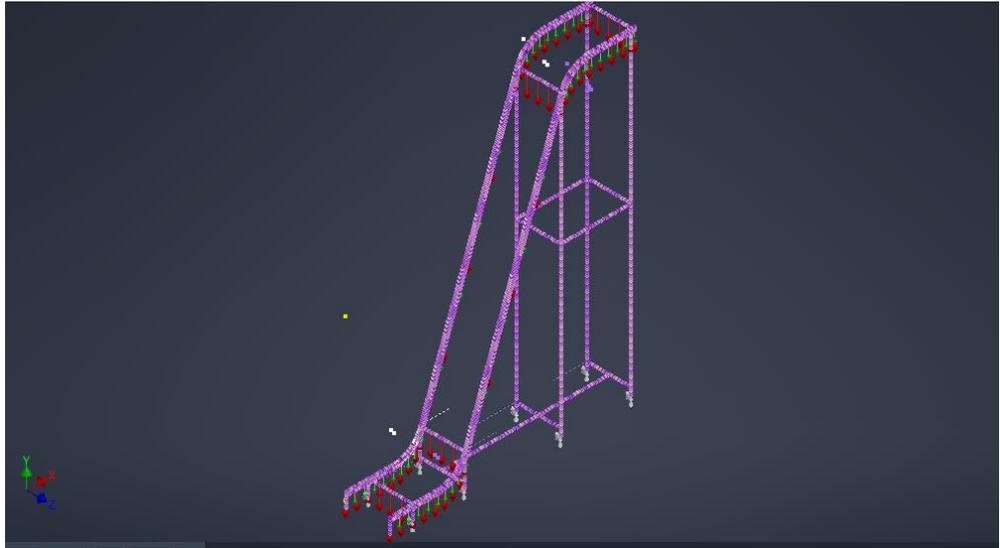


Figura 2.22 Cargas y apoyos en estructura de elevador inclinado de cangilones. [Elaboración propia en Autodesk Inventor Nastran]

CAPÍTULO 3

3 RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Resultados teóricos

3.1.1 Banda transportadora

A continuación, se muestra un resumen con los resultados más relevantes de los cálculos teóricos para la banda transportadora horizontal, así como características técnicas del material de banda seleccionado y dimensiones del eje de la banda (Tabla 3.1):

Tabla 3.1. Resultados para la banda transportadora horizontal. [Elaboración propia]

Parámetro	Resultado
Material de la banda	Polipropileno (PP)
Código de banda	UNI CNB C (Closed)
Ancho de banda B	18 in/ 457.2 mm
Diámetro de eje circular	25 mm
Material del eje	Acero inoxidable
Fuerza de tensión F_t	181.11 N
Largo total del eje	600 mm
Deflexión del eje	0.10 mm

Los valores de ancho de banda y diámetro de eje que se muestran; han sido redondeados a los valores comerciales disponibles en el mercado local para poder realizar el respectivo análisis de costos.

Los planos correspondientes a los componentes de la banda transportadora horizontal se encuentran en el Apéndice C.1.

3.1.2 Elevador de cangilones

Los resultados teóricos para el elevador inclinado de cangilones guardan mucha similitud con los calculados para la banda transportadora horizontal. Esto se debe principalmente a que el cálculo de parámetros como el ancho de banda, y la elección del material; dependen únicamente de

características del material transportado, capacidad y velocidad de la banda. Tanto la banda horizontal como el elevador transportan el mismo producto (fréjol de palo), además de poseer la misma capacidad y velocidad (Véase tabla 2.1); por lo que, en primera instancia, se esperaría que el ancho de banda sea el mismo para el elevador. Sin embargo, al tomar en consideración la instalación de los cangilones a lo largo del elevador, es necesario considerar la adición de guías de desgaste a ambos lados del cangilón, que requieren de un ancho de banda ligeramente mayor al calculado teóricamente.

En cuanto a las dimensiones y características del eje; su similitud con las dimensiones de la banda horizontal se debe a que la diferencia en la fuerza de tensión calculada para la banda y el elevador (diferencia del 48% aproximadamente) se volvió despreciable al momento de seleccionar el engranaje, escoger el diámetro de eje estandarizado y de realizar la iteración correspondiente en la ecuación 2.3; ya que se tuvo que seleccionar estos elementos de acuerdo con su disponibilidad en el mercado local.

En la tabla 3.2 se muestran los resultados de cálculos teóricos y selección de material de banda, así como dimensiones del eje:

Tabla 3.2. Resultados para el elevador inclinado de cangilones. [Elaboración propia]

Parámetro	Resultado
Material de la banda	Polipropileno (PP)
Código de banda	UNI CNB C (Closed)
Ancho de banda	21 in / 533.4 mm
Diámetro de eje circular	25 mm
Material del eje	Acero inoxidable
Fuerza de tensión F_t	241.37 N
Largo total del eje	680 mm
Deflexión del eje	0.16 mm

Los planos correspondientes a los componentes del elevador inclinado de cangilones se encuentran en el Apéndice C.2. Como ya se mencionó en

párrafos anteriores, la banda transportadora y el elevador de cangilones tienen similitudes técnicas a pesar de tener diferentes dimensiones. Se realizó un proceso de selección para cada estructura por separado; encontrando que la diferencia entre los valores de la fuerza de tensión de la banda transportadora y elevador de cangilones también se volvió despreciable al momento de la selección de componentes y diseño del sistema de tensión. Por ende, el diseño del tornillo tensor y selección de componentes como engranajes, rodamientos, bandas, poleas, motorreductor y motor, tuvieron los mismos resultados; a excepción de los cangilones, cuya selección se hizo exclusivamente para el elevador. Por lo anteriormente expuesto, a partir de los resultados descritos a continuación, se muestran los elementos seleccionados con la mayor fuerza de tensión encontrada, siendo ésta la del elevador inclinado de cangilones con $F_t = 241.37 N$.

3.1.3 Sistema de tensión

En la tabla 3.3 se muestran las características técnicas del tornillo tensor calculado, así como el resultado de la altura mínima de la tuerca calculada. Dichas especificaciones también se encuentran en el apéndice A.6. Se utilizaron dos tornillos tensores para la banda transportadora y para el elevador de cangilones, respectivamente.

Tabla 3.3 . Características técnicas del tornillo tensor calculado. [Elaboración propia]

Parámetro	Resultado
Código del tornillo	1/4 "20-UNC
Diámetro mayor	1/4 in
Cuerdas por pulgadas	20
Tipo de cuerda	Gruesa
Altura mínima de tuerca	0.78 mm

Debido a la disponibilidad del mercado se seleccionó un tornillo de 1/2" 13-UNC y una tuerca con las mismas características del hilo. En la tabla 3.4 se encuentran las características del tornillo seleccionado.

Tabla 3.4 Características de tornillo seleccionado. [Elaboración propia]

Parámetro	Resultado
Código del tornillo	1/2 "13-UNC
Diámetro mayor	1/2 in
Cuerdas por pulgadas	13
Tipo de cuerda	Gruesa
Largo	140 mm

La tuerca por utilizar tiene cabeza hexagonal unificada, de diámetro interior de 1/2 in y una cabeza hexagonal de 3/4 in, que era la altura disponible en el mercado de mayor cercanía con la calculada teóricamente. Para cada sistema de tornillo de potencia se requieren de dos tuercas. El conjunto armado se presenta en la figura 3.1.



Figura 3.1 Tornillo tensor con tuercas seleccionadas. [Elaboración propia]

3.1.4 Selección de componentes

3.1.4.1 Sistema de transmisión

Engranajes

El código del engranaje escogido es el Z10 25 (Figura 3.2), mostrado en el apéndice A.4, con orificio circular para que se acople a la forma del eje diseñado. En la tabla 3.5 se resumen sus principales características.

Tabla 3.5 Engranaje seleccionado para sistema de transmisión.
[Elaboración propia]

Parámetro	Resultado
Marca	Ammeraal Beltech
Código del engranaje	Z10 25
Numero de engranajes	4
Separación de engranajes	6 in / 152.4 mm
Paso diametral	82.2 mm
Número de dientes	10

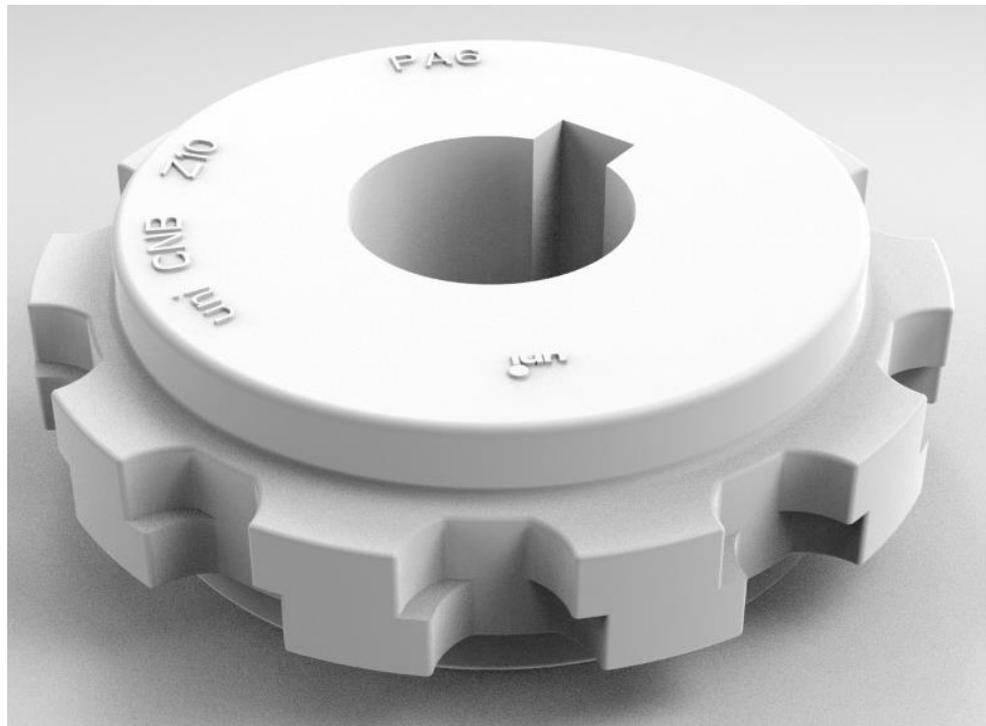


Figura 3.2. Modelo 3D del engranaje seleccionado [Ammeraal Beltech]

Como se puede observar en la figura 3.3, los dos engranajes exteriores sólo poseen un grado de libertad (rotacional), restringiendo su desplazamiento a lo largo del eje mediante la adición de una pieza metálica (pieza de bloqueo) cuadrada de 5/16" y espesor de 2.5 mm sobre el chavetero. Esta pieza está sujeta al eje con un tornillo ciego de llave Allen de 5 mm de diámetro. Mientras que, los dos engranajes centrales restantes poseen dos grados de libertad: rotacional y

traslacional; ya que éstos se pueden desplazar a lo largo del eje de transmisión.

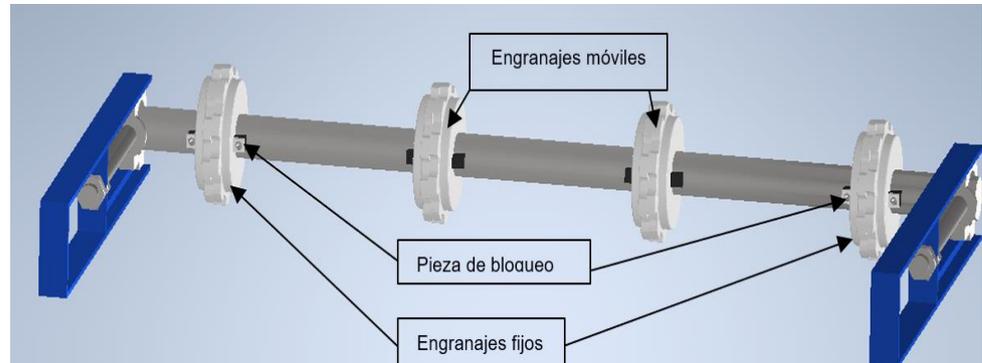


Figura 3.3 Disposición de engranajes a lo largo del eje. [Elaboración propia]

Rodamientos

Los rodamientos son seleccionados con el objetivo de ofrecer soporte al eje diseñado, por lo que se emplearon dos de ellos; uno a cada lado del eje impulsor. Como la carga aplicada al rodamiento es de tipo radial, se seleccionaron rodamientos rígidos de bolas abiertos. Las características del rodamiento seleccionado según el proceso empleado del fabricante NTN Corporation, se detallan en el apéndice A.7.

Debido que en el mercado local se encuentran disponibles rodamientos acoplados a chumaceras directamente, se escogieron chumaceras de la marca Koyo, con rodamientos que cumplen los requerimientos de este proyecto. En la tabla 3.6 se ven las características de la chumacera para el eje motriz, mientras que en la Figura 3.4 se observa una representación gráfica de la chumacera.

Tabla 3.6 Especificaciones técnicas de chumacera para eje motriz. [Elaboración propia]

Parámetro	Resultado
Marca	Koyo
Código de chumacera	UCP205
Diámetro interno	25 mm

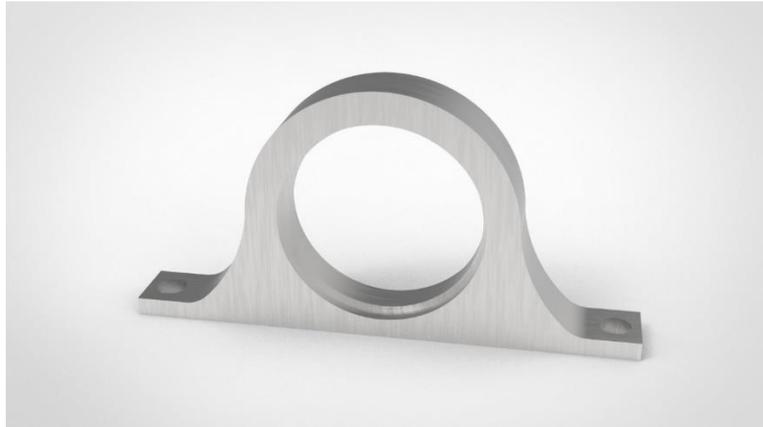


Figura 3.4 Chumacera Koyo de 25 mm. [Elaboración propia]

La chumacera del sistema tensor también debe tener las características encontradas por los cálculos de rodamientos, por lo cual se escogió una chumacera tensora de 25 mm de diámetro. Las especificaciones técnicas del mismo están en la tabla 3.7 y en la Figura 3.5 observa una representación gráfica de la chumacera tensora.

Tabla 3.7 Especificaciones técnicas de chumacera para sistema tensor. [Elaboración propia]

Parámetro	Resultado
Marca	Koyo
Código de chumacera	UKFC206
Diámetro interno	25 mm



Figura 3.5 Chumacera tensora Koyo de 25 mm. [Elaboración propia]

3.1.4.2 Sistema motriz

Motorreductor

Para poder reducir la velocidad de salida del motor principal a la requerida para el eje conectado a las bandas transportadoras, se buscó un motorreductor que proporcionara el torque requerido y la velocidad de salida deseada. Sin embargo, no se pudo hallar un ejemplar con la velocidad requerida en el catálogo del fabricante, por lo que se tomó la decisión de escoger un motorreductor con el torque requerido a una velocidad de salida mayor.

Para poder reducir la velocidad de salida del motorreductor al valor requerido; se tuvo que emplear bandas y poleas como mecanismo adicional, cuya selección y diseño se describen en el apéndice B. En la tabla 3.8 se muestra un resumen las especificaciones técnicas del motorreductor. Las especificaciones en detalle se encuentran en el apéndice A.8. Se realizó una representación gráfica en 3D del motorreductor en base a las dimensiones que otorga el catálogo en la Figura 3.6.

Tabla 3.8 Especificaciones técnicas de motorreductor seleccionado.
[Elaboración propia]

Parámetro	Resultado
Marca	Bonfiglioli
Entrada del motorreductor	
Potencia nominal	0.12 KW
Velocidad angular	1800 RPM
Salida del motorreductor	
Torque	10 Nm
Velocidad angular	120 RPM

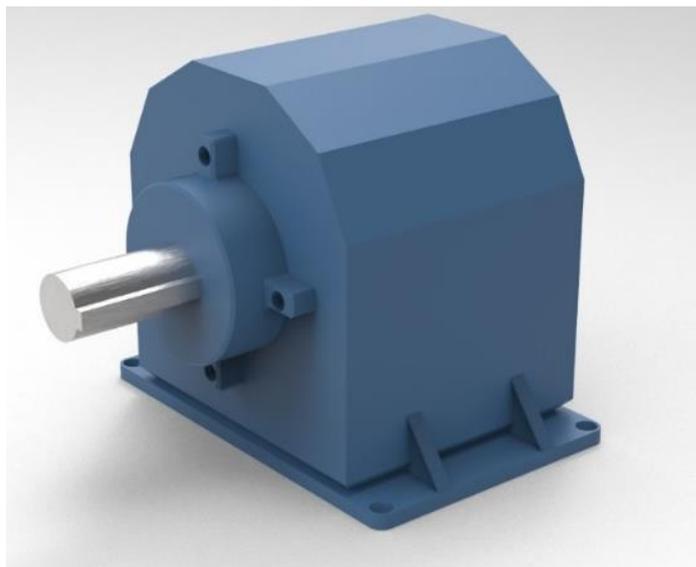


Figura 3.6 Motorreductor seleccionado. [Elaboración propia]

Motor

El motor empleado se seleccionó en conjunto con el motorreductor, del mismo fabricante; ajustándose a las características técnicas de éste.

Se tomaron en cuenta los parámetros de entrada del motorreductor (ver en Apéndice A.9, sombreado verde), los cuales indican la potencia nominal del motor y la velocidad angular en RPM, siendo 0.12 KW y 1800 RPM respectivamente. Usando el catálogo online de WEG (ver apéndice A.10) se encontró un motor que cumple los parámetros solicitados.

Código del motor: Bonfiglioli 0.12 KW a 1800RPM 220-440V 3F.

En la tabla 3.9 se resume las características relevantes y en la Figura 3.7 se presenta al motor de forma gráfica.

Tabla 3.9 Especificaciones técnicas de motor seleccionado. [Elaboración propia]

Parámetro	Resultado
Marca	Bonfiglioli
Potencia	0.12 KW
Velocidad angular	1800 RPM
Frecuencia	60 Hz
Voltaje	220 V



Figura 3.7 Motor seleccionado. [WEG]

Bandas y poleas

Como ya se mencionó anteriormente, debido a que la velocidad angular a la salida del motorreductor es mayor a la solicitada, se tuvo que corregir con bandas y poleas, que alteran las velocidades angulares dependiendo del diámetro de las poleas aplicadas. Para este apartado se utilizó el procedimiento del catálogo de bandas y poleas de Martin Sprocket & Gear, Inc, cuyos cálculos y selección realizados se describen a detalle en el Apéndice B. En el mercado local se encontraron bandas y poleas que cumplen las características calculadas y estas se las describen en las tablas 3.10, 3.11 y 3.12. En la Figura 3.8 se puede ver la representación gráfica del conjunto armado de bandas y poleas, con la separación necesaria para que la banda trabaje.

Tabla 3.10 Especificaciones técnicas de banda seleccionada. [Elaboración propia]

Banda de transmisión motriz	
Parámetro	Resultado
Marca	Mitsuboshi
Código	A-31
Tipo de banda	A
Numero de bandas	1
Longitud total de banda	31 inch.
Dimensiones	1/2 x 5/16 inch.

Tabla 3.11 Especificaciones técnicas de polea motriz seleccionada
[Elaboración propia]

Polea motriz	
Parámetro	Resultado
Marca	Tecnipolea
Código	AL3.5
Diámetro exterior	3 1/4 inch

Tabla 3.12. Especificaciones técnicas de polea impulsada seleccionada
[Elaboración propia]

Polea impulsada	
Parámetro	Resultado
Marca	Tecnipolea
Código	AL4.5
Diámetro exterior	4 1/4 inch

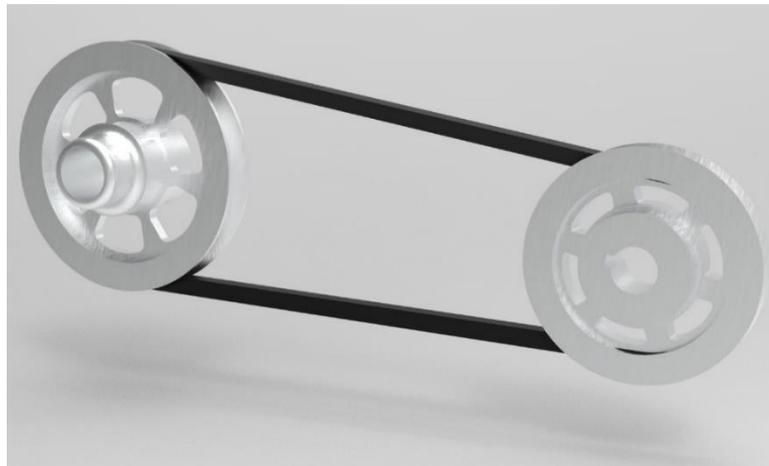


Figura 3.8 Bandas y poleas seleccionadas. [Elaboración propia]

3.1.4.3 Cangilones

Para este apartado, los cangilones se seleccionaron de acuerdo con los requerimientos del cliente, que fueron discutidos en conjunto, definiendo la forma de aletas planas que actuarán como los cangilones del elevador, recolectando el fréjol y llevándolo hasta la seleccionadora. Esta forma de cangilón fue escogida por su disponibilidad entre las opciones del fabricante, reduciendo tiempo y costos de fabricación. La altura de los

cangilones se definió en 3 pulgadas o 76.2 mm (ver apéndice A.1). Estos están separados cada 6 pulgadas, debido a que la distancia entre cangilones debe ser el doble de la altura de estos según recomendaciones del fabricante. En la tabla 3.13 se resumen sus principales dimensiones y características, y en la figura 3.9 se muestra un modelo 3D del cangilón.

Tabla 3.13 Especificaciones técnicas de cangilón seleccionado.
[Elaboración propia]

Parámetro	Resultado
Marca	Ammeraal Beltech
Altura	3 inches / 76.2 mm
Ancho de cada paleta	152 mm
Paletas necesarias para cada fila	3

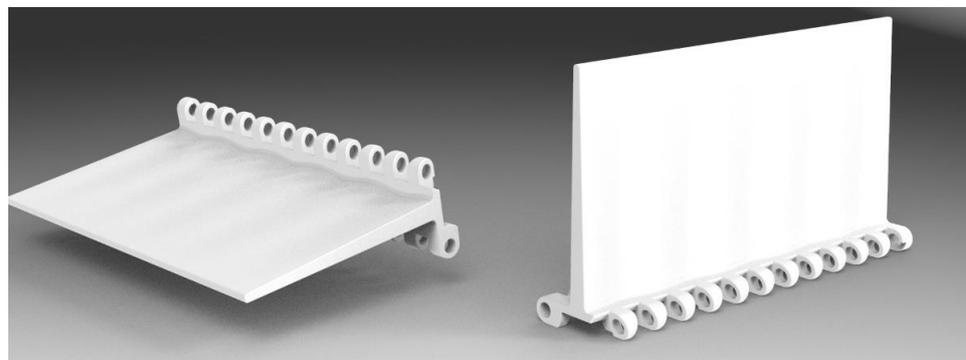


Figura 3.9. Modelo del cangilón seleccionado. [Ammeraal Beltech]

3.2 Diseño de estructuras

3.2.1 Banda transportadora

Las simulaciones para la banda transportadora dieron resultados con espectros de colores sobre la estructura analizada, este espectro permite identificar las zonas donde el parámetro analizado es mayor o menor. En el caso del análisis de esfuerzo (ver Figura 3.10) se realizaron configuraciones en la simulación para mostrar esfuerzos máximos a lo largo de toda la estructura, esto debido a que por defecto está configurado para

mostrar esfuerzos promedios. Se realizaron simulaciones con dimensiones de mallado cada vez menor, hasta llegar a un tamaño donde la variación de los resultados no tenía variaciones significativas. Los perfiles utilizados están sobredimensionados para las fuerzas utilizadas, logrando valores altos en los factores de seguridad, esto indicaría que se puede escoger un perfil de dimensiones menores y este cumpliría perfectamente, pero con un factor de seguridad más bajo.

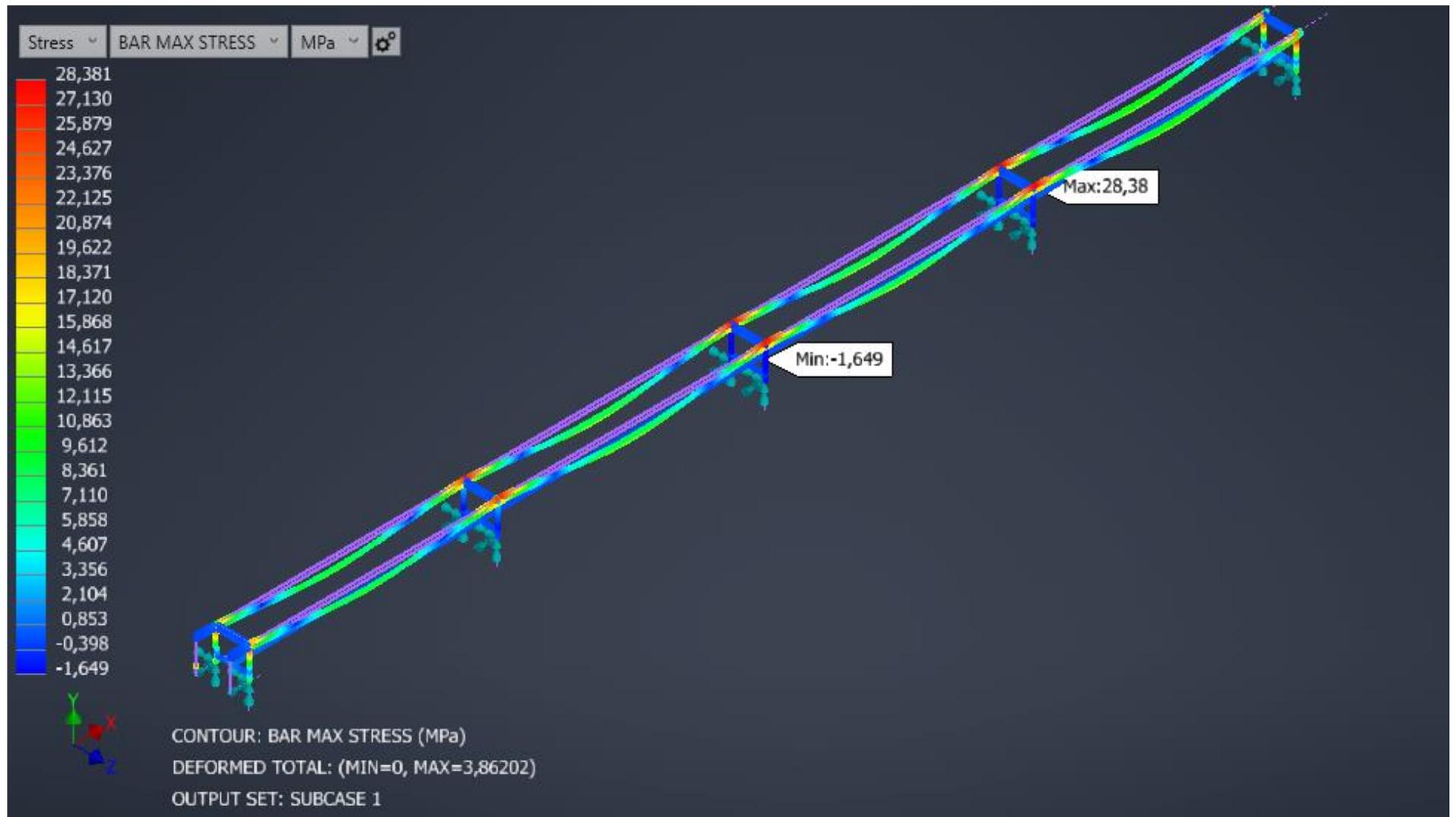


Figura 3.10 Análisis de esfuerzos de Von Mises de la banda transportadora. [Elaboración propia en Autodesk Inventor Nastran]

Resultados relevantes de la banda transportadora

Los resultados de las simulaciones de deflexión y factor de seguridad se encuentran en el apéndice B.9 y B.10 respectivamente. En el caso de la deflexión se realizó la configuración de resultados para mostrar los valores máximos, pero en el caso del factor de seguridad se realizó la configuración para mostrar los valores mínimos. Estas configuraciones permitirán realizar un análisis apropiado de los resultados. Los resultados de importancia fueron colocados en la tabla 3.14.

Tabla 3.14 Resultados relevantes de la estructura de la banda transportadora. [Elaboración propia]

Banda transportadora	
Esfuerzo de Von Mises (máx.)	28.38 MPa
Deflexión (máx.)	3.86 mm
Factor de seguridad (min)	7.8

Los resultados muestran que la estructura tiene un esfuerzo de Von Mises de 28.38 MPa y un factor de seguridad de 7.8, estos resultados indicarían que la estructura es capaz de soportar las cargas estáticas establecidas con un margen de seguridad amplio. La deflexión de 3.86 mm indica la diferencia entre la posición inicial de los perfiles sin carga con respecto a la posición cuando los perfiles tienen cargas. Utilizando la ecuación 2.19 se determina si la deflexión afectará a la estructura.

$$\text{Deflexión máxima permitida} = \frac{\text{Distancia entre apoyos}}{500} \quad (2.19)$$

$$\text{Deflexión máxima permitida} = \frac{4000 \text{ mm}}{500} = 8 \text{ mm}$$

Se verifica que la deflexión máxima obtenida en la simulación es menor que la máxima permitida obtenida por la ecuación 2.19; por lo tanto, la deflexión no afectará a la estructura.

3.2.2 Elevador inclinado de cangilones

En la simulación del elevador inclinado de cangilones se realizó un análisis similar que la banda transportadora, en donde se analizó el esfuerzo de Von Mises (ver figura 3.11), el análisis de deflexión y factor de seguridad que se encuentran en el apéndice B.11 y B.12 respectivamente.

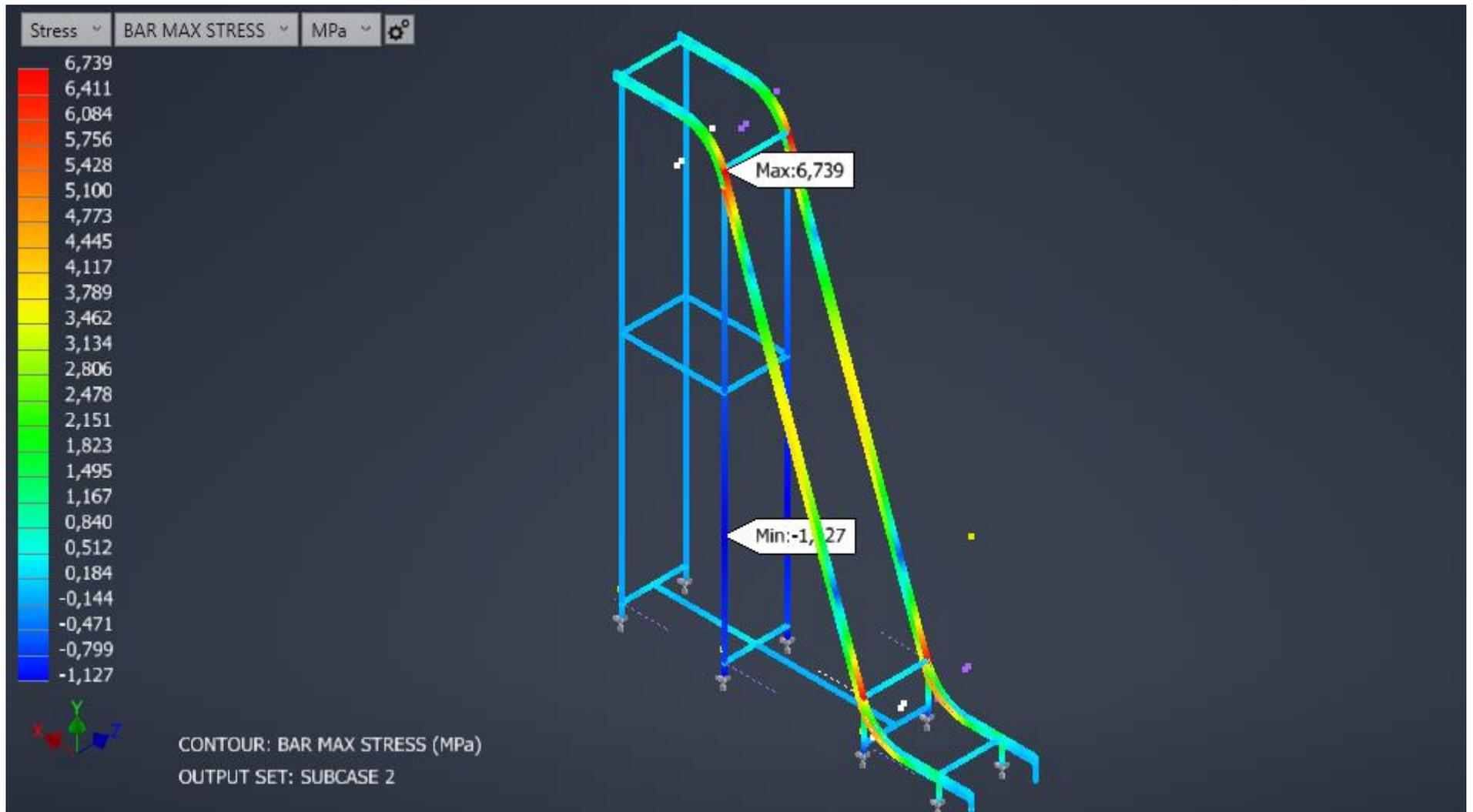


Figura 3.11 Análisis de esfuerzo para elevador inclinado de cangilones. [Elaboración propia en Autodesk Inventor Nastran]

Resumen de resultados relevantes del elevador inclinado de cangilones

Los resultados obtenidos de la simulación se presentan a continuación en la tabla 3.15

Tabla 3.15 Resultados relevantes de la estructura del elevador inclinado de cangilones. [Elaboración propia]

Elevador inclinado de cangilones	
Esfuerzo de Von Mises (máx.)	6.74 MPa
Deflexión (máx.)	1.02 mm
Factor de seguridad (min.)	29.28

Los resultados del esfuerzo de Von Mises de 6.74 MPa y el factor de seguridad de 29.28 indican que la estructura tendrá un buen desempeño con las cargas estáticas planteadas. El esfuerzo y el factor de seguridad también indican que la estructura está sobredimensionada para este caso, pero no será una problemática a futuro. Utilizando la ecuación 2.19 se calculará la deflexión máxima permitida en esta estructura, realizando el cálculo con la sección del elevador más larga de 3700 mm:

$$\begin{aligned} \text{Deflexión máxima permitida} &= \frac{\text{Distancia entre apoyos}}{500} & (2.19) \\ \text{Deflexión máxima permitida} &= \frac{3700 \text{ mm}}{500} = 7.4 \text{ mm} \end{aligned}$$

La deflexión de 1.02 mm obtenida en la simulación es mucho menor a la deflexión máxima permitida, por ende, se verifica la validez de la estructura diseñada.

3.3 Presupuesto de implementación

Para la elaboración del presupuesto de implementación, se consideró el costo de adquisición de materia prima, el servicio de fabricación e instalación de estructuras y complementos adicionales para la banda transportadora horizontal y el elevador de cangilones. Todos los componentes fueron seleccionados según la disponibilidad del mercado local, consultando

directamente a los diferentes proveedores. A continuación, se detallan los valores y cantidades de todos los componentes necesarios para la implementación del proyecto en las tablas 3.16, 3.17 y 3.18.

Tabla 3.16. Presupuesto de implementación: materiales. [Elaboración propia]

Materia prima y componentes				
Ítem N°	Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor Total
1	Planchas Acero Inoxidable: espesor 2.0 mm, medidas: 1.22 X 2.44 m	8	\$ 145,99	\$ 1.167,92
2	Tubo Estructural Cuadrado Negro: 40mm x 2.0 mm, Largo 6 m	19	\$ 21,15	\$ 401,85
3	Tubo Estructural Rectangular Negro: 20 x 40 x 2.0mm, largo 6 m	1	\$ 15,83	\$ 15,83
4	Polea de aluminio tipo A de 3" Marca: Tecnipolea	2	\$ 4,50	\$ 9,00
5	Polea de aluminio tipo A de 4.5" Marca: Tecnipolea	2	\$ 7,00	\$ 14,00
6	Banda de 31 pulgadas	2	\$ 3,65	\$ 7,30
7	Chumaceras de piso acero inoxidable 25 mm Marca Koyo	4	\$ 34,86	\$ 139,44
8	Chumaceras tensoras de 25 mm Marca Koyo (1/2 pulgada de tornillo)	4	\$ 37,65	\$ 150,60
9	Engranajes Z1025	16	\$ 20,00	\$ 320,00
10	Motor de 0.12 KW a 1800 RPM y Motorreductor para 120 RPM y 10 Nm	2	\$ 745,00	\$ 1.490,00
	Ejes de transmisión (Acero 1018)			
11	Eje diámetro 25 mm (600 mm de longitud)	2	\$ 9,90	\$ 19,80
12	Eje diámetro 25 mm (520 mm de longitud)	1	\$ 8,60	\$ 8,60
13	Eje diámetro 25 mm (680 mm de longitud)	1	\$ 11,22	\$ 11,22
14	1 metro de chaveta de 5/16 "	1	\$ 3,50	\$ 3,50
	Tornillo de potencia (Acero 4140)			
15	Eje de 32 mm (Materia prima)	4	\$ 5,30	\$ 21,20
	Banda transportadora (UNI CNB 18 in)			
16	32 metros de banda	32	\$ 91,38	\$ 2.924,16
	Elevador de cangilones (UNI CNB 21 in)			
17	12 metros de banda con cangilones de 3 pulgadas, separación 6 pulgadas	1	\$ 2.448,36	\$ 2.448,36
SUBTOTAL SIN IVA				\$ 9.152,78
IVA 12%				\$ 1.098,33
TOTAL				\$10.251,11

Tabla 3.17. Presupuesto de implementación: servicios de mano de obra.
 [Elaboración propia]

Servicios y mano de obra				
Ítem N°	Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor Total
1	Fresado chavetero de 5/16" 40 mm	16	\$ 2,00	\$ 32,00
2	Fresado chavetero de 5/16" 30 mm	2	\$ 1,50	\$ 3,00
3	Maquinado del tornillo 1/2" rosca cuadrada	4	\$ 25,00	\$ 100,00
4	Maquinado de tuercas 1/2" rosca cuadrada	8	\$ 5,00	\$ 40,00
5	Servicio técnico de diseño (honorario por hora de trabajo): 2 diseñadores, 4 meses de proyecto	512	\$ 12,39	\$ 6.345,10
6	Jefe de soldadura: 2 semanas	80	\$ 3,75	\$ 300,00
7	Asistente de soldadura: 2 semanas	80	\$ 3,00	\$ 240,00
8	Jefe de instalación: 1 semana	32	\$ 4,00	\$ 128,00
9	Asistente de instalación: 1 semana	32	\$ 3,25	\$ 104,00
SUBTOTAL SIN IVA				\$ 7.292,10
IVA 12%				\$ 875,05
TOTAL				\$ 8.167,15

Tabla 3.18 Equipos de trabajo y seguridad para la elaboración del proyecto.
 [Elaboración propia]

Equipos para implementación				
Ítem N°	Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor Total
1	Soldadora (Alquiler 1 mes)	1	\$ 30,00	\$ 30,00
2	Moladora (Alquiler 1 mes)	1	\$ 12,50	\$ 12,50
3	Máscara para soldar	2	\$ 5,00	\$ 10,00
4	Casco de seguridad industrial	4	\$ 9,95	\$ 39,80
5	Guantes de protección	4	\$ 8,00	\$ 32,00
6	Botas de seguridad	4	\$ 53,98	\$ 215,92
7	Gafas de seguridad	4	\$ 2,99	\$ 11,96
8	Chaleco reflectivo	4	\$ 4,75	\$ 19,00
9	Audífonos protectores	4	\$ 8,50	\$ 34,00
SUBTOTAL				\$ 405,18
IVA (12%)				\$ 48,62
TOTAL				\$ 453,80

Como se puede apreciar, los elementos que requieren de mayor inversión son las bandas modulares; las estructuras; y el sistema motriz (motorreductor y motor). El alto valor de la estructura se debe a las planchas de acero inoxidable que se cotizó para la construcción del soporte de las bandas, ya que el acero inoxidable es un material de alto valor en el mercado. En este proyecto se eligió este material ya que estará en continuo contacto con las bandas modulares, por lo que se necesita que el material sea resistente al desgaste. Además, es fácil de limpiar y resistente a la oxidación. Por lo que, a pesar de su alto valor económico, su adquisición supondrá una mayor resistencia al desgaste y facilidad de mantenimiento.

En cuanto al sistema motriz, el alto valor cotizado se debe a la marca que el

distribuidor ofreció en su propuesta, siendo una de las pocas disponibles. Finalmente, el alto valor de las bandas modulares se debe a la inclusión del servicio de ensamblaje de las bandas hasta el largo necesario, así como el ensamblaje de los cangilones en el caso del elevador.

El valor de los servicios involucrados en el proyecto incluye costos asociados a la mecanización de ciertos elementos, servicios de instalación¹ y diseño ingenieril. Para el mecanizado e instalación de las estructuras, se consultó con proveedores locales sus respectivos costos; mientras que, para la obtención de los honorarios por concepto de diseño ingenieril, se empleó el procedimiento sugerido por el Colegio de Ingenieros de Venezuela (Bueno, 2018) y recomendaciones del Colegio de Ingenieros Mecánicos del Guayas, cuyos cálculos detallados se muestran en el apéndice B (Véase sección Presupuesto del proyecto: Tarifa de servicio ingenieril).

Realizando una suma de todos los valores involucrados, el costo total de implementación del proyecto es de \$18872.06.

Para establecer una comparación, se consultó además el costo total de la importación de los equipos desde China hasta el país. La banda transportadora y el elevador se consultaron en la página web MadeinChina.com (ver apéndice A.11 y A.12), los costos de traslados y seguros fueron obtenidos de consultores especializados en la importación de productos desde China, llamados Awarecon, y los impuestos en aduanas se consultaron de la cámara de comercio de Shangai-Ecuador. En la tabla 3.19 se resumen los principales rubros encontrados:

¹ Los precios por concepto de servicio de instalación fueron consultados personalmente con un proveedor local de servicios particular.

Tabla 3.19 Detalle de costos de importación de equipos desde China.
[Elaboración propia]

Descripción	Cantidad	Costo unitario	Total
Banda transportadora telescópica de 4 secciones, hasta 18 metros	1	\$ 9.720,00	\$ 9.720,00
Elevador de cangilones de 4 metros	1	\$ 5.000,00	\$ 5.000,00
Subtotal (antes de envío)			\$ 14.720,00
Seguros para los equipos			\$ 65,00
Contenedor + Flete			\$ 1.750,00
Subtotal (antes de pasar por aduana)			\$ 16.535,00
I.V.A (12%)			\$ 1.984,20
Arancel cobrado a las mercancías (5%)			\$ 826,75
Fondo de desarrollo para la infancia (0,5%)			\$ 82,68
Impuesto de salida de divisas (5%)			\$ 826,75
Total, para salir de aduana			\$ 20.255,38
Contratación de flete hasta destino			\$ 300,00
Contratación de personal para la instalación			\$ 200,00
Equipo para implementación			\$ 453,80
Total a pagar			\$ 21.209,18

De acuerdo con los valores presentados en la tabla, y considerando los impuestos adicionales que se tendría que pagar por concepto de transporte, aranceles tributarios, costos de transporte hasta la planta donde se va a instalar el equipo, personal necesario para la instalación y el equipo para la implementación, el costo total de importación asciende a \$21.209,18; lo que supone un 12,4% más del valor total de implementación en comparación con la solución propuesta en este proyecto. El tiempo es un factor importante a tomar en consideración, ya que la implementación de la solución de este proyecto tomaría alrededor de tres semanas hasta un mes, mientras que la importación de los equipos desde China suele demorar desde cinco semanas hasta dos meses. Además, al considerar el tiempo de adquisición de repuestos entre ambas alternativas; la solución de este proyecto también representa una ventaja frente a la alternativa de importación. Esto se debe al uso de componentes disponibles en el mercado nacional en la propuesta presentada, por lo que se acorta el tiempo de obtención de repuestos y se facilitan las actividades de mantenimiento.

3.4 Diseño final de banda transportadora y elevador de cangilones.

Con los componentes seleccionados y las estructuras simuladas en Nastran, se procedió a realizar un ensamble de todos los conjuntos, para darle forma a la banda transportadora y el elevador de cangilones inclinado. Esto se

visualiza en las figuras 3.12, 3.13, 3.14, 3.15 y en el Apéndice C.3. Adicional, se presenta un modelo 3D de la línea de procesamiento de fréjol de palo antes de las modificaciones realizadas (figura 3.16); y de la línea modificada con la banda transportadora y elevador de cangilones diseñado (figura 3.17).

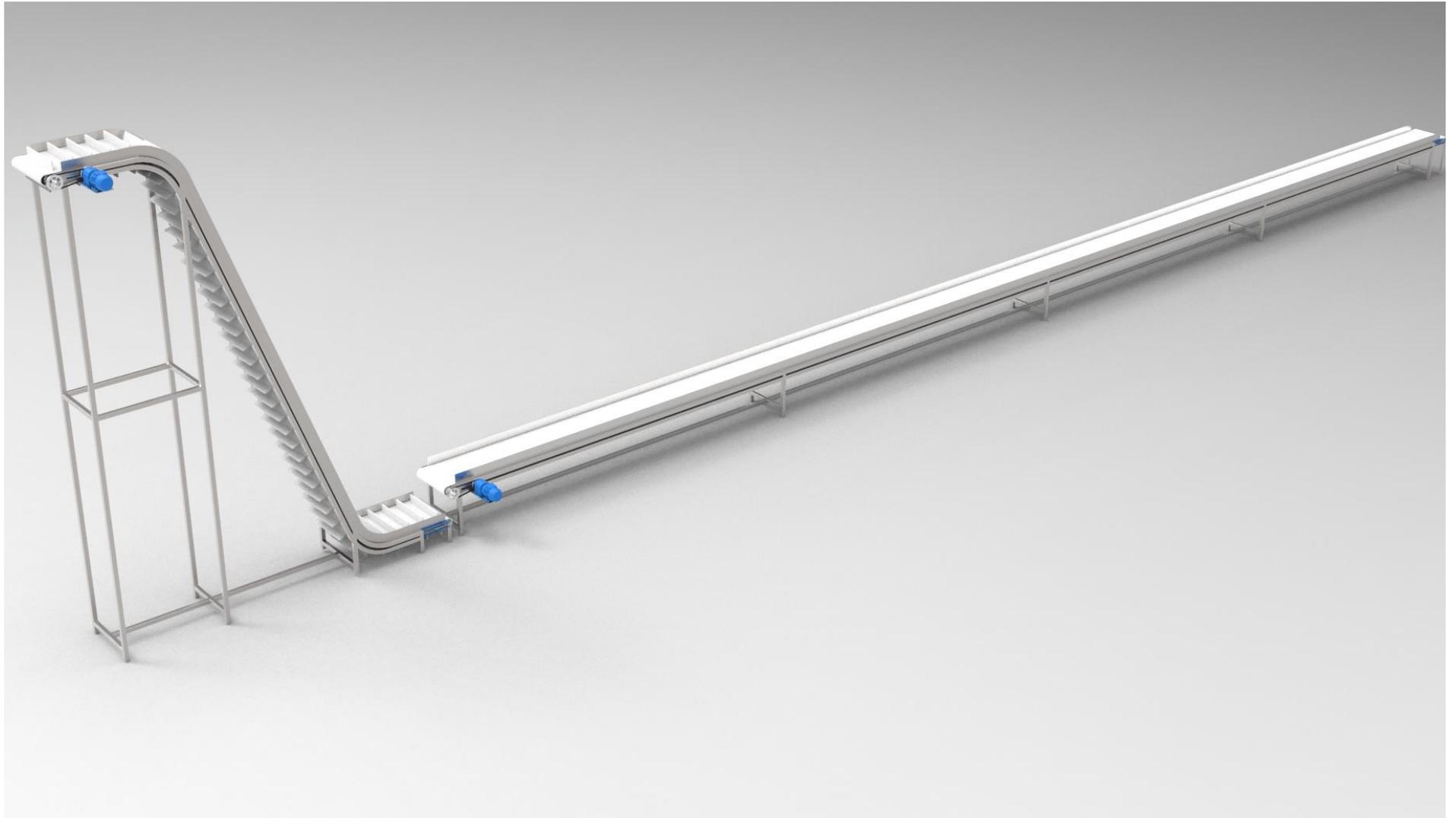


Figura 3.12 Banda transportadora y elevador de cangilones ensamblados. [Elaboración propia]

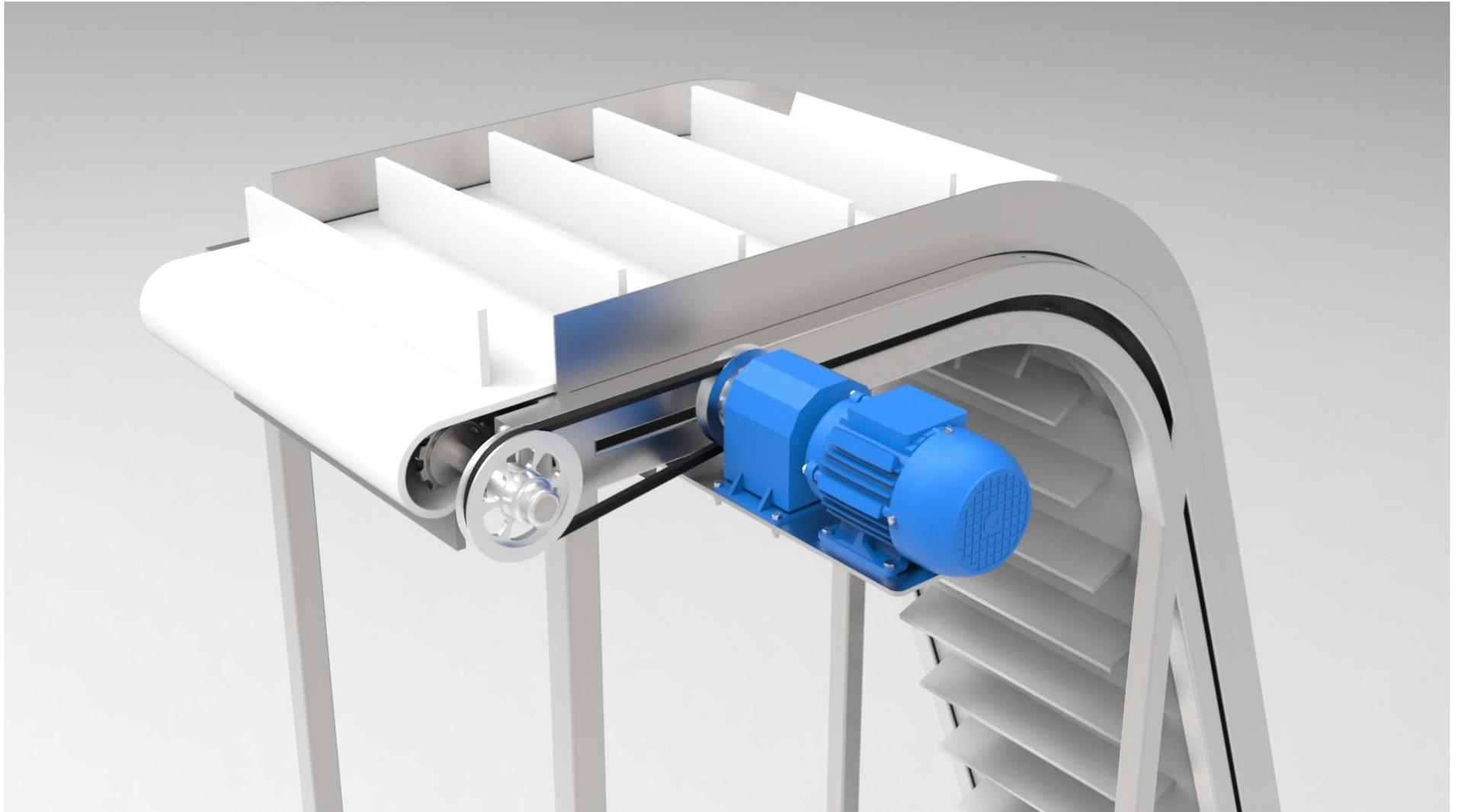


Figura 3.13. Sistema motriz y de transmisión del elevador de cangilones. [Elaboración propia]

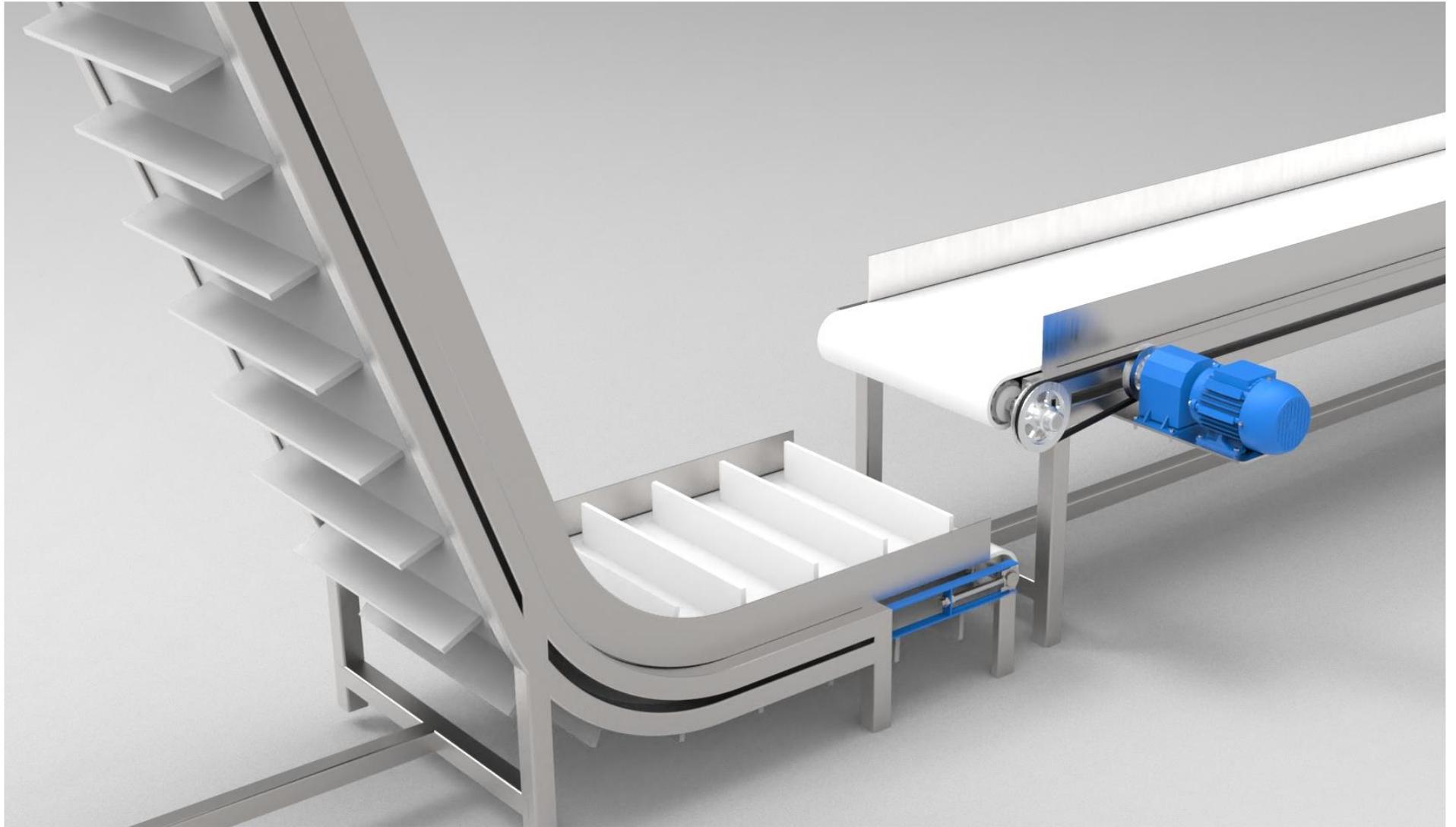


Figura 3.14. Sistema tensor de elevador de cangilones y sistema motriz de banda transportadora. [Elaboración propia]

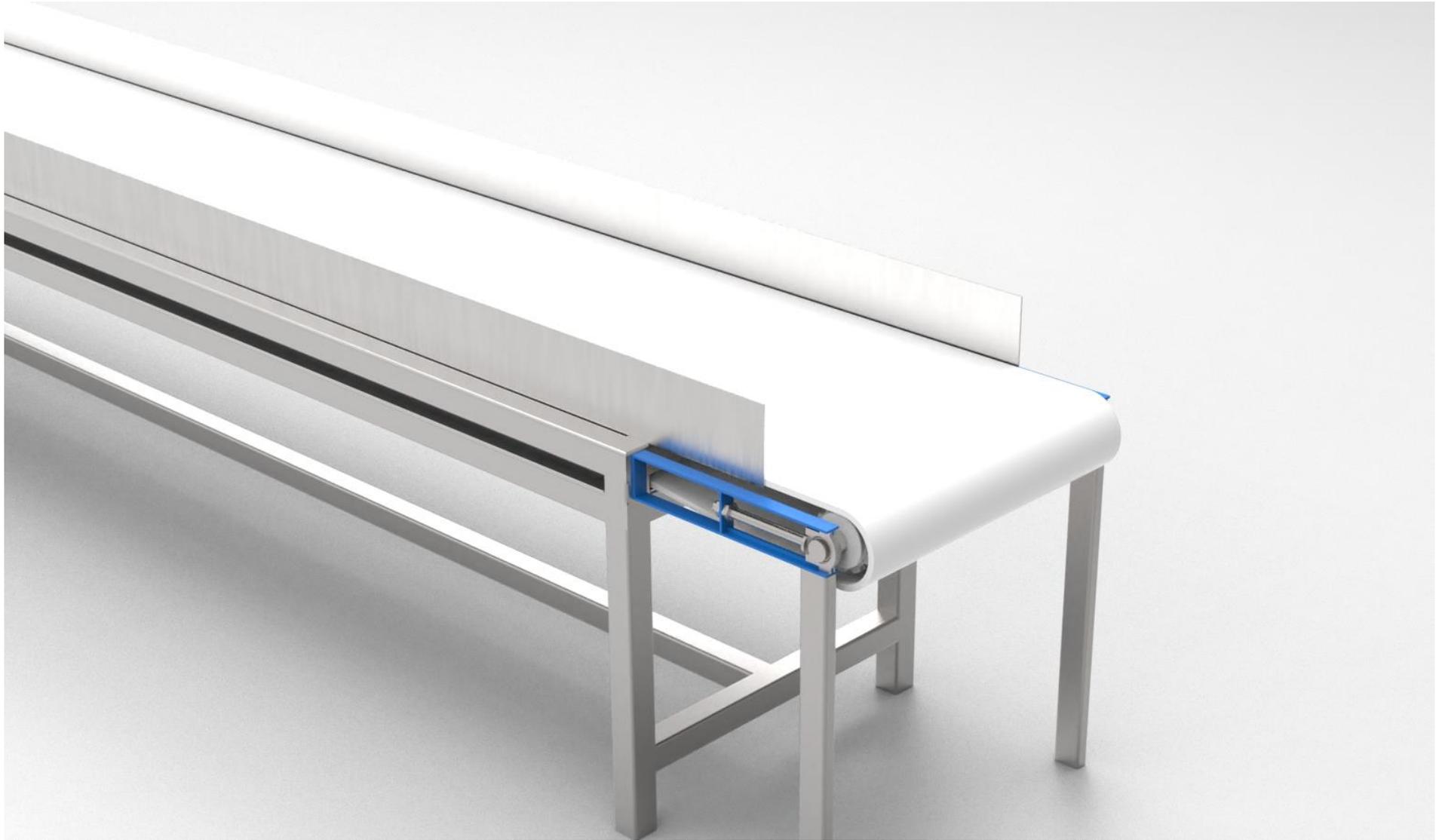


Figura 3.15. Sistema de tensión de banda transportadora. [Elaboración propia]

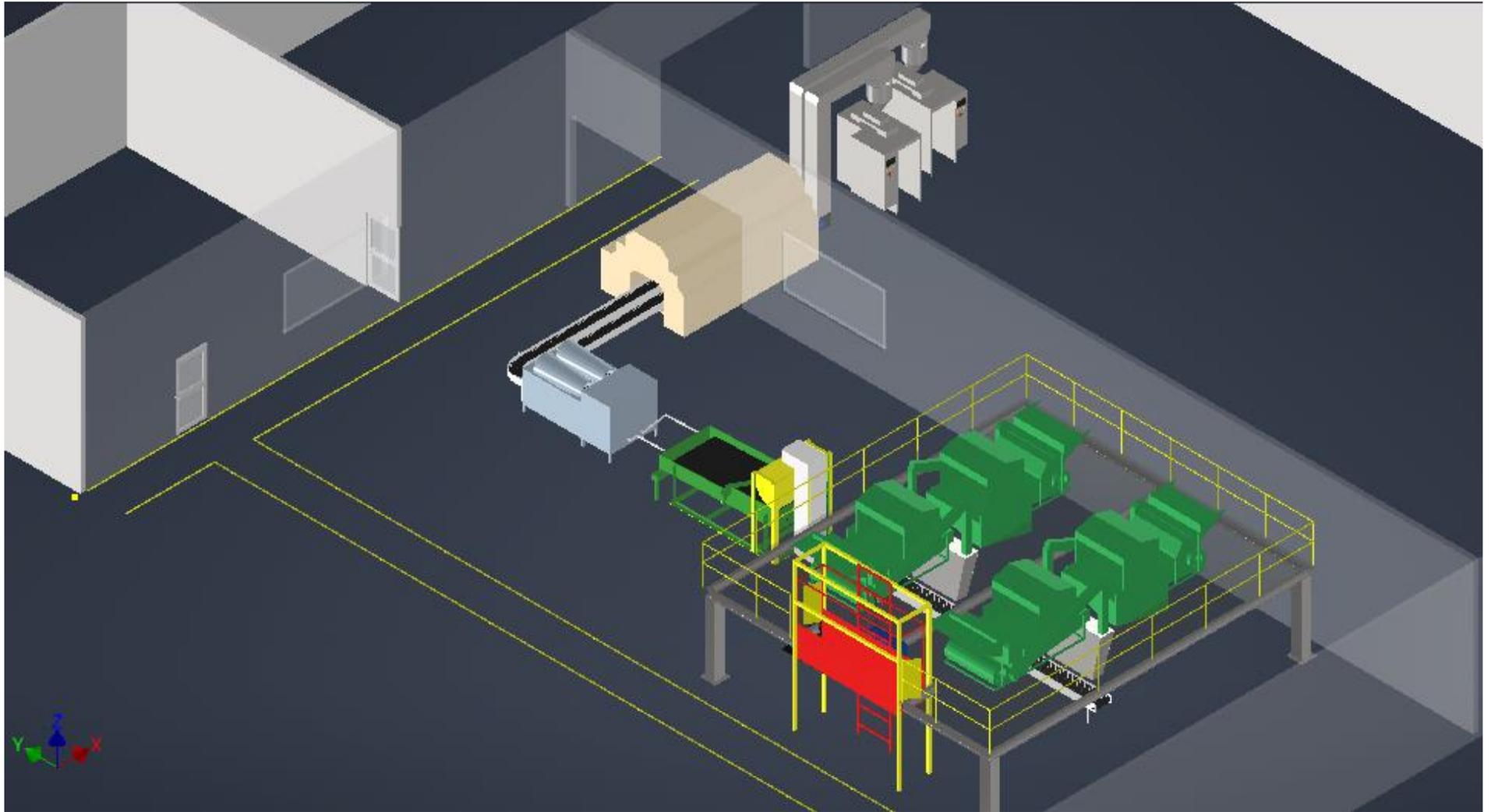


Figura 3.16. Línea de procesamiento de fréjol de palo antes de las modificaciones. [Elaboración propia]

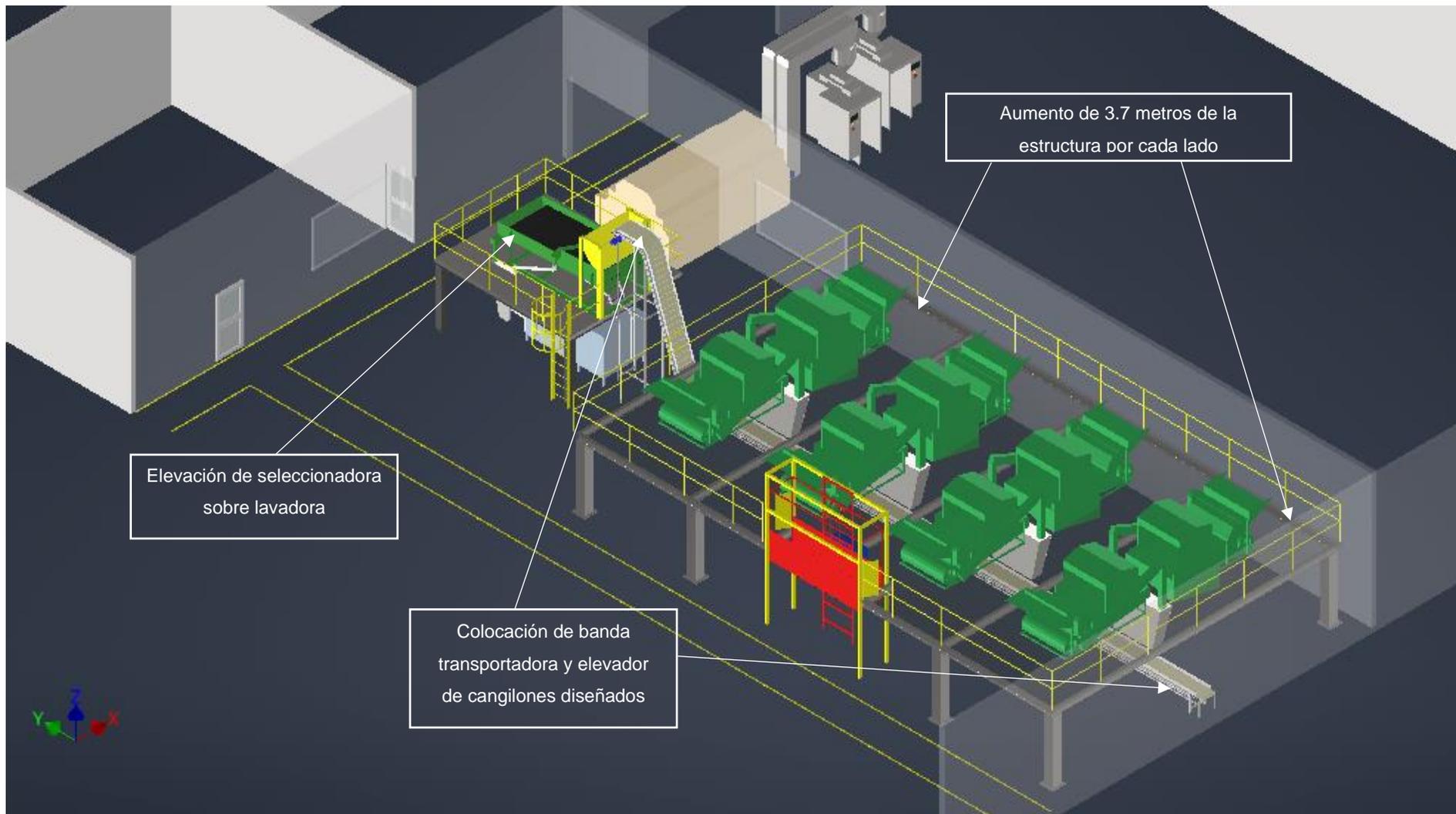


Figura 3.17. Línea de procesamiento de fréjol de palo modificada con elementos diseñados. [Elaboración propia]

CAPÍTULO 4

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- El diseño realizado para la banda transportadora en la zona de desgranado y el elevador de cangilones para la zona intermedia de desgranado y selección (véase Figura 3.12 y Figura 3.17), cumplen con el objetivo principal planteado en este proyecto de tener una mayor capacidad de producción en la línea de procesamiento de fréjol de palo, ya que logra adaptarse al requerimiento del cliente de aumentar de 2 ton/h a 4 ton/h (Véase Tabla 2.1 y Tabla 2.2), representando un aumento del 100% en su capacidad de procesamiento.
- La propuesta presentada, logra adaptarse a las condiciones de ampliación adicionando cuatro desgranadoras de 500 kg/h cada una al conjunto ya existente de cuatro unidades a la misma capacidad en la zona de desgranado; obteniendo un total de 8 desgranadoras con 500 kg/h manteniendo la misma velocidad de operación. Estas especificaciones fueron tomadas en cuenta durante el diseño detallado de ambos equipos en base a las necesidades del cliente (Véase Tabla 2.1 y Tabla 2.2).
- Como se puede observar en la sección 3.2: Diseño de estructuras (Véase Tabla 3.14 y Tabla 3.15) los altos factores de seguridad obtenidos en las simulaciones computacionales de las estructuras (siendo éstos de 7.8 para la banda transportadora y 29.28 para el elevador de cangilones) corroboran matemáticamente que el diseño no falla, asegurando su resistencia en condiciones normales de operación (Véase sección 2.2.3).
- El diseño propuesto también considera otras limitaciones físicas en la línea antes de iniciar el proyecto; ya que la solución presentada toma en cuenta el espacio designado y restringido para la zona de desgranado y selección, como se puede observar comparando las figuras 3.16 y 3.17. En estas imágenes, se puede apreciar que, el aumento de cuatro desgranadoras provoca una disminución de espacio al final de la línea en la zona de selección ya que ocupan 3.7 metros adicionales por cada dos

desgranadoras; surgiendo la necesidad de reubicar la seleccionadora a una mayor altura por encima de la lavadora. Por lo tanto, el elevador inclinado de cangilones diseñado juega un papel importante para el aprovechamiento del espacio disponible. Además, el diseño presentado del elevador permite una circulación del personal de la planta en la parte intermedia de la línea sin tener que rodear el área para llegar de un extremo a otro.

- El tiempo de implementación del proyecto es otro de los factores que la propuesta presentada tomó en consideración; ya que, como se mencionó en la sección 3.3 durante el cálculo del presupuesto y según entrevistas realizadas con diferentes especialistas en el campo; otras alternativas en el extranjero toman entre cinco semanas a dos meses en ejecutarse; mientras que el tiempo de ejecución de este proyecto es de tres semanas a un mes, siendo aproximadamente la mitad del tiempo requerido respecto a la alternativa del extranjero.
- Para el diseño de ambos componentes de la línea, se seleccionaron todos los accesorios complementarios tomando en cuenta la disponibilidad en el mercado nacional; lo que garantiza su fácil acceso y, representa un ahorro en el tiempo de implementación del proyecto; al no tener que esperar los trámites de importación en caso de elegir componentes provenientes del extranjero.
- El costo total de la implementación del proyecto a través de la propuesta de diseño expuesta representa una ventaja económica frente a otras alternativas de importación, siendo ésta de un 12.4 % menor en comparación con un proveedor extranjero (ver Tabla 3.19), como se puede observar sumando los valores totales de los rubros de las tablas 3.16, 3.17 y 3.18; en donde se detallan todos los parámetros asociados a los costos de la propuesta de este proyecto, incluyendo todos los costos asociados a servicios de instalación; diseño, fabricación; así como toda la materia prima necesaria.

4.2 Recomendaciones

- Se sugiere realizar una revisión exhaustiva a los demás componentes de la línea procesadora para detectar otras posibles modificaciones que se

necesiten realizar, debido al aumento de la capacidad de producción. Dos de los componentes sugeridos son la lavadora y secadora de granos, los cuales no fueron sometidos a desplazamientos en el plano, elevaciones o modificaciones en sus dimensiones; por lo que, pueden ser reubicados o rediseñados para que se adapten a la nueva capacidad de producción de la línea.

- Se recomienda realizar una revisión más detallada de los costos asociados con el servicio de ingeniería por parte del departamento administrativo de la planta procesadora, a fin de incluir otros rubros que consideren pertinentes durante el cálculo de la tarifa de servicio ingenieril y que se excluyeron en este proyecto al no considerarlos relevantes; tales como: gastos asociados al personal administrativo directo e indirecto del proyecto (que dependen de la estructura organizacional de la empresa), gastos de insumos de oficina y hardware de la empresa.
- Se sugiere considerar los salarios mensuales reales del personal involucrado en el desarrollo del proyecto para el cálculo de la tarifa de servicio ingenieril; ya que en este trabajo se tomó como referencia los valores de los salarios mínimos sectoriales otorgados por el Ministerio del Trabajo del 2019 (Véase Apéndice B, sección Presupuesto del proyecto: Tarifa de servicio ingenieril, Salario básico mensual por hora). De esta manera, los ingenieros del proyecto obtendrán una mayor ganancia por el servicio de diseño, acorde a sus condiciones laborales reales.
- Se recomienda realizar una investigación más profunda en el mercado nacional para encontrar un motorreductor y un motor con las características deseadas a un precio menor (Véase Tabla 3.16. Presupuesto de implementación: materiales); debido a dos razones principales: la opción presentada es de un proveedor que importa equipos desde el continente europeo, por lo que su precio se incrementa notablemente; y además, la poca existencia de estos equipos con las características deseadas resultará en una especulación de los precios por parte de los distribuidores.
- Se sugiere realizar una simulación de otras fuerzas externas, como fuerzas dinámicas de vibración en la estructura, eventos sísmicos y pruebas de impacto, ya que en el análisis computacional realizado solo se

tienen en consideración las fuerzas estáticas conocidas como el peso al cual la estructura estaría sometida, que incluye el peso de la banda, las planchas de acero inoxidable y el producto colocado en la banda. Por lo que, desarrollar un análisis dinámico daría una mejor visión de cómo la banda transportadora y el elevador de cangilones se desempeñarían en el ambiente al cual serán sometidos.

- Se recomienda modificar las dimensiones de los perfiles usados en las simulaciones ejecutadas con el software Autodesk Inventor Nastran; ajustando a perfiles cuadrados o rectangulares de menor tamaño, manteniendo factores de seguridad aceptables y resultando en la obtención de perfiles con menor costo en el mercado, disminuyendo los valores de implementación.
- Se sugiere realizar una tabla de amortización de costos, teniendo en cuenta todas las variables como la inversión total del proyecto, los ingresos anuales debido a las ventas del fréjol de palo, tasas anuales de los intereses del préstamo realizado al banco, salario del personal y gastos fijos. Esto dará conocer el tiempo necesario para pagar la deuda generada con la inversión en el proyecto y que las ampliaciones realizadas comiencen a generar ganancias para la empresa.
- Se recomienda considerar la adición de una tolva en la parte inferior del elevador de cangilones, así como la validación del diseño del mismo por el personal de mantenimiento. De esta forma, se facilitarían sus actividades en el proceso de desmontaje de la estructura. Considerar, además, que para incluir la tolva en el conjunto armado, se debe seguir el respectivo proceso de diseño para este elemento, tomando en cuenta la influencia del flujo del producto en las presiones del fondo y paredes del mismo.
- Se sugiere colocar láminas de teflón debajo de la banda transportadora horizontal en las secciones donde existe un mayor riesgo de contacto entre la banda y la estructura de soporte, debido al pandeo de la banda. Esto evitará el desgaste tanto de la estructura como de la banda debido al constante rozamiento entre ambas partes. Se debe considerar que este material adicional implicaría un aumento en los costos de materiales e instalación de la banda transportadora.

BIBLIOGRAFÍA

- Ammeral Beltech. (2020). Engineering Manual. *Innovative Belt & Chain Solutions for every industry & application.*
- Bonilla, M. (2018). *Estudio de factibilidad para la creación de una planta procesadora de fréjol gandul en el cantón Ventanas.* Guayaquil. Obtenido de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/11665/1/T-UCSG-POS-MAE-194.pdf>
- Bueno, J. (2018). *Cálculo de tarifa horaria por servicios profesionales.* Colegio de Ingenieros de Venezuela. Obtenido de https://www.distribuidora3hp.com/Biblioteca/MATERIAL_DE_APOYO/BASES_T EORICAS/TEORIA%20CALCULO%20TARIFA%20POR%20HONORARIOS%20 PROFESIONALES.pdf
- Calderón Utreras, D. F., & Montalvo Rivas, M. I. (Octubre de 2011). *Estudio de factibilidad para la creación de una empresa dedicada a la producción y exportación de gandul o frejol de palo congelado hacia el mercado estadounidense.* Obtenido de Universidad Internacional del Ecuador: <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/85/4/T-UIDE-0872.pdf>
- Cámara de comercio Ecuador-Shangai China. (2016). Obtenido de <https://camaraecuadorshanghai.com/como-importar-de-china-a-ecuador/>
- Campoverde, N., & Salazar, G. (2018). *Estudio y plan de difusión del fréjol gandul (Cajanus cajan) y sus propuestas en aplicaciones culinarias.* Universidad de Guayaquil, Guayaquil. Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/35920/1/CAMPOVERDE%20CRUZ%20-%20SALAZAR%20REYES%20TESIS%20ESTUDIO%20Y%20DIFUSION%20D EL.pdf>
- Colegio de Ingenieros Mecánicos del Guayas. (1998). *Reglamento de aranceles y honorarios profesionales para la ingeniería mecánica.*
- DIPAC . (2020). *Catálogo general de productos.* Guayaquil-Ecuador.

- Dym, C. L., & Little, P. (2002). *El proceso de diseño en ingeniería. Cómo desarrollar soluciones efectivas* (primera ed.). (J. Wiley, Ed.) México DF, México: Limusa Wiley. doi:968-18-6201-5
- Galarza, I., Naranjo, M., & Falcón, S. (2019). Gastronomía, historia y cultura afrodescendiente de las comunidades Chota y Salinas en Imbabura, Ecuador. *Ecos de la Academia*, 2(4). doi:1390-969X
- Gute Appliances. (2021). *Made in China*. Obtenido de <https://czgute.en.made-in-china.com/product/jFEtpxlrvAYy/China-4-Section-18-Meters-Fixed-Telescopic-Conveyor.html>
- INEC. (2015). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua 2015-2016-2017*. Quito. Obtenido de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/encuesta-de-superficie-y-produccion-agropecuaria-continua-2015-2016-2017-2/>
- INEC. (2019). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua-2019*. Quito. Obtenido de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/encuesta-de-superficie-y-produccion-agropecuaria-continua-2019/>
- INEC. (2021). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua: Resumen 2020-2021*. Quito. Obtenido de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2/>
- Jiménez, C. (2014). Determinación de descriptores sensoriales para un producto untable a base de frijol gandul (*Cajanus cajan*) mediante dos mini grupos focales. *UNED Research Journal / Cuadernos de Investigación UNED*, 5(2). doi:1659-4266
- Konakalla Naga, S. A., & Vaitla, R. (2013). *Design and selecting the proper conveyor-belt*. International Journal of Advanced Engineering Technology.
- Martin Sprocket & Gear, Inc. (2016). *El gran catálogo*. Monterrey, México.
- Ministerio del Trabajo Ecuador. (2019). *Tabla de salarios mínimos sectoriales*. Quito. Obtenido de <https://drive.google.com/file/d/1mRqEvHx6U5yJZgwwa-8X8ErRrFqCmUKu/view>
- NTN Corporation. (2004). *Rodamientos de Bolas y de Rodillos*.
- Padilla, C., Colom, S., Díaz, M., & González, A. (2003). Altura y momento de corte de gandul (*Cajanus cajan*) para la producción de forraje. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 91-95.
- Patel, S., Patel, S., & Patel, J. (2012). *A Review on Design and Analysis of Bucket Elevator*. India : International Journal of Engineering Research and Applications.
- Redutores, WEG Cestari. (2018). *Motorreductores até 18000 Nm*. Jaraguá do Sul.

WEG Corporation. (2018). *weg.net*. Obtenido de <https://www.weg.net/catalog/weg/EC/es/Motores-El%C3%A9ctricos/Motores-IEC-para-%C3%81reas-Clasificadas/A-Prueba-de-Polvo/W22Xec---Seguridad-Aumentada-Exec-DIP-Ex-tc/W22Xec-IE1-0-12-kW-4P-63-3F-220-380-V-60-Hz-IC411---TEFC---B3T/p/12976825>

Zhengzhou Syoung Machinery Co. . (s.f.). *Made In China*. Obtenido de <https://zzsyoung.en.made-in-china.com/product/vSkJROcVrMYb/China-Stainless-Steel304-Carbon-Steel-Frame-Material-Bucket-Elevator-for-Sale.html>

APÉNDICES

APÉNDICE A

Documentación técnica de componentes

Tablas usadas en cálculos teóricos

Apéndice A. 1. Ficha técnica del material de la banda seleccionado [Ammeraal Beltech]

Plastic Modular Belt

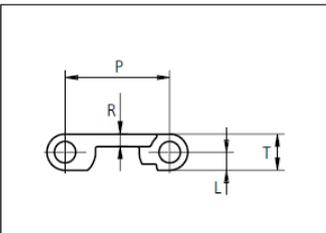
Series **uni CNB** Type **C**



Ammeraal Beltech
Innovation & Service in Belting



Running direction



Straight running belt
Nominal pitch: 25.4 mm (1.00 in)
Surface type: Flat
Surface opening: Closed
Backflex radius: 40.0 mm (1.60 in)
Pin diameter: 5.0 mm (0.20 in)

Belt material & color	POM-D	W	PP	W	PP	B	PE	N	mm		in		mm		in	
									P (Nominal)	25.4	1.00	T	8.8	0.35		
Pin material & color	PP		W	PP		B	PE		N	R	3.0	0.12	L	4.4	0.17	
	Non standard material and color: See uni Material and Color Overview.															
Alternative pin and lock materials: Pin: PE W PA6.6 B PBT LG SS304 Lockpin: PBT LG PA6.6 N PP W B PE N																

Belt width	Permissible tensile force (Belt/pin material)						Belt weight (Belt/pin material)						*Min. No. drive sprocket per shaft	Number of wear strips (Min. No.)		
	POM-D/PP		PP/PP		PE/PE		POM-D/PP		PP/PP		PE/PE			**Carry (pcs)	**Return (pcs)	
mm	in	N	lbf	N	lbf	N	lbf	kg/m	lb/ft	kg/m	lb/ft	kg/m	lb/ft			
77	3.0	1040	234	539	121	477	107	0.4	0.30	0.3	0.20	0.3	0.21	2	2	2
153	6.0	2065	464	1071	241	949	213	0.9	0.60	0.6	0.40	0.6	0.41	2	2	2
229	9.0	3091	695	1603	360	1420	319	1.3	0.89	0.9	0.60	0.9	0.62	2	2	2
305	12.0	4117	926	2135	480	1891	425	1.8	1.19	1.2	0.80	1.2	0.82	3	3	2
381	15.0	5143	1156	2667	600	2362	531	2.2	1.49	1.5	1.00	1.5	1.02	3	3	2
457	18.0	6169	1387	3199	719	2833	637	2.7	1.78	1.8	1.20	1.8	1.23	4	4	2
533	21.0	7195	1617	3731	839	3304	743	3.1	2.08	2.1	1.40	2.1	1.43	4	4	2
609	24.0	8221	1848	4263	958	3776	849	3.5	2.37	2.4	1.60	2.4	1.64	5	5	3
685	27.0	9247	2079	4795	1078	4247	955	4.0	2.67	2.7	1.80	2.7	1.84	5	5	3
761	30.0	10273	2309	5327	1197	4718	1061	4.4	2.97	3.0	1.99	3.0	2.05	6	6	3
837	33.0	11299	2540	5859	1317	5189	1167	4.9	3.26	3.3	2.19	3.3	2.25	6	6	3

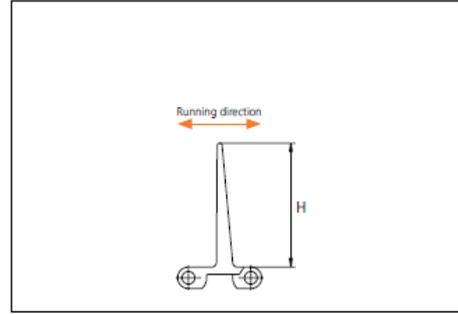
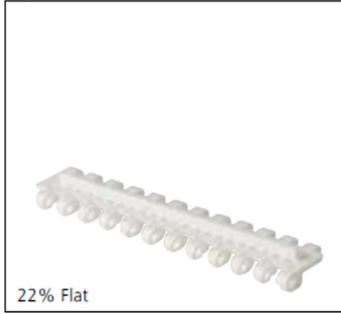
STANDARD

STRAIGHT RUNNING

PITCH 25.4 MM/1.00 IN

Accessories

Flight



Type	Material & color	H		Link size	Width		Indent	
		mm	in		mm	in	mm	in
22% Flat	PE PP-I	5.0	0.20	K300	75.9	2.99	6.4	0.25
				K600	152.0	5.98		
Flat/waves	POM-D PE PP-I PP-I	25.4	1.00	K600	152.0	5.98	0.0	0.00
		50.8	2.00					
		76.2	3.00					

General belt tolerance is +0/-0.4% at 23°C/73°F and 50% RH. For exact belt width contact Customer Service. Non standard belt width on request.

*Max. Load per Drive Sprocket. Belt material: POM-D 600 N (135 lbf). **PP 500 N** (112 lbf)

**Max. Spacing between wear strips. Carry: 152.0 mm (6.00 in); Return: 304.0 mm (12.00 in)

= Single Link



Apéndice A. 2. Tabla para calcular coeficiente de fricción entre la banda y guías de desgaste [Ammeral Beltech]

Friction Coefficient (μ_1) between Chain/Belt and Wearstrip

Chain/Belt Material	Wearstrip Material					
	UHMWPE Dry	UHMWPE Wet	UHMWPE with Oil	Nylatron NSM Dry	SS-Steel Dry	SS-Steel Wet
POM-NL	0.20	0.15	0.12	0.22	0.25	0.21
POM-D	0.19	0.14	0.12	0.21	0.24	0.20
POM-LF	0.18	0.13	0.12	0.20	0.23	0.19
POM-SLF	0.17	0.12	0.12	0.19	0.22	0.18
POM-SX	0.15	0.10	0.11	0.17	0.20	0.16
PP	0.25	0.20	0.15	0.28	0.30	0.27
PE	0.25	0.20	0.15	0.28	0.25	0.20
PA6	0.20	N/a	0.15	0.22	0.30	n/a
GR	0.26	0.22	0.18	0.29	0.32	0.25
AR	0.26	0.22	0.18	0.29	0.32	0.25

Apéndice A. 3 Tabla para calcular el factor de servicio [Ammeral Beltech]

Service Factors (SF)			
Conveyor Condition/ Start-Stop per hour	Straight Conveyor	Incline/Decline Conveyor	Curve Conveyor
Clean 0-4/hour	1.0	1.2	1.4
Clean 5 or more/hour	1.2	1.3	1.5
Average 0-4/hour	1.2	1.4	1.5
Average 5 or more/hour	1.4	1.5	1.6
Dirty 0-4/hour	1.4	1.6	1.8
Dirty 5 or more/hour	1.5	1.7	1.9

Apéndice A. 4. Tabla para selección de engranajes y forma de eje [Ammeral Beltech]

No of teeth	Bore size								Overall diameter		Pitch-diameter		Hub-diameter		A-dimension		B-dimension		Double row/Two way	Molded	LG
	Pilot bore	in	0.98	1.00	1.18	1.25	1.50	1.57													
	mm	25.4	30.0	31.8	38.1	40.0	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in					
Z10	✓	●	●	●	●			80.0	3.15	82.2	3.24	70.0	2.76	34.7	1.37	45.5	1.79	✓	✓		
Z12	✓		●	●	●			96.8	3.81	98.1	3.86	70.0	2.76	43.0	1.69	53.5	2.11	✓	✓		
Z15	✓		●	●	●			121.5	4.78	122.2	4.81	70.0	2.76	55.3	2.18	65.5	2.58	✓	✓		
Z18	✓			●	●	●	●	146.0	5.75	146.3	5.76	70.0	2.76	67.6	2.66	77.5	3.05	✓	✓		
Z19	✓			●	●	●	●	154.2	6.07	154.3	6.07	70.0	2.76	71.7	2.82	81.6	3.21	✓	✓		

■ Molded sprocket

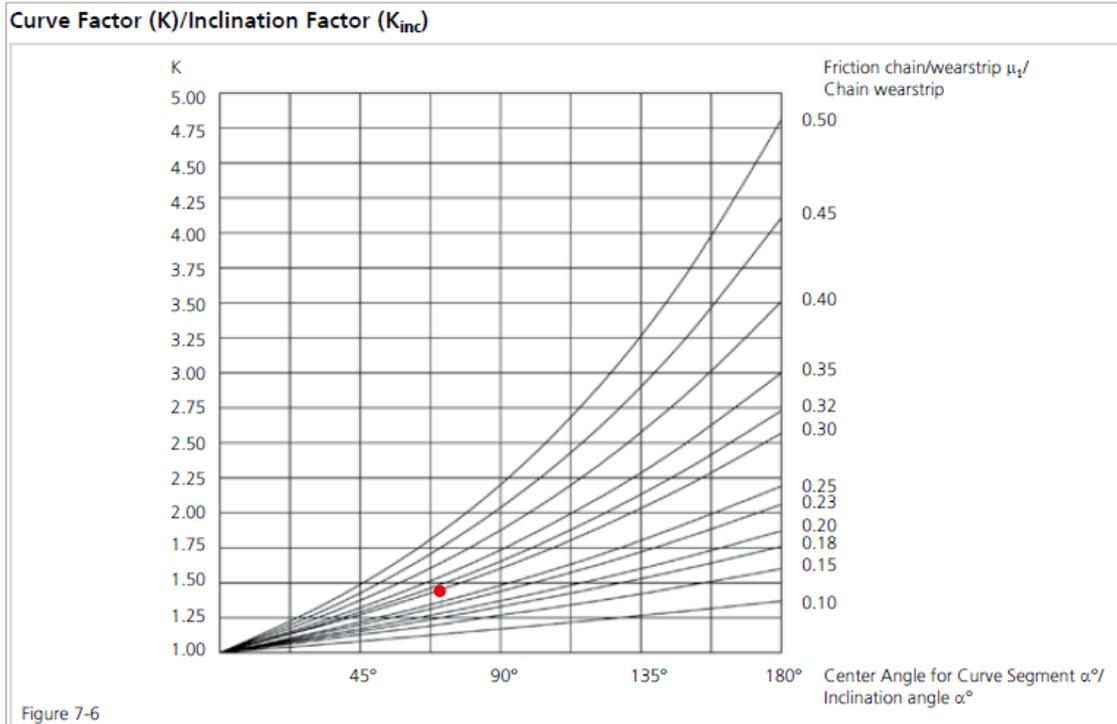


● Molded sprocket



Non standard material and color: See uni Material and Color Overview.

Apéndice A. 5. Gráfica de factor de inclinación para elevador inclinado [Ammerral Beltech]



Catálogos de componentes seleccionados

Apéndice A. 6. Tornillos de potencia. [ACME]

UNIFICADA PASO NORMAL		
Medida Nominal		
- N°		
4	(.112")	- 40 UNC
5	(.125")	- 40 UNC
6	(.138")	- 32 UNC
8	(.164")	- 32 UNC
10	(.190")	- 24 UNC
12	(.216")	- 24 UNC
1/4"		- 20 UNC
5/16"		- 18 UNC
3/8"		- 16 UNC
7/16"		- 14 UNC
1/2"		- 13 UNC
9/16"		- 12 UNC
5/8"		- 11 UNC
3/4"		- 10 UNC
7/8"		- 9 UNC
1"		- 8 UNC
1 1/8"		- 7 UNC
1 1/4"		- 7 UNC
1 3/8"		- 6 UNC
1 1/2"		- 6 UNC
1 3/4"		- 5 UNC
2"		- 4, 1/2 UNC
2"		- 4, 1/2 UNC
2 1/2"		- 4 UNC
2 3/4"		- 4 UNC
3"		- 4 UNC

Apéndice A.7. Catálogo para selección de rodamientos rígidos de bola. [NTN corporation]

d 20 ~ 35mm																		
Dimensiones principales				Capacidades básicas de carga				Factor		Velocidades límites				Números de rodamientos				
mm				kN				kgf		r.p.m.								
d	D	B	r _{ms} ⁽¹⁾	r _{os}	C _r	C _{or}	C _r	C _{or}	f ₀	grasa tipo abierto	aceite tipo abierto	LLH	LLU	tipo abierto	con tapas	con sello de no contacto	con sello de bajo torque	con sello de contact
20	72	19	1.1	—	28.5	13.9	2 900	1 420	11.4	12 000	14 000	—	—	6404	—	—	—	—
22	44	12	0.6	0.5	9.40	5.05	955	515	13.9	17 000	20 000	13 000	10 000	60/22	ZZ	LLB	LLH	LLU
	50	14	1	0.5	12.9	6.80	1 320	690	13.5	14 000	17 000	12 000	9 700	62/22	ZZ	LLB	LLH	LLU
	56	16	1.1	0.5	18.4	9.25	1 880	945	12.4	13 000	15 000	11 000	9 200	63/22	ZZ	LLB	LLH	LLU
25	32	4	0.2	—	1.10	0.840	112	86	15.8	4 000	4 600	—	—	6705	—	LLF	—	—
	37	7	0.3	0.3	4.30	2.95	435	300	16.1	18 000	21 000	—	10 000	6805	ZZ	LLB	—	LLU
	42	9	0.3	0.3	7.05	4.55	715	460	15.4	16 000	19 000	—	9 800	6905	ZZ	LLB	—	LLU
	47	8	0.3	—	8.35	5.10	855	520	15.1	15 000	18 000	—	—	16005	—	—	—	—
	47	12	0.6	0.5	10.1	5.85	1 030	595	14.5	15 000	18 000	11 000	9 400	6005	ZZ	LLB	LLH	LLU
	52	15	1	0.5	14.0	7.85	1 430	800	13.9	13 000	15 000	11 000	8 900	6205	ZZ	LLB	LLH	LLU
	62	17	1.1	0.5	21.2	10.9	2 160	1 110	12.6	12 000	14 000	9 700	8 100	6305	ZZ	LLB	LLH	LLU
80	21	1.5	—	34.5	17.5	3 550	1 780	11.6	10 000	12 000	—	—	6405	—	—	—	—	

Apéndice A. 8. Catálogo para selección de motorreductor [WEG]

P_N = 0,12 kW

60 Hz		n ₁ = 1750		50 Hz		n ₁ = 1450		i _{ex}			
n ₂	M ₂	f _s	Fr	n ₂	M ₂	f _s	Fr				
rpm	Nm		kN	rpm	Nm		kN			kg	Página com dimensões
716,28	2	19,33	1,7	593,49	2	16,01	**	2,44	C00208	7,8	C 56
493,99	2	15,09	1,8	409,30	3	12,50	1,9	3,54	C00211	7,8	
363,74	3	12,30	1,9	301,38	4	10,19	2,0	4,81	C00214	7,8	
285,19	4	12,19	2,1	236,30	5	10,10	2,2	6,14	C00216	7,8	
254,55	5	10,66	2,2	210,91	5	8,83	2,3	6,88	C00217	7,8	
214,11	5	8,40	2,2	177,40	6	6,96	2,3	8,17	C00218	7,8	
196,68	6	8,58	2,3	162,96	7	7,11	2,4	8,90	C00219	7,8	
175,55	7	7,66	2,4	145,45	8	6,35	2,5	9,97	C00220	7,8	
167,88	7	6,59	2,3	139,10	8	5,46	2,4	10,42	C00221	7,8	
144,82	8	6,32	2,5	119,99	10	5,24	2,6	12,08	C00222	7,8	
129,26	9	5,64	2,6	107,10	11	4,67	2,7	13,54	C00223	7,8	
113,43	10	4,95	2,6	93,98	12	4,10	2,7	15,43	C00224	7,8	
101,24	11	4,42	2,7	83,88	14	3,66	2,8	17,29	C00225	7,8	
85,25	13	3,72	2,8	70,63	16	3,08	2,8	20,53	C00226	7,8	
76,09	15	3,32	2,8	63,04	18	2,75	2,9	23,00	C00227	7,8	
66,84	17	2,92	2,8	55,38	21	2,42	2,9	26,18	C00228	7,8	
59,66	19	2,60	2,9	49,43	23	2,16	3,0	29,33	C00229	7,8	
53,21	22	2,32	2,9	44,09	26	1,92	3,0	32,89	C00230	7,8	
47,49	24	2,07	3,0	39,35	29	1,72	3,0	36,85	C00231	7,8	

Apéndice A. 9. Catálogo para selección de bandas [Martin Sprocket & Gear, Inc.]

Speed Ratio	Sheave Combination		DriveN Speeds and HP Per Belt									Nominal Center Distance And Arc-Length Correction Factor						
			3500 RPM DriveR			1750 RPM DriveR			1160 RPM DriveR			A/AX Belt Length Designation						
	DriveR P.D.	DriveN P.D.	DriveN RPM	HP Per Belt A	HP Per Belt AX	DriveN RPM	HP Per Belt A	HP Per Belt AX	DriveN RPM	HP Per Belt A	HP Per Belt AX	26	31	35	38	42	46	51
1.40	3.0	4.2	2500	3.01	3.87	1250	2.06	2.45	829	1.55	1.80	8.0	10.5	12.5	14.0	16.0	18.0	20.5
1.40	4.0	5.6	2500	5.99	6.97	1250	3.86	4.27	829	2.82	3.08	—	8.6	10.6	12.1	14.1	16.1	18.6
1.40	5.0	7.0	2500	8.57	9.75	1250	5.58	6.02	829	4.05	4.32	—	—	8.7	10.2	12.2	14.2	16.7
1.41	3.4	4.8	2479	4.25	5.15	1240	2.79	3.19	822	2.07	2.32	7.2	9.7	11.7	13.2	15.2	17.2	19.7
1.41	4.4	6.2	2484	7.08	8.13	1242	4.56	4.98	823	3.32	3.58	—	7.8	9.8	11.3	13.3	15.3	17.8
ARC-LENGTH CORRECTION FACTOR												0.73	0.78	0.81	0.84	0.86	0.89	0.92
1.41	5.4	7.6	2487	9.48	10.76	1243	6.25	6.70	824	4.53	4.80	—	—	—	9.4	11.4	13.4	15.9
1.41	5.8	8.2	2476	10.31	11.71	1238	6.89	7.36	820	5.01	5.28	—	—	—	8.6	10.6	12.6	15.1
1.41	6.4	9.0	2489	11.41	13.02	1244	7.84	8.33	825	5.71	5.99	—	—	—	—	9.5	11.5	14.0
1.42	3.8	5.4	2463	5.44	6.39	1231	3.52	3.92	816	2.58	2.83	6.4	8.9	10.9	12.4	14.4	16.4	18.9
1.43	4.2	6.0	2450	6.56	7.57	1225	4.22	4.64	812	3.08	3.34	—	8.1	10.1	11.6	13.6	15.6	18.1
ARC-LENGTH CORRECTION FACTOR												0.72	0.77	0.81	0.83	0.86	0.88	0.91
1.43	4.6	6.6	2439	7.61	8.69	1220	4.91	5.34	808	3.57	3.83	—	7.3	9.3	10.8	12.8	14.8	17.3
1.44	3.2	4.6	2435	3.66	4.54	1217	2.44	2.83	807	1.81	2.07	7.5	10.0	12.0	13.5	15.5	17.5	20.0
1.44	3.6	5.2	2423	4.87	5.79	1212	3.16	3.56	803	2.33	2.58	6.7	9.2	11.2	12.7	14.7	16.7	19.2
1.45	4.0	5.8	2414	6.02	7.00	1207	3.88	4.29	800	2.83	3.09	—	8.4	10.4	11.9	13.9	15.9	18.4
1.45	4.4	6.4	2406	7.10	8.15	1203	4.57	4.99	797	3.33	3.59	—	7.6	9.6	11.1	13.1	15.1	17.6
ARC-LENGTH CORRECTION FACTOR												0.73	0.78	0.81	0.83	0.86	0.89	0.91
1.45	6.2	9.0	2411	11.08	12.62	1206	7.54	8.02	799	5.48	5.76	—	—	—	—	9.6	11.6	14.1
1.46	4.8	7.0	2400	8.12	9.25	1200	5.26	5.69	795	3.82	4.08	—	—	8.8	10.3	12.3	14.3	16.8
1.46	5.2	7.6	2395	9.06	10.29	1197	5.93	6.37	794	4.30	4.57	—	—	8.0	9.5	11.5	13.5	16.1
1.46	5.6	8.2	2390	9.93	11.27	1195	6.58	7.04	792	4.78	5.05	—	—	—	8.7	10.7	12.7	15.3
1.47	3.0	4.4	2386	3.05	3.90	1193	2.08	2.47	791	1.56	1.81	7.8	10.3	12.3	13.8	15.8	17.8	20.3
ARC-LENGTH CORRECTION FACTOR												0.73	0.78	0.81	0.83	0.86	0.89	0.92

Apéndice A. 10. Catálogo para selección de poleas [Martin Sprocket & Gear, Inc.]

AK Single Groove FHP Sheaves
Bored-To-Size



TYPE A
Solid



TYPE B
Web



TYPE C
Arm / Spoke

Dimensions in inches

Part Number	Diameter			Type	Stock Finished Bores Includes Keyway and Setscrew	F	E	L Thru Bore	Weight Lbs. (Approx.)
	OD	Datum A(4L) Belts	Pitch 3L Belts						
AK27	2.70	2.50	2.16	B	1/2 - 5/8 - 3/4 - - - 1	21/32	7/16	15/16	0.8
AK28	2.80	2.60	2.26	B	1/2 - 5/8 - 3/4 - 7/8 - -	21/32	7/16	15/16	0.8
AK30	3.05	2.80	2.46	B	1/2 - 5/8 - 3/4 - 7/8 - - 1	21/32	7/16	15/16	0.9
AK32	3.25	3.00	2.66	B	1/2 - 5/8 - 3/4 - 7/8 - - 1	21/32	7/16	15/16	1.0
AK34	3.45	3.20	2.86	B	1/2 - 5/8 - 3/4 - 7/8 - - 1	21/32	7/16	15/16	1.1
AK35	3.55	3.30	2.96	B	1/2 - 5/8 - 3/4 - 7/8 - - 1	21/32	7/16	15/16	1.2
AK39	3.75	3.50	3.16	B	1/2 - 5/8 - 3/4 - 7/8 - 15/16 - 1	3/4	15/32	15/32	1.6
AK41	3.95	3.70	3.36	B	1/2 - 5/8 - 3/4 - 7/8 - 15/16 - 1 - 1 1/8	3/4	15/32	15/32	1.6
AK44	4.25	4.00	3.66	C	1/2 - 5/8 - 3/4 - 7/8 - 15/16 - 1 - 1 1/8	3/4	15/32	15/32	1.9
AK46	4.45	4.20	3.86	C	1/2 - 5/8 - 3/4 - 7/8 - 15/16 - 1 - 1 1/8	3/4	15/32	15/32	2.0
AK49	4.75	4.50	4.16	C	1/2 - 5/8 - 3/4 - 7/8 - 15/16 - 1 - 1 1/8	3/4	15/32	15/32	2.1
AK51	4.95	4.70	4.36	C	1/2 - 5/8 - 3/4 - 7/8 - 15/16 - 1 - 1 1/8	3/4	15/32	15/32	2.2
AK54	5.25	5.00	4.66	C	1/2 - 5/8 - 3/4 - 7/8 - 15/16 - 1 - 1 1/8 - 1 1/8	3/4	15/32	15/32	2.4
AK56	5.45	5.20	4.86	C	1/2 - 5/8 - 3/4 - 7/8 - 15/16 - 1 - 1 1/8 - 1 1/8	3/4	15/32	15/32	2.5
AK59	5.75	5.50	5.16	C	1/2 - 5/8 - 3/4 - 7/8 - 15/16 - 1 - 1 1/8 - 1 1/8	3/4	15/32	15/32	2.7

Equipos para importación desde China

Apéndice A. 11. Banda transportadora de 18 metros telescópica. [MadelnChina.com]



4 Section 18 Meters Fixed Telescopic Conveyor

[Get Latest Price >](#) [Leave a message](#)

Min. Order / Reference FOB Price
2 Pieces **US \$9,720/ Piece**

Port: Shanghai, China 

Production Capacity: 5000sets/Year

Payment Terms: L/C, T/T, D/P, Western Union, Paypal, Money Gram

After-sales Service: Remote Video Assistance or Field Maintenance

Warranty: 1 Year

Structure: Belt Conveyor

Material: Carbon Steel

Material Feature: Heat Resistant, Fire Resistant

Application: Grain Transport, Logistics

Apéndice A. 12. Elevador de cangilones de 4 metros, de acero inoxidable. [MadelnChina.com]



Stainless Steel304/Carbon Steel Frame Material Bucket Elevator for Sale

[Get Latest Price >](#) [Chat with Supplier](#)

Min. Order / Reference FOB Price
1 Piece **US \$1,500-5,000/ Piece**

Port: Qingdao, China 

Production Capacity: 5000pieces/Year

Payment Terms: L/C, T/T, D/P, Western Union, Paypal, Money Gram

Warranty: 1 Year

Structure: Chain Conveyor

Material: Stainless Steel

Material Feature: Oil Resistant, Heat Resistant, Fire Resistant

Zhengzhou Syoung Machinery Co.,Ltd 

APÉNDICE B

Cálculos teóricos

Banda transportadora

Ancho de banda

- **Ángulo de sobrecarga**

En el apéndice B.1 se muestra la tabla para hallar el ángulo de sobrecarga según la normativa CEMA, en base a las características del material transportado. Éstas se clasifican en 4 categorías, según el grado de fluidez que posean. En el paso particular de este proyecto, el fréjol de palo corresponde a la categoría 2, fluidez libre; por lo que, el ángulo de sobrecarga es:

$$\theta = 10^\circ$$

Apéndice B. 1. Fluidez – ángulo de sobrecarga – ángulo de reposo [CEMA]

Flow				
Very free flowing 1*	Free flowing 2*	Average flowing 3*		Sluggish 4*
Angle of Surcharge				
5°	10°	20°	25°	30°
				
Angle of Repose				
0-19°	20-25°	30-34°	35-39°	40° - up
Material Characteristics				
<i>Uniform size, very small rounded particles, either very wet or very dry, such as dry silica sand, cement, wet concrete, etc.</i>	<i>Rounded, dry polished particles, of medium weight, such as whole grain and beans.</i>	<i>Irregular, granular or lumpy materials of medium weight, such as anthracite coal, cottonseed meal, clay, etc.</i>	<i>Typical common materials such as bituminous coal, stone, most ores, etc.</i>	<i>Irregular, stringy, fibrous, interlocking material, such as wood chips, bagasse, tempered foundry sand, etc.</i>

*Code designations conform to bulk material characteristics chart, Table 3-2.

- **Densidad promedio del producto**

Para este parámetro, se empleó la tabla de la normativa CEMA mostrado en el apéndice B.2 (por cuestiones de espacio se muestra una porción de la tabla); en donde se presenta la densidad promedio recomendada, el ángulo de reposo y la inclinación máxima recomendada en función de las características del

material. Para el fréjol de palo, se determinó que correspondía al material fréjol seco (Beans, navy, dry), por lo que la densidad promedio recomendada es

$$\rho_{\text{producto}} = 48 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}$$

Apéndice B. 2. Características del material y densidad [CEMA]

Material	Average weight (lbs/cu ft)	Angle of repose (degrees)	Recommended maximum inclination (degrees)	Code
Barium hydrate	62-65	43		A36
Barium oxide	150-200			A46
*Bark, wood, refuse	10-20	45	27	E45VY
Barley	37-48	23	10-15	B25N
Basalt	80-103	20-28		B26
Bauxite, ground, dry	68	20-29	20	B26
Bauxite, mine run	80-90	31	17	E37
Bauxite, crushed, 3 inches and under	75-85	30-44	20	D37
Beans, castor, whole	36	20-29	8-10	C25W
Beans, castor, meal	35-40			B15W
Beans, navy, dry	48	29		C25
Beans, navy, steeped	60	35-40		C35
Beet pulp, dry	12-15			E45
Beet pulp, wet	25-45			E46
Beets, whole	48	50		D45
*Bentonite, crude	35-40	42-44		D36X
Bentonite, 100 mesh and under	50-60	42	20	A36XY
Bones	34-40	45		*C46

- **Capacidad equivalente**

Para calcular la capacidad equivalente, se usan las ecuaciones 2.11 y 2.12. La capacidad en ton/h ya es conocida por las especificaciones de diseño (Véase tabla 2.1), y es igual a 4 ton/h. Reemplazando datos en la ecuación 2.11, se obtiene:

$$C_{ft^3/h} = \frac{(4) * 2000}{48}$$

$$C_{ft^3/h} = 166.67 \frac{ft^3}{h}$$

A continuación, se procede a calcular la capacidad equivalente a 100 ft/min , usando la ecuación 2.12. La velocidad de la banda ya es conocida (Véase tabla 2.1), por lo que, realizando la respectiva conversión de unidades y reemplazo, se tiene:

$$C_{eq} = 166.67 * \frac{100}{20/0.3048}$$

$$C_{eq} = 254.03 \frac{ft^3}{h}$$

Ahora que se tiene la capacidad equivalente y el ángulo de sobrecarga, se emplea la tabla del apéndice B.3 para determinar el ancho de banda sugerido correspondiente. Realizando la intersección de datos, se tiene un ancho de banda B de:

$$B = 18 \text{ in}$$

Apéndice B. 3. Ancho de banda en función del ángulo de sobrecarga y capacidad equivalente [CEMA]

Belt Width (Inches)	A_s - Cross Section of Load (ft ²)							Capacity at 100 FPM (ft ³ /hr)						
	Surcharge Angle							Surcharge Angle						
	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°
18	.020	.041	.062	.083	.105	.127	123	246	372	498	630	762		
24	.039	.077	.117	.157	.198	.241	232	466	702	942	1190	1444		
30	.063	.126	.190	.255	.321	.390	376	756	1137	1527	1928	2340		
36	.092	.185	.280	.376	.474	.575	555	1113	1677	2253	2844	3450		
42	.130	.257	.387	.520	.656	.796	768	1540	2322	3120	3936	4776		
48	.169	.340	.512	.688	.868	1.053	1016	2037	3072	4126	5208	6318		
54	.216	.434	.654	.879	1.109	1.346	1298	2604	3927	5273	6654	8076		
60	.269	.540	.814	1.093	1.380	1.675	1614	3240	4885	6560	8278	10050		
72	.392	.786	1.186	1.593	2.010	2.440	2353	4720	7116	9558	12060	14640		
84	.538	1.080	1.628	2.186	2.758	3.349	3229	6478	9767	13117	16550	20091		
96	.707	1.419	2.139	2.873	3.625	4.400	4243	8514	12835	17238	21750	26404		

Fuerza de tensión

- Peso del producto**

El peso del producto m_p se lo obtiene dividiendo la capacidad de la banda en kg/h para su velocidad en m/h :

$$m_p = \frac{4000 \frac{kg}{h}}{20 \frac{m}{min} * \frac{1h}{60 min}}$$

$$m_p = 3.33 \frac{kg}{m}$$

- **Peso de banda**

El peso de la banda se determinó en función del material del que esté hecho la misma. Para ello, se consultaron diferentes catálogos del fabricante Ammeraal Beltech de plástico modular y se eligió el material UNI CNB tipo C hecho de polipropileno denominado PP (Véase apéndice A.1), de cuyas características se extrae el peso de la banda:

$$m_B = 1.8 \frac{kg}{m}$$

- **Coeficiente de fricción**

Este coeficiente se determinó en base al apéndice A.2, en donde intervienen dos factores: el material de la banda y las guías de desgaste. El material de la banda ya se definió al elegir el peso de la banda (PP), y para el material de las guías de desgaste se escoge la columna de SS Steel (acero inoxidable), debido a que las guías serán diseñadas en base a este material.

Realizando la intersección de ambos factores, el coeficiente de fricción es:

$$\mu = 0.3$$

- **Factor de servicio**

Este parámetro se determinó en base al apéndice A.3, en donde interviene el tipo de banda según su inclinación y sus condiciones de trabajo. En este proyecto, la banda es recta y se mantiene limpia la mayor parte del tiempo; por lo que se selecciona la condición limpia por más de 5 horas. Así, se obtiene como factor de servicio:

$$F_{servicio} = 1.2$$

Una vez obtenidos todos los parámetros necesarios, se calcula la fuerza de tensión de la banda usando la ecuación 2.9, teniendo como resultado:

$$F_t = 181.11 N$$

Sistema de transmisión

- **Número de engranajes**

Para el número de engranajes del sistema de transmisión se usó la ecuación 2.1 usando el ancho de banda encontrado:

$$\begin{aligned}n_{sp} &\approx \frac{B}{0.1524} + 1 \\n_{sp} &\approx \frac{0.4625 \text{ m}}{0.1524} + 1 \\n_{sp} &\approx 4\end{aligned}$$

Con la ecuación 2.2 se comprobó el número de engranajes si es o no suficiente para la fuerza encontrada. El valor de $SP_{permisible}$, la carga permitida por engranaje tiene un valor de 500 N que se encuentra en el apéndice A.1.

$$\begin{aligned}n_{sp} &\geq \frac{F_t}{SP_{permisible}} \\4 &\geq \frac{181.11 \text{ N}}{500 \text{ N}} \\4 &\geq 0.36\end{aligned}$$

- **Selección de engranajes y forma de eje.**

El engranaje escogido es el Z10 25, mostrado en el apéndice A.4, el cual tiene un orificio de forma circular, por lo cual para la verificación de este engranaje se utilizará la ecuación 2.3:

$$\begin{aligned}d &\geq 0.51 * \sqrt[3]{p_d * F_t} \\25 \text{ mm} &\geq 0.51 * \sqrt[3]{82.5 \text{ mm} * (181.1 \text{ N})} \\25 \text{ mm} &\geq 12.6 \text{ mm}\end{aligned}$$

- **Prueba de deflexión**

Utilizando la ecuación 2.5 se determina la carga total en el eje. Un eje circular de 25 mm de acero transmisión tiene un peso de 3.924 kg/m. l_1 es el largo total

del eje, el cual fue establecido en 600 mm, siendo mayor que el ancho de banda de 462.5 mm y dando espacio para colocar los rodamientos y poleas.

$$F_d = \sqrt{(F_t)^2 + (m_s * l_1 * C)^2}$$

$$F_d = \sqrt{(181.11 \text{ N})^2 + \left(3.924 \frac{\text{kg}}{\text{m}} * 0.60 \text{ m} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)^2}$$

$$F_d = 182.57 \text{ N}$$

L_s es la separación entre los soportes que se ha establecido en 540 mm debido a la estructura implementada, y el material del eje es de acero de transmisión, por lo que el módulo de elasticidad de Young es 195 GPa. Para la inercia se utiliza la expresión matemática para un perfil circular sólido. Usando la ecuación 2.6 se determina la deflexión teórica.

$$u = \frac{F_1 * L_s^3}{384 * E * I}$$

$$u = \frac{182.57 \text{ N} * (540 \text{ mm})^3}{384 * 195 \times 10^3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * \frac{\pi * (25 \text{ mm})^4}{64}}$$

$$u = 0.1 \text{ mm}$$

Elevador inclinado de cangilones

Fuerza de tensión

Teniendo las dimensiones definidas (ver Tabla 2.9), se puede establecer la longitud de arco en función del radio de curvatura y el ángulo de inclinación. En este proyecto, se tomó como ángulo de inclinación 70° que permitirá una elevación significativa por distancia recorrida y un radio de curvatura de 40 cm que reduce los cambios bruscos de dirección.

$$S_i = \frac{\pi * R_i * \alpha}{180}$$

$$S_{1,2} = \frac{\pi * 0.4 \text{ m} * 70}{180} = 0.4887 \text{ m}$$

Debido a que las curvaturas del elevador tienen el mismo radio y ángulo de inclinación, la longitud de arco serán las mismas.

Las secciones de la banda inclinada son encontradas con la ecuación 2.14

$$D_i = L_i + S_i$$

Los resultados de la operación para cada operación se detallan en el apéndice B.4, con sus unidades en metros.

Apéndice B. 4. Resultados de sección de banda y longitud de arco. [Elaboración propia]

Sección de banda (i)	L [m]	S [m]	D [m]
1	0.6	0.488	1.09
2	3.7	0.488	4.19
3	0.6	0	0.60

- **Parámetros conocidos**

Los parámetros de operación como el peso del producto y coeficiente de fricción no cambian debido a que el producto a transportar no cambia sus propiedades. El ancho de la banda cambia debido a una recomendación de los distribuidores, para poder instalar el cangilón y que exista el espacio para sujetar la banda por la parte posterior, por lo que el ancho de banda será la siguiente medida:

$$B = 21 \text{ in}$$

Debido al cambio de ancho de banda el peso de la banda cambia, aumentando ligeramente (apéndice A.1):

$$m_B = 2.1 \frac{kg}{m}$$

En el apéndice B.5 se muestra un resumen de los parámetros establecidos anteriormente.

Apéndice B. 5. Parámetros conocidos. [Elaboración propia]

Parámetro	Valor
Peso del producto (m_p)	3.33 kg/m
Peso de la banda (m_B)	2.1 kg/m
Coefficiente de fricción (μ)	0.3

- **Factor de servicio**

El factor de servicio se determina con el apéndice A.3, siguiendo el mismo procedimiento para la banda transportadora horizontal. Se escogió unas condiciones de trabajo limpia con cinco horas de trabajo o más. Debido a que es un elevador inclinado se escoge la columna respectiva.

$$F_{servicio} = 1.3$$

- **Factor de corrección de inclinación**

Para hallar el factor de corrección se utilizó el apéndice A.5, en donde se toman como datos el ángulo de inclinación de la banda el cual es de 70° y el coeficiente de fricción entre la banda y las guías de desgaste que fue de 0.3. El resultado de la intersección da:

$$K_{inc} = 1.45$$

Con los parámetros establecidos del elevador inclinado, se usan las ecuaciones 2.15, 2.16 y 2.17 para obtener las fuerzas involucradas en el tramo:

$$F_1 = 62.15 \text{ N}$$

$$F_2 = 172.38 \text{ N}$$

$$F_3 = 185.67 \text{ N}$$

En la ecuación 2.18 se aplica el factor de servicio encontrado.

$$F_t = 241.37 \text{ N}$$

Selección de cangilón

Los cangilones son seleccionados de acuerdo con los requerimientos del cliente, que fueron discutidos en conjunto, estableciendo la altura del cangilón en 3 pulgadas o 76.2 mm (ver apéndice A.1). Estos estarán separados cada 6 pulgadas, debido a que la distancia entre cangilones debe ser el doble de la altura de estos según recomendaciones del manual.

Sistema de transmisión

- **Número de engranajes**

Reemplazando en la ecuación 2.1 para escoger el número de engranajes del sistema de transmisión se tiene:

$$n_{sp} \approx \frac{B}{0.1524} + 1$$
$$n_{sp} \approx \frac{0.5333 m}{0.1524} + 1$$
$$n_{sp} \approx 4$$

Usando la ecuación 2.2 se comprobó el número de engranajes siguiendo el mismo procedimiento anterior.

$$n_{sp} \geq \frac{F_t}{SP_{permisible}}$$
$$4 \geq \frac{241.37 N}{500 N}$$
$$4 \geq 0.48$$

- **Selección de engranajes y forma de eje.**

Las características del engranaje escogido son los mismos que los seleccionados en la banda horizontal, por lo que se mantienen los datos del diámetro de paso. Se realiza la respectiva verificación con el diámetro del eje con la ecuación 2.3.

$$d \geq 0.51 * \sqrt[3]{p_d * F_t}$$
$$25 mm \geq 0.51 * \sqrt[3]{82.5 mm * (241.37N)}$$
$$25 mm \geq 13.8 mm$$

- **Prueba de deflexión**

Se usó la ecuación 2.5 para hallar la fuerza equivalente. Se usaron parámetros encontrados como la fuerza de tensión final del elevador que fue de 241.37 N, m_s que es el peso por metro de un eje sólido circular de 25 mm de diámetro que corresponde a 3.924 kg/m.

$$F_d = \sqrt{(F_t)^2 + (m_s * l_1 * C)^2}$$

$$F_d = \sqrt{(241.37 \text{ N})^2 + \left(3.924 \frac{\text{kg}}{\text{m}} * 0.68 \text{ m} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)^2}$$

$$F_d = 242.79 \text{ N}$$

La deflexión se determinó con la ecuación 2.6, siguiendo el mismo procedimiento que en la banda transportadora horizontal, usando los mismos datos ya que las características y dimensiones del eje son los mismos:

$$u = \frac{F_d * L_s^3}{384 * E * I}$$

$$u = \frac{242.67 \text{ N} * (580 \text{ mm})^3}{384 * 195 \times 10^3 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * \frac{\pi * (25 \text{ mm})^4}{64}}$$

$$u = 0.16 \text{ mm}$$

Selección y diseño de componentes

La banda transportadora y el elevador de cangilones tienen similitudes técnicas, a pesar de tener diferentes dimensiones, la diferencia entre las fuerzas de tensión para la banda y el elevador de cangilones es despreciable al momento de seleccionar los componentes. Por ende, el diseño del tornillo tensor y selección de componentes como rodamientos, bandas, poleas, motorreductor y motor, tendrán los mismos resultados. Por lo cual se escogerá la mayor fuerza de tensión encontrada, siendo ésta la del elevador inclinado de cangilones con $F_t = 241.37 \text{ N}$.

- **Mecanismo de tensión**

Para el mecanismo de tensión, se emplean dos tornillos de potencia a los costados de las bandas, por lo que la fuerza aplicada a estos tornillos será la mitad de la carga aplicada a la banda. La fuerza de tensión aplicada a la banda

fue de 241.37 N por ende la fuerza percibida por cada tornillo será de 120.685 N que será la carga aplicada P.

Se escogió un tornillo de cuerda estándar de ACME de ¼ de pulgada de diámetro mayor, estos poseen un ángulo incluido de 29° que facilita su fabricación y corte. En la tabla presentada se presentan los datos del tornillo seleccionado en sistema inglés y sistema internacional.

Apéndice B. 6. Dimensiones de tornillo de potencia en sistema inglés e internacional. [Elaboración propia]

Parámetro	Sistema inglés (in)	Sistema internacional (mm)
Diámetro mayor	0.25	6.35
Paso de la cuerda	0.063	0.16
Diámetro de paso	0.219	5.5626
Diámetro menor	0.188	4.80
Área de esfuerzo por tensión	0.032 in ²	20.64 mm ²

Los tornillos de potencia de bajos esfuerzos son diseñados en acero de construcción mecánica AISI 4140, por lo que tendrán una resistencia a la fluencia de 750 MPa.

Para realizar la selección y verificación del tornillo escogido se debe encontrar el esfuerzo por tensión, el cual se encuentra con la expresión 2.7:

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

$$\sigma = \frac{120.685 \text{ N}}{20.64 \text{ mm}^2}$$

$$\sigma = 5.84 \text{ MPa}$$

El factor de seguridad del tornillo en el caso de falla en caso de fluencia será dado por la ecuación 2.8:

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma}$$

$$\eta = \frac{750 \text{ MPa}}{4.96 \text{ MPa}}$$

$$\eta = 128.3$$

En el apéndice A.6 se encuentra el código del tornillo de potencia de ACME, el cual será de 1/4" 20-UNC.

La altura mínima de la tuerca es determinada en función del esfuerzo cortante, en donde se involucran parámetros como torque (Nm) y diámetro menor del tornillo (mm). Utilizando la ecuación 2.9, que reemplaza al torque por la fuerza P y el diámetro de paso; se tiene:

$$\tau = \frac{16 \left(\frac{P * d_p}{2000} \right)}{\pi d_m^3}$$

$$\tau = \frac{16 \left(\frac{120.685 \text{ N} * 5.5626 \text{ mm}}{2} \right)}{\pi (4.80 \text{ mm})^3}$$

$$\tau = 15.45 \text{ MPa}$$

La altura se determina con la ecuación 2.10 donde se involucra la fuerza P (N), el diámetro mayor d (mm) y el esfuerzo cortante encontrado (MPa).

$$h = \frac{2P}{\pi * d * \tau}$$

$$h = \frac{2(120.685 \text{ N})}{\pi * (6.35 \text{ mm}) * 15.45 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}$$

$$h = 0.78 \text{ mm}$$

- **Rodamientos**

Los rodamientos son seleccionados de un procedimiento otorgado por NTN corporation, que se especializan en la fabricación de rodamientos. Para este proceso se necesitan datos como la fuerza radial o de tensión, número de revoluciones por minuto del rodamiento, tiempo de vida del rodamiento para bandas transportadoras se recomienda escoger 12×10^3 horas. La siguiente ecuación presenta el método descrito.

$$C_r = \sqrt[3]{\frac{L_{10h} * 60 n}{10^6}} * P_r$$

Donde C_r es la carga estática percibida en el rodamiento con las condiciones establecidas (N). L_{10h} es el tiempo de vida útil del rodamiento en horas. n es el número de revoluciones por minuto. P_r es la carga estática radial (N) que es la mitad de la fuerza de tensión de 241.37 N, que será de 120.685 N.

Las revoluciones por minuto se encuentran a partir de la ecuación que utiliza el paso diametral de los engranajes y la velocidad de la banda (m/min).

$$V_{rpm} = \frac{v * 1000}{P_d * \pi}$$

$$V_{rpm} = \frac{20 \frac{m}{min} * 1000}{82.5 mm * \pi}$$

$$V_{rpm} = 77 \text{ RPM}$$

Usando la ecuación presentada, se utilizan los valores encontrados para determinar la carga equivalente dinámica con las condiciones establecidas como tiempo de vida y revoluciones por minuto.

$$C_r = \sqrt[3]{\frac{L_{10h} * 60 n}{10^6}} * P_r$$

$$C_r = \sqrt[3]{\frac{10x10^3 h * 60 (77.16 \text{ RPM})}{10^6}} * 120.685 \text{ N}$$

$$C_r = 433.34 \text{ N}$$

Con este valor y utilizando el Apéndice A.7, se selecciona el rodamiento 6705, debido a que este tiene un diámetro interno de 25 mm para el eje, y tiene un C_r mayor al solicitado. De esta tabla se obtiene el C_{or} , para verificar la resistencia del rodamiento, mediante la aplicación de la siguiente ecuación.

$$S_o = \frac{C_{ro}}{C_r}$$

$$S_o = \frac{0.84 \text{ KN}}{433.34 \text{ N} * \frac{1\text{KN}}{1000\text{N}}}$$

$$S_o = 2.0$$

Como el resultado es 2, el rodamiento seleccionado posee la resistencia suficiente para la carga aplicada.

- **Motorreductor**

Para la selección de un motorreductor primero se halló el torque de salida.

El torque es encontrado con la expresión matemática donde se involucra a la fuerza de tensión y el paso diametral de los engranajes.

$$T = \frac{F_t * P_d}{2000}$$

$$T = \frac{241.37 \text{ N} * 82.5 \text{ mm}}{2000}$$

$$T = 9.95 \text{ Nm}$$

El torque aplicado al eje se utiliza para la selección del motorreductor, el cual es seleccionado del catálogo de WEG (ver Apéndice A.8, sombreado amarillo). El motorreductor seleccionado, con código C00224, tiene un torque de salida de 10 Nm, ligeramente superior al requerido, pero bastante cercano al valor necesario. Pero este posee una velocidad angular de salida de 113.43 RPM, por lo cual esto requiere ser corregido con bandas y poleas.

- **Bandas y poleas**

Debido a que la velocidad angular a la salida del motorreductor es mayor a la solicitada, se debe corregir con bandas y poleas, que alteran las velocidades angulares dependiendo del diámetro de las poleas aplicadas. Para este apartado se utilizó el procedimiento del catálogo de bandas y poleas de Martin Sprocket & Gear, Inc.

El procedimiento requiere de la potencia aplicada al eje, por lo que se calcula en función de la fuerza de tensión y la máxima velocidad de la banda.

$$P = \frac{F_t * V}{60}$$

$$P = \frac{241.37 N * 20 \frac{m}{min}}{60}$$

$$P = 80.45 W = 0.1 HP$$

Utilizando una tabla de factores de servicios, otorgado por el fabricante, se escoge que las poleas serán utilizadas en una banda transportadora (conveyor), operará en jornadas normales de servicio y será un motor eléctrico de torque normal o jaula de ardilla.

Apéndice B. 7. Factores de servicio para bandas y poleas. [Martin Sprocket & Gear, Inc.]

TYPICAL SERVICE FACTORS						
DRIVEN MACHINE TYPES	DRIVER TYPES					
Driven machine types noted below are representative samples only. Select a category most closely approximating your application from those listed below. IF IDLERS ARE USED, ADD THE FOLLOWING TO THE SERVICE FACTOR: Idler on slack side (inside) None Idler on slack side (outside) 0.1 Idler on tight side (inside) 0.1 Idler on tight side (outside) 0.2	ELECTRIC MOTORS: AC Normal Torque Squirrel Cage and Synchronous AC Split Phase DC Shunt Wound Internal Combustion Engines			ELECTRIC MOTORS: AC Hi-Torque AC Hi-Slip AC Repulsion-Induction AC Single Phase Series Wound AC Slip Ring DC Compound Wound		
	INTERMITTENT SERVICE	NORMAL SERVICE	CONTINUOUS SERVICE	INTERMITTENT SERVICE	NORMAL SERVICE	CONTINUOUS SERVICE
Agitators for Liquids Blowers and Exhausters Centrifugal Pumps and Compressors Fans up to 10 HP Light Duty Conveyors	1.0	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3
Belt Conveyors For Sand, Grain, etc. Dough Mixers Fans Over 10 HP Generators Line Shafts Laundry Machinery Machine Tools Punches-Presses-Shears Printing Machinery Positive Displacement Rotary Pumps Revolving and Vibrating Screens	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4
Brick Machinery Bucket Elevators Exciters Piston Compressors Conveyors (Drag-Pan-Screw) Hammer Mills Paper Mill Beaters Piston Pumps Positive Displacement Blowers Pulverizers Saw Mill and Woodworking Machinery Textile Machinery	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6

La potencia de diseño se encuentra con la operación entre la potencia aplicada en el eje con el factor de servicio encontrado.

$$P_{diseño} = P * F_s$$

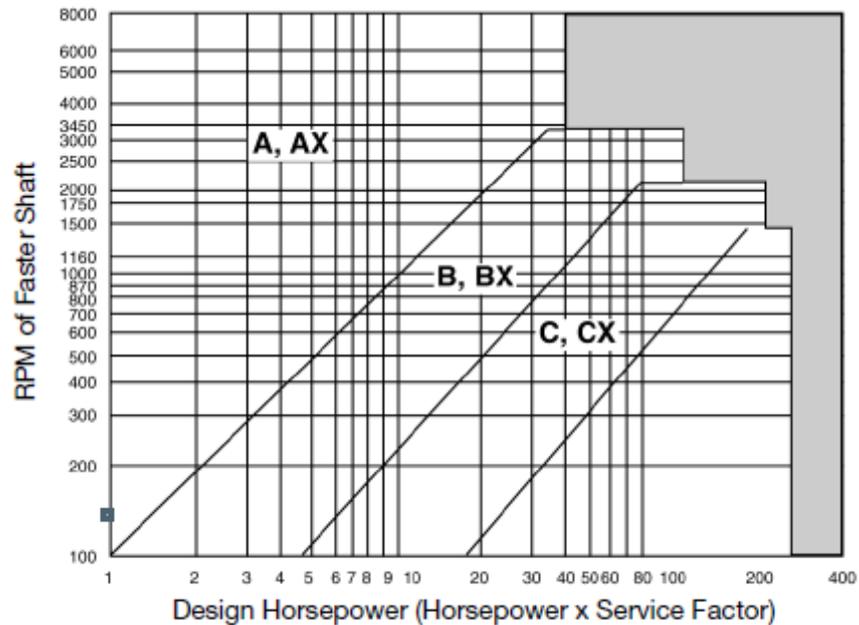
$$P_{diseño} = 0.1 HP * 1.3$$

$$P_{diseño} = 0.13 HP$$

Las bandas por utilizar serán de sección convencional, que se identifican por la nomenclatura A, AX, B, BX, C y CX. Para la selección de estos se utiliza una

gráfica proporcionada por el fabricante, que utiliza la potencia de diseño de 0.13 HP y la mayor velocidad angular que es de 113.43 RPM.

Apéndice B. 8. Bandas de sección convencional. [Martin Sprocket & Gear, Inc.]



Se selecciona las bandas convencionales A, que cumplen con los parámetros de potencia y de velocidad angular. Utilizando el catálogo de bandas (ver Apéndice A.9) se seleccionará en función de la relación S_{ratio} entre las velocidades angulares mayor y menor.

$$S_r = \frac{n_{mayor}}{n_{menor}}$$

$$S_r = \frac{113.43 \text{ RPM}}{77.16 \text{ RPM}}$$

$$S_r = 1.47$$

Con esta relación se ubica en el catálogo de las bandas con nomenclatura A y se obtienen los datos de potencia por banda, el cual es de 1.56 HP/per belt . Para establecer la cantidad de bandas utilizadas se aplica la siguiente ecuación, que requiere saber el factor de arco. La distancia entre centros es de 10.3 pulgadas por lo que el factor de corrección por arco es de 0.78.

$$Cantidad\ de\ bandas = \frac{P_{diseño}}{\frac{HP}{per\ belt} * Factor\ de\ arco}$$

$$Cantidad\ de\ bandas = \frac{(0.13\ HP)}{1.56 \frac{HP}{per\ belt} * 0.78}$$

$$Cantidad\ de\ bandas = 0.1 \cong 1\ Banda$$

\therefore Solicitar 1 Banda A – 31

En el Apéndice A.9 se indica el diámetro de las poleas a seleccionar, que son de 3 pulgadas de diámetro para la polea motriz y de 4.4 pulgadas de diámetro para la polea impulsada. Debido a que se usará una sola banda se escoge el catálogo de poleas para una banda. Estas se seleccionan de acuerdo con el Apéndice A.10 con los diámetros definidos.

Código de polea motriz: **AK32**

Código de polea impulsada: **AK49**

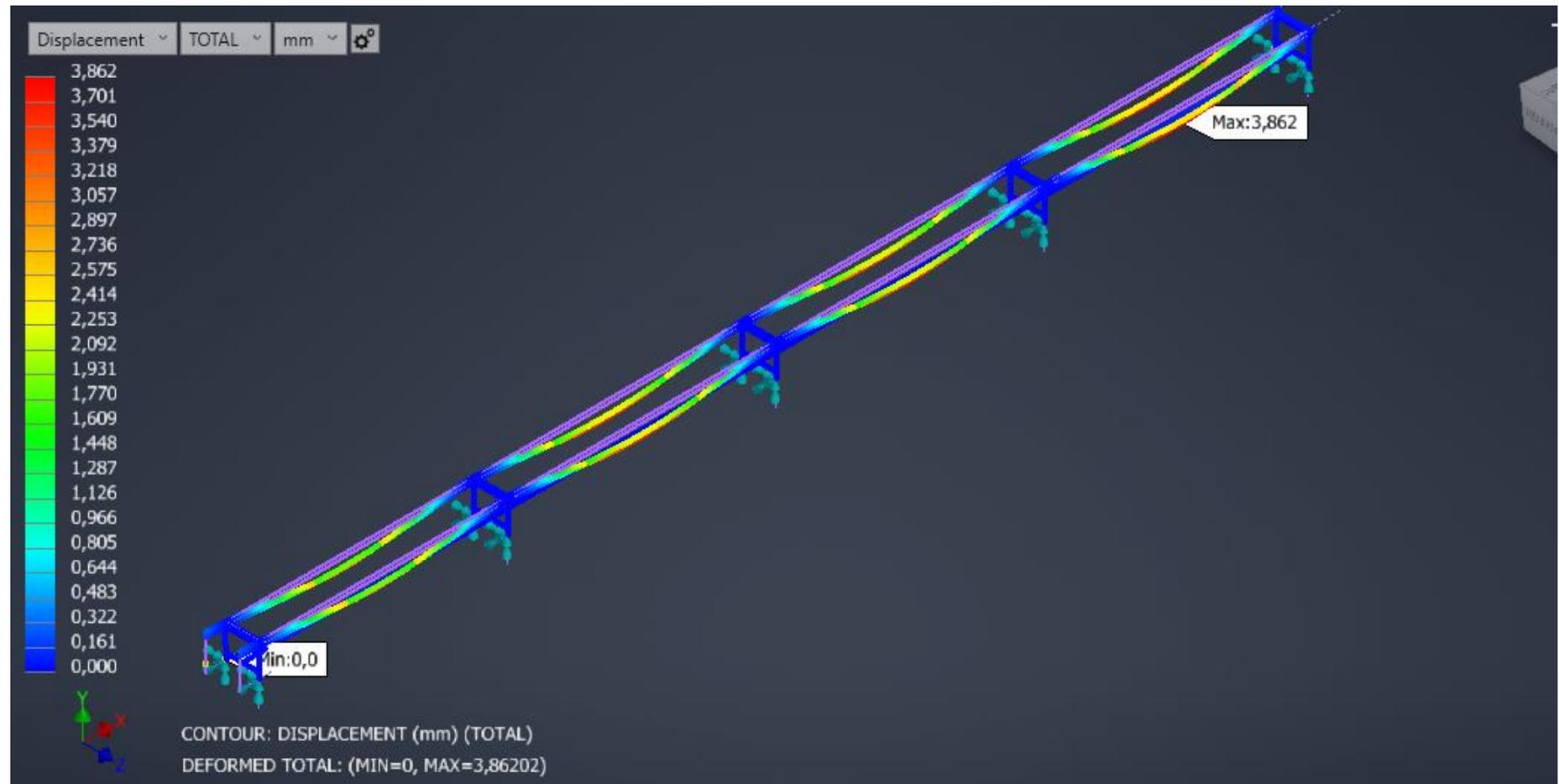
- **Motor**

El motor es seleccionado en base a los parámetros de entrada del motorreductor (ver en Apéndice A.8, sombreado verde), los cuales indican la potencia nominal del motor y la velocidad angular en RPM, siendo 0.12 KW y 1800 RPM respectivamente. El cual en base a la disponibilidad del mercado se seleccionará un motor.

Resultados de simulaciones en Autodesk Inventor Nastran de las estructuras de la banda transportadora y elevador inclinado de cangilones

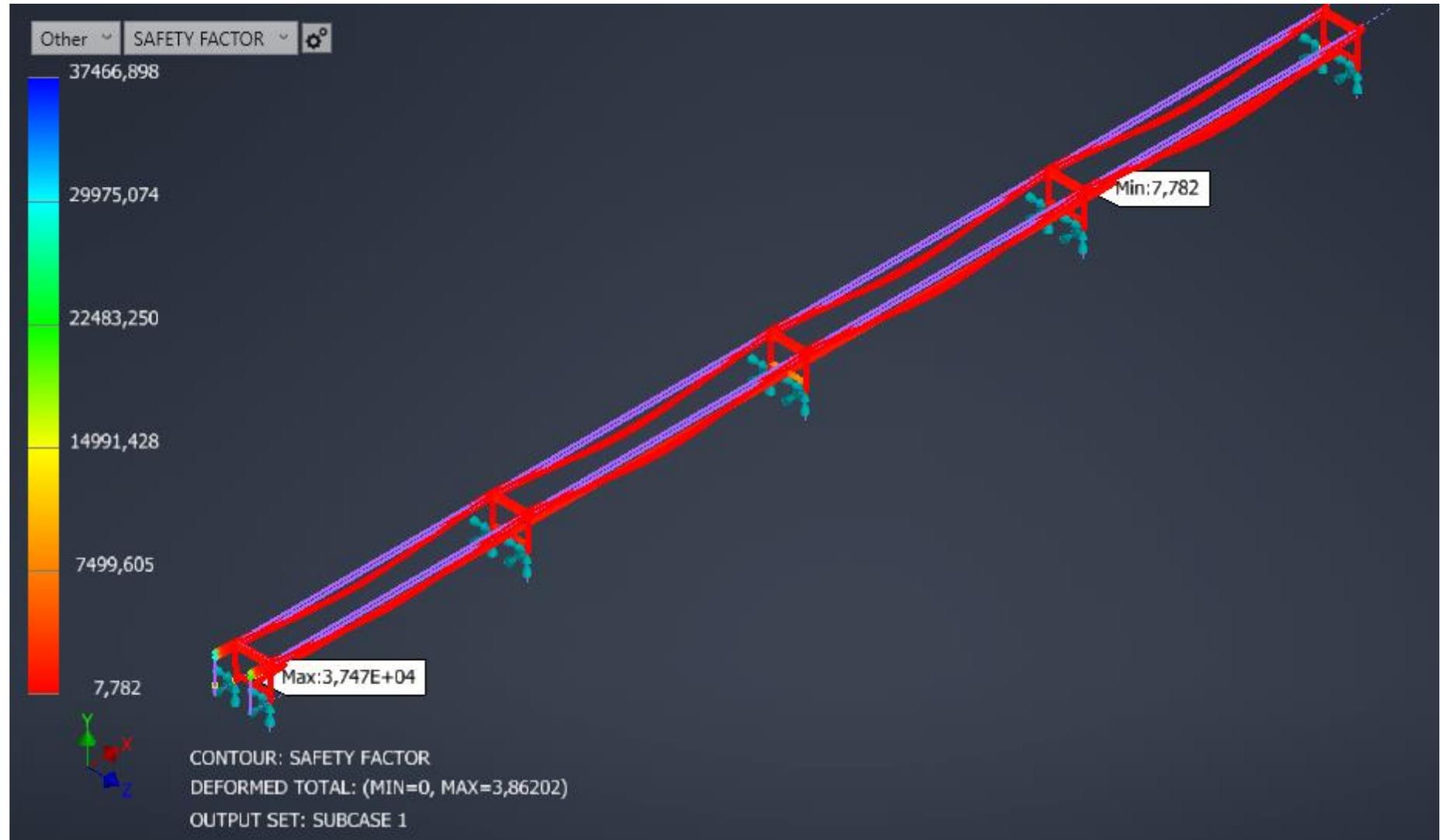
- **Análisis de deflexión de estructura para banda transportadora.**

Apéndice B. 9. Análisis de deflexión de estructura para banda transportadora. [Elaboración propia en Autodesk Inventor Nastran]



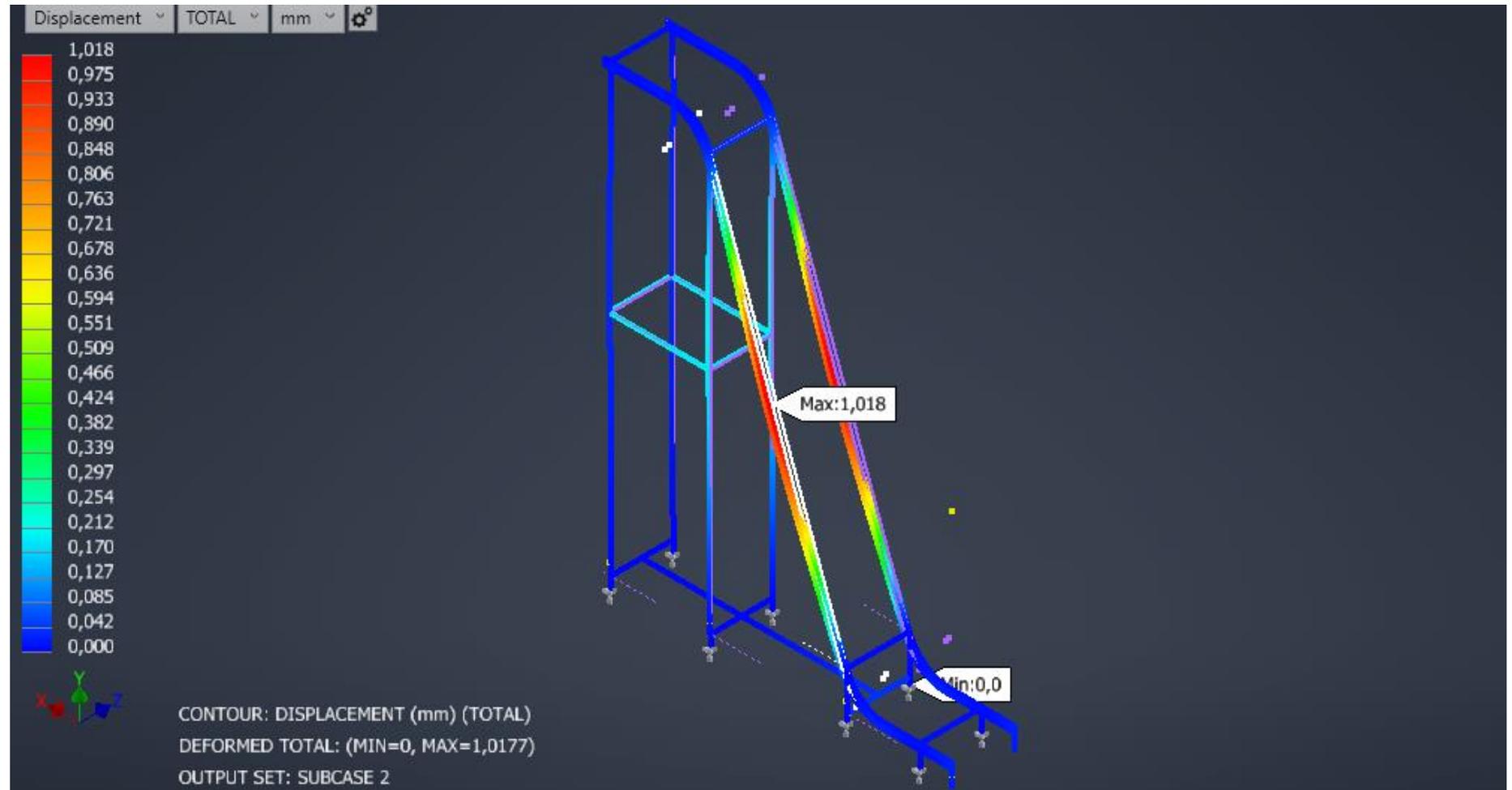
- Factor de seguridad de estructura para banda transportadora.

Apéndice B. 10. Factor de seguridad de estructura para banda transportadora. [Elaboración propia en Autodesk Inventor Nastran]



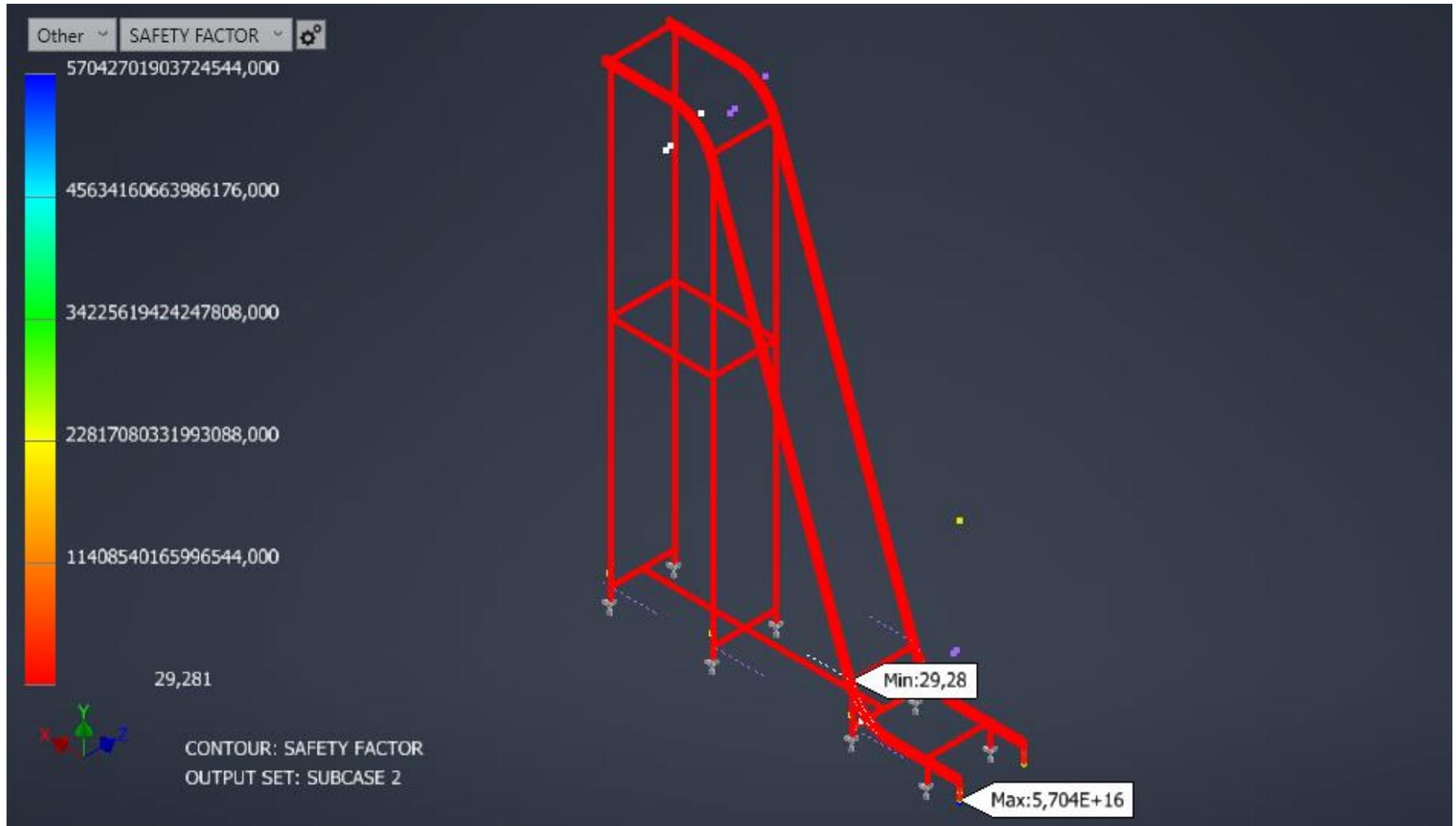
- **Análisis de deflexión de estructura para elevador inclinado de cangilones.**

Apéndice B. 11. Análisis de deflexión de estructura para elevador de cangilones. [Elaboración propia en Autodesk Inventor Nastran]



- **Factor de seguridad de estructura para banda transportadora**

Apéndice B. 12. Factor de seguridad de estructura para elevador de cangilones. [Elaboración propia en Autodesk Inventor Nastran]



Presupuesto del proyecto: Tarifa de servicio ingenieril

Para el cálculo de los costos asociados al servicio de diseño ingenieril en este proyecto, se empleó la siguiente fórmula del Colegio de Ingenieros de Venezuela (2008):

$$TH = FM * SBMH * FE$$

En donde TH hace referencia a la tarifa en dólares por hora de servicio; SBMH es el salario básico mensual por hora; FM es el factor multiplicador y FE es el factor de costos por estipendios.

- **Salario básico mensual por hora**

El salario básico mensual por hora se calcula dividiendo el salario mínimo sectorial estipulado por ley, para el número de horas netas mensuales.

El salario mínimo sectorial se lo obtuvo de la tabla de salarios mínimos sectoriales del Ministerio del trabajo del 2019. Se escogió el sector de “Actividades tipo servicios”, rama “Actividades profesionales”, ítem “profesionales con título de tercer nivel”, siendo este valor de \$433.11.

Las horas netas mensuales toman en cuenta los feriados y vacaciones por ley, además de los fines de semana. Se consideraron los 13 días de feriados nacionales y 15 días de vacaciones según la ley ecuatoriana:

$$HNM = \frac{\left(365 \frac{\text{días}}{\text{año}} - \text{sábados} - \text{domingos} - \text{vacaciones} - \text{feriados}\right) * 8 \frac{\text{horas}}{\text{día}}}{12}$$
$$HNM = \frac{\left(365 \frac{\text{días}}{\text{año}} - 52 - 52 - 13 - 15\right) * 8 \frac{\text{horas}}{\text{día}}}{12}$$
$$HNM = 155$$

Así, el salario básico por hora se calcula:

$$SBMH = \frac{433.11}{155}$$

SBMH = 2.78Factor multiplicador

El factor multiplicador se lo calcula de la siguiente forma:

$$FM = CD + CI$$

Donde FM representa el factor multiplicador, CD son los costos directos asociados al proyecto, y CI los costos indirectos.

Costos directos

Para el cálculo de costos directos, se empleó la siguiente expresión:

$$CD = \left(\frac{HBM}{HNM} \right) * \left(1 + \frac{FCAS}{100} \right)$$

En donde HBM representan las horas básicas mensuales, HNM las horas netas mensuales, y FCAS el factor de costo asociado al salario (incluyendo beneficios de ley).

Horas básicas mensuales

Las horas básicas mensuales son las horas que se trabajan de lunes a viernes, sin los fines de semana; con 8 horas diarias de trabajo; tomando en cuenta como punto de partida los 365 días del año:

$$HBM = \frac{\left(365 \frac{\text{días}}{\text{año}} - \text{sábados} - \text{domingos} \right) * 8 \frac{\text{horas}}{\text{día}}}{12}$$

$$HBM = \frac{\left(365 \frac{\text{días}}{\text{año}} - 52 - 52 \right) * 8 \frac{\text{horas}}{\text{día}}}{12}$$

$$HBM = 174$$

Horas netas mensuales

Las horas netas mensuales son las mismas que se calcularon en párrafos anteriores.

Factor de costo asociado al salario

Para calcular este factor, se utiliza la siguiente expresión:

$$FCAS = \left(\frac{TDP}{TDET} - 1 \right) * 100$$

En donde TDP es el total de días pagados al año, TDET es el total de días efectivamente trabajados.

Los días efectivamente trabajados se calculan restando las vacaciones, feriados y fines de semana de los 365 días del año:

$$TDET = 365 \frac{\text{días}}{\text{año}} - \text{sábados} - \text{domingos} - \text{vacaciones} - \text{feriados}$$
$$TDET = 365 \frac{\text{días}}{\text{año}} - 52 - 52 - 13 - 15$$
$$TDET = 233$$

Los días pagados al año, se obtienen sumando a los 365 días los beneficios sociales. En este proyecto, se incluyeron: 30 días de preaviso, 21 días de utilidades y 15 días de bono vacacional:

$$TDP = 365 + 30 + 21 + 15$$
$$TDP = 431$$

Así, el factor de costo asociado al salario es:

$$FCAS = \left(\frac{431}{233} - 1 \right) * 100$$
$$FCAS = 84.97$$

Una vez obtenidos todos los datos, se calcula el valor asociado a los costos directos:

$$CD = \left(\frac{174}{155} \right) * \left(1 + \frac{84.97}{100} \right)$$
$$CD = 2.072$$

Costos indirectos

Para el cálculo de costos indirectos, se usó la siguiente expresión:

$$CI = \frac{CIH}{\frac{SBMPI}{HBM}}$$

Donde CI son los costos indirectos, CIH representan los costos indirectos por hora, SBMPI es el salario básico mensual del personal indirecto involucrado en el proyecto, y HBM las horas básicas mensuales.

Costos indirectos por hora

Este valor se calcula tomando en cuenta todos los gastos asociados con operatividad al mes, dividido para el número de horas facturadas al mes (número de horas mensuales invertidas en el proyecto):

$$CIH = \frac{\text{Gastos operativos, tecnológicos otros}}{\text{horas facturadas al mes}}$$

A continuación, se detalla en una tabla los gastos operativos, tecnológicos y demás considerados en este proyecto al mes:

Apéndice B. 13. Gastos totales al mes [Elaboración propia]

Gastos al mes (operativo, servicios y suministros)	
Agua	\$ 7.64
Luz	\$ 23.37
Teléfono	\$ 10.00
Internet	\$ 32.40
Licencias de programas	\$ 330.41
TOTAL	\$ 403.82

Las horas facturadas al mes, se calcularon considerando que, en este proyecto, se han trabajado una jornada de 8 horas diarias, 5 días a la semana, durante un mes, dando un total de 160 horas. Así, los costos indirectos por hora son:

$$CIH = \frac{\$403.82}{160 \frac{\text{horas}}{\text{mes}}}$$

$$CIH = \$2.52$$

Salario básico mensual del personal indirecto involucrado

Este salario, se calcula promediando el salario de todos los involucrados indirectamente en el proyecto. Se tomaron en cuenta como personas involucradas directamente, todos los tutores del proyecto, así como el profesor principal de la materia y el cliente consultor en base a sus actividades económicas según el Ministerio de Trabajo:

Apéndice B. 14. Salarios básicos personal indirecto [Elaboración propia]

Personal indirecto, salario	
Tutor principal	\$ 452.84
Tutor secundario 1	\$ 452.84
Tutor secundario 2	\$ 399.48
Profesor titular	\$ 452.84
Ingeniero consultor	\$ 452.84
PROMEDIO	\$ 442.17

Así, los costos indirectos totales son:

$$CI = \frac{\frac{\$ 2.52}{hora}}{\frac{\$ 442.17/mes}{174 horas/mes}}$$
$$CI = 0.993$$

Una vez obtenidos los valores de costos directos e indirectos, el factor multiplicador es:

$$FM = 2.072 + 0.993$$
$$FM = 3.065$$

- **Factor de estipendio**

El factor de estipendio contempla ganancias para la empresa consultora. Realizando la suposición de que la consultora sea de propiedad de los diseñadores, se calcula este factor de la siguiente manera:

$$FE = 1 + \%GC + \%C$$

Donde %GC hace referencia al porcentaje de ganancia del consultor, y %C representa el porcentaje de contingencia. Ambos valores son definidos a criterio de la empresa. En este proyecto, se tomó la recomendación del Colegio de Ingenieros Mecánicos del Ecuador, en donde se establece que, para servicios de diseño entre profesionales, se cobrará un honorario no menor al 25% de las ganancias. El porcentaje de contingencia se lo tomó del ejemplo del Colegio de Ingenieros de Venezuela. Así, el cálculo del factor de estipendio es:

$$FE = 1 + 0.3 + 0.15$$

$$FE = 1.45$$

Una vez obtenidos todos los factores, se calcula la tarifa horaria por concepto de servicio de ingeniería:

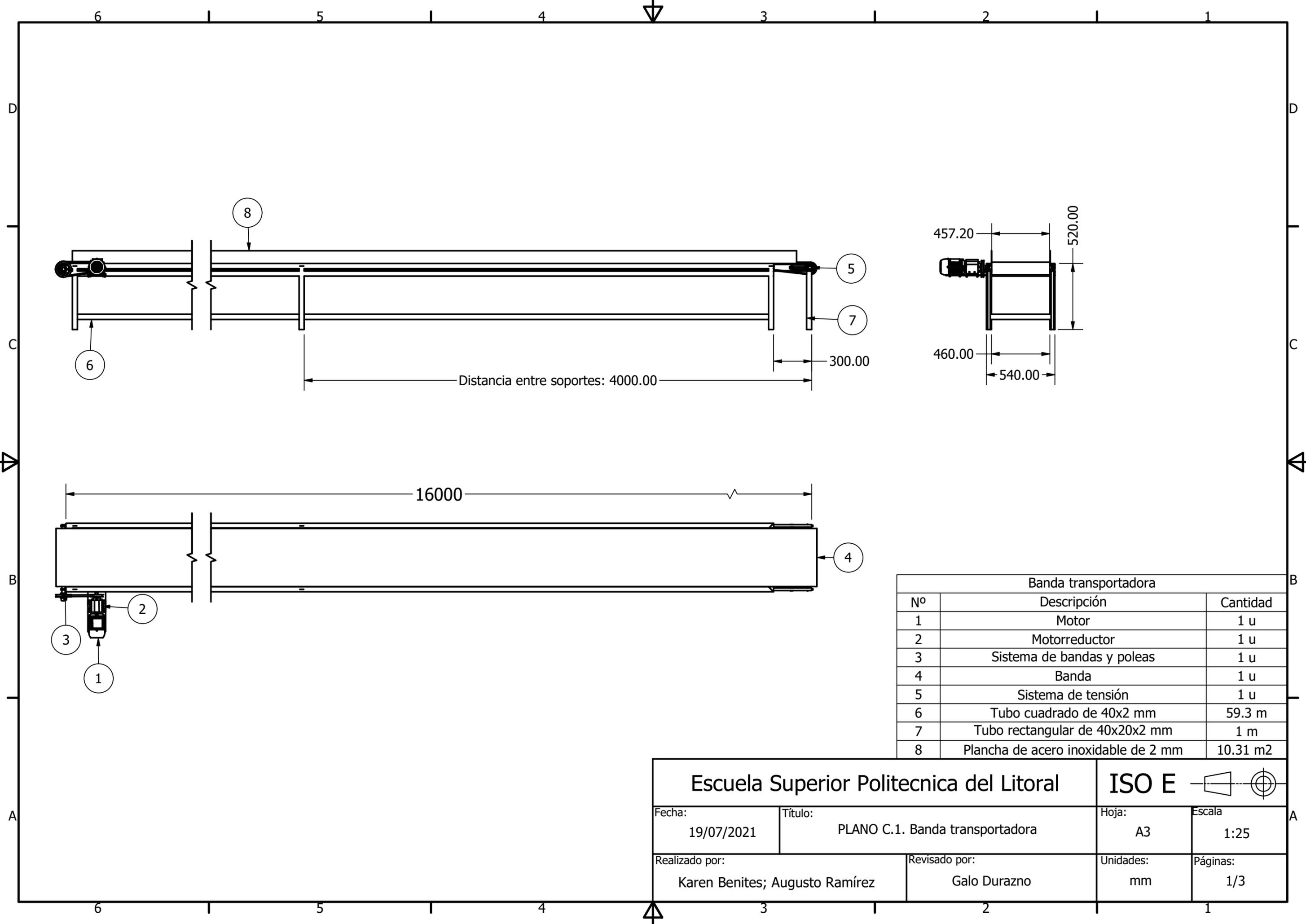
$$TH = 1.45 * 3.065 * 2.78$$

$$TH = 12.39$$

Finalmente, para el cálculo de los honorarios por servicio de diseño ingenieril totales en el presupuesto, se consideró lo siguiente para el número de horas totales a cobrar: se trabajó en promedio 4 horas diarias, 4 días a la semana; por 4 meses que duró la ejecución del proyecto; considerando el trabajo de dos ingenieros mecánicos con consultora independiente.

APÉNDICE C

Planos

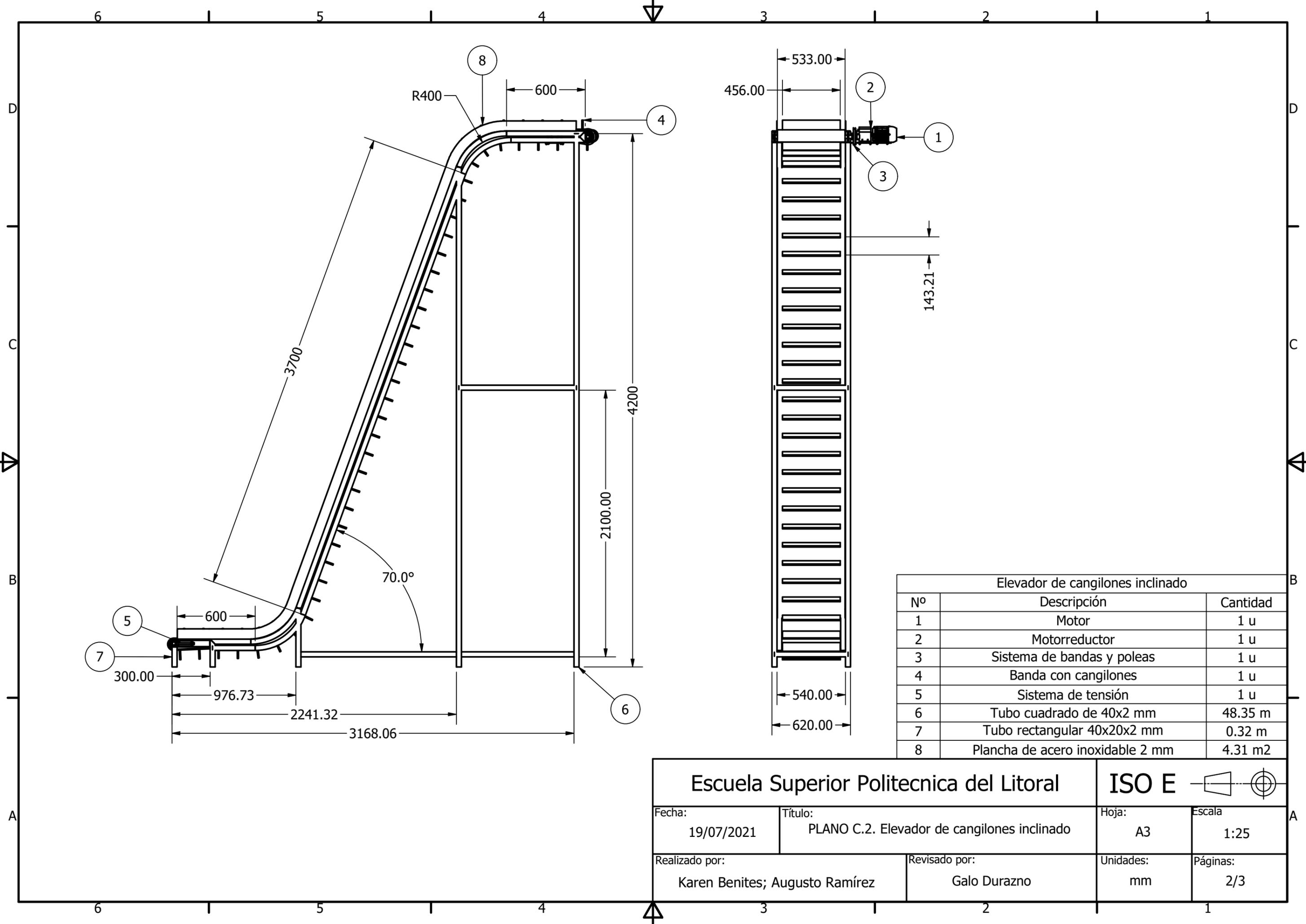


Distancia entre soportes: 4000.00

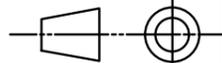
16000

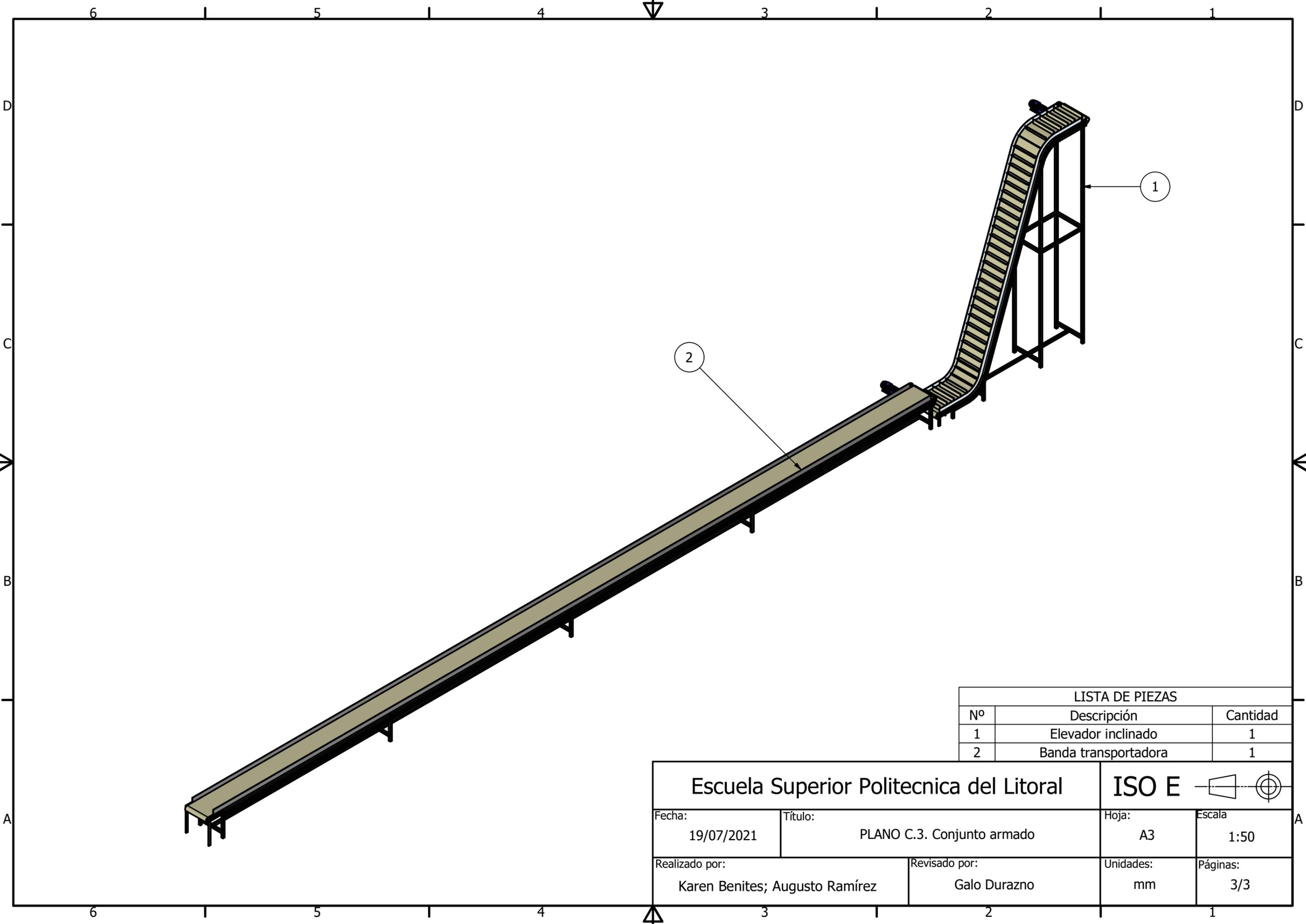
Banda transportadora		
Nº	Descripción	Cantidad
1	Motor	1 u
2	Motorreductor	1 u
3	Sistema de bandas y poleas	1 u
4	Banda	1 u
5	Sistema de tensión	1 u
6	Tubo cuadrado de 40x2 mm	59.3 m
7	Tubo rectangular de 40x20x2 mm	1 m
8	Plancha de acero inoxidable de 2 mm	10.31 m2

Escuela Superior Politecnica del Litoral		ISO E	
Fecha: 19/07/2021	Título: PLANO C.1. Banda transportadora	Hoja: A3	Escala: 1:25
Realizado por: Karen Benites; Augusto Ramírez		Revisado por: Galo Durazno	
		Unidades: mm	Páginas: 1/3



Elevador de cangilones inclinado		
Nº	Descripción	Cantidad
1	Motor	1 u
2	Motorreductor	1 u
3	Sistema de bandas y poleas	1 u
4	Banda con cangilones	1 u
5	Sistema de tensión	1 u
6	Tubo cuadrado de 40x2 mm	48.35 m
7	Tubo rectangular 40x20x2 mm	0.32 m
8	Plancha de acero inoxidable 2 mm	4.31 m ²

Escuela Superior Politecnica del Litoral		ISO E 	
Fecha: 19/07/2021	Título: PLANO C.2. Elevador de cangilones inclinado	Hoja: A3	Escala: 1:25
Realizado por: Karen Benites; Augusto Ramírez		Revisado por: Galo Durazno	Unidades: mm
			Páginas: 2/3



LISTA DE PIEZAS		
Nº	Descripción	Cantidad
1	Elevador inclinado	1
2	Banda transportadora	1

Escuela Superior Politecnica del Litoral		ISO E	
Fecha: 19/07/2021	Título: PLANO C.3. Conjunto armado	Hoja: A3	Escala: 1:50
Realizado por: Karen Benites; Augusto Ramírez		Revisado por: Galo Durazno	Unidades: mm
			Páginas: 3/3