

**Instituto Tecnológico de Costa Rica**

**Carrera de Ingeniería Mecatrónica**



**Diseño de apilador y des apilador de contenedores automático**

**Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de Ingeniero en  
Mecatrónica con el grado académico de Licenciatura**

**Luis Fernando Elizondo Perez**

**2015049449**

**Cartago, enero 2021**



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

## Declaratoria de Autenticidad

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía, he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas.

En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.

Cartago, 25 de enero 2021

Luis Elizondo  
Luis Fernando Elizondo Pérez

Céd: 7-0255-0352

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA  
PROYECTO DE GRADUACIÓN  
ACTA DE APROBACIÓN DEL INFORME FINAL**

El Profesor Asesor del presente trabajo final de graduación, indica que el documento presentado por el estudiante cumple con las normas establecidas por la Carrera de Ingeniería Mecatrónica, como requisito para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica, con el grado académico de Licenciatura, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Estudiante: Luis Fernando Elizondo Pérez

Proyecto: Diseño de apilador y des apilador de contenedores automático.

**ANA MARIA  
MURILLO  
MORGAN (FIRMA)**  Firmado digitalmente por  
ANA MARIA MURILLO  
MORGAN (FIRMA)  
Fecha: 2021.01.19  
12:44:17 -06'00'

---

Ing. Ana María Murillo Morgan

Asesor

Cartago, 25 de enero 2021

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**  
**PROYECTO DE GRADUACIÓN**  
**ACTA DE APROBACIÓN**

Proyecto de Graduación defendido ante el presente Jurado Evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero en Mecatrónica con el grado académico de Licenciatura, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Estudiante: Luis Fernando Elizondo Perez

Proyecto: Diseño de apilador y des apilador de contenedores automático.

**Miembros del Jurado**

**IVAN ARAYA  
MENESES (FIRMA)**  Firmado digitalmente por  
IVAN ARAYA MENESES (FIRMA)  
Fecha: 2021.01.25 18:15:40  
-06'00'

---

MSc. -Ing. Iván Araya Meneses

Jurado 1

**JUAN LUIS CRESPO  
MARIÑO (FIRMA)**  Firmado digitalmente por JUAN  
LUIS CRESPO MARIÑO (FIRMA)  
Fecha: 2021.01.26 08:21:38 -06'00'

---

Dr. Juan Luis Crespo Mariño

Jurado 2

**JOHANNA VANESSA  
MUÑOZ PEREZ (FIRMA)**  Firmado digitalmente por JOHANNA  
VANESSA MUÑOZ PEREZ (FIRMA)  
Fecha: 2021.01.25 17:41:31 -06'00'

---

Ing. Johanna Muñoz Pérez

Jurado 3

Los miembros de este Jurado dan fe de que el presente trabajo de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por la Carrera de Ingeniería Mecatrónica.

Cartago, 25 de enero 2021

## Resumen

La organización Frutilight S.A presenta una deficiencia en el flujo productivo en la línea de pure aséptico de banano. El suministro de fruta presenta atrasos por el des apilado de contenedores a causa de que no se cuenta con el equipo adecuado para esta tarea. Actualmente el proceso des apilado se realiza de forma manual mediante el uso de un montacarga y se cuenta con un operador el cual únicamente se dedica al apilado los contenedores vacíos. Por lo cual se tiene una disminución en los índices productivos consecuente a una reducción en el rendimiento de la empresa arraigado a una disminución de utilidades.

Para el problema se diseñó un sistema mecánico que permite apilar y des apilar contenedores, el cual presenta movilidad sobre los tres ejes coordenados, sujeción ajustable y precisión en la movilidad del sistema. De la misma manera se diseñó un sistema de automatización permitiendo el control de la posición en los tres ejes coordenados, la sujeción ajustable, el apilado y des apilado de forma autónoma. El sistema apilador y des apilador de contenedores se validó mediante la simulación, así como con prototipos enfocados físicos para evaluar aspectos críticos los cuales únicamente se aprecian con la implementación.

Palabras Claves: **apilador y des apilador, diseño mecánico, sistema automático y prototipo enfocado**

## **Abstract**

The organization Frutilight S.A presents a deficiency in the productive flow in the aseptic line of banana puree. The supply of fruit presents delays due to the unstacking of containers due to the lack of adequate equipment for this task. Currently the destacking process is carried out manually using a forklift and an operator who only dedicates his time in the emptying of containers in the stacker. Therefore, there is a decrease in the productive indexes consequent to a reduction in the performance of the company rooted in a decrease in profits.

For the problem, a mechanical system was designed that allows containers to be stacked and unstacked, which has mobility on the three coordinated axes, adjustable clamping and precision in the mobility of the system. In the same way, an automation system was designed allowing the control of the position in the three coordinated axes, the adjustable clamping, the stacking and unstacking autonomously. The container stacker and unstacker system was validated through simulation, as well as with focused physical prototypes to evaluate critical aspects which are only appreciated with implementation.

Keywords: **stacker and unstacker, mechanical design, automatic system**  
and **focused prototype**

## **Dedicatoria**

Dedico el presente proyecto a mis padres, Johana Perez y Luis Elizondo. Por siempre brindarme su apoyo incondicional durante el recorrido de mi desarrollo profesional, pero en especial quiero agradecer a mi madre que siempre me motivó a seguir adelante y a ser mejor cada día; a luchar por mis sueños y verdaderamente ser un profesional apasionado de su oficio.

A mis otros familiares y amigos que siempre me apoyaron en los momentos difíciles con palabras de aliento para seguir de la mejor manera; a nunca darme por vencido sino aprender del fracaso y usarlo como herramienta para ser mejor.

A mis compañeros de la universidad: Manuel E, Rubén C, José Miguel, Julián S, Gabriel A, Isaac A, Heiner B, Sebastián C, Heiner G, Andrés G, Fabian A, José A, Juan P, Alex F, Luis M, Pablo M, Leonardo N, Jason S, Carlos M y a David M, por ser un excepcional equipo de trabajo y brindarme lo más importante: su amistad.

## **Agradecimientos**

Agradecer a la organización Frutilight S.A por abrirme las puertas para poder elaborar mi proyecto de graduación, a cada uno de los departamentos por hacerme sentir un miembro más de su equipo de trabajo. Pero en especial al departamento de mantenimiento por su apoyo en la elaboración del proyecto, desde los operarios de servicios generales, técnicos mecánicos, técnicos eléctricos, técnicos de sala de máquinas y supervisores hasta el jefe de mantenimiento, Iván Quesada.

A la profesora Ana María Murillo por ser mi asesora de proyecto y tener soluciones innovadoras las cuales fueron de gran ayuda para poder lograr el objetivo de completar el proyecto con éxito.

Al gerente de producción Hugo Leiva por ser mi asesor industrial e involucrarse de una forma activa en el proyecto con recurrentes reuniones y revisar aspectos ingenieriles respecto a cálculos tanto mecánicos como eléctricos.

# Índice

Índice de Imágenes .....	V
Índice de Tablas .....	IX
Capítulo 1. Introducción .....	1
1.1 Entorno del proyecto .....	1
1.1.1 Misión .....	1
1.1.2 Visión .....	1
1.1.3 Política de calidad e inocuidad .....	2
1.2 Definición del problema.....	2
1.2.1 Generalidades.....	2
1.2.2 Justificación .....	3
1.2.3 Síntesis del problema .....	3
1.3 Objetivo General .....	4
1.4 Objetivos Específicos.....	4
Capítulo 2. Marco Teórico .....	5
2.1 Introducción.....	5
2.2 Proceso productivo general del puré aséptico de banano .....	5
2.3 Elementos Mecánico.....	7
2.3.1 Tornillo de potencia.....	7
2.3.2 Cremallera y Piñón .....	9
2.3.3 Ecuación de Lewis Flexión en engranes.....	11
2.3.4 Ecuación del esfuerzo AGMA .....	11
2.3.5 Engranes de Tornillo Sinfín.....	13
2.3.6 Cadena de Rodillos.....	14
2.3.7 Transmisión de banda plana o redonda.....	15

2.3.8	Guías lineales .....	16
2.3.9	Tornillo de bolas.....	17
2.4	Automatización.....	18
2.4.1	Variadores de frecuencia .....	18
2.4.2	Encoder Incremental.....	19
2.4.3	Actuadores lineales eléctricos .....	20
2.4.4	Sensor de presencia ausencia capacitivo.....	21
2.5	Normativas referentes al proyecto .....	22
2.5.1	Certificación FSSC22000.....	22
2.5.2	La organización para la salud y seguridad pública (NSF).....	23
2.5.3	Lubricantes grado alimenticio .....	23
Capítulo 3. Metodología de solución .....		26
Capítulo 4. Descripción del proceso productivo y Alcance del Proyecto .....		28
4.1	Aspectos generales.....	28
4.2	Estado del Arte.....	34
4.2.1	Apilador de Bines por <i>Rochin Post Harvest</i> .....	34
4.2.2	Stacker Bin <i>Sienz</i> .....	35
4.2.3	STACKER CRANE IN THE EMPTY BIN WAREHOUSE LTW .....	37
4.3	Especificaciones del Diseño.....	38
Capítulo 5. Alternativa de Solución .....		40
5.1	Selección de elementos estructurales del sistema.....	42
5.2	Selección de mecanismo para el movimiento en los diferentes ejes coordinados. 44	
5.3	Selección de mecanismo de sujeción de contenedores.....	49
5.4	Selección de controlador general del sistema.....	52

5.5	Selección de sensores Capacitivos.....	55
Capítulo 6. Descripción de la solución .....		57
6.1	Diseño mecánico.....	57
6.1.1	Diseño estructural .....	57
6.1.2	Diseño de transmisión de potencia.....	64
6.2	Diseño del sistema de automatización .....	71
Capítulo 7. Resultados .....		85
7.1	Simulación del sistema mecánico .....	85
7.2	Simulación del sistema de automatización .....	93
7.3	Comprobación conceptual mediante prototipo enfocado .....	101
7.3.1	Prototipo enfocado a la movilidad del sistema.....	101
7.3.2	Prototipo enfocado del sistema de sujeción.....	108
7.4	Plan de Mantenimiento Preventivo.....	111
7.5	Análisis financiero del sistema apilador y des apilador automático de contenedores .....	112
Capítulo 8. Conclusiones y Recomendaciones .....		115
8.1	Conclusiones .....	115
8.2	Recomendaciones .....	116
Capítulo 9. Referencias Bibliográficas.....		117
Capítulo 10. Apéndices.....		120
Apéndice A.1 .....		120
Apéndice A.2.....		121
Apéndice A.3.....		122
Apéndice A.4.....		137
Apéndice A.5.....		138

Apéndice A.6.....	139
Capítulo 11. Anexos .....	140

## Índice de Imágenes

Figura 2-1. Proceso General de Productivo de Aséptico de Banano Frutilight S.A [8]....	6
Figura 2-2. Tornillo para transmisión de potencia [2]. .....	7
Figura 2-3. Distribución de Fuerzas sobre el tornillo de potencia [2].....	8
Figura 2-4. Nomenclatura Diente de Engrane Recto [2].....	9
Figura 2-5. Cremallera de Longitud infinita [2]. .....	10
Figura 2-6. Nomenclatura de un engrane de tornillo sinfín de envolvente sencilla [2]. .	13
Figura 2-7. Cadena de doble rodillo [2]. .....	14
Figura 2-8. Transmisión de potencia por banda [2]. .....	15
Figura 2-9. Guías lineales Thomson [3]. .....	16
Figura 2-10. Tornillo de bolas Thomson Industries [4]. .....	17
Figura 2-11. Variadores de frecuencia ofrecidos por ABB [11]. .....	18
Figura 2-12. Encoder incremental industrial [13]. .....	19
Figura 2-13. Actuador lineal LINAK LA28 [12].....	20
Figura 2-14. Sensores capacitivos ofrecidos por Rechner Sensors [14]. .....	21
Figura 3-1 Proceso de Diseño de ingeniería .....	26
Figura 4-1 Área de volteo de contenedores (Elaboración propia). .....	28
Figura 4-2 Diagrama de bloques de proceso intermedio entre maduración y pelado (Elaboración propia). .....	29
Figura 4-3. Cámara de maduración Frutilight (Elaboración propia).....	30
Figura 4-4. Montacarga trasladando contenedores llenos al área de volteo (Elaboración propia). .....	31
Figura 4-5. Área de Volteo Frutilight (Elaboración propia). .....	32
Figura 4-6. Apilamiento manual de contenedores (Elaboración propia).....	33
Figura 4-7. Apilador y des apilador Rochin Post Harvest [15]. .....	35
Figura 4-8. Apilador y desapilador Sienz Stacker [16]. .....	36
Figura 4-9. Apilador y desapilador LTW intralogistics [17]. .....	37
Figura 5-1. Perfiles estructurales ofrecidos por Arcerlomittal [11]. .....	42
Figura 6-1. Tipo de sujeción de la columna estructural del sistema (Elaboración propia). .....	58

Figura 6-2. Unión crítica del sistema apilador y des apilador de contenedores (Elaboración propia).....	61
Figura 6-3. Sistema con angular y placas de soporte alma de viga y columna (Elaboración propia).....	63
Figura 6-4. Estructura del sistema apilador y des apilador de contenedores (Elaboración propia).....	63
Figura 6-5. Distribución de momentos sobre el portador de la guía lineal HGH65HA... 64	64
Figura 6-6. Guía para colocación de cremallera sobre viga (Elaboración propia).....	65
Figura 6-7. Engranaje de la cremallera y el piñón (Elaboración propia).....	70
Figura 6-8. CPU del sistema de automatización (Elaboración propia). ....	72
Figura 6-9. Variador de frecuencia G120 eje coordinado “X” (Elaboración propia).....	73
Figura 6-10. Comunicación PLC y los variadores de frecuencia (Elaboración propia)..	74
Figura 6-11. Bytes dedicados a la comunicación (Elaboración propia).....	74
Figura 6-12. Designación de funcionamiento variador de frecuencia (Elaboración propia). .....	75
Figura 6-13. Relación mecánica del sistema con el variador de frecuencia (Elaboración propia).....	75
Figura 6-14. Delimitación del área de trabajo (Elaboración propia). ....	76
Figura 6-15. Configuración de giro del motor (Elaboración propia).....	77
Figura 6-16. Configuración de la posición origen del sistema (Elaboración propia).....	77
Figura 6-17. Configuración de posibles posiciones para el sistema en el eje coordinado X (Elaboración propia).....	78
Figura 6-18. Diagrama de Bloques del sistema apilador y des apilador de contenedores automático (Elaboración propia). ....	81
Figura 6-19. Diagrama interno del bloque de posición de origen (Elaboración propia). 82	82
Figura 6-20. Diagrama interno del bloque des apilar contenedores sobre la banda del volteador (Elaboración propia). ....	83
Figura 6-21. Diagrama interno del bloque de sujeción (Elaboración propia).....	84
Figura 7-1. Sistema mecánico del apilador y des apilador de contenedores (Elaboración propia).....	85

Figura 7-2. Sistema de sujeción del apilador y des apilador de contenedores automático (Elaboración propia).....	86
Figura 7-3. Detalle del sistema móvil del apilador y des apilador automático de contenedores (Elaboración propia).....	87
Figura 7-4. Simulación del sistema estructural del sistema apilador y des apilador de contenedores (Elaboración propia).....	88
Figura 7-5. Simulación del portador del sistema (Elaboración propia).....	89
Figura 7-6. Simulación del contrapeso del sistema de movilidad del eje coordinado Z (Elaboración propia).....	90
Figura 7-7. Simulación del sistema de sujeción (Elaboración propia).....	91
Figura 7-8. Simulación de la articulación del sistema de sujeción (Elaboración propia).....	92
Figura 7-9. Simulación de los tubos guías del sistema de sujeción (Elaboración propia).....	93
Figura 7-10 Simulación de la comunicación del volteador de contenedor con el sistema (Elaboración propia).....	94
Figura 7-11. Simulación posición de origen (Elaboración propia).....	95
Figura 7-12 Simulación del bloque de movilidad en el eje coordinado X (Elaboración propia).....	96
Figura 7-13. Simulación del bloque de apilar con posición correcta (Elaboración propia).....	97
Figura 7-14 Simulación del bloque de apilar con posición incorrecta.....	99
Figura 7-15. Simulación de bloque de sujeción.....	100
Figura 7-16. Estructura de prototipado enfocado a la movilidad del sistema (Elaboración propia).....	102
Figura 7-17. Simulación de la impresión 3D de la cremallera y el piñón (Elaboración propia).....	103
Figura 7-18. Comprobación de la funcionabilidad del engranaje entre la cremallera y el piñón (Elaboración propia).....	103
Figura 7-19. Mecanismo de movimiento eje coordinado "Z" (Elaboración propia).....	104

Figura 7-20. Dibujo del área superior del prototipo enfocado a la movilidad (Elaboración propia).....	105
Figura 7-21 Prototipo enfocado a la movilidad finalizado (Elaboración propia).....	106
Figura 7-22 Sistema sujeción del sistema (Elaboración propia).....	108
Figura 7-23. Ensamblaje de prototipo enfocado de sujeción.....	109
Figura 7-24. Validación del funcionamiento del prototipo enfocado de sujeción (Elaboración propia).....	110
Figura 7-25. Plan de mantenimiento preventivo para el sistema apilador y des apilador de contenedores automático (Elaboración propia).....	112
Figura A. 1. Grafica para el cálculo de esfuerzo [2].....	140
Figura A. 2 Grafica factor de forma [2]. .....	141
Figura A. 3 Grafico factor dinámico de engranes AGMA [2].....	142
Figura A. 4 Designación del factor de distribución de carga [2]. .....	142
Figura A. 5 Grafica para el cálculo de ciclos de trabajo AGMA [2].....	143

## Índice de Tablas

Tabla 4-1. Especificaciones del sistema apilador y des apilador. ....	38
Tabla 4-2. Métricas con base a las especificaciones del sistema. ....	39
Tabla 5-1. Alcance del proyecto. ....	40
Tabla 5-2 Perfiles estructurales. ....	43
Tabla 5-3. Mecanismo de transmisión de potencia. ....	45
Tabla 5-4. Puntuación sistemas de transmisión de Potencia ejes X y Y ....	47
Tabla 5-5. Calificación sistemas de transmisión de Potencia ejes X y Y. ....	47
Tabla 5-6. Puntuación sistemas de transmisión de potencia ejes Z. ....	48
Tabla 5-7. Calificación sistemas de transmisión de potencia ejes Z. ....	49
Tabla 5-8. Sistemas de sujeción. ....	50
Tabla 5-9. Puntuación del sistema de sujeción. ....	51
Tabla 5-10. Calificación del sistema de sujeción. ....	51
Tabla 5-11. Controladores lógicos programables. ....	52
Tabla 5-12. Puntuación de los Microcontroladores. ....	54
Tabla 5-13 Sensores Capacitivos ....	55
Tabla 5-14 Puntuación de sensores capacitivos ....	56
Tabla 6-1. Características técnicas de las columnas del sistema. ....	57
Tabla 6-2. Relación de Esbeltez columnas del sistema. ....	59
Tabla 6-3. Factores de seguridad de las columnas estructurales del sistema ....	59
Tabla 6-4. Características técnicas de las vigas del sistema. ....	60
Tabla 6-5 Factores de seguridad de las vigas estructurales del sistema ....	61
Tabla 6-6. Factores de seguridad sujeción critica del sistema. ....	62
Tabla 6-7. Distribución de momentos flectores sobre la guía lineal. ....	64
Tabla 6-8. Factor de seguridad del portador de la guía lineal. ....	65
Tabla 6-9 Especificaciones técnicas de la cremallera y el piñón. ....	66
Tabla 6-10. Elementos del sistema de automatización. ....	72
Tabla 6-11. Direcciones de los dispositivos para la comunicación PROFINET. ....	73

Tabla 6-12. Descripción de los bloques de programa implementados en Tia Portal.....	79
Tabla 7-1. Resultados de la simulación del sistema estructural.....	88
Tabla 7-2. Resultado de la simulación del portador del sistema. ....	89
Tabla 7-3. Resultados de la simulación del contrapeso. ....	90
Tabla 7-4. Resultados de la simulación del sistema de sujeción. ....	91
Tabla 7-5. Resultados de la simulación de la articulación del sistema de sujeción.....	92
Tabla 7-6. Resultados de la simulación del tubo guía del sistema de sujeción.....	93
Tabla 7-7. Designación de direcciones bloque de posición de origen.....	95
Tabla 7-8. Designación de variables en el bloque de apilar. ....	98
Tabla 7-9 Descripción de variables bloque de sujeción. ....	100
Tabla 7-10. Pruebas en el prototipado enfocado a la movilidad.....	107
Tabla 7-11. Resumen de los resultados de la validación del prototipo enfocado a la sujeción.....	110
Tabla 7-12. Costos tentativos para la implementación del proyecto. ....	112
Tabla 7-13. Flujo de caja sistema apilador y des apilador de contenedores. ....	113
Tabla 7-14. Indicadores financieros del proyecto.....	114

## **Capítulo 1. Introducción**

### **1.1 Entorno del proyecto**

El proyecto se realizó en la organización Frutilight S.A, la cual inició sus operaciones a partir del año 2015, dedicándose a la industria alimentaria elaborando productos asépticos y congelados a base de frutas tropicales cultivadas en Costa Rica. La organización presenta dos plantas homólogas que son Banalight y Tropilight que se encuentran localizadas en Ecuador y Guatemala respectivamente. Frutilight S.A se ubica en Costa Rica, en la provincia de Limón, cantón de Siquirres en el distrito de Germanía con un horario rotativo de 3 turnos con operaciones productivas las 24 horas y los 7 días a la semana. La misión, visión y política de calidad e inocuidad alimentaria de la empresa se presentan a continuación.

#### **1.1.1 Misión**

Producir y proveer productos confiables con la más alta calidad e inocuidad, para beneficio de las partes interesadas, brindando las mejores condiciones de trabajo y capacitación constante a nuestro recurso humano.

#### **1.1.2 Visión**

Ser la empresa líder en Latinoamérica en la producción y exportación de productos IQF, Block Frozen, jugos y concentrados asépticos de frutas tropicales de origen costarricense.

### **1.1.3 Política de calidad e inocuidad**

Somos una organización que elabora productos asépticos y congelados a partir de frutas tropicales cumpliendo con el marco legal, regulatorio y normativas de calidad e inocuidad nacionales e internacionales, comprometidos con la mejora continua, a través de un sistema de gestión que incluye el contexto interno y externo de las partes interesadas, la verificación y eficacia de nuestros procesos, asegurando la satisfacción de nuestros clientes.

## **1.2 Definición del problema**

### **1.2.1 Generalidades**

El departamento de producción en Frutilight S.A presenta problemas con el suministro de fruta en la línea aséptica de banano, la cual se realiza de forma manual mediante el uso de un montacarga por lo consecuente se tienen tiempos de espera ocasionando una disminución en la eficiencia de la línea productiva.

El proceso productivo de pure aséptico de banano, se ha realizado desde que se inició operaciones en la planta con montacargas el cual dura alrededor de 145 s acomodando 4 contenedores en la banda del volteador de banano, donde cada contenedor completo pesa aproximadamente 340 kg y se procesan alrededor de 250 toneladas de banano por turno. Como se mencionó previamente, la organización labora 3 turnos los cuales significan 20.4 horas de un montacarga des apilando contenedores. A esto se debe sumar un operador el cual debe apilar los contenedores vacíos que salen por la banda del volteador.

La importancia del diseño del apilador y des apilador automático de contenedores, es el mejoramiento de los índices productivos de la organización incidiendo en un aumento estimado del 3% en la eficiencia en el proceso aséptico de banano. Así como el avance tecnológico para el mercado nacional debido que no se encuentra evidencia de un sistema con características homólogas en el mercado. Por último, el proyecto contribuirá en dar a conocer el perfil del ingeniero mecatrónico así como sus habilidades profesionales en la región Huetar Atlántica.

### **1.2.2 Justificación**

En la organización *Frutilight S.A* la línea prioritaria es el aséptico de banano debido que esta constituye el 78% de los productos elaborados en la compañía. La empresa tiene la visión de ser líder en Latinoamérica en la exportación de productos asépticos por ende se busca mejorar los índices productivos lo cual está ligado a un aumento en la eficiencia.

El departamento de producción junto con el área de recibo de fruta ha determinado que hay un cuello de botella en la transición de la fruta de los contenedores de banano de la cámara de maduración hasta la banda de pelado. Allí se tienen tiempos de espera debido a que el operador del montacarga realiza otras funciones como trasladar los contenedores vacíos, traer los contenedores de las cámaras de maduración al área de volteo y guardar los contenedores de banano que acaban de ingresar para el proceso de maduración. Es decir, al final se tienen tiempos de espera, que se ven ligados a bajas en el rendimiento de la línea productiva los cuales se deben corregir.

### **1.2.3 Síntesis del problema**

La organización *Frutilight* está operando con deficiencias en la productividad en la línea aséptico de banano; sin embargo, no cuenta con los insumos necesarios para cubrir el costo de la implementación de un sistema mecatrónico. Por lo cual se debe diseñar un sistema mecatrónico clase apilador y des apilador automático que cumpla con los requerimientos de producción a un bajo costo con retorno de inversión de cinco años.

### **1.3 Objetivo General**

Diseñar un sistema mecatrónico de un apilador y des apilador automático de contenedores con la capacidad de apilar o des apilar grupos de 4 o 3 contenedores con una masa aproximada de 340 kg por contenedor que permita tener un flujo constante en la línea de producción de aséptico de banano.

### **1.4 Objetivos Específicos**

1. Investigar sobre el estudio del estado del arte de los apiladores y des apiladores industriales existentes en el mercado.
2. Diseñar un sistema mecánico que permita tener tres grados de libertad en los ejes coordenados X, Y y el Z.
3. Desarrollar un sistema de automatización que permita apilar y des apilar los contenedores de banano en la línea de aséptico de banano.
4. Validar la movilidad y la sujeción del sistema apilador y des apilador de contenedores con banano en la línea de aséptico de banano mediante el prototipado enfocado. Así como la validación de todo el sistema tanto el área mecánica como de automatización mediante la simulación.

## **Capítulo 2. Marco Teórico**

### **2.1 Introducción**

El presente marco teórico desarrollado, se brinda como una herramienta al lector para que pueda comprender de una manera idónea el proyecto elaborado. Iniciando por el proceso productivo, aspectos del diseño mecánico, conceptos de la automatización y normas de inocuidad referentes al diseño. Se debe mencionar que se da por entendido que el lector tiene conocimiento básico en ingeniería, ciencia, tecnología o carreras afines; por lo cual se omitirán conceptos básicos.

### **2.2 Proceso productivo general del puré aséptico de banano**

El puré de banano se produce a partir de frutas frescas, con una maduración óptima y sin inicio de fermentación. Su tiempo de vida útil es extenso debido al tratamiento térmico que se somete el puré de banano, como es la esterilización que se encarga de destruir microorganismos patógenos. Logrando obtener un producto inocuo de calidad. En las industrias alimenticias se producen diferentes tipos de puré de banano de acuerdo con los requerimientos de los diferentes clientes, estos son [7]:

- I. Puré de Banano Natural, 100% Banano, sin semilla.
- II. Puré de banano de baja acidez con ácido ascórbico, sin semillas.
- III. Puré de banano de baja acidez con ácido ascórbico y cítrico, sin semillas.
- IV. Puré de banano acidificado y ácido ascórbico, sin semillas.
- V. Puré de banano "baby food".
- VI. Puré de banano natural, 100% banano, sin semilla.
- VII. Puré de banano de baja acidez con ácido ascórbico y cítrico, sin semillas.
- VIII. Puré de banano acidificado con ácido ascórbico, sin semillas. Orgánico.

En la Figura 2-1 se muestra el proceso general de la elaboración de pure aséptico de banano en la organización *Frutilight*, desde el ingreso de la fruta a la planta hasta cuando sale debidamente empacada y rotulada para la localidad de los clientes. El presente proyecto únicamente se enfoca en el área intermedia entre maduración y pelado, donde se lleva a cabo el acomodo de contenedores sobre la banda de rodillos del volteador de banano.

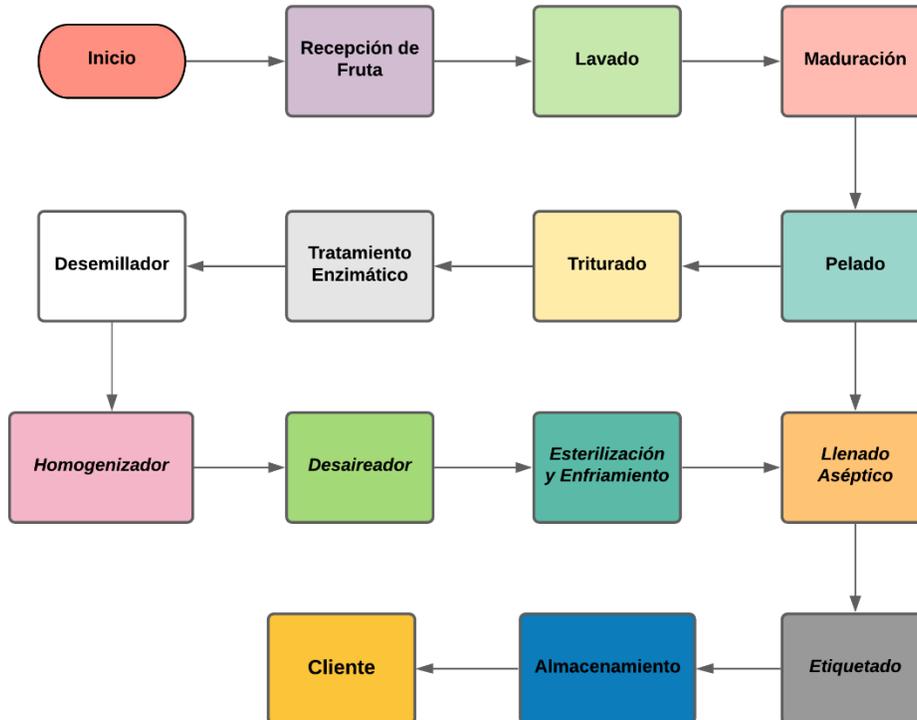


Figura 2-1. Proceso General de Productivo de Aséptico de Banano Frutilight S.A [8]

## 2.3 Elementos Mecánico

### 2.3.1 Tornillo de potencia

Un tornillo de potencia es un dispositivo que se utiliza en maquinaria para cambiar el movimiento angular a movimiento lineal y, por lo general, para transmitir potencia. En la Figura 2-2 se presenta un tornillo de potencia de rosca cuadrada con rosca simple, con un diámetro medio  $d_m$ , un paso  $p$ , un ángulo de avance  $\lambda$ , y el ángulo de la hélice  $\psi$  sometido a la fuerza de compresión axial  $F$ . Como se muestra en la Figura 2-3 la distribución de fuerzas para trasladar la carga de manera ascendente y de manera descendente son distintas. [2]

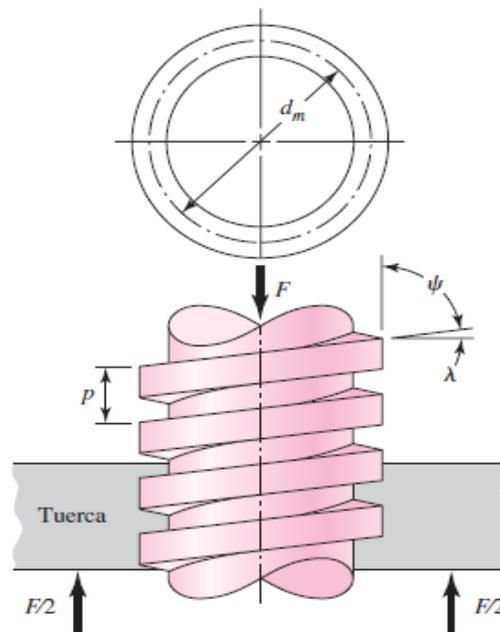


Figura 2-2. Tornillo para transmisión de potencia [2].

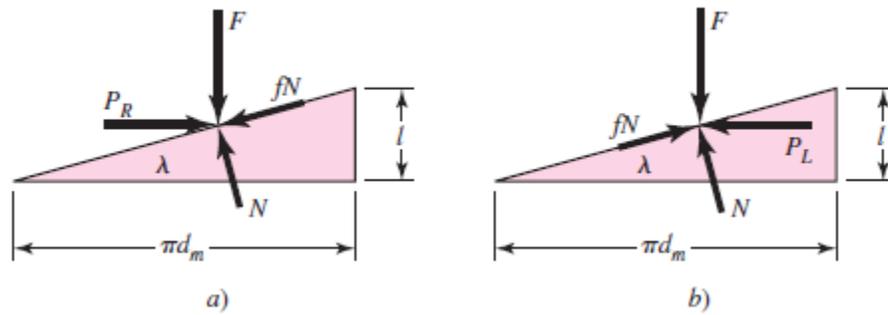


Figura 2-3. Distribución de Fuerzas sobre el tornillo de potencia [2].

Con las ecuaciones 2.1 y 2.2 se puede calcular el torque mínimo necesario para ascender y descender la carga respectivamente donde  $f$  es la fricción entre el tornillo de potencia y el elemento móvil [2]

$$T_R = \frac{F d_m}{2} \left( \frac{1 + \pi f d_m}{\pi d_m - f l} \right) \quad (2.1)$$

$$T_L = \frac{F d_m}{2} \left( \frac{\pi f d_m - 1}{\pi d_m + f l} \right) \quad (2.2)$$

### 2.3.2 Cremallera y Piñón

Los engranes rectos, que se ilustran en la Figura 2-4 tienen dientes paralelos al eje de rotación y se emplean para transmitir movimiento de un eje a otro eje paralelo. De todos los tipos, el engrane recto es el más sencillo de fabricación, razón por la cual se usará para el desarrollo del presente proyecto. Seguidamente se muestra las relaciones cinemáticas básicas de la forma de los dientes.[2]

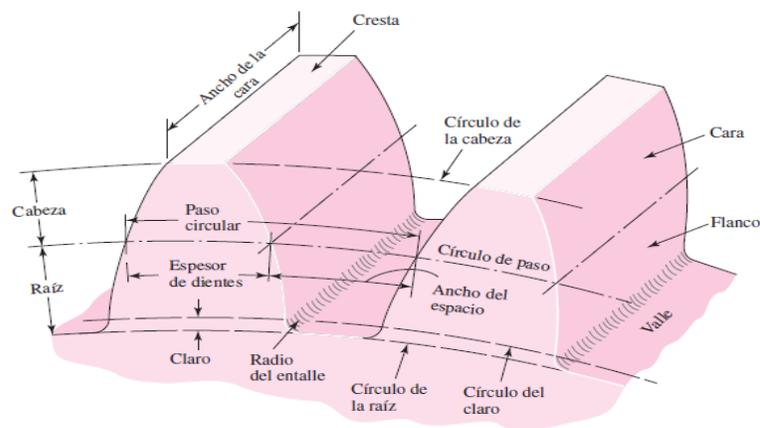


Figura 2-4. Nomenclatura Diente de Engrane Recto [2].

Las siguientes ecuaciones describen la relación lineal que describen los engranes rectos y en la Figura 2-4 se muestra la ubicación de cada parámetro sobre el diente del engrane:

$$P = \frac{N}{d} \quad (2.3)$$

$$m = \frac{d}{N} \quad (2.4)$$

$$p = \frac{\pi d}{N} = \pi m \quad (2.5)$$

$$pP = \pi \quad (2.6)$$

Donde:

- $P$  = paso diametral, dientes por pulgada.
- $N$  = número de dientes.
- $d$  = diámetro de paso, pulg.
- $m$  = módulo, mm.
- $d$  = diámetro de paso, mm.
- $p$  = paso circular.

Se puede considerar a una *cremallera* como un engrane recto con un diámetro de paso infinitamente grande como la que se muestra en la Figura 2-5. Por consiguiente, la cremallera tiene un número infinito de dientes y un círculo base que se localiza a una distancia infinita desde el punto de paso. Los lados de los dientes de involutas de una cremallera son líneas rectas que forman un ángulo respecto de la línea entre centros igual al ángulo de presión [2]

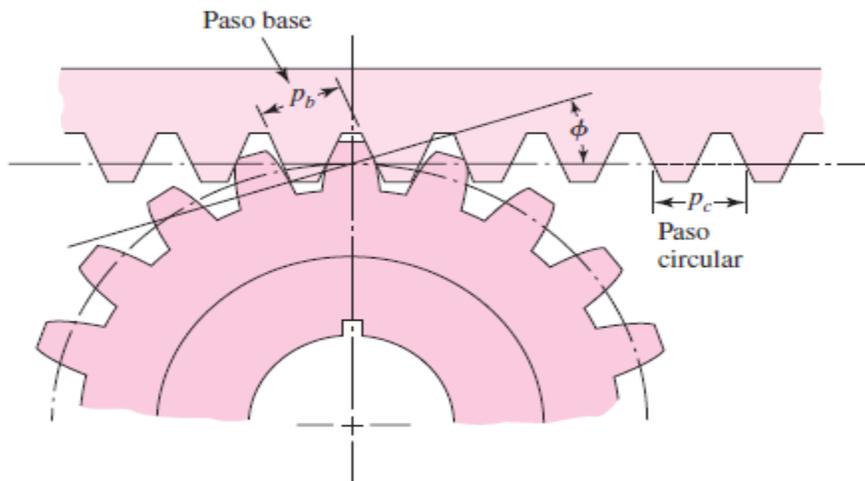


Figura 2-5. Cremallera de Longitud infinita [2].

### 2.3.3 Ecuación de Lewis Flexión en engranes

Wilfred Lewis introdujo una ecuación para estimar el esfuerzo de flexión en dientes de engranes en la que interviene la forma de estos. La ecuación, que fue dada a conocer en 1892, aún sigue siendo la base de la mayoría de los diseños de engranes [2].

Las cuales se muestran a continuación:

$$\sigma = \frac{M}{I/c} = \frac{6W^t l}{Ft^2} \quad (2,7)$$

Donde:

- $M$  = Momento flector.
- $I/c$  = módulo de sección.
- $F$  = espesor del diente.
- $t$  = ancho del diente.
- $l$  = altura del diente.
- $W^t$  = Carga uniformemente distribuida.

### 2.3.4 Ecuación del esfuerzo AGMA

La Asociación Americana de Fabricantes de Engranes (AGMA) ha sido durante años la encargada de difundir el conocimiento sobre el diseño y análisis de engranes. La metodología AGMA consiste en el diseño de engranes para resistir a la falla por flexión en los dientes y por picadura en las superficies de estos. Considerando distintas condiciones de operación a las que puede ser sometido el engranaje mediante factores de ajuste  $k_n$  [2].

En la metodología AGMA se emplean dos ecuaciones fundamentales del esfuerzo, una del esfuerzo de flexión y la otra de la resistencia a la picadura (esfuerzo de contacto). En la terminología AGMA, se les llama *números de esfuerzo*, en contraste con los esfuerzos reales aplicados [2]. Las ecuaciones fundamentales son:

$$\sigma = \begin{cases} W^t K_O K_v K_s \frac{P_d K_m K_b}{F J} & (\text{Unidades UK}) \\ W^t K_O K_v K_s \frac{1}{b m_t} \frac{K_H K_B}{Y_J} & (\text{Unidades SI}) \end{cases} \quad (2,8)$$

Donde:

- $W^t$  es la carga tangencial transmitida en lbf (N).
- $K_O$  es el factor de sobrecarga.
- $K_v$  es el factor dinámico.
- $K_s$  es el factor de tamaño.
- $P_d$  es el paso diametral transversal.
- $F(b)$  es el ancho de la cara del elemento mas angosto, en pulg (mm).
- $K_m(K_H)$  es el factor de distribución de la carga.
- $K_B$  es el factor del espesor de aro.
- $J(Y_J)$  es el factor geométrico de resistencia a la flexión (que incluye el factor de concentración de esfuerzo en la raíz del entalle  $K_f$ ).
- $m_t$  es el módulo métrico transversal.

### 2.3.5 Engranos de Tornillo Sinfín

La nomenclatura de un engrane de tornillo sinfín se proporciona en la Figura 2-6. El sinfín y la corona de un juego tienen el mismo sentido de la hélice como en los engranes helicoidales cruzados, pero los ángulos de las hélices suelen ser muy diferentes. El ángulo de la hélice en el tornillo sinfín, por lo general, es muy grande y el de la rueda helicoidal muy pequeño. Debido a esto, es habitual especificar el ángulo de avance  $\lambda$  en el sinfín y el ángulo de la hélice  $\psi_G$  en la rueda; los dos ángulos resultan iguales para un ángulo entre ejes de  $90^\circ$ . El ángulo de avance del sinfín es el complemento del ángulo de la hélice del sinfín, como se observa en la Figura 2-6.

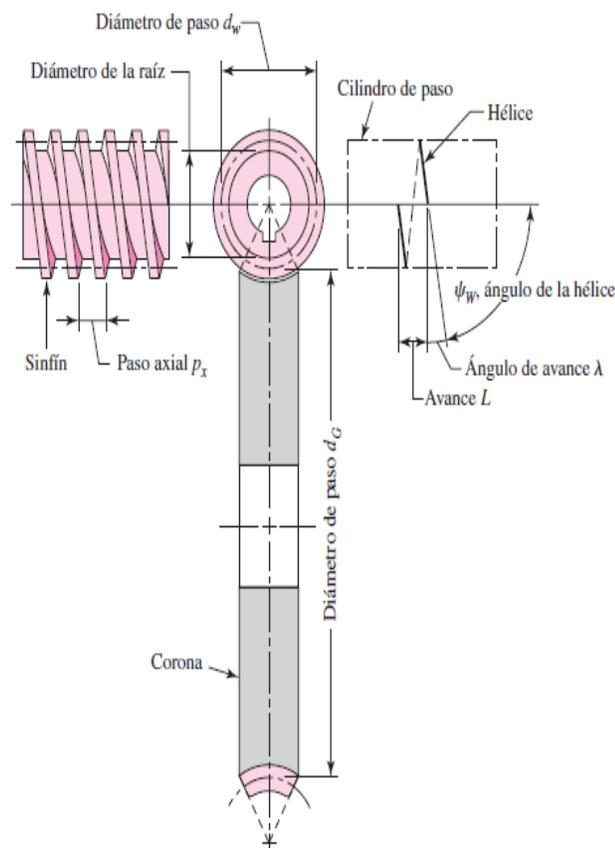


Figura 2-6. Nomenclatura de un engrane de tornillo sinfín de envoltente sencilla [2].

Al especificar el paso de engranajes de sinfín, se acostumbra a expresar el *paso axial*  $p_x$  y el *paso circular transversal*  $p_t$ , que a menudo se conoce simplemente como paso circular de la corona acoplada. Éstos son iguales, si el ángulo entre ejes mide  $90^\circ$ . El diámetro de paso de la rueda helicoidal está dado por el diámetro medido en un plano que contiene el eje del sinfín, como se ilustra en la Figura 2-6; es el mismo para engranes rectos y está determinado por [2]:

$$d_G = \frac{N_G P_t}{\pi} \quad (2,9)$$

### 2.3.6 Cadena de Rodillos

Las características básicas de las transmisiones de cadena incluyen una relación constante puesto que no se involucra al deslizamiento ni el arrastre, vida larga y capacidad para impulsar varios ejes a partir de una sola fuente de potencia.

La ANSI estandarizó las cadenas de rodillos con respecto a sus tamaños. En la Figura 2-7 se muestra la nomenclatura. El paso es la distancia lineal entre los centros de los rodillos. El ancho es el espacio entre las placas de eslabón interiores. Estas cadenas se fabrican con torón sencillos, dobles, triples y cuádruples [2].

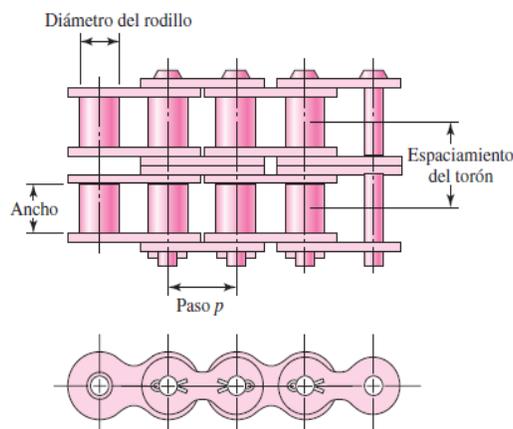


Figura 2-7. Cadena de doble rodillo [2].

### 2.3.7 Transmisión de banda plana o redonda

Las modernas transmisiones de banda plana como se muestra en la Figura 2-8 consisten en un núcleo elástico fuerte rodeado por un elastómero; estas bandas tienen notables ventajas sobre las transmisiones de engranes y las de banda en V. Una transmisión de banda plana presenta una eficiencia de aproximadamente 98%, que es más o menos igual a la de una transmisión por engranes. Por otro lado, la eficiencia de una transmisión de banda en V varía de casi 70 a 96%. Las de banda plana producen muy poco ruido y absorben más vibración torsional del sistema que las de banda en V o los engranes [2].

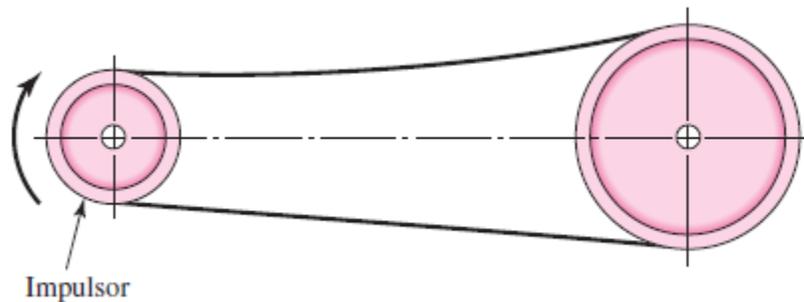


Figura 2-8. Transmisión de potencia por banda [2].

### 2.3.8 Guías lineales

Las guías lineales de rodamiento con buje o bloque de bolas lineal fueron inventadas por Thomson hace más de 60 años. Estas emplean el principio básico del contacto rodante para transformar el movimiento rotatorio a movimiento traslacional. Las guías de última generación que presenta actualmente Thomson, se muestran en la Figura 2-9 [3].



*Figura 2-9. Guías lineales Thomson [3].*

### 2.3.9 Tornillo de bolas

Un tornillo de bolas tiene funciones parecidas a las de un tornillo de potencia, pero la configuración es distinta. La tuerca contiene muchas bolas pequeñas y esféricas que tienen contacto de rodadura con las roscas del tornillo como se aprecia en la Figura 2-10, lo cual proporciona poca fricción y gran eficiencia, en comparación con los tornillos de potencia. Las máquinas herramientas modernas, los equipos de automatización, los sistemas de dirección en vehículos y los actuadores en aviones usan tornillos de bolas para tener gran precisión, respuesta rápida y funcionamiento uniforme [4].

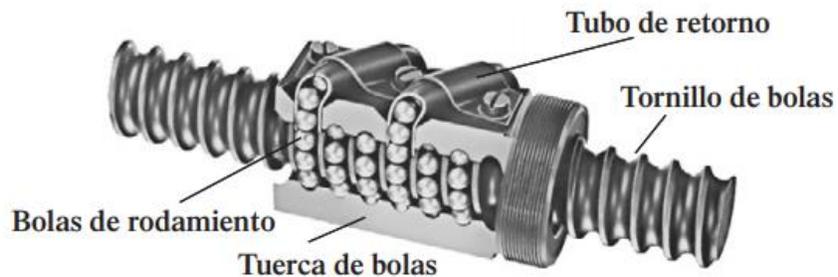


Figura 2-10. Tornillo de bolas Thomson Industries [4].

## 2.4 Automatización

Automatización es el proceso de hacer que las máquinas sigan un orden predeterminado de operaciones con poca o ninguna intervención humana, utilizando equipo y dispositivos especializados que ejecutan y controlan los procesos. Se puede decir que la automatización es un concepto evolutivo, más que revolucionario. La automatización se ha implementado bien en áreas como procesos de manufactura, operaciones de maquinado, extrusión en frío, colado y rectificado, además de manejo de materiales dado que las piezas y materiales se transportan por la planta mediante equipo controlado por computadora, sin la intervención humana [5].

### 2.4.1 Variadores de frecuencia

En la Figura 2-11 se muestran las diferentes gamas de variadores de frecuencia ofrecidos por la compañía ABB, la cual define un variador de frecuencia como un regulador industrial que se encuentra entre la alimentación energética y el motor. La energía de la red pasa por el variador y este regula la energía antes de que llegue al motor para luego ajustar la frecuencia y la tensión en función de los requisitos del proceso [11].



*Figura 2-11. Variadores de frecuencia ofrecidos por ABB [11].*

## 2.4.2 Encoder Incremental

El encoder que se muestra en la Figura 2-12 se compone de un disco conectado a un elemento giratorio. Este disco está hecho de un material como plástico fino o vidrio y tiene pequeñas hendiduras a lo largo del borde exterior del círculo. Estas hendiduras son opacas o transparentes con el fin de bloquear o permitir el paso de la luz emitida por una fuente situada a uno de los lados del disco. Conforme el elemento gira, el emisor de luz proyecta el haz que recibe el sensor óptico (dependiendo de si la hendidura bloquea o permite el paso) generando así los pulsos digitales que indican el movimiento en un sentido u otro del elemento. Esto produce una secuencia que proporciona los datos necesarios para el control [13].



*Figura 2-12. Encoder incremental industrial [13].*

### 2.4.3 Actuadores lineales eléctricos

Los actuadores lineales son un tipo de actuador que convierte el movimiento rotativo de los motores en un movimiento de empuje/tracción lineal o recto, los cuales presentan un diseño similar al actuador lineal que se muestra Figura 2-13. Los actuadores lineales son ideales para todo tipo de aplicaciones en las que se necesite emplear una inclinación, elevación, tracción o empuje de kilos de fuerza. Los actuadores lineales eléctricos son la solución perfecta para aquellas aplicaciones que precisan un movimiento sencillo, seguro y limpio con un control suave del movimiento y una precisión exacta. LINAK creó el primer actuador lineal eléctrico en 1979 [12].



*Figura 2-13. Actuador lineal LINAK LA28 [12].*

#### 2.4.4 Sensor de presencia ausencia capacitivo

Existen diferentes clases de sensores capacitivos como los mostrados en la Figura 2-14, con diferentes en capsulados, rangos de operación, sensibilidades entre otras características. Los sensores capacitivos funcionan según el principio de un condensador de placas ideal. Una de las placas es el sensor propiamente dicho. La otra es el objeto de medición opuesto. Entre las dos placas se genera un campo eléctrico. Un anillo protector alrededor de la estructura garantiza que el campo electromagnético sea lo más homogéneo posible. Si un cuerpo entra en el campo electromagnético, cambia la distancia entre las dos placas. Esto puede medirse como una distorsión en el campo eléctrico [14].



*Figura 2-14. Sensores capacitivos ofrecidos por Rechner Sensors [14].*

## **2.5 Normativas referentes al proyecto**

En la presente sección se provee al lector una recopilación de las normas más importantes a las cuales se encuentra sujeta la industria alimenticia, como lo es la certificación FSSC22000 la cual da un estándar de calidad, la organización NSF la cual brinda respaldo en el uso de insumos consumibles, así como una breve descripción de los lubricantes grado alimenticio.

### **2.5.1 Certificación FSSC22000**

La certificación del esquema de seguridad alimentaria (FSSC 22000) fue desarrollada en respuesta a las solicitudes de los clientes pidiendo un sistema de gestión de seguridad e inocuidad alimentaria que pudiera auditarse y certificarse. FSSC ha sido reconocida globalmente por GFSI (*Global Food Safety Initiative*), al igual que otros protocolos del mercado como BRC e IFS.

El sistema de gestión de seguridad e inocuidad alimentaria de la certificación FSSC 22000, presenta como objetivo el aseguramiento de la calidad del producto para el consumidor. Esta debe certificarse anualmente, lo que conlleva a la visita de un auditor internacional o nacional; el cual valorará el sistema de gestión de seguridad e inocuidad alimentaria presente en la organización.

La presente norma afecta el proyecto del apilador y des apilador de contenedores debido a que el sistema se encontrará en contacto indirecto con la materia prima ya que se ubicará por encima de la línea de aséptico de banano. Para asegurar el cumplimiento de esta certificación, se debe asegurar el uso de grasa de grado alimenticio H1 en el caso de lubricación de elementos mecánicos, el uso de únicamente de acero inoxidable evitando la oxidación y por el último un plan de mantenimiento preventivo.

Es importante mencionar que la FSSC 22000 es un derivado de la norma ISO 22000 aplicada únicamente para fabricantes de productos alimenticios. Por lo cual la FSSC es propiedad de la Fundación para la Certificación de Seguridad Alimentaria (*Foundation for Food Safety Certification*).

## **2.5.2 La organización para la salud y seguridad pública (NSF)**

La NSF International es una organización fundada en 1944, la cual es independiente de terceros. Tiene la misión de proteger y mejorar la salud humana en el mundo, al elaborar estándares y certificaciones de salud pública que ayudan a proteger los alimentos, el agua, productos de consumo y el medioambiente. Como organización la NSF evalúa, audita y certifica productos y sistemas, además proporciona capacitaciones en gestión de riesgos [9].

La NSF registra productos para el uso en organizaciones procesadoras de alimentos, dentro de los principales productos que registra la NSF se encuentran lubricantes, limpiadores y productos para el tratamiento de agua. En el caso del proyecto apilador y des apilador de contenedores automático es necesario designar el grado de lubricación a utilizar por lo que la NSF comprende la siguiente clasificación de lubricación grado alimenticio.

## **2.5.3 Lubricantes grado alimenticio**

La selección del lubricante grado alimenticio adecuado respaldará que el sistema cumpla con toda la reglamentación referente al área, y así proporcionar una seguridad óptima para los consumidores en caso de que se produzca una eventualidad no haya ninguna afectación en el producto ni mucho menos en sus consumidores [6].

## **Lubricantes H1**

Los lubricantes H1 son insípidos, inodoros, fisiológicamente inertes y son adecuados para contactos incidentales, técnicamente inevitables con un producto alimenticio de hasta 10 ppm. Se utilizan para maquinaria como bombas, cintas transportadoras y mezcladoras y para aplicaciones como enlatado y mezclado, cocinar, cortar, rebanar, pelar, manipular, embotellar y elaborar cerveza. En las instalaciones donde se realiza el manejo de alimentos y bebidas, el uso de lubricantes registrados NSF H1 permite la eliminación de posibles contaminaciones. Las sustancias peligrosas en y alrededor las aplicaciones de alimentos y bebidas pueden ser perjudiciales para la salud pública, por lo tanto, elegir un producto lubricante de calidad H1 no solo minimiza el riesgo de contaminación, sino que también garantiza la longevidad y el rendimiento del equipo y maquinaria. Los lubricantes H1 son seguros para el consumo humano en pequeñas cantidades, muy pocas partes por millón. [6].

## **Lubricantes H2**

Los lubricantes H2 se consideran de grado alimenticio, pero no son productos específicamente seguros para alimentos. Los lubricantes específicos de H2 son para maquinaria que no entra en contacto directo con alimentos, como lo son los montacargas. Se usa en áreas donde no hay posibilidad de contacto directo con alimentos, bebidas o productos farmacéuticos. Los productos con certificación NSF H2 deben cumplir con estrictos parámetros toxicológicos y no deben contener rastros de carcinógenos, mutágenos, teratógenos, ácidos minerales o metales como antimonio, arsénico, cadmio, plomo, mercurio o selenio [6].

### **Lubricantes H3**

Los lubricantes H3 son aditivos que se pueden usar en la formulación de productos alimenticios. Los lubricantes H3 a menudo son aceites comestibles; y son seguros para el consumo humano, algunos ejemplos son: el aceite de maíz, de girasol, de soya o de semilla de algodón. Los lubricantes H3 son inherentemente biodegradables y cumplen con las regulaciones de FDA 21 CFR 172.860 y 172.878. Se consideran seguros (GRASA): una designación de la FDA estadounidense que considera que un químico o sustancia añadida a los alimentos es considerada segura por los expertos, por lo que está exenta de los requisitos de la tolerancia a los aditivos alimentarios de la Ley Federal de Alimentos, Fármacos y Cosméticos (FFDCA). Las lubricaciones H3 a menudo se utilizan para limpiar y prevenir el óxido en equipos tales como ganchos, cintas transportadoras y carretillas [6]

## Capítulo 3. Metodología de solución

En el presente proyecto se empleó la metodología del proceso de diseño de ingeniería el cual se utiliza de referencia el en artículo científico *engeerning desig process* y el libro diseño y desarrollo de productos publicado Karl T. Ulrich; dando un híbrido de ambos autores. En la Figura 3-1 se muestra el proceso a seguir en cada fase de diseño y seguidamente una breve explicación de lo realizado.



Figura 3-1 Proceso de Diseño de ingeniería

En la fase cero fue donde se encontró la oportunidad de mejora continua con un sistema apilador y des apilador de contenedores. Seguidamente el cliente brindó una tabla de especificaciones; la fase uno, se inició con la generación de múltiples conceptos para la solución del proyecto. Posteriormente los conceptos se evaluaron mediante una matriz de puntuación con aspectos como costo, actividad, mantenimiento, inocuidad entre otros aspectos técnicos.

En la fase dos, se procedió a seleccionar el concepto de solución con mayor puntaje, se validó el concepto mediante cálculos analíticos y modelado en 3 dimensiones empleando el software *solidworks*. Empleando el software se define una arquitectura preliminar del diseño, así como sus funciones básicas de operación. En el caso del diseño del sistema automático, se elabora un diagrama de bloques jerárquico para determinar el funcionamiento del sistema, así como la prioridad del proceso.

En la fase tres, se definieron las dimensiones y tolerancias de los elementos críticos del diseño mecánico con base en las especificaciones técnicas de los proveedores, así como los elementos estándar disponibles en el mercado nacional e internacional. En caso del diseño del sistema automático se definen los elementos necesarios como son: el autómatas, variadores de frecuencia y sensores. Seleccionados los elementos que mejor se adecuen a la solución según una tabla de calificación.

En la fase cuatro, se procedió a realizar las pruebas en ambos sistemas mediante la simulación, en caso del sistema mecánico se valida aspectos referentes a materiales y dimensionales mediante la simulación de esfuerzos. En el caso del sistema automático se comprueba la activación de entradas y salidas mediante la simulación de software. Por último, se implementó el prototipado enfocado para validar los conceptos de movilidad y sujeción de manera física.

Se debe mencionar que el presente proyecto únicamente finaliza en la fase cuatro del proceso de diseño, por lo cual la última fase de inicio de producción mostradas en la Figura 3-1 se debe omitir debido que conllevaría a la implementación del proyecto.

## Capítulo 4. Descripción del proceso productivo y Alcance del Proyecto

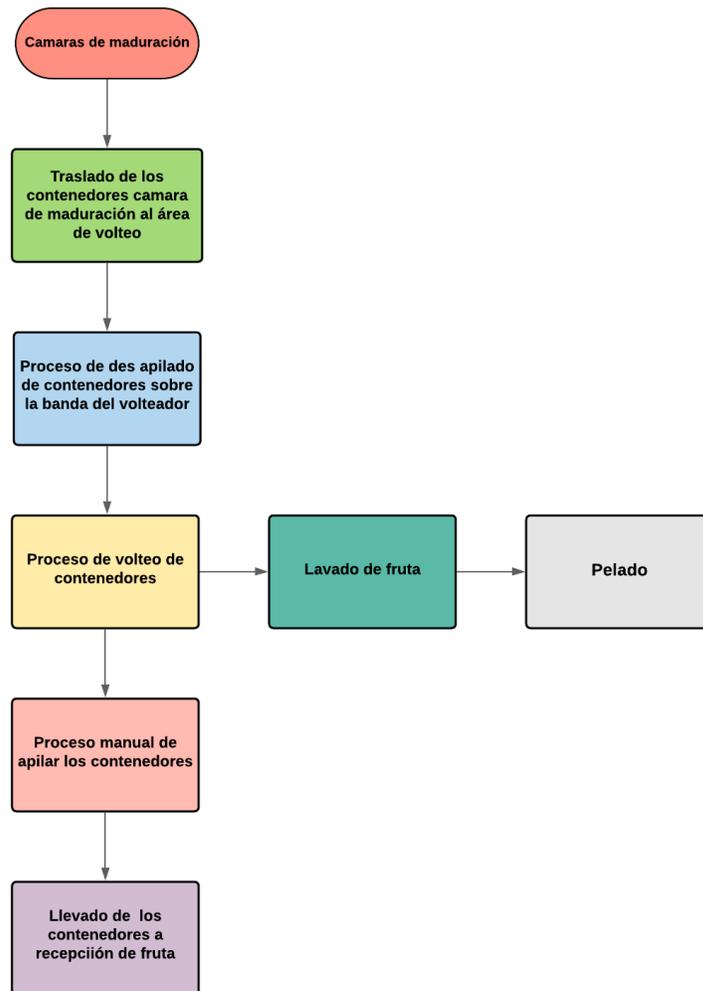
### 4.1 Aspectos generales

La sección del proceso productivo en la que se enfoca el presente proyecto, es el punto intermedio del proceso de maduración y el proceso de pelado mostrados en la Figura 2-1. Aquí se realizan las siguientes tareas: suministro de contenedores al área de volteo, des apilamiento de contenedores en la banda de rodillos del volteador, apilamiento de contenedores vacíos y la devolución de dichos contenedores al área de recepción de fruta. El proceso se realiza en un área establecida de 12 m de largo, 6 m ancho y una altura de 12 m; sin embargo, el espacio no es utilizado de la mejor forma. En la Figura 4-1 se aprecia el área de volteo en la cual se denota el volteador de contenedores, la banda y los contenedores des apilados.



*Figura 4-1 Área de volteo de contenedores (Elaboración propia).*

En la Figura 4-2 se muestra un diagrama de bloques del proceso donde se llevó a cabo el proyecto, el cual es punto intermedio del proceso de maduración y pelado manual del banano mostrado en el diagrama en la Figura 2-1. En dicha figura se representa el proceso general de la elaboración de pure aséptico de banano en la organización Frutilight S.A. Seguidamente se dará una breve explicación de cada bloque y su respectivo proceso.



*Figura 4-2 Diagrama de bloques de proceso intermedio entre maduración y pelado (Elaboración propia).*

El proceso inicia en la sección de maduración donde la fruta, en este caso el banano, realiza su ciclo de maduración el cual tiene un periodo aproximado de 5 días donde se mantendrá a una temperatura y humedad relativa controlada. Durante este periodo se realizará la propagación de gas etileno durante un periodo de 36 horas para contribuir en el proceso de maduración controlada. En la Figura 4-3 se muestra una cámara de maduración abierta de la cual se están trasladando contenedores para el área de volteo



*Figura 4-3. Cámara de maduración Frutilight (Elaboración propia).*

Seguidamente se lleva a cabo el traslado de los contenedores llenos de banano en grupos de 3 o 4 desde las cámaras de maduración, hasta el área de volteo. Este movimiento recorre una distancia aproximada de 50 m, en la Figura 4-4 se muestra un montacargas trasladando un grupo de 3 contenedores.



*Figura 4-4. Montacarga trasladando contenedores llenos al área de volteo (Elaboración propia).*

Al colocar los contenedores en el área de volteo, el operador del montacargas tendrá dos opciones, las cuales serán: poder seguir transportando contenedores al área de volteo o, en caso de que la banda del volteador se encuentre sin contenedores, des apilar un grupo de contenedores sobre la banda y proseguir con el transporte de contenedores. En la Figura 4-5 se muestra el operador de montacargas des apilando los contenedores sobre la banda del volteador.



*Figura 4-5. Área de Volteo Frutilight (Elaboración propia).*

De la misma manera en la Figura 4-5 se muestra el funcionamiento del volteador de contenedores, el cual es un sistema en serie que va volteando una unidad por ciclo de trabajo, este es un volteador fabricado en la compañía por el departamento de mantenimiento de *Frutilight*. Él cuenta con un mecanismo hidráulico de dos pistones para realizar el movimiento lineal y una cremallera la cual permite realizar el movimiento rotatorio para realizar la función de volteo. Al voltear el contenedor, el banano cae sobre una pila en la cual se lava y procede con la dirección de flujo de la Figura 2-1 hacia el área de pelado.



*Figura 4-6. Apilamiento manual de contenedores (Elaboración propia).*

Como se aprecia en la Figura 4-1 después de realizar el proceso de volteo, el contenedor sigue trasladándose por la banda de rodillo del volteador, llegando a una pendiente con un desnivel negativo lo cual hace deslizar el contenedor por gravedad; donde un operador se encargará de apilar estos de manera manual. En la Figura 4-6 se aprecia el operador apilando los contenedores en grupos de 3 o 4 contenedores. Los cuales se quedarán ahí, hasta que el operador de montacargas presente un lapso de disponibilidad para trasladarlos a recepción de frutas para posteriormente a iniciar el ciclo del proceso productivo nuevamente.

## 4.2 Estado del Arte

Se realizó la debida investigación sobre apiladores y des apiladores únicamente en la industria alimenticia, debido que se deben tener en cuenta las políticas de inocuidad alimenticia a la que las industrias de esta índole están sometidas. Para ampliar los resultados obtenidos se emplearon distintas industrias alimenticias donde no se procesa únicamente frutas tropicales; al igual que los contenedores utilizados por estos sistemas pueden presentar distinta geometría respecto a contenedores utilizados en la organización *Frutilight*.

Seguidamente se presentarán tres casos, cada uno de un continente distinto; con la finalidad de dar una mayor perspectiva al proceso de diseño. Para cada caso se analizarán aspectos de diseño, confiabilidad del sistema, mantenimiento y costo. Es importante mencionar que debido a que el diseño de una máquina robusta no se encuentra en libros de texto, se apoyará en este caso en mecanismos industriales ofrecidos por las organizaciones Rochin, Sienz y LTW.

### 4.2.1 Apilador de Bines por *Rochin Post Harvest*

Rochin Post-Harvest es una organización ubicada en el continente americano en el país de México, la cual se dedica a la fabricación de maquinaria y equipos tecnológicos, en la selección y empaque de frutas y vegetales. La organización tiene una trascendencia de 40 años de experiencia [15].

Rochin Post Harvest ofrece una alterativa para el apilamiento y des apilamiento de contenedores como se muestra en la Figura 4-7. En ella se tiene un sistema en serie el cual permite des apilar grupos de 4 contenedores, realizar la función de volteador y después apilar los contenedores vacíos en grupos de 4.



*Figura 4-7. Apilador y des apilador Rochin Post Harvest [15].*

El apilador y des apilador diseñado por la organización Rochin presenta las siguientes características técnicas: la totalidad del sistema es manufacturado en acero inoxidable, tiene la capacidad de apilar y des apilar un máximo de 4 contenedores con un peso inferior a 1200 kg, tiene una transmisión mediante cadenas de acero inoxidable con motores de 5 HP a una tensión de 220 a 240 v y una capacidad de flujo de 120 contenedores/h.

#### **4.2.2 Stacker Bin Sienz**

En el caso de la organización Sienzs, esta se localiza en el continente europeo específicamente en el país de España. Es una empresa relativamente nueva la cual proviene de Ex Compac Europe y tiene en servicio solo de 12 años. La organización tiene la misión de ser líder en la clasificación de frutas secas y hortalizas, así como en automatización de procesos de empaque [16].

La empresa Sienz nos ofrece el mecanismo que se muestra en la Figura 4-8, el cual asciende o desciende mediante guías ubicadas a los lados del apilador, es un sistema ajustable para el uso de diferentes contenedores sin la intervención de un operador.



*Figura 4-8. Apilador y desapilador Sienz Stacker [16].*

Características técnicas del sistema: fue diseñado para cumplir la directiva de máquinas de la Unión Europea (CE) 2006/42/CE, la capacidad de la maquina dependerá de si el sistema apila contenedores vacíos o llenos con una velocidad de 150 o 120 contenedores/hora respectivamente. El sistema presenta la capacidad para la manipulación de bins con un peso de 500 kg por unidad con consumos eléctricos de 4.75 kW y 1.12 kW para contenedores llenos y vacíos respectivamente. El mecanismo cuenta con un sistema neumático el cual se encarga de enganchar los bins con el sistema móvil, con un consumo de aire de 4 litros/min a una presión de 6 a 8 bar.

### 4.2.3 STACKER CRANE IN THE EMPTY BIN WAREHOUSE LTW

Por último, se tiene LTW intralogistics, la cual es una empresa que se origina en el continente de Oceanía es específico del país de Australia. La compañía tiene una trayectoria de más de 35 años brindando servicios en apiladores hidráulicos [17].

El presente dispositivo que se muestra en la Figura 4-9 es un sistema altamente automatizado, el cual está diseñado mediante la premisa de operación autónoma. El sistema cuenta con cuatro pistones que le permiten subir y bajar el contenedor. El mecanismo presenta sensores inductivos los cuales indican la cantidad de contenedores que presenta el mecanismo. A diferencia de los mecanismos industriales en el mercado, este permite apilar y des apilar de 8 a 12 contenedores simultáneamente.



*Figura 4-9. Apilador y desopilador LTW intralogistics [17].*

Generalmente este mecanismo se emplea en plantas automatizadas, donde no hay intervención humana, pero se seleccionó para el análisis; debido a la alta operación que presenta y por ser un mecanismo autónomo. El inconveniente que presenta este sistema es su alto costo, lo cual se ve de manera industrial que pocas organizaciones presentan los recursos de adquisición.

### 4.3 Especificaciones del Diseño

Al identificar la necesidad presente en la organización del apilador y des apilador, se realizó una reunión con los jefes de las principales áreas, donde se determinaron las necesidades desde el punto de vista de sus departamentos. En la Tabla 4-1 se identifican las principales áreas en las que el diseño del sistema estará enfocado, así como las sugerencias, enunciados del cliente y la interpretación de la necesidad en aspectos técnicos.

Tabla 4-1. Especificaciones del sistema apilador y des apilador.

Departamento	Sugerencia	Enunciado del cliente	Necesidad interpretada
<b>Producción</b>	Eficiente	Tiempos de espera por apilado y desapilado	Alta velocidad de operación
	Costo inicial	La compra de un apilador y desapilador industrial es extremadamente costoso	Un sistema mecánico a bajo costo.
<b>Mantenimiento</b>	Confiabilidad	Un equipo que presente pocas fallas	Una disponibilidad de equipo en la línea aséptica de banano mayor a un 95%
	Costos de mantenimiento	Un costo anual menor al 10% del costo inicial	Un diseño con un alto factor de servicio y consumibles de bajo costo.
	Tiempo	Tiempos de mantenimiento limitados	Maquina sencilla ensamble y desensamble

<b>Calidad</b>	Inocuidad	El producto debe ser aséptico	El producto no puede entrar en contacto con ningún contaminante como aceite o corrosión.
	Calidad	El producto no se puede golpear	El producto debe estar libre de impactos

Considerando las necesidades mostradas anteriormente como las más críticas, se procede a generar una tabla de métricas, con el fin de obtener un conjunto de especificaciones precisas y mensurables, necesarias para posteriores etapas del diseño. Además, se agregará que la especificación de importancia presente en la Tabla 4-2, funciona de la siguiente manera donde 5 es muy importante y 0 como sin importancia para el proyecto.

En la Tabla 4-2 se muestran las métricas planteadas respecto a las necesidades de la organización.

*Tabla 4-2. Métricas con base a las especificaciones del sistema.*

Numero	Métrica	Importancia	Unidades
1	Flujo de operación	4	60 Contenedores/hora
2	Costo inicial	5	25000 Dólares (\$)
3	Índice de disponibilidad	4	Mayor al 95 Disponibilidad (%)
4	Volumen de trabajo	2	5x5x8 m
5	Tiempo de mantenimiento	3	8 horas
6	Factor de servicio mínimo	4	2,25

## Capítulo 5. Alternativa de Solución

En el presente capítulo se expondrán diferentes alternativas de solución que se evaluaron para realizar el diseño del apilador y des apilador de contenedores. En la Figura 4-2 se mostró un diagrama de bloques con el flujo del proceso donde el proyecto está inmerso, en la Tabla 5-1 se muestran las diferentes etapas del proceso productivo, así como la salvedad de las etapas que se encuentran fuera del alcance del proyecto. Se debe aclarar que estas etapas previas podrán ser automatizadas, pero ya será un tema de aprobación de gerencia dependiendo de su viabilidad.

*Tabla 5-1. Alcance del proyecto.*

<b>Etapa</b>	<b>Proceso</b>	<b>Dentro del alcance del proyecto</b>
1	Traslado de contenedores de las cámaras de maduración a el área de volteo	No
2	Proceso de des apilado de contenedores sobre la banda de volteo	Si
3	Proceso de volteo de contenedores	No
4	Proceso de apilado de contenedores	Si
5	Traslado de contenedores a recepción de fruta	No

Al sistema apilador y des apilador de contenedores se debe agregar la comunicación que tendrá con el volteador de banano, así como la comunicación con las bandas de espera que tendrán los contenedores de banano tanto vacíos como llenos. Para el proyecto se evaluaron alternativas para las siguientes etapas de diseño:

1. Selección de elementos estructurales del sistema.
2. Selección de mecanismo para el movimiento en el Eje “X”.
3. Selección de mecanismo para el movimiento en el Eje “Y”.
4. Selección de mecanismo para el movimiento en el Eje “Z”.
5. Selección de mecanismo de sujeción de contenedores.
6. Selección de controlador general del sistema.

En cada una de las siguientes secciones se presentarán distintas alternativas de solución en las cuales se enunciarán sus ventajas y desventajas mediante una tabla. Para la validación de obtener la solución con mayor grado de adaptación al presente sistema, se empleará una tabla de puntuación en la cual se calificarán los siguientes puntos:

1. Costo: Se entenderá por costo como la inversión inicial que deberá realizar la organización para adquirir el sistema.
2. Actividad: Sera la eficiencia del sistema para realizar la labor, basado en el tiempo y en recursos energéticos.
3. Mantenimiento: Sera el mínimo tiempo necesario o la mínima cantidad de intervenciones que tendrá el sistema para tener una disponibilidad de equipos.
4. Inocuidad: Se tomará el punto de inocuidad, como cuál será la mínima interferencia que tendrá el sistema con afectar la política de calidad e inocuidad de la organización.
5. Confiabilidad: Debido que los tiempos de producción no son definidos sino directamente relacionados con la cantidad de fruta disponible en el mercado, se espera un sistema que tenga largos periodos de funcionamiento continuo.

## 5.1 Selección de elementos estructurales del sistema.

Se ha definido anteriormente que el sistema tendrá una carga estimada de 1000 kg por lo cual se emplearán elementos estructurales como lo son columnas y vigas para darle resistencia y rigidez al sistema.

Debido a que la viabilidad del proyecto dependerá en un 60% del costo inicial del sistema, el departamento de proyectos en conjunto con el departamento de compras, han determinado que el mejor proveedor ha sido Arcelormittal respecto a confiabilidad en tiempos de entrega, garantía por defectos y costos. Por lo cual se ha recomendado realizar el diseño con base a los elementos ofrecidos por esta empresa.

Arcelormittal, ofrece los perfiles de Vigas WF, IPN y UPN. En el caso de las vigas WF se muestran las características técnicas en la Figura 5-1 como lo son las dimensiones y la distribución de la masa sobre el elemento.

Designación (altura x ancho x masa en lbs/pie)	Dimensiones			Masa Linear		
	Altura (h) mm	Ancho (b) mm	Alma (tw) mm	Ala (tf) mm	lbs/pie	kg/m
WF 6"x 4" x 9	150	100	4,3	5,5	9	13,5
WF 6"x 4" x 12	153	102	5,8	7,1	12	18,0
WF 6"x 4" x 16	160	102	6,6	10,3	16	24,0
WF 6"x 6" x 15	152	152	5,8	6,6	15	22,5
WF 6"x 6" x 20	157	153	6,6	9,3	20	29,8
WF 6"x 6" x 25	162	154	8,1	11,6	25	37,1
WF 8"x 4" x 10	200	100	4,3	5,2	10	15,0
WF 8" x 4" x 13	203	102	5,8	6,5	13	19,3
WF 8" x 4" x 15	206	102	6,2	8,0	15	22,5
WF 8"x 5,25" x 18	207	133	5,8	8,4	18	26,6
WF 8"x 5,25" x 21	210	134	6,4	10,2	21	31,3
WF 8"x 6,5" x 24	201	165	6,2	10,2	24	35,9
WF 8"x 6,5" x 28	205	166	7,2	11,8	28	41,7
WF 8"x 8" x 31	203	203	7,2	11,0	31	46,1
WF 8"x 8" x 35	206	204	7,9	12,6	35	52,0
WF 8"x 8" x 48	216	206	10,2	17,4	48	71,0
WF 10"x 4" x 12	251	101	4,8	5,3	12	17,9
WF 10"x 4" x 15	254	102	5,8	6,9	15	22,3
WF 10"x 4" x 17	257	102	6,1	8,4	17	25,3

Figura 5-1. Perfiles estructurales ofrecidos por Arcerlormittal [11].

En la Tabla 5-2 se muestran los diferentes perfiles con sus respectivas ventajas y desventajas

*Tabla 5-2 Perfiles estructurales*

<b>Perfil</b>	<b>Ventaja</b>	<b>Desventajas</b>
1. WF	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Perfil diseñado para soportar cargas verticales que generen pandeos.</li> <li>2. Elemento liviano en comparación al perfil WF</li> <li>3. Fácil sujeción en comparación perfil IPN</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Perfil ineficiente para soportar cargas a flexión y deflexión.</li> <li>2. Concentradores de esfuerzos</li> </ol>
2. IPN	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Perfil diseñado para soportar eficientemente cargas que generen flexión.</li> <li>2. Mejor distribución de carga sobre el alma y el ala</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Elemento de mayor peso.</li> <li>2. Utilizado en distancias cortas</li> <li>3. Difícil sujeción por el chaflan entre alma y el ala</li> </ol>
3. UPN	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Perfil liviano con diseño compacto especial para soportes.</li> <li>2. Menor costo de adquisición</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Resistencia de menor carga en caso de los perfiles IPN y WF</li> </ol>

El diseño planteado utilizará los 3 perfiles estructurales previamente mostrados aprovechando en este caso, el perfil WF en los elementos verticales los cuales estarán sometidos a pandeos, en el caso de los perfiles IPN, se aprovecharán en los elementos horizontales donde estarán sometidos mayormente a un esfuerzo a flexión y en caso de los perfiles UPN, se emplearán para la elaboración de angulares para dar un mayor soporte estructural.

En resumen, no se demostrará mediante una tabla de selección debido que en los elementos estructurales su uso esta previamente definido por el fabricante. Los elementos se utilizaron de la siguiente manera:

1. Perfil WF como columnas.
2. Perfil IPN como vigas.
3. Perfil UPN como angulares.

## **5.2 Selección de mecanismo para el movimiento en los diferentes ejes coordenados.**

Se vio la necesidad de realizar la selección de diferentes mecanismos de movimiento de traslación para los ejes de coordenadas que presentan distintas condiciones como longitud, espacio y torque. En consecuencia, se presenta la Tabla 5-3 en la cual se muestran los principales mecanismos de movimiento lineal, así como sus ventajas y desventajas desde el punto de vista de producción, mantenimiento y calidad.

En el caso del movimiento lineal del mecanismo se tuvieron inicialmente 3 alternativas. La primer alternativa se planteó mediante el uso de rodamientos en una guía lineal simulando el mástil presente en un montacargas, pero fue descartada debido a que en el presente diseño el rodamiento se encuentra sometido a altas cargas axiales lo cual llevaría un diseño extremadamente costoso.

Las otras dos alternativas restantes fueron seleccionadas mediante el uso de guías rodantes angulares y lineales. Debido a que el mecanismo estará sometido a una masa estimada 1000 kg o mayor, se seleccionaron las guías lineales debido a que presentan una mayor área de contacto por lo cual tienen una mejor distribución de esfuerzos, atribuyendo una solución que se adecúa de mejor manera.

Tabla 5-3. Mecanismo de transmisión de potencia.

Mecanismo	Ventajas	Desventajas
1. Cremallera con guías lineales	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Alta precisión de movimiento</li> <li>2. Necesidad de un espacio reducido de trabajo</li> <li>3. Poca necesidad de mantenimiento.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Alto costo debido a la tolerancia del sistema, así como la necesidad de un tratamiento térmico</li> <li>2. Necesidad de lubricación</li> </ol>
2. Piñón y cadena con guías líneas	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Bajo costo de adquisición del sistema</li> <li>2. Funcionamiento a revoluciones medias</li> <li>3. Distancias de operación ajustables</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sistema ruidoso</li> <li>2. Constante mantenimiento de ajuste en la tensión de las cadenas.</li> <li>3. Alta contaminación por oxidación de las cadenas.</li> </ol>
3. Faja dentada con guías lineales	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Alta precisión de movimiento.</li> <li>2. Sistema silencioso</li> <li>3. Sin necesidad de lubricación.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fabricación a medida</li> <li>2. Sistema con bajos ciclos de vida.</li> <li>3. Constante mantenimiento de</li> </ol>

	4. Alta eficiencia de funcionamiento	ajuste en la tensión de la faja. 4. Poca capacidad de carga
4. Tornillo de potencia con guías lineales	1. Alta capacidad de carga. 2. Sistema silencioso. 3. Poca necesidad de lubricación	1. Sistema a bajas revoluciones. 2. Alto costo 3. Necesidad de un amplio espacio de trabajo.
5. Pistón Hidráulico con guías lineales	1. Alta capacidad de carga para el sistema 2. Una intervención mínima por parte del área de mantenimiento	1. Alto costo (necesidad de bomba hidráulica) 2. Posibilidad de fugas sobre el producto poniendo en peligro la política de inocuidad

Como se apreció en la Tabla 5-3 existen diferentes mecanismos de transmisión de potencia los cuales serán seleccionados dependiendo de la aplicación. En el caso del movimiento de los ejes coordenados de “X” y “Y”, los cuales estarán a una distancia vertical considerada desde el suelo, se busca que su intervención por parte del departamento de mantenimiento sea mínima debido a la dificultad que podría causar esto. Por lo cual, el mecanismo de faja dentada y cadena de rodillos quedarán descartados por su necesidad constante de ajuste de tensión.

En la Tabla 5-4 y Tabla 5-5 se muestra la puntuación para los mecanismos de transmisión de potencia en los ejes de coordenada “X” y “Y”. Con esta tabla se determina que el mecanismo más adecuado para la elaboración del sistema apilador y des apilador; es el sistema de cremallera con guías lineales.

Se debe agregar que, pese a que el sistema presenta un alto costo de adquisición, el departamento de mantenimiento cuenta con su propio taller de precisión, así como los insumos necesarios para la fabricación de estas. El único costo en el que se deberá incurrir será el material, así como el tratamiento térmico al que será sometido después de su fabricación.

*Tabla 5-4. Puntuación sistemas de transmisión de Potencia ejes X y Y*

<b>Mecanismo</b>	<b>Costo</b>	<b>Actividad</b>	<b>Mantenimiento</b>	<b>Inocuidad</b>	<b>Confiabilidad</b>
Cremallera con guías lineales	3	5	4	4	4
Tornillo de potencia con guías lineales	3	4	2	4	4
Pistón Hidráulico con guías lineales	2	3	3	3	4

*Tabla 5-5. Calificación sistemas de transmisión de Potencia ejes X y Y.*

<b>Mecanismo</b>	<b>Total</b>
Cremallera con guías lineales	20/25 (80%)
Tornillo de potencia con guías lineales	17/25 (68%)
Pistón Hidráulico con guías lineales	15/25 (60%)

En el caso del movimiento lineal sobre el eje coordinado “Z”, se deberá tener en cuenta la aceleración de la gravedad. Por esta razón el sistema tendrá un mayor grado de resistencia al movimiento.

Ya que la longitud necesaria en este eje coordinado es considerablemente grande y el uso de sistemas de transmisión por tornillo de potencia o pistón hidráulico presentarían una amplia gama de deflexiones, se decide descartar estos sistemas de las alternativas de solución.

Además, el sistema de pistón hidráulico presenta un alto costo, esto se debe principalmente a la política de inocuidad alimenticia de la organización, la cual indica que toda máquina o mecanismo que se encuentre por encima del producto o materia prima deberá utilizar aceite, grasa o lubricación de grado alimenticio certificado por NSF como H1.

Como se denota en la Tabla 5-6 y Tabla 5-7 de puntuación, el sistema de transmisión de potencia por cremallera se adecúa de mejor manera a la solución del problema

*Tabla 5-6. Puntuación sistemas de transmisión de potencia ejes Z.*

<b>Mecanismo</b>	<b>Costo</b>	<b>Actividad</b>	<b>Mantenimiento</b>	<b>Inocuidad</b>	<b>Confiabilidad</b>
Cremallera con guías lineales	3	5	4	4	4
Piñón y cadena con guías líneas	5	3	3	2	3
Faja dentada con guías lineales	5	2	3	4	2

Tabla 5-7. Calificación sistemas de transmisión de potencia ejes Z.

Mecanismo	Total
Piñón y cadena con guías líneas	20/25 (80%)
Faja dentada con guías lineales	16/25 (64%)
Cremallera con guías lineales	16/25 (64%)

### 5.3 Selección de mecanismo de sujeción de contenedores.

Para la selección del sistema de sujeción de los contenedores se tendrá en cuenta aspectos como ergonomía, confiabilidad e inocuidad del sistema. En el caso de la ergonomía de la sujeción, esta se toma en cuenta puesto que los contenedores actuales presentan ciertos desgastes por la sujeción inadecuada que es dada por el uso del montacarga.

La confiabilidad del sistema será determinante en la selección del sistema de sujeción, debido a que la posibilidad de un incidente podría ocasionar tiempos perdidos de producción, lo cual traería un índice negativo para la empresa. Por otro lado, para la inocuidad del sistema, se busca eliminar cualquier posible amenaza a la inocuidad del producto.

En la Tabla 5-8 se muestran 3 diferentes mecanismos de sujeción propuestos como alternativa de solución, así como sus ventajas y desventajas.

*Tabla 5-8. Sistemas de sujeción.*

Sistema de Sujeción	Ventaja	Desventaja
1. Hidráulico	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sistema de alta confiabilidad</li> <li>2. Sujeción cargas altas</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Costoso debido a la necesidad de una bomba</li> <li>2. Amenaza a la inocuidad del producto</li> </ol>
2. Mecanismo de tenaza	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sistema con confiabilidad media.</li> <li>2. Sistema sencillo para intervención por parte de mantenimiento.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Diseño con más elementos en comparación a las otras dos alternativas de solución</li> <li>2. Necesidad de una mayor cantidad de espacio de trabajo</li> </ol>
3. Mecanismo Yugo Escoces	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Diseño simple de pocas piezas</li> <li>2. Sujeción de menor confiabilidad en comparación a ambos sistemas propuestos</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Alto desgaste por fricción en los elementos.</li> <li>2. Las fuerzas se aplican de manera oscilante.</li> </ol>

En la Tabla 5-9 y Tabla 5-10, se muestra una tabla de puntuación de cada uno de los mecanismos anteriormente mencionados, de los cuales la sujeción de tenaza presenta la mejor calificación. Por lo cual se empleará esta en el diseño del sistema.

*Tabla 5-9. Puntuación del sistema de sujeción.*

<b>Mecanismo</b>	<b>Costo</b>	<b>Actividad</b>	<b>Mantenimiento</b>	<b>Inocuidad</b>	<b>Confiabilidad</b>
Hidráulico	2	5	2	1	5
Tenaza con sistema lineal	5	4	3	4	4
Yugo Escoces	5	3	3	4	3

*Tabla 5-10. Calificación del sistema de sujeción.*

<b>Mecanismo</b>	<b>Total</b>
Piñón y cadena con guías líneas	<b>15/25 (60%)</b>
Faja dentada con guías lineales	<b>20/25 (80%)</b>
Cremallera con guías lineales	<b>18/25 (72%)</b>

## 5.4 Selección de controlador general del sistema

Para la selección del controlador, se contó con el apoyo del departamento de mantenimiento específicamente el área eléctrica, debido a la experiencia que presentan en las manipulaciones de dispositivos de esta índole.

Por la naturaleza del proceso productivo, el dispositivo será utilizado en largos periodos de funcionamiento continuo, el experto electricista de Frutilight; Carlos Valencia recomienda el uso de un controlador lógico programado (PLC). En la organización se emplean diferentes modelos de controladores lógicos programados, de los cuales se tienen sus respectivos respaldos y se puede utilizar alguno de estos equipos para el presente proyecto apilador y des apilador de contenedores automático

La organización puso los siguientes controladores lógicos programables a disposición del proyecto:

- I. S7-300 Siemens.
- II. Schneider M221.
- III. Allan Bradley 1000.

De los cuales se realizó una tabla comparativa mostrada Tabla 5-11, nombrando sus ventajas y desventajas y de esta manera obtener una visión más clara de cuál controlador se adecúa de manera óptima a la solución.

*Tabla 5-11. Controladores lógicos programables.*

Controlador General	Ventaja	Desventaja
1. S7-300 Siemens	1. Menor ciclo de reloj para ejecución de instrucciones 2. Alta confiabilidad del sistema	1. Costoso en caso de necesidad de cambio por fallo. 2. Mayor dificultad de uso en comparación

	3. Colaboradores se encuentran familiarizados con el sistema Siemens	a las otras alternativas
2. Schneider Modicon M221	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sistema de bajo costo en comparación a otras alternativas</li> <li>2. Sistema sencillo para intervención por parte de mantenimiento.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cantidad de entradas y salidas limitadas.</li> <li>2. Sistema desconocido por técnicos de la organización</li> <li>3. Técnico representante de la marca únicamente en el área metropolitana</li> </ol>
3. Allan Bradley Micrologix 1000	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sistema de procesamiento intermedio</li> <li>2. Sistema costo intermedio.</li> <li>3. Técnico representante de la marca en la zona de Limón</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cantidad de entradas y salidas limitadas</li> <li>2. Equipo desconocido para los técnicos de la organización</li> </ol>

Con base en la tabla comparativa, se denota la superioridad del S7-300 en la ejecución de instrucciones, así como la confiabilidad del sistema. Pese a que su costo es alto; es el único equipo sobre el cual los técnicos han sido capacitados previamente para su uso por lo cual en la tabla de puntuación presenta un valor elevado en la rúbrica de mantenimiento. En el caso de la tabla de puntuación, se elimina el rubro de inocuidad debido que no aporta ningún valor a la puntuación para las diferentes alternativas de solución.

En la Tabla 5-12 de puntuación, se comprueba que el controlador S7-300 se adecúa de mejor manera a la solución tanto para el funcionamiento del sistema como la futura intervención por parte del equipo de mantenimiento.

*Tabla 5-12. Puntuación de los Microcontroladores.*

<b>Controlador</b>	<b>Costo</b>	<b>Actividad</b>	<b>Mantenimiento</b>	<b>Confiabilidad</b>	<b>Total</b>
S7-300 Siemens	2	4	5	4	15/20 (75%)
Schneider Modicon M221	5	3	3	3	14/20 (70%)
Allan Bradley Micrologix 1000	5	2	3	3	13/20 (65%)

## 5.5 Selección de sensores Capacitivos

Para el presente proyecto, se seleccionaron sensores capacitivos debido a que el contenedor presente en la organización es un polímero. Aprovechando que el volteador presente en la organización cuenta con un sensor capacitivo, este presenta historial de funcionabilidad adecuada junto con el respaldo del departamento de mantenimiento.

La organización puso los siguientes sensores capacitivos a disposición del proyecto:

- I. Sensor Capacitivo Festo M12 54861
- II. Sensor Capacitivo Allan Bradley 875C-F10C30-A2
- III. Sensor Capacitivo BERO 3RG16

Los sensores se ubicaron en la tabla comparativa Tabla 5-13, nombrando sus ventajas y desventajas y de esta manera obtener una visión más clara de cuál sensor se adecúa de manera óptima a la solución.

*Tabla 5-13 Sensores Capacitivos*

Sensores Capacitivos	Ventaja	Desventaja
1. Festo M12 54861	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Presenta un ajuste de sensibilidad dando mayor precisión.</li> <li>2. Representante nacional de la compañía</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sensor presenta un alto costo en comparación a otras alternativas.</li> <li>2. Encapsulado de mayor tamaño.</li> </ol>
2. Allan Bradley 875C-F10C30-A2	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sistema de costo intermedio en comparación a otras alternativas</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. La sensibilidad con ajuste mínimo.</li> <li>2. Necesidad de un mecanismo de sujeción externo.</li> </ol>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>2. Mayor cantidad de ciclos de trabajo.</li> <li>3. Representante nacional de la compañía</li> </ul>	
3. BERO 3RG16	<ul style="list-style-type: none"> <li>1. Menor costo de adquisición en comparación a otras alternativas</li> <li>2. Sistema con encapsulado IP65</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1. Presenta la menor cantidad de ciclos de trabajo.</li> <li>2. La sensibilidad es constante</li> </ul>

En la Tabla 5-14 , se muestra una tabla de puntuación de cada uno de los sensores anteriormente mencionados, de los cuales el sensor Allan Bradley 875C-F10C30-A2 presenta la mejor calificación. Por lo cual se empleará este en el diseño del sistema.

*Tabla 5-14 Puntuación de sensores capacitivos*

<b>Sensor Capacitivo</b>	<b>Costo</b>	<b>Actividad</b>	<b>Mantenimiento</b>	<b>Confiabilidad</b>	<b>Total</b>
Festo M12 54861	3	4	5	4	16/20 (80%)
Allan Bradley 875C-F10C30- A2	4	4	5	5	18/20 (90%)
BERO 3RG16	5	3	3	3	14/20 (70%)

## Capítulo 6. Descripción de la solución

En el presente capítulo se ampliarán aspectos técnicos y profesionales de las alternativas de solución seleccionadas para cada una de las etapas del proyecto. Se dividirá en dos secciones principales las cuales serán la sección de diseño mecánico y la sección del diseño del sistema automatizado. Se debe agregar que ambos sistemas son complementarios, por lo cual en su desarrollo; se tuvieron en cuenta ciertos aspectos para ambos sistemas, es decir un aspecto eléctrico puede afectar el diseño mecánico o viceversa.

### 6.1 Diseño mecánico

En la presente sección se verán aspectos relacionados al área de mecánica del sólido como son la selección de materiales, dimensionamiento de los elementos, selección de elementos estándares y factor de seguridad.

#### 6.1.1 Diseño estructural

Iniciando por la selección dimensional de los elementos estructurales los cuales son fundamentales en el proyecto, ya que estos serán la base de los diferentes mecanismos.

Para las columnas se empleará el perfil WF 12" X 8" X 40" el cual presenta las características mostradas en la Tabla 6-1.

Tabla 6-1. Características técnicas de las columnas del sistema.

Perfil		Dimensiones			Masa Linear
Designación	Altura ( $h$ ) mm	Ancho ( $b$ ) mm	Alma ( $T_w$ ) mm	Ala ( $T_w$ ) mm	Kg/m
WF 12"X8"X40"	303	203	7.5	13.1	60

El sistema realizará el apilamiento y des apilamiento de contenedores, cada contenedor presenta en promedio una masa de 340 kg, además debe sumarse todos los elementos móviles del sistema. Dando una masa aproximada de 1000 kg la cual debe ser soportada por las columnas del sistema.

En las siguientes ecuaciones se demuestra de manera cuantitativa la selección del perfil para las columnas donde se obtiene la carga crítica a la cual puede estar sometida cada elemento a las siguientes configuraciones:

Empotrado con articulación en la sección superior

$$P_{crX} = \frac{C\pi^2 EI}{l^2} = \frac{1.2 * \pi^2 * 414 \times 10^6 Pa * 168.07 \times 10^{-6} m^4}{6^2 m^2} = 22.88 \times 10^3 N \quad (6.1)$$

Empotrado con extremo libre en la sección superior

$$P_{crY} = \frac{C\pi^2 EI}{l^2} = \frac{1 * \pi^2 * 414 \times 10^6 Pa * 89.26 \times 10^{-6} m^4}{6^2 m^2} = 10.13 \times 10^3 N \quad (6.2)$$

En la Figura 6-1 se muestra el sistema empotrado en la base inferior de la estructura, así como la sujeción no permanente en el área superior del sistema el cual dependiendo del eje inercial podrá tener cualquiera de las dos configuraciones previamente mencionadas.

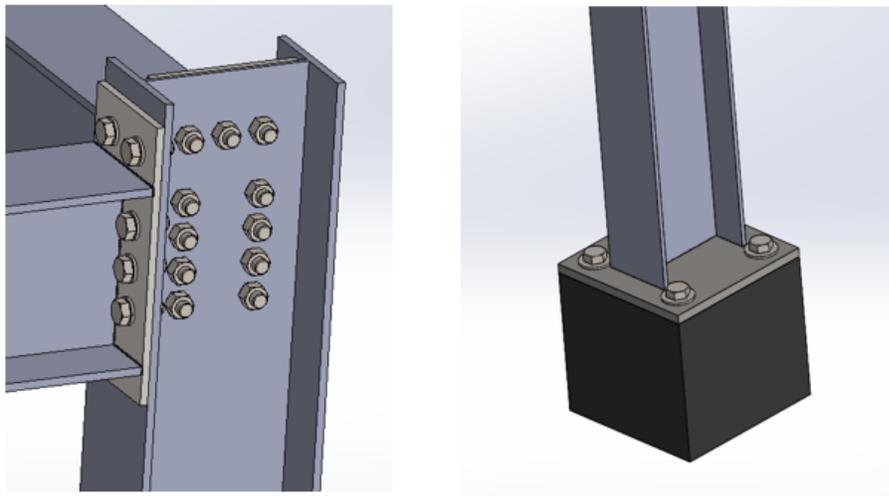


Figura 6-1. Tipo de sujeción de la columna estructural del sistema (Elaboración propia).

Con la información anterior se determina que la fuerza crítica es sobre el eje Y, se demuestra en la Tabla 6-2 que la relación de esbeltez determinada por el radio de giro y la longitud del elemento es mucho mayor que la relación de esbeltez a la fluencia validando el uso aproximación de columnas basada en el método de Euler.

*Tabla 6-2. Relación de Esbeltez columnas del sistema.*

Eje de coordenadas	Relación Esbeltez Fluencia	Relación Esbeltez del sistema
$\left(\frac{l}{K}\right)_{qx}$	26.02	46.13
$\left(\frac{l}{K}\right)_{qy}$	68.12	120.74

En el caso del sistema móvil, más el sistema de sujeción y el contenedor, presentan en conjunto una masa estimada de 1000 kg; la cual se va a distribuir sobre las cuatro columnas estructurales de manera uniforme y presentará dos configuraciones críticas mostradas en la Tabla 6-3.

Se encuentran dos posiciones críticas para el sistema:

1. La posición centro del mecanismo, pues ahí se desempeña el mayor esfuerzo a flexión sobre la columna.
2. La posición cercana a las columnas, en la cual se desempeña el mayor esfuerzo cortante sobre la columna.

*Tabla 6-3. Factores de seguridad de las columnas estructurales del sistema*

Condición del sistema	Factor de seguridad
Sistema cerca de las columnas	4.13
Sistema en el centro	2.25

En el caso de las vigas laterales, las cuales se encargan de movilizar los contenedores tanto sobre el eje coordenadas X y Y, se emplea el perfil IPN 300 mm X 54.2 kg/m el cual presenta las siguientes características técnicas en la Tabla 6-4.

Tabla 6-4. Características técnicas de las vigas del sistema.

Designación	Altura (h) mm	Ancho (b) mm	Alma (T <sub>w</sub> ) mm	Ala (T <sub>w</sub> ) mm	Area (mm) <sup>2</sup>	Momentos de inercia (m) <sup>4</sup>
300 mm X 54.2 kg/m	300	125	10.8	16.2	6900	I <sub>x</sub> = 98X10 <sup>-6</sup> I <sub>y</sub> = 15.7X10 <sup>-6</sup>

La carga crítica será brindada por el momento ocasionado cuando la carga se encuentre en el medio de la viga o al final del eje coordenado “Y”, por lo cual se muestran los esfuerzos para ambos casos a los que estarán sometidos las vigas fijas del mecanismo:

$$\sigma = \frac{Mc}{I} = \frac{14.7X10^3 \text{ Nm} * 150X10^{-3} \text{ m}}{98X10^{-6} \text{ m}^4} = 22.50 \text{ MPa} \quad (6.3)$$

$$\sigma = \frac{Mc}{I} = \frac{24.525X10^3 \text{ Nm} * 75X10^{-3} \text{ m}}{15.7X10^{-6} \text{ m}^4} = 117.15 \text{ MPa} \quad (6.4)$$

Al obtener el esfuerzo máximo al cual estarán sometidas las vigas estáticas del sistema, se obtiene la Tabla 6-5 en donde se muestran los factores de seguridad del mecanismo, para dos condiciones críticas del sistema.

Tabla 6-5 Factores de seguridad de las vigas estructurales del sistema

Condición del sistema	Factor de seguridad
Carga en medio de la viga sobre el eje coordinado X	11.11
Carga en el extremo máximo sobre el eje coordinado Y	2.17

En el caso de las vigas móviles del sistema, no se van a analizar debido a que las cargas a las cuales se encuentran sometidas son menores en comparación a las cargas a las que se encuentran sometidas las vigas estáticas. Esto se debe a que las vigas móviles se encuentran a una menor distancia dando como resultado esfuerzos normales y cortantes de menor magnitud.

En el caso de las uniones de los elementos estructurales del sistema, se emplearon mediante sujeciones no permanentes de tornillo. En la Figura 6-2 se muestra dicha unión, la cual cuenta 11 tornillos.

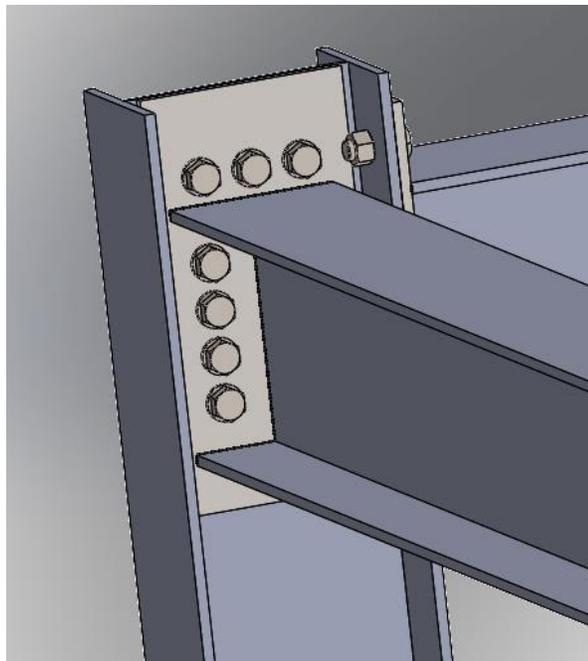


Figura 6-2. Unión crítica del sistema apilador y des apilador de contenedores (Elaboración propia).

En la unión presente en la Figura 6-2, el elemento crítico de la sujeción es el segundo tornillo exterior que se encuentra ubicado en el área del alma de orden descendente a ascendente ya que este presenta la mayor fuerza resultante vertical. En las ecuaciones (6.5), (6.6) y (6.7) se muestra el esfuerzo cortante sobre el perno crítico, así como el esfuerzo de aplastamiento, y el esfuerzo normal sobre el alma de la columna respectivamente.

$$\tau = \frac{(445.90+9783,6*\cos(10.88)) N}{452.38 \times 10^{-6} m^2} = 22.22 MPa \quad (6.5)$$

$$\sigma = \frac{(445.90+9783,6*\cos(10.88)) N}{484.8 \times 10^{-6} m^2} = 20.73 MPa \quad (6.6)$$

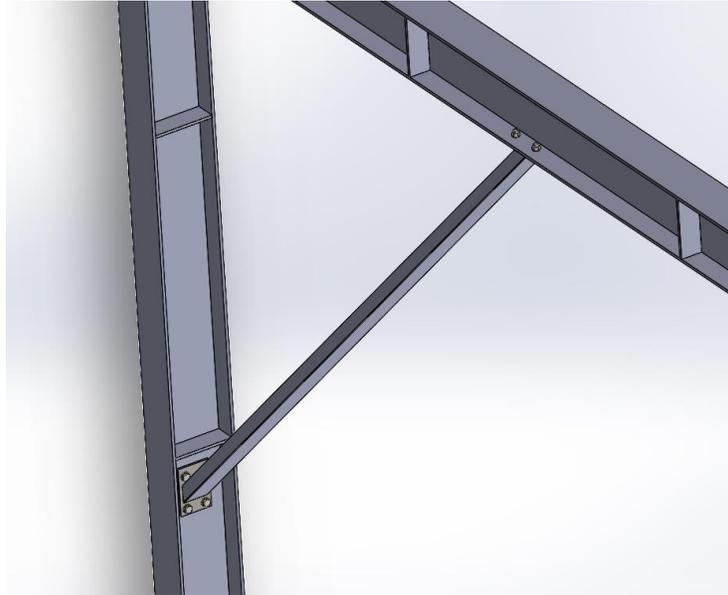
$$\sigma = \frac{(445.90+9783,6*\cos(10.88)) N}{180 \times 10^{-6} m^2} = 55.85 MPa \quad (6.7)$$

Utilizando tornillos de clase 4.6 de material acero al bajo carbono con un diámetro de 24 mm se obtiene la Tabla 6-6 donde se muestran los factores de seguridad críticos para el sistema de sujeción.

*Tabla 6-6. Factores de seguridad sujeción crítica del sistema.*

Condición del sistema	Factor de seguridad
Esfuerzo cortante sobre tornillo	10.12
Esfuerzo aplastamiento sobre tornillo	10.85
Esfuerzo cortante sobre el alma de la columna	4.47

Seguidamente, el sistema presenta angulares realizados con el perfil UPN. La finalidad de estos; consiste en dar un mayor soporte a las vigas laterales estáticas. Así como la colocación de placas de soporte las cuales le dan mayor rigidez al sistema. Estas se encuentran colocadas cada 1.5 m. En la Figura 6-3 se muestra los angulares del sistema y además las placas de soporte.



*Figura 6-3. Sistema con angular y placas de soporte alma de viga y columna (Elaboración propia).*

Por último, se realiza el ensamble estructural del sistema como se muestra en la *Figura 6-4* donde se observan las columnas, vigas de carga y angulares.



*Figura 6-4. Estructura del sistema apilador y des apilador de contenedores (Elaboración propia).*

### 6.1.2 Diseño de transmisión de potencia

Para el movimiento traslacional se emplearán guías lineales modelo HGW65HA del proveedor HIWIN Motion Control and System Technology, la criticidad del sistema se da por el momento flector generado por la carga sobre el eje  $M_R$  como se muestra en la Figura 6-5.

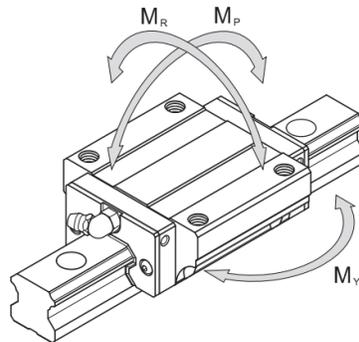


Figura 6-5. Distribución de momentos sobre el portador de la guía lineal HGW65HA.

En la Tabla 6-7 se muestran los momentos críticos soportados por la guía lineal en cada uno de los ejes coordenados denotados en la Figura 6-5.

Tabla 6-7. Distribución de momentos flectores sobre la guía lineal.

Modelo	$M_R$ (kN-m)	$M_P$ (kN-m)	$M_Y$ (kN-m)
HGW65HA	14.38	12.38	12.38

El momento flector crítico del sistema sujeto al portador de la guía lineal ubicada en el sistema:

$$M_R = \frac{2.5 \text{ m} * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 500 \text{ kg}}{2} = 6.13 \text{ kNm} \quad (6.8)$$

En la Tabla 6-8 se muestra el factor de seguridad del portador lineal tanto por el momento flector y la carga a la que se encuentra sometido.

Tabla 6-8. Factor de seguridad del portador de la guía lineal.

Condición del portador	Factor de seguridad
Aplicación de momento $M_R$	2.34
Aplicación de carga $V$	61.83

Previamente se definió que el sistema de transmisión de potencia se realizaría mediante el uso de cremallera y un piñón, debido a esto se agrega una placa rectangular al alma de las vigas estructurales con el fin de eliminar el posible desalineamiento por las cremalleras las cuales se aprecian en la Figura 6-6.

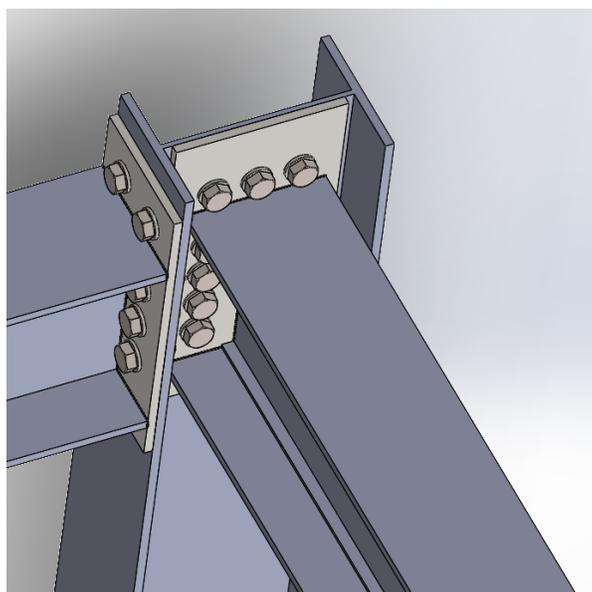


Figura 6-6. Guía para colocación de cremallera sobre viga (Elaboración propia).

Las características de la cremallera y piñón se muestran la Tabla 6-9 y en la Figura 6-7 se denota el engranaje del piñón y la cremallera. En el caso de la cremallera, esta está sujeta al ala de la viga estructural mediante tornillos y en el caso del piñón este es concéntrico al eje de la caja reductora sujetado por una chaveta. Este también está sujeto a la estructura móvil.

Tabla 6-9 Especificaciones técnicas de la cremallera y el piñón.

Especificaciones	Valor numérico
Modulo	7
Longitud de cremallera	935 mm
Espesor de cremallera	100 mm
Diámetro del piñón	126 mm
Espesor de piñón	100 mm
Angulo de presión	20

Comprobando los datos mostrados en la Tabla 6-9 se procede a calcular la longitud radial del piñón, así como la longitud lineal de la cremallera, siguiendo lo establecido en las ecuaciones (6.9) y (6.10).

$$d_p = 7 \frac{\text{mm}}{\text{dientes}} (16 \text{ dientes}) = 126 \text{ mm} \quad (6.9)$$

$$L_r = 7 \frac{\text{mm}}{\text{dientes}} (135 \text{ dientes}) = 945 \text{ mm} \quad (6.10)$$

Se procede luego con el cálculo de la velocidad de operación a la cual se desplazará el sistema y la fuerza tangencial a la que se encuentra sometido tanto el piñón como la cremallera. Para demostrar esto se muestran las ecuaciones (6.11) y (6.12).

$$V = \frac{\pi d_p n_p}{60} = \frac{\pi(126)(10^{-3})(30)}{60} = 0,19 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (6.11)$$

$$W^t = \frac{60(3)(10^3)}{\pi(126)(10^{-3})(30)} = 15,15 \text{ kN} \quad (6.12)$$

Para diseñar el sistema de transmisión de potencia por cremallera y piñón, es necesario verificar que tanto el material seleccionado, así como las dimensiones de los elementos sean las adecuadas.

Las fallas por flexión presentes en los dientes por picaduras en las superficies de estos, se indican como las fallas más comunes la transmisión de potencia por engranes según el estándar AGMA.

Por tanto, se emplea la Ecuación del esfuerzo AGMA para consolidar el diseño del sistema transmisión de potencia cremallera y piñón. Es importante agregar que el piñón es el elemento crítico del sistema por lo que únicamente se enfocarán los cálculos en este elemento.

Se inicia con el cálculo del factor dinámico  $K_v$  el cual considera imprecisiones en la fabricación o en el desacoplamiento de dientes durante el movimiento, obteniendo un factor dinámico  $K_v = 1.08$  como se muestra en la ecuación (6.16)

$$K_o = 1 \wedge Q_v = 6 \quad (6.13)$$

$$B = 0,25(12 - Q_v)^{\frac{2}{3}} = 0.82 \quad (6.14)$$

$$A = 50 + 56(1 - B) = 60.08 \quad (6.15)$$

$$K_v = \left( \frac{A + \sqrt{200V}}{A} \right)^B = \left( \frac{60.08 + \sqrt{200(0.19)}}{60.08} \right)^{0.82} = 1.08 \quad (6.16)$$

$$Y_p = 0.296 \wedge Y_R = 0.485 \quad (6.17)$$

Se continúa con el cálculo asociado al factor de tamaño  $(K_s)_p$ , el cual refleja la uniformidad dimensional presente en los dientes del engrane. Como se connota en la ecuación (6.15) se obtiene un factor de tamaño  $(K_s)_p = 1,15$  para el piñón.

$$K_s = \frac{1}{K_b} = 0,8433(mF\sqrt{Y})^{0.05335} \quad (6.18)$$

$$(K_s)_p = 0,8433(7(100)\sqrt{0,296})^{0.05335} = 1,15 \quad (6.19)$$

$$(K_s)_r = 0,8433 \left( 7(100)\sqrt{0,485} \right)^{0.05335} = 1,17 \quad (6.20)$$

Seguidamente se procede con el cálculo del factor de distribución de la carga. Este se encarga de reflejar la carga no uniforme sobre el claro medio del diente del engrane. Se debe mencionar que la ecuación (6.22) se emplea en pulgadas (in) debido a que las ecuaciones presentes en el Shigley para el cálculo del factor  $C_{pf}$  únicamente aluden a pulgadas, recordando que los factores de ajuste en la ecuación AGMA son adimensionales de manera que no presenta ninguna afectación posterior. Obteniendo un factor de distribución de la carga  $K_H = 2,6$  como se aprecia en ecuación (6.26)

$$C_{pm} = 1, C_R = 1 \wedge C_e = 1 \quad (6.21)$$

$$F = \frac{100}{25,4} = 3,93 \text{ in} \quad (6.22)$$

$$C_{pf} = \frac{100}{10(126)} - 0,0375 + 0,0125(100) = 1,29 \quad (6.23)$$

$$C_{ma} = A + BF + CF^2 \quad (6.24)$$

$$C_{ma} = 0,247 + 0,0167(3,93) - 0,765(10^{-4})3,93^2 = 0,31 \quad (6.25)$$

$$K_H = 1 + 1[1,29(1) + 0,31(1)] = 2,6 \quad (6.26)$$

El presente sistema de transmisión de potencia se encontrará sometido a largas jornadas de trabajo, consecuentemente se obtienen los factores de ciclo de trabajo. En este caso se diseñó para una vida útil de  $10^8$  ciclos de trabajo, lo equivalente a 18 meses de trabajo continuo en la organización. Dando un factor de ciclos de trabajo de  $(Y_N)_P = 0,976$  como se aprecia en la ecuación (6.31).

$$K_B = 1 \quad (6.27)$$

$$M_G = \frac{N_G}{N_P} = \frac{135}{16} = 8,43 \quad (6.28)$$

$$(Y_N)_P = 1.3558(10^8)^{-0,0178} = 0,976 \quad (6.29)$$

$$(Y_N)_R = 1.3558 \left( \frac{10^8}{8,43} \right)^{-0,0178} = 1.01 \quad (6.30)$$

$$(Y_J)_P = 0,33 \wedge (Y_J)_R = 0,35 \quad (6.31)$$

En los requerimientos de diseño, la organización designó una disponibilidad de equipo igual o mayor al 95%. Dado esto se genera una confiabilidad del sistema del 95% como se observa en la ecuación (6.32)

$$Y_Z = 0,658 - 0.0759 \ln(1 - 0,95) = 0,885 \quad (6.32)$$

$$Y_\theta = Z_R = 1 \quad (6.33)$$

Luego se procede a obtener el esfuerzo del piñón, el cual es de acero grado 1 con una dureza Brinell de 200 fabricado con una norma de calidad 6 y una instalación abierta. Se obtiene un esfuerzo  $(\sigma_{HP})_P = 194,9 \text{ MPa}$  como se denota en la ecuación (6.35).

$$H_{BP} = 200 \text{ MPa} \quad (6.34)$$

$$(\sigma_{HP})_P = 0,533(200 \text{ MPa}) + 83,3 \text{ MPa} = 194,9 \text{ MPa} \quad (6.35)$$

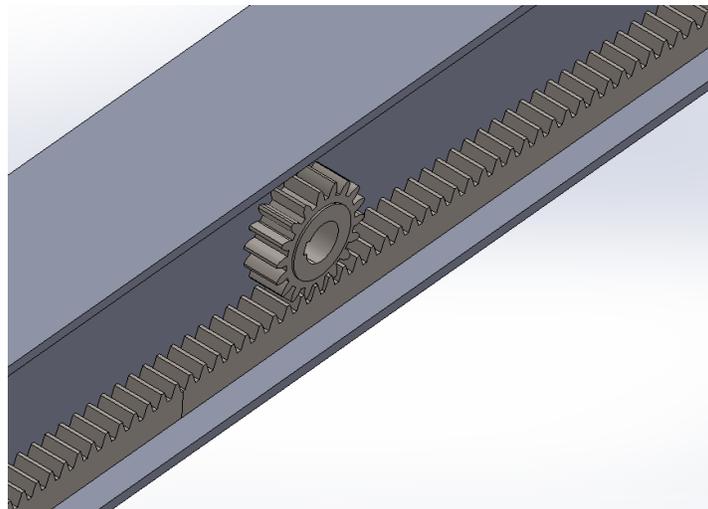
Al obtener el esfuerzo al cual el engrane estará sometido según la norma AGMA, se procede a realizar el ajuste correspondiente asociado a cada factor  $K_N$  previamente obtenido. El esfuerzo AGMA sobre el piñón es  $\sigma_P = 211,78 \text{ MPa}$  según la ecuación (6.36)

$$\begin{aligned} \sigma_P &= \left( W^t K_O K_v K_s \frac{1}{b m_t} \frac{K_H K_B}{Y_J} \right) = 15,15(10^3) N(1)(1,08)(1,15) \frac{1}{(100)(10^{-3})m(7)(10^{-3})m} \frac{(2,6)(1)}{0,33} \\ &= 211,78 \text{ MPa} \end{aligned} \quad (6.36)$$

Por ultimo, se debe obtener el factor de seguridad del engrane, en este caso del piñón. Se deben tener presentes los ajustes designados por la norma AGMA para el cálculo del factor de seguridad. Como se demuestra en la ecuación (6.37) se obtiene un factor de seguridad  $(S_F)_P = 2,58$  que se encuentra dentro del margen de las especificaciones del diseño.

$$(S_F)_P = \left( \frac{\sigma_P}{\sigma} \frac{Y_N}{Y_\theta Y_Z} \right) = \frac{497(10^6)MPa}{211,78(10^6)MPa} \frac{0,976}{(1)(0,885)} = 2,58 \quad (6.37)$$

En la Figura 6-7 se muestra el piñón y la cremallera los cuales fueron diseñados anteriormente con las ecuaciones de AGMA.



*Figura 6-7. Engranaje de la cremallera y el piñón  
(Elaboración propia).*

Con base en las características del sistema de transmisión de potencia, se procede a obtener el valor de potencia necesario en los actuadores rotativos. En este caso es necesario un par motriz de  $T_{X\wedge Y} = 457,34 Nm$  para movilizar tanto eje coordinado “X” y “Y”.

$$T_{X\wedge Y} = \mu M g \frac{D}{2} = 0,74(1000 kg) \left( 9,81 \frac{m}{s} \right) \frac{0,126 m}{2} = 457,34 Nm \quad (6.38)$$

Debido a que el motor necesario para producir un par  $T_{X\wedge Y} = 457,34 \text{ Nm}$  incidiría en un alto costo en el proyecto, se opta por el uso de una caja reductora con la finalidad de necesitar un par motriz menor de manera que sea necesario el uso de un motor de menor capacidad. La organización puso a la disposición cajas reductoras con una relación 1:30 obteniendo un par motriz resultante  $T_N = 15,24 \text{ Nm}$  como se aprecia en la ecuación (6.39).

$$T_N = \frac{457,34 \text{ Nm}}{30} = 15,24 \text{ Nm} \quad (6.39)$$

Ahora se procede a obtener el valor de potencia que requiere el motor para trasladar la carga del sistema. Como se denota en la ecuación (6.40) es necesario un motor  $P_{X\wedge Y} = 1,43 \text{ kW}$ .

$$P_{X\wedge Y} = (15,24 \text{ Nm})(900) \frac{\text{rev}}{\text{min}} \frac{2\pi \text{ rad}}{60 \text{ s}} = 1,43 \text{ kW} \quad (6.40)$$

Consecuente a que el cálculo anterior hace referencia a un motor con una eficiencia de 100% dado a un caso idealista, los motores comercialmente presentan una eficiencia de 75%, por lo cual se necesita un motor de  $P_{X\wedge Y} = 1,90 \text{ kW}$ .

$$P_{X\wedge Y} = \frac{1,43 \text{ kW}}{0,75} = 1,90 \text{ kW} \quad (6.41)$$

Dado que el valor de potencia  $1,90 \text{ kW}$  no se presenta de forma comercial para motores, se seleccionan motores de potencia  $2,2 \text{ kW}$  para los ejes coordinados "X" y "Y". En caso del eje coordinado "Z" se realiza el procedimiento anterior obteniendo una potencia de  $1,1 \text{ kW}$ .

## 6.2 Diseño del sistema de automatización

Al definir el sistema mecánico en su totalidad, se inicia con el diseño del sistema automático. Como previamente se definió, se empleará el controlador lógico programable siemens S7-300; en la Tabla 6-10 se muestran los elementos que conforman el sistema de automatización.

Tabla 6-10. Elementos del sistema de automatización.

Elemento	Característica
PLC S7-300	CPU 314C-2 PN/DP
Variador de frecuencia G120	CU250S-2 PN Vector
Motor eje coordinado X y Y	2,2 kW
Motor eje coordinado Z	1,1 kW
Actuadores lineales eléctricos	Actuador PND
Posicionador	Encoder Siemens
Sensores de presencia ausencia	Sensor capacitivo

Posteriormente se inició con la creación del proyecto mediante el *software* TIA PORTAL V16 donde se seleccionó el PLC S7-300 CPU 314C-2 PN/DP y se inicia con la configuración. En la Figura 6-8 se muestra el PLC, el cual cuenta únicamente con 2 módulos digitales y un módulo analógico. En el caso del módulo digital, este trabaja de manera discreta con una tensión de 0 a 24 v y en el caso del módulo analógico, trabaja de forma continua con una tensión de 0 a 10 v.



Figura 6-8. CPU del sistema de automatización (Elaboración propia).

Como se aprecia en el esquema anterior, el control de los motores no se puede realizar directamente con el PLC por lo cual se utilizan variadores de frecuencia.

La organización contaba con los variadores siemens G120 modelo CU250S-2 PN Vector los cuales se decidieron implementar en el presente proyecto. Estos presentan

la ventaja de ser del mismo proveedor que el PLC , por lo que se tiene un mayor grado de conectividad y concordancia en software al sistema

En la Figura 6-9 se muestra tanto el módulo de control como el módulo de potencia del variador de frecuencia para el eje coordenado “X”.



Figura 6-9. Variador de frecuencia G120 eje coordenado “X”  
(Elaboración propia).

Al tener el CPU y los 3 variadores de frecuencia para el sistema automático del apilador y des apilador automático de contenedores, se procede a la comunicación en la cual se emplea un protocolo PROFINET; debido a la facilidad que permite tener un maestro y un sin número de esclavos. En la tabla Tabla 6-11 se muestra el IP de cada dispositivo, así como que todos se encuentran en la misma sub-máscara 255 .255 .255 .0.

Tabla 6-11. Direcciones de los dispositivos para la comunicación PROFINET.

Dispositivo	Dirección IP
PLC S7-300	192.168.0.1
G120 eje coordenado X	192.168.0.2
G120 eje coordenado Y	192.168.0.3
G120 eje coordenado Z	192.168.0.4

Así como en la Figura 6-10 se muestra la conexión de los cuatro dispositivos, es importante mencionar que cada variador de frecuencia G120 compartirá ocho bytes de formato palabra para la comunicación con el PLC S7-300 donde serán cuatro bytes para enviar y cuatro para recibir.

En la Figura 6-11 se muestran los bytes de entrada del I256 hasta el I259 que son para recibir instrucciones por parte del variador y los bytes de salida Q256 hasta Q259 para enviar datos al PLC.

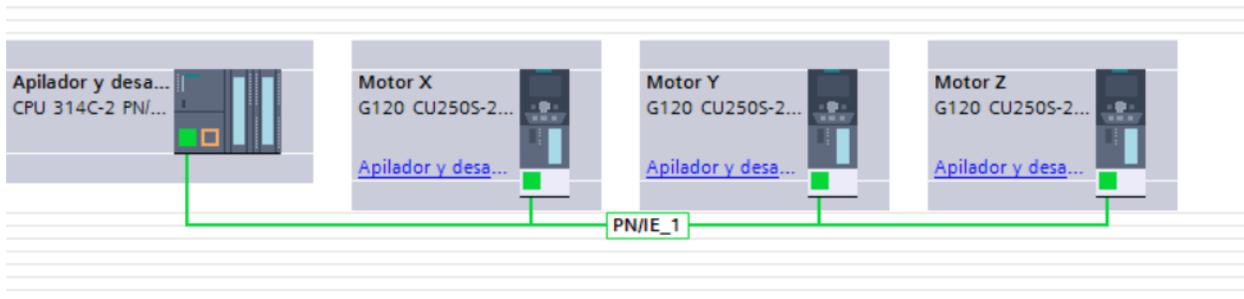


Figura 6-10. Comunicación PLC y los variadores de frecuencia (Elaboración propia).

Telegram configuration

Name	Item	Link	Telegram	Length	Extension	Type	Partner	Partner data area
Motor X	1							
Send (Actual value)		→	Standard telegram 7	2 words	0 words	→	CD Apilador y de...	I 256...259
Receive (Setpoint)		←	Standard telegram 7	2 words	0 words	←	CD Apilador y de...	Q 256...259

Figura 6-11. Bytes dedicados a la comunicación (Elaboración propia).

Se procede a configurar los parámetros del variador donde se ingresan las características del motor que se definieron previamente como lo es la potencia. Seguidamente se seleccionó su modo de trabajo; se selecciona que el control y la curva de arranque y de paro esté impartida por el variador como se aprecia en la Figura 6-12.

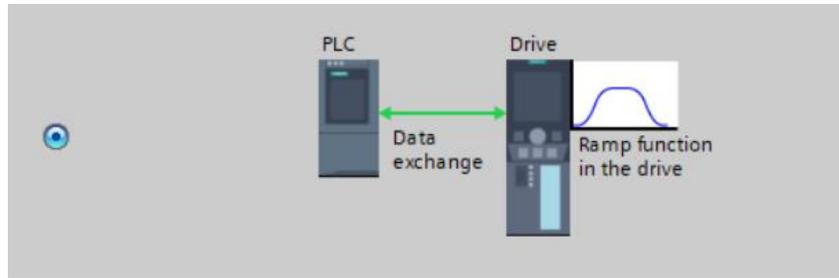


Figura 6-12. Designación de funcionamiento variador de frecuencia (Elaboración propia).

Posteriormente se introducen los parámetros del motor así como tiempos de aceleración y desaceleración, continuando con la configuración del encoder de cuadratura el cual será el encargado de determinar la posición del sistema. Este tendrá una relación mecánica con la cremallera donde el diámetro de paso de este  $d_p = 126 \text{ mm}$  así como una caja reductora de relación 1: 30 que se denota en la Figura 6-13.

The screenshot shows the "Mechanical system" configuration window. It includes the following settings:

- The position control is assigned to the following encoders: Encoder\_1
- LU per load revolution (encoder resolution): 62914560 LU
- Encoder pulse number: 1024
- Fine resolution: 2048
- LU per load revolution (pos. setpoint / act. val. resol.): 126000
- Motor revolutions: 30
- Load revolutions: 1
- Activate modulo offset: 1
- Position actual value / setpoint starts at 0 LU after: 1 LU
- Load gearbox position tracking:
  - Activate
  - Rotary axis
  - Linear axis
- Virtual multiturn resolution: 12600
- Tolerance window: 126.00

Navigation buttons at the bottom: << Back, Next >>, Finish, Cancel.

Figura 6-13. Relación mecánica del sistema con el variador de frecuencia (Elaboración propia).

Seguidamente se inició con la delimitación del área de trabajo. En el caso del eje coordinado "X" donde se tiene un área de trabajo de 7 metros, se da un valor equivalente al desplazamiento del encoder que en este caso corresponde a 1296000 LU como se aprecia en la Figura 6-14 .

Se activa una tolerancia en el sistema en caso de que haya algún desajuste durante un turno productivo y no se tenga la disponibilidad de realizar el mantenimiento correspondiente en ese momento.

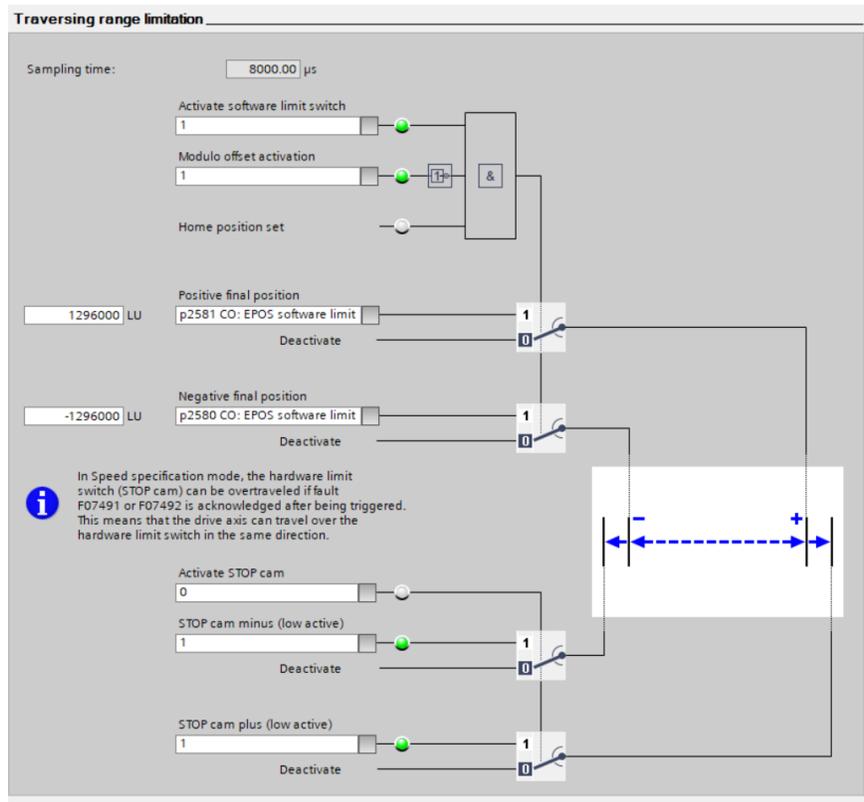


Figura 6-14. Delimitación del área de trabajo (Elaboración propia).

Al finalizar la delimitación del área de trabajo se prosiguió con el sentido de giro del mecanismo en el cual el parámetro de muestreo del sistema se dejó con el valor estándar; se configuró los sentidos de giro los cuales pueden ser accionados de manera digital, activando giro horario en el parámetro *P2081.1* y el giro antihorario en el parámetro *P2081.2* como se muestra en la Figura 6-15.

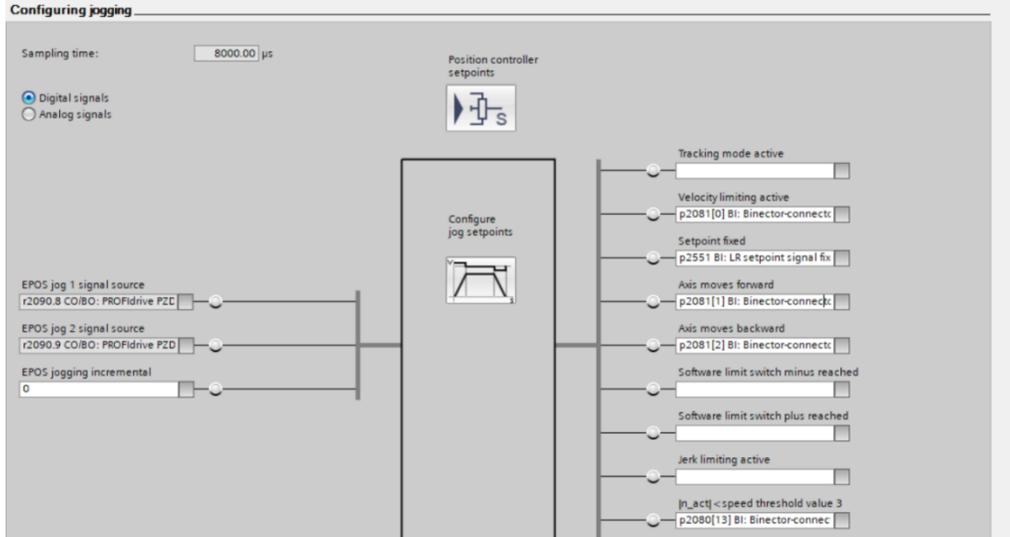


Figura 6-15. Configuración de giro del motor (Elaboración propia).

Al tener el espacio de trabajo definido y el sentido de giro, se coloca un sensor capacitivo para indicar la posición origen del eje coordenado y se establecen velocidades teóricas tentativas para que el mecanismo vuelva al punto de inicio. Estas pueden variar en la implementación del sistema por motivos de potencia o del coeficiente de fricción entre la cremallera y el piñón. La configuración de la posición de origen se muestra en la Figura 6-16. Configuración de la posición origen del sistema (Elaboración propia).

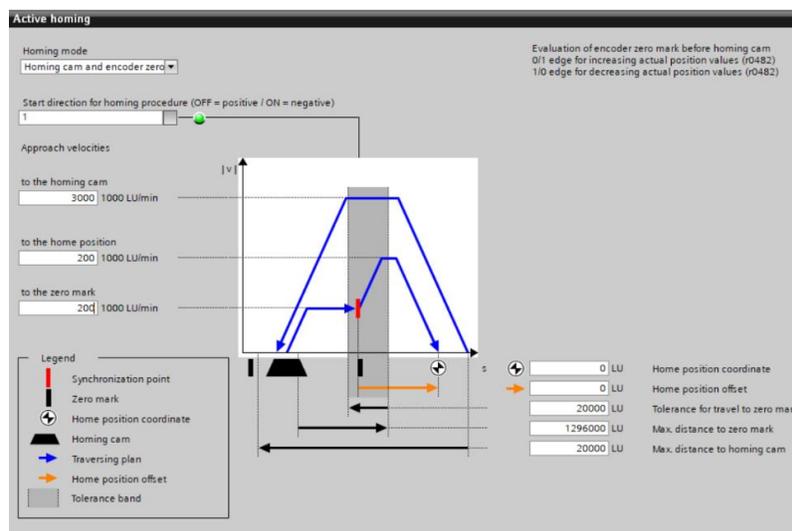


Figura 6-16. Configuración de la posición origen del sistema (Elaboración propia).

Por último, se configuran las posiciones donde el apilador y des apilador de contenedores debe realizar su función. Pese a que inicialmente el sistema únicamente presentará dos bandas de espera, una para contenedores llenos y otra para contenedores vacíos, en el caso del eje coordenado X presentará 5 posiciones los cuales se muestran en la Figura 6-17. Para el sistema del eje coordenado Y se tienen 3 posiciones y para el eje coordenado Z son 4 posiciones.

Program traversing blocks

Maximum number of blocks  
16

Index	No.	Job	Parameter	Mode	Position	Vel.	Accel.	Decel.	Transition	Hide
1	1	[1] POSITIONING	0	ABSOLUT	1080000	600	100.0	100.0	END	<input type="checkbox"/>
2	2	[1] POSITIONING	0	ABSOLUT	22000	600	100.0	100.0	END	<input type="checkbox"/>
3	-1	[1] POSITIONING	0	ABSOLUT	32000	600	100.0	100.0	END	<input type="checkbox"/>
4	-1	[1] POSITIONING	0	ABSOLUT	42000	600	100.0	100.0	END	<input type="checkbox"/>
5	-1	[1] POSITIONING	0	ABSOLUT	52000	600	100.0	100.0	END	<input type="checkbox"/>
6	-1	[1] POSITIONING	0	ABSOLUT	0	600	100.0	100.0	END	<input type="checkbox"/>
7	-1	[1] POSITIONING	0	ABSOLUT	0	600	100.0	100.0	END	<input type="checkbox"/>
8	-1	[1] POSITIONING	0	ABSOLUT	0	600	100.0	100.0	END	<input type="checkbox"/>
9	-1	[1] POSITIONING	0	ABSOLUT	0	600	100.0	100.0	END	<input type="checkbox"/>
10	-1	[1] POSITIONING	0	ABSOLUT	0	600	100.0	100.0	END	<input type="checkbox"/>
11	-1	[1] POSITIONING	0	ABSOLUT	0	600	100.0	100.0	END	<input type="checkbox"/>
12	-1	[1] POSITIONING	0	ABSOLUT	0	600	100.0	100.0	END	<input type="checkbox"/>
13	-1	[1] POSITIONING	0	ABSOLUT	0	600	100.0	100.0	END	<input type="checkbox"/>
14	-1	[1] POSITIONING	0	ABSOLUT	0	600	100.0	100.0	END	<input type="checkbox"/>
15	-1	[1] POSITIONING	0	ABSOLUT	0	600	100.0	100.0	END	<input type="checkbox"/>
16	-1	[1] POSITIONING	0	ABSOLUT	0	600	100.0	100.0	END	<input type="checkbox"/>

Figura 6-17. Configuración de posibles posiciones para el sistema en el eje coordenado X (Elaboración propia).

En la secuencia de pasos anteriores, se mostró la configuración del variador de frecuencia para el eje coordenado "X", en el caso de los dos ejes coordenados se omite dicha configuración debido que se implementó el mismo procedimiento.

Para la programación se muestra una secuencia de pasos que debe seguir el proyecto apilador y des apilador de contenedores automático, la secuencia de pasos se dividió en subtareas en este caso en bloques de programas. En la Tabla 6-12 se presentan todos los bloques utilizados así como una breve descripción de su funcionalidad. Se recomienda que el lector previamente haya observado el diagrama

mostrado en el Apéndice A.2 para que tenga una visión más amplia del funcionamiento del programa.

*Tabla 6-12. Descripción de los bloques de programa implementados en Tia Portal.*

Bloque de programa	Descripción
Principal	Es el bloque principal del programa en el cual se da el llamado y la activación de todos los bloques del programa.
Comunicación volteador	Se presenta la comunicación con el volteador de contenedores con el apilador y des apilador.
Posición Origen	Verifica que el sistema se encuentre en la posición origen en los 3 ejes coordenados
Movimiento X	Activación del movimiento en el eje coordenado X mediante el variador de frecuencia G120
Movimiento Y	Activación del movimiento en el eje coordenado Y mediante el variador de frecuencia G120
Movimiento Z	Activación del movimiento en el eje coordenado Z mediante el variador de frecuencia G120
Soltar	Desactivación lineal de los 4 actuadores lineales presentes en el sistema de sujeción.
Sujetar	Activación lineal de los 4 actuadores lineales presentes en el sistema de sujeción

Apilar	Asigna las posiciones sobre la banda de espera de contenedores vacíos.
Des apilar	Asigna las posiciones sobre la banda de espera de contenedores vacíos
Inactividad	Temporizador el cual se va encargar que en periodo configurables el dispositivo se apague por inactividad.

En la Figura 6-18 se muestra el diagrama de bloques global del sistema de automatización, el cual iniciará ubicando el sistema en la posición de origen para cada uno de los ejes coordenados. En caso de no lograr obtener la posición origen para los tres ejes coordenados, el sistema se va a apagar en un lapso de 5 minutos con la finalidad de evitar posibles daños al sistema.

Con un selector se determinará la configuración del sistema, las configuraciones del sistema son manual o automático. Esto con la finalidad de que, en caso de una eventualidad del sistema, se pueda seguir operando en modo manual para no tener afectaciones en el proceso productivo.

Por orden de prioridad, el sistema va a des apilar contenedores llenos sobre la banda de rodillos del volteador. Seguidamente el sistema iniciaría con el apilamiento de contenedores vacíos sobre la banda de espera 2.

En caso de que no se encuentren contenedores llenos ni vacíos, el sistema tendrá un lapso de espera de 5 minutos, al pasar este tiempo y si aún no se encuentran contenedores para des apilar o apilar, el sistema se apagará con la finalidad de emplear la energía de forma eficiente y razonable.

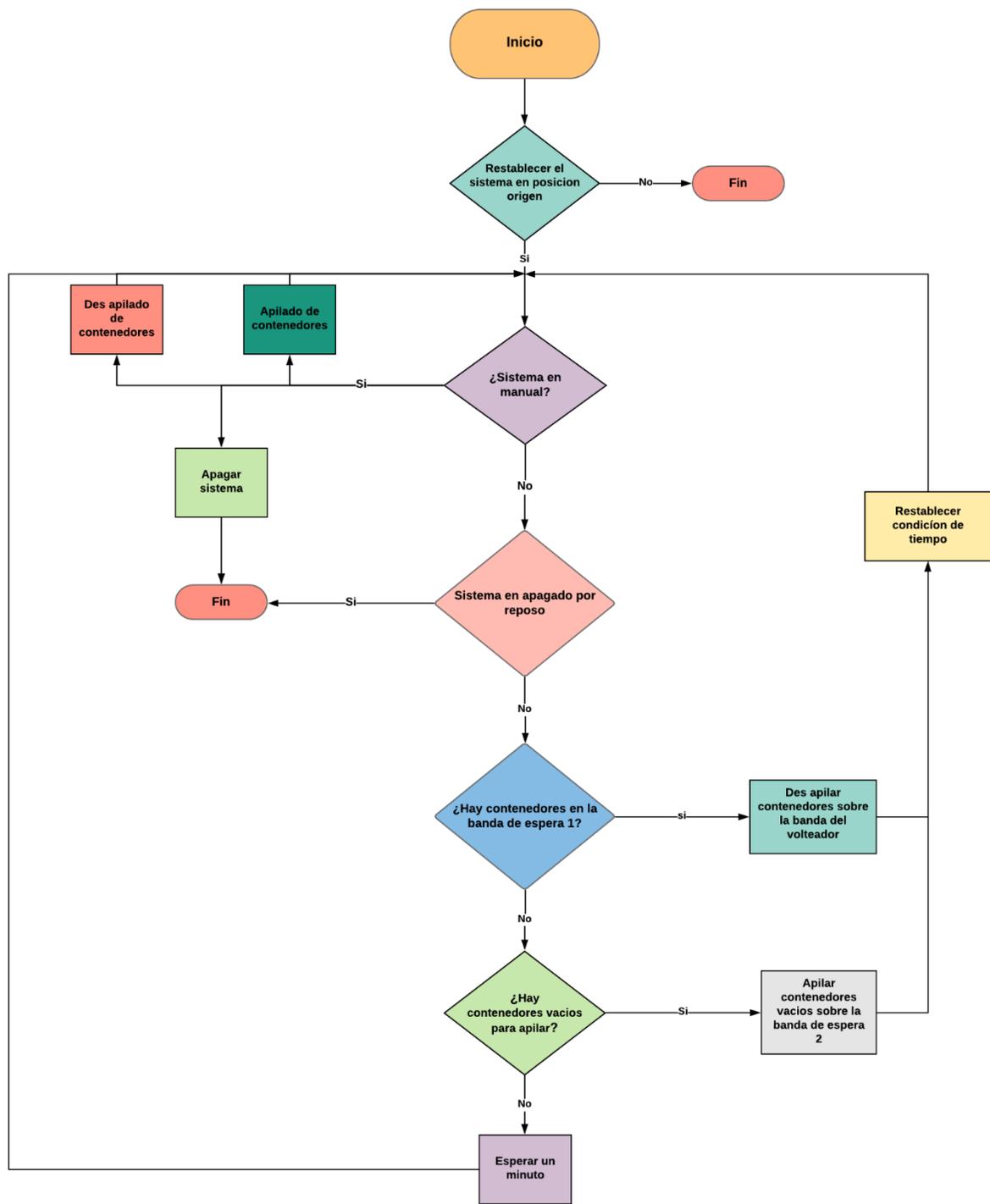


Figura 6-18. Diagrama de Bloques del sistema apilador y des apilador de contenedores automático (Elaboración propia).

En la Figura 6-19 se muestra internamente el bloque de establecer posición de origen de la Figura 6-18. Es importante mencionar que esta función se encuentra en el bloque organizacional *OB100* el cual únicamente se ejecuta en el arranque del sistema. Esto con la finalidad de tener un punto de referencia determinado para que el sistema pueda trasladarse a las distintas posiciones.

El sistema contará con tres sensores capacitivos con la finalidad de confirmar la posición origen en los tres ejes coordenados, dándole prioridad a la posición de origen en el eje coordenado “Z” por condiciones de seguridad ocupacional durante el movimiento.

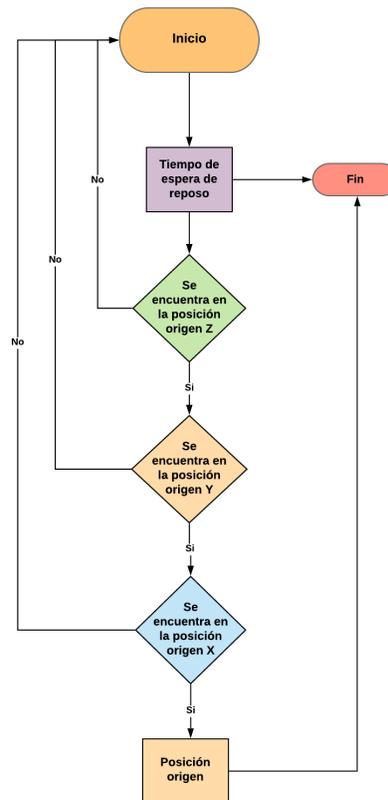


Figura 6-19. Diagrama interno del bloque de posición de origen (Elaboración propia).

En la Figura 6-20 se muestra el diagrama interno simplificado del bloque de des apilar contenedores sobre la banda de rodillos del volteador de banano. Se inicia con la lectura de la banda de espera la cual indicará la cantidad de contenedores mediante cuatro celdas de carga en la entrada *IW800*. Con base en la cantidad de contenedores, se designan las posiciones para cada uno de los ejes coordenados, por esta razón cuando el sistema se encuentre en la posición designada los variadores de frecuencia enviarán la confirmación al PLC.

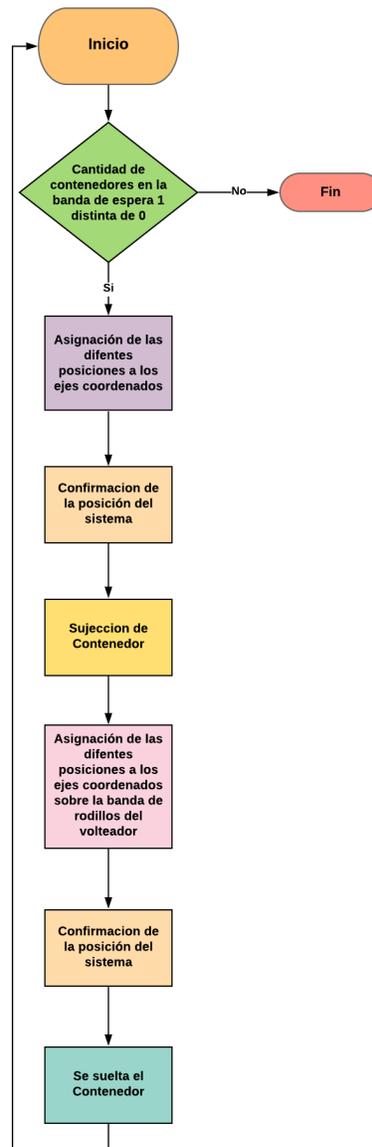


Figura 6-20. Diagrama interno del bloque des apilar contenedores sobre la banda del volteador (Elaboración propia).

Continuando con el bloque de sujeción, en la Figura 6-21 se muestra todos los bloques que lo conforma internamente. El bloque de sujeción realizará una comprobación de que la posición del sistema sea correcta en los tres ejes coordenados y de que el contenedor se encuentre en posición mediante el uso de dos sensores capacitivos. Estos se encontrarán cada uno al lado del sistema de sujeción, en caso de que algunas de las condiciones no se cumplan, el sistema entrará en un estado de reposo. El estado de reposo es un lapso de 5 minutos donde si no presenta actividad el sistema saldrá de la instrucción.

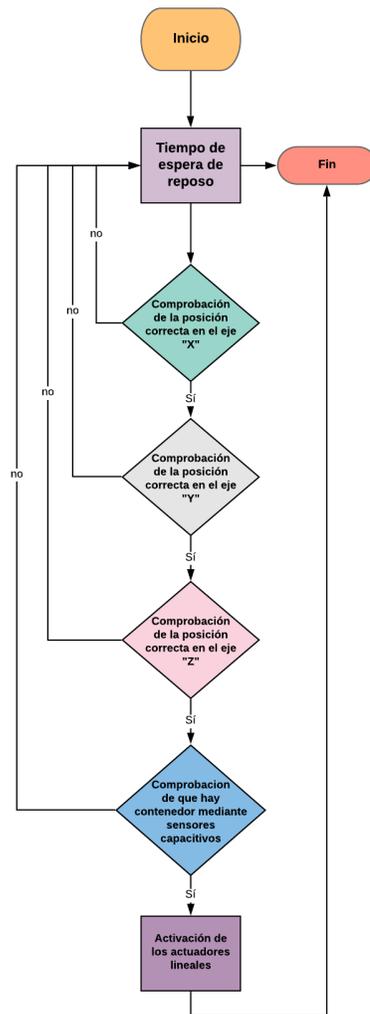


Figura 6-21. Diagrama interno del bloque de sujeción (Elaboración propia).

## Capítulo 7. Resultados

En el presente capítulo se muestran los resultados obtenidos del sistema apilador y des apilador de contenedores automáticos. Aquí se muestran tanto las simulaciones realizadas del sistema tanto para el sistema mecánico como el sistema automático como la comprobación conceptual mediante el uso de prototipos físicos enfocados para la movilidad total del sistema y el sistema de sujeción. Además, se agrega un plan de mantenimiento preventivo para el sistema. Por último, se realiza un análisis financiero de la viabilidad del proyecto.

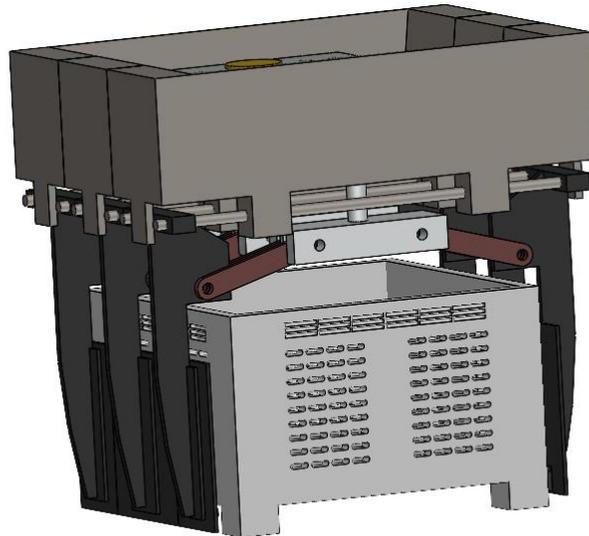
### 7.1 Simulación del sistema mecánico

Se presenta en la Figura 7-1 el diseño mecánico finalizado. El cual en su totalidad se realizó mediante elementos de acero inoxidable 304 dado a las políticas de inocuidad alimenticia de la organización, así como por la interacción del presente sistema con el proceso productivo.



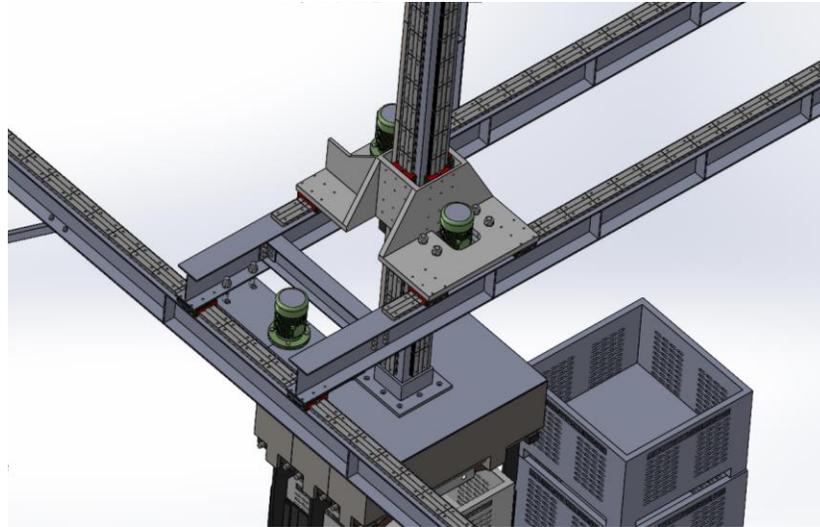
Figura 7-1. Sistema mecánico del apilador y des apilador de contenedores (Elaboración propia).

Se presentan dos acercamientos de la Figura 7-1 con la finalidad de que el lector tenga una perspectiva de mayor claridad en los detalles del sistema. En la Figura 7-2 se muestra el sistema de sujeción del proyecto en operación con uno de los contenedores que posee las dimensiones de los contenedores presentes en la organización.



*Figura 7-2. Sistema de sujeción del apilador y des apilador de contenedores automático (Elaboración propia).*

Seguidamente se muestra en detalle el sistema apilador y des apilador de contenedores. Como se aprecia en la Figura 7-3, se tienen las guías lineales del sistema, así como sus respectivos portadores lineales. Además, se aprecia la ubicación de cada uno de los motores y de la misma manera se denota el portador del sistema.



*Figura 7-3. Detalle del sistema móvil del apilador y des apilador automático de contenedores (Elaboración propia).*

Al terminar de dimensionar los distintos elementos presentes en el diseño y realizar su respectivo ensamblaje, se procede a la validación del sistema. En este caso se utiliza el simulador presente en el software *SolidWorks*, el cual da una retroalimentación analítica y visual; tanto de esfuerzos máximos y mínimos con su respectiva ubicación, sus respectivas flexiones, deflexiones o deformaciones y el factor de seguridad crítico del sistema.

Se inicia con la simulación del sistema estructural del proyecto apilador y des apilador de contenedores automático. En la Figura 7-4 se muestra el sistema estructural, el cual se encuentra sometido a una carga distribuida de  $9600\text{ N}$  sobre el punto medio del sistema, el cual es el punto crítico del sistema.

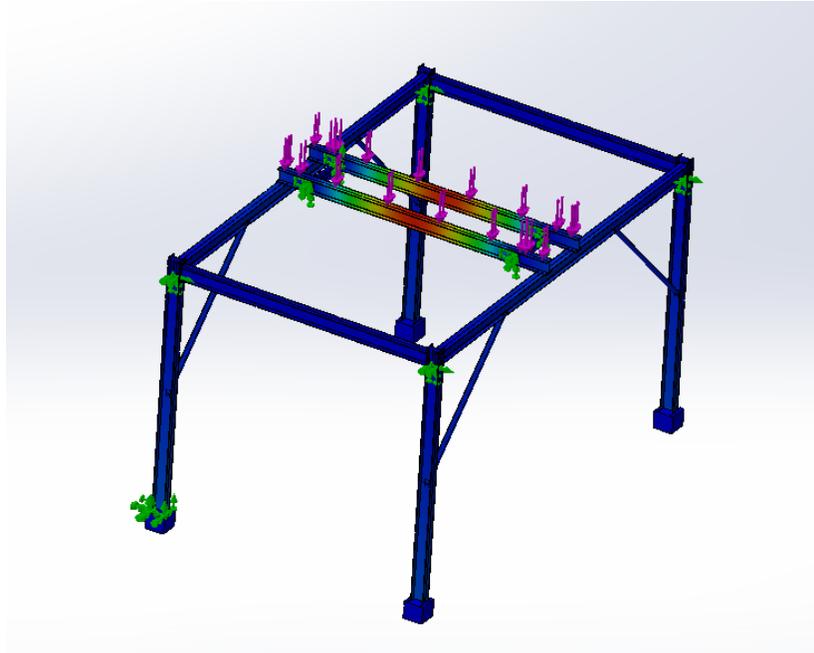


Figura 7-4. Simulación del sistema estructural del sistema apilador y des apilador de contenedores (Elaboración propia).

En la Tabla 7-1 se muestran los resultados obtenidos en simulación del sistema estructural donde se presenta que el esfuerzo máximo es de  $114.56 \text{ MPa}$  y la flexión máxima del sistema es  $1.155 \text{ mm}$  los cuales se aprecian en la Figura 7-4 como el sector de color rojizo. Se determina que las secciones en color azulado presentan cargas nulas para el sistema. Además, se tiene un factor de seguridad de 2.46 el cual cumple con los requerimientos del sistema.

Tabla 7-1. Resultados de la simulación del sistema estructural.

Esfuerzo máximo	Flexión máxima del sistema	Factor de seguridad crítico
114.56 MPa	1.155 mm	2.46

Se procede con la simulación del portador del sistema. Este permite la movilidad del sistema sobre el eje coordenado “Y” además de ser el soporte del sistema de sujeción. En la Figura 7-5 se muestra la distribución de esfuerzos en el portador y su respectiva aplicación de carga la cual es de  $8624 \text{ N}$ .

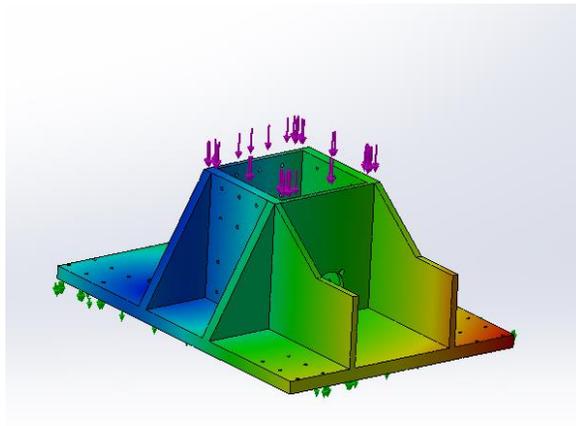


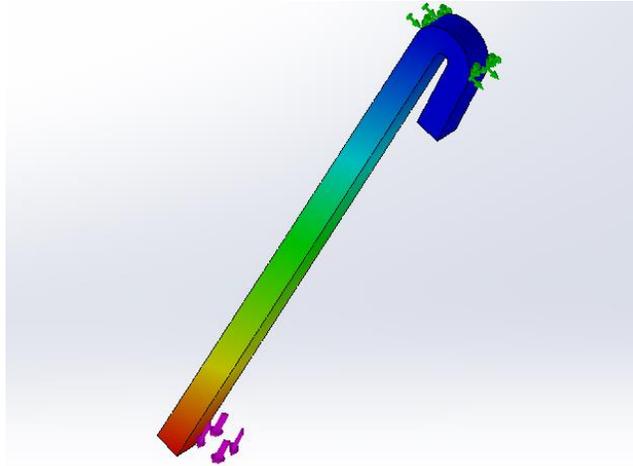
Figura 7-5. Simulación del portador del sistema (Elaboración propia).

Los resultados de la simulación del sistema portador se muestran en la **Error! Reference source not found.** En ella se puede observar que en la zona rojiza de mayor intensidad se tiene una deflexión máxima de  $0.037\text{ mm}$ . Cabe mencionar que este resultado es de esperar debido a que el portador presenta una abertura del lado derecho, consecuente a una menor área se designa como la zona crítica del sistema. Además, se obtiene un factor de seguridad que cumple con los requerimientos del sistema.

Tabla 7-2. Resultado de la simulación del portador del sistema.

Esfuerzo máximo	Flexión máxima del sistema	Factor de seguridad crítico
33.29 MPa	0.037 mm	6.79

Continuando con la validación del sistema, se prosiguió con la simulación del contrapeso. Este se encuentra ubicado dentro del portador del sistema y tiene como función generar la movilidad sobre el eje coordenado Z. En la Figura 7-6 se muestra la distribución de esfuerzos sobre el contrapeso del sistema móvil. En este caso se confirma que la deformación máxima se da en el inicio del elemento.



*Figura 7-6. Simulación del contrapeso del sistema de movilidad del eje coordenado Z (Elaboración propia).*

En la Tabla 7-3 se muestran los resultados de la simulación del contrapeso donde se tiene un esfuerzo normal máximo de  $93.12 \text{ MPa}$  además de una deformación de  $2.015 \text{ mm}$ . Los cuales son valores que cumplen con los requerimientos del diseño.

*Tabla 7-3. Resultados de la simulación del contrapeso.*

<b>Esfuerzo máximo</b>	<b>Deformación máxima del sistema</b>	<b>Factor de seguridad crítico</b>
93.12 MPa	2.015 mm	3.45

En el caso del sistema de sujeción de los contenedores, se procedió con la simulación de los brazos de sujeción. En la Figura 7-7 se muestra que el área crítica aparece en la curvatura inferior donde se coloca el contenedor. Se debe aclarar que en esta simulación los elementos como las articulaciones y tubos guías, se consideran elementos rígidos. Esto con el objetivo de disminuir costo computacional; sin embargo dichos elementos se analizarán posteriormente de forma individual.

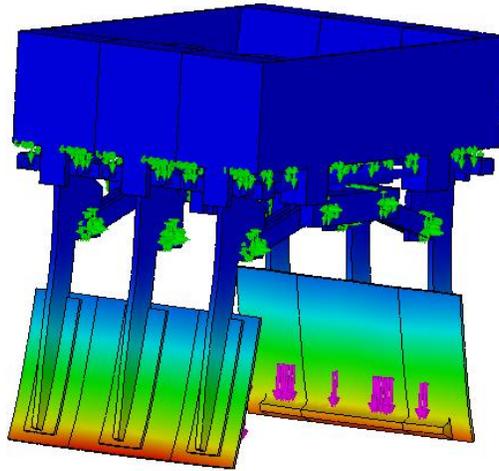


Figura 7-7. Simulación del sistema de sujeción (Elaboración propia).

En la Tabla 7-4 se muestran los resultados obtenidos del sistema de sujeción, es de interés mencionar que el sistema se encuentra bajo una carga de 3920 N, la cual considera la fuerza ocasionada por el contenedor así como el peso de los elementos del sistema de sujeción.

Tabla 7-4. Resultados de la simulación del sistema de sujeción.

Esfuerzo máximo	Deformación máxima del sistema	Factor de seguridad crítico
95.29 MPa	0.098 mm	3.22

Por motivo de coste computacional, se simularán de manera individual los elementos que conforman el sistema de sujeción. Por lo tanto, en la Figura 7-8 se muestra la articulación la cual cuenta con un extremo rígido y el otro presenta la carga. Se observa que, una deformación máxima ocurre en el diámetro interno donde se coloca el pasador.

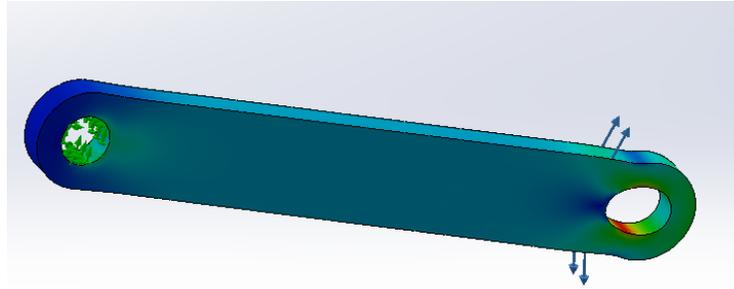


Figura 7-8. Simulación de la articulación del sistema de sujeción (Elaboración propia).

Se presentan en la Tabla 7-5 los valores críticos ocasionados por la carga. En este caso se obtiene un esfuerzo de  $64.5 \text{ MPa}$  y una deformación axial de  $0.14 \text{ mm}$  dando como resultado un factor de seguridad de  $4.92$ . Es importante recalcar que el sistema de sujeción cuenta con 12 articulaciones distribuidas en 4 articulaciones para cada guía y 2 articulaciones para cada brazo. Por esta configuración, el esfuerzo que se presenta es de cortante doble sobre las articulaciones.

Tabla 7-5. Resultados de la simulación de la articulación del sistema de sujeción.

Esfuerzo máximo	Deformación máxima del sistema	Factor de seguridad crítico
64.5 MPa	0.14 mm	4.92

Por último, se validan los tubos guías del sistema de sujeción, en este caso se realiza la aplicación de la carga sobre la base superior del sistema de sujeción. Todos los demás elementos son rígidos, el único que presenta propiedades isotrópicas deformables es el tubo guía. En la *Figura 7-9* se denota la deformación del tubo en la parte alejada del punto de apoyo como es de esperarse.

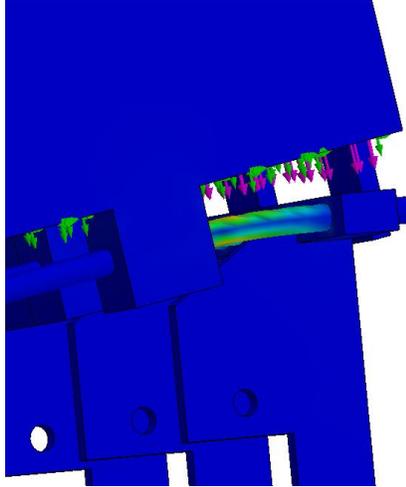


Figura 7-9. Simulación de los tubos guías del sistema de sujeción (Elaboración propia).

En la Tabla 7-6 se muestran los resultados de la simulación de los tubos guía, estos se encuentran bajo una carga de 3920 N distribuida en 6 tubos. Obteniendo una deformación máxima de 0.14 mm para el tubo guía.

Tabla 7-6. Resultados de la simulación del tubo guía del sistema de sujeción

Esfuerzo máximo	Deformación máxima del sistema	Factor de seguridad crítico
64.5 MPa	0.14 mm	4.92

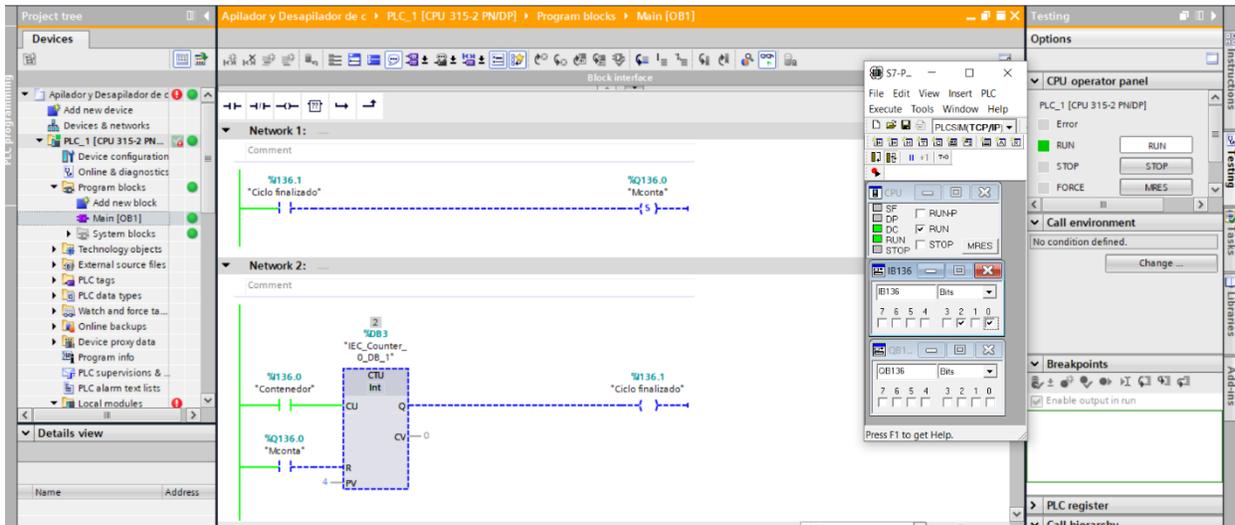
En la presente sección de resultados únicamente se presenta la simulación de los elementos de mayor grado de relevancia como fue la parte estructural y el contrapeso consolidando la movilidad del sistema en los diferentes ejes coordenados. Así como el sistema de sujeción por la criticidad que presenta este en el proyecto apilador y des apilador de contenedores automáticos.

## 7.2 Simulación del sistema de automatización

Para la simulación del sistema de automatización, se empleó el simulador S7-PLCSIM V16 el cual es asociado al software Tia portal. Como se mostró en la Tabla 6-12 la programación del sistema se encuentra subdividida en funciones.

Iniciando en este caso con la comunicación del sistema apilador y des apilador de contenedores con el volteador de contenedores. En la Figura 7-10 se denota un contador *CTU* el cual recibe los pulsos enviados por el volteador de contenedores. Se debe reiterar que este volteador de contenedores funciona únicamente con lógica cableada, por lo que se obtiene la señal de uno de los temporizadores del sistema.

La dirección asociada a la lectura del temporizador es *I136.0*.



*Figura 7-10 Simulación de la comunicación del volteador de contenedor con el sistema (Elaboración propia).*

Continuando con la simulación del sistema de automatización, en la Figura 7-11 se muestra la simulación del bloque de posición de origen. Este bloque es de suma importancia debido que es la referencia del sistema.

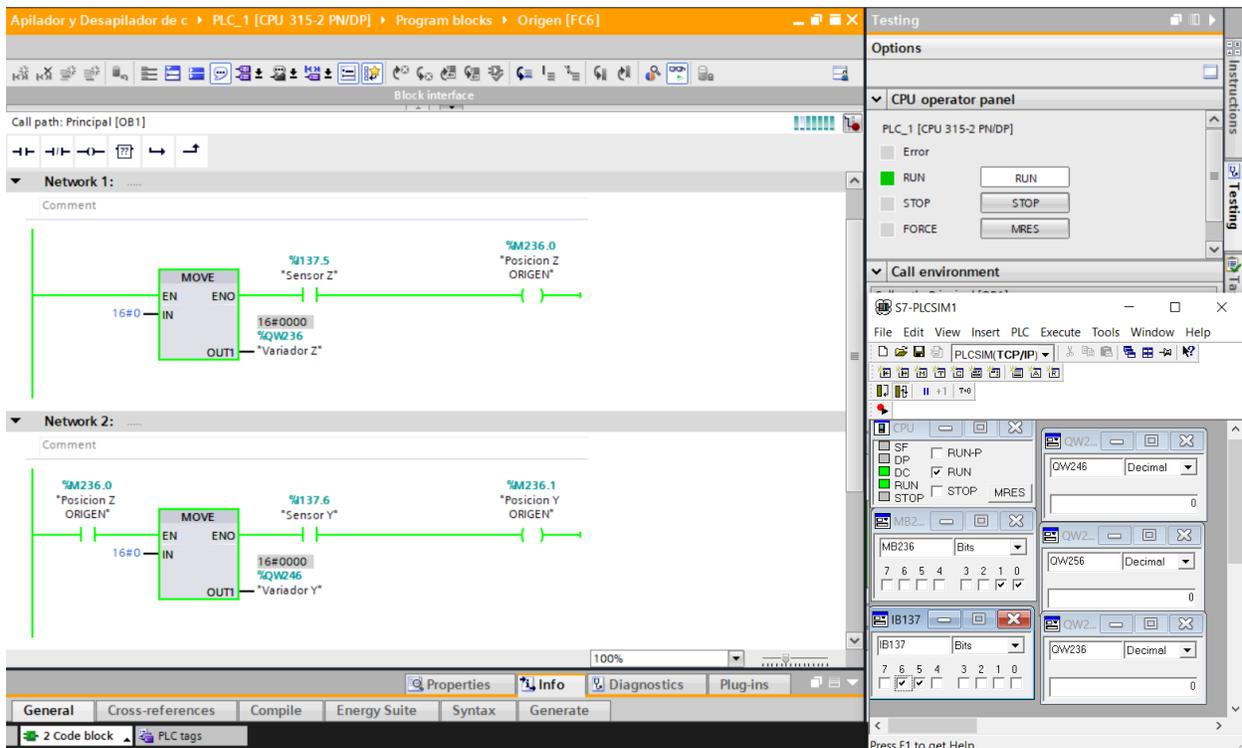


Figura 7-11. Simulación posición de origen (Elaboración propia).

En la Figura 6-19 se mostró el diagrama de bloques de la función posición de origen, donde cada eje coordinado presenta un sensor capacitivo asociado. En la Tabla 7-7 se muestra la designación de cada sensor a una dirección del PLC, así como los espacios de almacenamiento tipo *Words* asociado al PLC para la comunicación con el variador de frecuencia respectivo.

Tabla 7-7. Designación de direcciones bloque de posición de origen.

Dirección	Descripción
QW256	Instrucción del PLC de posición a variador eje coordinado "X".
QW246	Instrucción del PLC de posición a variador eje coordinado "Y".
QW236	Instrucción del PLC de posición a variador eje coordinado "Z".

M236.0	bits para guardar la confirmación de cada uno de los ejes coordenados, así como su confirmación global.
M236.1	
M236.2	
M236.3	
I137.5	Sensor capacitivo en eje coordenado "X".
I137.6	Sensor capacitivo en eje coordenado "Y".
I137.7	Sensor capacitivo en eje coordenado "Z".

Se prosigue con la simulación del movimiento en el sistema apilador y des apilador, en este caso se muestra únicamente el posicionamiento del eje coordenado "X" en la Figura 7-12. Este es una función llamada movimiento en "X", recibiendo un dato de clase entero el cual representa la posición a la que debe trasladarse el sistema.

Se envía un dato en formato hexadecimal al variador de frecuencia el cual representa una ubicación predeterminada, como se definieron anteriormente en la Figura 6-17. Se prosigue con la validación del sistema el cual envía la confirmación de haber llegado a la posición asignada dando como completada la función del bloque movimiento coordinado en "X".

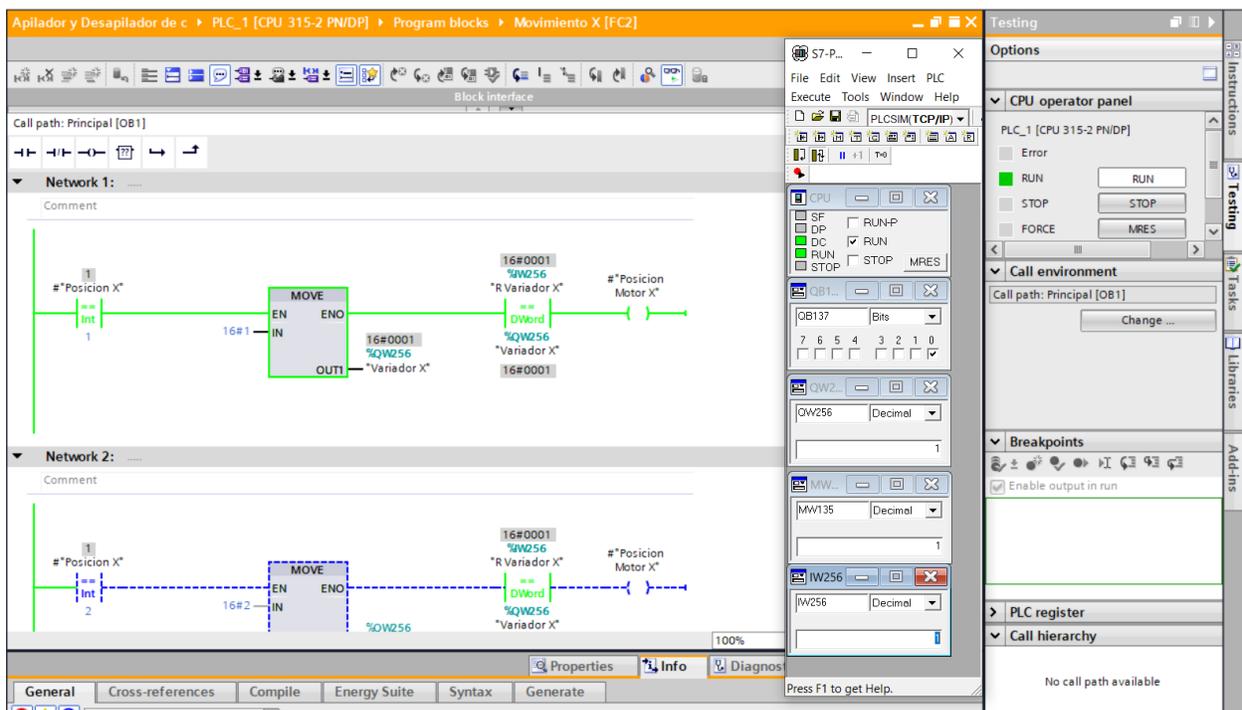


Figura 7-12 Simulación del bloque de movilidad en el eje coordenado X (Elaboración propia).

En la Figura 7-13 se muestra la simulación del bloque apilar, donde se demuestra el envío de las posiciones por parte del PLC en los ejes coordenados “X”, “Y” y “Z” en las direcciones QW256, QW246 y QW236 respectivamente. Así como su respectiva confirmación en las direcciones IW256, IW246 y IW236. Para la validación del bloque de apilar se realizó la secuencia completa para diferentes números de contenedores.

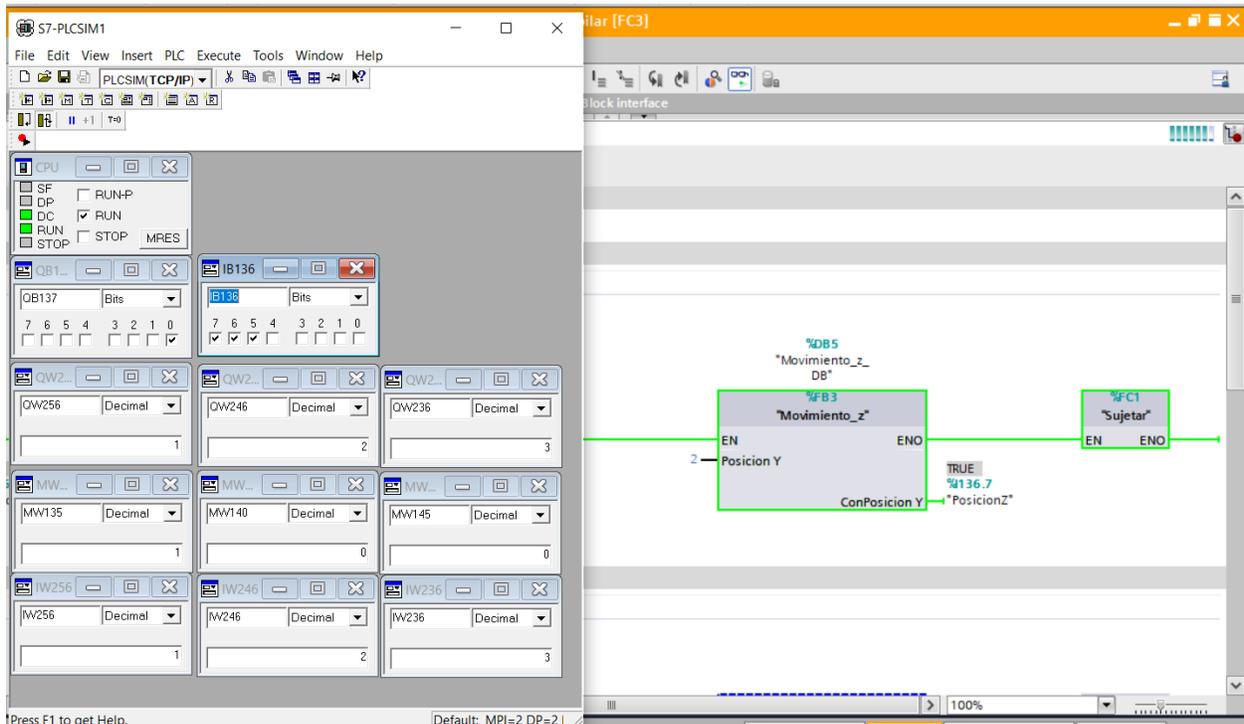


Figura 7-13. Simulación del bloque de apilar con posición correcta (Elaboración propia).

En la Tabla 7-8 se muestra la asignación de las diferentes variables empleadas en el bloque apilador, considerar que en caso de las variables QW su debida asignación se muestra en la Tabla 7-7.

En caso de la confirmación por hardware se realiza para brindarle mayor grado de confiabilidad al sistema, por lo cual tiene redundancia en la confirmación de la posición.

Tabla 7-8. Designación de variables en el bloque de apilar.

Dirección	Descripción
IW256	Confirmación de la posición del variador de frecuencia en el eje coordenado "X".
IW246	Confirmación de la posición del variador de frecuencia en el eje coordenado "Y".
IW236	Confirmación de la posición del variador de frecuencia en el eje coordenado "Z".
MW135	Cantidad de contenedores presente.
IB136.5	Confirmación de posición eje coordenado "X" por <i>hardware</i> .
IB136.6	Confirmación de posición eje coordenado "Y" por <i>hardware</i> .
IB136.7	Confirmación de posición eje coordenado "Z" por <i>hardware</i> .

En la Figura 7-25 se puede apreciar la simulación del bloque apilador, pero en este caso no se confirma la posición de llegada en el eje coordenado "X". De manera que, aunque se encuentren 4 contenedores, el sistema permanecerá en reposo. Este reposo será de cinco minutos razón por el cual el apilador se apagará de manera automática.

El sistema, al entrar en reposo, únicamente se apagará. Esto en respuesta al pedido del departamento de mantenimiento, el cual externó que el 90% de averías donde el equipo no termina el ciclo de funcionamiento se debe a problemas operacionales y no del funcionamiento de dicho equipo.

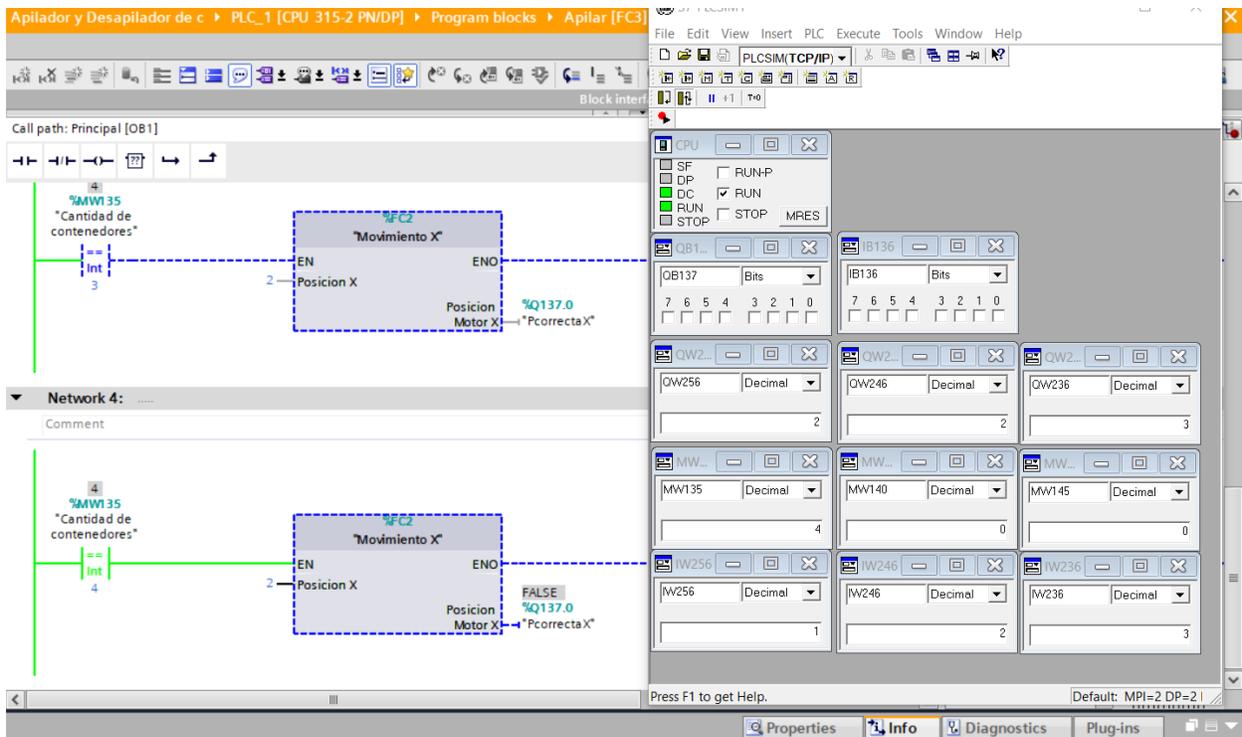


Figura 7-14 Simulación del bloque de apilar con posición incorrecta.

En el caso de la simulación del bloque des apilar, este se omite en el presente informe debido que es homologo al bloque apilar, la única diferencia es que tiene la secuencia invertida. Se debe aclarar al lector que se realizó su respectiva simulación.

Por último, se procede a validar la simulación del bloque de sujeción. En la Figura 7-15 se muestra el conjunto de variables utilizadas por dicho bloque, así como su respectiva prueba de funcionalidad. Inicialmente se comprueba que el sistema se encuentre en la posición correcta en los tres ejes coordenados, la activación de los sensores capacitivos ubicados en el sistema mecánico de sujeción y la activación de los actuadores lineales.

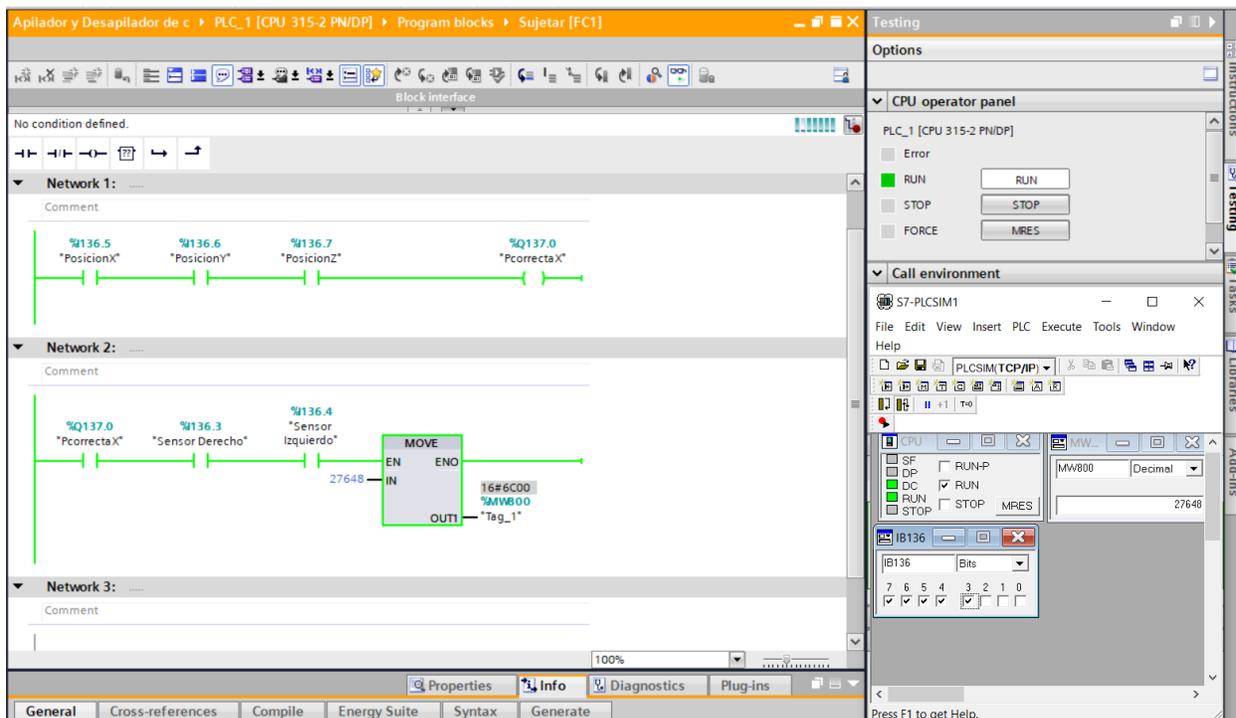


Figura 7-15. Simulación de bloque de sujeción.

En la Tabla 7-9 se muestra la designación de las variables empleadas para el bloque de sujeción, en caso de que alguna dirección no se encuentre el lector puede referenciar a la Tabla 7-8.

Tabla 7-9 Descripción de variables bloque de sujeción.

Dirección	Descripción
I136.3	Entrada del PLC activada por el sensor capacitivo 1 ubicado en el sistema de sujeción.
I136.4	Entrada del PLC activada por el sensor capacitivo 2 ubicado en el sistema de sujeción.
MW800	Activación de memoria que representa el actuador lineal presente en el sistema de sujeción.

Se debe mencionar que, en el presente informe, se omite la simulación del bloque denominado soltar el cual es inverso en funcionamiento al bloque denominado como sujetar. Con la distinción de que el bloque soltar presenta los contactos *I136.3* y *136.4* normalmente cerrados. Cabe aclarar que se realizó la simulación correspondiente al bloque de soltar y solo se omitió su presentación dentro del informe.

### **7.3 Comprobación conceptual mediante prototipo enfocado**

El prototipado es fundamental para la aprobación del presente proyecto, debido a que da una perspectiva tangible del sistema apilador y des apilador de contenedores. Especialmente para los miembros gerenciales que no se encuentran relacionados con aspectos ingenieriles, por lo tanto; una simulación no es tan atractiva.

Debido a la importancia de obtener un proyecto atractivo como consolidado en validación, se implementaron dos prototipos enfocados. El primer prototipo para validar el movimiento en los diferentes ejes coordenados y el segundo para validar la sujeción del sistema.

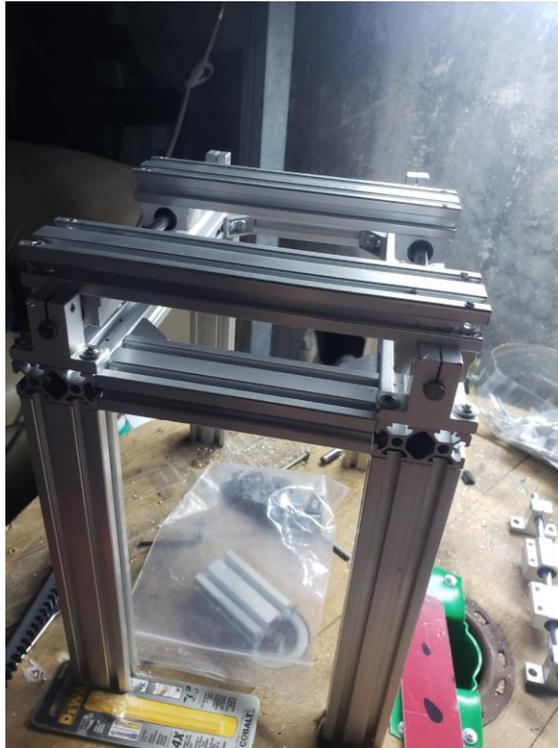
Para la construcción de ambos sistemas se apoyó en la manufactura aditiva, como es la impresión 3D. Así como se emplearon elementos estándares de prototipado, en este caso se utilizaron vigas *T-4020*, angulares *C-2020*, *Smooth Rod 8 mm*, entre otros elementos.

#### **7.3.1 Prototipo enfocado a la movilidad del sistema**

Para el prototipado enfocado a la movilidad, se construyó un sistema con geometría similar al sistema real. Pese a que el sistema no se encuentra en una escala permitida el sistema conserva la relación proporcional en medidas respecto a los diferentes ejes coordenados.

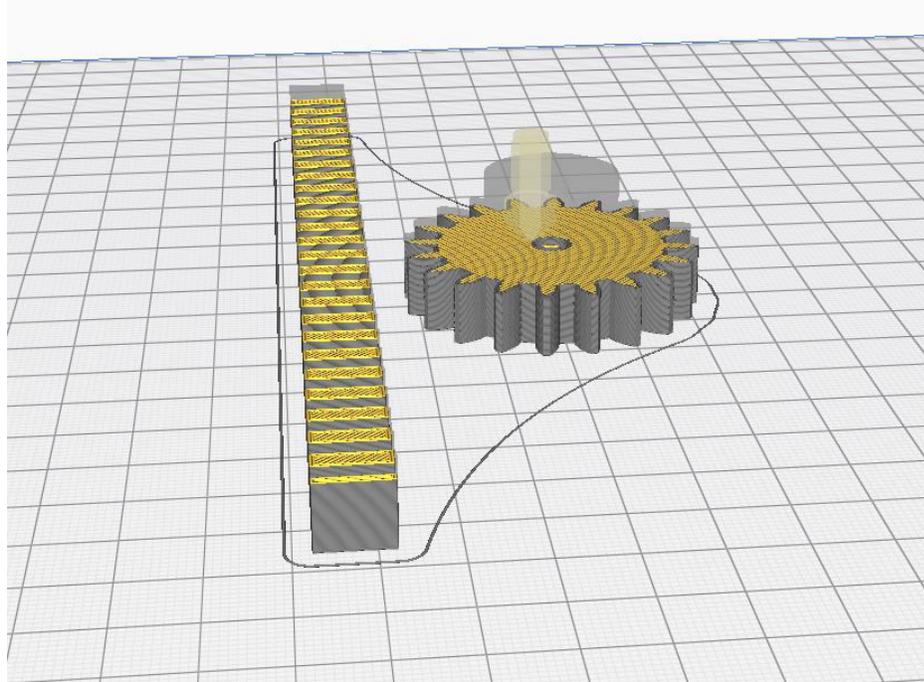
Para el presente prototipo se utilizaron motores a pasos, los cuales presentan las características necesarias del sistema como es el torque y la precisión de movimiento. Estos se asemejan al conjunto motor, caja reductora y variador de frecuencia presente en el proyecto a escala real.

En la Figura 7-16 se aprecia una de las etapas de construcción estructural del prototipo físico enfocado a la movilidad del sistema; donde se observan las columnas, las vigas que permiten la movilidad en el eje coordenado “X” así como el movimiento lineal mediante guías lineales de plataforma.



*Figura 7-16. Estructura de prototipado enfocado a la movilidad del sistema (Elaboración propia).*

De la misma manera que el proyecto a escala real, se utilizan cremalleras con piñones con la finalidad de transformar el movimiento rotacional de los motores en movimiento traslacional. Ambos elementos se elaboraron mediante la manufactura aditiva, en la Figura 7-17 se muestra cómo se desarrollaron los piñones y las cremalleras mediante el software *Curamaker*, de la misma manera se obtienen el resto de los elementos necesarios para el prototipo.



*Figura 7-17. Simulación de la impresión 3D de la cremallera y el piñón (Elaboración propia).*

Como se denota en la Figura 7-18, se obtiene de una manera física el sistema de transmisión de potencia para el presente prototipo en el cual se está comprobando el engranaje correcto entre la cremallera y el piñón. Obteniendo la validación del ángulo de presión, el diámetro primitivo, cresta y el flanco tanto para el piñón como para la cremallera.



*Figura 7-18. Comprobación de la funcionalidad del engranaje entre la cremallera y el piñón (Elaboración propia).*

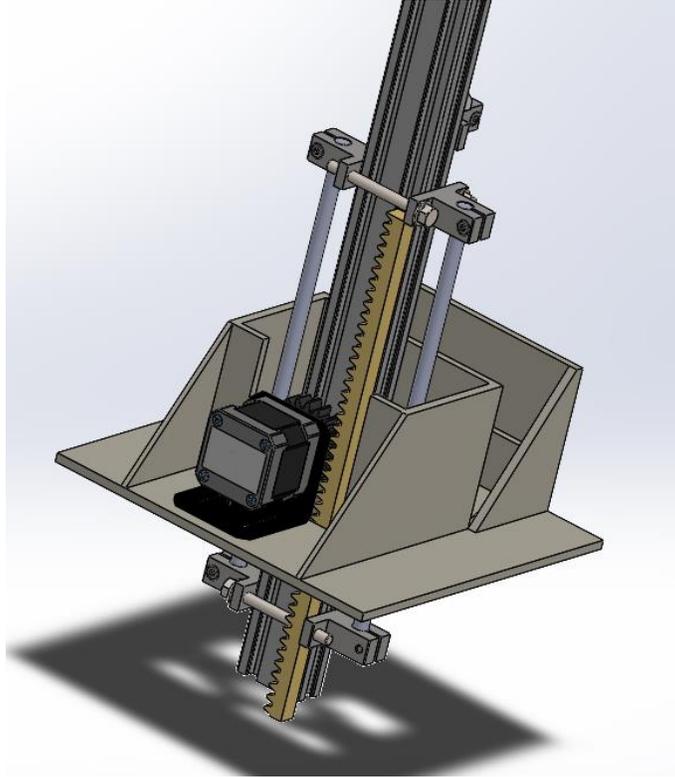
Al obtener la estructura del sistema, el cual permite el movimiento en los ejes coordenados "X" y "Y", así como su respectivo sistema de transmisión de potencia. Se procede con el diseño e implementación del mecanismo que permite la movilidad del eje coordenado en "Z".

En la Figura 7-19 se muestra el mecanismo que permite la movilidad del eje coordenado en "Z", el cual es homólogo al mecanismo del sistema real. A diferencia de los ejes coordenado "X" y "Y" este presenta de manera estática las guías lineales de plataforma y el movimiento se realiza por parte de la estructura.



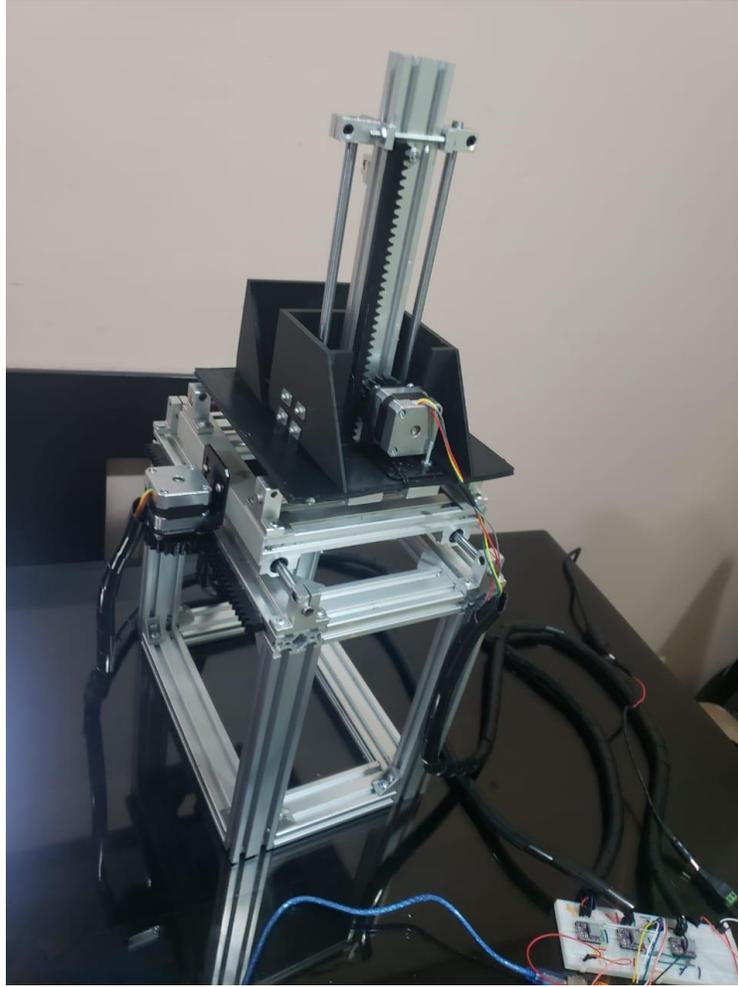
*Figura 7-19. Mecanismo de movimiento eje coordenado "Z" (Elaboración propia).*

En la Figura 7-20 se denota la parte superior del prototipo enfocado a la movilidad, en el cual se observa tanto la colocación del el mecanismo que permite la movilidad del eje coordenado en "Z" mostrado en la Figura 7-19; así como la cremallera y el piñón mostrado en la Figura 7-18. Se realiza de esta forma para darle al lector una perspectiva de cómo la simulación se asocia con los elementos tangibles.



*Figura 7-20. Dibujo del área superior del prototipo enfocado a la movilidad (Elaboración propia).*

Por último, se obtiene el prototipo físico enfocado a la movilización terminado como se aprecia en la Figura 7-21. El cual presenta la movilidad en los tres ejes coordenados mediante el uso de cremalleras, la ubicación de cada motor asociado a un eje coordenado y su respectivo sistema de control.



*Figura 7-21 Prototipo enfocado a la movilidad finalizado (Elaboración propia).*

Al presente prototipo se le realizaron un conjunto de pruebas para validar su funcionamiento, en este caso se realizaron cinco pruebas con sesenta secuencias asociadas a cada una. El número cinco se seleccionó para darle reproducibilidad al prototipo, se reitera que este cinco representa las horas en las cuales el sistema funciona a un 100% debido que se encuentra con el personal completo. En el caso de la cantidad de sesenta secuencias es para darle la repetitividad al prototipo, aclarando que 60 representa el flujo neto productivo por hora.

Tabla 7-10. Pruebas en el prototipado enfocado a la movilidad.

Prueba	Cantidad	Comentario
1	60	Vibraciones en el eje coordinado Z en la subida.
2	60	Funcionamiento adecuado, no se presentaron eventualidades.
3	60	Sección con mayor fricción en el eje coordinado X.
4	60	Funcionamiento adecuado, no se presentaron eventualidades.
5	60	Funcionamiento adecuado, no se presentaron eventualidades.

Como se aprecia en la Tabla 7-10 se realizaron las pruebas correspondientes al prototipo, se observan problemas en la prueba 1 y 3.

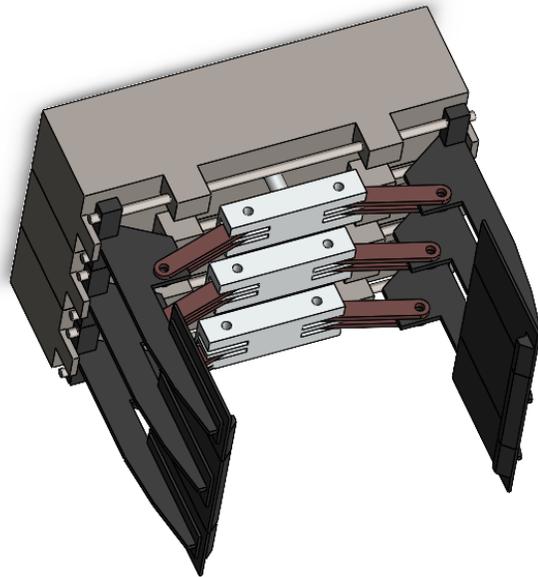
En el caso de la prueba 1, se trató de que una de las guías lineales de plataforma perdió perpendicularidad respecto a la base del sistema, ocasionando un desajuste y como consecuencia una vibración.

En la prueba 3, esto se debe a un reajuste en la carga de los tornillos de soporte del eje, ocasionando una deformación en el elemento y esto un desajuste en las tolerancias dimensionales del sistema.

### 7.3.2 Prototipo enfocado del sistema de sujeción

En la presente sección se realiza implementación del prototipo enfocado del sistema de sujeción, el cual se realizó a escala, teniendo una relación de 1:60.

En la Figura 7-22 se muestra el diseño del sistema de sujeción del proyecto, para la elaboración del prototipado físico enfocado de sujeción se emplea únicamente el proceso de manufactura aditivo así como el uso de varilla deformable lisa.



*Figura 7-22 Sistema sujeción del sistema (Elaboración propia).*

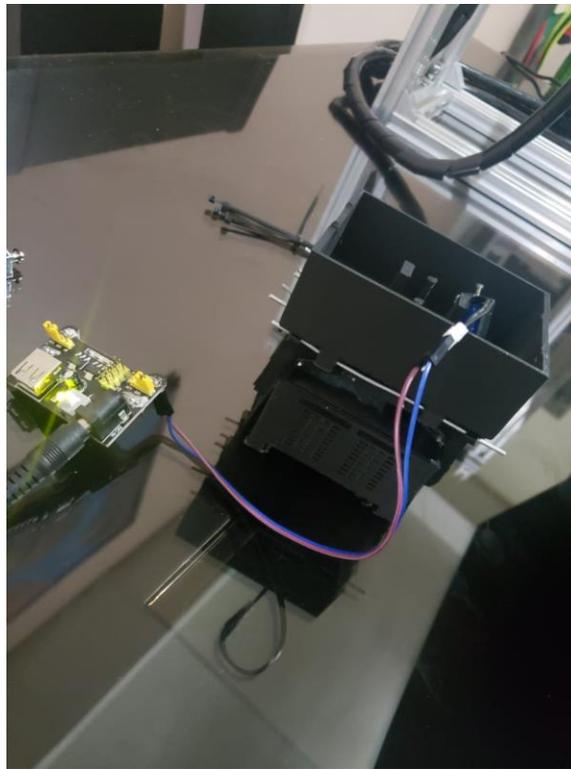
Además de realizar el movimiento de sujetar y soltar, el sistema debe ser capaz de poder realizar la función de sujetar y soltar con un contenedor. Por lo tanto, se realiza la impresión en 3D de un contenedor con la finalidad de validar el sistema de manera adecuada.

En la Figura 7-23 se muestra el prototipo físico enfocado de sujeción ensamblado, y a la par el contenedor de prueba. Para las pruebas de este se utilizan 2 solenoides de 5 V, los cuales hacen la función equivalente a los actuadores lineales eléctricos en el proyecto.



*Figura 7-23. Ensamblaje de prototipo enfocado de sujeción.*

Para la validación de las pruebas se realizaron de la misma manera cinco pruebas con sesenta secuencias asociadas. En la Figura 7-24 se muestra donde se están realizando las primeras pruebas al prototipo enfocado de sujeción.



*Figura 7-24. Validación del funcionamiento del prototipo enfocado de sujeción (Elaboración propia).*

En la Tabla 7-11 se denota un resumen de las pruebas realizadas al prototipo físico enfocado de sujeción, dando problemas considerables en la prueba 1 y 5.

En el caso de la prueba uno, esto se debió a un pasador que no contaba con seguro. El problema se resuelve de manera sencilla colocando el seguro del pasador. Por último, en la prueba cinco, se presenta un desalineamiento en uno de las solenoides consecuente con que el sistema realizó su función de manera inadecuada en seis ocasiones. A pesar de esto, se tiene una funcionabilidad aceptable mayor al 90%.

*Tabla 7-11. Resumen de los resultados de la validación del prototipo enfocado a la sujeción.*

Prueba	Cantidad	Comentario
1	60	Guía lineal 3 se desprende 4 veces la articulación derecha 2.
2	60	Funcionamiento adecuado, no se

		presentaron eventualidades.
3	60	Funcionamiento adecuado, no se presentaron eventualidades.
4	60	Funcionamiento adecuado, no se presentaron eventualidades.
5	60	El sistema suelta el contenedor en 6 ocasiones.

#### 7.4 Plan de Mantenimiento Preventivo

La organización cuenta con un plan de mantenimiento preventivo para la línea de aséptico de banano. El cual se encuentra subdivido en equipos, así como cada equipo cuenta con la subdivisión de tareas en áreas como son: el área eléctrica, mecánica y de refrigeración. Cada área tiene un supervisor de mantenimiento asociado, en el caso del área eléctrica se asocia a Carlos Valencia, el área mecánica al supervisor Danny Ponguillo y el área de refrigeración al supervisor Jonathan Guerrero.

Este plan de mantenimiento preventivo se realiza en una plantilla de Excel, la cual es un diagrama de Gantt con las 52 semanas del año, así como la frecuencia de intervención por equipo. En la Figura 7-25 se muestra una sección del plan de mantenimiento preventivo. Se debe aclarar que este plan de mantenimiento es tentativo y estará sujeto a cambios a la hora de su operación, lo que fueron las tareas y sus respectivas frecuencias fueron seleccionadas con la colaboración de cada supervisor de área.

En caso de que el lector quiera entrar en mayor detalle respecto el plan de mantenimiento preventivo para el sistema apilador y des apilador de contenedores automático el hipervínculo del archivo se encuentra en el Apéndice A.4



Al implementar el proyecto se tendrá el beneficio de omitir los servicios de un operador de montacarga, como del mismo montacarga en el área de volteo y la disminución de tiempos perdidos.

El salario anual más las garantías sociales del operador de montacarga se estima en \$8100.

En el caso del vehículo montacarga, el cual presenta un costo inicial de \$25000, debido a un manejo inadecuado del mantenimiento preventivo por parte del área mecánica automotriz, actualmente se está invirtiendo un 30% del costo inicial solo para el mantenimiento anual de cada montacarga. Es decir, un estimado de \$7500 es el costo anual de mantenimiento por montacarga.

Brindando un criterio conservador, se estima que el sistema apilador reducirá el tiempo de espera en una hora semanal. En una hora semanal se procesan aproximadamente diez toneladas, teniendo un aprovechamiento de cuarenta toneladas mensuales. Obteniendo una estimado de \$96000 de aumento de utilidades anuales.

Se debe agregar el costo de mantenimiento anual del apilador y des apilador de contenedores automático, está será de 10% del valor total del sistema, es decir de \$3950 anuales.

En la Tabla 7-13 se muestra el flujo neto de la inversión al implementar el sistema apilador y des apilador con un periodo de cinco años.

*Tabla 7-13. Flujo de caja sistema apilador y des apilador de contenedores.*

<b>Año</b>	<b>Flujo de Caja (\$)</b>
0	-39500
1	107 650
2	107 650
3	107 650
4	107 650

Los indicadores financieros presentan un umbral para determinar si una inversión es aceptable o inaceptable. En caso de los indicadores VAN y el ROI estos deben ser

mayor a cero y en caso del TIR debe ser mayor a la tasa de descuento. El contador general de la empresa designó una tasa de descuento del 10% para la inversión.

En la Tabla 7-14 se muestran los resultados obtenidos de los indicadores financieros del proyecto apilador y des apilador de contenedores automático. Se aprecia que el proyecto cumple con las características de una inversión aceptable.

*Tabla 7-14. Indicadores financieros del proyecto.*

<b>Indicador</b>	<b>Valor</b>	<b>Umbral</b>	<b>Aceptable</b>
VAN	\$274,305.47	>0	Si
TIR	271%	>10%	Si
ROI	\$1.72	>0	Si

## Capítulo 8. Conclusiones y Recomendaciones

### 8.1 Conclusiones

1. Se concluye de manera exitosa el diseño del sistema mecánico del apilador y des apilador de contenedores el cual presenta tres grados de libertad y permite movilizar una carga de 340 kg en un espacio de trabajo de 7 metros de largo, 5 metros de ancho y 8 metros de alto.
2. Se finaliza de manera exitosa el diseño de un sistema automático del apilador y des apilador de contenedores, el cual presenta la funcionalidad autónoma de des apilar y apilar contenedores, generando un flujo constante productivo en la línea de aséptico de banano.
3. Se valida de manera exitosa el sistema mecánico del apilador y des apilador de contenedores, mediante la simulación se obtuvieron los esfuerzos y deformaciones presentes en los diferentes elementos, obteniendo valores mayores 2,25 en caso de los factores de seguridad y valores menores 10 mm en caso de las deformaciones como se especificó previamente en los requerimientos del proyecto.
4. Se obtiene la validación adecuada para el sistema automático del apilador y des apilador de contenedores, obteniendo un 97% en la funcionabilidad en los bloques del programa así como su comunicación con dispositivos periféricos.
5. Se valida la movilidad del sistema y la sujeción de este mediante dos prototipos físicos enfocados los cuales se culminan con un grado mayor al 90% de funcionalidad tanto para la movilidad como para sujeción.

## 8.2 Recomendaciones

1. Se recomienda al departamento de mantenimiento de la organización *Frutilight*, validar la frecuencia de las revisiones del plan de mantenimiento preventivo para el apilador y des apilador de contenedores automático, así como agregar revisiones en caso de ser necesario.
2. Adquirir la extensión del paquete *Startdrive Advance* para el software de *TIA Portal*, el cual permitirá simular el funcionamiento de los variadores de frecuencia y así obtener una herramienta de validación para futuros proyectos en la organización.
3. En el caso del sistema apilador y des apilador de contenedores, se recomienda un futuro rediseño del sistema de sujeción de contenedores con el fin de que este presente movilidad rotaria y agregar la funcionalidad de volteador de contenedores al sistema, debido a que el presente volteador de la organización está en fase terminal de su vida útil.
4. En el diseño asistido por computadora, se recomienda el uso de subensambles con la finalidad de disminución del coste computacional, durante el proceso de diseño, así como en la simulación del sistema.

## Capítulo 9. Referencias Bibliográficas

- [1] T Karl and Steven D Eppinger Ulrich. Diseño Y Desarrollo de Productos. McGraw-Hill Interamericana, 2013.
- [2] Richard G Budynas and J Keith Nisbett. Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, volume 6. McGraw-Hill Interamericana, 2012.
- [3] T. Optimized, "Rodamientos lineales y otros productos de rodamiento lineal", *Thomsonlinear.com*, 2020. [en línea]. Disponible: <https://www.thomsonlinear.com/es/productos/rodamientos-lineales/acerca-de-rodamientos-lineales>. [Accesado: 21 Septiembre 2020].
- [4] Robert L Mott. Diseño de Elementos de Maquinas-Con 1 CD. Pearson educación, 2006.
- [5] A. Morera, *Libro Automatismo 2019*, 3rd ed. Cartago: Editorial Tecnológico de Costa Rica, 2020.
- [6] Lubricants, S., 2020. *The 3 Tiers Of Food Grade Lubrication - H1, H2, H3 - SCL*. [en línea] SCL. Disponible en: <https://www.sclubricants.com/food-grade-lubrication> [Accesado 12 Septiembre 2020].
- [7] Yupangui Tenesaca and Marlon Geovanny. Métodos utilizados para evitar el pardeamiento enzimático y no enzimático en el puré de banano en la industria alimenticia. Machala: Universidad Técnica de Machala, 2016.
- [8] H. Leiva and F. Barbosa, "Procedimiento en la línea aséptica de Banano", *Procedimiento Frutilight S.A*, vol. 1, no. 4, pp. 7-17, 2015. [Accesado 10 Junio 2020].

- [9] International, N., 2020. *NSF International Protects And Improves Global Human Health. Manufacturers*. [en línea] The NSF Organization. Disponible en: <<https://www.nsf.org/>> [Accesado 16 Septiembre 2020].
- [10] "¿Qué es la norma FSSC 22000? | NQA", Nqa.com, 2020. [en línea]. Disponible en: <https://www.nqa.com/es-es/certification/standards/fssc-22000>. [Accesado: 01 Octubre 2020].
- [11] Industry, A., 2020. *Qué Es Un Variador De Frecuencia | ABB*. [en línea] New.abb.com. Disponible en: <https://new.abb.com/drives/es/que-es-un-variador>. [Accesada 16 Octubre 2020].
- [12] Actuadores, L., 2020. *Actuadores Lineales Eléctricos Para Un Ajuste Suave, Inteligente Y Potente*. [en línea] Linak-latinamerica.com. Disponible en: <<https://www.linak-latinamerica.com/productos/actuadores-lineales/>> [Accesada 4 Septiembre 2020].
- [13] Alejandro Sebastián Narváez. Estimación de la velocidad y aceleración de un servomotor a partir de las medidas de un encoder incremental. PhD thesis, 2019
- [14] Sensors, R., 2020. *Kapazitiver Sensor: Aufbau Und Funktionsweise*. [en línea] Rechner Sensors. Disponible en: <https://www.rechner-sensors.com/es/documentacion/knowledge/sensor-capacitivo> [Accesado 8 Septiembre 2020].
- [15] R. Innovation, "Rochin – Post-Harvest Innovation", *Industriasrochin.com*, 2020. [en línea]. Disponible en: <https://industriasrochin.com/en/>. [Accesada: 02 Agosto 2020].

- [16] S. Industry, "Alimentación - sienz", *sienz*, 2020. [en línea]. Disponible en: <http://www.sienz.com/servicios/equipos/alimentacion/>. [Accesado: 02 Agosto 2020].
- [17] L. Solution, "LTWSolution for MIVOR - LTW Intralogistics GmbH", *Ltwusa.com*, 2020. [en línea]. Disponible en: <https://ltwusa.com/index.php/en/mivor.html>. [Accesada: 08 Agosto 2020].
- [18] A. CR, "ArcelorMittal Costa Rica :: Productos Estructurales :: Vigas WF", *Costarica.arcelormittal.com*, 2020. [Online]. Disponible en: <https://costarica.arcelormittal.com/vigas-wf>. [Accesada: 16 Septiembre 2020].

## Capítulo 10. Apéndices

### Apéndice A.1

Hoja de información:

- Información del Estudiante:

Nombre: Luis Elizondo Pérez

Cédula: 7-0255-0352

Carné ITCR: 2015049449

Lugar de Residencia: Pococí, Limón

Correo electrónico: lelizondoperez@gmail.com

- Información del Proyecto:

Nombre del Proyecto: Diseño de un apilador y des apiladores de contenedores automático.

Profesor Asesor: Ing. Ana María Murillo Morgan

Nombre de la Empresa: Frutilight S.A.

Actividad principal: Venta de puree de banano.

Dirección: Siquirres, Limón

Teléfono: +506 2768-0400

Asesor de la Empresa: Ing. Hugo Leiva Araya

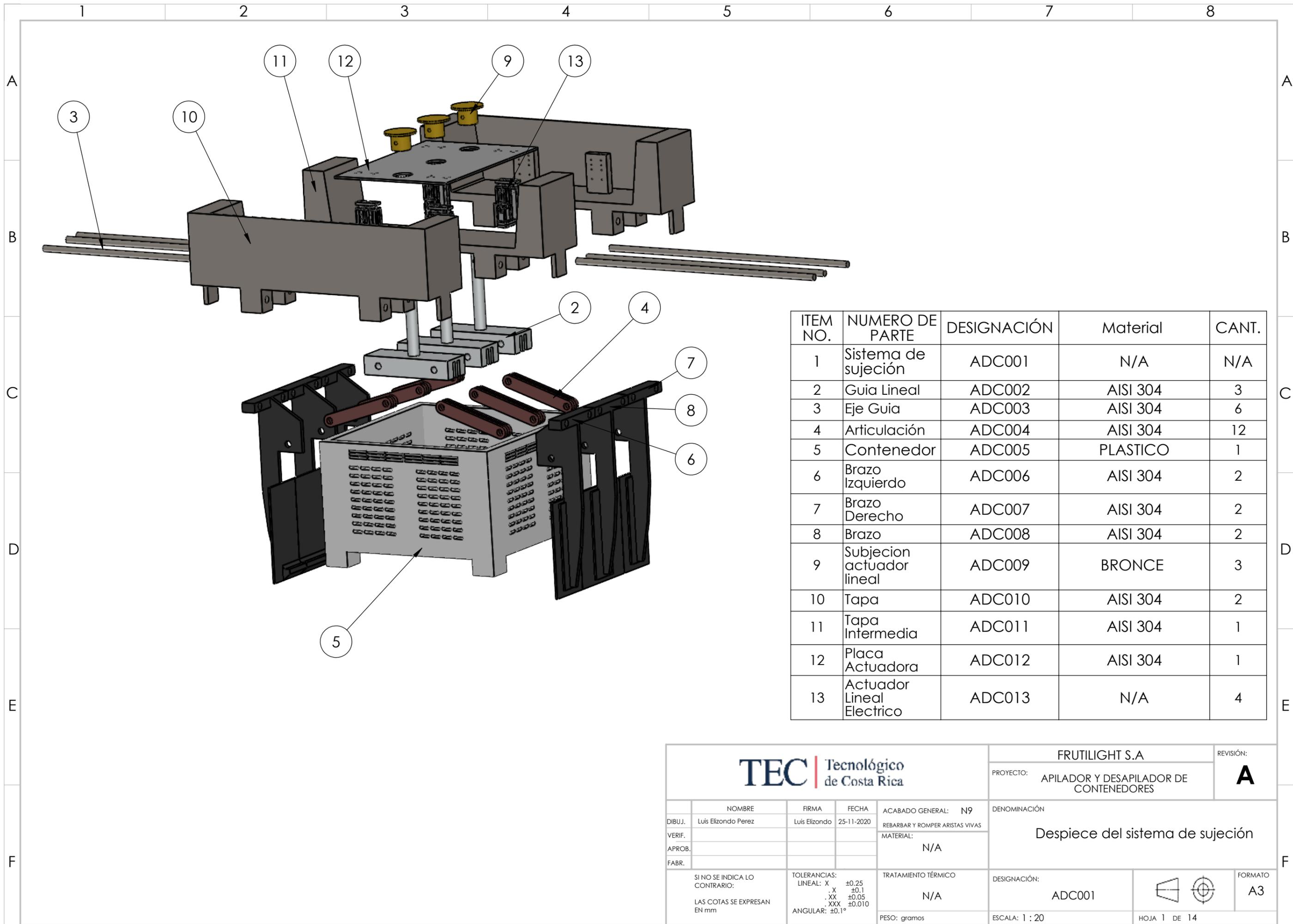
## Apéndice A.2

El diagrama de automatización se muestra en el siguiente hipervínculo:

<https://drive.google.com/file/d/1dB4ZKfz1atv5DYVdVCz6YyXIzUDQ1dSX/view?usp=sharing>

### **Apéndice A.3**

A continuación se muestran los planos mecánicos:



ITEM NO.	NUMERO DE PARTE	DESIGNACIÓN	Material	CANT.
1	Sistema de sujeción	ADC001	N/A	N/A
2	Guía Lineal	ADC002	AISI 304	3
3	Eje Guía	ADC003	AISI 304	6
4	Articulación	ADC004	AISI 304	12
5	Contenedor	ADC005	PLASTICO	1
6	Brazo Izquierdo	ADC006	AISI 304	2
7	Brazo Derecho	ADC007	AISI 304	2
8	Brazo	ADC008	AISI 304	2
9	Subjecion actuador lineal	ADC009	BRONCE	3
10	Tapa	ADC010	AISI 304	2
11	Tapa Intermedia	ADC011	AISI 304	1
12	Placa Actuadora	ADC012	AISI 304	1
13	Actuador Lineal Electrico	ADC013	N/A	4

				FRUTILIGHT S.A		REVISIÓN:
				PROYECTO: APILADOR Y DESAPILADOR DE CONTENEDORES		<b>A</b>
NOMBRE: Luis Elizondo Perez    FIRMA: Luis Elizondo    FECHA: 25-11-2020 DIBUJ.    VERIF.    APROB.    FABR.				ACABADO GENERAL: N9		DENOMINACIÓN: Despiece del sistema de sujeción
				REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		
				MATERIAL: N/A		DESIGNACIÓN: ADC001 
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN mm				TOLERANCIAS: LINEAL: X ±0.25 .X ±0.1 .XX ±0.05 .XXX ±0.010 ANGULAR: ±0.1°		
				TRATAMIENTO TÉRMICO: N/A		ESCALA: 1 : 20
				PESO: gramos		HOJA 1 DE 14

4

3

2

1

F

F

E

E

D

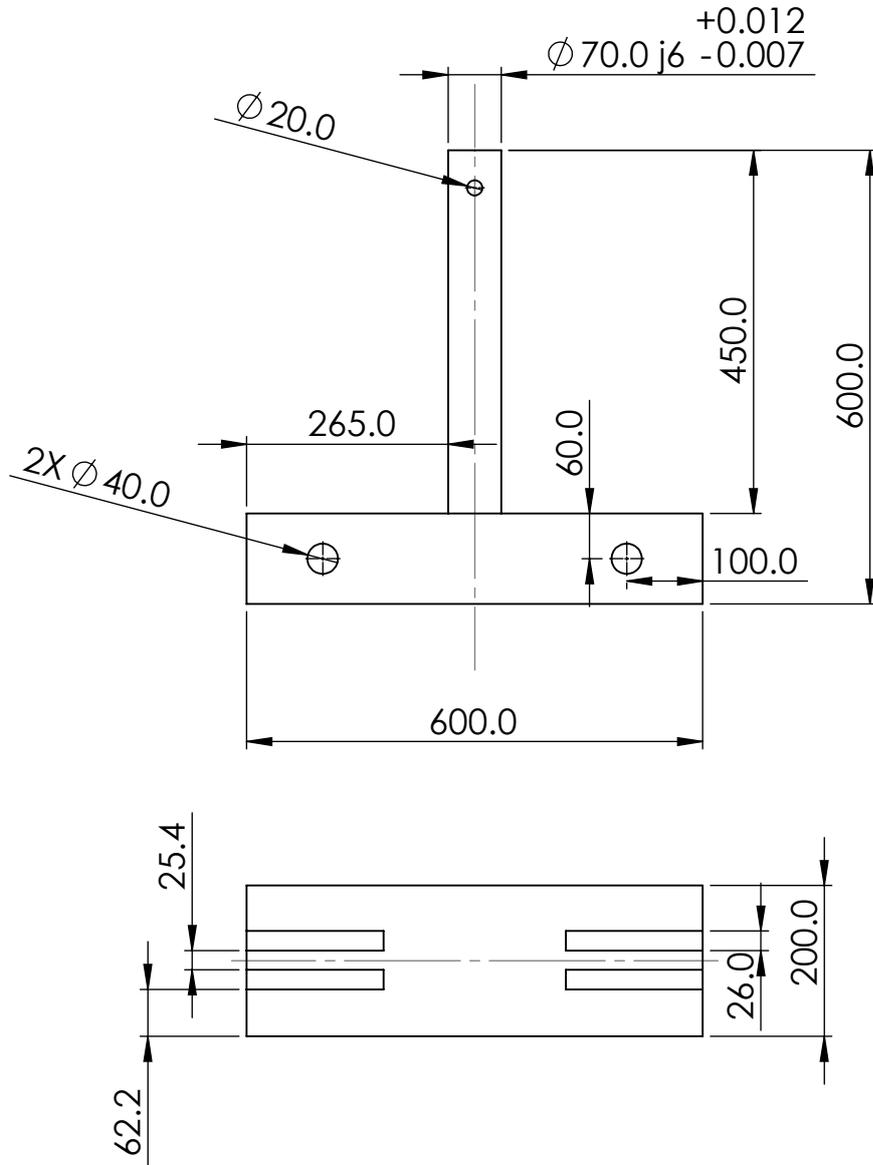
D

C

C

B

B



**TEC** | Tecnológico de Costa Rica

FRUTILIGHT S.A

REVISIÓN:

PROYECTO: APILADOR Y DESAPILADOR DE CONTENEDORES

**A**

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	Luis Elizondo Pérez	Luis Elizondo	25-11-2020
VERIF.			
APROB.			
FABR.			

ACABADO GENERAL: N9  
REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS

DENOMINACIÓN  
Guia Lineal de Sistema de Sujeción

MATERIAL:  
AISI 304

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:  
LAS COTAS SE EXPRESAN EN mm

TOLERANCIAS:  
LINEAL: X  $\pm 0.25$   
.X  $\pm 0.1$   
.XX  $\pm 0.05$   
.XXX  $\pm 0.010$   
ANGULAR:  $\pm 0.1^\circ$

TRATAMIENTO TÉRMICO  
N/A

DESIGNACIÓN:  
ADC002



FORMATO  
A4

PESO: gramos

ESCALA: 1:10

HOJA 2 DE 14

4

3

2

1

F

F

E

E

D

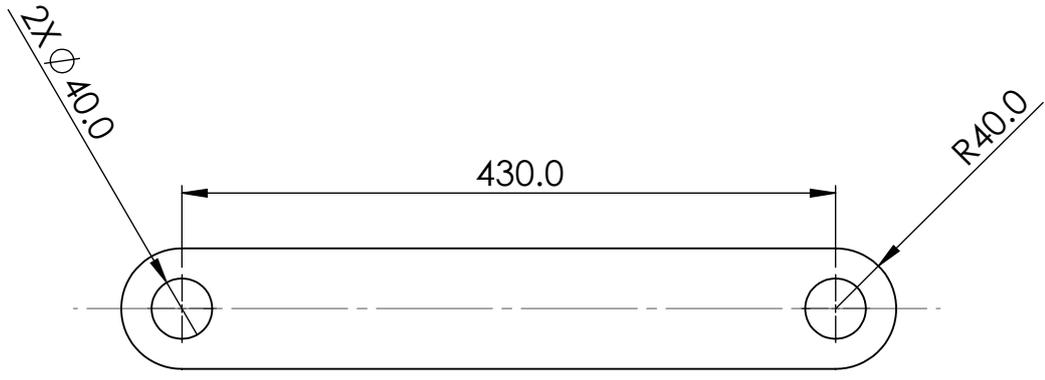
D

C

C

B

B



**TEC** | Tecnológico de Costa Rica

FRUTILIGHT S.A

REVISIÓN:

PROYECTO: APILADOR Y DESAPILADOR DE CONTENEDORES

**A**

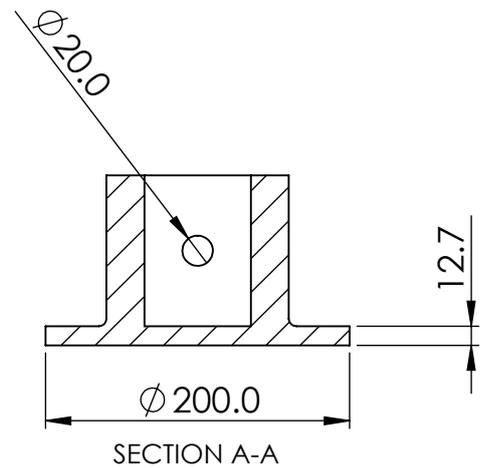
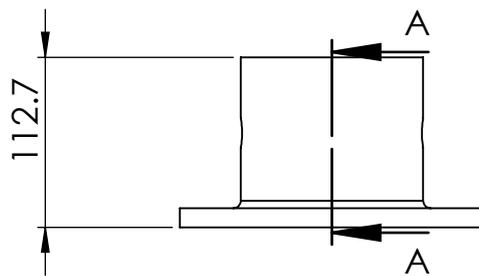
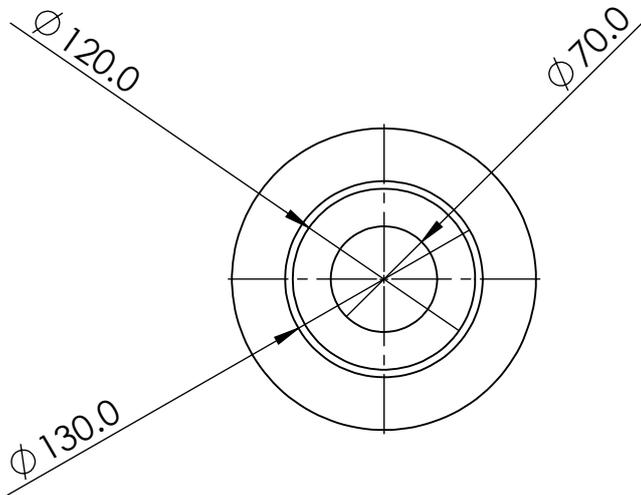
	NOMBRE	FIRMA	FECHA	ACABADO GENERAL: N9
DIBUJ.	Luis Elizondo Pérez	Luis Elizondo	25-11-2020	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS
VERIF.				MATERIAL:
APROB.				<b>AISI 304</b>
FABR.				

DENOMINACIÓN	<b>Articulacion de Sistema de Sujeción</b>	
DESIGNACIÓN:	<b>ADC004</b>	FORMATO <b>A4</b>

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN mm	TOLERANCIAS: LINEAL: X ±0.25 .X ±0.1 .XX ±0.05 .XXX ±0.010 ANGULAR: ±0.1°	TRATAMIENTO TÉRMICO <b>N/A</b>
	PESO: gramos	ESCALA: 1:5



HOJA 3 DE 14



**TEC** | Tecnológico de Costa Rica

FRUTILIGHT S.A

REVISIÓN:

PROYECTO: APILADOR Y DESAPILADOR DE CONTENEDORES

**A**

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	Luis Elizondo Pérez	Luis Elizondo	25-11-2020
VERIF.			
APROB.			
FABR.			

ACABADO GENERAL: N9  
REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS

MATERIAL:  
**Bronce**

DENOMINACIÓN  
**Sujeción de Guia Lineal del Sistema de Sujeción**

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:  
LAS COTAS SE EXPRESAN EN mm

TOLERANCIAS:  
LINEAL: X  $\pm 0.25$   
.X  $\pm 0.1$   
.XX  $\pm 0.05$   
.XXX  $\pm 0.010$   
ANGULAR:  $\pm 0.1^\circ$

TRATAMIENTO TÉRMICO  
**N/A**

PESO: gramos

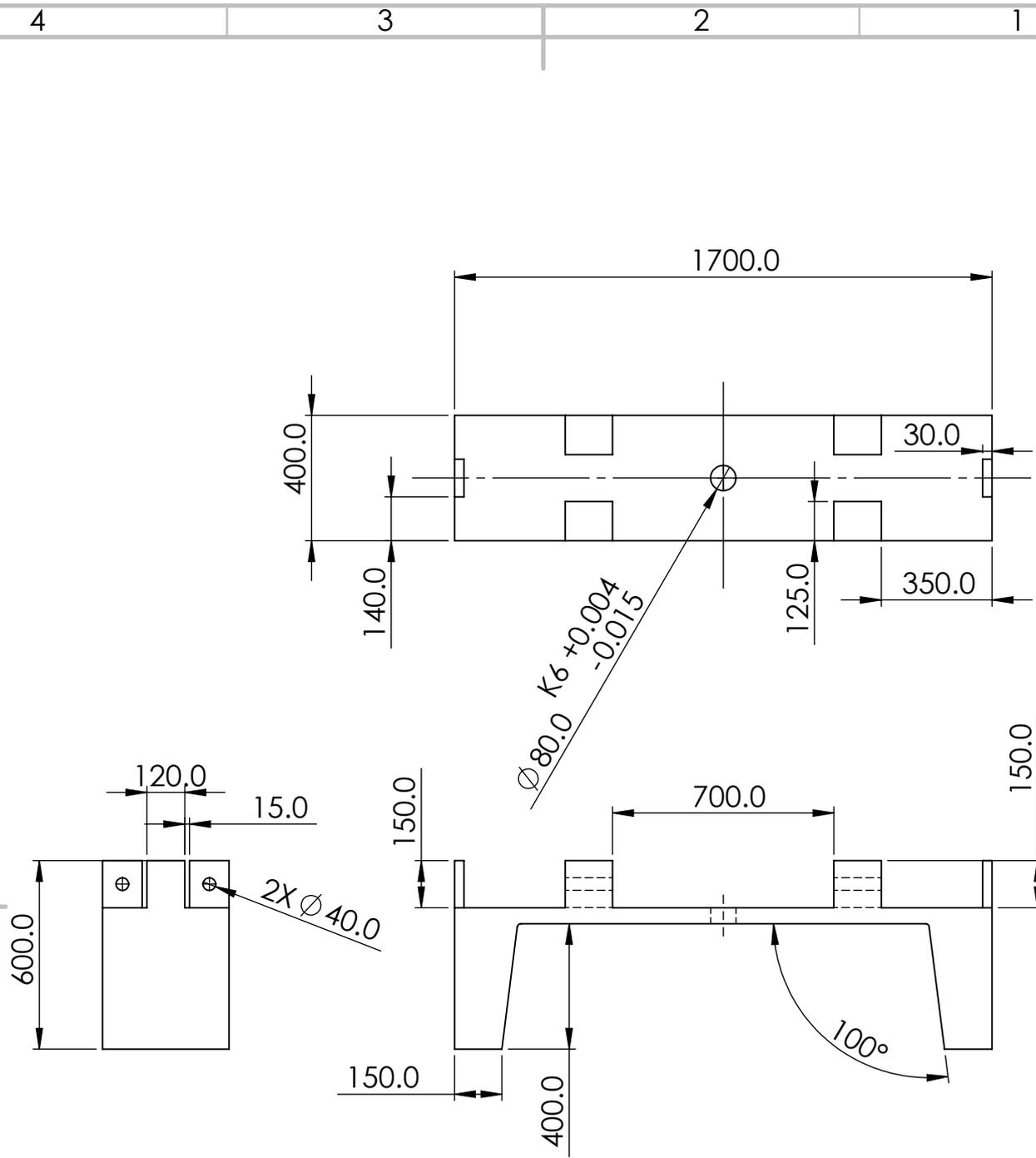
DESIGNACIÓN:  
**ADC009**



FORMATO  
**A4**

ESCALA: 1:5

HOJA 4 DE 14



**TEC** | Tecnológico de Costa Rica

FRUTILIGHT S.A

REVISIÓN:

PROYECTO: APILADOR Y DESAPILADOR DE CONTENEDORES

**A**

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	Luis Elizondo Pérez	Luis Elizondo	25-11-2020
VERIF.			
APROB.			
FABR.			

ACABADO GENERAL: N9  
REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS

DENOMINACIÓN  
Tapa de Sistema de Sujeción

MATERIAL:  
**AISI 304**

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:  
LAS COTAS SE EXPRESAN EN mm

TOLERANCIAS:  
LINEAL: X ±0.25  
.X ±0.1  
.XX ±0.05  
.XXX ±0.010  
ANGULAR: ±0.1°

TRATAMIENTO TÉRMICO  
**N/A**

DESIGNACIÓN:  
**ADC011**

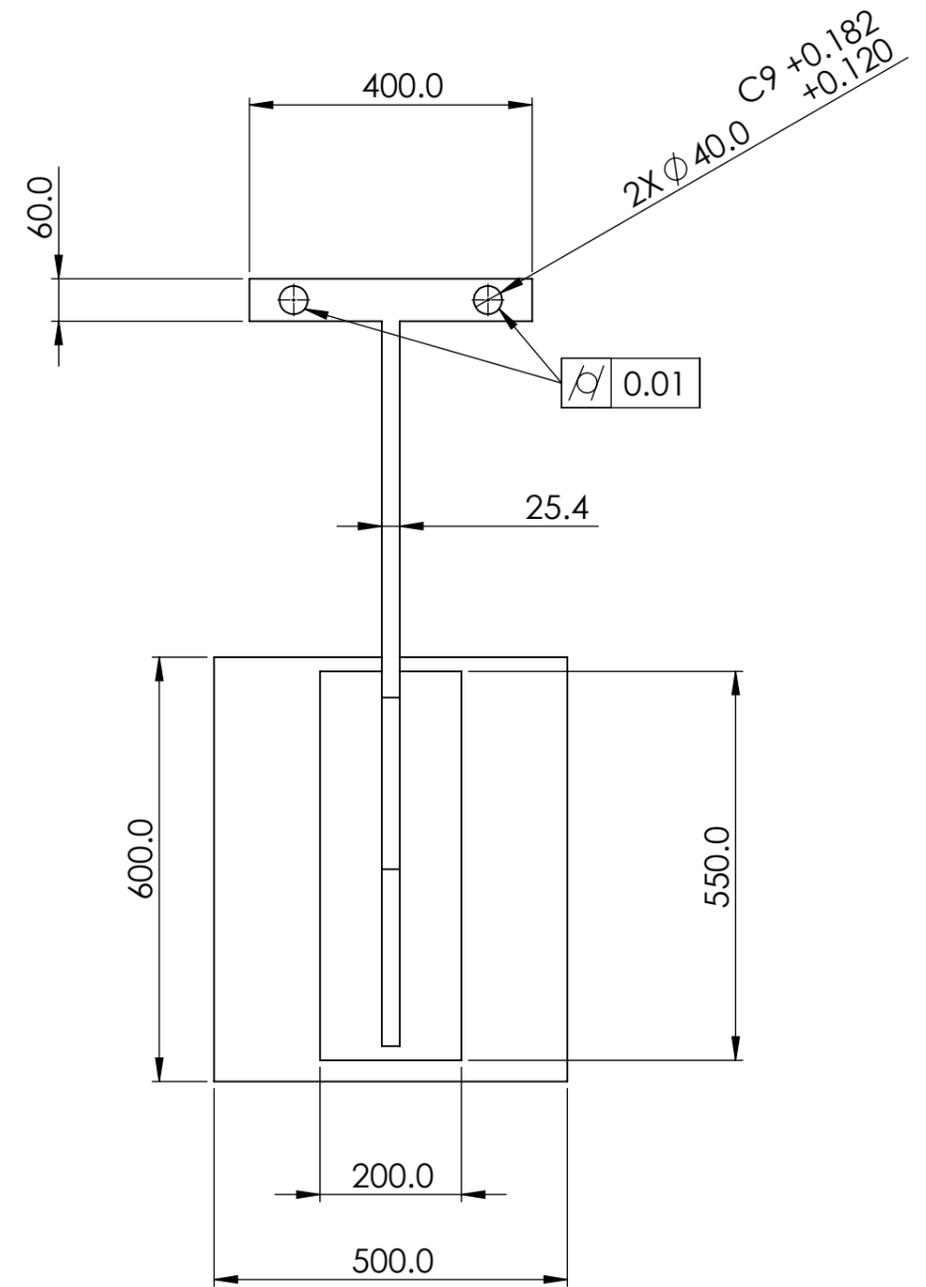
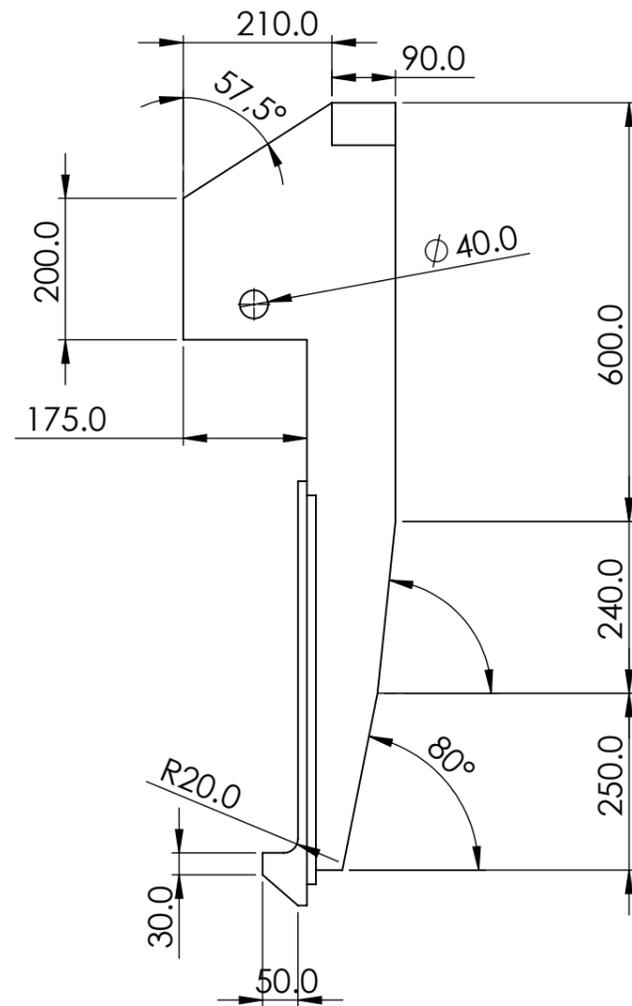
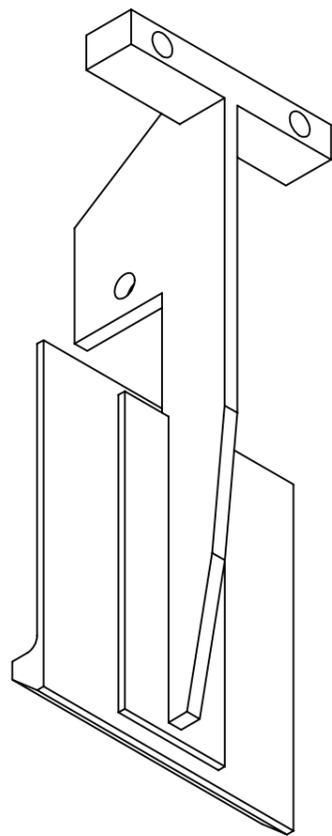


FORMATO  
**A4**

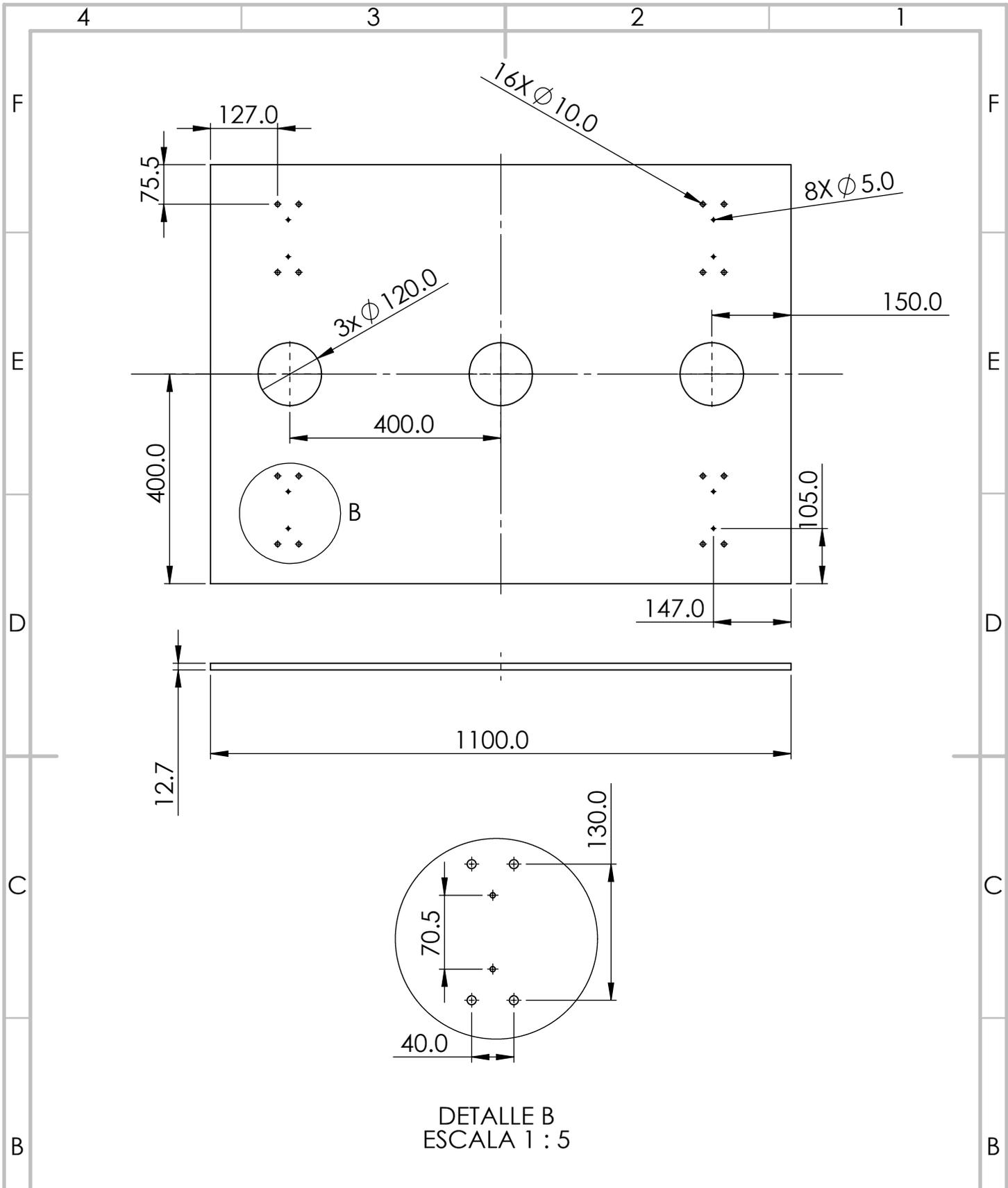
PESO: gramos

ESCALA: 1:20

HOJA 5 DE 14

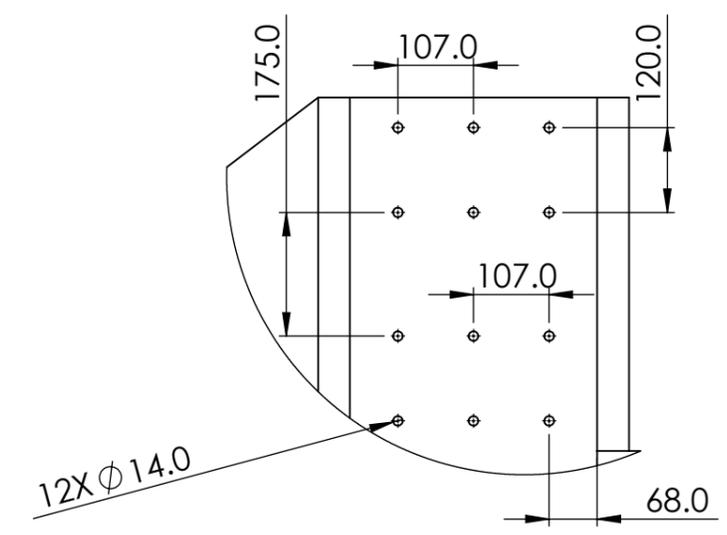
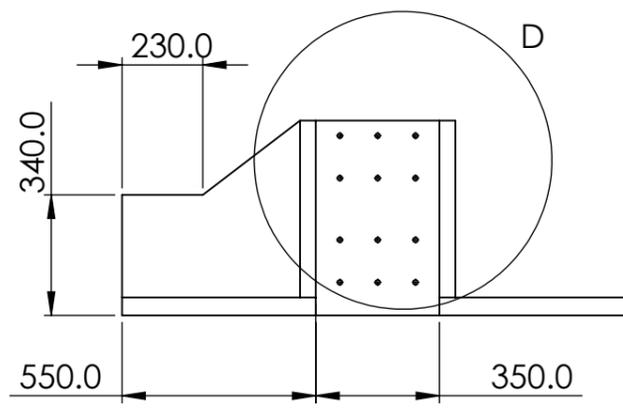
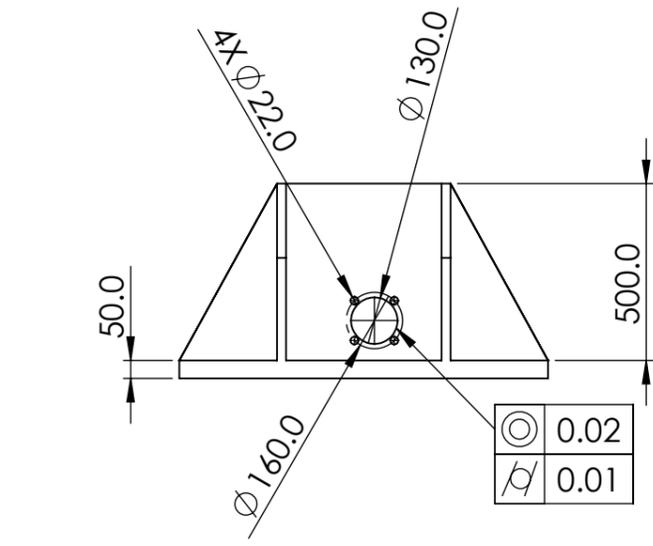


				FRUTILIGHT S.A		REVISIÓN:
				PROYECTO: APILADOR Y DESAPILADOR DE CONTENEDORES		<b>A</b>
ACABADO GENERAL: N9				DENOMINACIÓN Brazo del Sistema de Sujeción		
REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS						
MATERIAL:				FORMATO A3		
AISI 304						
TOLERANCIAS:				DESIGNACIÓN:		
LINEAL: X ±0.25 .X ±0.1 .XX ±0.05 .XXX ±0.010 ANGULAR: ±0.1°				ESCALA:		
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN mm				PESO: gramos		HOJA 6 DE 14

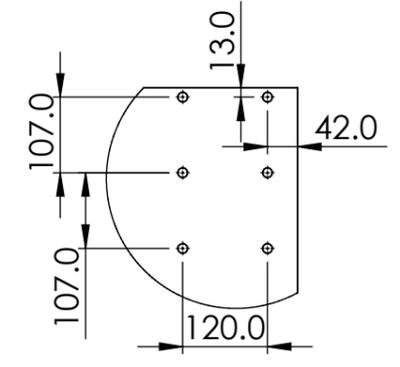
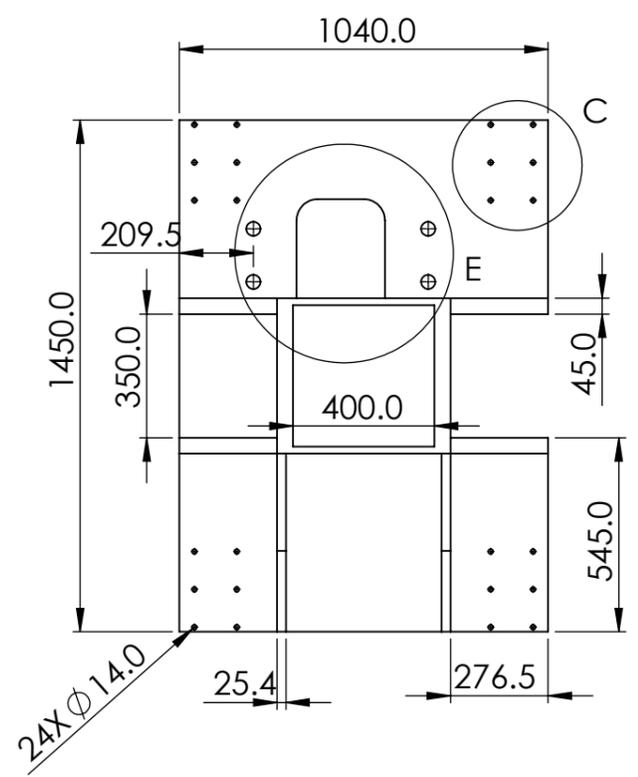


DETALLE B  
ESCALA 1 : 5

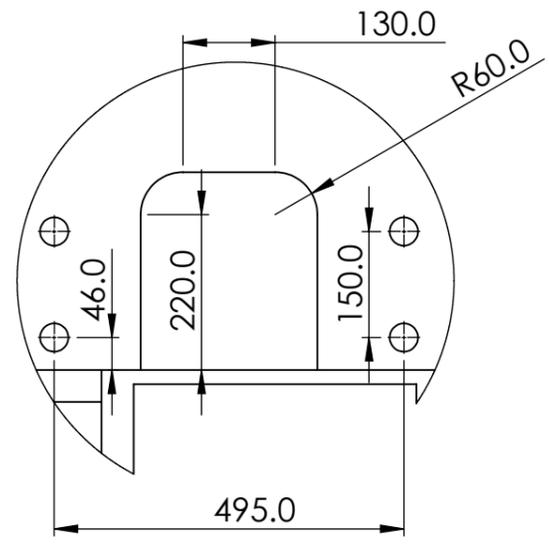
				FRUTILIGHT S.A		REVISIÓN:
				PROYECTO: APILADOR Y DESAPILADOR DE CONTENEDORES		<b>A</b>
ACABADO GENERAL: N9				DENOMINACIÓN Placa Sujeción de Guia Lineal del Sistema de Sujeción		
REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS						
MATERIAL: <b>AISI 304</b>				DESIGNACIÓN: <b>ADC012</b>		
TRATAMIENTO TÉRMICO <b>N/A</b>						
PESO: gramos				ESCALA: 1:10		FORMATO <b>A4</b>
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN mm				TOLERANCIAS: LINEAL: X ±0.25 .X ±0.1 .XX ±0.05 .XXX ±0.010 ANGULAR: ±0.1°		
HOJA 7 DE 14						



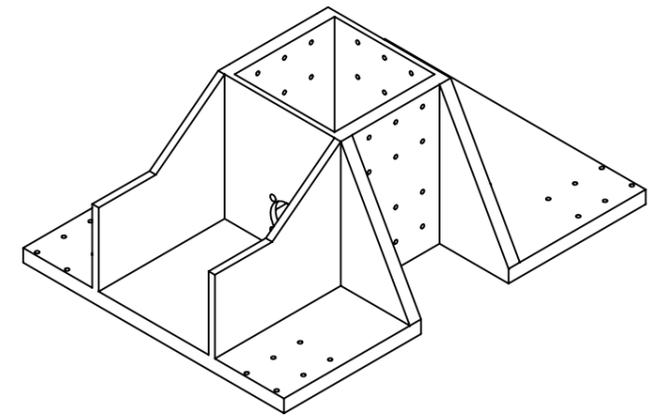
DETALLE D  
ESCALA 1 : 10



DETALLE C  
ESCALA 1 : 10

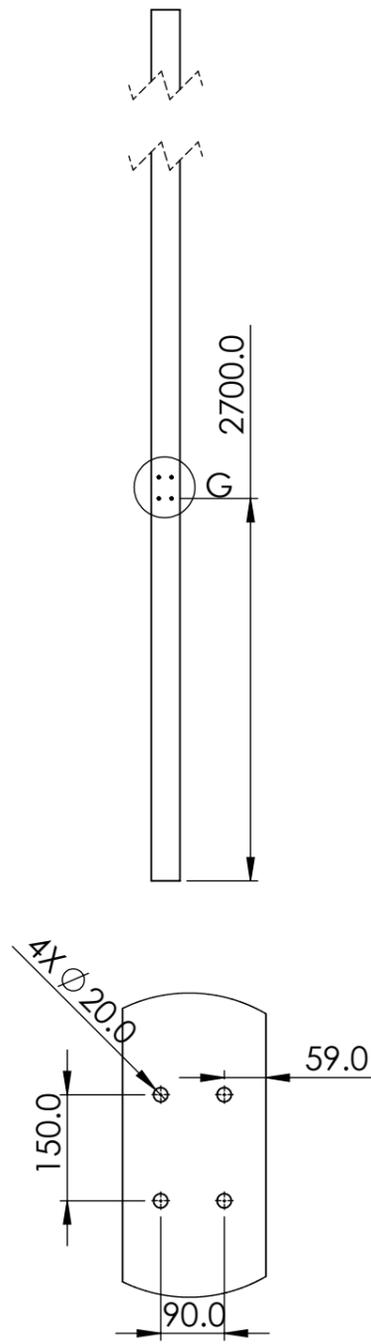


DETALLE E  
ESCALA 1 : 10



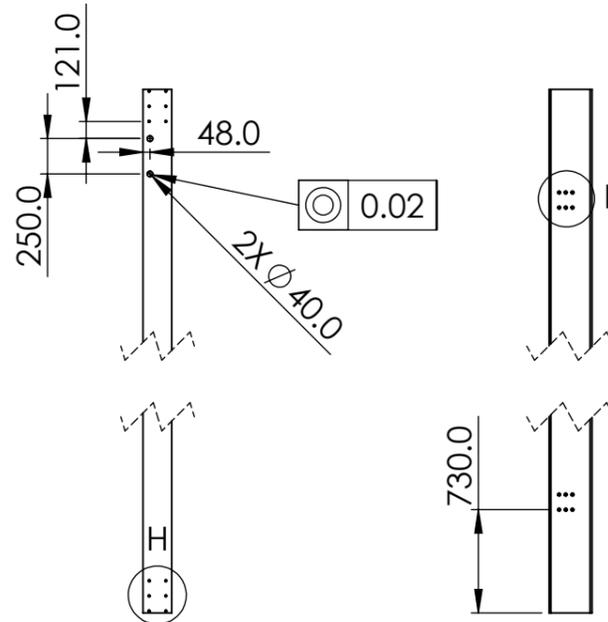
				FRUTILIGHT S.A		REVISIÓN:
				PROYECTO: APILADOR Y DESAPILADOR DE CONTENEDORES		<b>A</b>
NOMBRE: Luis Elizondo Perez FIRMA: Luis Elizondo FECHA: 25-11-2020				ACABADO GENERAL: N9 REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		
VERIF.: APROB.: FABR.:				MATERIAL: AISI 304		
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN mm				TOLERANCIAS: LINEAL: X ±0.25 .X ±0.1 .XX ±0.05 .XXX ±0.010 ANGULAR: ±0.1°		TRATAMIENTO TÉRMICO: N/A
DENOMINACIÓN: Portador del Sistema				DESIGNACIÓN: ADC014		FORMATO: A3
PESO: gramos				ESCALA: 1:20		HOJA 8 DE 14

**Viga del sistema**  
 Designación: ADC032  
 Perfil: IPN 300 mm

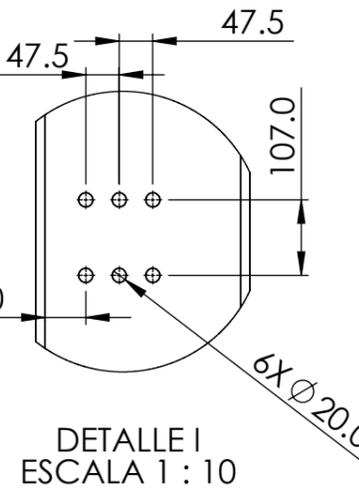


DETALLE G  
 ESCALA 1 : 10

**Viga movil del sistema**  
 Designación: ADC040  
 Perfil: IPN 300 mm

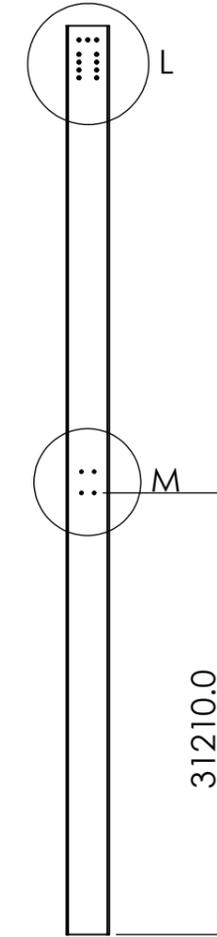


DETALLE H  
 ESCALA 1 : 10

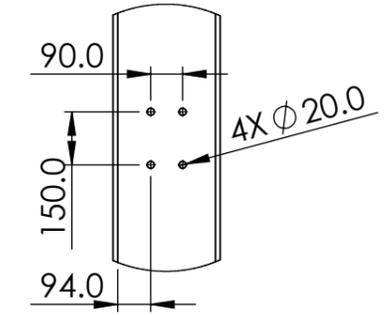


DETALLE I  
 ESCALA 1 : 10

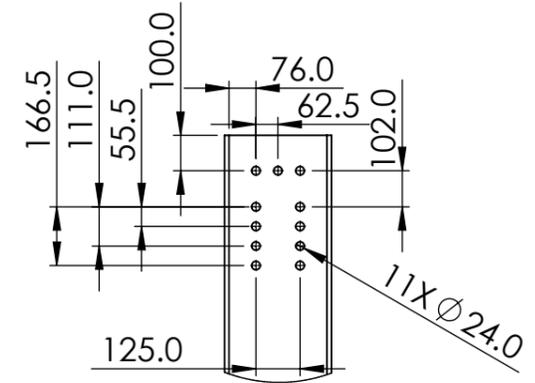
**Columna del sistema**  
 Designación: ADC027  
 Perfil: WF12"X8"40"



DETALLE L  
 ESCALA 1 : 20



DETALLE M  
 ESCALA 1 : 20



				FRUTILIGHT S.A		REVISIÓN:
				PROYECTO: APILADOR Y DESAPILADOR DE CONTENEDORES		<b>A</b>
NOMBRE: Luis Elizondo Perez FIRMA: Luis Elizondo FECHA: 25-11-2020				DENOMINACIÓN: Elementos Estructurales del Sistema		
ACABADO GENERAL: N9 REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS				MATERIAL: AISI 304		
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN mm				TOLERANCIAS: LINEAL: X ±0.25 .X ±0.1 .XX ±0.05 .XXX ±0.010 ANGULAR: ±0.1°		TRATAMIENTO TÉRMICO: N/A
PESO: gramos				DESIGNACIÓN: N/A		FORMATO: A3
				ESCALA: 1:50		HOJA 9 DE 14

4

3

2

1

F

F

E

E

D

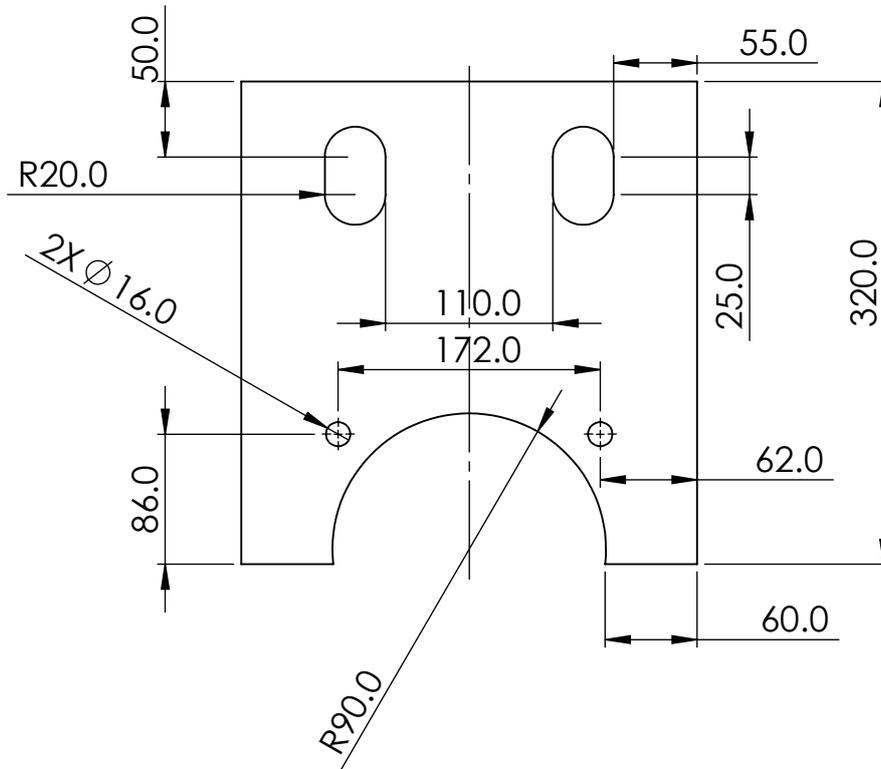
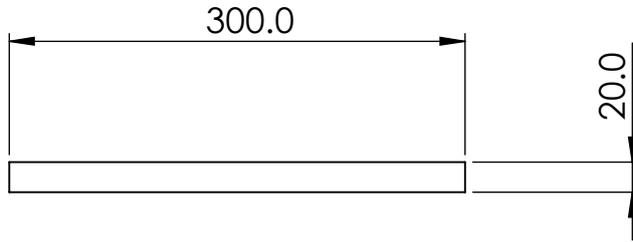
D

C

C

B

B



**TEC** | Tecnológico de Costa Rica

FRUTILIGHT S.A

REVISIÓN:

PROYECTO: APILADOR Y DESAPILADOR DE CONTENEDORES

**A**

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	Luis Elizondo Pérez	Luis Elizondo	25-11-2020
VERIF.			
APROB.			
FABR.			

ACABADO GENERAL: N9  
REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS

MATERIAL:

AISI 304

DENOMINACIÓN

Placa Sujeción de Motor Sistemas Movil

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:  
LAS COTAS SE EXPRESAN EN mm

TOLERANCIAS:  
LINEAL: X ±0.25  
.X ±0.1  
.XX ±0.05  
.XXX ±0.010  
ANGULAR: ±0.1°

TRATAMIENTO TÉRMICO

N/A

DESIGNACIÓN:

ADC019



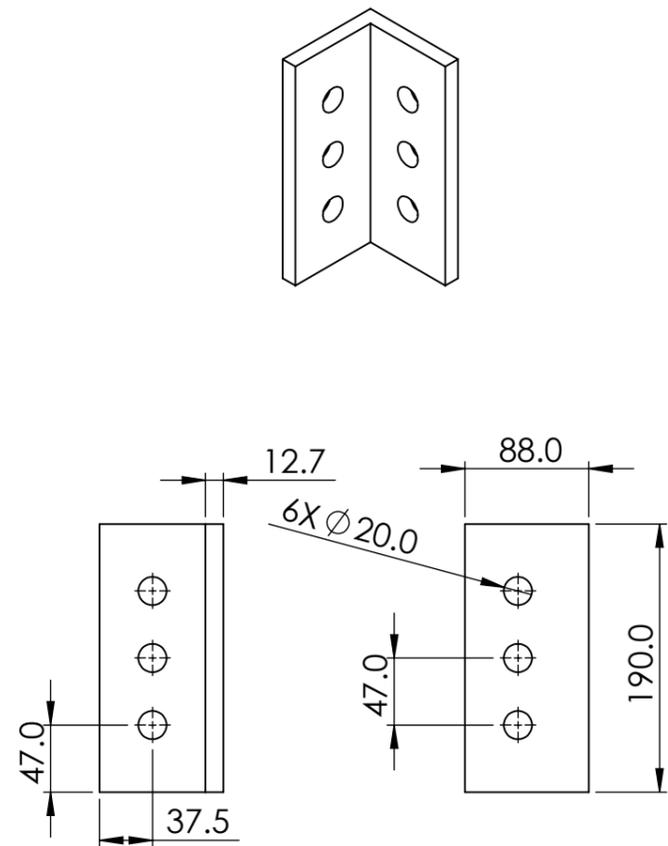
FORMATO

A4

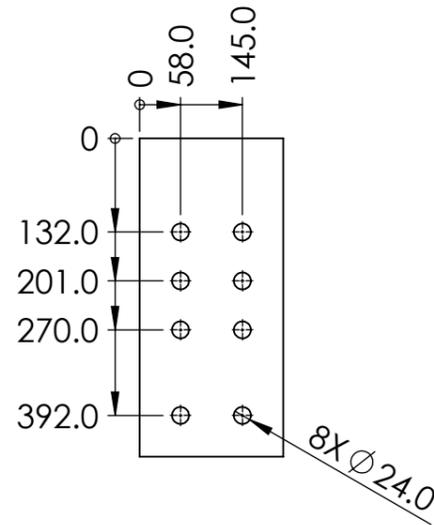
PESO: gramos

ESCALA: 1:10

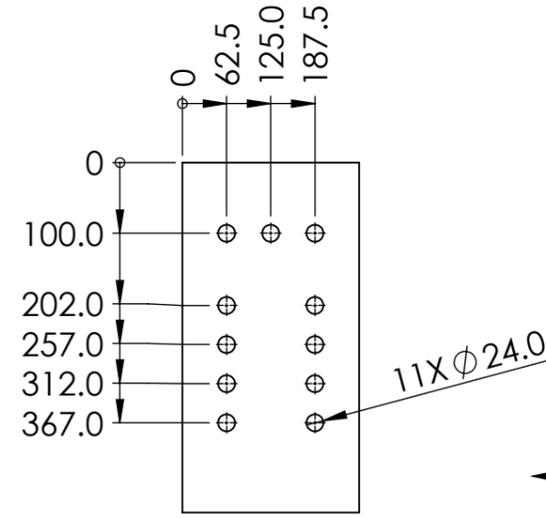
HOJA 10 DE 14



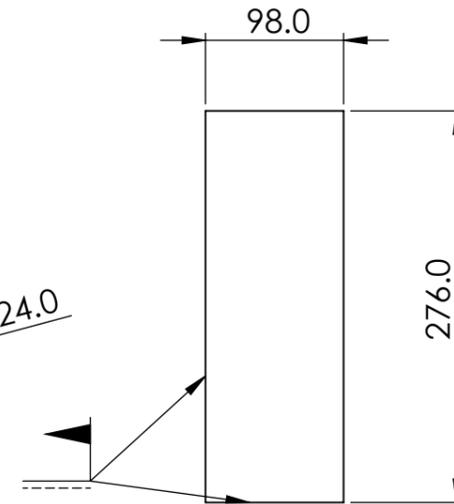
Placa de sujeción estructura movil  
Espesor: 25.4 mm



Placa de sujeción  
viga sin carga 450  
X203 mm  
Espesor: 12.7 mm

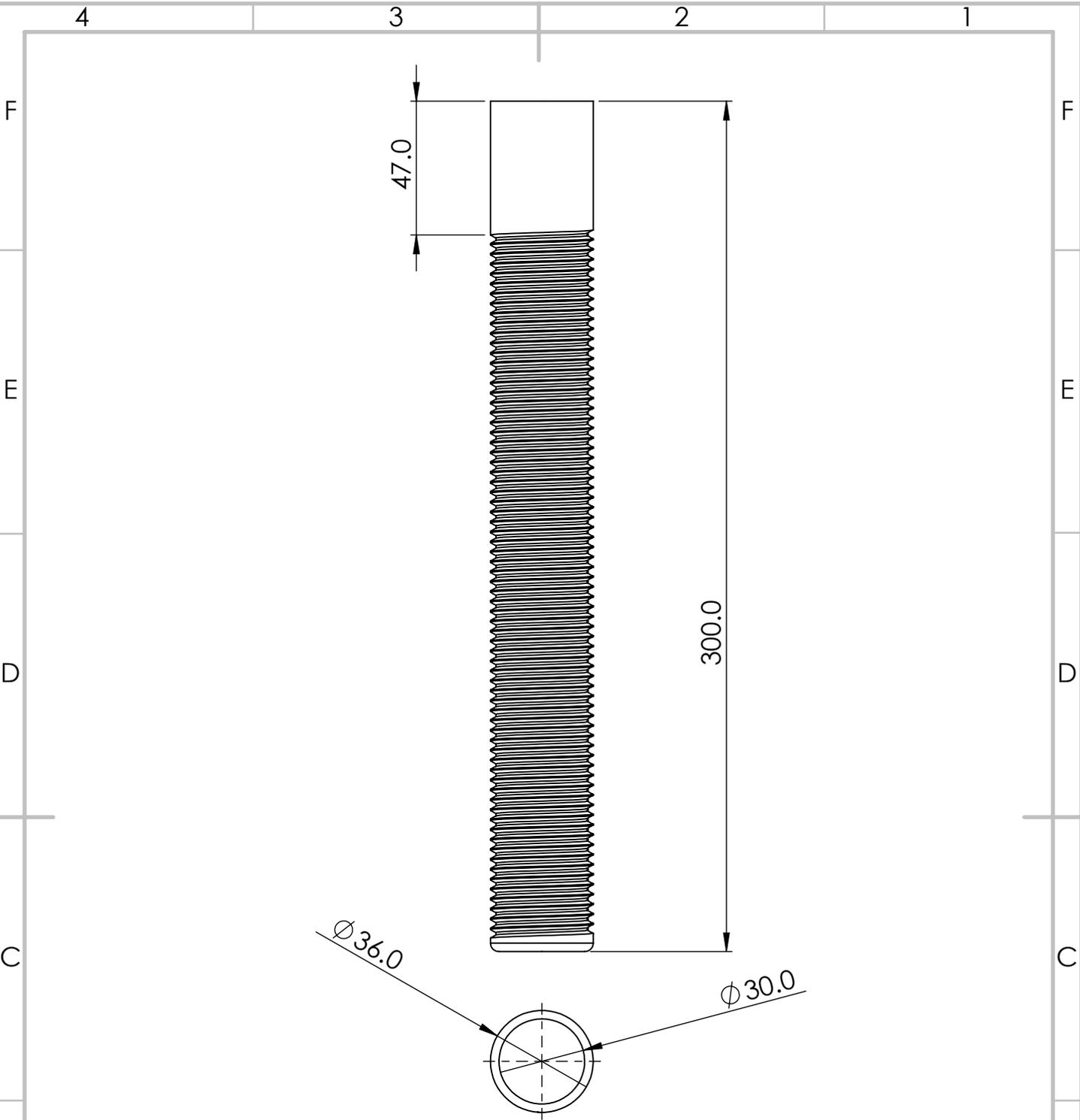


Placa de sujeción  
viga con carga  
495X250 mm  
Espesor: 12.7 mm



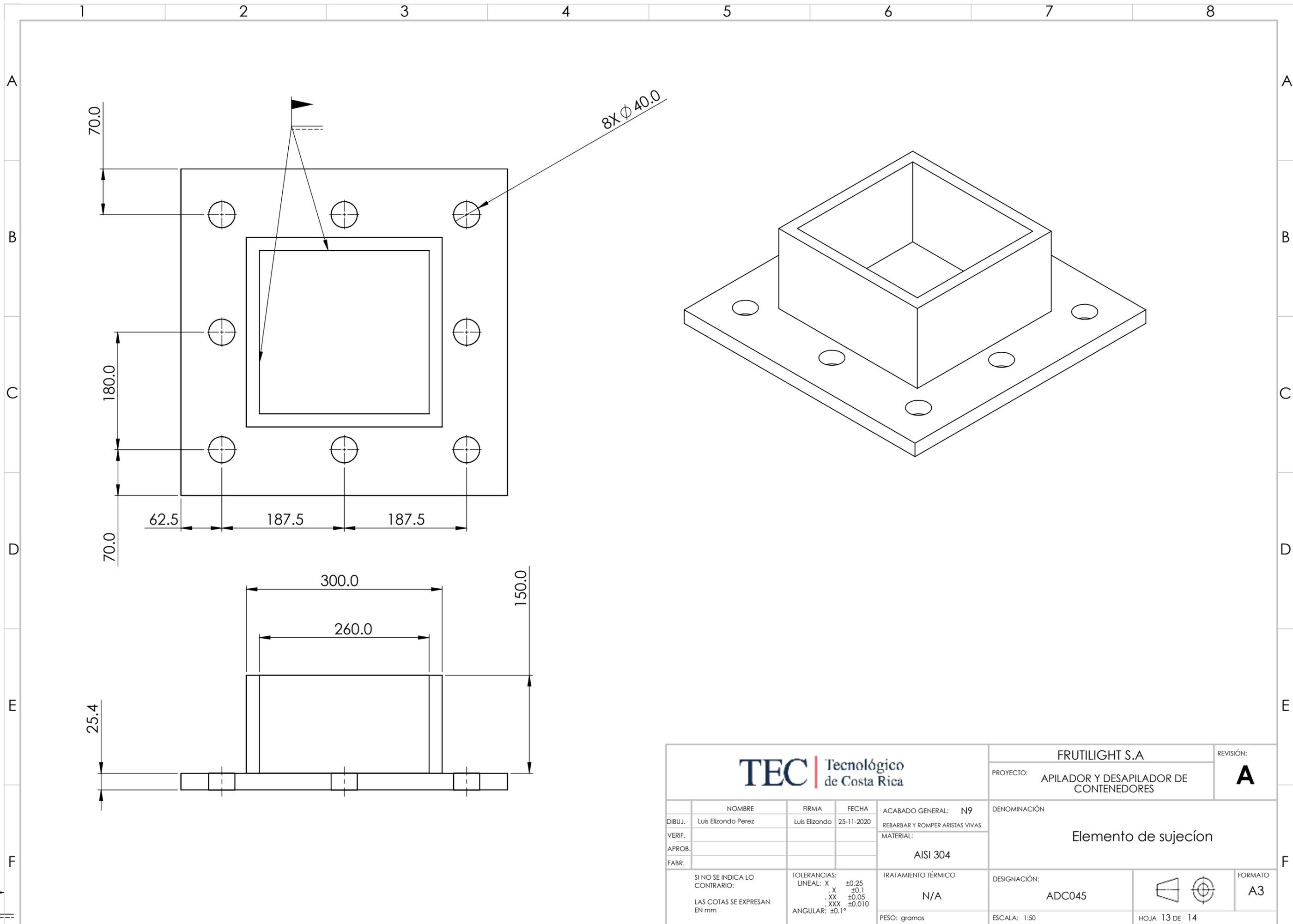
Placa de Refuerzo  
para vigas  
Espesor: 19.05 mm

				FRUTILIGHT S.A		REVISIÓN:																				
				PROYECTO: APILADOR Y DESAPILADOR DE CONTENEDORES		<b>A</b>																				
<table border="1"> <tr> <td>NOMBRE</td> <td>FIRMA</td> <td>FECHA</td> <td>ACABADO GENERAL: N9</td> </tr> <tr> <td>DIBUJ. Luis Elizondo Perez</td> <td>Luis Elizondo</td> <td>25-11-2020</td> <td>REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS</td> </tr> <tr> <td>VERIF.</td> <td></td> <td></td> <td>MATERIAL:</td> </tr> <tr> <td>APROB.</td> <td></td> <td></td> <td>AISI 304</td> </tr> <tr> <td>FABR.</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>				NOMBRE	FIRMA	FECHA	ACABADO GENERAL: N9	DIBUJ. Luis Elizondo Perez	Luis Elizondo	25-11-2020	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	VERIF.			MATERIAL:	APROB.			AISI 304	FABR.				DENOMINACIÓN		
NOMBRE	FIRMA	FECHA	ACABADO GENERAL: N9																							
DIBUJ. Luis Elizondo Perez	Luis Elizondo	25-11-2020	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS																							
VERIF.			MATERIAL:																							
APROB.			AISI 304																							
FABR.																										
				Elementos Sujeción para elementos estructurales																						
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN mm		TOLERANCIAS: LINEAL: X ±0.25 .X ±0.1 .XX ±0.05 .XXX ±0.010 ANGULAR: ±0.1°		TRATAMIENTO TÉRMICO N/A		DESIGNACIÓN: N/A																				
				PESO: gramos ESCALA: 1:50		HOJA 11 DE 14																				
						FORMATO A3																				



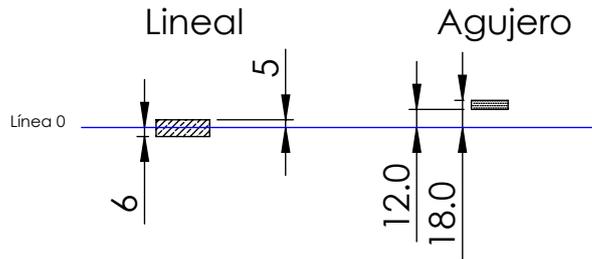
Atributos barra roscada	
Tipo de Rosca	Métrica
Paso diametral	2

				FRUTILIGHT S.A		REVISIÓN:
				PROYECTO: APILADOR Y DESAPILADOR DE CONTENEDORES		<b>A</b>
				DENOMINACIÓN: Barra Roscada Sujeción Placa de Motor		
				ACABADO GENERAL: N9		
				REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		
				MATERIAL: AISI 304		
				TRATAMIENTO TÉRMICO: N/A		
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN mm				TOLERANCIAS: LINEAL: X ±0.25 .X ±0.1 .XX ±0.05 .XXX ±0.010 ANGULAR: ±0.1°		DESIGNACIÓN: ADC025 
				PESO: gramos		FORMATO: A4
				ESCALA: 1:10		HOJA 12 DE 14



				FRUTILIGHT S.A		REVISIÓN:
				PROYECTO: APILADOR Y DESAPILADOR DE CONTENEDORES		<b>A</b>
ACABADO GENERAL: N9 REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS				DENOMINACIÓN		
MATERIAL: AISI 304				Elemento de sujeción		
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN mm		TOLERANCIAS: LINEAL: X ±0.25 .X ±0.1 .XX ±0.05 .XXX ±0.010 ANGULAR: ±0.1°		TRATAMIENTO TÉRMICO N/A		DESIGNACIÓN: ADC045
		PESO: gramos		ESCALA: 1:50		HOJA 13 DE 14
						FORMATO A3

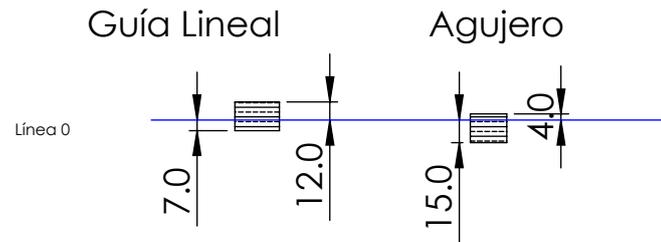
### Brazo de sujeción y elemento lineal 40 C7/j6



Límite Superior	40.05 mm	40.18 mm
Límite Inferior	39.95 mm	40.12 mm

Calidades IT7 e IT6  
 Medida Nominal: 40 mm  
 Ajuste con juego

### Guía lineal y Tapas superiores 40 k6/j6



Límite Superior	80.12 mm	80.04 mm
Límite Inferior	79.93 mm	79.85 mm

Calidades IT7 e IT6  
 Medida Nominal: 80 mm  
 Ajuste con juego



FRUTILIGHT S.A

REVISIÓN:

PROYECTO: APILADOR Y DESAPILADOR DE CONTENEDORES

**A**

	NOMBRE	FIRMA	FECHA	ACABADO GENERAL: N/A
DIBUJ.	Luis Elizondo Pérez	Luis Elizondo	25-11-2020	
VERIF.				MATERIAL:
APROB.				N/A
FABR.				

DENOMINACIÓN  
 Tolerancias y Ajustes Dimensionales

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN mm	TOLERANCIAS: LINEAL: X ±0.25 .X ±0.1 .XX ±0.05 .XXX ±0.010 ANGULAR: ±0.1°	TRATAMIENTO TÉRMICO N/A
	PESO: gramos	

DESIGNACIÓN: ADC033	FORMATO A4
ESCALA: 1:10	HOJA 14 DE 14

## **Apéndice A.4**

Se muestra en el siguiente hipervínculo el plan de mantenimiento preventivo propuesto para el sistema:

<https://drive.google.com/file/d/1QzzTkrx3CmVZJUqPIJadx2uVH7jqHnII/view?usp=sharing>

## Apéndice A.5

En el siguiente hipervínculo se presenta el código utilizado en el microcontrolador Arduino para el prototipado enfocado a la movilidad.

[https://drive.google.com/file/d/1bU43al\\_R3KAcqKS1XWzNH25yzsS5B-sn/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1bU43al_R3KAcqKS1XWzNH25yzsS5B-sn/view?usp=sharing)

## Apéndice A.6

En el siguiente hipervínculo se presenta el código utilizado en el microcontrolador Arduino para el prototipado enfocado a la sujeción.

[https://drive.google.com/file/d/1OjPZ5CxfqVBLV57\\_ZsU8Eng0g776n61D/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1OjPZ5CxfqVBLV57_ZsU8Eng0g776n61D/view?usp=sharing)

## Capítulo 11. Anexos

### Anexos A.1

En la Figura A. 1 se muestra el grafico empleado para el cálculo del esfuerzo sobre el piñón en la ecuación AGMA.

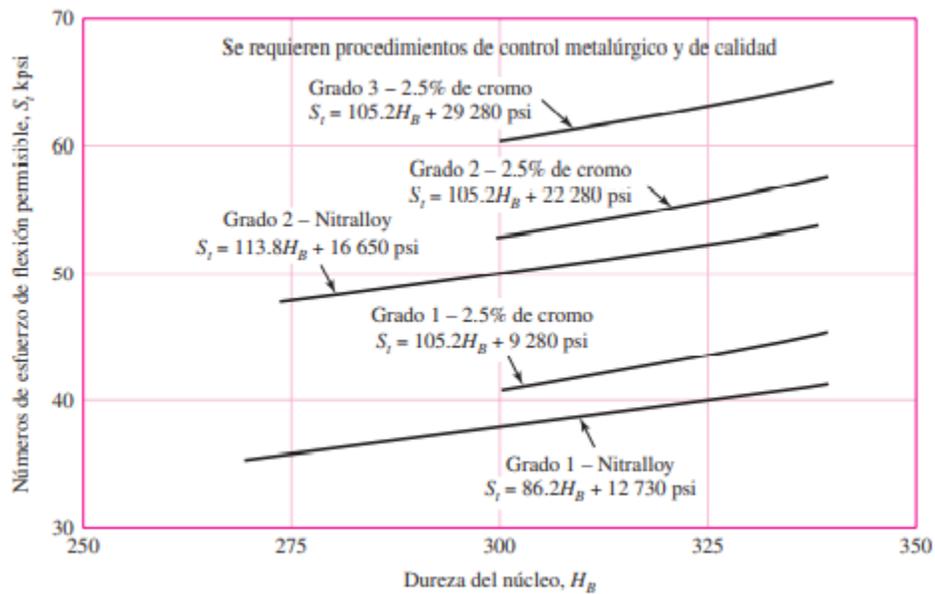


Figura A. 1. Grafica para el cálculo de esfuerzo [2].

En la Figura A. 2 se muestra el grafico empleado para obtener el factor de forma de los dientes de los engranes.

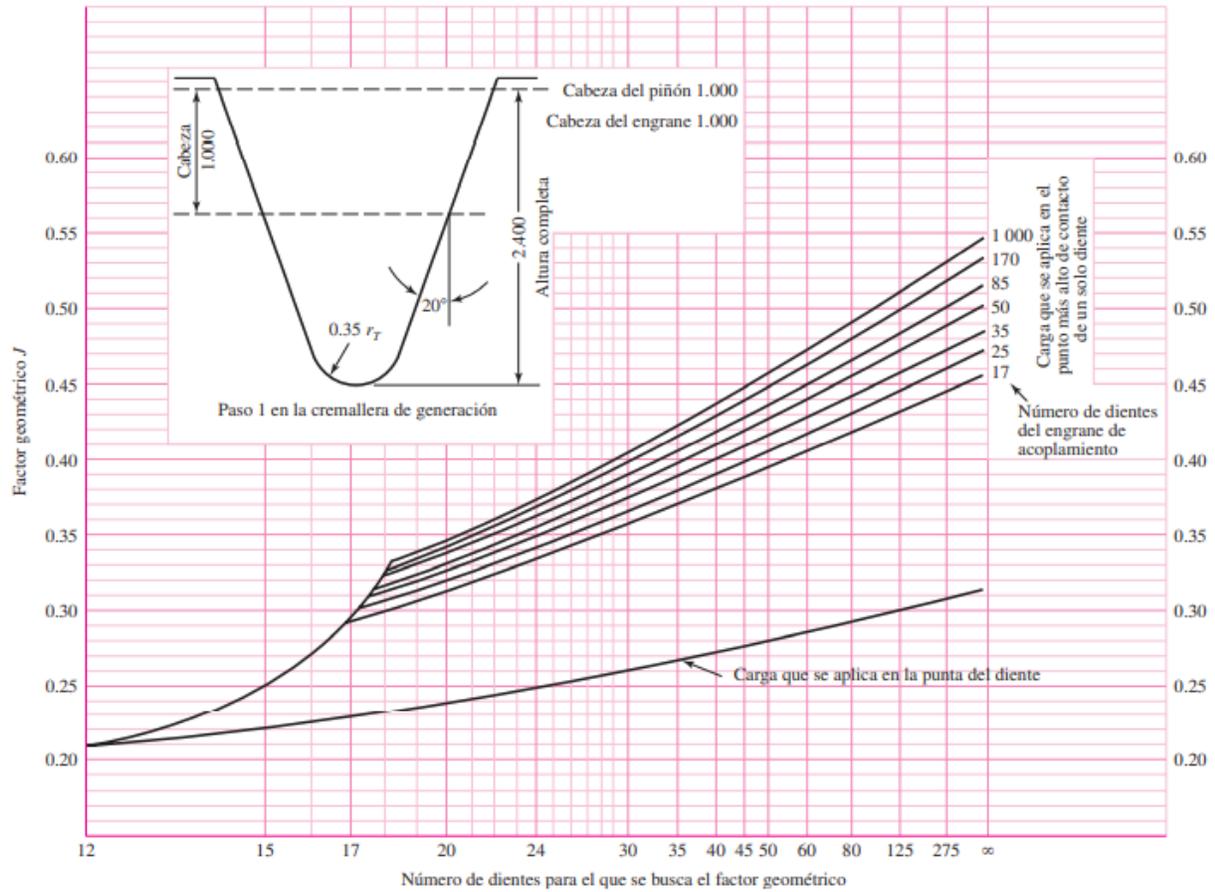


Figura A. 2 Grafica factor de forma [2].

En la Figura A. 3 se denota la gráfica necesaria para poder realizar el cálculo del factor dinámico de la ecuación AGMA.

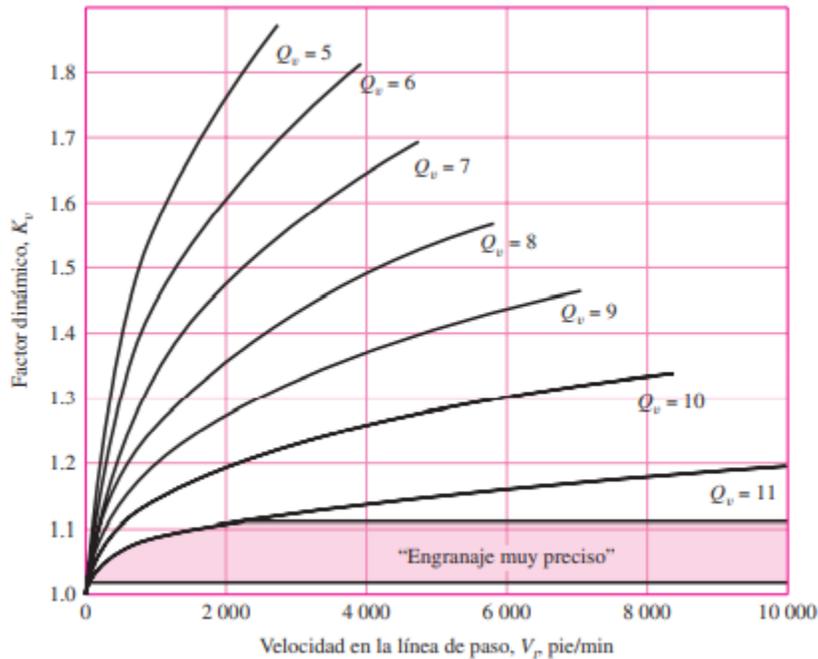


Figura A. 3 Gráfico factor dinámico de engranes AGMA [2].

En la Figura A. 4 se muestra las posibles ecuaciones que se pueden utilizar dependiendo del flanco presente en el engrane.

$$C_{pf} = \begin{cases} \frac{F}{10d} - 0.025 & F \leq 1 \text{ pulg} \\ \frac{F}{10d} - 0.0375 + 0.0125F & 1 < F \leq 17 \text{ pulg} \\ \frac{F}{10d} - 0.1109 + 0.0207F - 0.000228F^2 & 17 < F \leq 40 \text{ pulg} \end{cases}$$

Figura A. 4 Designación del factor de distribución de carga [2].

Por último, se muestra Figura A. 5 con la cual se obtiene el factor de ciclo de trabajo para la ecuación AGMA.

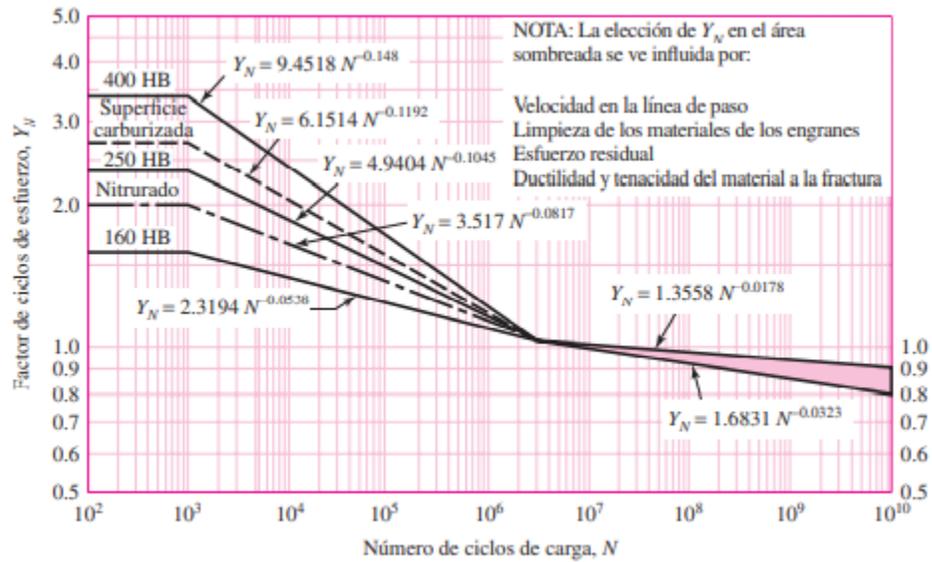


Figura A. 5 Grafica para el cálculo de ciclos de trabajo AGMA [2].

## **Anexos A.2**

En el siguiente hipervínculo se muestra el manual del variador siemens G120-CU230P-2.

<https://drive.google.com/file/d/10sxPGSqISIVrqF7xVejQ5exeYXPILRbe/view?usp=sharing>