

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



DISEÑO DE MECANISMO PARA CARGA DE PALETS EN CAMIONES  
ABIERTOS BAHÍAS 6 Y 7, ÁREA DE CARGA DE PRODUCTO  
TERMINADO EN LA EMPRESA SAMBORO

Trabajo de graduación en modalidad de trabajo profesional  
presentado por  
Juan Pablo Reyes Hernández  
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala,  
2019







Diseño de mecanismo para carga de pallets en camiones abiertos  
bahías 6 y 7, área de carga de producto terminado en la empresa  
Samboro



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



**DISEÑO DE MECANISMO PARA CARGA DE PALETS EN CAMIONES  
ABIERTOS BAHÍAS 6 Y 7, ÁREA DE CARGA DE PRODUCTO  
TERMINADO EN LA EMPRESA SAMBORO**

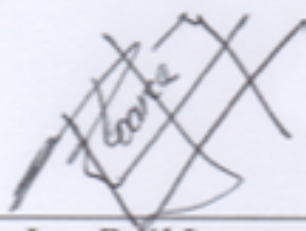
Trabajo de graduación en modalidad de trabajo profesional  
presentado por  
Juan Pablo Reyes Hernández  
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala,  
2019



Vo.Bo.:

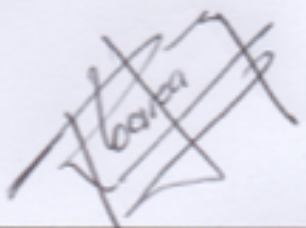
(F)

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Loarca', written over a horizontal line.

Ing. Raúl Loarca

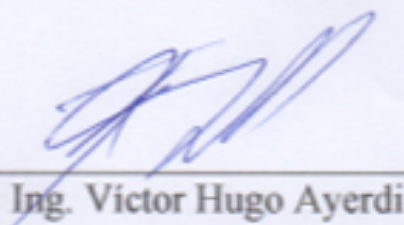
Tribunal:

(F)

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Loarca', written over a horizontal line.

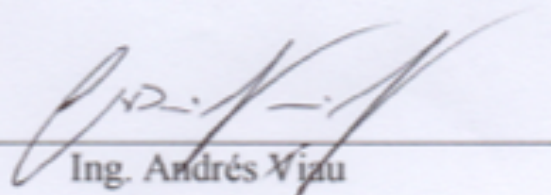
Ing. Raúl Loarca

(F)

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Victor Hugo Ayerdi', written over a horizontal line.

Ing. Victor Hugo Ayerdi

(F)

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Andrés Vizu', written over a horizontal line.

Ing. Andrés Vizu

Fecha de aprobación: Guatemala 13 de diciembre del 2019



# ÍNDICE

LISTADO DE FIGURAS .....	XV
LISTADO DE CUADROS .....	XIX
RESUMEN .....	XXI
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS .....	3
A. General .....	3
B. Específicos.....	3
III. JUSTIFICACIÓN .....	5
IV. MARCO TEÓRICO .....	7
A. Proceso de diseño .....	7
1. Proceso de diseño.....	7
2. Consideraciones de diseño.....	8
3. Matriz de decisión.....	9
4. Matriz de riesgos.....	9
B. Materiales estructurales .....	12
1. Norma ASTM A36 .....	12
2. Tubo estructural cuadrado.....	14
3. Platinas.....	14
4. Mercado de tubos cuadrados y Platinas en Guatemala.....	15
C. Proceso de construcción .....	16
1. Soldadura de acero estructural ASTM A36 .....	16
2. Proceso de soldadura SMAW .....	17
3. Electrodo E7018.....	18
4. Mercado de electrodos E7018 en Guatemala.....	21
D. Anticorrosivos .....	21
1. Corrosión.....	21
2. Métodos de inhibición de corrosión.....	23
3. Pintura anticorrosiva Poliuretánica .....	24
4. Mercado de pinturas anticorrosivas en Guatemala .....	24
E. Análisis de esfuerzos presentes.....	24
1. Esfuerzo por flexión.....	25
2. Esfuerzo por compresión .....	25
3. Esfuerzo por corte .....	26
4. Deformación de una viga .....	27
5. Energía de distorsión.....	28
F. Análisis de desgastes.....	29
1. Desgaste abrasivo.....	29
2. Desgaste adhesivo.....	30
3. Desgaste corrosivo .....	30
G. Herramientas de diseño .....	31
1. Herramienta “Parámetros” Inventor Autodesk .....	31
2. Herramienta “Simulaciones dinámicas “ Inventor Autodesk .....	32
H. Pasadores .....	33

I.	Mantenimiento .....	34
1.	Técnicas de mantenimiento.....	34
V.	METODOLOGÍA .....	37
A.	Necesidades .....	37
1.	Matriz de requerimientos .....	37
2.	Proceso del diseño.....	40
3.	Matriz de verificación y validación .....	40
B.	Toma de datos.....	42
1.	Contabilización y clasificación del transporte empleado para la carga de material .....	42
2.	Dimensiones físicas del material a cargar.....	43
3.	Costo de operación por montacargas empleados en el proceso de carga.....	45
4.	Costo del personal necesario para la carga del producto .....	47
C.	Recursos.....	48
1.	Análisis financiero del costo actual de carga .....	48
D.	Conceptos de operación.....	49
1.	Desarrollo de conceptos .....	49
2.	Matriz de elección del concepto a emplear .....	51
3.	Matriz de riesgos.....	53
4.	Manual de ensamblaje, mantenimiento y seguridad .....	54
E.	Análisis de materiales .....	55
1.	Materiales existentes en el mercado .....	55
2.	Normativas de los materiales del mercado .....	55
F.	Restricciones .....	56
1.	Toma de datos para evaluar restricciones técnicas y restricciones del cliente.....	56
G.	Elaboración del diseño .....	56
1.	Diseño por medio de inventor.....	56
H.	Diagrama de cuerpo libre .....	59
I.	Análisis de cargas.....	59
1.	Análisis estructural estático teórico .....	60
2.	Análisis estructural estático por medio de Ansys .....	62
3.	Análisis estructural dinámico por medio de Ansys.....	67
J.	Análisis financiero de la elaboración del prototipo .....	68
1.	Análisis financiero del costo de producir el diseño propuesto. ....	68
K.	Entrega y presentación del diseño .....	69
VI.	RESULTADOS .....	71
A.	Costo actual .....	71
B.	Costo del diseño propuesto.....	71
C.	Diseño propuesto .....	72
1.	Elaboración del diseño estructural .....	72
2.	Ensamblaje.....	73
3.	Planos.....	74
D.	Análisis estructural estático.....	75
E.	Análisis estructural dinámico.....	75
VII.	ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	77
A.	Análisis financiero costo actual.....	77
B.	Análisis estructural estático por medio de Ansys.....	77
C.	Análisis estructural dinámico por medio de Ansys .....	81

VIII.	CONCLUSIONES.....	87
IX.	RECOMENDACIONES.....	89
X.	REFERENCIAS .....	91
XI.	ANEXOS .....	93
A.	Manual de seguridad de uso, ensamble y mantenimiento del mecanismo.....	93
B.	Trolley recomendado.....	103
C.	Cálculos efectuados.....	104
1.	Personal.....	104
2.	Material.....	104
3.	Polipasto.....	106
4.	Electrodos .....	106
5.	Operario .....	107
D.	Planos del mecanismo .....	108



# LISTADO DE FIGURAS

Figura 1: Sistema de carga rápido.....	XXI
Figura2: Fases del proceso de diseño. ....	7
Figura 3: Ejemplos de matriz de riesgos.....	10
Figura 4: Elementos de soldadura por arco metálico.....	18
Figura 5: Flexión pura.....	25
Figura 6: Comprensión pura .....	26
Figura 7: Esfuerzo cortante puro .....	26
Figura 8: Tipos de apoyo de vigas .....	27
Figura 9: Viga con doble apoyo y fuerza distribuida.....	28
Figura 10: Gráfica de valores de teoría de energía de distorsión.....	29
Figura 11: Esquema de desgaste abrasivo en el deslizamiento .....	30
Figura 12: Cambios en los perfiles originales de una superficie por desgaste adhesivo .....	30
Figura 13: Lista de parámetros .....	32
Figura 14: Gráfica de selección de mantenimiento .....	35
Figura 15: Contabilización y clasificación del transporte .....	43
Figura 16: Toma de medidas de pallets .....	44
Figura 17: Mecanismo de tijera .....	50
Figura 18: Mecanismo de media tijera .....	50
Figura 19: Mecanismo en "C".....	51
Figura 20: Esquema del mecanismo .....	58
Figura 21: Diagrama de cuerpo libre .....	59
Figura 22: Cuerpos fijos .....	62
Figura 23: Mallado.....	63
Figura 24: Técnicas de mallado .....	63
Figura 25: Detalles del mallado obtenido.....	64

Figura 26: Cargas aplicadas.....	64
Figura 27: Punto de apoyo fijo evaluado No. 1 .....	65
Figura 28: Punto de apoyo fijo evaluado No. 2 .....	65
Figura 29: Punto de apoyo fijo evaluado No. 3 .....	65
Figura 30: Punto de apoyo fijo evaluado No. 4 .....	66
Figura 31: Aplicación de fuerza uniforme .....	66
Figura 32: Solución de la simulación de Ansys.....	66
Figura 33: Análisis modal con pre-estrés .....	67
Figura 34: Solución del análisis dinámico .....	67
Figura 35: Estructura inferior .....	72
Figura 36: Estructura superior .....	73
Figura 37: Pernos .....	73
Figura 38: Cuchillas.....	73
Figura 39: Ensamblaje final.....	74
Figura 40: Ensamblaje alternativo .....	74
Figura 41: Deformación total.....	78
Figura 42: Análisis del estrés equivalente .....	78
Figura 43: Análisis del estrés máximo cortante.....	79
Figura 44: Análisis del estrés normal .....	80
Figura 45: Análisis del factor de seguridad .....	80
Figura 46: Vistas laterales del factor de seguridad .....	81
Figura 47: Nodos analizados.....	81
Figura 48: Nodo analizado No.1.....	82
Figura 49: Nodo analizado No. 2.....	82
Figura 50: Nodo analizado No. 3.....	83
Figura 51: Nodo analizado No. 4.....	83
Figura 52: Nodo analizado No. 5.....	84
Figura 53: Nodo analizado No. 6.....	84

Figura 54: Despiece alternativa 1 .....	93
Figura 55: Ensamble alternativa 1 .....	94
Figura 56: Despiece alternativa 2 .....	95
Figura 57: Ensamble alternativa 2 .....	96
Figura 58: Ensamblados de alternativas .....	99
Figura 59: Colocación de cadena.....	100
Figura 60: Trolley (especificaciones) recomendado.....	103



## LISTADO DE CUADROS

Cuadro 1: Gravedad de falla .....	10
Cuadro 2: Propiedades químicas del acero estructural ASTM A36 .....	12
Cuadro 3: Propiedades físicas del acero estructural ASTM A36 .....	13
Cuadro 4: Propiedades mecánicas del acero estructural ASTM A36 .....	13
Cuadro 5: Dimensiones comerciales de platinas en Guatemala .....	15
Cuadro 6: Precios del material en el mercado de Guatemala .....	15
Cuadro 7: Precios del material en el mercado de Guatemala .....	16
Cuadro 8: Precios del material en el mercado de Guatemala .....	16
Cuadro 9: Clasificación según AWS A5.1 para el electrodo E7018 .....	20
Cuadro 10: Composición química para metal de soldadura correspondiente al electrodo E7018.....	20
Cuadro 11: Propiedades mecánicas según AWS para electrodo E7018.....	20
Cuadro 12: Medidas disponibles electrodo E7018 en Guatemala .....	21
Cuadro 13: Precio de los electrodos según proveedores de Guatemala.....	21
Cuadro 14: Desempeño según el tipo de pintura .....	23
Cuadro 15: Precios de la pintura anticorrosiva poliuretánica dentro de Guatemala.....	24
Cuadro 16: Requerimientos funcionales del mecanismo.....	38
Cuadro 17: Requerimientos operacionales del mecanismo .....	39
Cuadro 18: Requerimientos limitantes del mecanismo .....	39
Cuadro 19: Clasificación .....	40
Cuadro 20: Matriz de verificación de diseño y análisis.....	41
Cuadro 21: Contabilización y clasificación del transporte .....	43
Cuadro 22: Costo de posesión anual.....	45
Cuadro 23: Costo del combustible anual .....	46
Cuadro 24: Costo de mantenimiento / Servicio anual .....	46
Cuadro 25: Costo anual por uso de montacargas.....	47
Cuadro 26: Costo de los colaboradores involucrados.....	47

Cuadro 27: Elección del mecanismo a diseñar .....	52
Cuadro 28: Matriz de decisión.....	52
Cuadro 29: Ejecución de la matriz de seguridad .....	54
Cuadro 30: Resultados teóricos .....	62
Cuadro 31: Costo total actual anual del proceso de carga .....	71
Cuadro 32: Costo del diseño propuesto .....	71
Cuadro 33: Flujo de caja del VPN por montacarga .....	72
Cuadro 34: Análisis estatico estructural .....	75
Cuadro 35: Análisis estructural dinámico.....	75
Cuadro 36: RPM equivalente en Hertz .....	85
Cuadro 37: Listado de partes alternativa 1 .....	94
Cuadro 38: Listado de piezas alternativa 2.....	95
Cuadro 39: Inspección previa al uso del mecanismo.....	101
Cuadro 40: Cálculo costo del personal .....	104
Cuadro 41: Cálculo de la cantidad y costo del material .....	104
Cuadro 42: Cálculo del costo del polipasto .....	106
Cuadro 43: Cálculo de cantidad de soldadura necesaria.....	106
Cuadro 44: Cálculo de la cantidad de electrodos necesarios .....	107
Cuadro 45: Cálculo del costo de los operarios .....	107

## RESUMEN

Debido al desarrollo exponencial en la producción y la falta de espacio físico para el crecimiento de la empresa Samboro, actualmente se tiene problema con la logística de carga del producto terminado, sobre todo debido a los recursos de tipo material, tiempo y humano. Por esta razón se busca la optimización del manejo de recursos por medio de un sistema de carga rápido para camiones abiertos, como se muestra a continuación.

Figura 1: Sistema de carga rápido



(Fuente: Elaboración propia)

Actualmente existen siete bahías de carga de las cuales únicamente dos están destinadas a los camiones abiertos y el resto a los camiones cerrados. La distribución de camiones que despachan el producto de Samboro está compuesta por un 33% de camiones cerrados y 67% de camiones abiertos.

Debido a que los camiones cerrados necesitan de mucho más tiempo para ser cargados, Samboro había tomado la decisión de dedicarle más recursos a los mismos. Sin embargo, con el crecimiento exponencial de Samboro, las bahías de carga para los camiones abiertos ya no son suficientes. Con el presupuesto asignado para dicho proyecto se planea reducir los tiempos y costos de la operación de carga, ya que se emplearía menos personal y habría mejor disposición de parte de los montacargas para cualquier otro proceso.

Este trabajo presenta una alternativa para resolver el problema actual de la logística de carga en camiones abiertos, el manejo de recursos como personal y montacargas, reduciendo así los tiempos y costos de carga de material hacia los camiones de plataforma abiertos.

Se presentará a Samboro el mecanismo de carga diseñado, así como su funcionalidad por medio de un análisis estructural, un análisis dinámico, la simulación del mecanismo y un análisis financiero que demuestre la reducción de los costos y las ventajas a obtener con la implementación del mecanismo.

Para el desarrollo de este proyecto, se empleará la herramienta de diseño Autodesk Inventor 3D para la elaboración del mecanismo, Ansys para el análisis estructural estático y dinámico y Excel para el análisis financiero.

# I. INTRODUCCIÓN

El trabajo detallado a continuación busca solucionar el problema de carga en la empresa de azulejos de Samboro, por medio de un proceso ingenieril de diseño que sigue los siguientes pasos: Identificar la necesidad, investigación preliminar, planteamiento del objetivo, especificaciones de desempeño, ideación e invención, análisis, selección, diseño detallado, pruebas y producción.

Una vez se tuvo claro el diseño que se llevaría a cabo se procedió a seleccionar los materiales correspondientes según el mercado de materiales de Guatemala y los requisitos estructurales. Para esto, se buscó primero las normativas que se emplean en el mercado nacional y que especificaciones técnicas, físicas y químicas son específicas de cada normativa.

Se elaboró un análisis financiero profundo acerca del costo actual del proceso de carga en las bahías abiertas 6 y 7, con el objetivo de más adelante poder compararlo con el costo del diseño propuesto y así concluir la viabilidad del diseño propuesto.

Una vez se tuvo todo esto claro, se procedió a realizar el diseño, el cual fue necesario iterar varias veces para buscar el diseño óptimo. Este diseño se elaboro con ayuda del software de diseño Inventor de Autodesk y por medio de una investigación preliminar.

Se le realizaron análisis estáticos y dinámicos al mecanismo por medio del software Ansys con el objetivo de determinar la eficiencia del mecanismo y los puntos críticos que pudiera tener el mecanismo.

Finalmente se procedió a realizar un análisis financiero del costo de llevar a cabo el diseño y de esta manera se pudo concluir sobre su viabilidad y los beneficios de dicho sistema.



### III. OBJETIVOS

#### A. General

1. Diseñar el mecanismo especializado para cargar el producto terminado, de manera más eficiente a los camiones abiertos de las bahías seis y siete de la empresa Samboro.

#### B. Específicos

1. Determinar los costos de manufactura del mecanismo propuesto, tomando en cuenta los precios de la materia prima actual dentro de Guatemala. Con el objetivo de poder darle un valor real al diseño propuesto.
2. Realizar un análisis costo beneficio que justifique la inversión en el diseño propuesto y el tiempo de retorno esperado según los costos actuales, tomando en cuenta factores como: cantidad de empleados necesarios en la actualidad para el proceso de carga, cantidad de montacargas empleados en el proceso actual, y costo del tiempo que se necesita en la actualidad par realizar el proceso de carga.
3. Determinar el material óptimo para el diseño, según su costo y disponibilidad dentro de Guatemala y que además cumpla con las especificaciones mínimas para poder garantizar la viabilidad del diseño y su seguridad.
4. Diseñar un mecanismo capaz de cargar dos racks de material terminado simultáneamente sin dañarlo, distribuyendo los esfuerzos uniformemente a lo largo de la longitud de la carga. Buscando también que el diseño tenga un factor de seguridad adecuado para los requerimientos solicitados.



## V. JUSTIFICACIÓN

Samboro S.A. está posicionada en el mercado regional como proveedora de pisos cerámicos, azulejos y fachadas exteriores. Su evolución se percibe en los volúmenes de producción, los cuales en sus inicios registraron 760 m<sup>2</sup> diarios y ahora alcanzan la capacidad de 35.000 m<sup>2</sup> por día.

Samboro dispone de un área destinada para almacenaje de producto terminado (bodegas de producto terminado) y un área específica destinada a la carga del producto (área de embarques), destinada a atender a los transportistas encargados de distribuir el producto a las distintas zonas de venta.

En la actualidad, Samboro dispone de siete bahías de carga, donde cinco están destinadas para la carga de camiones cerrados y únicamente dos bahías para la carga de camiones abiertos. Los camiones cerrados son empleados para transportar el material fuera del país, mientras que los camiones abiertos, se emplean para la distribución dentro del país.

Además, dispone de una flotilla de montacargas y personal encargado del manejo de los mismos dentro de la planta. De esta manera transportan el material terminado, desde el punto de almacenaje hacia el área de carga y desde el área de carga hacia los camiones de transporte.

Sin embargo, existen problemas en la logística de este proceso. Los diversos transportistas encargados de la distribución únicamente pueden esperar que le carguen el material en horarios específicos y no tienen permitido tocar el producto. Samboro se encarga de posicionar el producto directamente dentro de los camiones. A esto se le suma que, en temporada de alta demanda, es necesario cargar muchos más camiones abiertos de los que Samboro tiene capacidad.

De esta forma los montacargas de la fábrica deben estar a completa disposición durante el horario de carga.

Durante el proceso de carga y posicionamiento del producto sobre el camión, tres empleados del personal de Samboro debe de interactuar con el conductor del montacargas, para poder optimizar el espacio de carga y posicionamiento del producto.

Este proceso es bastante tardado y puede incurrir en riesgos, debido a que no pueden maniobrar varios montacargas al mismo tiempo, por el espacio reducido en el área de embarques.

En la actualidad se están presentando problemas por el espacio y tiempo que se requiere para almacenar, cargar y acomodar el material. Sobre todo, con el producto que se entrega en Guatemala (Camiones abiertos).

Debido al crecimiento de la fábrica durante los últimos años, se ha agotado todo el espacio físico que tenían disponible para la bodega de producto terminado, y por la localización de la empresa, crecer para algún lado es imposible.

Ante esta problemática Samboro se ve en la necesidad de reformular su proceso logístico de almacenaje, de carga o ambos.

Este trabajo consiste en la propuesta de un sistema de carga rápida que va ligado al mejoramiento de la logística de carga dentro de Samboro para los camiones abiertos encargados de la distribución dentro de Guatemala.

De esta forma se pretende movilizar el material desde el área de carga, hacia los camiones, teniendo previsto instalar dos líneas de polipastos con Trolleys automáticos, sobre los cuales se tendrá el mecanismo propuesto diseñado suspendido por medio de una cadena, para poder cargar el material y transportarlo sobre los rieles.

Se busca así maximizar la carga del producto final hacia los camiones, y minimizar los recursos humanos empleados para el acomodamiento del material, así como, el uso de los montacargas en el proceso de carga.

El objetivo de este trabajo se orienta al diseño del mecanismo que se empleara en el proceso de carga, el análisis estructural del mismo y el análisis financiero que demuestre los beneficios de su implementación.

## VI. MARCO TEÓRICO

### A. Proceso de diseño

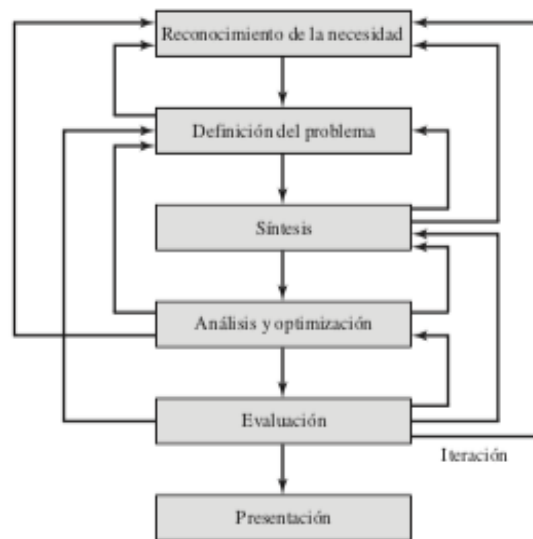
#### 1. Proceso de diseño

El diseño ingenieril se conoce como el proceso mediante el cual se aplican los diversos conocimientos y principios de ingeniería con el propósito de idear un mecanismo, un proceso o un sistema de manera suficientemente detallada para lograr su realización. La elaboración del diseño busca suplir una necesidad y el mismo puede ser tanto simple como complejo dependiendo de la problemática.

Generalmente al encontrarse ante la necesidad de elaborar un nuevo diseño, la problemática no esta definida de forma estructurada, por lo que el ingeniero debe de hacer un análisis. Es decir, descomponer el problema que es difícil de resolver en varios pequeños problemas simples, con el objetivo de sintetizar las posibles soluciones y de esta forma llegar a una idea que supla las necesidades.

Existen muchos procesos de diseño según diferentes bibliografías, sin embargo, poseen una estructura general común de los pasos e iteraciones que conlleva el proceso de diseño para cualquier necesidad. Para el caso específico del diseño tratado en este estudio, se propuso seguir el diagrama de fases del proceso de diseño según “Shigley” del libro de “*Diseño de ingeniería Mecánica*” demostrado a continuación. (Shigley, 20012)

Figura2: Fases del proceso de diseño.



(Fuente: Shigley, Página 6.)

## 2. Consideraciones de diseño

El proceso de diseño conlleva múltiples iteraciones, lo cual implica regresar a los pasos anteriores para mejorar el producto final. Es por esto que es necesario dar pasos pequeños para no perderse en el proceso iterativo, planteando así múltiples consideraciones de diseño. Con el objetivo de descomponer la problemática en pequeños problemas para facilitar la iteración se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones de diseño explicadas a continuación. (Norton, 2008)

1. Identificación de la necesidad: Durante este paso lo que se busca es hablar con el cliente para que plantee la problemática a resolver y así discernir los puntos clave que definirán el mecanismo, proceso o sistema a desarrollar.
2. Investigación preliminar: Este paso es de suma importancia, ya que tiene como objetivo delimitar y desarrollar todos los conocimientos que necesitamos para realizar el diseño, así como también buscar alternativas de soluciones propuestas a problemas similares que permitan formar una idea de la posible solución.
3. Planteamiento del objetivo: Una vez se conoce el problema y se tiene una idea de cómo resolverlo, es necesario concretar lo que se busca y plantear el enunciado del problema de forma que sea conciso, general e incoloro. Se espera que este objetivo sea planteado de tal manera que permita una visualización funcional de la solución planteada.
4. Especificaciones de desempeño: Con un objetivo bien planteado y la necesidad clara, es necesario definir lo que el mecanismo, proceso o sistema será capaz de realizar. Es decir, definir clara y concisamente las tareas que será capaz de realizar.
5. Ideación e invención: En esta etapa es donde se sigue un proceso creativo para la generación de ideas que busquen suplir las especificaciones de desempeño.
6. Análisis: El análisis se refiere a la comprobación de la funcionalidad de las alternativas propuestas.
7. Selección: Según todas las ideas factibles, este paso busca seleccionar la mejor alternativa disponible para llevar a cabo la creación de prototipo y realizar pruebas de funcionalidad con el mismo. Generalmente un matriz de decisión ayuda a identificar la mejor solución.
8. Diseño detallado: Se refiere a la creación de dibujos o diseños preliminares al diseño conjunto.
9. Creación de prototipos y pruebas: En esta etapa se generan los modelos que demuestren el funcionamiento del mecanismo, proceso o sistema, así como la evaluación por medio de pruebas de la funcionalidad del mismo.
10. Producción: Finalmente ya teniendo la mejor solución posible y sabiendo que la misma será capaz de funcionar, se procede a llevar a cabo el producto final. (Norton 2008).

### 3. Matriz de decisión

Una matriz de decisión es un gráfico utilizado para identificar y analizar la relación entre un conjunto de datos, para la toma de decisiones. Una matriz de decisión debe de contener:

a. Alternativas:

Se ubica en las filas de la matriz, para ser consideradas como válidas deben cumplir las siguientes características: ser viable, que el ejecutor pueda controlarlas, estar orientada a cumplir por lo menos con uno de los objetivos y ser mutuamente excluyentes con las demás alternativas.

b. Estados naturales:

Se sitúa en las columnas de la matriz, son variables no controladas, representa las situaciones o sucesos en los que no se pueden influir y que condicionan la decisión que se tome.

c. Resultados:

Se ubican en las intersecciones entre filas y columnas de la matriz, se colocan los resultados esperados en cada una de las estrategias y su respectivo estado natural.

### 4. Matriz de riesgos

Se le conoce como matriz de riesgo al método empleado para evaluar posibles riesgos en un proceso o funcionamiento, sus causas, posibles manejos y la gravedad de estos. Esta herramienta también toma en cuenta las acciones para controlar, monitorear, medir e informar los distintos tipos de riesgos a los que se expone al proceso. (Palma. 2011)

Figura 3: Ejemplos de matriz de riesgos

		Severidad		
		Ligeramente dañino LD	Dañino D	Extremadamente dañino ED
Probabilidad	Baja B	Riesgo trivial T	Riesgo tolerable TO	Riesgo moderado MO
	Media M	Riesgo tolerable TO	Riesgo Moderado MO	Riesgo importante I
	Alta A	Riesgo moderado MO	Riesgo Importante I	Riesgo intolerable IN

(Fuente: Cementos progreso)

El método de evaluación de cada riesgo que se tiene es por medio de dos valores asignados acorde a la probabilidad de ocurrencia y al impacto que causaría para el proceso. Estos valores son multiplicados entre sí para obtener un nuevo y definitivo valor. Posteriormente se realiza una matriz para clasificar la criticidad de cada uno de los riesgos de manera gráfica.

Cuadro 1: Gravedad de falla

Grado de severidad	Descripción
Levemente dañino (LD)	A la seguridad Lesiones menores sin incapacidad tales como: cortes y magulladuras pequeñas, irritación de los ojos por polvo.
	A la salud No causa efectos agudos en la salud, sin incapacidad, ni secuelas se limitan a molestias e irritación, por ejemplo: dolor de cabeza, disconfort.
	A las instalaciones Genera pérdidas económicas imperceptibles, y/o no interfiere en ninguna actividad del proceso productivo

Grado de severidad	Descripción
Dañino (D)	<p>A la seguridad Causa lesiones con incapacidad temporal, sin secuelas, sin invalidez tales como: Laceraciones, quemaduras, conmociones, torceduras importantes, fracturas menores</p>
	<p>A la salud Causa efectos agudos o crónicos en la salud, con incapacidad temporal, sin secuelas, sin invalidez tales como: Dermatitis, afecciones respiratorias, trastornos músculo-esqueléticos.</p>
	<p>A las instalaciones Genera pérdidas económicas menores, y/o pueden interferir temporalmente en una o más actividades del proceso productivo</p>
Extremadamente dañino (ED)	<p>A la seguridad Puede generar muerte o incapacidad permanente con secuelas y/o invalidez tales como: Amputaciones, fracturas mayores, intoxicaciones, lesiones múltiples, lesiones fatales, muerte</p>
	<p>A la salud Sospechoso o confirmados efectos cancerígenos, mutagénicos, generador de muerte o secuelas (efectos crónicos) e incapacidad permanente con o sin invalidez</p>
	<p>A las instalaciones Generador de grandes pérdidas económicas, y/o puede comprometerse el funcionamiento del proceso productivo</p>

(Fuente: Cementos progreso)

## B. Materiales estructurales

En el diseño del mecanismo se determinó que el material del mismo debería de ser lo suficientemente resistente para poder levantar dos pallets con carga y soportar los esfuerzos a los que se vería sometida la estructura sin comprometer la seguridad de la misma, por lo cual se eligió el acero debido a sus propiedades y uso en la industria. Para la elección del tipo de acero al se evaluaron múltiples opciones, con ayuda del libro de “*Diseño de estructuras de acero*”, se procedió a evaluar las mejores opciones en cuanto a tipo de acero estructural, el cual resulto ser Acero negro ASTM A36 para las platinas y Acero negro ASTM A500 para los tubos cuadrados.

Se evaluaron también las distintas normativas para la fabricación de aceros dentro de las distribuidoras de acero de Guatemala. ASTM A 36 y ASTM A 500 como las más empleada y por lo tanto la elegida para la selección del Acero negro.

### 1. Norma ASTM A36

ASTM A36 trata específicamente sobre perfiles, placas, y barras de acero al carbono de calidad estructural para usar en construcción remachada, atornillada o soldada, en puentes y edificios, y para propósitos estructurales generales, como es el caso.

Para productos estructurales producidos en rolado caliente y suministrados sin tratamiento térmico o solamente, con alivio de esfuerzos, los requisitos adicionales, incluyendo requisitos de ensayos y los informes de resultados de ensayos adicionales, se aplica A6A y 6M, donde se contempla también especificaciones para soldar el material adecuadamente según el grado de acero y el uso al mismo. Para que los productos puedan contar con esta norma, la producción de materiales debe cumplir con distintas regulaciones detalladas a continuación: (ASTM International, 2019)

Cuadro 2: Propiedades químicas del acero estructural ASTM A36

Elemento	Contenido
Carbón, C	0.25 - 0.290 %
Cobre, Cu	0.20 %
Hierro, Fe	98.0 %
Manganeso, Mn	1.03 %
Fosforo, P	0.040 %
Silicón, Si	0.280 %
Azufre, S	0.050 %

(Fuente: ASTM International 2019)

Cuadro 3: Propiedades físicas del acero estructural ASTM A36

Propiedad física	Sistema de unidades métrico	Sistema de unidades imperial
Densidad ( $\rho$ )	7.85 g/cm <sup>3</sup>	0.284 lb/in <sup>3</sup>
Módulo de elasticidad (E)	200 GPa	29,000 Psi (199.95 MPa)
Módulo de cizallamiento (G)	79.3 GPa	11,500 Psi (79,29 MPa)

(Fuente: ASTM International 2019)

Cuadro 4: Propiedades mecánicas del acero estructural ASTM A36

Propiedades mecánicas	Sistema de unidades métrico	Sistema de unidades imperial
Resistencia a la tracción	400 - 550 MPa	58000 - 79800 psi
Límite de fluencia mínimo	250 MPa	36300 psi
Elongación en el interruptor (en 500 mm)	25.0 %	25.0 %
Módulo de elasticidad	200 GPa	29000 ksi
Modulo a granel (típico del acero)	140 GPa	20300 ksi
Proporción de Poisson	0.260	0.260
Módulo de resistencia	79.3 GPa	11500 ksi

(Fuente: ASTM International 2019)

El Acero negro A 36 pertenece al grupo de los Aceros al Carbono, los cuales tienen presente el Carbono y algunos otros elementos residuales, como el Manganeso, Silicio, Fosforo y azufre en cantidades normales. Este es el material considerado perfecto para la elaboración de estructuras, debido a su versatilidad, su gran resistencia, poco peso, uniformidad, elasticidad, durabilidad, ductilidad, tenacidad, facilidad de fabricación y otras propiedades convenientes. El mayor de sus problemas es la resistencia a la corrosión, que de igual manera puede ser tratado de distintas formas. Este material es conocido también como Acero Estructural. (ASTM International, 2019)

Generalmente este acero se obtiene por laminación y sus límites de resistencia varían de 40 a 50 Kgf/mm<sup>2</sup>, (57,000 a 71,000 PSI), según “*El Compendio de Normas para Productos de Acero*”. Se busca que, al producir estos materiales, el proceso de laminación se trabaje en caliente para garantizar la ductilidad y homogeneidad necesarias. Una correcta ductilidad garantiza que el material se pueda trabajar correctamente en corte, doblado, perforado, entre otros. Todos estos parámetros son regulados por distintas normas, entre ellas ASTM, las cuales son empleadas dentro de Guatemala para la comercialización de sus productos.

Es importante conocer de este material propiedades como el límite de fluencia y el módulo de elasticidad para realizar los cálculos pertinentes de la estructura planteada. Asimismo, se toma en cuenta también la

soldabilidad, ya que deben ser capaces de ser soldados sin alterar su microestructura y su resistencia a la corrosión.

En las estructuras, los perfiles de acero al Carbono utilizados son los más diversos, sobresaliendo los siguientes: barras redondas, cuadradas, hexagonales, planas, angulares, canales, perfiles doble T, etc.

Para plantear un diseño adecuado según los perfiles de materiales existentes para Acero negro en Guatemala, primero se procedió a hacer un estudio de mercado de materiales dentro del país, tomando en cuenta únicamente las opciones viables para el proyecto. Luego de evaluar las opciones, según el espesor y los tamaños existentes se determinó que la mejor opción para la estructura es la combinación de tubo estructural cuadrado y las platinas de Acero negro.

## 2. Tubo estructural cuadrado

La tubería estructural cuadrada se emplea generalmente con fines estructurales y de mantenimiento, en construcciones de edificios, barandillas, postes y estructuras varias. Generalmente se comercializa según sus medidas dimensionales del exterior y grosor. Se fabrica de lámina rolada en caliente en presentación de 6m, es ideal para estructuras que tengan diversas necesidades de esfuerzos mecánicos como: armaduras de techos y de entre pisos, gradas y pasarelas, estructuras generales, entre otras.

Los materiales mayormente empleados para la fabricación de este tipo de tubos son el aluminio y acero, aunque existen también de hierro, empleado mayormente por su tenacidad en estructuras donde el peligro debido a la oxidación es nulo. Se venden en presentaciones desde 60 cm hasta 7mts.

El tubo estructural cuadrado de acero posee propiedades como resistencia a la corrosión y a temperaturas externas lo cual hace que sea el material idóneo para estructuras. Es fácil de soldar, de moldear y mecanizar según sea necesario, gracias a su alta densidad.

## 3. Platinas

Las platinas son barras de acero al carbono laminadas en caliente. Las barras planas son productos levemente redondeados en sus cantos en forma de barra y rectan en estado de laminación en caliente. La pletina al ser un perfil muy liviano y esbelto tiene una resistencia a la tracción considerable. Se entregan en barras rectas, en su estado de laminación en caliente y sin tratamientos posteriores.

Las platinas o barras planas son empleadas en la fabricación de mordazas, abrazaderas, prensa para cables, piezas y partes de maquinarias, estructuras metálicas, rejas y muebles.

Normas técnicas:

- Propiedades Mecánicas: ASTM A36/A36M

- Tolerancias Dimensionales: ISO 1035/4

#### 4. Mercado de tubos cuadrados y Platinas en Guatemala

Las empresas que distribuyen estos materiales dentro de Guatemala posee la siguiente variedad de dimensiones que pueden ser de utilidad para este proyecto:

Cuadro 5: Dimensiones comerciales de platinas en Guatemala

Descripción	Medida de ancho	Medida de espesor	Medida de largo	Peso
Platinas	4"	3/4"	10'	102.86 lb
	4"	3/4"	20'	357.37 lb
	7"	1"	20'	476.39 lb

(Fuente: Grupo AP)

En cuanto al tubo estructural cuadrado, se evaluaron los siguientes distribuidores con sus respectivos precios:

Se evaluaron las siguientes opciones como distribuidoras de acero dentro de Guatemala:

1. Multigroup
2. Proaceros
3. Mainco
4. Grupo AP

Cuadro 6: Precios del material en el mercado de Guatemala

Distribuidor	Tipo	Medidas	Precios
Multigroup,	Tubo estructural	3" X 3" X 1/2 X 6M	Q1,613.00
Proaceros		3" X 3" X 1/2 X 6M	N/A
Mainco	cuadrado	3" X 3" X 1/2 X 6M	Q1,800.00

(Fuente: Elaboración propia)

Cuadro 7: Precios del material en el mercado de Guatemala

Distribuidor	Tipo	Medidas	Precios
Multigroup,	Tubo estructural	4" X 4" X 1/2 X 6M	Q2,530.00
Proaceros		4" X 4" X 1/2 X 6M	Q2,984.00
Mainco	cuadrado	4" X 4" X 1/2 X 6M	N/A

(Fuente: Elaboración propia)

Cuadro 8: Precios del material en el mercado de Guatemala

Distribuidor	Tipo	Medidas	Precios
Multigroup,	Platinas	4" X 1" X 6M	Q1,002.00
Proaceros		4" X 1" X 6M	Q1,613.00
Mainco		4" X 1" X 6M	N/A

(Fuente: Elaboración propia)

Todos los proveedores dentro de Guatemala comercializan el Acero negro según la norma ASTM A36, esta norma es aplicable para perfiles, placas, tubos y barras de acero al carbono de calidad estructural para usar en construcción remachada, atornillada o soldada, para diversas estructuras generales.

## C. Proceso de construcción

Según el material seleccionado para el proyecto, se evaluaron también las distintas herramientas necesarias para trabajarlos, existentes en el mercado de Guatemala. Más específicamente la soldadura pertinente y la pintura para el tratamiento de material.

### 1. Soldadura de acero estructural ASTM A36

La soldadura se define como un proceso de unión entre un material de aporte y un metal base, en el que la adherencia se produce, con aporte de calor y con aplicación de presión o sin ella. (Cembrero J, 2005)

Usualmente se consideran dos tipos de soldadura:

a) Soldadura blanda: La cual se caracteriza porque las aleaciones que emplea tienen una temperatura de fusión inferior a los 450 °C y su resistencia mecánica es muy baja.

b) Soldadura fuerte: La temperatura de fusión de las aleaciones empleadas para soldar es superior a 450 °C, con esta soldadura se consigue una mayor resistencia mecánica de la unión.

Otras clasificaciones de las soldaduras hacen referencia a la fuente de calor, al aporte del material de unión y al medio donde se efectúa la unión. (Cembrero J, 2005)

Existen diversos procesos de soldadura dependiendo de las herramientas empleadas y el modo de uso, entre estos procesos se encuentran: OFW (Oxi Fuel Welding. Soldadura Oxi Combustible), FCAW (Flux CoredArcWelding. Soldadura por Arco con Electrodo Tubular con núcleo Fundente), SMAW (Shielded Metal ArcWelding. Soldadura por Arco con Electrodo Revestido), SAW (SubmergedArcWelding. Soldadura por Arco Sumergido), GMAW (Gas Metal ArcWelding. Soldadura por Arco con protección gaseosa), GTAW (Gas TungstenArcWelding. Soldadura por Arco con Electrodo de Tungsteno y Gas Protector), PAW (Plasma ArcWelding. Soldadura por Arco de Plasma), ESW (Electro SlagWelding. Soldadura por Electro Escoria), EGW (Electro Gas Welding. Soldadura por Electro Gas), SW (StrudWelding. Soldadura por Espárragos), ICDF (Inertia and Continuos Drive FrictionWelding. Soldadura por Fricción e Inercia); entre otros.

Según la AWS, el proceso de soldadura y el material de soporte correspondiente al Acero estructural ASTM A36 es el SMAW y el electrodo E7018.

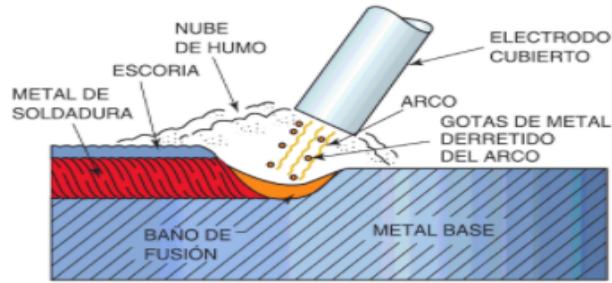
## 2. Proceso de soldadura SMAW

Soldadura por arco metálico protegido (SMAW)

SMAW es la soldadura por arco con electrodo revestido y es el proceso de soldadura más común. Es un proceso en el que por medio de la transmisión de una corriente eléctrica se llega a la fusión entre el electrodo y el metal base, producido gracias al calor generado. El arco se rodea por una nube de humo y escoria del fundente protector. Una vez el material de aporte es despedido sobre el metal base, se solidifica formando una única pieza. (Jeffus, 2009)

Tiene como ventajas su versatilidad, equipo necesario simple, practicidad y bajo precio. Es versátil ya que se puede soldar en una amplia variedad de materiales con solo emplear distintos electrodos, entre ellos, el aluminio, hierro fundido y níquel. Es simple ya que el electrodo suministra el material de aporte y protección del arco, es menos sensible al ambiente que los procesos por gas y se puede soldar en más áreas limitadas. La aplicación más común de este proceso de soldadura es el acero estructural. (Jeffus 2009)

Figura 4: Elementos de soldadura por arco metálico



(Fuente: Larry Jeffus, 2009)

El proceso de soldadura SMAW puede alcanzar temperaturas de hasta 6000°C. Esta temperatura dependerá de la composición química del material base, la longitud de arco y la resistencia a la corriente. Esta energía transformada en calor tiene una pérdida de aproximadamente el 50% en forma de luz y ondas de calor, razón por la cual es recomendable emplear siempre equipo de seguridad ocular y barreras aislantes al calor.

Para realizar cálculos de esfuerzos de compresión o tensión presentes en la soldadura, se utiliza la ecuación:

$$\sigma = F / hL$$

Ecuación 1: Cálculos de esfuerzos (Jeffus, 2009)

“F” = fuerza ejercida

“h” = grosor del cordón

“L” = la longitud de este.

Para saber, entonces, el esfuerzo que la soldadura es capaz de soportar, se debe comprender la nomenclatura de los electrodos por soldadura con arco sumergido. La nomenclatura de los electrodos está estandarizada por medio de la AWS.

### 3. Electrodo E7018

El material de aporte se obtiene por la fusión del electrodo en forma de pequeñas gotas. La protección se obtiene por la descomposición del revestimiento en forma de gases y en forma de escoria líquida que flota sobre el baño de fusión y, posteriormente solidifica. Los electrodos usualmente son de acero de bajo carbono, y están recubiertos con un material fundente que crea una atmósfera protectora que evita que se oxide el metal fundido y favorece la operación de soldeo.

En cuanto a la elección del material de soporte correspondiente, se basa en dos criterios:

- La igualación de la resistencia con material base
- Igualación de resistencia y similitud de composición química.

(Montoya, 2015)

Según estos criterios y los materiales de aporte presentes en el mercado, se determinó que la mejor opción es el electrodo ECA E7018.

Para saber qué propiedades posee este electrodo, es necesario entender primero la designación de los electrodos. La especificación AWS A5.1 la cual se refiere a los electrodos para soldadura de aceros al carbono, trabaja con la siguiente designación para electrodos revestidos:

E XXYY - 1 HZR

Donde:

- E: Indica electrodo para soldadura por arco, el cual por definición conduce la corriente por arco.
- XX: Dos dígitos que designan la mínima resistencia a la tracción del metal depositado, en Ksi.
- YY: Dos dígitos que designan las posiciones de soldadura en que puede trabajar el electrodo, el tipo de revestimiento y el tipo de corriente adecuado para el electrodo. El primer dígito indica la posición (1=todas, 2=plana y horizontal, 4 todas, pero especialmente para vertical descendente), la combinación de los dos dígitos indica las otras características.

Las designaciones después del guion son opcionales:

- 1: Designa que el electrodo (E 7016, E 7018 o E 7024) cumple con los requisitos de impacto mejorados E y de ductilidad mejorada en el caso E 7024.
- HZ: Indica que el electrodo cumple con los requisitos de la prueba de hidrógeno difusible para niveles de "Z" de 4.8 ó 16 ml de H<sub>2</sub> por 100gr de metal depositado (solo para electrodos de bajo hidrógeno).
- R: Indica que el electrodo cumple los requisitos de la prueba de absorción de humedad a 80°F y 80% de humedad relativa (solo para electrodos de bajo hidrógeno).

El electrodo E7018 de diseño de bajo hidrógeno tiene un recubrimiento con 30% de hierro pulverizado, pueden trabajar ya sea con CC o AC de polaridad invertida. Tienen una capa de recubrimiento ligeramente más gruesa que otros tipos de bajo hidrógeno que los hace de fácil uso.

Según la AWS A5.1 el electrodo E7018 tiene las siguientes propiedades explicadas de la siguiente forma:

Requerimientos generales:

Cuadro 9: Clasificación según AWS A5.1 para el electrodo E7018

Electrodo E7018	
Tipo de recubrimiento	Bajo hidrógeno, potasio, polvo de hierro
Posición de soldadura	Plana (F), Vertical (V), Sobre cabeza (OH), Filete Horizontal (H-filete)
Corriente de soldadura	AC o DC - EP

(Fuente: AWS A5.1)

Cuadro 10: Composición química para metal de soldadura correspondiente al electrodo E7018

Composición química requerida para metal de soldadura												
Clasificación AWS		Numero UNS	Porcentaje en peso									Limite combinado para Mn+Ni+C+r+Mo+V
A5.1	A5.1M		C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	V	
E7018	E4918	W07018	0.15	1.6	0.75	0.03	0.03	0.3	0.2	0.3	0.08	1.75

(Fuente: AWS A5.1)

Cuadro 11: Propiedades mecánicas según AWS para electrodo E7018

Propiedades mecánicas según AWS para electrodo E7018		
Resistencia a la tensión	490 Mpa	70,000 Psi
Límite elástico	400 Mpa	58,000 Psi
Elongación	22%	
Impacto a -30° C en probetas Charpy V Notch	27 Joules	

(Fuente: AWS A5.1)

#### 4. Mercado de electrodos E7018 en Guatemala

Finalmente, las medidas disponibles en Guatemala para el electro E7018 son las siguientes:

Cuadro 12: Medidas disponibles electrodo E7018 en Guatemala

Medidas disponibles electrodo E7018 en Guatemala			
Milímetros	Pulgadas	Amperes	Cobertura
2.4 x 356	3/32 x 14	70-100	7 a 8 cm
3.2 x 457	1/8 x 18	90-140	1 a 10 cm
4.0 x 457	5/32 x 18	130-170	11 a 13 cm
4.8 x 457	3/16 x 18	160-200	14 a 15 cm

(Fuente: ECA Electrodo)

En Guatemala existen las siguientes distribuidoras de electrodos:

1. ECA
2. Productos del Aire
3. Electroma

Cuadro 13: Precio de los electrodos según proveedores de Guatemala

Precios	Tamaños	Marcas		
		ECA	Productos del aire	Hilco
	3/32 x 14	Q92.00 x 11 lb	Q11.00 x lb	15.60 x lb
	1/8 x 18	Q85.00 x 11lb	Q10.35 x lb	13.99 x lb
	5/32 x 18	Q95.00 x 11 lb	Q11.00 x lb	15.60 x lb
	3/16 x 18	Q135.00 x 11 lb	N/A	17.5 x lb

(Fuente: Elaboración propia)

## D. Anticorrosivos

### 1. Corrosión

La corrosión es el deterioro de un material debido a un ataque electroquímico por el ambiente. Es decir que es la tendencia de los materiales a buscar su estabilidad molecular. La corrosión debida a la oxidación dependera de la temperatura, salinidad del ambiente, propiedades del acero estructural ASTM A36 y por el contacto con otros materiales.

La corrosión afecta de varias formas, en materiales propensos a la misma es necesario emplear mayores factores de seguridad, mantenimientos preventivos y correctivos constantes, se debe emplear materiales más nobles y caros y es necesario dar revisiones constantes a la maquinaria debido a la pérdida de eficiencia. Todo eso se traduce en costos, los cuales es necesario tomar en cuenta.

La corrosión puede ocurrir de varias formas y se divide esencialmente de la siguiente forma:

- Corrosión uniforme: La corrosión uniforme es la más común, la misma se distribuye uniformemente por grandes superficies metálicas, por lo que se puede predecir su velocidad fácilmente.
- Corrosión localizada: Ocurre cuando el metal se encuentra expuesto a la presencia de un ambiente que no es homogéneo.
  - Macroscópica
    - Galvánica: Esta puede ocurrir cuando dos metales diferentes en contacto eléctrico son expuestos a una solución conductora de electricidad.
    - Agrietamiento: Con el tiempo en el interior de la grieta la corrosión debido a factores ambientales afecta de manera más agravada.
    - Picadura: Ataque localizado asociado a la fractura local de una película pasiva que ocurre muchas veces en la presencia de cloratos y de la pasivación incompleta
    - Ataque selectivo
    - Microbiológica
  - Microscópica
    - Intergranular
    - Bajo tensión

La corrosión debe ser tomada en cuenta desde la etapa de diseño, existen múltiples formas simples de evitarla. En el diseño se aconseja formas de construcción simples, evitando grietas donde pueda existir humedad residual, se aconseja evitar juntas de materiales diferentes, y aplicar tratamientos anticorrosivos a las estructuras. (Panoni 2015)

## 2. Métodos de inhibición de corrosión

### a. Pintura anticorrosiva

La pintura anticorrosiva es el principal medio de protección de estructuras metálicas, existen varios factores a considerar antes de elegir la pintura como medio anticorrosivo, así como también es necesario conocer el procedimiento adecuado, de tal forma que la pintura tenga el efecto esperado en el área de aplicación.

Factores a considerar:

- Tipo de sustrato
- Preparación superficial recomendado
- Expectativa de vida al primer mantenimiento
- Facilidad de acceso a las superficies
- Compatibilidad con otros materiales existentes
- Calidad de la pintura y del aplicador, etc.

Para poder aplicar una pintura anticorrosiva es necesario antes preparar la superficie, para esto, se busca primero remover todo material que impida el contacto entre la pintura y la superficie (polvos, combustibles, grasas y óxidos). Por la naturaleza del proyecto, lo más adecuado es hacer una limpieza con solventes, que sirve específicamente para remover materiales extraños.

Según el tipo de material, el mercado local y el costo de la pintura se pueden aplicar varios tipos de pintura anticorrosiva según la tabla a continuación. (Panoni 2015)

Cuadro 14: Desempeño según el tipo de pintura

Duración de la protección	Requisitos para diferentes pinturas
Corta duración (1 a 5 años)	Materiales mono componentes, como las pinturas alquídicas, emulsiones y acrílicas
Media duración (5 a 10 años)	Materiales bicomponentes, como primers ricos en zinc, epóxicas y poliuretanos
Larga duración (+ de 10 años)	Sistemas bicomponentes como metalización seguida de pinturas epóxicas, poliuretanos, etc.

Fuente: Pannoni 2015

### 3. Pintura anticorrosiva poliuretánica

De esta forma se determinó que la pintura adecuada para la estructura según el tipo de material y exposición al ambiente será la pintura anticorrosiva poliuretánica, la cual fue elegida ya que es la más común para la protección contra estructuras metálicas. Más específicamente se buscó una pintura poliuretánica debido a la resistencia que poseen a la intemperie, así como ser las más usadas en estructuras expuestas al tiempo y calor.

Las pinturas poliuretánicas son pinturas de dos componentes en el que el componente A es vaciado en resina de poliéster o resina acrílica, y el B, es el ente del curado, a base de isocianato alifático. Las pinturas Poliuretánicas son bastante resistentes a la intemperie. De este modo, son adecuadas en pintura de acabado en estructuras expuestas al tiempo. Son compatibles con pinturas epóxicas y resisten por muchos años con menor pérdida de color y de brillo original. (Panoni 2015)

### 4. Mercado de pinturas anticorrosivas en Guatemala

En Guatemala existen pinturas anticorrosivas poliuretánicas de las siguientes marcas:

- Protecto
- Sherwin Williams
- Corona

Cuadro 15: Precios de la pintura anticorrosiva poliuretánica dentro de Guatemala

Marca	Precio	Tamaño
Protecto (larga duración)	Q163.00	1 galón
Sherwin Williams (larga duración)	Q220.00	1 galón
Corona (larga duración)	Q185.00	1 galón

(Fuente: Elaboración propia)

### E. Análisis de esfuerzos presentes

Luego de plantear los materiales y el modo de trabajarlos, es necesario evaluar los esfuerzos a los que estará sometido el mecanismo para diseñar una estructura capaz de soportarlos. Los esfuerzos se deben al total de las fuerzas y el momento total que actúa sobre la superficie a través de toda el área del mecanismo.

Estos esfuerzos tendrán componentes normales y cortantes tangenciales. Si la dirección del esfuerzo normal es saliente se considera como flexión y si es entrante se considera como compresión.

## 1. Esfuerzo por flexión

Un esfuerzo normal por flexión se encuentra presente cuando el elemento analizado se encuentra en flexión pura, es decir, no hay ninguna fuerza cortante presente en el elemento. Para que este tipo de esfuerzos se presenten, las áreas transversales se tienen que mantener planas durante la flexión, el elemento debe tener un eje de simetría y el material debe cumplir con la ley de Hooke. Para calcular este esfuerzo, se utiliza la ecuación:

$$\sigma = M/Z$$

Ecuación 2: Cálculos del esfuerzo por flexión (Budynas 2011)

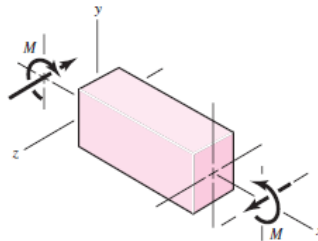
Donde:

“ $\sigma$ ” = el esfuerzo por flexión,

“ $M$ ” es la reacción de los puntos de apoyo

“ $Z$ ” = módulo de la sección. Sus dimensiones son dadas en pascales (Pa) en sistema internacional, y en libras por pulgada cuadrada (PSI) en sistema inglés. (Budynas 2011)

Figura 5: Flexión pura



(Richard Budynas, 2011)

## 2. Esfuerzo por compresión

El esfuerzo de compresión puro se da cuando existen dos fuerzas en dirección opuesta, ambas hacia el centro de un elemento. El caso más normal donde se encuentra presente este esfuerzo es al existir una fuerza sobre un elemento estático, ya que este produce una reacción de igual magnitud y dirección contraria. Al igual que el esfuerzo cortante, este se calcula por la ecuación:

$$s = F / A$$

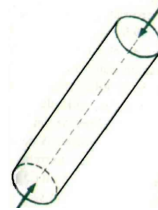
Ecuación 3: Cálculos del esfuerzo por compresión (Budynas 2011)

Donde:

“F” = la fuerza compresora

“A” = área transversal donde la fuerza es aplicada. Las dimensionales de este esfuerzo son Pascales (Pa) y libras por pulgada cuadrada (PSI). (Budynass 2011)

Figura 6: Compresión pura



(Richard Budynass, 2011)

### 3. Esfuerzo por corte

El esfuerzo cortante puro se define como el efecto de una fuerza aplicada sobre un área sin provocar flexión alguna, es decir, la distancia entre la fuerza y el punto de apoyo u otra fuerza es tan pequeña que el elemento en lugar de flexionarse se corta. El cálculo de este esfuerzo se hace por medio de la ecuación:

$$s = F / A$$

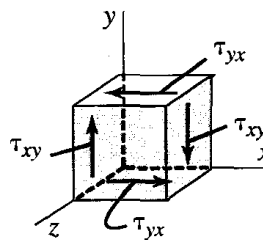
Ecuación 4: Cálculos del esfuerzo por corte (Budynas 2011)

Donde:

“F” es la fuerza aplicada

“A” el área del objeto sobre el cual se aplica la fuerza. Las unidades del esfuerzo cortante, si es en sistema inglés, son libras por pulgada cuadrada (PSI); si es en sistema internacional, son pascales (Pa). (Budynass 2011)

Figura 7: Esfuerzo cortante puro

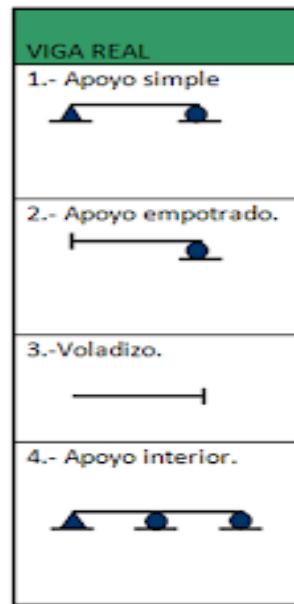


(Richard Budynass, 2011)

#### 4. Deformación de una viga

La deformación total de una viga se refiere a la desviación de esta respecto a sus dimensiones estándares en alguno o todos sus ejes. El cálculo de esta depende del tipo de apoyo y de la distribución de la fuerza a lo largo de esta. Los tipos de apoyo pueden ser simples, empotrados o en voladizo, como se puede apreciar en la Figura # 8.

Figura 8: Tipos de apoyo de vigas



(Ray Hustle, 2000)

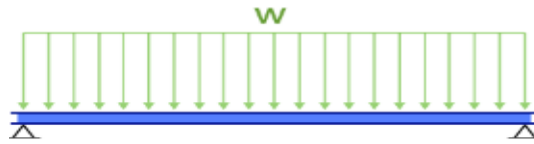
En cuanto a las fuerzas que pueden ser aplicadas en las vigas, estas pueden ser puntuales (en un único o varios puntos) o distribuidas (a lo largo de una sección de la viga).

En el caso de la estructura de una máquina, uno de los casos más comunes de esfuerzos y apoyos de encontrar es una viga con dos apoyos simples y una fuerza distribuida, como se puede apreciar en la Figura # 8. Para calcular la deformación en este caso se utiliza la ecuación:

$$\varphi_{max} = F a^2 \frac{3L - a}{6EI}$$

Ecuación 5: Cálculos de la deformación de una viga (Ray Hustle, 2000)

Figura 9: Viga con doble apoyo y fuerza distribuida



(Ray Hustle, 2000)

Donde:

“F” = el valor de la carga,

“a” = área de la viga

“L” = la longitud de esta,

“E” = el módulo de elasticidad del material

“I” = la inercia de la viga. (Ray Hustle, 2000)

## 5. Energía de distorsión

La teoría de energía de distorsión (también llamada teoría von Mises) dice que el elemento analizado fallará por fluencia en el momento que la energía de deformación total por unidad de volumen alcance la energía de deformación que corresponde a la resistencia a la fluencia del material dúctil que se está analizando. La teoría considera la presencia de esfuerzos efectivos, también llamados Esfuerzos von Mises. Es importante mencionar que para diseño involucrando materiales dúctiles, se recomienda el uso de esta teoría por sobre otras, ya que no predice falla bajo presión hidrostática. El cálculo del esfuerzo von Mises es realizado por medio de la ecuación:

$$\sigma' = \left[ \frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2} \right]^{1/2}$$

Ecuación 6: Cálculos del esfuerzo de von Mises (Budynas 2011)

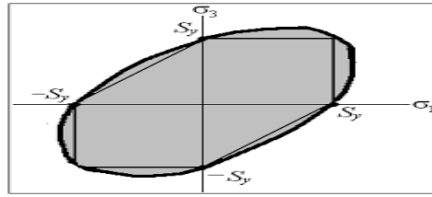
Donde:

“ $\sigma'$ ” = esfuerzo von Mises,

“ $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ ” = esfuerzos en los planos “x”, “y” y “z”.

El resultado es entregado en pascales (Pa), si se utiliza el sistema internacional; y en libras por pulgada cuadrada (PSI), si se utiliza el sistema inglés. Esta teoría se emplea por sobre la teoría de Esfuerzo Cortante Máximo y la teoría Mohr-Culomb para diseño, ya que suele ser la más acertada y menos conservadora en cuanto a la falla de los materiales por esfuerzos se refiere (Budynas 2011).

Figura 10: Gráfica de valores de teoría de energía de distorsión



(Richard Budynass, 2011)

Para realizar el cálculo de los esfuerzos von Mises, algunos softwares de diseño, como Ansys workbench, realizan una serie de iteraciones en varios puntos del objeto analizado para encontrar los esfuerzos presentes en cada punto de dicho objeto. Para realizar dichos cálculos, en el caso de Ansys, se utiliza la ecuación:

$$\epsilon_e = \frac{1}{1+\nu} \left( \frac{1}{2} \left[ (\epsilon_1 - \epsilon_2)^2 + (\epsilon_2 - \epsilon_3)^2 + (\epsilon_3 - \epsilon_1)^2 \right] \right)^{\frac{1}{2}}$$

Ecuación 7: Cálculos del esfuerzo de Von Mises (Budynas 2011)

Donde:

“E\_e” = esfuerzo equivalente,

“E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, y E<sub>3</sub>” = los esfuerzos en cada eje

“V” = coeficiente de Poisson del material.

Para indicar el esfuerzo máximo presente en el cuerpo analizado, se utiliza una clave de color, siendo rojo el esfuerzo máximo y azul el mínimo.

## F. Análisis de desgastes

Tomar en cuenta el desgaste en el diseño de estructuras es de suma importancia debido a la implicación en la vida útil, la calidad, el costo y la tecnología. Muchas piezas deben ser reemplazadas debido al desgaste para garantizar la confiabilidad de la estructura. En la etapa de diseño es aconsejable que las piezas sometidas a mayor desgaste sean reemplazables fácilmente.

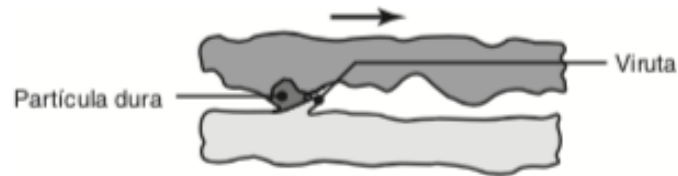
### 1. Desgaste abrasivo

Este desgaste es causado por una superficie dura, rugosa, que se desliza sobre otra superficie. Este movimiento genera micro virutas o astillas, dejando así muescas o raspaduras en la superficie más blanda. Este tipo de desgaste se divide en dos subcategorías:

- Desgaste de dos cuerpos (desgaste erosivo)
- Desgaste de tres cuerpos

La resistencia al desgaste abrasivo de los metales puros y cerámicos es proporcional a su dureza. Por lo tanto, es posible disminuirlo aumentando la dureza de los materiales por medio de tratamientos térmicos. (Kalpakjian, 2008)

Figura 11: Esquema de desgaste abrasivo en el deslizamiento

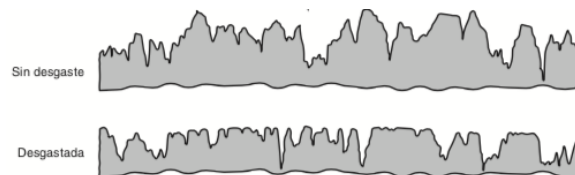


Fuente: Kalpakjian, 2008

## 2. Desgaste adhesivo

Este desgaste se presenta al aplicar una fuerza tangencial a la superficie de un material, eliminando los picos y reduciendo la rugosidad del material. Durante el desplazamiento entre los dos materiales, el material más blando será el desgastado con mayor rapidez, mientras que el más duro tardará en presentar señales de desgaste. (Kalpakjian, 2008)

Figura 12: Cambios en los perfiles originales de una superficie por desgaste adhesivo



Fuente: Kalpakjian, 2008

## 3. Desgaste corrosivo

Este desgaste es también conocido como oxidación o desgaste químico, el cual es causado por reacciones químicas o electroquímicas entre las superficies y el ambiente. Los productos corrosivos finos sobre una superficie constituyen las partículas de desgaste. Cuando la capa corrosiva se destruye o retira mediante deslizamiento o abrasión, empieza a formarse otra y se repite el proceso de remoción y formación de capas corrosivas.

Entre los medios corrosivos se encuentran el agua potable, el agua de mar, el oxígeno, los ácidos y productos químicos, el ácido sulfhídrico y el dióxido sulfúrico atmosféricos. El desgaste corrosivo se puede reducir mediante:

- La selección de materiales que resistan el ataque ambiental.
  - El control del ambiente.
  - La reducción de las temperaturas de operación para disminuir la velocidad de la reacción química.
- (Kalpakjian, 2008)

## G. Herramientas de diseño

Finalmente, en cuanto al diseño se evaluaron distintas herramientas de Autodesk Inventor para facilitar la realización del diseño. Estas herramientas tienen como objetivo reducir la cantidad de procesos en la elaboración del diseño y mejorar la calidad del mismo. Dentro de estas herramientas se tienen las siguientes:

### 1. Herramienta “Parámetros” Inventor Autodesk

La herramienta parámetros en los archivos de piezas y ensamblajes ayudan a proporcionar un control sobre piezas y ensamblajes individuales, al mismo tiempo que mejoran la eficiencia dentro de los diseños. Los parámetros de pieza permiten el uso de iParts, que son una forma de piezas controladas por tablas. Se accede a los parámetros a través del menú Herramientas y dentro de los paneles de herramientas Componentes de piezas y Conjunto. Además de los parámetros, se puede usar iProperties para agregar información a sus archivos.

Los parámetros de la pieza están compuestos por parámetros del modelo, parámetros del usuario, parámetros de referencia y parámetros personalizados. Los parámetros del modelo se incorporan automáticamente a medida que una parte se dimensiona y se crean características. La mayoría son una imagen reflejada del proceso de creación de bocetos. A medida que se crea cada dimensión en un boceto, se crea un parámetro de modelo correspondiente, comenzando con un parámetro llamado d0 y aumentando cada vez que se crea un nuevo parámetro. Cuando nombra una dimensión, está cambiando el nombre del parámetro asignado automáticamente. Para acceder a la lista de parámetros, seleccione la pestaña Administrar y haga clic en el botón Parámetros. (Waguespack, 2014)

Figura 13: Lista de parámetros

Parameters						
Parameter Name	Unit/Typ	Equation	Nominal Value	Tol.	Model Value	
Model Parameters						
Length	mm	160 mm	160.000000	●	160.000000	
Width	mm	100 mm	100.000000	●	100.000000	
Thickness	mm	25 mm	25.000000	●	25.000000	
Taper	deg	12 deg	12.000000	●	12.000000	
User Parameters						

Fuente: Waguespack, 2014

Esta herramienta es muy funcional sobre todo al tomar en cuenta las iteraciones del proceso de diseño. Muchas veces al elegir los tamaños de las vigas o platinas a emplear por factores como el peso, dinero, o incluso las deformaciones, es necesario repetir el diseño con nuevas medidas. Sin embargo, esta herramienta nos permite no repetir el diseño sino únicamente cambiar los valores deseados sin comprometer el resto de la estructura por situaciones de diseño.

## 2. Herramienta “Simulaciones dinámicas” Inventor Autodesk

La herramienta Autodesk Inventor Simulation proporciona comandos para simular y analizar las características dinámicas de un ensamblaje en movimiento con distintas condiciones de carga. Se pueden exportar las condiciones de carga en cualquier estado de movimiento al análisis de tensión de Autodesk Inventor Simulation. La simulación revela la respuesta de las piezas desde un punto de vista estructural frente a las cargas de cualquier punto en el rango de movimiento del ensamblaje. (Waguespack, 2014)

Para simular el movimiento dinámico de un ensamblaje, se debe de definir las uniones mecánicas entre las piezas y añadir las fuerzas (internas, externas o ambas) aplicadas a las piezas. Convirtiendo así el ensamblaje en un mecanismo. Estas uniones se pueden crear de tres formas:

- Con el comando Convertir automáticamente restricciones en uniones estándar, activado por defecto, en el cuadro de diálogo Configuración de simulación dinámica. El software convierte automáticamente las restricciones de ensamblaje adecuadas en uniones estándar. Las uniones creadas automáticamente se pueden editar para modificar el origen y los vectores de la estructura.
- Pueden insertarse uniones con el cuadro de diálogo Insertar unión.

- Utilizando el comando Convertir restricciones de ensamblaje para convertir manualmente las restricciones de un ensamblaje de Autodesk Inventor en uniones estándar, una a una. (Waguespack, 2014)

Para que la simulación sea más rápida y robusta, es necesario lo siguiente en el ensamblaje antes o después de añadir uniones y fuerzas:

1. Considerar con atención el ensamblaje y el propósito de la simulación.
2. Determinar qué componentes de ensamblaje son esenciales para la simulación.
3. Simplificar el ensamblaje todo lo posible.
4. Aislar los componentes de interés y todos los demás que afecten de forma apreciable a la simulación. Para determinar en qué consiste "de forma apreciable", considerar la magnitud y las tolerancias de los resultados necesarios.
5. Antes de añadir una unión de contacto 2D, asegurarse de que los componentes cuyas aristas o cuyos perfiles se usan como entradas tienen las normales orientadas hacia fuera (2) de la unión y no penetran ni se intersecan (1) entre sí. (Waguespack, 2014)

## H. Pasadores

La función de los pasadores mantener las piezas en posición para impedir que estas se deslicen después del ensamble. La fuerza que actúa sobre este es mucho mayor que la encontrada en los pernos, razón por la cual el corte es resistido por un pasador de un gran diámetro con una resistencia adecuada. La especificación de los pasadores se lleva a cabo proporcionando el nombre, el diámetro nominal del pasador, el material y el acabado de protección. (Caori, 2006)

Para poder emplear pasadores en el diseño de un mecanismo, existen diversos requisitos:

- Para elementos conectados con pasadores el hueco se debe de hacer equidistante entre los bordes en la dirección perpendicular a la fuerza que este pasa por el eje de gravedad del miembro y evitar así la excentricidad evitando los esfuerzos de flexión.
- Si se desea que el pasador permita un movimiento relativo entre las partes conectadas, el diámetro del hueco será mayor al diámetro del pasador por no más de 1mm.
- Los cálculos para prevenir las fallas en los pasadores deben de tener una lógica igual al comportamiento de una viga en corte y a flexión (Caori, 2006)

La clasificación general de los pasadores es:

- Pasador de máquina
  - Pasador cilíndrico
  - Pasador cónico
  - Pasador ajustado
  - Pasador de aletas
  - Pasador de alambre
- Pasador de fijación radial
  - Pasador estriado
  - Pasador moleteado
  - Pasador elástico
- Pasador de liberación rápida
  - Pasador Push – pull
  - Pasador de cierre positivo

## I. Mantenimiento

### 1. Técnicas de mantenimiento

Se define mantenimiento como el conjunto de técnicas destinadas a conservar equipos e instalaciones en servicio durante el mayor tiempo posible. (Garrido, 2010)

#### a. Preventivo

Este tipo de mantenimiento se enfoca en garantizar el funcionamiento de un equipo durante un periodo de tiempo establecido, a forma de que no haya interrupciones en la operación de este. Este mantenimiento requiere una inversión más elevada que el correctivo, pero gracias a este los costos de operación y fallas son reducidos. Este tipo de mantenimiento se recomienda cuando la ocurrencia y repercusión de las fallas es alta.

#### b. Correctivo

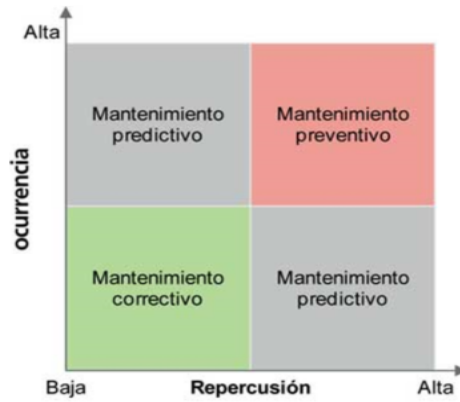
Este tipo de mantenimiento es el que se enfoca en corregir los problemas y fallas conforme van sucediendo en el equipo, se considera este mantenimiento como el de menor inversión inicial, aunque los

costos de operación ligados a este tipo de mantenimiento pueden ser muy elevados. Este tipo de mantenimiento se recomienda cuando la ocurrencia y repercusión de las fallas es baja.

c. Predictivo

El mantenimiento predictivo es una técnica que permite pronosticar en que punto fallará una maquina o dispositivo en el futuro, esto nos permite crear un plan para dar mantenimiento o reemplazar dicho objeto antes de que este falle por completo y sea inoperable. Para realizar el mantenimiento predictivo se debe de establecer un historial del componente y se debe de monitorear durante un largo periodo de tiempo para poder tener la información suficiente para poder predecir con precisión en diversas situaciones.

Figura 14: Gráfica de selección de mantenimiento



(González, 2007)



## VIII. METODOLOGÍA

### A. Necesidades

#### 1. Matriz de requerimientos

La matriz de requerimientos se construyó con ayuda de los empleados de Samboro, se recopiló la información a partir de las distintas visitas realizadas a la planta, tomando en cuenta la opinión del gerente general, el gerente de calidad, el gerente de la cadena de suministros y los empleados a cargo de la carga del producto.

La información recopilada fue acerca del problema actual en el proceso de carga del producto, la cantidad de personal necesario para el proceso de carga, la cantidad de montacargas necesarios para la operación, el tiempo promedio que conlleva el proceso de carga, la cantidad de camiones abiertos cargados por día y las dimensiones físicas de la carga.

Los requerimientos se clasificaron en tres rubros principales, los cuales son: funcionales, operacionales y limitantes. Para poder identificar con mayor facilidad el requerimiento se le asignó un código correspondiente a su tipo.

Según la literatura de Larson y Wartz (2009), se trazaron los tipos de requerimientos. Estos se clasificaron según la capacidad de cumplir con el mismo. Algunos requerimientos se repitieron en varios módulos, lo cual implicó especial cuidado y coordinación en su control para poder validarlos exitosamente. Para poder validar estos requerimientos se elaboraron reuniones periódicas con el asesor y el gerente de calidad de Samboro para poder confirmar sus cumplimientos y lograr lo propuesto en los objetivos del mecanismo propuesto.

Cuadro 16: Requerimientos funcionales del mecanismo

<b>Requerimientos funcionales</b>			
	Requerimiento	Módulo	Verificación
1	El diseño debe soportar al menos dos pallets cargadas simultáneamente	TODO	Análisis
2	El mecanismo debe poder se usan a la intemperie.	TODO	Revisión de diseño
3	La estructura inferior debe ser fácilmente cambiada	EI	Revisión de diseño
4	Los tenedores deben poder entrar en el pallet fácilmente	T	Inspección
5	Debe poderse nivelar el centro de masa fácilmente con solo mover la cadena.	ES	Revisión de diseño
6	Debe poderse ensamblar y desmontarse con facilidad	TODO	Revisión de diseño
7	Los pernos deben poderse remover de forma sencilla	P	Revisión de diseño
8	Los pernos deben sostener ambas estructuras sin ningún problema	P	Prueba
9	La estructura superior debe poder distribuir los esfuerzos fácilmente	ES	Análisis
10	Debe ser fácil darle mantenimiento o reemplazar componentes de ser necesario	TODO	Revisión de diseño
11	Los tenedores deben ensamblarse fácilmente a la estructura inferior	EI	Revisión de diseño

(Fuente: Elaboración propia)

Cuadro 17: Requerimientos operacionales del mecanismo

<b>Requerimientos operacionales</b>			
	Requerimiento	Módulo	Verificación
1	El mantenimiento del mecanismo debe poderse realizar por los mismos operarios de Samboro	TODO	Revisión de diseño
2	La operación del mecanismo debe ser segura para los operarios	TODO	Inspección
3	El cambio de la estructura inferior debe ser seguro para el operario	EI	Revisión de diseño
4	El manual debe aplicar claramente el método de operación.	TODO	Inspección
5	El diseño debe ser operado fácilmente	TODO	Inspección
6	El mecanismo debe ser fácilmente operado por una sola persona	TODO	Revisión de diseño

(Fuente: Elaboración propia)

Cuadro 18: Requerimientos limitantes del mecanismo

<b>Requerimientos limitantes</b>			
	Requerimiento	Módulo	Verificación
1	Los materiales de fabricación deben encontrarse en el mercado nacional	TODO	Análisis
2	El costo de recuperación del proyecto no debe superar los 12 meses	TODO	Análisis
3	El mecanismo debe de poderse transportar fácilmente dentro de la fábrica	TODO	Revisión de diseño
4	El mecanismo debe poderse fabricar por los operarios de Samboro	TODO	Revisión de diseño
5	El mecanismo propuesto debe tener un factor de seguridad mayor a 1.5	TODO	Análisis
6	El mantenimiento del mecanismo debe hacerse con recursos de la fabrica	TODO	Inspección

(Fuente: Elaboración propia)

Cuadro 19: Clasificación

MÓDULOS	
Estructura superior	ES
Estructura Inferior	EI
Pernos	P
Tenedores	T

(Fuente: Elaboración propia)

## 2. Proceso del diseño

Para proponer y llevar a cabo el diseño se siguió el proceso de diseño de Shigley “Fases del proceso de diseño que reconocen múltiples retroalimentación e iteraciones”. Siguiendo las etapas del reconocimiento de la necesidad, la definición del problema, la síntesis, el análisis y la optimización, evaluación y presentación.

Se tomaron consideración del diseño según a Norton, siguiendo el esquema de la identificación de necesidad, investigación preliminar, planeamiento del objetivo, especificaciones de desempeño, ideación e invención, análisis, selección, diseño detallado y producción.

Según esto se realizó la propuesta de diversos mecanismos con ayuda del complemento Force Effect, para Autocad Inventor, proponiendo tres mecanismos distintos. A estos tres mecanismos se les evaluó según sus ventajas y desventajas con una ponderación numérica según los criterios para elección del mecanismo evaluados.

## 3. Matriz de verificación y validación

Para la elaboración de la matriz de verificación y validación se relacionó cada requerimiento con un tipo de verificación. Se utilizaron cuatro formas de verificar, tomando en cuenta el análisis estructural, el diseño y sus avances.

- Revisión del asesor
- Revisión de diseño, consiste en una revisión de los planos del diseño.
- Análisis, por medio de un modelo matemático.
- Revisión de funcionalidad del gerente de calidad de Samboro.

En cuanto a la revisión del asesor, se hicieron reuniones periódicas con el objetivo de verificar los avances y el contenido trabajado según el cronograma y la validez del contenido de los avances. La revisión y validación del diseño, se basó en el proceso de diseño y los requerimientos de los empleados de Samboro.

El análisis matemático realizado fue por medio de elementos finitos con la ayuda de la herramienta Ansys, su validación se evaluó según a los resultados del análisis estático realizado, según los resultados de deformación, corte y factor de seguridad obtenidos.

Finalmente se validó todo el proceso de diseño y análisis con ayuda del gerente de calidad de Samboro, realizando reuniones periódicas para revisar avances y funcionalidad de la propuesta planteada según los requerimientos definidos.

Cuadro 20: Matriz de verificación de diseño y análisis

<b>Fecha de revisión</b>	<b>Código</b>	<b>Módulo</b>	<b>Tipo de requerimiento</b>	<b>Método de verificación</b>
13 de mayo de 2019	RF2	TODO	Funcional	Revisión de diseño
13 de mayo de 2019	RF3	EI	Funcional	Revisión de diseño
13 de mayo de 2019	RF5	ES	Funcional	Revisión de diseño
13 de mayo de 2019	RF6	TODO	Funcional	Revisión de diseño
13 de mayo de 2019	RF7	P	Funcional	Revisión de diseño
13 de mayo de 2019	RF10	TODO	Funcional	Revisión de diseño
13 de mayo de 2019	RF11	EI	Funcional	Revisión de diseño
13 de mayo de 2019	RO1	TODO	Operacional	Revisión de diseño
3 de junio de 2019	RF1	TODO	Funcional	Análisis
3 de junio de 2019	RF9	ES	Funcional	Análisis
3 de junio de 2019	RL1	TODO	Limitantes	Análisis
3 de junio de 2019	RL2	TODO	Limitantes	Análisis
3 de junio de 2019	RL5	TODO	Limitantes	Análisis
3 de junio de 2019	RF4	T	Funcional	Inspección
3 de junio de 2019	RO2	TODO	Operacional	Inspección
17 de junio de 2019	RO4	TODO	Operacional	Inspección
17 de junio de 2019	RO5	TODO	Operacional	Inspección
19 de agosto de 2019	RL6	TODO	Limitantes	Inspección
19 de agosto de 2019	RO3	EI	Operacional	Revisión de diseño
22 de agosto de 2019	RO6	TODO	Operacional	Revisión de diseño
22 de agosto de 2019	RL3	TODO	Limitantes	Revisión de diseño
22 de agosto de 2019	RL4	TODO	Limitantes	Revisión de diseño

(Fuente: Elaboración propia)

## B. Toma de datos

### 1. Contabilización y clasificación del transporte empleado para la carga de material

Para realizar esta actividad de la toma de datos, se procedió a recolectar la información del último semestre del año 2018, tomando datos de: fecha, cliente, nacionalidad del cliente, factura, piloto, tipo de transporte (Plataforma, camión, pickup, automóvil cerrado, furgón, camión pequeño, contenedor, panel, peatón y moto).

Durante esta actividad, se visitó Samboro tres veces para recolectar información de parte del encargado de la cadena de suministro, los guardías y el encargado de bodegas. Se tabuló y clasificó toda la información recolectada y finalmente se le hizo el análisis correspondiente.

Teniendo esta recolección de datos y con ayuda de Excel, se procedió a evaluar cuáles de estos transportes eran abiertos y cuáles, cerrados, lo cual sirvió para justificar el proyecto, debido a que se cargan más camiones abiertos que cerrados y existen menos bahías de carga para los camiones cerrados.

Esta tabla contiene la información de la cantidad de transporte empleados cada mes según la diferente categoría. A partir de esta tabla se realizó una clasificación más, para ver cuáles de estos transportes eran abiertos y cuáles cerrados.

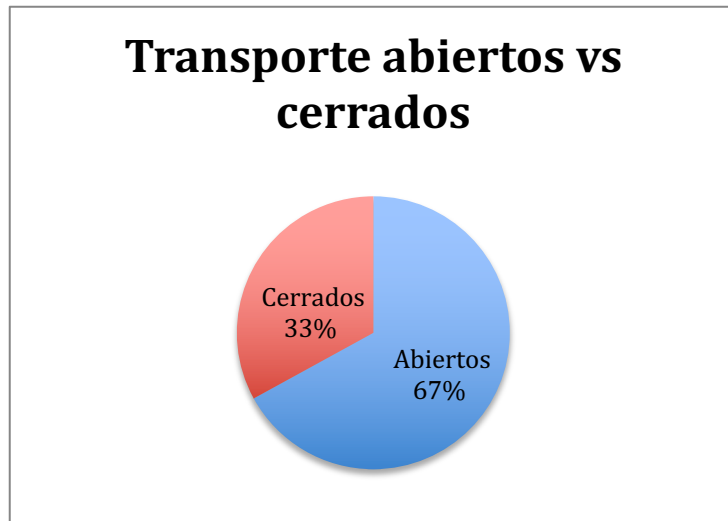
Finalmente se elaboró una gráfica que permite apreciar la diferencia porcentual entre la cantidad de transportes abiertos y cerrados empleados para la movilización del producto terminado. A partir de esta gráfica pudimos concluir sobre la importancia de la elaboración del diseño del proyecto, ya que se tiene más del doble de transporte abierto y únicamente dos bahías de carga para este tipo de transporte.

Cuadro 21: Contabilización y clasificación del transporte

Transporte	Jul-18	Ago-18	Sep-18	Oct-18	Nov-18	Dic-18	Total
Camión	392	418	408	428	417	303	2,366
Plataforma pickup	226	213	202	240	217	265	1,363
Automóvil							
cerrado	102	103	94	56	88	92	535
Furgón	88	82	66	96	85	115	532
Camión pequeño	70	90	71	103	96	78	508
Contenedor	4	7	9	18	10	6	54
Panel	3	5	5	6	6	2	27
<b>Total</b>	<b>1,060</b>	<b>1,096</b>	<b>1,021</b>	<b>1,051</b>	<b>1,075</b>	<b>1,020</b>	<b>6,323</b>

(Fuente: Elaboración propia)

Figura 15: Contabilización y clasificación del transporte



(Fuente: Elaboración propia)

## 2. Dimensiones físicas del material a cargar

En esta etapa se recolectaron y evaluaron los datos históricos del proceso de empacado de pallets y distribución del producto. Se analizaron los pallets cargados durante los últimos dos meses del 2018. Se tabuló la información correspondiente dividiéndola en las siguientes categorías: Tipo de azulejo, Lote del azulejo, dimensiones del azulejo, cajas de azulejo por pallet, altura del pallet y peso del pallet.

Se determinó que Samboro cuenta con tres lotes distintos de pallets, (A, B y C), donde cada uno corresponde a la calidad del mismos (alta, media, baja) consecutivamente. Regularmente dependiendo de la calidad del azulejo se tiene un mayor peso, debido a una mayor densidad del material.

También se pudo observar que, sin importar las dimensiones del azulejo, se colocan las cajas sobre los pallets de tal forma que siempre se ocupe toda la superficie del pallet y se tengan las mismas alturas en promedio para facilitar el almacenaje y la distribución del producto dentro de las bodegas de Samboro y sobre los transportes de carga.

Esta información se recolectó con ayuda del gerente de calidad de Samboro y nos ayudó a evaluar la fuerza debido a la carga a la que estará sometida la estructura diseñada, así como también las dimensiones necesarias para poder diseñar el mecanismo.

Por cuestiones de diseño se asumió siempre la medida de la altura máxima de los pallets para poder cargar cualquier pallet sin importar las dimensiones del azulejo y el promedio del largo y ancho. A continuación, se detallan las dimensiones de los pallets:

Largo: 43.4in

Ancho: 41.5in

Alto: 58in

Figura 16: Toma de medidas de pallets



(Fuente: Elaboración propia)

### 3. Costo de operación por montacargas empleados en el proceso de carga

Con el objetivo de contabilizar los costos de operación para realizar un análisis financiero, se visitó Samboro periódicamente en los horarios de carga y descarga, para poder observar cuantos montacargas operaban en ese momento y cuantos montacargas quedaban disponibles. Adicional a esto, con la recolección de datos históricos se determinó la vida útil del montacargas en horas. En esta etapa se contabilizaron todos los montacargas de la fábrica, diferenciando si los mismos funcionaban por medio de electricidad o combustible. Luego de determinar esta información, se realizó una inspección visual sobre las bahías de carga 6 y 7 en los horarios de carga y descarga.

Se formuló un promedio de los montacargas empleados para el proceso y se contabilizo el tiempo que los mismos tardaban en llenar de carga los camiones. Por simplicidad, se contabilizo el tiempo total de llenado de los dos camiones como un mismo proceso, debido a que, por el espacio disponible para maniobrar los montacargas, el proceso de llenado de ambos camiones resultaba interdependiente.

Finalmente se hizo un análisis financiero acerca del costo de operar cada montacargas según el tiempo de carga de cada camión, la vida útil de los montacargas, el combustible empleado y el mantenimiento de estos, de esta forma, según el número de montacargas empleados se pudo determinar el costo de la operación para el recurso de montacargas.

En la elaboración del análisis financiero, se definió que para la carga de producto a los camiones abiertos se necesitaban dos montacargas por camión, el supervisor de los montacargas proveyó la información correspondiente por montacargas, tal y como se detalla a continuación:

Cuadro 22: Inversión por 4 montacargas

INVERSIÓN TOTAL	
Inversión inicial del montacargas [Q]:	234,000.00
Cantidad de montacargas a emplear:	4
Costo total de los montacargas [Q]:	936,000.00

(Fuente: Elaboración propia)

Este cuadro nos permite saber el costo total de los montacargas al multiplicar el costo por unidad, por la cantidad de unidades necesarias en el proceso.

Cuadro 23: Costo del combustible anual

COSTO DEL COMBUSTIBLE ANUAL	
Costo del combustible Galón [Q]:	26.00
Tanques:	1
Galones por tanque:	8
Turnos por día:	2
Combustible por día (galones):	16
Días por año:	300
Costo anual del combustible/energía [Q]:	124,800.00

(Fuente: Elaboración propia)

El Cuadro 23 nos permite conocer un promedio del costo anual del combustible empleado por cada montacargas. Para esto se multiplicó la cantidad de combustible empleado al día, por el precio promedio del combustible, por la cantidad de días laborales en el año.

Cuadro 24: Costo de mantenimiento / Servicio anual

COSTO DE MANTENIMIENTO / SERVICIO ANUAL	
Costo estimado por hora [Q]:	12.48
Costos adicionales (llantas) [Q]:	3.12
Horas de operación al año (Hrs):	4000
Costo anual de mantenimiento [Q]:	62,400.00

(Fuente: Elaboración propia)

Para conocer el costo anual de mantenimiento, se multiplicó el costo estimado por hora, más el costo por uso de las llantas, por la cantidad de horas operativas en el año.

Con esta información finalmente se pudo obtener el flujo del costo por emplear 4 montacargas. Para esto se sumó el costo de los 4 montacargas en una única inversión, más el costo anual (por un periodo de 8 años) del mantenimiento de los montacargas, más el combustible necesario.

Cuadro 25: Flujo del costo anual por uso de cuatro montacargas

Costo de 4 montacargas año 0	Q 936,000.00
Costo de combustible más mantenimiento 4 montacargas año 1	Q 748,800.00
Costo de combustible más mantenimiento 4 montacargas año 2	Q 748,800.00
Costo de combustible más mantenimiento 4 montacargas año 3	Q 748,800.00
Costo de combustible más mantenimiento 4 montacargas año 4	Q 748,800.00
Costo de combustible más mantenimiento 4 montacargas año 5	Q 748,800.00
Costo de combustible más mantenimiento 4 montacargas año 6	Q 748,800.00
Costo de combustible más mantenimiento 4 montacargas año 7	Q 748,800.00
Costo de combustible más mantenimiento 4 montacargas año 8	Q 748,800.00

(Fuente: Elaboración propia)

#### 4. Costo del personal necesario para la carga del producto

Al igual que en el proceso de contabilización de los costos de operación para el montacargas, se realizó un análisis similar para el costo del personal. Se visitó Samboro en horarios de carga y descarga y por medio de una inspección visual se determinó la cantidad de personal involucrado en el proceso de carga.

La inspección visual se realizó desde la bodega con el objetivo de no alterar el trabajo de los operarios. Se realizó de forma periódica específicamente durante el horario de carga en las bahías seis y siete destinadas a camiones abiertos.

Para determinar el costo del personal involucrado en el proceso de carga se llevó a cabo una reunión con el gerente de bodega y el gerente de calidad. En esta reunión se definió el número de colaboradores necesarios para el proceso de carga específicamente en las bahías de carga 6 y 7.

Se definió el salario promedio de los colaboradores involucrados, las horas promedio del proceso y los días de trabajo al año. Según esto, el gerente de bodegas proveyó la información del costo del personal tal y como se detalla a continuación.

Cuadro 26: Costo de los colaboradores involucrados

Costo del personal involucrado	
Salario promedio por hora (Q)	19.18
Horas de trabajo anual (Hrs)	2550
Cantidad de los colaboradores involucrados	12
Costo total:	Q 586,956.52

(Fuente: Elaboración propia)

Para obtener el costo total, se multiplicó el salario promedio por hora para la cantidad de horas efectivas de trabajo al año, por la cantidad de colaboradores involucrados en el proceso.

## C. Recursos

### 1. Análisis financiero del costo actual de carga

Previo a la realización del diseño se hizo un análisis financiero del flujo del costo actual de carga, con el objetivo de comparar el costo actual contra el costo de la elaboración del mecanismo propuesto y poder así presentar los beneficios de la implementación del diseño propuesto.

Cuadro 27: Flujo costo actual

Costo de 4 montacargas año 0	Q 936,000.00
Costo por 4 montacargas más el personal involucrado en año 1	Q 1,335,756.52
Costo por 4 montacargas más el personal involucrado en año 2	Q 1,335,756.52
Costo por 4 montacargas más el personal involucrado en año 3	Q 1,335,756.52
Costo por 4 montacargas más el personal involucrado en año 4	Q 1,335,756.52
Costo por 4 montacargas más el personal involucrado en año 5	Q 1,335,756.52
Costo por 4 montacargas más el personal involucrado en año 6	Q 1,335,756.52
Costo por 4 montacargas más el personal involucrado en año 7	Q 1,335,756.52
Costo por 4 montacargas más el personal involucrado en año 8	Q 1,335,756.52

(Fuente: Elaboración propia)

### 2. Análisis de tasa interna de retorno con el mecanismo propuesto

Para poder justificar la inversión en el nuevo mecanismo se hizo un análisis financiero de la TIR, tomando en cuenta un periodo de 8 años (vida útil de los montacargas), una inversión inicial de Q1,202,180.07 (la cual corresponde al costo de crear dos mecanismos para las bahías 6 y 7) y un flujo de caja de Q1,335,756.52 (lo cual corresponde al costo actual de emplear los montacargas, como actualmente se hace).

Por medio de la fórmula de la TIR detallada a continuación se evaluaron los datos anteriormente mencionados:

$$TIR = \sum_{T=0}^n \frac{n!}{(1+i)^n} = 0$$

Ecuación 9: Formula de la tasa interna de retorno (TIR)

Donde:

$Q_n$  = flujo de caja periodo  $n$

$n$  = número de periodos

$I$  = Valor inicial de inversión

## D. Conceptos de operación

### 1. Desarrollo de conceptos

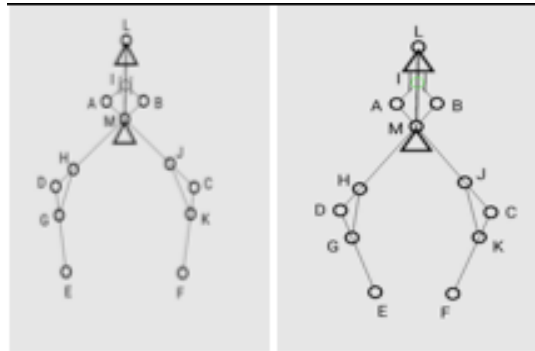
Diseño de conceptos:

Según los objetivos trazados para el mecanismo propuesto y los requerimientos recolectados se realizaron los primeros conceptos con ayuda del Software Autodesk inventor 2017, versión estudiantil. En el diseño se tomó en cuenta mayormente los requerimientos de seguridad y facilidad de uso al momento de operar el mecanismo. Se realizaron tres conceptos en total, los cuales fueron cambiando progresivamente en base a la retroalimentación del asesor, del gerente de calidad y la evolución del proyecto.

El primer concepto desarrollado se basó en un mecanismo tipo tijera, este mecanismo es un tipo de pinzas industriales empleadas mayormente en el levantamiento de blocks de concreto. Se elaboró una adaptación que fuera capaz de sujetar los pallets empleando el peso total de la carga para asegurar la misma, esto por medio del principio físico de acción igual a reacción.

Este mecanismo de tijeras suelta los pallets al tener contacto sobre una superficie plana y se cierran al elevar la carga. Los principales problemas que se encontraron con este mecanismo fueron debido a la apertura del mecanismo tipo tijera y a la sujeción no homogénea del mecanismo. La apertura del mecanismo no permite que el mismo se pueda emplear en transportes abiertos del tipo pickup o paneles y al no tener una sujeción homogénea a lo largo de toda la carga conlleva a no tener un movimiento seguro de la carga.

Figura 17: Mecanismo de tijera



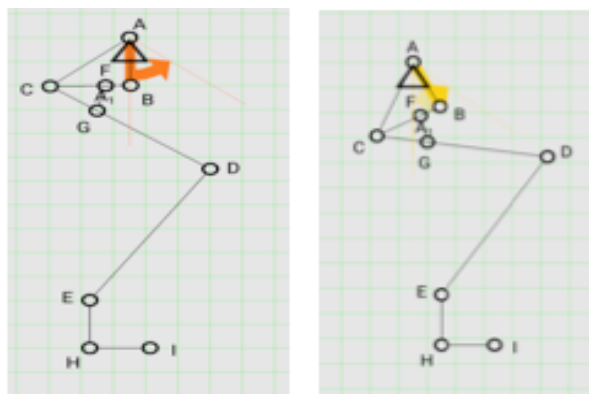
(Fuente: Elaboración propia)

El segundo concepto desarrollado surgió debido al problema de apertura del mecanismo de tijera. Se planteó entonces un mecanismo de “media tijera”, con el objetivo de que no se tuviera una apertura axial a la carga sino tangencial y por ende que no hubiera problema al cargar el material a los transportes abiertos tipo pickup y panel.

Este mecanismo funciona con un contrapeso que mantiene estable los tenedores al envestir la carga, debido al mismo peso de la carga, el mecanismo sujeta la carga al elevarse en una posición totalmente estable.

El principal problema que se encontró con este mecanismo es el desarrollar una forma de mantener la carga siempre estable debido al movimiento que debe ejecutar el mecanismo. Esto hace que el mecanismo sea más complejo y con un costo mucho más elevado.

Figura 18: Mecanismo de media tijera



(Fuente: Elaboración propia)

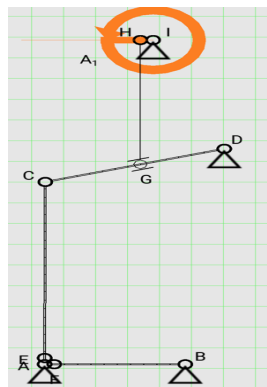
Debido a los problemas con los mecanismos anteriores se decidió elaborar un diseño mucho más simple y práctico. A este diseño se le dio el nombre de mecanismo en C. Este mecanismo es una estructura rígida que no posee movimientos de apertura ni cierre.

El mecanismo está diseñado para embestir los pallets con sus “tenedores” en forma tangencial a la carga. Con ayuda del trolley y del polipasto será capaz de desplazarse en los tres ejes de forma libre sobre las bodegas de almacenaje y el área de carga.

Al desarrollar este mecanismo los principales objetivos fueron la funcionalidad y practicidad, por esto se elaboró un diseño que fuera capaz de transportar un solo pallet o dos pallets simultáneamente y que el cambio de configuración fuera de forma sencilla. Se buscó también que fuera un diseño simple para poder elaborarlo y replicarlo fácilmente, que fuera ensamblado de forma rápida y sin necesidad de muchos operarios y se buscó también que mantuviera la carga en una posición segura.

El diseño se elaboró también con la opción de poder interactuar con el centro de masa de la carga para que el mismo pudiera ser transportado de forma segura, es decir, si la carga está distribuida mayormente a uno de sus lados, que el mecanismo fuera capaz de transportarla sin ningún problema.

Figura 19: Mecanismo en "C"



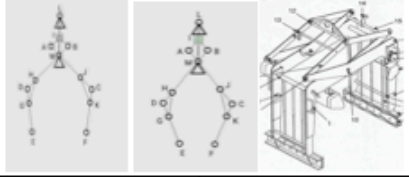
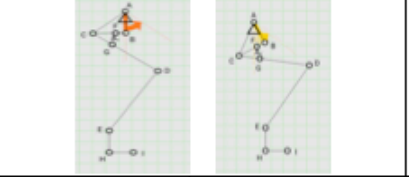
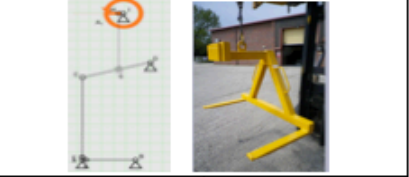
(Fuente: Elaboración propia)

## 2. Matriz de elección del concepto a emplear

Para seleccionar el diseño físico deben de evaluarse todas las alternativas propuestas, estableciendo un criterio de evaluación que pueda ser cuantificable. Para esto se elaboró una tabla de ventajas y desventajas por cada mecanismo, así como una matriz de decisión. Se tomaron en cuenta factores como seguridad, riesgo, costo y desempeño.

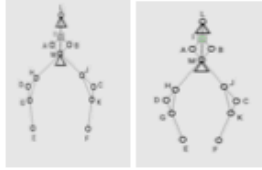
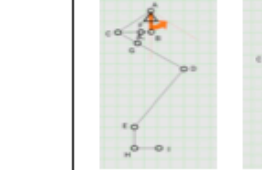
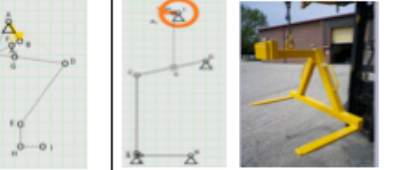
La tabla de ventajas y desventajas es para conocer específicamente que atributos favorables o criticables son destacables de cada propuesta, mientras que la matriz de decisión se basa en criterios específicos obtenidos del proceso de la especificación de desempeño, evaluados de forma cualitativa para trabajar en base a la opción más viable.

Cuadro 28: Elección del mecanismo a diseñar

Mecanismo de tijera		Mecanismo de media tijera		Mecanismo en C	
					
Puntaje	Desventajas	Ventajas	Desventajas	Ventajas	Desventajas
Emplea el mismo peso de la carga para sujetar la carga.	El mecanismo no posee un cierre paralelo, por lo que la carga puede ser dañada.	El mecanismo permite cargar mas de una carga a la vez.	El mecanismo debe ser diseñado con un contrapeso para poder embestir a la pallet.	Mecanismo capaz de embestir mas de una pallet por cada carga.	La manipulación del mecanismo requiere de cierta practica.
Existen varios diseños que emplean este tipo de mecanismo.	El mecanismo no esta diseñado para la sujeción de pallets.	El mecanismo posee tenedor para embestir a las pallets.	Es necesario hacer un análisis de centro de gravedad para este mecanismo.	El mecanismo posee tenedor para embestir a las pallets.	Es necesario implementarle un sistema de seguridad extra.
Es un mecanismo bastante seguro ya que sujeta la carga con la misma fuerza que ejerce el peso.	El tenedor que embiste al pallet deberá de ser hidráulico, lo cual implica el diseño de un mecanismo extra.		El mecanismo requiere de un diseño especial para poder mantener la carga siempre de forma vertical.	Mecanismo bastante seguro, ya que la carga se puede sujetar correctamente y el mecanismo no oscila.	
	El diseño de este mecanismo únicamente permite cargar una carga a la vez.		El mecanismo puede hacer oscilar la cadena del trolley que va sobre el polipasto.	Diseño de simple fabricación y ensamble.	

(Fuente: Elaboración propia)

Cuadro 29: Matriz de decisión

CRITERIOS PARA ELECCIÓN DEL MECANISMO	Mecanismo de tijera	Mecanismo de media tijera	Mecanismo en C
			
	<b>PONDERACIÓN</b>		
El mecanismo transporta de forma segura la carga.	4	2	10
El mecanismo permite transportar mas de un pallet a la vez.	2	10	10
El mecanismo permite la fácil adaptación de tenedores para embestir la carga.	2	10	10
Emplea el mismo peso de la carga para asegurar la carga	10	10	2
Seguridad del mecanismo.	10	2	10
Diseño de fácil fabricación y ensamble.	10	2	10
<b>TOTAL:</b>	<b>38</b>	<b>36</b>	<b>52</b>

(Fuente: Elaboración propia)

Como se pudo observar en la tabla de ventajas y desventajas, todos los mecanismos tienen puntos fuertes a su favor; sin embargo, el mecanismo con ventajas más significativas y menos desventajas, es el mecanismo en “C”, de la misma forma en la matriz de decisión, la mejor opción debido a su viabilidad ponderada es el mecanismo en C.

### 3. Matriz de riesgos

Para la elaboración de la matriz de riesgo se realizaron reuniones periódicas con el asesor y el gerente de calidad. Esto con la finalidad de poder determinar las fallas posibles en los tres conceptos desde distintas perspectivas y determinar cuál concepto era la mejor opción para elaborar el diseño.

La experiencia del gerente de calidad ayudo a determinar claramente cuales riesgos estaban presentes en cada uno de los diseños y cuál era su grado de severidad, de esta forma, con ayuda del asesor, se determinó la probabilidad de ocurrencia de los eventos de riesgo y en base a esto se determinó el concepto más viable para la realización del diseño.

Se realizó también, individualmente una matriz de riesgo para el diseño del mecanismo en “C” con la finalidad de informar y prevenir posibles accidentes relacionados al diseño propuesto. De esta forma también se obtuvo un proceso de mejora continua en el diseño, ya que permitió tener un proceso de aprendizaje iterativo en la elaboración del diseño.

Cuadro 30: Ejecución de la matriz de seguridad

IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS Y EVALUACIÓN DE RIESGOS																							
Área	Actividad	Tipo de falla	Tarea	Personal	Condición operación	Origen del riesgo	Peligro	Riesgo	Estimación de riesgo						Valoración de Riesgo								
									Severidad			Probabilidad			Nivel de Riesgo								
									L	D	E	B	M	A	T	T	M	I	I				
D	D	D	B	M	A	T	O	O	I	I	N												
Estructura superior	Soportar el esfuerzo de la cadena	Ruptura / Pandeo	Operación de carga	Operario	Rutinaria	Uso inapropiado	Mecánico	Físico															
Estructura superior	Distribución de cargas	Ruptura / Pandeo	Operación de carga	Operario	Rutinaria	Uso inapropiado	Mecánico	Físico															
Estructura superior	Soportar esfuerzo de corte	Ruptura / Pandeo	Operación de carga	Operario	Rutinaria	Uso inapropiado	Mecánico	Físico															
Estructura Inferior	Soportar esfuerzo superior	Ruptura / Pandeo	Operación de carga	Operario	Rutinaria	Uso inapropiado	Mecánico	Físico															
Estructura Inferior	Soportar esfuerzo inferior	Ruptura / Pandeo	Operación de carga	Operario	Rutinaria	Uso inapropiado	Mecánico	Físico															
Estructura Inferior	Soportar esfuerzo de corte	Ruptura / Pandeo	Operación de carga	Operario	Rutinaria	Uso inapropiado	Mecánico	Físico															
Tenedores	Soportar la carga	Ruptura / Pandeo	Operación de carga	Operario	Rutinaria	Uso inapropiado	Mecánico	Físico															

Fuente: (Elaboración propia)

Como se puede ver en la tabla de riesgos, se consideró que todas las fallas posibles evaluadas para la estructura tienen una severidad extremadamente dañina pero una probabilidad baja, lo cual convierte todos los riesgos en moderados. Esto se debe a que los riesgos se presentan únicamente si el mecanismo es usado con cargas muy por encima de las recomendadas. El mismo diseño imposibilita estas situaciones, por lo que considerar los riesgos como moderados, se considera pertinente.

#### 4. Manual de ensamblaje, mantenimiento y seguridad

Al haber culminado el diseño y haberle hecho el análisis estructural pertinente, se elaboró un manual de ensamblaje con ayuda de los planos, en el cual se incluyó el método de ensamblaje y la seguridad mínima en la operación del mismo.

Este manual contempla también el mantenimiento necesario que se le debe dar a cada uno de sus componentes y los respectivos pasos para realizarlo. Se incluyó en el manual posibles problemas tomados de la matriz de riesgos, con sus respectivas soluciones a la hora de emplear el mecanismo.

El manual se hizo con el objetivo de complementar el diseño a modo de explicar los componentes y su método de ensamblaje, así como normas de seguridad de ensamblaje y mantenimiento de sus partes.

## E. Análisis de materiales

Habiendo definido el mecanismo a diseñar se prosiguió a elegir los materiales a emplear, para esto con ayuda del asesor y múltiples bibliografías se definió que el material adecuado para realizar un diseño estructural era el acero negro.

Teniendo esto claro se elaboró una investigación de mercado para saber los perfiles existentes y las normativas que rigen a los materiales vendidos.

### 1. Materiales existentes en el mercado

Para encontrar los materiales y perfiles existentes en el mercado de Guatemala, se prosiguió a buscar distribuidores de acero estructural en Guatemala. Más específicamente se buscó proveedores de platinas y tubos estructurales cuadrados.

Se seleccionaron los siguientes proveedores:

- Proaceros
- Multigroup
- Grupo AP
- Ferromax

Al comunicarse con estos proveedores se consiguió información sobre el precio, dimensiones, normativas aplicables y existencias de inventario.

### 2. Normativas de los materiales del mercado

Para los perfiles seleccionados se definió que la normativa aplicable es la ASTM A36. Se procedió a investigar acerca de esta normativa, sus propiedades, químicas, físicas y mecánicas. De esta misma forma se

comprobó con el distribuidor que la normativa estuviera presente en sus productos para asegurar la calidad de los mismos y poder aplicar los análisis de carga pertinentes.

## F. Restricciones

### 1. Toma de datos para evaluar restricciones técnicas y restricciones del cliente

Para evaluar las restricciones existentes se visitó la fábrica de Samboro y se observó en múltiples ocasiones el proceso de carga, se tomó video del proceso, se tomó medidas del espacio existente, se hizo la contabilización de recursos existentes y se habló con las personas encargadas del proceso de carga.

Estas restricciones se dividieron en dos grupos:

- Restricciones trazadas por el cliente: para evaluar estas restricciones se tomó en cuenta todos los datos recolectados de las reuniones periódicas con el gerente general y el gerente de calidad. Se escucho el problema actual existente en el área de carga y según a la solución planteada se definieron todos los requisitos que el cliente exigía. Todos los aspectos que no fueran técnicos se ubicaron en este rubro.
- Restricciones técnicas: estas restricciones se tomaron de dos formas: la primera fue según a los datos recopilados personalmente por medio de las visitas realizadas a la planta y la segunda fue los requerimientos técnicos aportados por el gerente de calidad de la planta, el bodeguero y el encargado de logística.

## G.Elaboración del diseño

### 1. Diseño por medio de inventor

La elaboración del diseño se ejecutó con ayuda del software Inventor de Autocad 2017. Según el desarrollo de conceptos se diseñó el mecanismo en “C” que cumpliera con todos los requerimientos técnicos y de los clientes trazados.

Se emplearon distintas funcionalidades especiales para elaborar el diseño de forma sencilla y que el mismo fuera capaz de modificarse a conveniencia sin mayor problema. Para la elaboración se realizó primero como un Assembly el esquema parametrizado de la estructura que se diseñó.

Se tomó este esquema como referencia para elaborar los IPT correspondientes a cada pieza, el mecanismo se dividió en cuatro ITP. Estructura superior, estructura inferior, pernos y tenedores. Cada ITP se trabajó de forma individual y luego se regresó al plano de referencia para unir todos los ITP como una misma estructura.

Sobre el esquema elaborado en un Assembly luego de unir todos los ITP, se trabajó específicamente en la unión de los elementos. Se seleccionó el material para la estructura y se realizaron los trabajos de corte y soldado para perfeccionar la estructura.

A continuación, se detalla el proceso de seguido en cada uno de los segmentos de la elaboración del diseño del mecanismo.

#### a. Elaboración del diseño estructural

Una vez se tuvo el esquema de lo que se realizaría se procedió a elaborar los IPT por medio del generador de estructuras de Inventor. Este generador de estructuras permitió elegir los perfiles adecuados para elaborar los tubos estructurales cuadrados y las platinas de las medidas correspondientes, disponibles en el mercado de Guatemala.

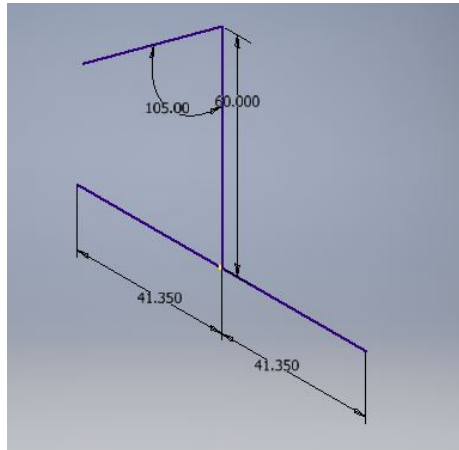
Luego de tener los perfiles adecuados, se trabajó el material. Es decir, se elaboraron los trabajos de cortes y agujeros. Para esto únicamente se cambiaron los planos de trabajo a conveniencia y se realizó el trabajo particular en cada una de las caras deseadas.

En esta parte del proceso, también se configuraron algunas medidas y se obtuvo un proceso iterativo de mejora para lograr el diseño óptimo.

#### b. Ensamblaje

Al tener todos los IPT listos se procedió a armar la estructura en el mismo esquema que se había trabajado anteriormente. Este esquema se trabajó por medio de una Parametrización de medidas, con el objetivo de poder cambiar las medidas de la estructura a conveniencia de forma práctica y rápida, sin alterar la estructura en sí. Para esto se empleó una combinación entre Inventor y Excel, empleando Excel como interfaz de cambios rápidos.

Figura 20: Esquema del mecanismo



(Fuente: Elaboración propia)

Primero se unió la estructura inferior con la superior, seguidamente se le agregaron los tenedores y los pernos. Se realizaron trabajos de corte para poder ensamblar toda la estructura y darle la forma deseada. En esta etapa del proceso también se realizaron trabajos de unión por medio de soldaduras.

Las soldaduras se hicieron con ayuda del generador de soldaduras que ofrece el software de Inventor. En algunas esquinas de los perfiles fue necesario hacer un trabajo de preparado de material previo para poder adicionar la soldadura adecuada.

Se tuvo un cuidado especial al elegir la soldadura adecuada según la normativa del acero empleado y de las varillas para soldar disponibles en el mercado de Guatemala.

### c. Planos

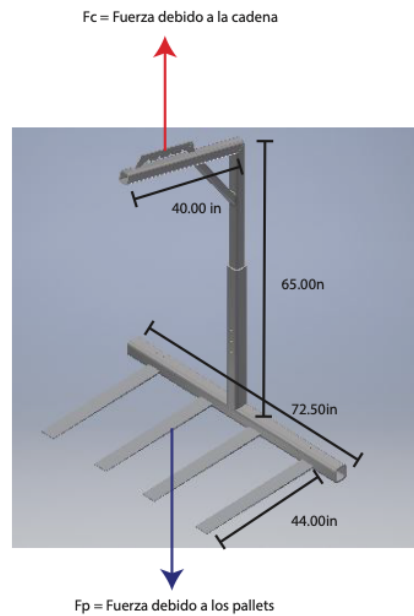
Una vez terminado el proceso de diseño se elaboraron los planos de cada pieza individualmente y del ensamblaje de todos los componentes. Esto se realizó siempre con el programa Autodesk Inventor 2017 y los mismos fueron revisados por el asesor y el gerente de calidad de Samboro.

En esta etapa del proceso, se tuvo especial cuidado en definir todas las medidas de cada uno de los componentes para evitar problemas futuros al personal encargado de ejecutar el diseño.

## H. Diagrama de cuerpo libre

Para poder realizar los análisis estructurales pertinentes fue necesario primero evaluar las fuerzas involucradas, para esto se elaboró un diagrama de cuerpo libre evaluando todas las posibles situaciones resultantes en fuerzas aplicadas sobre la estructura, tal y como se muestra a continuación:

Figura 21: Diagrama de cuerpo libre



(Fuente: Elaboración propia)

Al analizar las fuerzas involucradas se determinó la fuerza debida a la sujeción de la cadena hacia el polipasto, representada con la flecha roja sobre el eje “y” con dirección positiva y la fuerza debida al peso de los pallets, representada con una flecha azul sobre el eje “y” con dirección negativa.

Según esta información se realizó el análisis estructural estático y dinámico representado en el software las fuerzas de la misma forma.

## I. Análisis de cargas

En cuanto al análisis de cargas, una vez terminado el diseño se evaluó si el mismo era funcional por medio de los análisis estático y dinámico a través del método de elementos finitos y con ayuda de la herramienta Ansys. A continuación, se detallan los procedimientos seguidos en cada uno de los procesos.

## 1. Análisis estructural estático teórico

### a. Análisis del esfuerzo cortante en pernos

$$s = \frac{1}{2} v_{sy}$$

Ecuación 10: Esfuerzo cortante

$$s = \frac{F}{A} = \frac{w}{2A} = \frac{w}{2 * (\frac{\pi}{4} * \theta^2)}$$

$$s = \frac{2400 + 400}{\frac{3}{2} \pi \theta^2} = \frac{2 * (2800)}{3\pi (0.75)^2} = \frac{5600}{5.3}$$

$$s = 1056.6 \text{ psi}$$

$$11,5000 \text{ psi} < 1056.6 \text{ psi}$$

$$\text{Factor de seguridad} = \eta = 10.884$$

Donde:

“F”= fuerza compresora

“A”= Área transversal donde se aplica la fuerza

“W”= carga aplicada

### b. Análisis esfuerzo de tensión en estructura superior

$$s_c = \frac{F}{A} = \frac{W_t}{8 \text{ in}^2} = \frac{5600 \text{ lb}}{8 \text{ in}^2}$$

Ecuación 11: Esfuerzo de tensión en estructura

$$700 \text{ psi} < \delta_y$$

$$700 \text{ psi} < 36,000 \text{ psi}$$

$$\text{Factor de seguridad} = \eta = 52$$

Donde:

“F”= fuerza compresora

“A”= Área transversal donde se aplica la fuerza

“W”= carga aplicada

c. Análisis de tensión en la soldadura del soporte de cadena

$$\sigma_t = \frac{F}{hL} = \frac{\frac{W_t}{2} \text{ sen } 15^\circ}{a * b} = \frac{3,100 \text{ lb sen } 15}{6 \text{ in}^2} = \frac{802.34 \text{ lb}}{6 \text{ in}^2}$$

Ecuación 12: Esfuerzo de tensión en soldadura

$$\sigma_t = 133.72 \text{ psi}$$

$$133.72 \text{ psi} < \delta_y$$

$$133.72 \text{ psi} < 36,300 \text{ psi}$$

$$\text{Factor de seguridad} = \eta = 196$$

Donde:

“F”= fuerza compresora

“h”= grosor del cordón

“L”=longitud del cordón

“W”= carga aplicada

d. Análisis de flecha máxima en las cuchillas

$$\varphi \text{ max} = Fa^2 * \frac{3L - a}{6EI} = (550 \text{ lb}) (22.635)^2 * \frac{[3 * (45.27) - 22.635]}{6(29,870,000) * \frac{5}{12}}$$

Ecuación 12: Flecha máxima

$$\delta \text{ max} = \frac{31,835,086.71}{74,672,552.38} = 0.426 \text{ in} = 10.82 \text{ mm}$$

Donde:

“F”= fuerza compresora

“a”= área de la viga

“L”=longitud de la viga

“E”= modulo de elasticidad del acero

“I”= momento de inercia de la viga

“W”= carga aplicada

Cuadro 31: Resultados teóricos

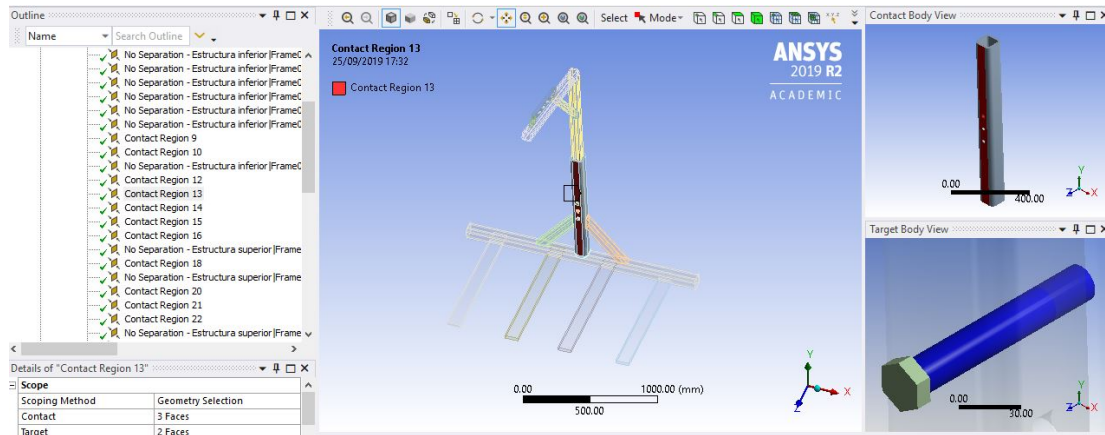
Parte de la estructura	Resultado	Dimensionales
Análisis del esfuerzo cortante en pernos	1,667,934 - 11,500	Psi – MPa
Análisis de esfuerzo de tensión en estructura superior	101,526 - 700	Psi – MPa
Análisis de tensión en la soldadura del soporte de cadena	19,394.45 - 133.72	Psi – MPa
Análisis de flecha máxima en las cuchillas	10.82 – 0.43	mm - in

(Fuente: Elaboración propia)

## 2. Análisis estructural estático por medio de Ansys

Para el análisis por medio de Ansys se realizó un análisis estructural en el Workbench de Ansys, se configuro los parámetros del material en la pestaña de “Engineering Data” y en la pestaña de “Model” se prosiguió a definir todos los parámetros. El primer parámetro a considerar fue definir que cuerpos estarían fijos en la estructura. Los cuerpos que se seleccionaron como fijos fueron los pernos y los tenedores que embisten la carga.

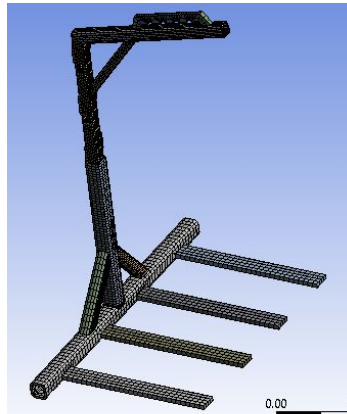
Figura 22: Cuerpos fijos



(Fuente: Elaboración propia)

Luego se prosiguió a elaborar el mallado, el cual sirve para analizar la estructura por el método de elementos finitos. Este método consiste en elaborar un método numérico general para la aproximación a una ecuación diferencial sencilla capaz de modelar el sistema, para esto se divide la estructura en miles de partes más pequeñas y se analiza cada una. El mallado consiste en esta división de partes más pequeñas.

Figura 23: Mallado

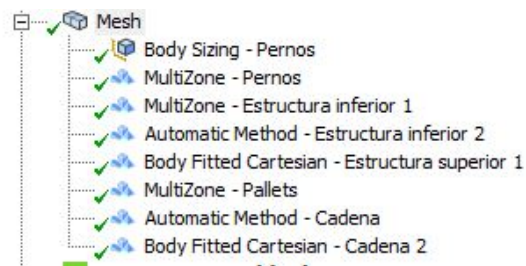


Fuente: (elaboración propia)

Primero se aplicó el mallado automático del programa. Para poder verificar que tan bueno era el mismo se empleó el parámetro de calidad ortogonal, el cual mientras más cercano a un valor de 1.0 se encuentre mejor será el mismo. El resultado obtenido fue de 0.23, lo cual no es aceptable para el análisis deseado. Valores entre 0 a 0.001 se toman como inaceptables, entre 0.001 a 0.14 es considerado de mala calidad, de 0.15 a 0.2 es aceptable, de 0.21 a 0.69 es bueno, de 0.7 a 0.95 es muy bueno y de 0.95 a 1 es excelente.

Debido al valor que se obtuvo se recurrió a emplear métodos de mallado especiales para mejorar el mismo. Lo primero que se hizo fue verificar en que partes del mecanismo se tenían los mallados de más baja calidad. Se segmentó la estructura y se elaboró un método particular para cada una de las divisiones según fuera pertinente como se muestra a continuación:

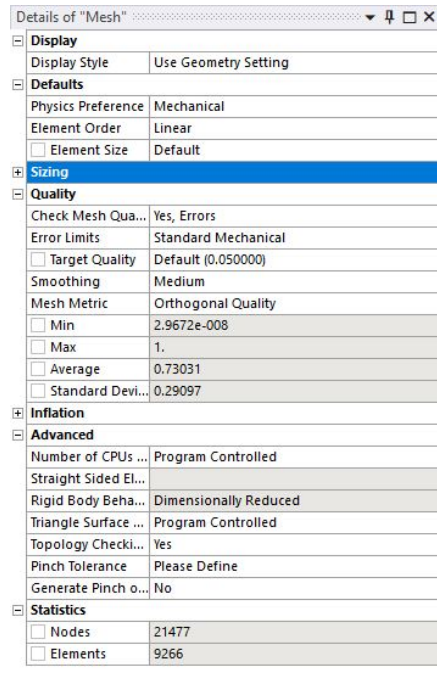
Figura 24: Técnicas de mallado



(Fuente: Elaboración propia)

Al dividir la estructura con mallados distintos según fuera pertinente se logró tener una calidad ortogonal promedio de 0.78. Con esta calidad se obtuvieron 21,477 nodos y 9,266 elementos.

Figura 25: Detalles del mallado obtenido

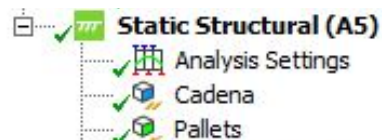


Details of "Mesh"	
<b>Display</b>	
Display Style	Use Geometry Setting
<b>Defaults</b>	
Physics Preference	Mechanical
Element Order	Linear
<input type="checkbox"/> Element Size	Default
<b>Sizing</b>	
<b>Quality</b>	
Check Mesh Qua...	Yes, Errors
Error Limits	Standard Mechanical
<input type="checkbox"/> Target Quality	Default (0.050000)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	Orthogonal Quality
<input type="checkbox"/> Min	2.9672e-008
<input type="checkbox"/> Max	1.
<input type="checkbox"/> Average	0.73031
<input type="checkbox"/> Standard Devi...	0.29097
<b>Inflation</b>	
<b>Advanced</b>	
Number of CPUs ...	Program Controlled
Straight Sided El...	
Rigid Body Beha...	Dimensionally Reduced
Triangle Surface ...	Program Controlled
Topology Checki...	Yes
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch o...	No
<b>Statistics</b>	
<input type="checkbox"/> Nodes	21477
<input type="checkbox"/> Elements	9266

(Fuente: Elaboración propia)

Una vez obtenido un mallado aceptable se procedió a aplicar las cargas a analizar. Se agregó una fuerza de 10,000N. Para determinar esta carga se tomó como referencia que cada pallet tiene un peso promedio de 1,100lbs, se tomó en cuenta la fuerza resultante de cargar dos pallets de forma simultánea. Esta masa se pasó a kilogramos para luego multiplicarlo por la gravedad y así obtener la fuerza resultante fue de 10,000N.

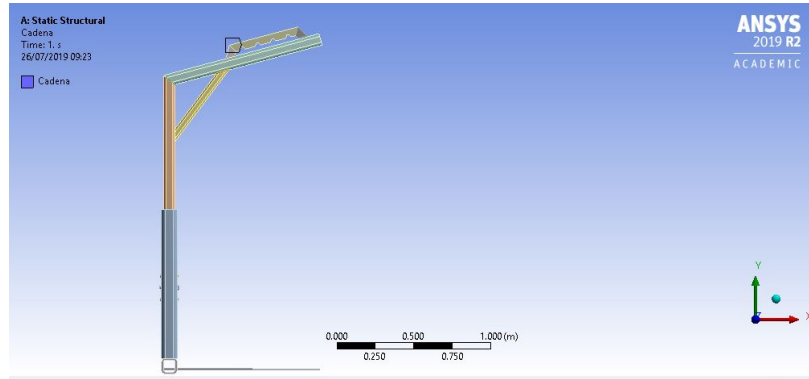
Figura 26: Cargas aplicadas



(Fuente: Elaboración propia)

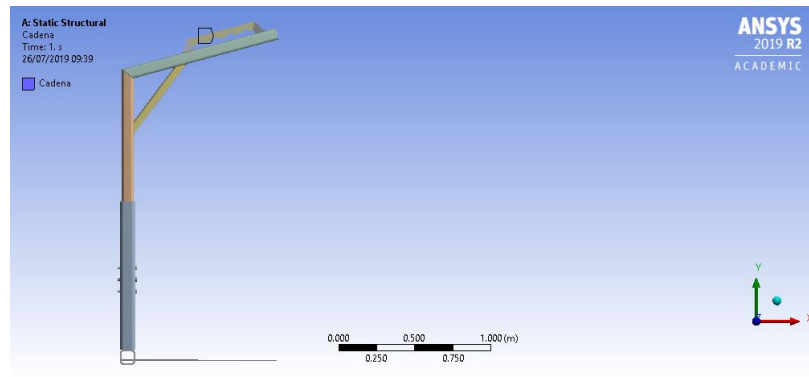
Se tomó en cuenta como punto de apoyo fijo las distintas posiciones en las que se podía colocar la cadena tal y como se muestra a continuación. (Para todas las posiciones se tuvieron los mismos resultados)

Figura 27: Punto de apoyo fijo evaluado No. 1



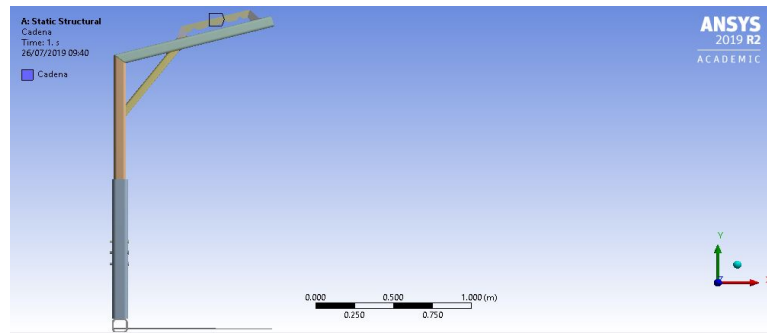
(Fuente: Elaboración propia)

Figura 28: Punto de apoyo fijo evaluado No. 2



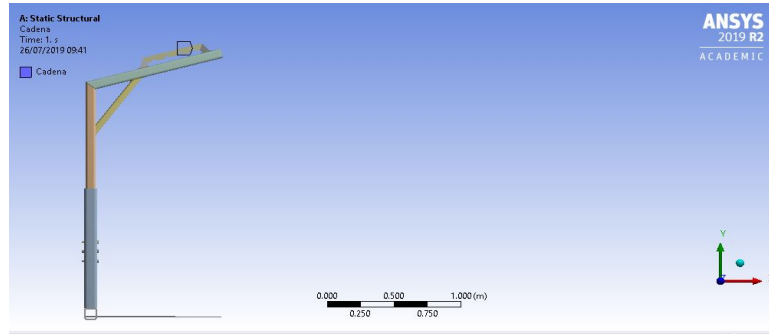
(Fuente: Elaboración propia)

Figura 29: Punto de apoyo fijo evaluado No. 3



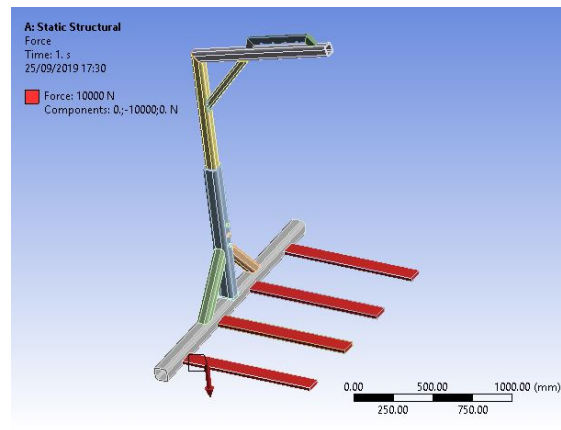
(Fuente: Elaboración propia)

Figura 30: Punto de apoyo fijo evaluado No. 4



(Fuente: Elaboración propia)

Figura 31: Aplicación de fuerza uniforme



(Fuente: Elaboración propia)

Finalmente, para completar este análisis se agregaron las soluciones de los esfuerzos que se querían estudiar, tal y como se muestra en la imagen a continuación.

Figura 32: Solución de la simulación de Ansys



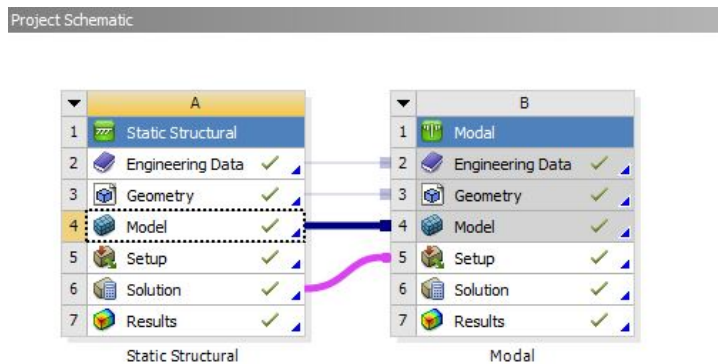
Fuente: (elaboración propia)

### 3. Análisis estructural dinámico por medio de Ansys

Con el objetivo de evaluar si la estructura fallara debido a las vibraciones se realizó un análisis dinámico. Este análisis se realizó por medio de Ansys, con una configuración modal. Esta configuración modal busca las frecuencias a la que la estructura entrara en resonancia.

Para realizar el análisis es necesario evaluar la estructura con pre-estrés, para poder determinar cómo las cargas afectan en la simulación dinámica a la estructura. Para esto se realizó el procedimiento como se puede ver a continuación:

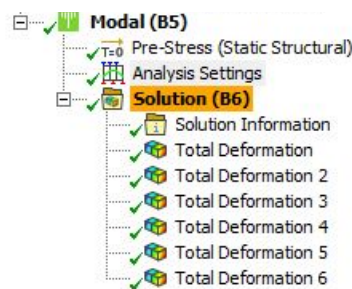
Figura 33: Análisis modal con pre-estrés



(Fuente: Elaboración propia)

Una vez se tuvo este análisis se procedió a buscar la solución y examinar el resultado de la deformación para los primeros seis nodos, tal y como se muestra a continuación:

Figura 34: Solución del análisis dinámico



(Fuente: Elaboración propia)

## J. Análisis financiero de la elaboración del prototipo

Para poder presentar el proyecto y evaluar que el mismo fuera viable se realizó un análisis financiero del costo de producir el mecanismo. Esta etapa consistió en la elaboración del análisis financiero, la elaboración de conclusiones acerca del proyecto y la ejecución de la presentación del proyecto, tal y como se detalla a continuación.

### 1. Cálculo del costo de diseño propuesto

El análisis financiero se hizo con la ayuda de la recolección de datos anteriormente mencionada. Se tomaron en cuenta tanto los costos base como los costos indirectos de fabricación.

Entre los costos base, se tomaron en cuenta los costos de los materiales en las medidas mínimas de distribución. Se calculó la cantidad de material necesario como se muestra en la sección de anexos.

Finalmente, como costo directo, se tomó en cuenta el costo de la mano de obra con una aproximación del tiempo que llevaría armar la estructura. Esto se hizo con ayuda del asesor que es experto en el tema de maquinado.

Entre los costos indirectos, se tomó en cuenta el costo del Trolley, cotizándolo en Grainger y el costo del polipasto, proporcionado por Samboro.

Costo del diseñador: Para evaluar este costo, se tuvo una reunión con el asesor del proyecto, el cual es experto en el tema. Según su recomendación y por el tiempo y esfuerzo involucrados en el proyecto se fijó dicho costo como se muestra.

Costo de manufactura: Este costo se obtuvo según la reunión que se tuvo con el personal encargado del taller de Samboro. Se preguntó cuál sería el tiempo necesario para elaborar dicha estructura y según su salario, se fijó dicho costo.

Costo de la pintura del mecanismo: Se evaluaron distintos proveedores de la pintura necesaria y se hizo un estimado de la cantidad de galones necesarios.

Tubo cuadrado 4x4x 1/2 y 3x3x1/2 y platinas de 4 x 1: Según las medidas de la estructura, se evaluó la cantidad de material necesario para la manufactura. Según estos cálculos y a los precios del mercado anteriormente investigados se obtuvo el costo total de los tubos y las platinas según la cantidad mínima de venta. Cabe mencionar que de la cantidad de tubo comprado se pueden dos mecanismos.

Electrodos: Según la longitud de los cordones, el espesor de los mismos y su densidad se pudo obtener la masa de electrodos necesaria para la elaboración de las estructuras. Según los precios por libra anteriormente investigados, se obtuvo el costo total por la cantidad de electrodos necesarios en libras.

Pernos y trolley: El costo de estos componentes se obtuvo de un catálogo en línea llamado “Grainger”, según el precio de venta se estimó el precio total por la compra e importación a Guatemala con ayuda de la empresa Motores Marítimos de Centroamérica, la cual le trabaja a Samboro.

Polipasto: Este recurso ya lo tenía disponible Samboro, por lo que se buscó el precio histórico y en base a la fórmula financiera del valor presente se obtuvo el costo actual de dicho componente.

Operarios: Finalmente se calculó según la cantidad de operarios necesarios y el salario actual, el costo de los mismos en dicho proceso.

## K. Entrega y presentación del diseño

Finalmente se comparó el análisis financiero del costo actual de carga contra el análisis financiero de la elaboración del diseño. Según eso y los resultados del análisis estructural se concluyó la viabilidad de ejecutar el proyecto.

Teniendo estas conclusiones y todos los datos pertinentes, se elaboró una presentación formal para mostrar todos los resultados obtenidos. Esta presentación se elaboró con ayuda del asesor y fue expuesta en la planta de Samboro al gerente general, gerente de calidad, encargado de bodegas y al encargado de distribución y finalmente en la Universidad del Valle de Guatemala

Con fines de demostración del proyecto, se realizó también una simulación del funcionamiento del mecanismo con ayuda del software inventor.



## X. RESULTADOS

### A. Costo actual

Según la información recolectada se pudo realizar el costo anual del proceso de carga. Este valor se determinó al sumar el costo del personal involucrado anualmente y el costo de los montacargas anualmente, tal y como se detalla a continuación.

Cuadro 32: Costo total actual del proceso de carga

COSTO TOTAL ACTUAL ANUAL DEL PROCESO DE CARGA	
Personal (12 personas por 8 años)	Q 586,956.52
Costo por el uso de Montacargas (8 años)	Q 748,800.00
Inversión inicial por 4 montacargas	Q 936,000.00
Total	Q 11,622,052.16

Fuente: Elaboración propia

### B. Costo del diseño propuesto

Según los costos involucrados en la elaboración del diseño propuesto, se obtuvieron los siguientes resultados:

Cuadro 33: Costo del diseño propuesto

Costo del diseñador (1)	Q 25,000.00
Costo de manufactura	Q 2,500.00
Coso de pintura para el mecanismo	Q 326.00
Cantidad de tubo cuadrado (4x4x1)	Q 2,530.00
Cantidad de tubo cuadrado (3x3x1)	Q 1,613.00
Cantidad de platinas (4*1)	Q 1,002.00
Costo de los pernos (3)	Q 135.00
Electrodos	Q 242.00
Trolley y cadena	Q 45,945.90
Polipasto	Q 423,970.35
Operarios (3)	Q 97,826.09
Total	Q 601,090.35

(Fuente: Elaboración propia)

### C. Análisis financiero

Flujo de caja del valor presente neto (VPN) del montacargas, con una tasa de interés 10%, tomando como referencia el mercado bancario nacional:

Cuadro 34: Flujo de caja del VPN por montacarga

Flujo del costo anual del montacargas (Año 1) [Q]:	20155.80
Flujo del costo anual del montacargas (Año 2) [Q]:	22,288.10
Flujo del costo anual del montacargas (Año 3) [Q]:	24657.40
Flujo del costo anual del montacargas (Año 4) [Q]:	27,289.90
Flujo del costo anual del montacargas (Año 5) [Q]:	30,214.90
Flujo del costo anual del montacargas (Año 6) [Q]:	33,139.90
Flujo del costo anual del montacargas (Año 7) [Q]:	36,357.40
Flujo del costo anual del montacargas (Año 8) [Q]:	39,896.60
Total [Q]:	234,000.00

(Fuente: Elaboración propia)

TIR = 121%

### D. Diseño propuesto

#### 1. Elaboración del diseño estructural

Con la ayuda del software Inventor Autodesk se realizó el diseño del mecanismo propuesto. Para esto se trabajó en base a un plano de referencia las diferentes partes que conformarían el mecanismo final. Se dividió el mecanismo en estructura superior, estructura inferior, pernos y cuchillas, tal y como se muestra a continuación:

Figura 35: Estructura inferior



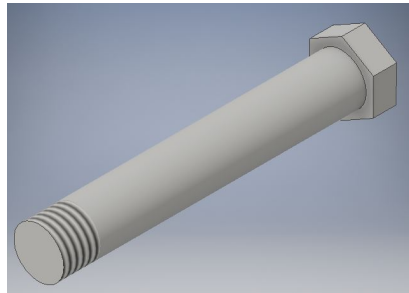
(Fuente: Elaboración propia)

Figura 36: Estructura superior



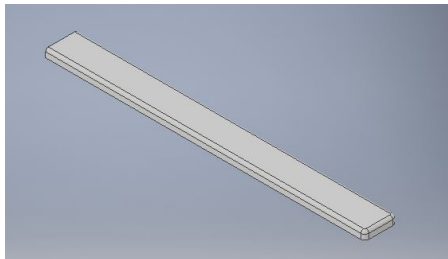
(Fuente: Elaboración propia)

Figura 37: Pernos



(Fuente: Elaboración propia)

Figura 38: Cuchillas



(Fuente: Elaboración propia)

## 2. Ensamblaje

Una vez se tuvo todas las piezas que conformarían la estructura final, se procedió a juntar las mismas en dos configuraciones distintas tal y como se muestra a continuación:

Figura 39: Ensamblaje final



(Fuente: Elaboración propia)

Figura 40: Ensamblaje alternativo



(Fuente: Elaboración propia)

### 3. Planos

Finalmente se realizó un conjunto de planos, el cual se encuentra en los anexos en este trabajo. Este conjunto de planos muestra todas las partes, dimensiones y soldaduras de cada una de las piezas del mecanismo propuesto.

## E. Análisis estructural estático

Según el análisis estático realizado, se obtuvieron los siguientes resultados:

Cuadro 35: Análisis estático estructural

Análisis realizado	Valor mínimo	Valor máximo
Deformación total	0 mm – 0in	9.8962 mm – 0.39in
Estrés equivalente	0.079 MPa – 11.46psi	187.53 MPa – 27,198-93psi
Estrés máximo cortante	-201.81 MPa - -29270-07psi	432.79 MPa – 62,770-88psi
Estrés normal	-244.98 MPa - -35,531.34psi	228.65 MPa – 33,162.89psi
Factor de seguridad	2.133	

(Fuente: Elaboración propia)

## F. Análisis estructural dinámico

Al evaluar los primero seis nodos del análisis modal en búsqueda de la frecuencia a la que entra en resonancia la estructura se obtuvieron los siguientes resultados:

Cuadro 36: Análisis estructural dinámico

Nodo	Frecuencia (Hz)	Mínimo (mm)	Máximo (mm – in)
1	10.737	0	2.571 – 0.100
2	15.24	0	2.431 - 0.096
3	22.2	0	7.297 – 0.287
4	24.761	0	9.321 – 0.363
5	26.678	0	9.462 – 0.373
6	26.977	0	10.840 – 0.427

(Fuente: Elaboración propia)



## XII. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### A. Análisis financiero

Según los resultados del costo actual anual de carga por medio de montacargas (Q 1,452,756.52) y del costo de la inversión del mecanismo propuesto (Q 1,202,180.7), se evaluó la tasa interna de retorno, tal como se explicó en la metodología para poder determinar si es más conveniente invertir en el mecanismo propuesto.

Tomando como inversión inicial el costo del diseño del mecanismo propuesto y el flujo de caja como el costo actual de carga por medio de montacargas, durante un periodo de 8 años, se obtuvo una TIR de 121%.

Es importante recalcar que con un resultado de TIR tan elevado y tomando en cuenta que la propuesta está desarrollada para una única inversión anual, mientras que la metodología actual requiere de una inversión anual por un periodo de 8 años, no es necesario realizar un análisis de valor presente neto (VPN), ya que no existe un flujo de caja para la propuesta del mecanismo y por ende no es necesario aplicar una tasa de inflación.

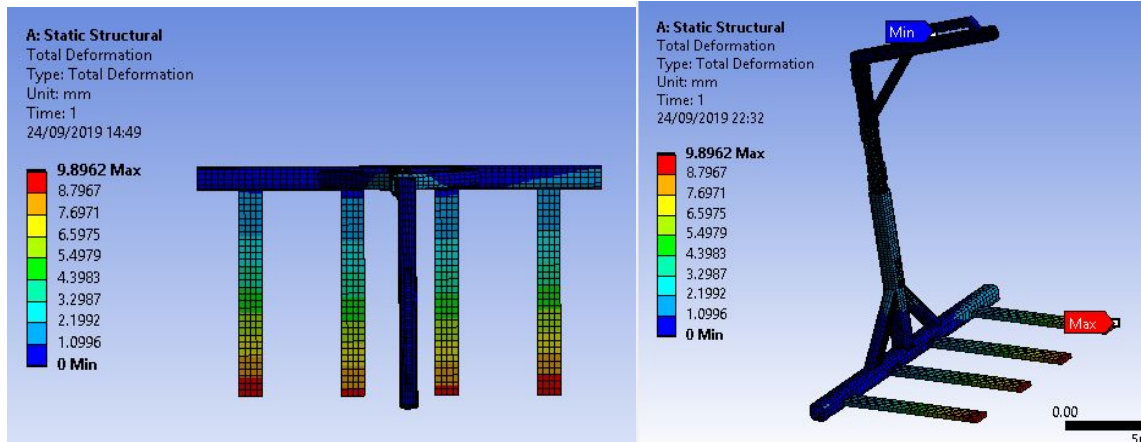
### B. Análisis estructural estático por medio de Ansys

Para la elaboración de este análisis se empleó el método de Calidad Ortogonal. Este método es un parámetro que se emplea para medir la calidad del mallado y del Análisis realizado en una escala valorativa del cero al uno. Mientras más cercano al uno este, mejor es el mallado realizado.

Para la realización del análisis, inicialmente se aplicó el mallado automático, sin embargo, se obtuvo una calidad ortogonal demasiado baja. Por esta razón se realizaron técnicas de mallado especiales para cada sección de la estructura como se explicó anteriormente. Según este mallado se calculó los resultados para los siguientes análisis:

- Deformación total: El análisis de las deformaciones se relacionan con los cambios en la forma de la estructura que generan las cargas aplicadas. Este análisis permite determinar la resistencia y rigidez del material estructural.

Figura 41: Deformación total

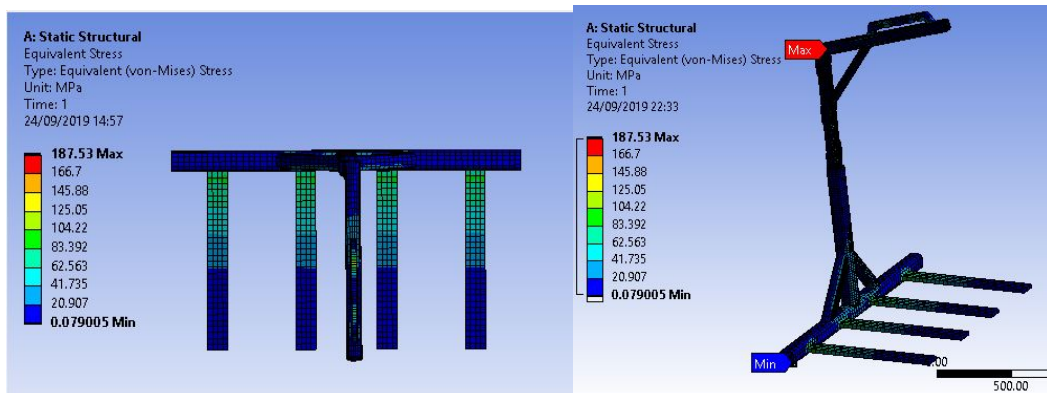


(Fuente: Elaboración propia)

Como se puede observar, la deformación total máxima es de 0.00989m es decir 9.8962 mm, lo cual es imperceptible tomando en cuenta el largo de las cuchillas que vestirán la carga. Esta deformación máxima total ocurriría en el peor de los escenarios, el cual es representado mediante el color rojo. En la imagen se puede observar que esta deformación máxima únicamente ocurrirá en el extremo de las cuchillas que vestirán la carga. El análisis estructural se elaboró con una fuerza de 10,000N, lo cual representa 2 pallets.

- Estrés equivalente: Este análisis permite determinar en qué momento ocurrirá la falla cuando la deformación total sea igual a la energía de deformación total, la cual corresponde a la fluencia por tensión o compresión.

Figura 42: Análisis del estrés equivalente



(Fuente: Elaboración propia)

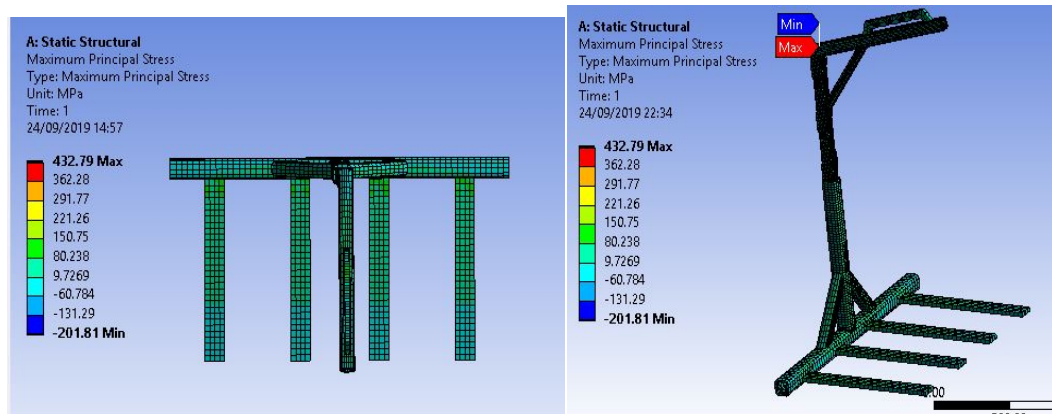
Como se puede observar en la imagen, en la escala de colores, la estructura se comporta en la mayor parte de su geometría con un estrés equivalente mínimo o medio. Los puntos que se someten a mayor tensión o

comprensión, es entre la unión de la estructura superior y donde sostiene la cadena a la estructura, lo cual teóricamente sabemos que no es cierto, ya que en este punto se tendrá una soldadura con resistencia mayor al acero estructural A36.

El acero estructural A36 tiene un límite a la fluencia mínimo de 250 MPa, lo cual es mucho mayor al esfuerzo máximo representado por el estrés equivalente, esto nos asegura que la estructura no se verá comprometida con las cargas aplicadas.

- Estrés máximo cortante: Este análisis es las combinaciones entre los esfuerzos normales y cortantes. Este análisis permite determinar en qué puntos se tendrá un mayor esfuerzo flector y una mayor fuerza tensora en cualquier sentido.

Figura 43: Análisis del estrés máximo cortante

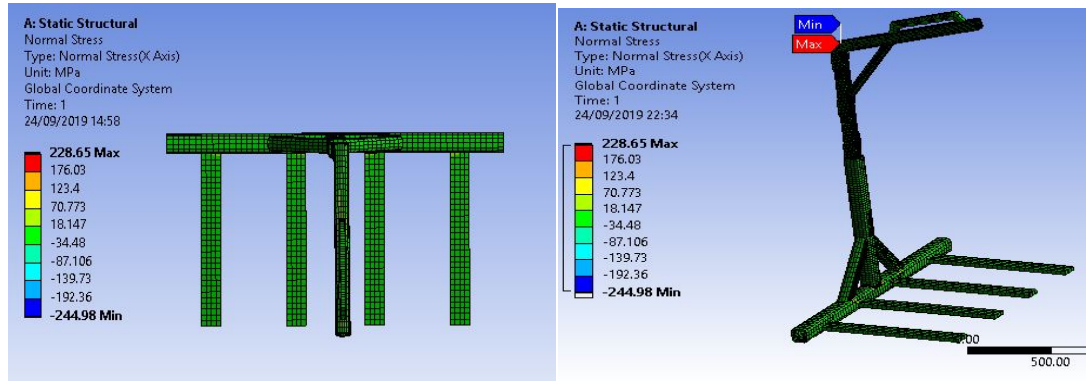


(Fuente: Elaboración propia)

El acero A36 posee una resistencia a la tracción de 550 MPa, lo cual se encuentra muy por encima del estrés máximo al que está sometida la estructura diseñada. Tal y como se puede observar en la imagen, la mayor parte de la estructura está sometida a un esfuerzo cortante máximo intermedio, según la escala de colores. Los puntos más críticos serán las uniones en la estructura superior y el punto de sujeción de la cadena con la estructura.

- Estrés normal: El análisis del estrés normal nos ayuda a determinar en qué puntos de la estructura, la tensión y compresión debida a un momento flector es mayor.

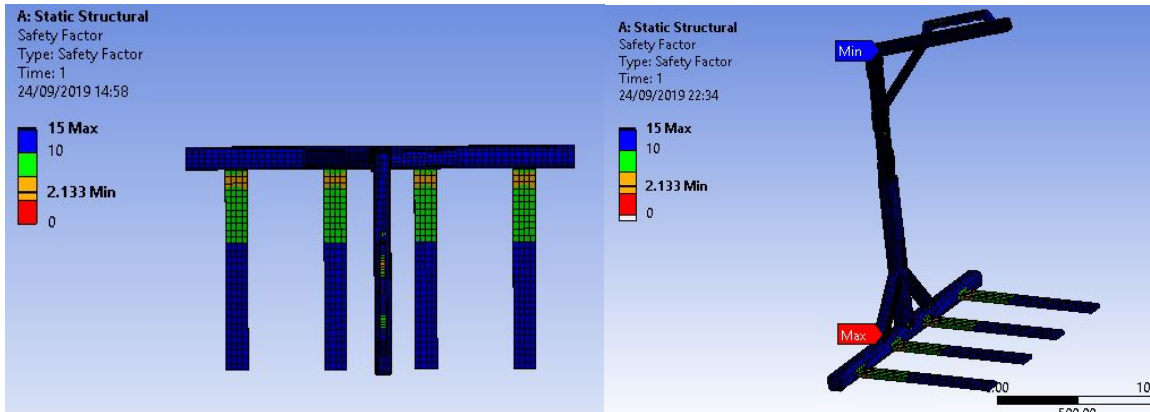
Figura 44: Análisis del estrés normal



(Fuente: Elaboración propia)

- Factor de seguridad: El factor de seguridad es el resultado entre la capacidad máxima del sistema y el valor real esperado. En las estructuras mecánicas se busca que este sea mayor a uno para corroborar su confiabilidad. Este resultado es de suma importancia para determinar si la estructura es capaz de soportar los esfuerzos a los que estará sometida.

Figura 45: Análisis del factor de seguridad

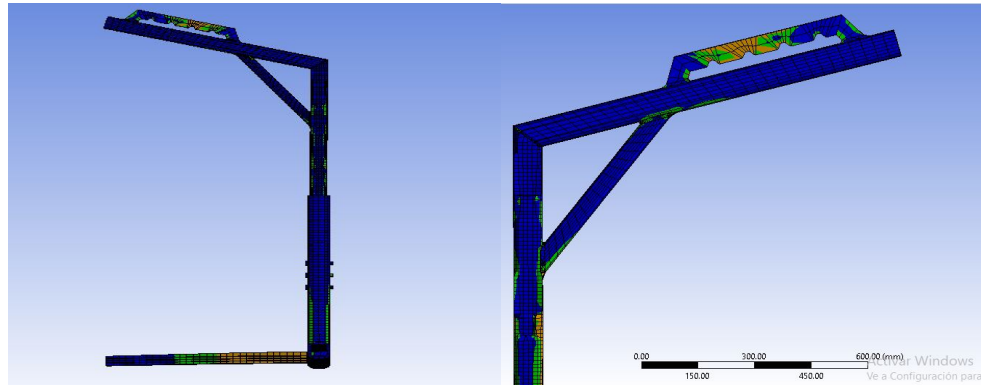


(Fuente: Elaboración propia)

Tal y como se puede observar, la estructura posee un factor de seguridad de 2.133 para una carga de 10,000 N, lo cual equivale a 2 pallets cargadas simultáneamente. Este resultado es satisfactorio, ya que asegura que la estructura no se verá comprometida al momento de ser empleada.

Según la escala de colores, se puede observar que los puntos críticos se encuentran en la base de las cuchillas, en las uniones de los tubos y donde se sujeta el mecanismo mediante la cadena. Sin embargo, en este punto el factor mínimo de seguridad es el ya mencionado anteriormente, en el resto de la estructura el factor de seguridad oscila entre 2.133 y 15, lo cual indica que la estructura es sumamente rígida y soportara los esfuerzos para los que se ha diseñado.

Figura 46: Vistas laterales del factor de seguridad

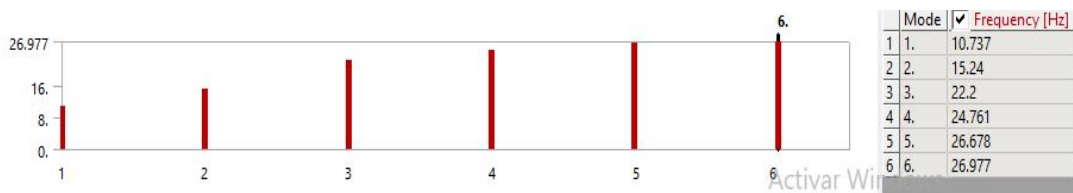


(Fuente: Elaboración propia)

### C. Análisis estructural dinámico por medio de Ansys

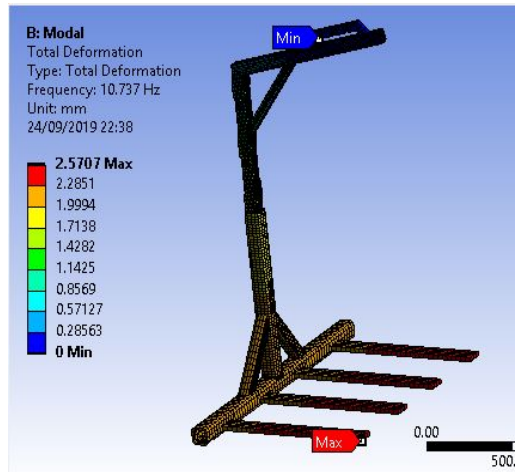
El análisis modal describe el comportamiento dinámico de cualquier estructura mecánica lineal en términos de parámetros que describen su resonancia estructural. Estos parámetros están determinados por la frecuencia de resonancia, esta frecuencia es característica de un cuerpo o un sistema que alcanza el grado máximo de oscilación. Cuando un sistema es excitado a una de sus frecuencias características, su vibración es la máxima posible. Para este análisis se obtuvieron las siguientes frecuencias de oscilación:

Figura 47: Nodos analizados



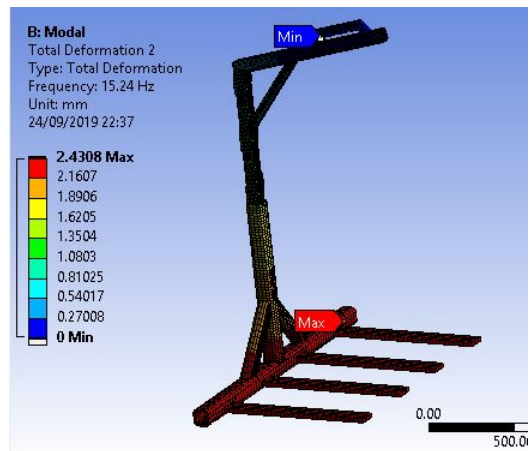
(Fuente: Elaboración propia)

Figura 48: Nodo analizado No.1



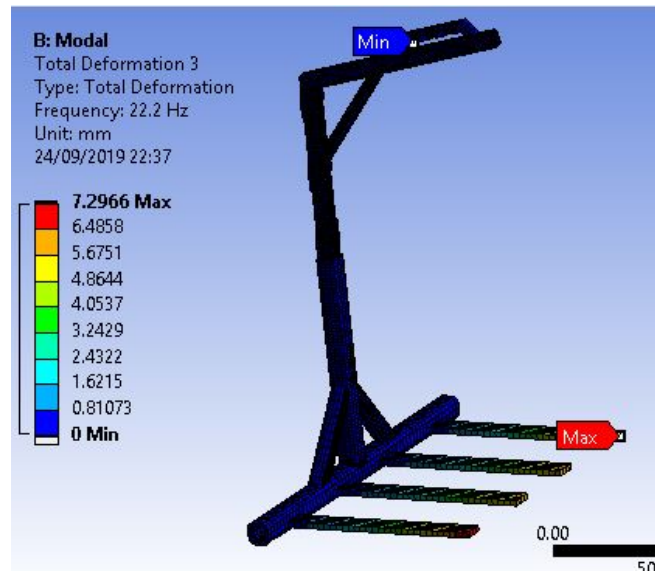
(Fuente: Elaboración propia)

Figura 49: Nodo analizado No. 2



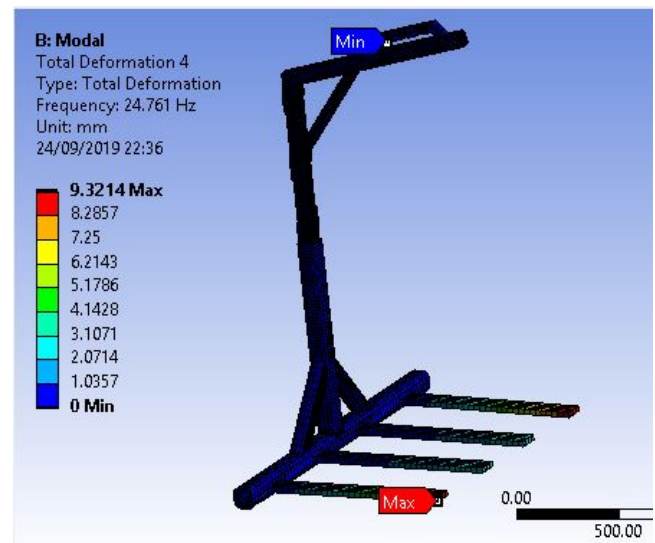
(Fuente: Elaboración propia)

Figura 50: Nodo analizado No. 3



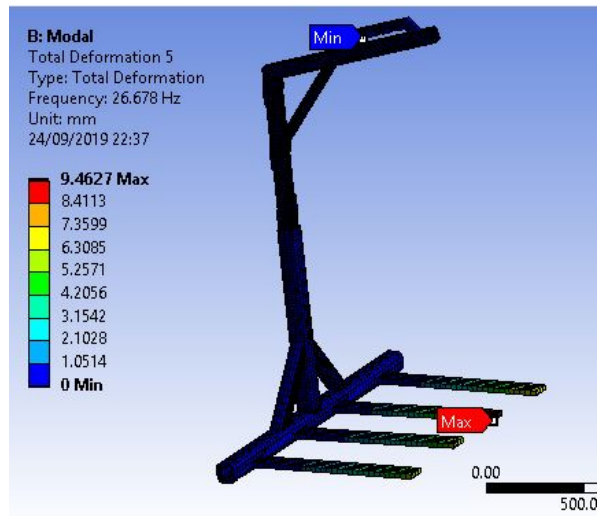
Fuente: Elaboración propia

Figura 51: Nodo analizado No. 4



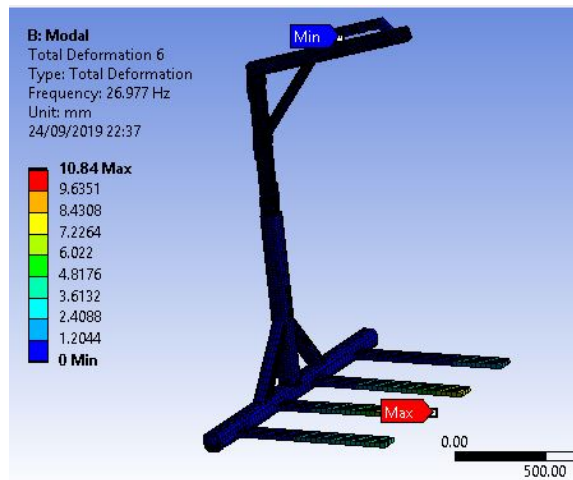
Fuente: Elaboración propia

Figura 52: Nodo analizado No. 5



Fuente: Elaboración propia

Figura 53: Nodo analizado No. 6



Fuente: Elaboración propia

Tomando en cuenta el trolley que se recomienda para este mecanismo, la velocidad máxima a la que el mecanismo estará funcionando es de 3.5 fpm (pies por minuto), lo cual equivale a 7.72 rpm (revoluciones por minuto). A continuación, se presenta una tabla con las frecuencias equivalente a las velocidades en rpm:

Cuadro 37: RPM equivalente en Hertz

Velocidad del trolley (rpm)	Frecuencia equivalente
2	0.0333
4	0.0667
6	0.1
8	0.133
10	0.1667

(Fuente: Elaboración propia)

Se puede entonces concluir que la máxima frecuencia a la que la estructura se verá sometida es de 0.133Hz, si se observan los nodos de resonancia, se puede observar que la estructura nunca llegara a entronar en resonancia y por ende nunca se tendrán los valores de deformaciones máximo.



## XIV. CONCLUSIONES

1. Al elaborar el análisis financiero se determinó que el costo actual de carga es de Q1,452,756.52 anualmente, mientras que el costo de implementar el mecanismo propuesto en ambas bahías es de Q1,202,180.70 en una única inversión. En un periodo de ocho años el mecanismo propuesto es en promedio nueve veces más económico que emplear montacargas. Con estos datos obtenemos una TIR de 121%, lo cual hace que la propuesta sea sumamente viable. De esta forma se puede concluir los beneficios de la implementación del diseño propuesto.
2. El material propuesto para la elaboración del mecanismo es el acero estructural ASTM A36, debido a sus propiedades físicas y mecánicas para soportar los esfuerzos a los que se verá sometido el mecanismo. Se seleccionó el material también tomando en cuenta la disponibilidad del mismo en el mercado de aceros en Guatemala y la disponibilidad de las dimensiones necesarias para ejecutar el diseño. Más específicamente, la disponibilidad del material, las dimensiones, el módulo de elasticidad, la resistencia a la tracción y el límite de fluencia, fueron los conceptos claves para seleccionar el material adecuado en la ejecución del mecanismo.
3. Con ayuda del Software Ansys se pudo determinar que el mecanismo diseñado cumple con lo requerido, por medio del análisis de la deformación total, el estrés equivalente, el estrés máximo cortante, el estrés normal y el factor de seguridad. El resultado que más respalda la efectividad del diseño es el factor de seguridad, el mismo arroja un valor de 2.133 como mínimo y 15 como máximo a lo largo de toda su geometría. La rigidez del mismo es apreciable al observar el análisis de deformación total, ya que en el peor de los escenarios el mecanismo se deformará únicamente 9 mm, en el extremo en voladizo de las cuchillas, al mantener la carga de forma estática por largos periodos de tiempo, lo cual es imperceptible debido a que el mecanismo se mantendrá en constante movimiento y las cuchillas tienen un largo de poco más de un metro, por lo cual no se compromete la seguridad del diseño. Esto se respalda según el cuadro no. 4 del presente trabajo, ya que para el acero estructural A36 se tiene una deformación máxima de 25% cada 500 mm, es decir que para una viga en voladizo de 1mt se tendrá una deformación máxima de 12.5mm antes del momento de corte. La deformación que presenta este diseño corresponde entonces a un 72% de la deformación total permisible por el material.

Finalmente se puede apoyar la viabilidad del diseño al observar que en los análisis de estrés normal, máximo y equivalente en el peor de los escenarios está por debajo de la resistencia a la tracción del material elegido, es decir que nunca se llegará a tener un momento en el que la estructura pueda estar comprometida debido a la carga aplicada.

4. Del análisis dinámico de cargas, teniendo en cuenta la velocidad máxima a la que se verá sometido el mecanismo (7.3rpm), se puede concluir que el mismo nunca entrara en resonancia, debido a que, para los nodos evaluados, la frecuencia a la que el mecanismo entra en resonancia es por lo menos 100 veces mayor. De esta forma se determina que nunca ocurrirá la deformación máxima y el mecanismo es completamente seguro y viable para su fabricación y uso.

## XV. RECOMENDACIONES

Conforme se avanzó en la elaboración del trabajo se fueron analizando algunas modificaciones que, por cuestiones de tiempo y alcance de este trabajo, se plantearon como recomendaciones. Estas recomendaciones se dividen en dos ramas, operación de la carga y diseño del mecanismo.

- Operación de carga:

Se recomienda que se reordene la bodega de almacenaje según el orden de carga del producto terminado del día siguiente, así como también se tenga un mejor control en el almacenaje del producto terminado. Se recomienda también que se realice un estudio acerca de la implementación del sistema “Just in Time” para evitar el costo de inventario. De esta forma se pretende que conjunto con el diseño propuesto se mejore el proceso de carga.

Actualmente el proceso de almacenaje no tiene un espacio un espacio definido. Debido al tamaño de la planta y la imposibilidad de crecer, el producto terminado se coloca en cualquier espacio disponible a lo largo de la planta.

En las múltiples visitas a la planta se observó que el producto muchas veces estaba a distancias considerablemente lejanas del área de carga, lo cual hacía que el proceso de carga fuera sumamente lento, mientras que existía espacio disponible en áreas más cercanas al área de carga.

Es por esto que se recomienda un mejor manejo de inventarios. Al tener un sistema Just inTime, se produciría un reordenamiento del uso de los recursos disponibles en la planta, teniendo así una planta más eficiente y ordenada. Es necesario también realizar un Diagrama de operaciones y un Diagrama de Recorridos acerca del almacenaje del producto terminado y la carga de este, con la finalidad de optimizar el proceso de carga, tener mejor orden y menores tiempos en cada proceso.

Se recomienda también la implementación de un software de automatización de carga para el mecanismo. Actualmente en Samboro se cuenta con montacargas automáticas que transportan el producto a lo largo de todos los procesos de producción en la planta por medio de un mapeo de la planta y el trazado de caminos con señales infrarrojas. La replicación de este sistema en el área de carga con el mecanismo propuesto podría reducir los tiempos de carga, los costos y el ordenamiento de la planta.

- Diseño del mecanismo:

Se recomienda que para mayor seguridad y si se planea emplear cargas cercanas al límite máximo de carga para el que fue diseñado el mecanismo, se adicione refuerzos a las cuchillas que embestirán la carga.

Para esto se puede colocar dentro del tubo cuadrado platinas con dimensiones de 2x1/2 in debajo y por encima de las cuchillas dentro del tubo estructural cuadrado para darle mayor soporte a las vigas en voladizo.

Se recomienda también adicionar nets para asegurar la carga y que un operario siempre supervise los puntos críticos en la movilización del producto, sobre todo al envestir la carga y dejarla sobre la plataforma.

## XVI. REFERENCIAS

- ASTM International, Historical Standard: *Especificación Normalizada para Acero al Carbono Estructural*, <https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/A36A36M-08-SP.htm>, 5 de abril del 2019
- ASTM A500, United Steel Industry Sitio web: <http://www.united-steel.com/es/newsshow/ASTM-A500.html> 29 de julio del 2019
- AZO Materials, *ASTM Acero Suave/Con poco carbono de A36*, <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=6117&lang=es> , 4 de abril del 2019
- Budunas, Richard; Nisbett, Keith. 2008. *Diseño de ingeniería mecánica de Shigley*. 8ª ed. Mexico. The Mc Graw Hill. 739 págs.
- Cembrero J, e. a. (2005). *Ciencia y Tecnología de Materiales. Cuestiones y Problemas*. Madrid.
- Fábio Domingo Pannoni, *El Acero hoy, Principios de protección de estructuras metálicas en situación de corrosión y fuego*, Gerdau Corsa, IMCA, 2015, 52 páginas.
- Garrido, S. G. (2010). *Organización y gestión integral de mantenimiento*. Madrid: Ediciones Diaz de Santos S.A.
- Gerdau Aza, 2000, *Compendio de normas para productos de acero*, Tercera edición, Gerdau Aza S.A., La unión 3070, Renca, Santiago Chile, 66 páginas.
- Grupo AP de Ramírez, *Venta de acero en formas*, [http://www.grupoap.com.gt/?page\\_id=462&lid=2&gid=6](http://www.grupoap.com.gt/?page_id=462&lid=2&gid=6), 4 de abril del 2019
- González, A. P. (2007). *Mantenimiento mecánico de máquinas*. Universitat Jaume.
- Ing. Eduardo Asta, *Introducción a la Soldadura de Estructuras en Acero*, UTN –FRH, Maestría/ Posgrado Ingeniería Estructural Mecánica, 84 paginas
- Hustle Ray, Cain Jack. (2000). *Structural mechanics*. Palgrave.
- Jack C. McCormar y Stephen F. Csernak, 2013, *Diseño de Estructuras de Acero*, quinta edición, Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C. V., México, 736 paginas
- Kalpakjian Serope, (2008) *Manufactura, ingeniería y tecnología*, 5ª edición, Mexico, Pearson Education, Inc., 1333 páginas.
- Montoya Martínez, Laura, 2015, *Estudio de la soldabilidad de uniones de acero estructural ASTM A-36 con acero inoxidable SAE-AISI 304*, para la empresa Ingeniar Inoxidables de Pereira, Tesis Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Tecnología Mecánica, 113 páginas.

Palma Carlos. (2011). *¿Cómo construir una matriz de riesgo operativo?* Revista de Ciencias Económicas.

Piaún Cabrera María Carolina, 2013, *Análisis Comparativo de las Propiedades Mecánicas de la Soldadura Obtenida con los Electrodo E7018 de diferentes marcas utilizados en la Industria Nacional*, Tesis Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica, 200 páginas.

Richard G. Budynas y J. Keith Nisbeth, 2012, *Diseño de ingeniería mecánica de Shigley*, novena edición, McGRAW-HILL/ INTERAMERICANA EDITORES, S.A, México D.F., 1039 páginas

Robert L. Norton, 2009, *Diseño de Maquinaria, Síntesis y análisis de máquinas y mecanismos*, cuarta edición, McGRAW-HILL/ INTERAMERICANA EDITORES, S.A, México D.F., 723 páginas.

Takeuchi, Caori Patricia, 2006, *Conexiones en estructuras metálicas*, Universidad Nacional de Colombia Departamento de Ingeniería Civil, 85 páginas

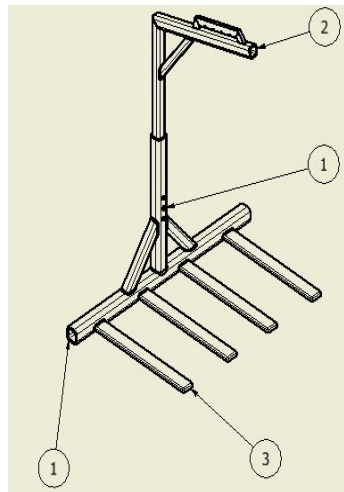
Waguespack Curtis, *Mastering Autodesk Inventor 2015*, 2014, Indiana, John Wiley & Sons, 1058 páginas

## XVII. ANEXOS

### A. Manual de seguridad de uso, ensamble y mantenimiento del mecanismo

Este manual es para el ensamblaje, mantenimiento y seguridad de uso del mecanismo de carga para pallets en camiones de plataforma abierta para la planta de Samboro. El mecanismo está diseñado para embestir el producto terminado, ordenado sobre los pallets en dos distintas modalidades. La primera modalidad es para cargar dos pallets simultáneamente y la segunda es para la carga de un solo pallet. Todas las normas y procedimientos detallados en el Manual deben seguirse de manera exacta para garantizar un buen funcionamiento y la seguridad del usuario.

Figura 54: Despiece alternativa 1



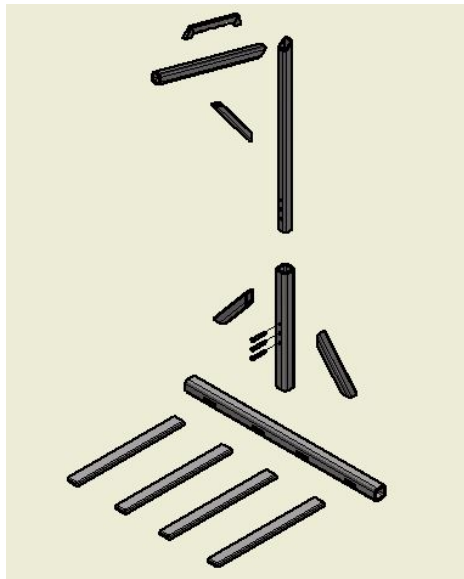
(Fuente: Elaboración propia)

Cuadro 38: Listado de partes alternativa 1

LISTADO DE PARTES				
ITEM	CANTIDAD	PARTE	CÓDIGO	MATERIAL
1	1	Estructura inferior	EI	Acero A36
2	1	Estructura superior	ES	Acero A36
3	4	Cuchillas	C	Acero A36
4	3	Pernos	P	SODIPER Grado8-BD ASTM A-325

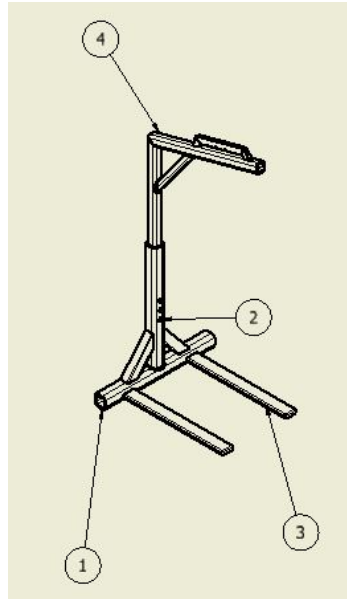
(Fuente: Elaboración propia)

Figura 55: Ensamble alternativa 1



(Fuente: Elaboración propia)

Figura 56: Despiece alternativa 2



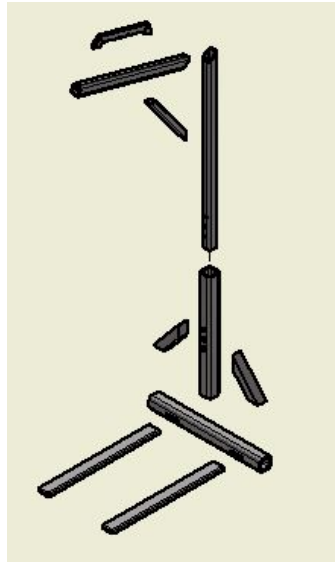
(Fuente: Elaboración propia)

Cuadro 39: Listado de piezas alternativa 2

LISTADO DE PARTES				
ITEM	CANTIDAD	PARTE	CÓDIGO	MATERIAL
1	1	Estructura superior	ES	Acero A36
2	1	Estructura inferior 2	EI2	Acero A36
3	3	Pernos	P	SODIPER Grado8-BD ASTM A-325
4	2	Cuchillas	C	Acero A36

(Fuente: Elaboración propia)

Figura 57: Ensamble alternativa 2



(Fuente: Elaboración propia)

## Normas de Seguridad



1. La máquina solo deberá ser utilizada según lo establece este manual.
2. La estructura inferior solo debe cambiarse una vez el mecanismo se encuentre en una posición de reposo y mientras no se esté realizando ninguna maniobra de movimiento.
3. El mantenimiento, ajuste y limpieza del mecanismo debe realizarse únicamente cuando se encuentre en estado de reposo y mientras no se esté realizando ninguna maniobra de movimiento, para evitar accidente y daños a personas.



4. Previo a embestir el pallet a cargar, asegurarse que el producto se encuentre correctamente cargado para evitar que el mismo sufra daños.
5. El mecanismo únicamente puede ser manipulado por personas mayores de 18 años y con la instrucción adecuada.



6. Además de los protectores auditivos y gafas, es obligatorio el uso de guantes de cuero y pantalón de lona. Se recomienda fuertemente el uso de calzado de seguridad y gabardina de cuero.
7. Antes de comenzar a utilizar el mecanismo, asegúrese que este está bien sujeto con la cadena del polipasto.
8. Por razones de seguridad, está prohibido que una persona se encuentre debajo del mecanismo en el momento que el producto este siendo transportado.



9. No introduzca las manos en la zona donde las cuchillas embiste a los pallets, durante el proceso de carga.
10. No cargar más de dos pallets simultáneamente o el equivalente a 3000lbs.
11. Cada día, antes de utilizar el mecanismo, realizar pruebas de movimiento en el polipasto y sobre los rieles.



12. Previo a emplear el mecanismo, se recomienda fuertemente que el operador haya tenido una capacitación previa.
13. Se recomienda fuertemente la presencia de una persona que ayude al proceso de carga para asegurar la correcta movilización del producto.

## Pictogramas

Utilice gafas protectoras.

Utilice protectores auditivos.

Utilice guantes protectores de cuero.

Se recomienda el uso de calzado de seguridad con punta de acero.

No manipule ninguna de las partes móviles hasta que esta se encuentre totalmente detenida.

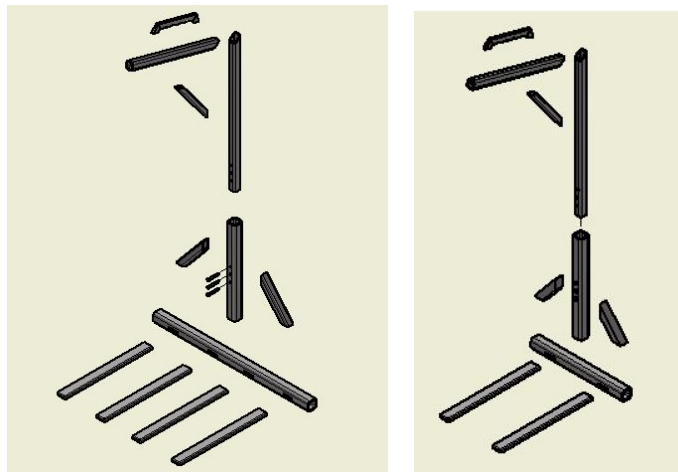
**Lea el manual de instrucciones antes de utilizar la máquina.**



## Instrucciones de ensamblaje

1. Introducir la estructura superior (ES) dentro de la estructura inferior 1 o 2 según sea el caso (EI) o (EI2).
2. Colocar los pernos (P) dentro de los agujeros designados de la (EI).
3. Asegurar los (P) con las tuercas y arandelas correspondientes. Pernos SODIPER Grado8-BD ASTM A-325, 3/4in, tuerca de 3/4 y arandela de 7/8. Emplear llave de 20mm o 1-1/8in.
4. Introducir y asegurar la cadena en la estructura superior en el espacio correspondiente sobre la estructura superior.
5. Realizar pruebas de seguridad los movimientos del polipasto y los rieles según el manual actual empleado en Samboro.

Figura 58: Ensamblajes de alternativas



(Fuente: Elaboración propia)

Figura 59: Colocación de cadena



(Fuente: Elaboración propia)

## Normas de seguridad e inspección rutinaria

### Componentes

1. Bajo ninguna circunstancia se debe colocar objetos para los que no está diseñado el mecanismo de carga de pallets.
2. No se debe alterar la geometría del mecanismo, ya que las dimensiones existentes toman en cuenta el funcionamiento óptimo y la seguridad del usuario.
3. En caso exista una deformación en el mecanismo, se debe detener el proceso de carga y asegurar el producto en el suelo para evitar mayores daños y proceder a la reparación.
4. En ningún momento se debe exceder de 3000 lbs la carga sobre la estructura del mecanismo, de lo contrario se estaría comprometiendo la seguridad del operador y del producto.
5. Emplear polipasto de mínimo 5,000lb de capacidad de carga.

Cuadro 40: Inspección previa al uso del mecanismo

Descripción	Estado	
	Aceptable	Inaceptable
Utilizar el equipo de seguridad establecido en este manual.		
La estructura superior está firmemente sujeta. De ser inaceptable verifique el apriete en las tuercas de los pernos		
Verificar que las cuchillas embistan completa y correctamente los pallets.		
Verificar que la cadena se encuentre correctamente sujeta al mecanismo y al polipasto.		
Verificar que no existan cuerpos distintos para los que diseñado el mecanismo.		
Verificar la presencia del operario del polipasto y riel y el operario encargado de verificar los movimientos del mecanismo.		

## Mantenimiento

### Mantenimiento de los componentes

1. Aplicar pintura anticorrosiva a todo el mecanismo de carga /una vez cada dos años.
2. Revisar y asegurar que los pernos se encuentren en buen estado y que sean de las dimensiones adecuadas (Pernos SODIPER Grado8-BD ASTM A-325, 3/4in, tuerca de 3/4 y arandela de 7/8. Emplear llave de 20mm o 1-1/8in), de no ser así, cambiar todos los pernos tuercas y arandelas de forma simultánea.
3. Revisar y asegurar que las cuchillas se encuentren en buen estado.
4. Revisar y corroborar que las soldaduras y puntos críticos del mecanismo se encuentren en buen estado (una vez al año).
5. Comprobar el estado de la cadena que se empleara para el izaje del mecanismo (una vez al año).


## B. Trolley recomendado

Figura 60: Trolley (especificaciones) recomendado

HARRINGTON

### H4 Electric Chain Hoist, 6000 lb. Load Capacity, 115/230V, 10 ft. Hoist Lift, 3.5 fpm

Item # **6JFZO** Mfr. Model # **SNER030C-10** Catalog Page # **1052** UNSPSC # **24101602**



Web Price **\$5,891.00** / each

This item requires special shipping, additional charges may apply.

One Time Delivery

1 **Add to Cart**

+ Add to List |

Confirm ZIP Code to determine availability.

Save

Jump to: **Replacement Parts**

★★★★★ [Be the first to write a review](#)

Shipping Weight **250.0 lbs.**

How can we improve our Product Images?

Compare

Country of Origin **Japan** | *Country of Origin is subject to change.*

*Note: Product availability is real-time updated and adjusted continuously. The product will be reserved for you when you complete your order. [More](#)*

Technical Specs	
Electric Hoist Item	<b>Chain Hoist</b>
Load Capacity	<b>6000 lb.</b>
Hoist Lift	<b>10 ft.</b>
Classification	<b>H4</b>
Number of Speeds	<b>1</b>
Lift Speed	<b>3.5 fpm</b>
Motor HP	<b>1.2</b>
Voltage	<b>115/230</b>
Phase	<b>1</b>
Min. Between Hooks	<b>29-1/2"</b>
Amps @ Low Volts	<b>23.9</b>
Housing Depth	<b>8-5/16"</b>
Housing Length	<b>29-1/2"</b>
Housing Width	<b>13-3/16"</b>
Reeving	<b>2</b>
Brake	<b>Pull Rotor Motor</b>
Clutch	<b>Friction</b>
Control	<b>110V Push Button Control Pendant</b>
Control Cord	<b>6 ft.</b>
Color	<b>Yellow</b>
Finish	<b>Electrostatic Enamel</b>
Lubrication	<b>Oil Bath</b>
Thermal Protection	<b>No</b>
Standards	<b>ASME B30.16, ASME HST-1, NFPA 70</b>
Includes	<b>Chain Container</b>
Hoist Mount	<b>Hook Mounted - No Trolley</b>
Manufacturers Warranty Length	<b>1 yr.</b>

(Fuente: Grainger)

## C. Cálculos efectuados

### 1. Personal

Cuadro 41: Cálculo costo del personal

Horas de trabajo	15
Personas	3
Costo por hora	24
Costo total	1080

(Fuente: Elaboración propia)

### 2. Material

Cuadro 42: Cálculo de la cantidad y costo del material

CANTIDAD DE MATERIAL EMPLEADO		
		Costo
TUBO 3X3 X 1/2		
Estructura Superior		
125in	318cm	Q 1,613.00
TUBO 4X4 X 1/2		
Estructura inferior		
187in	475cm	Q 2,530.00

ELECTRODOS		
Cantidad (lbs)	22	Q 242.00
PLATINAS		
4 X 1		
174.804	444.00	Q 1,002.00
PLATINAS		
2 X 1		
35	88.90	N/A
PINTURA		
galones	2	Q 326.00
PERNOS		
Cant	3	Q 135.00
Total		Q 5,848.00

(Fuente: Elaboración propia)

### 3. Polipasto

Cuadro 43: Cálculo del costo del polipasto

VP	Valor presente	250000
VF	Valor futuro	?
	Tasa de interés (inflación)	4.5%
	Numero de periodos analizados	12
VF=	423970	

Fuente: Elaboración propia

### 4. Electrodo

Cuadro 44: Cálculo de cantidad de soldadura necesaria

Estructura superior	Cantidad	Total en in	Total en mm
3 X 3	1	9	0.2286
2 X 1	4	24	0.6096
Estructura inferior			
4 x 4	1	16	0.4064
Pletinas			
4 X 1	4	40	1.016
Total			2.3

(Fuente: Elaboración propia)

Electrodo a emplear: 5/32

Cuadro 45: Cálculo de la cantidad de electrodos necesarios

C	8.58	Kg	18.96	Lb
A1	2.5	mm		
A2	0.15875	mm		
L	2.3	mts		
G	7.85	g/cm <sup>3</sup>		
E	0.55	%		

(Fuente: Elaboración propia)

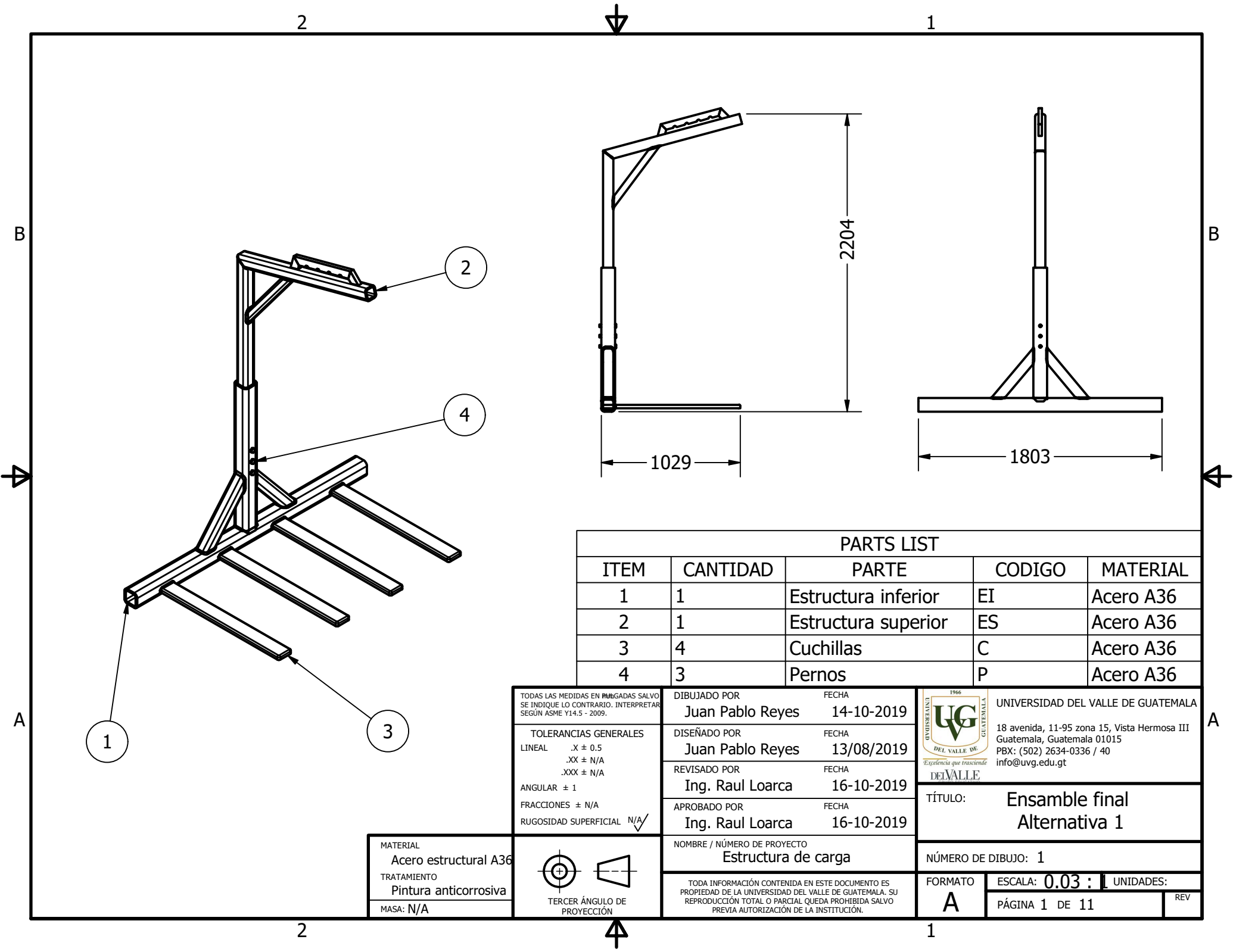
## 5. Operario

Cuadro 46: Cálculo del costo de los operarios

Salario por hora	
Salario mensual (Q)	3750
Horas al mes	195.5
Costo/ hora	19.18
Costo del personal	
Salario por hora (Q)	19.18
Horas de trabajo anual	2550
Cantidad de personas trabajando	2
Costo total:	Q 97,826.09

(Fuente: Elaboración propia)

## D. Planos del mecanismo



PARTS LIST				
ITEM	CANTIDAD	PARTE	CODIGO	MATERIAL
1	1	Estructura inferior	EI	Acero A36
2	1	Estructura superior	ES	Acero A36
3	4	Cuchillas	C	Acero A36
4	3	Pernos	P	Acero A36

TODAS LAS MEDIDAS EN INCHUGADAS SALVO SE INDIQUE LO CONTRARIO. INTERPRETAR SEGUN ASME Y14.5 - 2009.

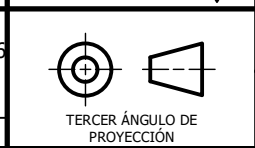
**TOLERANCIAS GENERALES**  
 LINEAL .X ± 0.5  
 .XX ± N/A  
 .XXX ± N/A  
 ANGULAR ± 1  
 FRACCIONES ± N/A  
 RUGOSIDAD SUPERFICIAL N/A

DIBUJADO POR: Juan Pablo Reyes      FECHA: 14-10-2019  
 DISEÑADO POR: Juan Pablo Reyes      FECHA: 13/08/2019  
 REVISADO POR: Ing. Raul Loarca      FECHA: 16-10-2019  
 APROBADO POR: Ing. Raul Loarca      FECHA: 16-10-2019

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
 18 avenida, 11-95 zona 15, Vista Hermosa III  
 Guatemala, Guatemala 01015  
 PBX: (502) 2634-0336 / 40  
 info@uvg.edu.gt

TÍTULO: **Ensamble final Alternativa 1**

MATERIAL: Acero estructural A36  
 TRATAMIENTO: Pintura anticorrosiva  
 MASA: N/A



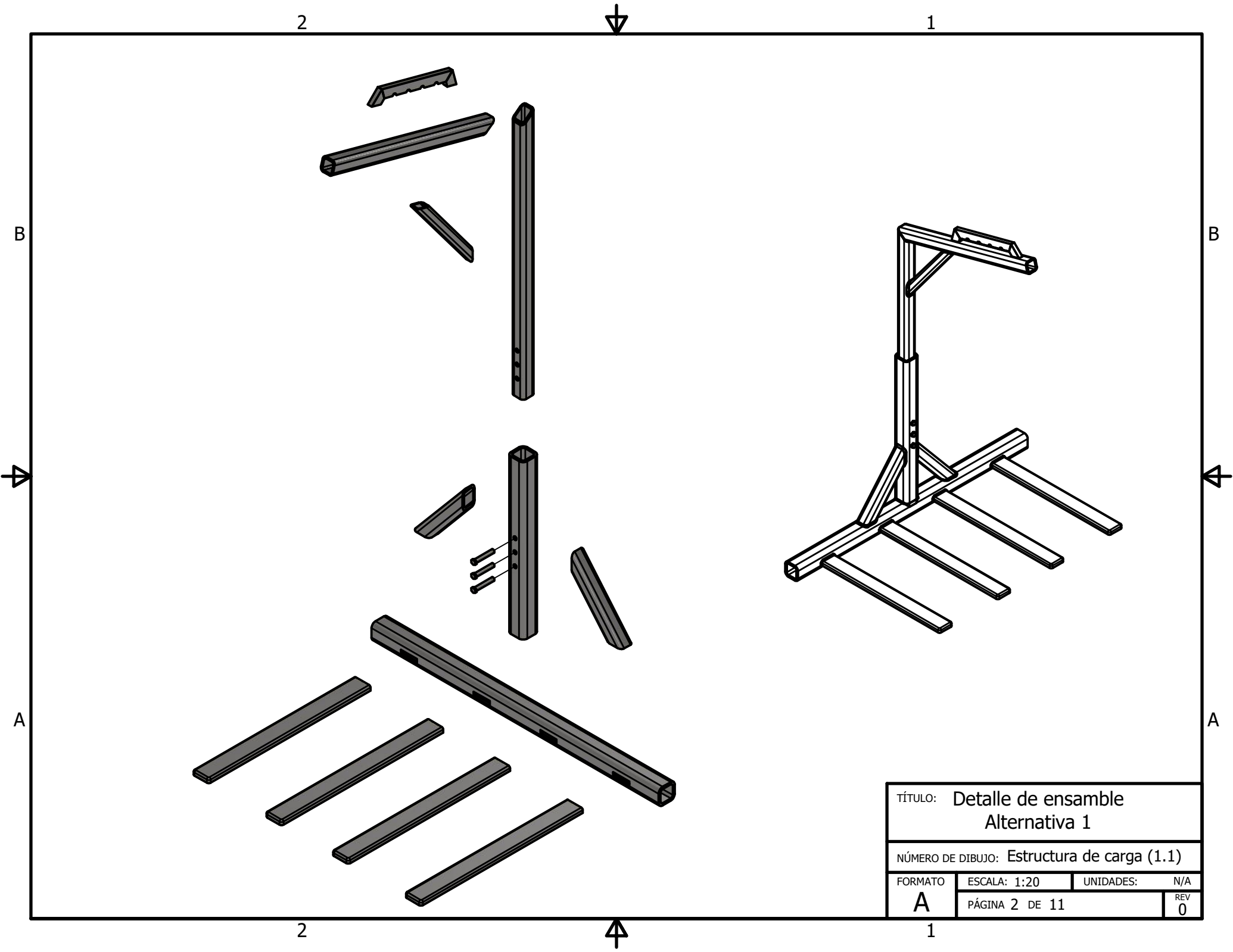
NOMBRE / NÚMERO DE PROYECTO: **Estructura de carga**

TODA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA. SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL QUEDA PROHIBIDA SALVO PREVIA AUTORIZACIÓN DE LA INSTITUCIÓN.

NÚMERO DE DIBUJO: 1

FORMATO: **A**      ESCALA: **0.03 : 1**      UNIDADES:      REV

PÁGINA 1 DE 11



TÍTULO: Detalle de ensamble Alternativa 1			
NÚMERO DE DIBUJO: Estructura de carga (1.1)			
FORMATO	ESCALA: 1:20	UNIDADES:	N/A
A	PÁGINA 2 DE 11		REV 0

2

1

B

B



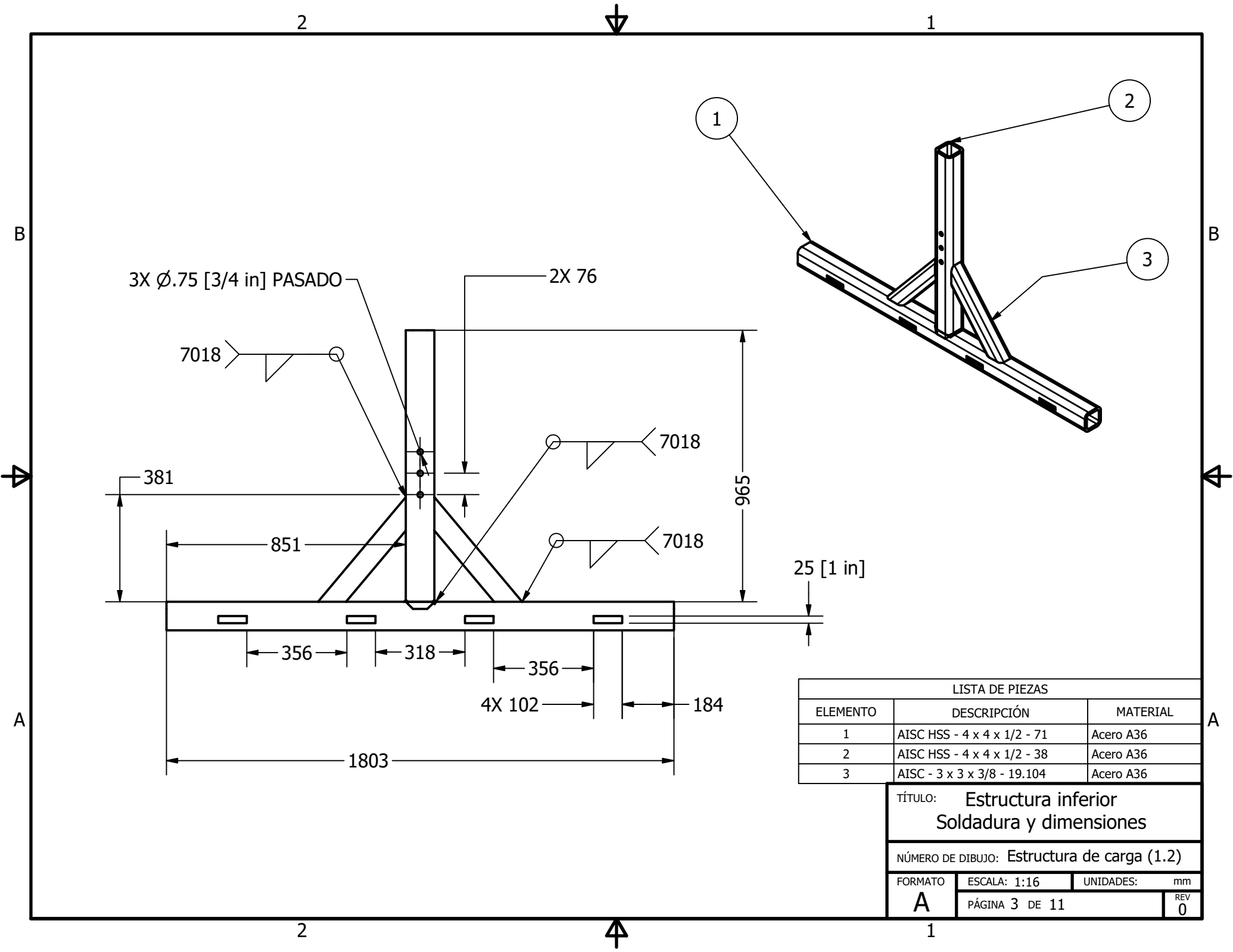
A

A

2

1





3X Ø.75 [3/4 in] PASADO

2X 76

7018

7018

7018

381

851

965

25 [1 in]

356

318

4X 102

184

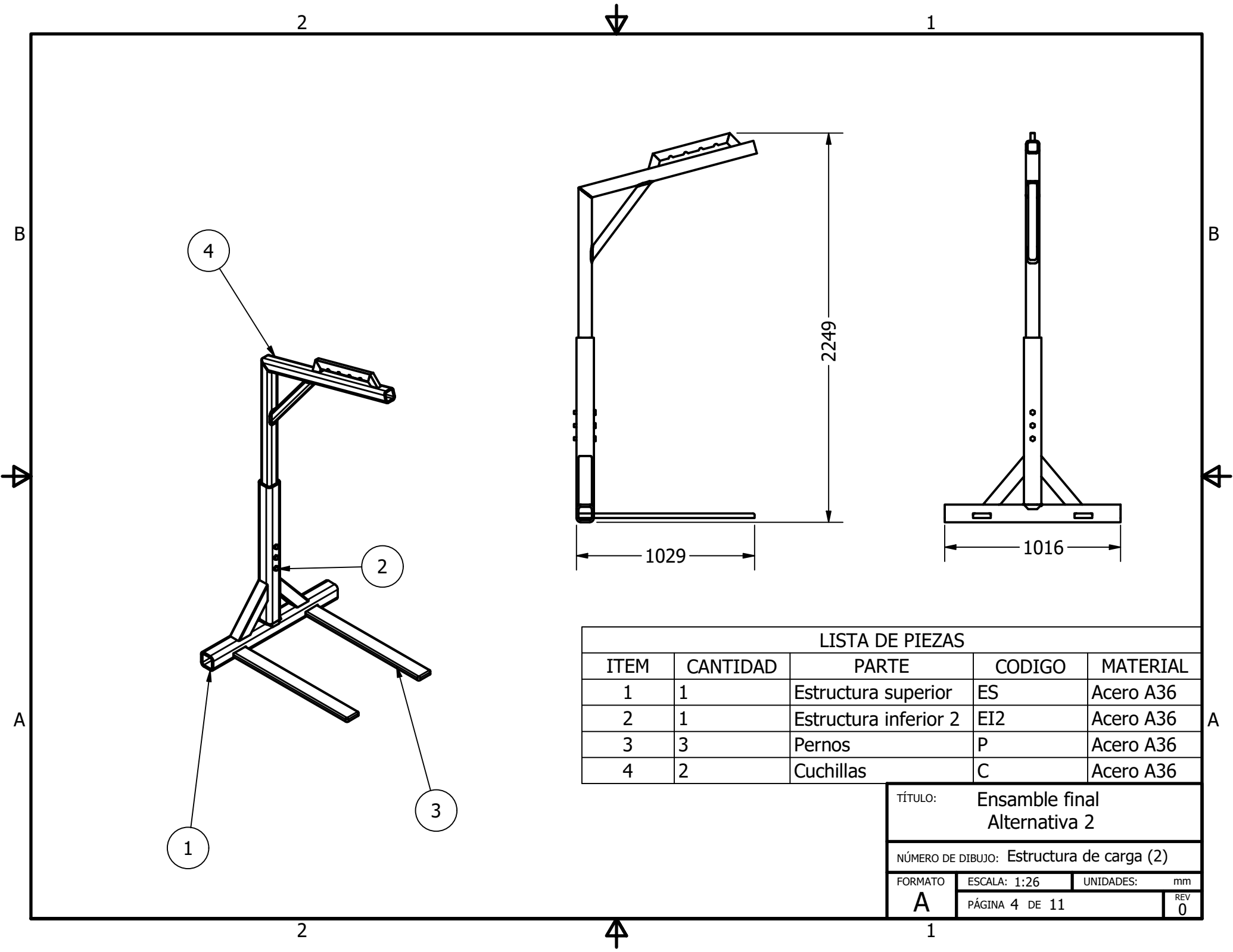
1803

LISTA DE PIEZAS		
ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	MATERIAL
1	AISC HSS - 4 x 4 x 1/2 - 71	Acero A36
2	AISC HSS - 4 x 4 x 1/2 - 38	Acero A36
3	AISC - 3 x 3 x 3/8 - 19.104	Acero A36

TÍTULO: Estructura inferior  
Soldadura y dimensiones

NÚMERO DE DIBUJO: Estructura de carga (1.2)

FORMATO	ESCALA: 1:16	UNIDADES: mm
<b>A</b>	PÁGINA 3 DE 11	REV 0

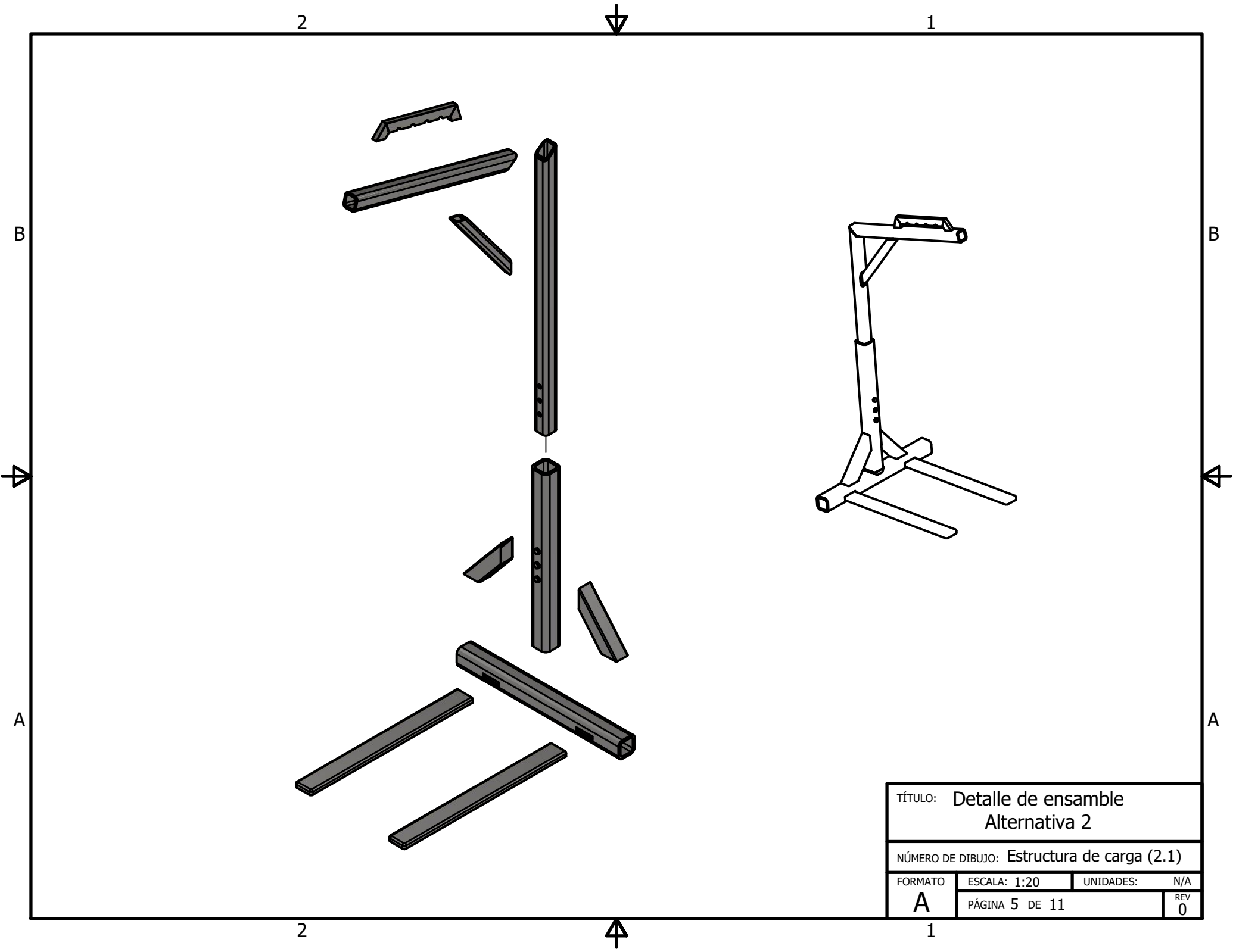


LISTA DE PIEZAS				
ITEM	CANTIDAD	PARTE	CODIGO	MATERIAL
1	1	Estructura superior	ES	Acero A36
2	1	Estructura inferior 2	EI2	Acero A36
3	3	Pernos	P	Acero A36
4	2	Cuchillas	C	Acero A36

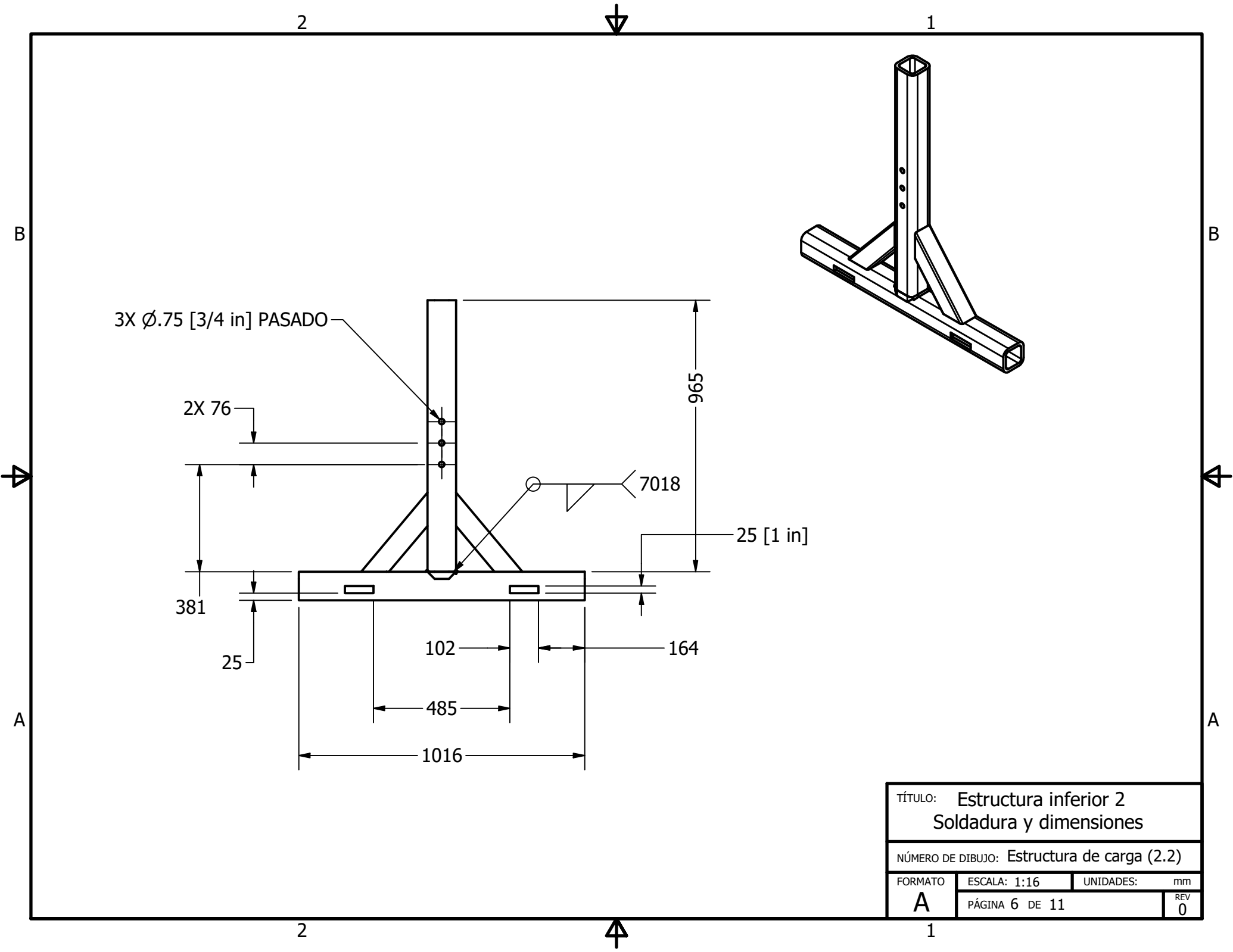
TÍTULO: **Ensamble final  
Alternativa 2**

NÚMERO DE DIBUJO: **Estructura de carga (2)**

FORMATO	ESCALA: 1:26	UNIDADES: mm
<b>A</b>	PÁGINA 4 DE 11	REV 0



TÍTULO: Detalle de ensamble Alternativa 2			
NÚMERO DE DIBUJO: Estructura de carga (2.1)			
FORMATO	ESCALA: 1:20	UNIDADES:	N/A
A	PÁGINA 5 DE 11		REV 0



3X Ø.75 [3/4 in] PASADO

2X 76

7018

25 [1 in]

381

25

102

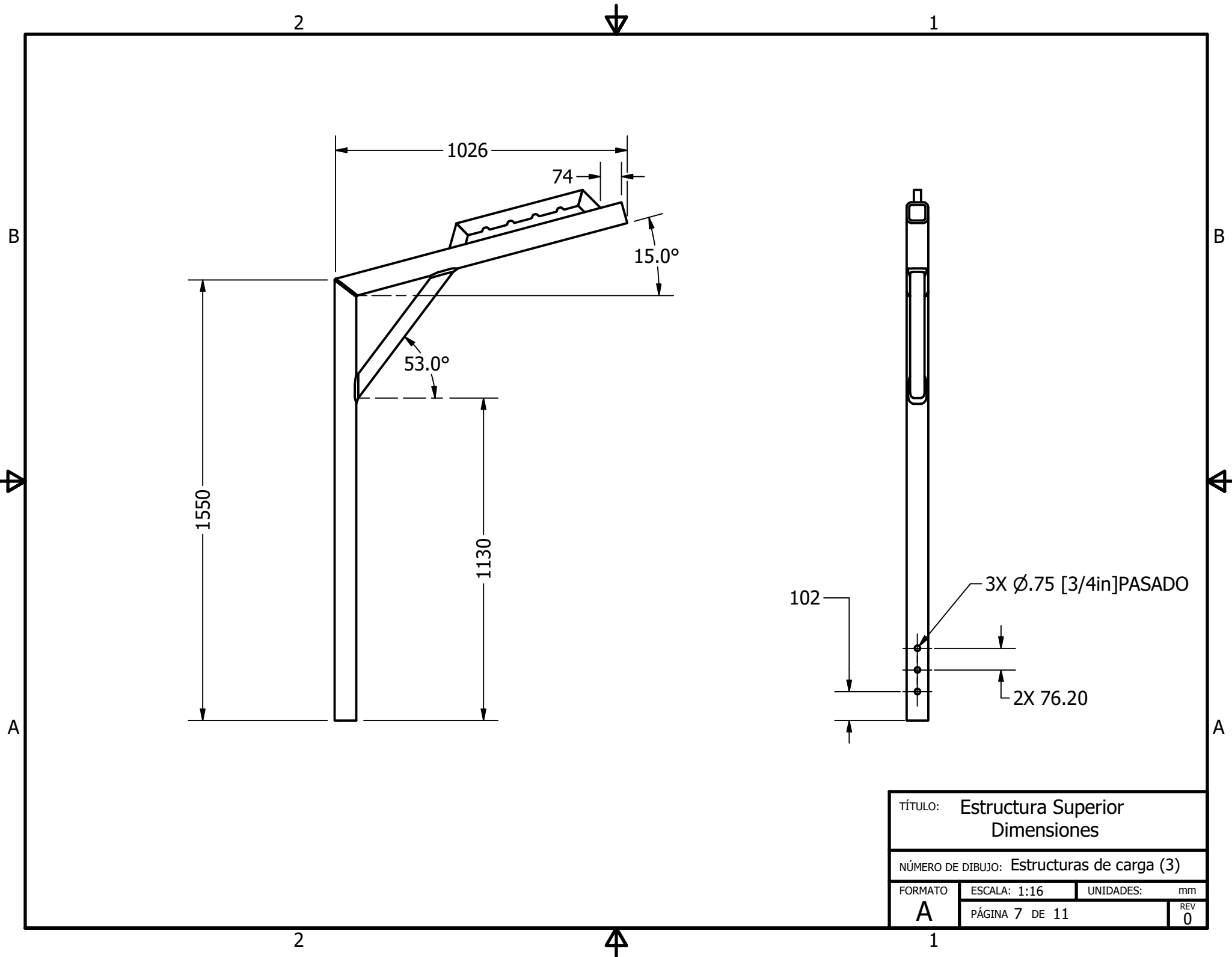
485

164

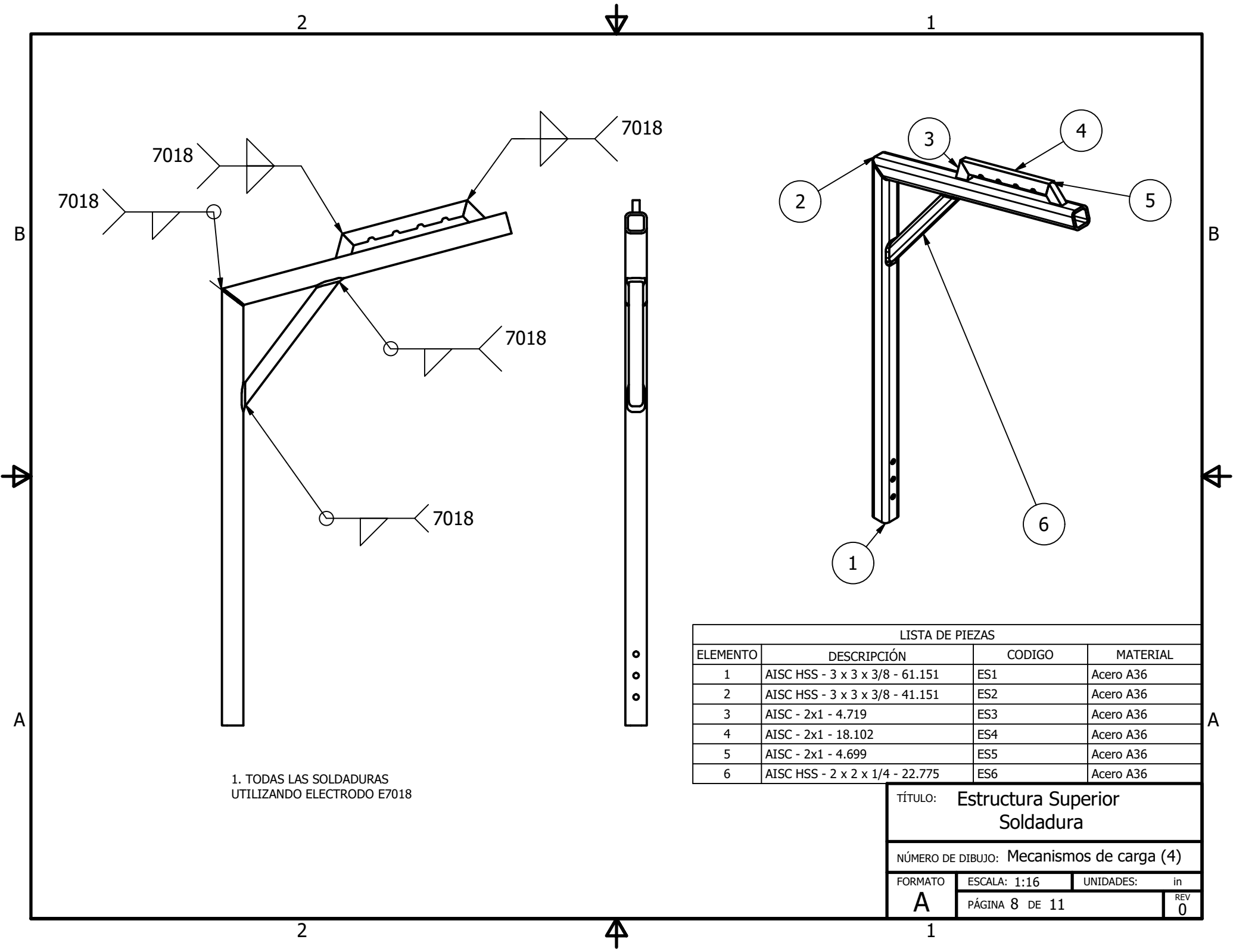
1016

965

TÍTULO: Estructura inferior 2		
Soldadura y dimensiones		
NÚMERO DE DIBUJO: Estructura de carga (2.2)		
FORMATO	ESCALA: 1:16	UNIDADES: mm
<b>A</b>	PÁGINA 6 DE 11	REV 0



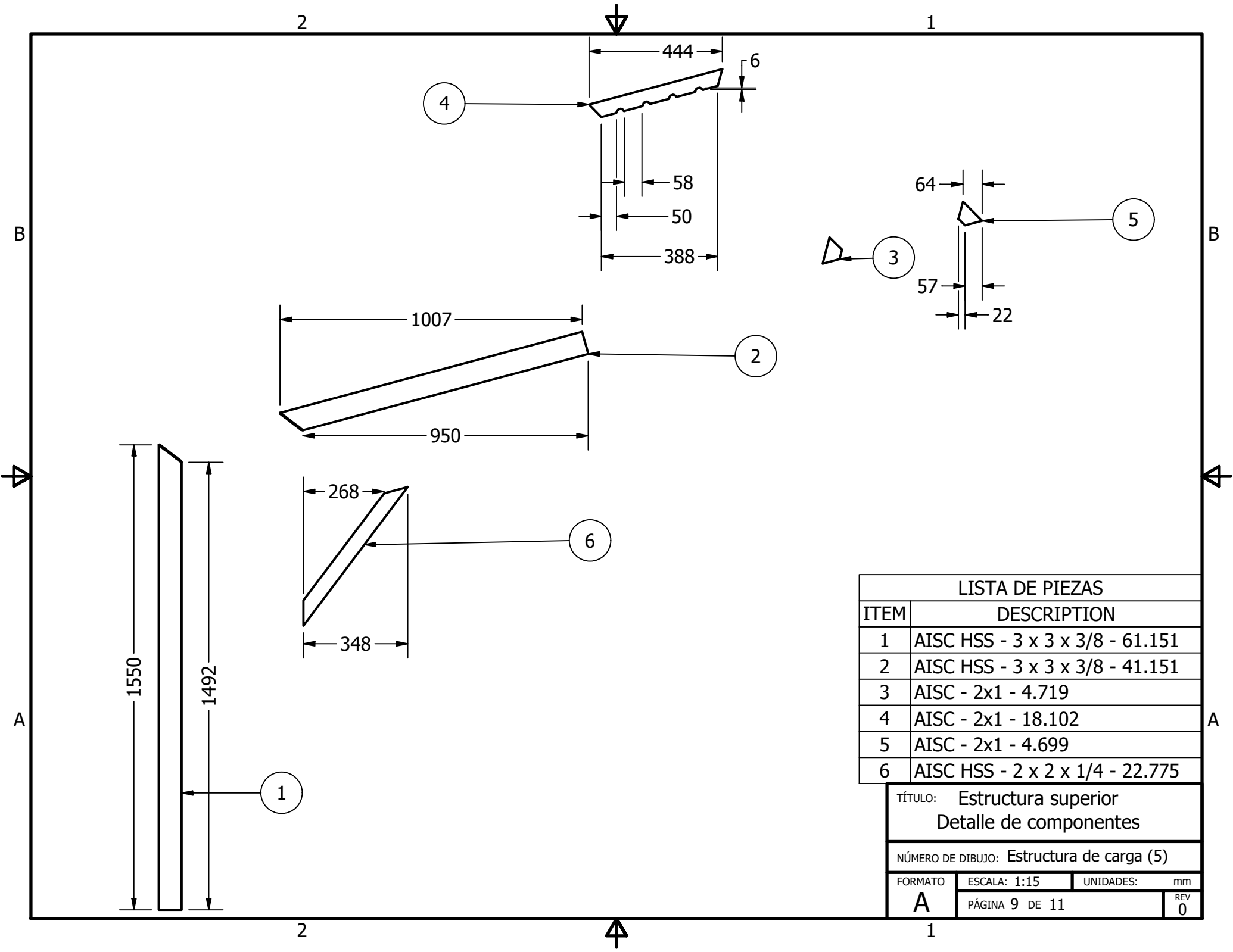
TÍTULO: Estructura Superior			
Dimensiones			
NÚMERO DE DIBUJO: Estructuras de carga (3)			
FORMATO	ESCALA: 1:16	UNIDADES:	mm
A	PÁGINA 7 DE 11		REV 0



1. TODAS LAS SOLDADURAS  
UTILIZANDO ELECTRODO E7018

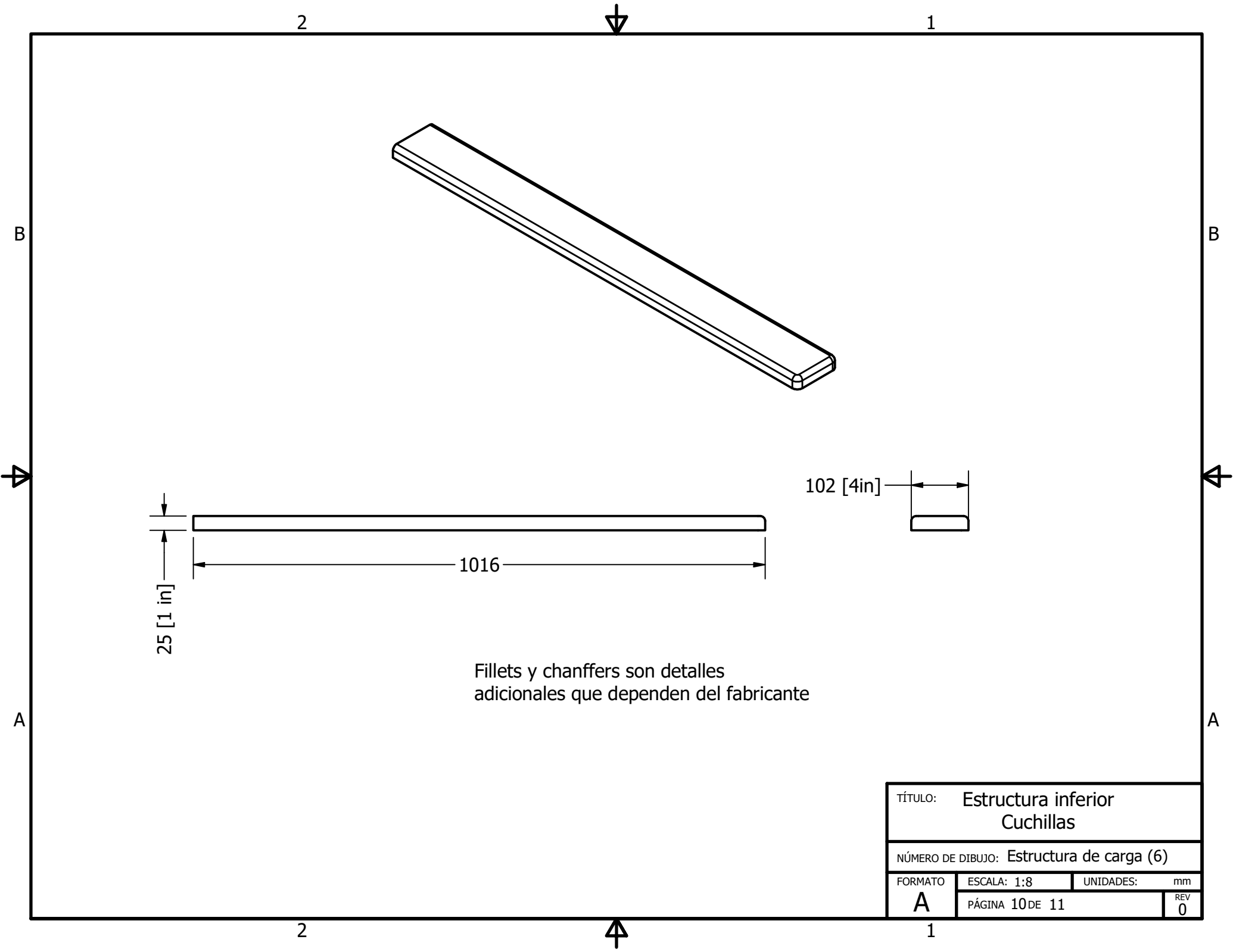
LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CODIGO	MATERIAL
1	AISC HSS - 3 x 3 x 3/8 - 61.151	ES1	Acero A36
2	AISC HSS - 3 x 3 x 3/8 - 41.151	ES2	Acero A36
3	AISC - 2x1 - 4.719	ES3	Acero A36
4	AISC - 2x1 - 18.102	ES4	Acero A36
5	AISC - 2x1 - 4.699	ES5	Acero A36
6	AISC HSS - 2 x 2 x 1/4 - 22.775	ES6	Acero A36

TÍTULO: Estructura Superior Soldadura		
NÚMERO DE DIBUJO: Mecanismos de carga (4)		
FORMATO	ESCALA: 1:16	UNIDADES: in
<b>A</b>	PÁGINA 8 DE 11	REV 0



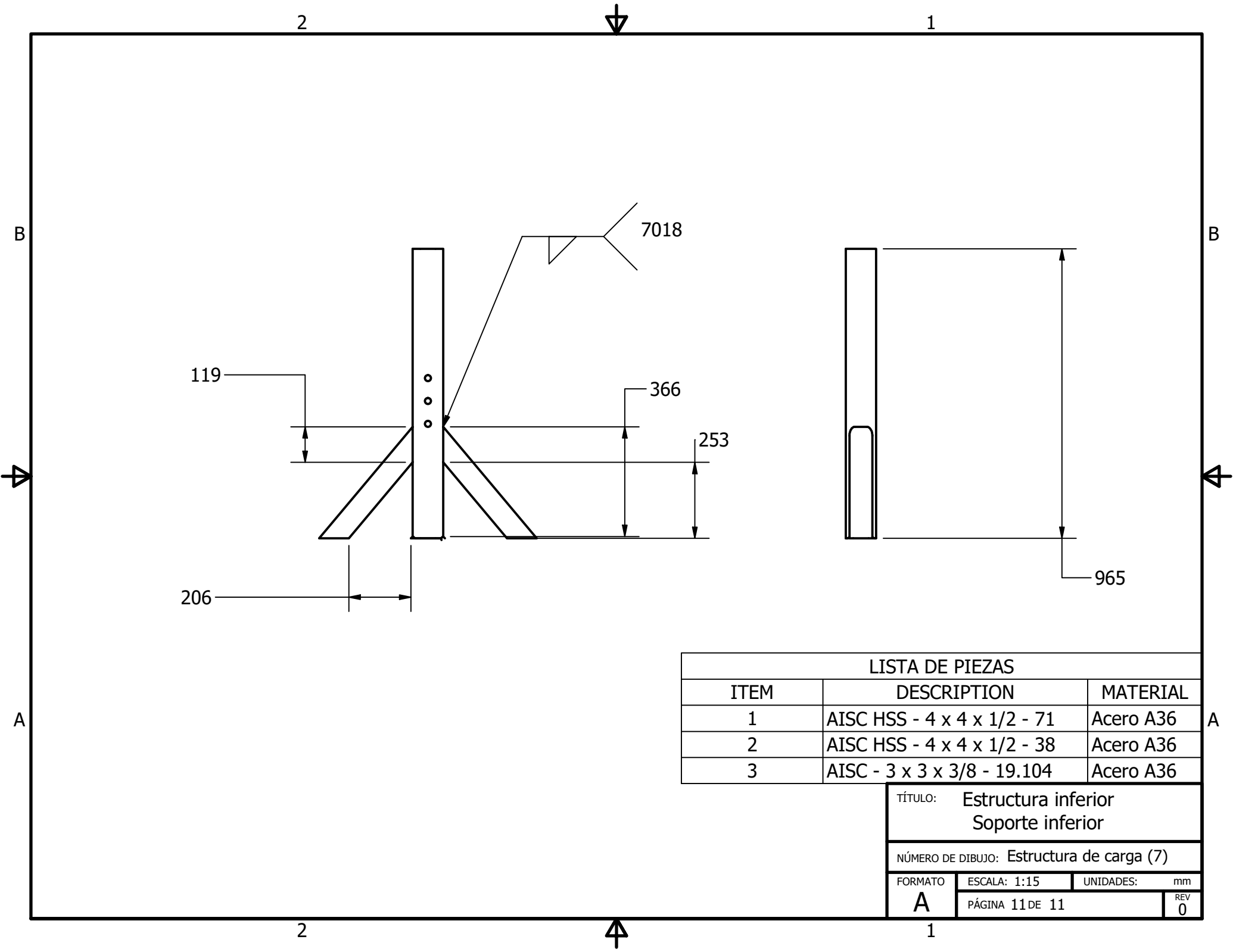
LISTA DE PIEZAS	
ITEM	DESCRIPTION
1	AISC HSS - 3 x 3 x 3/8 - 61.151
2	AISC HSS - 3 x 3 x 3/8 - 41.151
3	AISC - 2x1 - 4.719
4	AISC - 2x1 - 18.102
5	AISC - 2x1 - 4.699
6	AISC HSS - 2 x 2 x 1/4 - 22.775

TÍTULO: Estructura superior Detalle de componentes		
NÚMERO DE DIBUJO: Estructura de carga (5)		
FORMATO	ESCALA: 1:15	UNIDADES: mm
<b>A</b>	PÁGINA 9 DE 11	REV 0



Fillets y chanffers son detalles adicionales que dependen del fabricante

TÍTULO: Estructura inferior Cuchillas			
NÚMERO DE DIBUJO: Estructura de carga (6)			
FORMATO	ESCALA: 1:8	UNIDADES:	mm
<b>A</b>	PÁGINA 10 DE 11	REV	0



LISTA DE PIEZAS		
ITEM	DESCRIPTION	MATERIAL
1	AISC HSS - 4 x 4 x 1/2 - 71	Acero A36
2	AISC HSS - 4 x 4 x 1/2 - 38	Acero A36
3	AISC - 3 x 3 x 3/8 - 19.104	Acero A36

TÍTULO: Estructura inferior  
Soporte inferior

NÚMERO DE DIBUJO: Estructura de carga (7)

FORMATO	ESCALA: 1:15	UNIDADES: mm
<b>A</b>	PÁGINA 11 DE 11	REV 0