

**TEC** | Tecnológico  
de Costa Rica

Escuela de Ingeniería Electromecánica  
Ingeniería en Mantenimiento Industrial

EATON ELECTRICAL SA



**“Diseño de una máquina dispensadora automatizada y de almacenaje de  
láminas metálicas”**

Informe de Práctica de Especialidad para optar por el Título  
Ingeniero en Mantenimiento Industrial, grado Licenciatura

Mauricio Barboza Gamboa

Cartago, noviembre 2017

Carrera evaluada y acreditada por:



**CEAB**

**Profesor Guía**

Ing. Rodolfo Elizondo

**Asesor Industrial**

Ing. Danny O. Huertas Monge

**Tribunal Examinador**

Ing. Herberth Jackson

Ing. Víctor Hernández

## Información del estudiante y de la empresa

<b>Nombre:</b> Mauricio Esteban Barboza Gamboa
<b>Cédula:</b> 1-1478-0017
<b>Carné:</b> 200962249
<b>Dirección de residencia en época lectiva:</b> <i>San Rafael de Montes de Oca, Urb. Vista Real, 200 metros sur, 200 este de la entrada principal; casa de dos plantas color marrón apartamento #1.</i>
<b>Dirección de residencia en época no lectiva:</b> <i>Moín, Limón. Urb. Lomas de Recope, casa #1</i>
<b>Teléfono en época lectiva:</b> 8891-1977
<b>Teléfono en época no lectiva:</b> 2795-3820
<b>Email:</b> <i>mbarbzig@gmail.com</i>
<b>Fax:</b>
<b>Información del proyecto</b> Diseño una máquina dispensadora automatizada y de almacenaje de láminas metálicas
<b>Nombre del proyecto:</b>
<b>Profesor Asesor:</b> Ing. Rodolfo Elizondo
<b>Asesor Industrial:</b> Danny Huertas
<b>Horario de trabajo del estudiante:</b> Lunes 8:00 am - 5:06 pm Miércoles 8:00 am - 5:06 pm Jueves 8:00 am - 5:06 pm Viernes 8:00 am – 5:06 pm
<b>Información de la Empresa</b>
<b>Nombre:</b> Eaton Electrical S.A.
<b>Dirección:</b> Moravia, 300 metros oeste de la Universidad Católica
<b>Teléfono:</b> (506) 2247-7600
<b>Fax:</b> (506) 2247-7681
<b>Apartado postal:</b> 10156-1000
<b>Actividad Principal:</b> Manufactura equipo eléctrico

## **Dedicatoria**

*Dedico este presente a mi abuelo que soñó siempre verme graduado como ingeniero y al final no lo logró. ¡Este logro también es suyo!*

*A mis padres son mi ejemplo por seguir, durante este largo trayecto fueron mi inspiración y mi apoyo incondicional.*

## **Agradecimiento**

A todos mis colaboradores en Eaton Electrical, por abrirme las puertas y guiarme a lo largo del desarrollo de mi proyecto de graduación, especialmente a mis compañeros Danny Huertas y Gabriela Gomez que hicieron que mi estadía en Eaton fuera muy satisfactoria.

## **Tabla de Contenidos**

Información del estudiante y de la empresa.....	3
Dedicatoria .....	4
Agradecimiento .....	5
Tabla de Contenidos .....	6
Tabla de Figuras .....	10
Índice de Tablas.....	12
Índice de Gráficos .....	13
Resumen.....	14
Abstract.....	16
1. Introducción.....	18
1.1 Descripción de la empresa .....	18
1.1.1 Reseña de la empresa .....	18
1.1.2 Visión .....	20
1.1.3 Misión.....	20
1.1.4 Organización de la empresa .....	21
1.1.5 Descripción del proceso productivo .....	22
1.2 Definición del problema .....	26
1.3 Justificación .....	28
1.4 Objetivos del proyecto .....	30
1.4.1 Objetivo General .....	30
1.4.2 Objetivos Específicos:.....	30
1.5 Metodología.....	31
1.6 Alcance.....	32

1.7 Limitaciones.....	32
2. Marco teórico .....	34
2.1 Consideraciones para el diseño de una máquina.....	34
2.1.1 Sistema de unidades.....	35
2.1.2 Tamaños estándar .....	36
2.1.3 Tolerancias y fabricación .....	36
2.1.4 Análisis de las cargas .....	36
2.1.5 Materiales .....	36
2.2 Procesos modernos de producción en cadena.....	37
2.3 Almacenamiento y distribución de material .....	38
2.3.1 Evolución de bodegas y almacenes a centros de distribución .....	39
2.3.2 Rack.....	39
2.3.3 Uso de tecnologías de almacenamiento ante escasa infraestructura .....	40
2.3.4 Tiempos muertos por problemas de almacenamiento y transporte .....	41
3. Evaluación de características del diseño a realizar.....	42
3.1 Especificaciones de las láminas .....	42
3.1.1 Dimensiones de las láminas .....	42
3.1.2 Peso de las láminas y paquetes de láminas .....	43
3.2 Datos diarios de uso de lámina .....	45
3.3 Tiempos muertos.....	51
4. Requerimientos del sistema .....	55
4.1 Estructura principal.....	55
4.2 Carro móvil .....	56
4.4 Flechas.....	59

4.5 Dispositivos eléctricos .....	59
4.6 Dispositivos electrónicos .....	60
5. Funcionamiento del mecanismo.....	61
6. Diseño del mecanismo .....	68
6.1 Teorías de fallas .....	68
6.1.1 Teoría de esfuerzo cortante máximo para materiales dúctiles.....	68
6.1.2 Factores que afectan la selección del Factor de Seguridad.....	69
6.1.2.1 Factor de Seguridad.....	70
6.1.3 Falla dinámica.....	70
6.1.3.1 Falla por fatiga .....	71
6.2 Métodos de sujeción.....	71
6.2.1 Proceso de soldadura .....	72
6.3 Rodamientos .....	73
6.4 Flechas.....	74
6.5 Cadenas y transmisión por cadena .....	75
6.6 Rieles Guía en Estructura Principal.....	79
6.7 Anclajes.....	80
6.8 Hojas de cálculo .....	81
6.8.1 Análisis de Esfuerzos y diagramas para transversal Carrito Nivel .....	81
6.8.2 Elaboración y desarrollo de hojas de cálculo .....	86
7. Planos mecánicos .....	91
8. Materiales eléctricos y diagrama de conexión.....	95
8.1 Servomotores y drivers.....	95
8.2 Finales de carrera.....	97



8.3 Celdas de carga .....	98
8.4 PLC y módulos de expansión .....	99
8.5. Diagrama de conexión equipos eléctrico .....	102
9. Lista de Materiales .....	104
10. Análisis financiero .....	106
10.1 Comparación inversión para obtener los diferentes equipos .....	106
10.2 Análisis Financiero .....	107
10.2.1 Evaluación Financiera .....	108
11. Recomendaciones .....	111
12. Conclusiones.....	112
13. Bibliografía .....	113
A. Anexos.....	115
A1.1 Ficha técnica y cotización montacargas.....	115
A1.2 Ficha técnica Hierro METALCO y cotización .....	117
A1.3 Ficha técnica barra de acero redonda calibrada, perfil UPN y cotización (Aceros Roag) .....	120
A1.4 Cotización apilador por medio de Kasto.....	123
A1.5 Información general catálogos Fanuc Servomotores y Drivers .....	125
A.2 Hojas de cálculo.....	126

## Tabla de Figuras

Figura 1.1: Ubicación Geográfica EATON ELECTRICAL .....	19
Figura 1.2: Instalaciones Eaton Electrical .....	20
Figura 1.3: Organigrama EATON ELECTRICAL.....	21
Figura 1.4: Flujo-grama de proceso EATON ELECTRICAL.....	25
Figura 4.1: Estructura Principal.....	56
Figura 4.2: Carro Móvil.....	57
Figura 4.3: Carrito Nivel .....	58
Figura 4.4: Flecha .....	59
Figura 5.1 Paso 1 Proceso.....	61
Figura 5.2: Altura inicial para carga y descarga de material .....	62
Figura 5.3: Paso 3 Proceso (1) .....	63
Figura 5.4: Paso 3 Proceso (2) .....	64
Figura 5.5: Láminas en nivel, listas para ser guardadas .....	65
Figura 5.6: Láminas pasando de Carro Móvil a Estructura Principal.....	66
Figura 5.7: Láminas almacenadas en nivel respectivo.....	66
Figura 5.8: Carro Móvil de vuelta a nivel de descarga y carga .....	67
Figura 6.1: Mecanismo.....	75
Figura 6.2: Cadena Carro Móvil .....	76
Figura 6.3: Cadena Estructura Principal .....	78
Figura 6.4: Riel Guía .....	79
Figura 6.5: Carrito Nivel con carga distribuida .....	81
Figura 6.6: Perfil 2,5 m largo, parte de Carrito Nivel .....	82
Figura 6.7: Representación fuerzas aplicadas en perfil .....	83
Figura 6.8: Diagramas de fuerza cortante y momento flector .....	85
Figura 6.9: Explicación Hoja de cálculos 1 .....	87
Figura 6.10: Explicación Hoja de Cálculos 2 .....	87
Figura 6.11: Explicación Hoja de Cálculos 2 .....	89
Figura 6.12: Explicación Hoja de Cálculos 3 .....	90
Figura 7.1: Planos Especificación soldaduras y distancias 3 .....	92

Figura 7.2 Vista 3DXPLODE Estructura Principal 3 .....	93
Figura 7.3 Vista 3DXPLODE Estructura Principal 3 .....	93
Figura 8.1: Características Generales Final de Carrera E49G31BP3 .....	97
Figura 8.2: Dimensiones en pulgadas de Final de Carrera E49G31BP3 .....	98
Figura 8.3: Celdas de cargas y su controlador.....	99
Figura 8.4: ELC2-PC12NNDR.....	101
Figura 8.5: ELC2-PC12NNDR Información.....	102
Figura 9.1: Lista de materiales mecánicos y estructurales.....	104
Figura 9.2: Lista de materiales eléctricos y de control .....	105
Figura A1.1.1: Cotización montacargas Crown .....	116
Figura A1.2.2: Ficha Técnica hierro estructural Metalco .....	117
Figura A1.2.3: Ficha Técnica lámina lisa Metalco .....	118
Figura A1.2.4: Cotización Metalco .....	119
Figura A1.3.5: Barra de acero.....	120
Figura A1.3.6: Ficha Técnica perfil UPN .....	121
Figura A1.3.7: Cotización Aceros Roag .....	122
Figura A1.4.8: Cotización por parte de Kasto .....	123
Figura A1.5.9: Hoja de Datos de Servomotores Fanuc.....	125
Figura A2.10: Hoja de cálculos Carrito Nivel.....	126
Figura A2.11: Hoja de cálculo Carro Móvil.....	127
Figura A2.12: Hoja de cálculos Estructura Principal .....	128
Figura A2.13: Hoja de Cálculos Flechas .....	129

## Índice de Tablas

Tabla 1-1: Metodología proyecto de graduación .....	31
Tabla 2-1: Consideraciones para realizar un diseño .....	35
Tabla 3-1: Resumen Características estándar láminas hierro Eaton Electrical S.A. ...	44
Tabla3-2: Consumo mensual de láminas Eaton Electrical 2017 .....	46
Tabla 3-3: Resumen Utilización de máquinas .....	52
Tabla 6-1. Resumen obtención datos para análisis de esfuerzos .....	84
Tabla 8-1: Selección Servomotor .....	96
Tabla 8-2: Análisis de equipos para selección de PLC .....	100
Tabla 8-3: Selección de PLC y módulos de expansión .....	100
Tabla 10-1: Sumatoria de precios construcción de máquina .....	107
Tabla 10-2: Precios de diferentes alternativas previo a proyecto .....	107
Tabla 10-3: Información Requerida para utilizar Herramientas Financieras .....	110
Tabla 10-4: Resultados Análisis Financiero .....	110

## Índice de Gráficos

Gráfico 3—1: Distribución láminas hierro enero 2017 .....	46
Gráfico 3—2: Distribución láminas hierro febrero 2017 .....	47
Gráfico 3—3: Distribución láminas hierro marzo 2017 .....	47
Gráfico 3—4: Distribución láminas hierro abril 2017 .....	48
Gráfico 3—5: Distribución láminas hierro mayo 2017 .....	49
Gráfico 3—6: Distribución láminas hierro junio 2017 .....	50
Gráfico 3—7: Utilización de máquinas CNC 06.....	53
Gráfico 3—8: Utilización de máquinas CNC 04.....	54

## Resumen

Eaton Electrical es una empresa consolidada a nivel mundial por la producción de equipo eléctrico, en Costa Rica la empresa se encuentra desde el año 1986. Uno de los principales procesos en la planta de Eaton Electrical S.A., en Costa Rica es el trabajo en láminas de hierro para formado de centros de carga.

En los últimos cinco años la empresa se ha preocupado por invertir en modernizar sus equipos para así mejorar índices de productividad y tiempos de entrega, sin embargo, los nuevos equipos a pesar de sus altas velocidades de producción no cuentan con un proceso que beneficie los rendimientos de las máquinas.

En la planta actualmente se cuenta con dos ponchadoras CNC's que son las principales afectadas por las deficiencias de proceso, las cuales registran 15% aproximadamente, del tiempo total de trabajo en paro por espera de material.

La solución propuesta ante esta problemática es el diseño de una máquina dispensadora de láminas automatizada que pueda abastecer la necesidad de láminas de cada una de estas ponchadoras durante todo el proceso de un día.

Para el diseño del mecanismo se toman en cuenta teorías de falla por cargas estáticas (Tresca) y teorías de falla por cargas dinámicas (por fatiga) para el dimensionamiento de los componentes de la máquina. Para la elección de los perfiles estructurales y demás partes mecánicas que posee el diseño se realiza un estudio del mercado nacional para poder contar con todos los materiales.

Una vez se seleccionan los materiales necesarios para cada una de las partes del mecanismo, se desarrollan planos constructivos con los detalles con ayuda del software SolidWorks. Los planos indican los ajustes de las piezas, características de soldaduras y dimensiones de las piezas en cada parte respectivamente.

Como es de esperarse, para que la máquina pueda tener un funcionamiento completo y automatizado se necesitarán componentes eléctricos. Se genera una lista de materiales eléctricos para poner en funcionamiento la máquina y un diagrama de conexiones de los diferentes equipos. En el caso de los componentes eléctricos se

les da principal prioridad a los equipos de la marca Eaton Electrical a la hora de realizar la elección de equipos, únicamente se utilizarán equipos que no sean Eaton cuando no se encuentre dentro de las posibilidades un equipo que pueda asegurar el correcto funcionamiento o de las características buscadas.

Como parte del proyecto se respalda la construcción de la máquina mediante un análisis financiero con herramientas como VAN y ROI, los cuales debido a los altos índices de tiempos muertos son satisfactorios.

**Palabras Claves:**

Mecanismo, automatizado, tiempos muertos, diseño.

## **Abstract**

Eaton Electrical is a company consolidated worldwide for the production of electrical equipment, in Costa Rica the company has been since 1986. One of the main processes in the plant of Eaton Electrical SA in Costa Rica is the work in iron sheets for the formation of load centers.

In the last five years the company has been concerned about investing in modernizing their equipment to improve productivity rates and delivery times, however, the new equipment despite its high production speeds do not have a process that benefits the yields of the machines.

At the plant there are currently two CNC punchers that are the main ones affected by the process deficiencies, which register approximately 15% of the total work time in unemployment due to material waiting time-out.

The proposed solution to this problem is the design of an automated sheet dispensing machine that can supply the need for sheets of each of these punchers throughout the entire day process.

For the design of the mechanism, theories of failure by static loads (Tresca) and theories of failure by dynamic loads (by fatigue) are taken into account for the sizing of the components of the machine. For the selection of the structural profiles and other mechanical parts proper of the machine, a valuation of the national market is made in order to have all the materials.

Once the necessary materials for each of the parts of the mechanism are selected, construction drawings are developed with the details with the help of SolidWorks software. The mechanical drawings indicate the adjustments of the pieces, characteristics of welds and dimensions of the pieces in each part respectively.

As expected for the machine to have a full and automated operation will require electrical components. A list of electrical materials is generated to operate the machine and a connection diagram of the different equipment. In the case of electrical



components, the Eaton Electrical brand's equipment is given top priority when making the choice, only non-Eaton equipment will be used when an equipment that can ensure the equipment is not within the possibilities, correct functioning or the characteristics sought.

As part of the project the construction of the machine is supported through a financial analysis with tools such as VAN and ROI, which due to the high ratings of downtime are satisfactory.

**Keywords:**

Mechanism, automated, time-out, design.

## **1. Introducción**

### ***1.1 Descripción de la empresa***

#### ***1.1.1 Reseña de la empresa***

Lo que actualmente se conoce como Eaton Electrical S.A., no siempre ha sido así. En el año 1963 nace una empresa de capital costarricense con la idea de revolucionar el mercado llamada "Industrias Delta S.A."; en esta empresa se desarrollaban productos eléctricos tales como centros de carga, interruptores de seguridad, tableros de control y otros aparatos eléctricos.

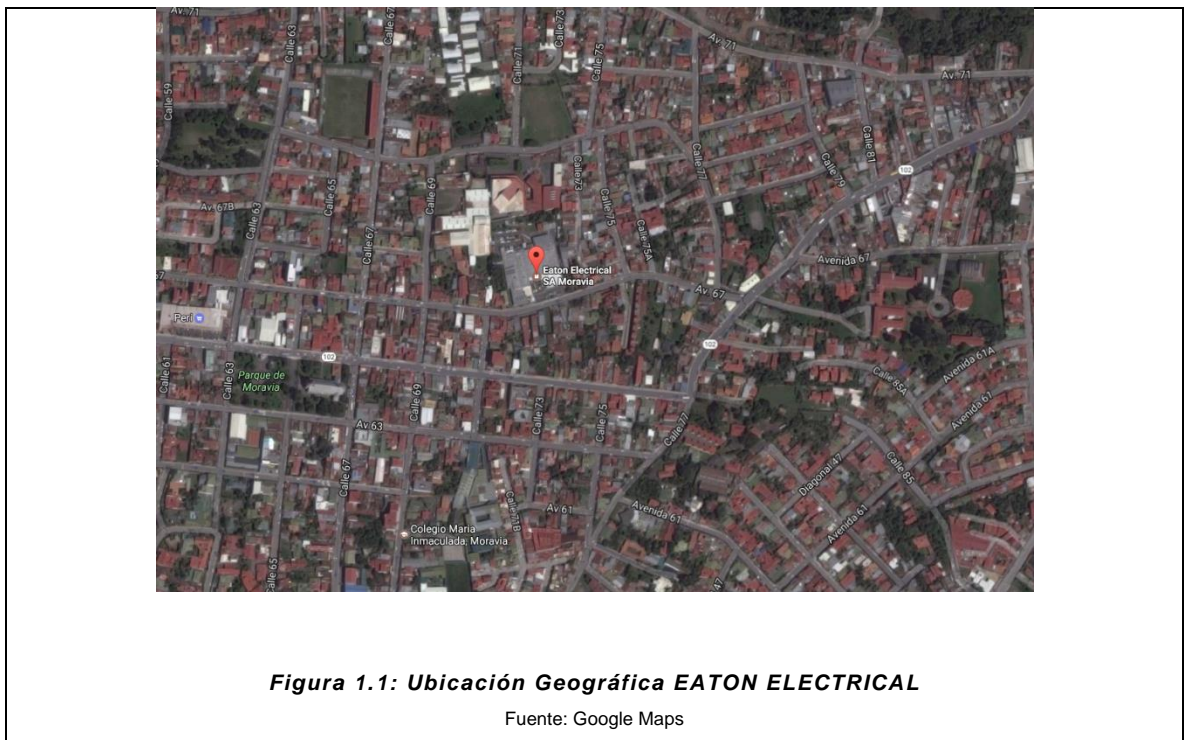
Dado el momento que vivía el país para esos años en cuanto a la matriz eléctrica y las expectativas de crecimiento, rápidamente Industrias Delta S.A., fue encontrando su planta de producción pequeña. La falta de espacio obligó a la empresa a buscar nuevas opciones, que además le ayudaran a posicionar la marca; es así como para el año 1966 recibe una fuerte inyección de capital extranjero proveniente de una de las empresas mejor posicionadas en el área eléctrica para esos años como lo es Cutler Hammer Incorporated, la cual contaba con sus sedes centrales en Milwaukee, Wisconsin, Estados Unidos. En el año 1966 Cutler Hammer Incorporated adquiere el 84,8% de las acciones de Industrias Delta S.A., lo cual hace que Industrias Delta S.A., desaparezca y esta dé lugar a Cutler Hammer Centroamericana S.A.

Por un espacio de 17 años sigue vigente Cutler Hammer Centroamericana S.A., hasta el año 1986 debido a una transacción realizada en territorio norteamericano en la que Cutler Hammer Incorporated pasa a ser parte de EATON, por lo cual a Cutler Hammer Centroamericana también pasa a ser parte de EATON y así su nombre pasa a ser Eaton Controles Industriales S.A. Para el 2004 por lineamientos corporativos, específicamente, uno que indica que todas las operaciones del sector

eléctrico deben tener en su nombre la palabra “ELECTRICAL”, por ello se cambia su nombre a Eaton Electrical S.A., nombre que conserva hasta el día de hoy.

Eaton Electrical S.A., actualmente, como subsidiaria de Eaton Corporation es una empresa dedicada a la fabricación de equipo eléctrico, desde su fábrica en San José se encarga de atender las necesidades del mercado en Nicaragua, El Salvador, Honduras, Panamá y Guatemala en Centroamérica, además de su incursión en ventas en el Caribe.

Eaton Electrical S.A., actualmente, tiene su planta productiva ubicada en San Vicente, Moravia, San José, 300 oeste de la Universidad Católica. En esta planta se dan todos los procesos de producción y se encuentran la mayor parte de los funcionarios de Eaton Electrical. Además, se cuenta con un centro de almacenamiento y distribución ubicado en La Valencia, Heredia, con el fin de despachar el producto terminado a los clientes desde este punto.





**Figura 1.2: Instalaciones Eaton Electrical**

Fuente: Google Maps

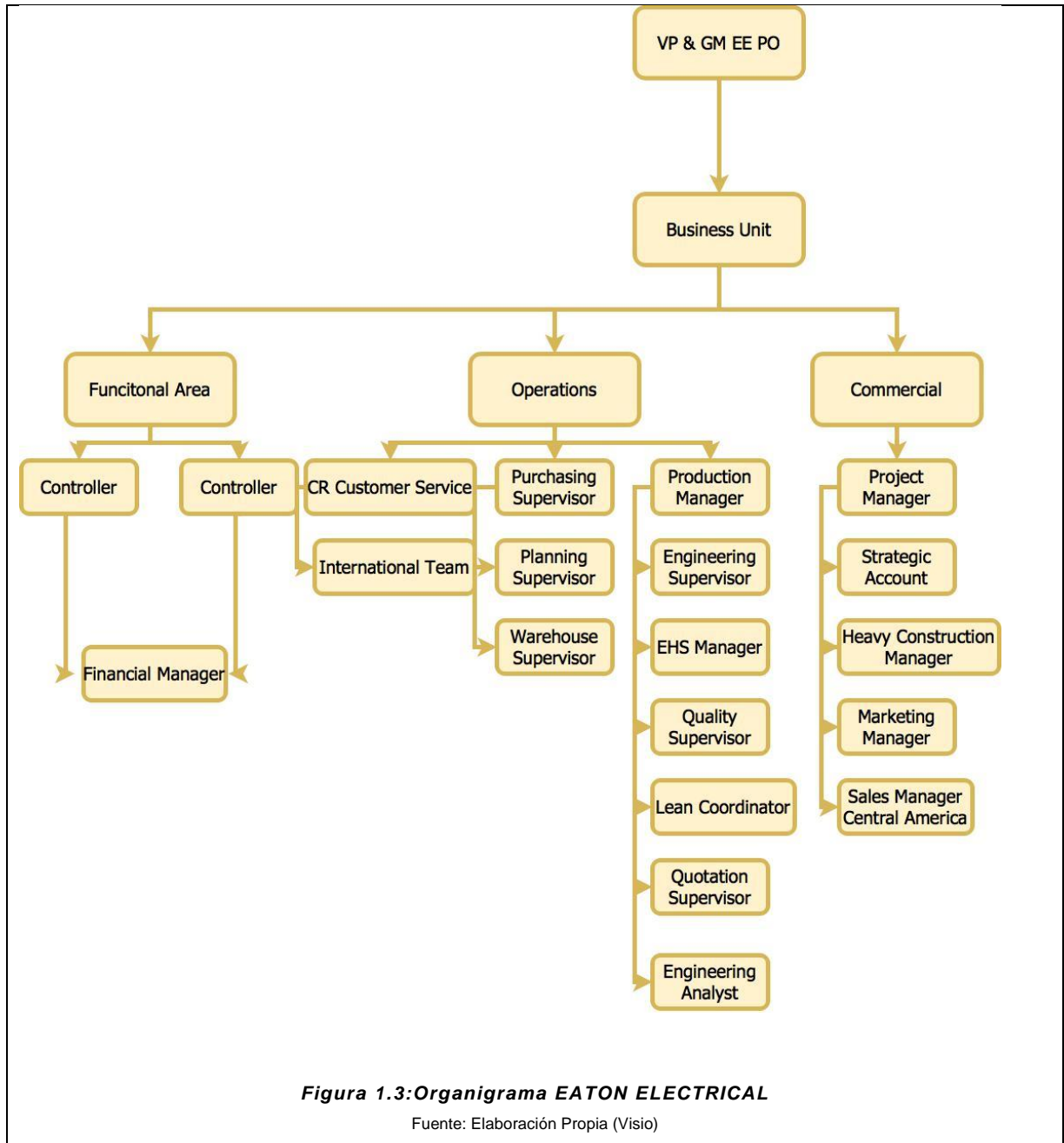
### **1.1.2 Visión**

“Mejorar la calidad de vida y el medio ambiente, mediante el uso de tecnologías en la gestión de energía de servicios.”

### **1.1.3 Misión**

“Brindar soluciones de administración de la energía que sean seguras, confiables, eficientes y sostenibles a los clientes a nivel mundial.”

### 1.1.4 Organización de la empresa



A continuación, en la Figura 1.3 se muestra el organigrama de la empresa Eaton Electrical S.A.

### **1.1.5 Descripción del proceso productivo**

#### *Bodega de Moravia*

El departamento de bodega es encargado de recibir todos los insumos necesarios para poder desarrollar los productos y labores administrativas. El departamento tiene como tareas tanto recibir la materia prima, como despachar los productos terminados a la Bodega de la Valencia.

#### *Primaria*

El departamento de primaria es el encargado de darle los procesos correspondientes a la hojalatería para alcanzar las piezas buscadas. Como materia prima en este departamento se utilizan láminas de (hierro, cobre, aluminio), como parte de los procesos se utiliza cierta maquinaria como: guillotinas, troqueladoras, dobladoras, punzonadoras, soldadoras de punto; estas como principales máquinas.

El flujo por el departamento funciona de la siguiente manera, la materia prima se almacena en racks, sin importar la máquina a la cual esté asignada la tarea lo primero que se va a hacer es realizar el corte de las láminas, seguido de esto a la pieza se le realizará los trabajos de punzonado y troquelado necesarios. Después de realizar estos detalles sobre el relieve de la pieza, se envían las piezas a las dobladoras en donde ya toman su forma, y únicamente después de ser dobladas pasan por las soldadoras de punto en donde se sujetarán de manera adecuada las partes dobladas.

#### *Departamento de pintura*

El departamento de pintura es el encargado de darle los acabados superficiales a los productos. El proceso de pintura se realiza mediante la pintura electrostática o también conocida como pintura en polvo.

El departamento de pintura debido a su tamaño y complejidad del proceso se puede dividir en cuatro pequeñas estaciones. Las piezas en el proceso deben pasar por cada una de las estaciones para poder obtener el correcto acabado; el proceso de pintura es un proceso continuo, en donde al inicio del proceso cada una de las piezas que se requieren pintar se colocan en un sistema de cadenas, en donde la cadena las guiará hasta pasar por las cuatro estaciones.

- Como primera estación está la cabina de lavado y fosfatos, en donde se limpian las piezas de los diferentes residuos que puedan traer de los procesos anteriores. Una vez enjuagada la pieza, se le aplican fosfatos para que la pintura más adelante se adhiera correctamente que además van a proteger de la corrosión las piezas metálicas. Todo este proceso ocurre a través de un túnel, el cual cuenta con aspersores que se encargarán de rociar el material de los diferentes productos.
- Seguido de esto se encuentra el horno de secado, el cuál únicamente se encarga como su nombre lo dice de retirar y secar toda el agua que haya quedado de la estación anterior. Mediante hornos de convección forzada se retira toda el agua en esta estación, al igual que la estación anterior el horno tiene una forma de túnel.
- Como tercer paso se tiene la aplicación de la pintura en polvo sobre las piezas. En esta estación se cuenta con una cabina semi-cerrada en donde al inicio de la cabina se encuentra un operador de una pistola manual, que se encarga de ir depositando pintura en los puntos de la pieza, que se prevé sean de difícil acceso para las pistolas automáticas; una vez se pasa la parte de aplicación manual, se cuenta con 8 pistolas automáticas que estarán oscilando sus movimientos en movimientos verticales, estas son las encargadas de darle la correcta cantidad de pintura a las piezas.
- Por último la pieza pasará por el horno de curado, en donde las piezas pasan este horno para que la pintura tome su textura final.

*Ensamble*

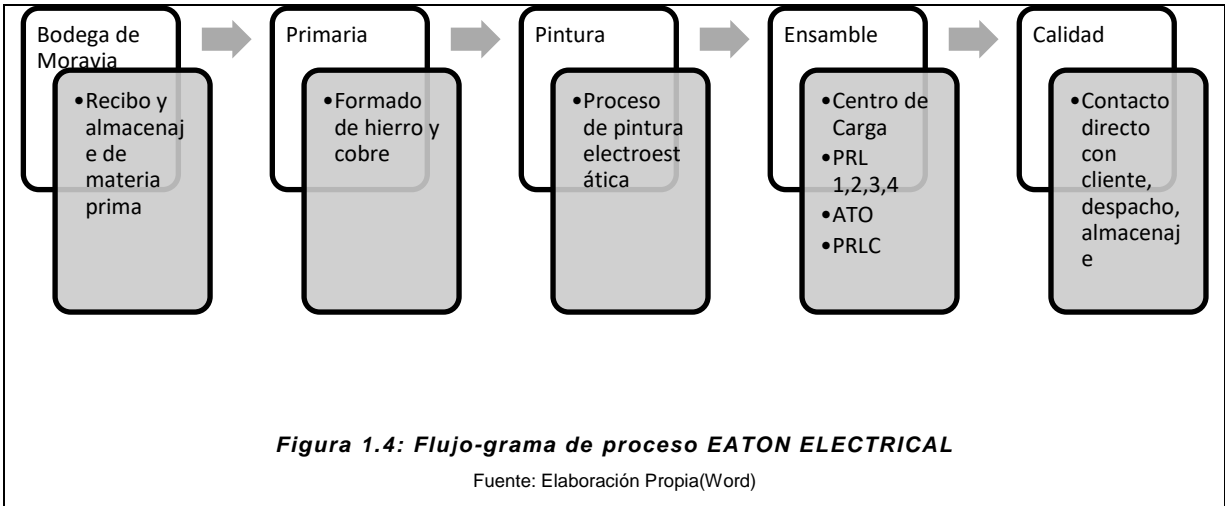
El departamento de ensamble como su nombre lo dice, es el encargado de ensamblar o armar los productos finales. En la planta de Eaton Electrical S.A. se divide en 4 los principales productos que se ensamblarán:

- ATO: Ensamble de paneles eléctricos
  - PB's
  - PRL 123
  - PRL 4
  
- PRLC
  - Unidades de disparo
  - Transformadores eléctricos
  
- Centros de Carga
  - Cajas de breaker
  - Cajas para teléfono
  - Ducto
  
- Eléctrico
  - Bancos de capacitores

#### *Bodega La Valencia*

En la Bodega La Valencia, se almacena el producto terminado y también es la encargada de recibir la materia prima proveniente del extranjero. Diariamente, se realizan dos viajes con producto terminado y para llevar a la planta en Moravia la materia prima.





## ***1.2 Definición del problema***

Este proyecto se realizará en el departamento de primaria de EATON ELECTRICAL S.A., como ya se explicó previamente en el proceso. En la planta se almacena la materia prima en la Bodega Las Américas, además se cuenta con cierta parte del material dentro de la planta en racks con el fin de facilitar el transporte del material dentro de la planta y disminuir tiempos de espera. En la figura A1 se puede ubicar con el punto A los racks ubicados dentro de la planta, además en el punto B se observa la Bodega de Las Américas.

En años recientes se ha actualizado cierta maquinaria en el área de primaria, lo cual ha derivado en procesos de corte y troquelado más rápido de lo que se solía hacer. Las máquinas al poder realizar las mismas tareas a mayores velocidades es una ventaja siempre y cuando se cuente con la logística para mantener el material siempre a disposición de la máquina. Es aquí donde nace el problema, a pesar de que las máquinas tienen gran capacidad de producción están siendo limitadas por agentes externas a la misma máquina.

Cada máquina cuenta con cierta cantidad de material a disposición cerca del punto donde está siendo operada, una vez que este material se agota es necesario llamar al montacargas de la empresa para que éste provea más material. Dependiendo la cantidad de material en los racks ubicados en el punto A, es posible que el tiempo de espera no sea demasiado largo, más, sin embargo, si en el momento no hay del material requerido en este punto, es necesario que el montacargas tenga que desplazarse hasta el punto B a recoger el material y entregarlo al puesto de trabajo. Lo mismo sucede una vez que se ocupa realizar un cambio de material, se tendrá que esperar por el montacargas cierto tiempo.

Actualmente la empresa únicamente cuenta con un montacargas de manera permanente, por esta razón los tiempos muertos por esperar el montacargas se están viendo reflejados de manera significativa Overall Equipment Effectiveness (OEE); indicador utilizado por la corporación para medir de manera porcentual la utilización real de los equipos. Según datos recopilados en la empresa, actualmente alrededor del 25% del tiempo de los paros en las máquinas se deben a la espera al montacargas; este dato puede ser más drástico si se miden únicamente los datos de las CNC 04 (punzonadora de la marca Prima Power, modelo F6) y CNC 06 (punzonadora de la marca AMADA, modelo EMK 3510M2), donde los tiempos de paro por espera del montacargas representan alrededor del 20 % de los tiempos de paro. A partir de este punto se hará referencia a la máquina AMADA como CNC 06 y a la FINN POWER como CNC 04 únicamente.

La empresa ya se planteó como solución a este problema la adquisición de un rack automático, en el cuál se pueda almacenar cerca de la máquina todo el material que se va a usar durante el día siguiente y que de manera automática durante el día el operario de la máquina pueda disponer de diferentes materiales sin tener que esperar por el montacargas. Esta solución fue propuesta para funcionar tanto para la CNC 6 como la CNC 4, que son las principales afectadas por la espera del montacargas.

La empresa recurrió a varios proveedores de productos de esta naturaleza, pero se encontró con el problema de que los costos son muy elevados y la poca flexibilidad de realizar un producto a la medida de las necesidades de EATON ELECTRICAL S.A. debido a que son empresas que realizan producción en masa.

### **1.3 Justificación**

Actualmente la empresa cuenta con dos CNC's; la CNC 06 y la CNC 04, las cuales permiten que su producción sea más acelerada en comparación con la demás maquinaria debido a su tecnología. Es por ello por lo que se desea construir una máquina dispensadora automática de láminas metálicas; esta máquina se encontrará justo al alcance del operario de la propia CNC, ya sea la CNC 06 o CNC 04, que permita al operario no depender durante la jornada del montacargas. En la planta ubicada en Moravia únicamente se trabajan en turnos diurnos, por lo cual se propone que al final de la jornada el montacargas realice un abastecimiento de la máquina dispensadora de todo el material que se planea trabajar al día siguiente.

Se puede pensar que una posible solución al problema es la adquisición de un nuevo montacargas, pero por razones de seguridad no sería posible el tránsito de varios montacargas por la planta. Previo a que el apilador automático de material fuera una opción para aumentar los rendimientos de diferentes máquinas se planteó la compra de un nuevo montacargas, sin embargo, el departamento de Seguridad e Higiene Laboral no permitió la compra de este.

En primera instancia se planea colocar la máquina dispensadora de láminas en la máquina CNC 06, la cual es una ponchadora de la marca AMADA, modelo EMK 3612 MII, la cual es la más moderna de la planta y por sus cualidades y velocidad de procesamiento de las láminas al no estar siendo bien abastecida de láminas su rendimiento en el OEE está siendo menor de lo esperado. Se espera como un proyecto a futuro, más adelante poder implementar otra torre automática de almacenamiento similar a la máquina CNC 04 de la marca FINN POWER, modelo F6.

Al disminuir los tiempos de espera de la CNC 06 se estima que los rendimientos en el OEE puedan mejorarse en un 15- 20% en comparación con los valores actuales

de tiempos muertos, esto beneficiará a la producción en general y sacar productos en cola. Además, es importante destacar que los altos tiempos que pasa el montacargas en las CNC's implica también una menor disponibilidad del montacargas para las demás máquinas.

## **1.4 Objetivos del proyecto**

### **1.4.1 Objetivo General**

Diseñar una máquina dispensadora y de almacenaje de láminas metálicas, que sea capaz de abastecer las necesidades de las máquinas CNC 06 y CNC 04 respectivamente, durante toda una jornada con los materiales necesarios.

### **1.4.2 Objetivos Específicos:**

- Diseñar planos mecánicos necesarios para la construcción de la máquina.
- Elaborar diagrama esquemático de conexiones para los equipos de control del mecanismo.
- Desarrollar de lista de materiales tomando en cuenta como principal proveedor de materia prima a Eaton Electrical S.A. para reducir costos.
- Justificar mediante un análisis financiero la factibilidad del proyecto de acuerdo con los ahorros y mejoras.

## 1.5 Metodología

Objetivo	Actividad	Producto
1-Diseñar planos mecánicos necesarios para la construcción de la máquina	Reconocimiento de las necesidades de la empresa en cuanto a capacidad de la máquina. Diseño de estructura y elección de los materiales.	Planos de piezas y ensamble.
2- Elaborar de planos eléctricos y diagramas de conexiones de partes eléctricas necesarias para funcionamiento de la máquina	Selección de sensores y actuadores que utilizará la máquina. Selección de módulo de control de la máquina. Diagrama de conexiones de sensores y actuadores a el módulo controlador.	Diagramas eléctricos para el correcto funcionamiento de la máquina a construir.
3- Determinar materiales eléctricos.	Desarrollar de lista de materiales tomando en cuenta como principal proveedor de materia prima a Eaton Electrical S.A. para reducir costos	Una lista completa de todos los materiales para disminuir los costos.
4- Justificar mediante un análisis financiero la factibilidad del proyecto de acuerdo con los ahorros y mejoras.	Mediante métodos financieros estudiar la tasa de retorno de la máquina.	Comparación del producto terminado contra otras posibles soluciones.

**Tabla 1-1: Metodología proyecto de graduación**

Fuente: Elaboración Propia(Excel)

## **1.6 Alcance**

En este proyecto se realizará el diseño mecánico de la máquina dispensadora de láminas metálicas; para la correcta ejecución del producto se entregará a la empresa un juego de planos de cada pieza, además de un plano del conjunto mecánico para poder realizar un ensamble correcto de la máquina.

Junto con los planos mecánicos se entregará un diagrama de conexiones de los aparatos eléctricos y electrónicos de los cuales deberá ser equipada la máquina para un correcto funcionamiento.

Junto con este par de entregables se elaborará una lista de materiales necesarios para la construcción de esta máquina; a partir de esta lista de materiales se creará un presupuesto incluyendo mano de obra y demás aspectos a tomar en cuenta para la construcción de la máquina.

Por último, se realiza un análisis económico que se planea entregar a la empresa, con todos estos documentos; la empresa deberá tener a partir de estos todas las herramientas necesarias para tomar una decisión entre construir la máquina o seguir en el proceso de conseguirla por medio de algún proveedor en el exterior.

## **1.7 Limitaciones**

Por políticas de la empresa es prioridad que todos los componentes eléctricos y electrónicos sean de la marca Eaton; es por ello que a la hora de presentar la solución a la necesidad de la máquina habrá que adaptarse a la gama de productos EATON.



Otra de las limitaciones a la hora de realizar este proyecto es que Eaton cuenta con una lista de proveedores aprobados por la empresa, si alguno de los materiales no se encuentra con los proveedores el trámite tiende a ser más largo.

## **2. Marco teórico**

El diseño ingenieril conlleva varias consideraciones previo a poder obtener un producto que cumpla con las expectativas finales. No existe una lista de requisitos que se pueda aplicar a cualquier proyecto, cada proyecto tiene sus propias especificaciones; es por ello que previo a iniciar la etapa de diseño es importante realizar un análisis de los factores a los cuales se va a someter el producto final y lo buscado a partir del diseño.

### ***2.1 Consideraciones para el diseño de una máquina***

Hace cierto tiempo era normal que los ingenieros tuvieran como principales consideraciones para un diseño la funcionalidad y el precio, los cuales no han dejado de ser importantes. Sin embargo, con el pasar de los años otros temas se toman en cuenta, previo a ver la funcionalidad; la máquina debe ser amigable tanto con el usuario como con el ambiente. Los temas tanto ambientales como de seguridad han cambiado la perspectiva de cómo se diseña una máquina.

El ingeniero en la actualidad mientras crea su máquina debe prever todas las fuentes de riesgo para el operario y erradicarlas en el proceso de diseño. Además, que sea amigable con el ambiente, esto quiere decir que tome en cuenta que, si este va a tener emisiones, de que naturaleza y qué hacer con ellas; además una vez que se vaya a desechar la máquina que este no tenga componentes altamente contaminantes.

En la Tabla 2.1 se muestran ciertas consideraciones a tomar en cuenta para realizar un diseño ingenieril, no necesariamente es aplicable a todos los productos que se quieran diseñar, pero si es una guía básica de consideraciones que se deberán tomar en cuenta casi que para cualquier diseño.

Principales consideraciones para realizar un diseño		
Consideraciones tradicionales	Consideraciones modernas	Consideraciones misceláneas
1- Materiales	1- Seguridad	1- Confiabilidad y mantenimiento
2- Geometría	2- Medio ambiente	2- Ergonomía
3- Condiciones de operación	3- Calidad de vida	3- Montaje y desmontaje
4- Costo		4- Análisis
5- Disponibilidad		
6- Productividad		
7- Vida Útil de los componentes		

**Tabla 2-1: Consideraciones para realizar un diseño**  
Fuente: Elaboración Propia (Excel)

### 2.1.1 Sistema de unidades

Debido a las políticas en diferentes partes del mundo los ingenieros han sido destinados a tener que tratar con diferentes sistemas de unidades. La mayoría de las conversiones físicas de unidades no suelen ser muy complicadas, sin embargo, resulta un poco tedioso estar realizando conversiones a la hora de realizar un diseño una gran cantidad de conversiones, además de que se puede prestar para cometer algún error.

A la hora de realizar conversiones o utilizar fórmulas físicas es importante mantener siempre homogeneidad en el sistema que se está utilizando. El Sistema Internacional de Unidades (S.I) es el aprobado por instituciones académicas en Costa Rica, a pesar de ello debido que muchas partes no son fabricadas en el país es usual encontrar elementos de máquinas diseñados con el Sistema Inglés.

### ***2.1.2 Tamaños estándar***

Existe una gama de elementos de máquinas que se encuentran con dimensiones estandarizadas, esto ahorra tiempo y presupuesto, debido a que no será necesario mandar a fabricar especialmente el elemento. Esto facilitará el trabajo del diseñador que únicamente tendrá que elegir el material de la pieza dependiendo de sus propiedades mecánicas.

### ***2.1.3 Tolerancias y fabricación***

Las tolerancias de los componentes es otro de los aspectos que afectará de manera económica la elaboración de piezas, mientras mayor ajuste tengan las piezas mayores será su valor; debido a la maquinaria que se debe utilizar para darle los acabados.

### ***2.1.4 Análisis de las cargas***

El análisis de las cargas que debe soportar una máquina es el primer paso fundamental para asegurar la funcionalidad del producto que se desea crear; se deben realizar estudios tanto de deflexión como de estrés simulando las cargas a las cuales será sometida la máquina. Un diseño acertado será aquel que pueda simular las cargas reales que deberá soportar a la hora de trabajo normal. No siempre es posible obtener datos reales, por lo cual se utilizan métodos estadísticos para simular y acercarse de manera real al ideal buscado.

### ***2.1.5 Materiales***

A partir del análisis de cargas se podrán obtener los materiales que se necesitan. Se conocen los esfuerzos y cargas a los cuales serán sometidos los elementos, además

dependiendo del uso que se le vaya a dar a la máquina se debe elegir un factor de seguridad el cual asegurará que la máquina no fallará en uso.

Es importante, además, tomar en cuenta las rutinas de mantenimiento y la vida útil de la máquina; esto quiere decir, que sean materiales fáciles de conseguir en el mercado en caso de ocupar un cambio si se habla de mantenimiento o que no sean peligrosos a la hora de desechar.

## ***2.2 Procesos modernos de producción en cadena***

La palabra manufactura se refiere al proceso de realizar algún objeto a través de un proceso industrial, o sea en grandes cantidades. Como su nombre lo indica la palabra manufactura se deriva de que es realizado de manera manual; sin embargo, actualmente la mayoría de procesos de “manufactura” están desprendiendo operarios que realizan la parte manual del proceso, por máquinas que pueden realizar estos mismos procesos.

Desde los inicios de la humanidad, el ser humano se ha encargado en buscar herramientas que realicen los trabajos que debían realizar previamente de manera manual. En los años de prehistoria se empezaron a realizar “martillos” con ayuda de cuerdas, palos y piedras. Posteriormente, en la edad del hierro, período en el que se populariza fabricar armas y herramientas a partir del hierro, en esta era ya dejan de ser procesos tan manuales y se empiezan a formalizar ciertas técnicas de tratar los materiales. Después nos podemos remontar a la Revolución Industrial, con la máquina de vapor y todas las implicaciones que esta trajo para los procesos conocidos hasta ese momento.

La tecnología actual permite automatizar casi cualquier proceso industrial, pero dependiendo de ciertas características este será el costo y la complejidad de la

automatización. Actualmente, las empresas buscan en su mayoría automatizar procesos que sean repetitivos y constantes con el tiempo. Esto no quiere decir que los procesos que no cuentan con estas características no pueden automatizarse, pero su costo es mucho más alto ya que incluirán más variables.

Los objetivos de automatizar los procesos en las empresas son:

- Reducir los costos de ingeniería, operaciones y mantenimiento
- Maximizar la eficiencia de la planta y la producción
- Mejorar la calidad en la producción
- Proteger al personal, a los activos de la planta y al medio ambiente
- Maximizar el retorno de inversión

Para monitorizar que realmente se cumplan estos objetivos se han desarrollado ciertos parámetros que se encargan de realizar comparaciones en datos tomados en diferentes condiciones, los cuales pueden variar según el tiempo o alguna otra variable. Dependiendo del área de estudio se han desarrollado diferentes tipos de indicadores para llevar un control sobre los datos buscados.

### ***2.3 Almacenamiento y distribución de material***

En los mercados modernos, miles de industrias producen diariamente bienes para un sinnúmero de consumidores. Uno de los problemas más grandes es poder medir el ritmo de consumo y asimilarlo al ritmo de producción. La “ciencia” para que estos ritmos sean lo más uniforme posibles es poder manejar sistemas eficientes de almacenamiento.

La actividad del almacenamiento es la que define cuanto material se tendrá a disposición, cuanto espacio será necesario para mantener ese material y cada cuanto tiempo será necesario estar disponiendo de nuevo material.

Los objetivos principales de la función del almacenamiento son:

- Un máximo uso del espacio
- Una efectiva utilización de mano de obra y equipos
- Rápido acceso a todo el material
- Eficiente movimiento de materiales
- Máxima protección de materiales
- Buen ordenamiento y limpieza

### ***2.3.1 Evolución de bodegas y almacenes a centros de distribución***

Las bodegas solían ser únicamente grandes galerones en los cuales se almacenaba el material; con el paso de los años las bodegas han tenido que cambiar sus funciones no sólo funcionar como un cuarto donde llegan las cosas sino asegurar que se tenga disponibilidad del producto, que lo que se haya pedido sea lo que haya llegado.

El cambio de bodegas a centros de distribución se da debido al tamaño de las plantas, actualmente existen plantas con un gran tamaño en las cuales no es práctico estar realizando varios viajes para obtener el material; el departamento de bodega es el encargado de manejar toda la logística que esto rodea. Dependiendo del tamaño y peso de los objetos serán necesarias grúas o montacargas.

### ***2.3.2 Rack***

Es común que en los lugares donde existen bodegas se cuenten con racks; los racks son estructuras en su mayoría metálicas y muy simples, pero que su simplicidad ha hecho muy popular su uso en la actividad del almacenamiento.

Estas estructuras en su mayoría están formadas por perfiles de hierro formando cajas o pisos, y en ellas se van apilando los materiales; en la industria se las han arreglado para construirlas de diferentes tamaños y alturas sacando máximo provecho a pequeñas áreas y aprovechando espacio hacia arriba.

Esta forma de almacenamiento se ha utilizado ya por lo menos desde hace más de 60 años. Se han desarrollado varias metodologías de cómo acomodar los materiales en los racks para un mejor manejo de material agilizando tiempos.

### ***2.3.3 Uso de tecnologías de almacenamiento ante escasa infraestructura***

Antes se dijo que las bodegas ocupan cierto espacio en la planta; además, se dijo que dependiendo del material será necesario el uso de montacargas o grúas, facilidades que no todas las empresas podrán contar dependiendo del proceso productivo con el que se cuente. La falta de infraestructura puede limitar la disponibilidad de montacargas y las grúas, las cuales ocupan mucho espacio y son de difícil manejo.

Ante esta necesidad de ahorro de espacio se han ideado soluciones tecnológicas en la industria. Diferentes elementos que puedan permitir de manera eficiente un almacenamiento de materiales en diferentes puntos de la planta que permitan que los recorridos sean menores, así también las esperas.

Estas soluciones tecnológicas vienen en diferentes presentaciones dependiendo de la naturaleza del problema y la solución que se haya encontrado, sin embargo, todas buscando la misma finalidad.



### ***2.3.4 Tiempos muertos por problemas de almacenamiento y transporte***

La industria actual busca incrementar las ganancias, esto implica hacer recortes en otras áreas. Los tiempos muertos se han identificado como una de las principales problemáticas para maximizar la producción, esto se traduce en pérdidas monetarias para la empresa; a pesar que tiempo muerto implica una variedad de factores como tiempos de comida del operario, recesos o incluso reuniones con supervisores que no son tan controlables, es válido también decir que hay tiempos muertos que si se pueden manipular, como por ejemplo, la disposición de material o paros por mantenimiento.

Los tiempos muertos por problemas de almacenamiento o transporte se pueden dar por varias circunstancias, sin embargo, hay ciertas causas principales para que se den estos contratiempos.

- Falta de un método estructurado en bodega que permita un flujo continuo de material a la planta, se pierde demasiado tiempo en despachar el material deseado.
- Falta de disponibilidad de montacargas o grúas que permitan el transporte fluido del material hacia los puntos deseados
- Rutas demasiado largas o estrechas para mantener a los montacargas o grúas en constante movimiento.

### **3. Evaluación de características del diseño a realizar**

A la hora de realizar un diseño personalizado para la planta de Eaton Electrical S.A. es indispensable conocer a fondo el proceso con el que se trabaja actualmente. Para que el diseño sea a la medida es importante conocer datos como los tamaños de las láminas que se desean utilizar en la máquina (peso y dimensiones), cantidad de láminas utilizadas diariamente, material utilizado, tiempos muertos reales de las máquinas diarios, entre otros. Este capítulo se encarga de explicar todos los aspectos tomados en cuenta para poder lograr un diseño adecuado.

Los datos de lámina mostrados en esta tabla son tomados de la Hoja SIC-02, Ver 3. DAN 025-016; la cual es la hoja de especificación utilizada por el departamento de calidad de Eaton Electrical para realizar los pedidos de hierro, la hoja completa se adjunta en los anexos.

#### ***3.1 Especificaciones de las láminas***

En Eaton Electrical se manejan una variedad de láminas de diferentes materiales y acabados, por razones de diseño únicamente se tomarán en cuenta las láminas de hierro, ya que estas son las únicas que se manejarán a través de la máquina. En esta sección se denotará la importancia que tienen en el diseño cada uno de los datos mostrados en la Tabla 3.1 además de una interpretación de los datos.

##### ***3.1.1 Dimensiones de las láminas***

A pesar de que en Eaton se manejan varios calibres de hierro se cuenta con la ventaja de que se maneja un único tamaño de lámina. Es importante para realizar el diseño conocer el tamaño de la lámina, esto con el fin de conocer el tamaño mínimo

del carro transportador. El tamaño de las láminas según la hoja estandarizada de la corporación es de 1.22 x 2.44 m, este dato y demás datos brindados en esta sección se mostrarán de manera resumen en la Tabla 3.1.

### ***3.1.2 Peso de las láminas y paquetes de láminas***

Es importante conocer el peso de las láminas para poder determinar las características mecánicas de las partes de la máquina. Una vez realizada la investigación necesaria, se encuentra que por motivos de montacargas la empresa tuvo que estandarizar el peso de los paquetes de láminas; junto con el proveedor se llegó al acuerdo que cada uno de los paquetes de láminas debe estar entre 2000-2500 kilogramos. Además, el tamaño de cada uno de los compartimentos debe tener como mínimo el tamaño del paquete de láminas más grande. Al igual que los datos del apartado anterior los datos específicos para cada calibre se encontrarán en la tabla 3.1.

### Resumen Hoja Estandar

Tipo de Hierro	Dimensiones (m)	Espesor promedio (mm)	Peso de lámina (kg)	Cantidad de láminas por paquete	Altura del paquete de láminas (m)	Peso Promedio Paquete de láminas (kg)
Fe #20	1.22 x 2.44	0.95	21.5	93	0.085	2000-2250
Fe #18	1.22 x 2.44	1.25	28.5	70	0.085	2000-2250
Fe#16	1.22 x 2.44	1.50	35.5	55	0.083	2000-2250
Fe#14	1.22 x 2.44	1.90	44.5	47	0.089	2000-2250
Fe #12	1.22 x 2.44	2.65	62.0	34	0.090	2000-2250
Fe Galvanil #20	1.22 x 2.44	1.00	23.5	91	0.091	2000-2250
Fe Galvanil #18	1.22 x 2.44	1.30	30.5	70	0.091	2000-2250
Fe Galvanil #16	1.22 x 2.44	1.60	37.5	56	0.089	2000-2250
Fe Galvanil #12	1.22 x 2.44	2.75	64.5	33	0.090	2000-2250
Fe Galvanizado #18	1.22 x 2.44	1.30	30.5	70	0.091	2000-2250
Fe Galvanizado #16	1.22 x 2.44	1.60	38.0	56	0.090	2000-2250
Fe Galvanizado #14	1.22 x 2.44	1.90	45.0	46	0.089	2000-2250

**Tabla 3-1: Resumen Características estándar láminas hierro Eaton Electrical S.A.**

Fuente: Elaboración Propia (Excel)

### ***3.2 Datos diarios de uso de lámina***

Para poder conocer la carga que necesitará resistir la máquina es necesario poder antes estimar cuáles serán los calibres más utilizados durante cada día y proyectarlos también en un mes.

Se realiza una estimación a partir de datos obtenidos durante los primeros seis meses del año 2017 en la planta Eaton, esto debido a que no necesariamente si en un mes se produjeron más productos con hierro #18 esto dictará una tendencia para todo el año. A continuación, se muestran tabulados y posteriormente las gráficas de la utilización de láminas mensuales. Para así poder calcular aproximadamente, cuál será la carga diaria de la máquina.

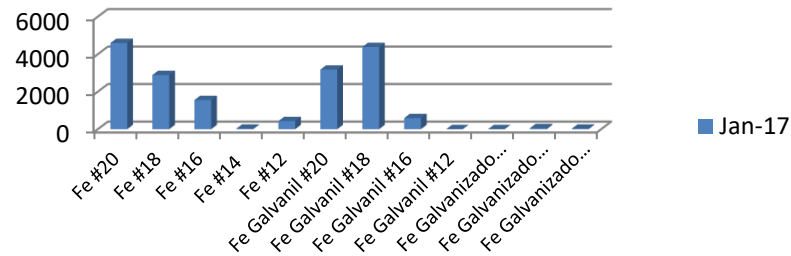
A partir de los datos de tabla 3.2, se puede concluir que el hierro calibre 16, en sus presentaciones de galvanizado, galvanil y negro son las que más se utilizan durante todos los meses de manera constante.

	Fe #20	Fe #18	Fe #16	Fe #14	Fe #12	Fe Galvanil #20	Fe Galvanil #18	Fe Galvanil #16	Fe Galvanil #12	Fe Galvanizado #18	Fe Galvanizado #16	Fe Galvanizado #14
<b>Jan-17</b>	4596	2888	1555	30	431	3176	4383	591	1	-	55	30
<b>Feb-17</b>	4494	3587	3459	-	174	4264	4000	228	-	-	-	-
<b>Mar-17</b>	2630	502	2915	166	373	8280	6720	232	-	43	217	18
<b>Apr-17</b>	2756	1250	3025	43	345	3952	3024	320	-	-	114	10
<b>May-17</b>	3050	908	12168	40	-	520	5400	180	-	19	645	40
<b>Jun-17</b>	6322	2628	14711	-	96	6144	8126	433	-	133	502	-
<b>Jul-17</b>	1384	2727	15584	54	170	170	-	36	-	-	580	-

**Tabla3-2: Consumo mensual de láminas Eaton Electrical 2017**

Fuente: Elaboración Propia(Excel)

### Distribución utilización hierro Enero 2017



**Gráfico 3— 1: Distribución láminas hierro enero 2017**

Fuente: Elaboración Propia(Excel)

### Distribución utilización hierro Febrero 2017

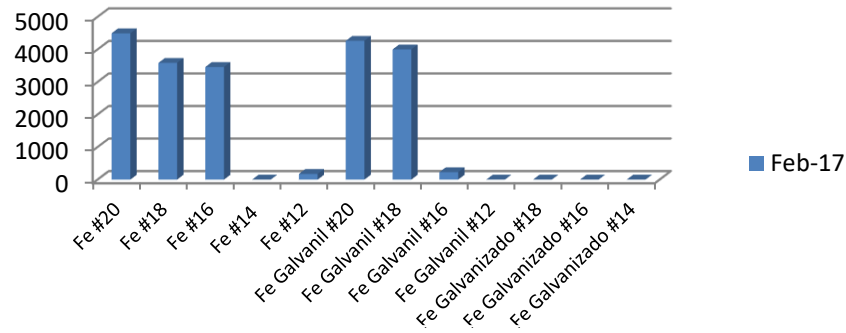


Gráfico 3—2: Distribución láminas hierro febrero 2017

Fuente: Elaboración Propia(Excel)

### Distribución utilización hierro Marzo 2017

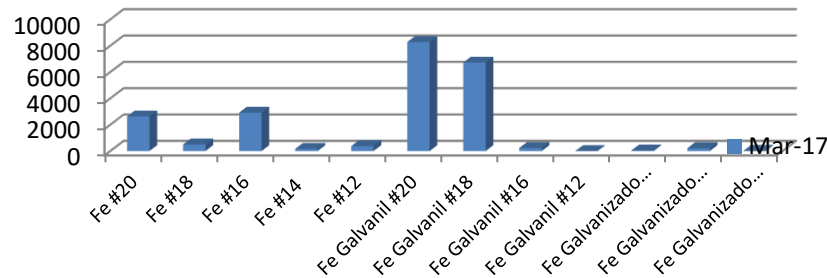
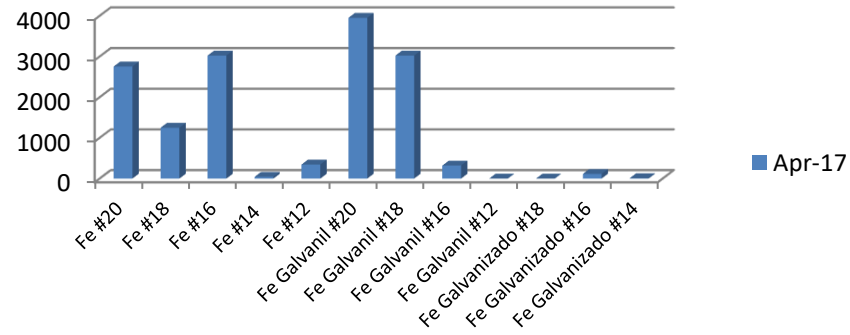


Gráfico 3—3: Distribución láminas hierro marzo 2017

Fuente: Elaboración Propia(Excel)

### Distribución utilización hierro Abril 2017

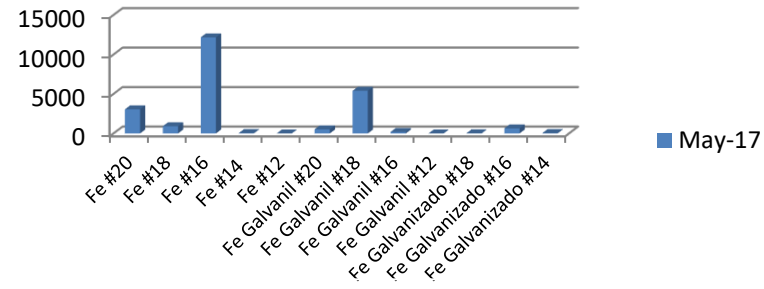


**Gráfico 3—4: Distribución láminas hierro abril 2017**

Fuente: Elaboración Propia(Excel)



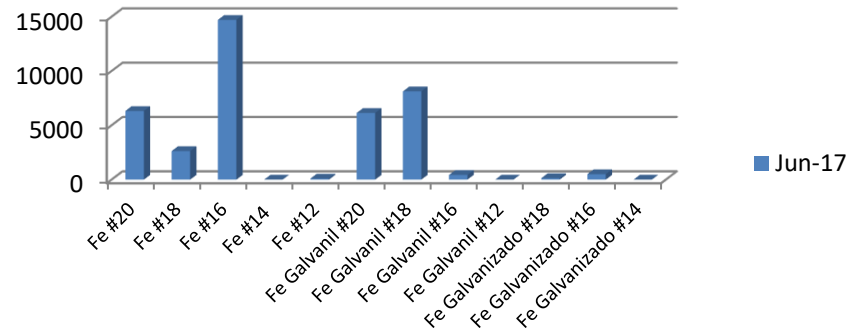
### Distribución utilización hierro Mayo 2017



**Gráfico 3—5: Distribución láminas hierro mayo 2017**

Fuente: Elaboración Propia(Excel)

### Distribución utilización hierro Junio 2017



**Gráfico 3—6: Distribución láminas hierro junio 2017**

Fuente: Elaboración Propia(Excel)

### **3.3 Tiempos muertos**

Al ser los tiempos muertos, la justificación de este proyecto es de suma importancia también mostrar los datos reales de los tiempos muertos que se tienen en la planta de Eaton Electrical. Las gráficas a continuación muestran los datos antes mencionados acerca de los tiempos muertos no solo por razón de montacargas sino la proporción real comparado a las demás razones.

En la Gráficas 3.7 y la Gráfica 3.8 se muestran proporcionalmente los tiempos de cada máquina, incluido el tiempo de operación. Los apartados siguientes son los tomados en cuenta para la creación de las gráficas.

- 5s+
- Mantenimiento autónomo
- Operación
- Ejercicios
- Comida
- Espera Montacargas
- Set-Up Máquina
- Mantenimiento/Reparación
- Reparación Troquel
- Programación
- Operador en otra actividad
- Espera calidad
- Esperando orden
- Reunión con supervisor
- Otros

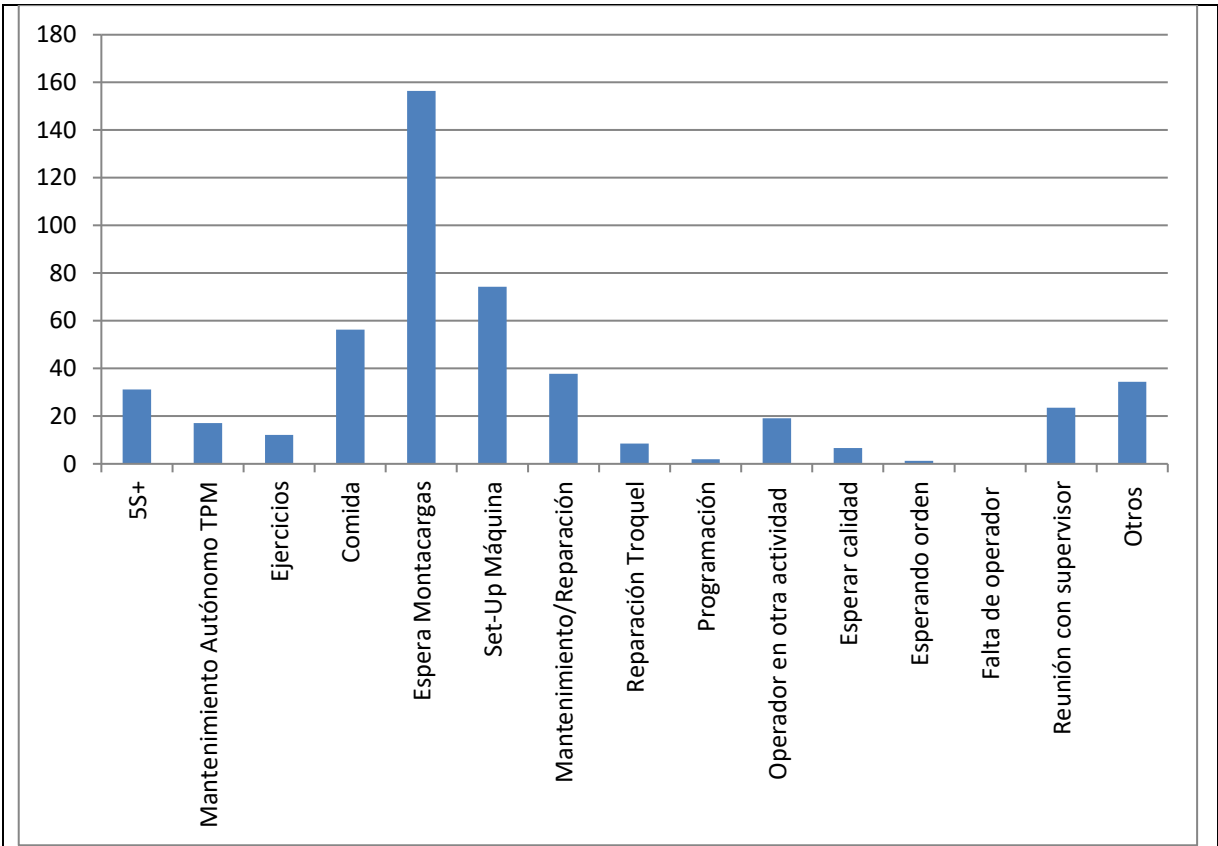
La espera de montacargas según la tabla 3.3 equivale a un 10,25% en la CNC 06 del tiempo total de horas trabajadas, mientras que si se compara con las horas en operación equivale a un 17 %; lo cual es preocupante debido a que son tiempos en los que la máquina está en óptimas condiciones para trabajar al igual que el operario, únicamente están esperando.

Los datos en la CNC 06 son parecidos en la CNC 04, ya que los tiempos de espera de montacargas equivale a 16 % de las horas totales utilizadas, mientras que si se compara con los tiempos trabajados sube hasta la suma del 30%.

<b>Tabla resumen utilización de máquina</b>		
	<b>CNC 06 (horas, %)</b>	<b>CNC 04 (horas, %)</b>
<b>Operación</b>	(1178 h, 69,6%)	(659 h, 56%)
<b>Espera Montacargas</b>	(158 h, 10, 25%)	(188 h, 16%)
<b>Horas totales</b>	(1692 h, 100%)	(1174 h, 100%)

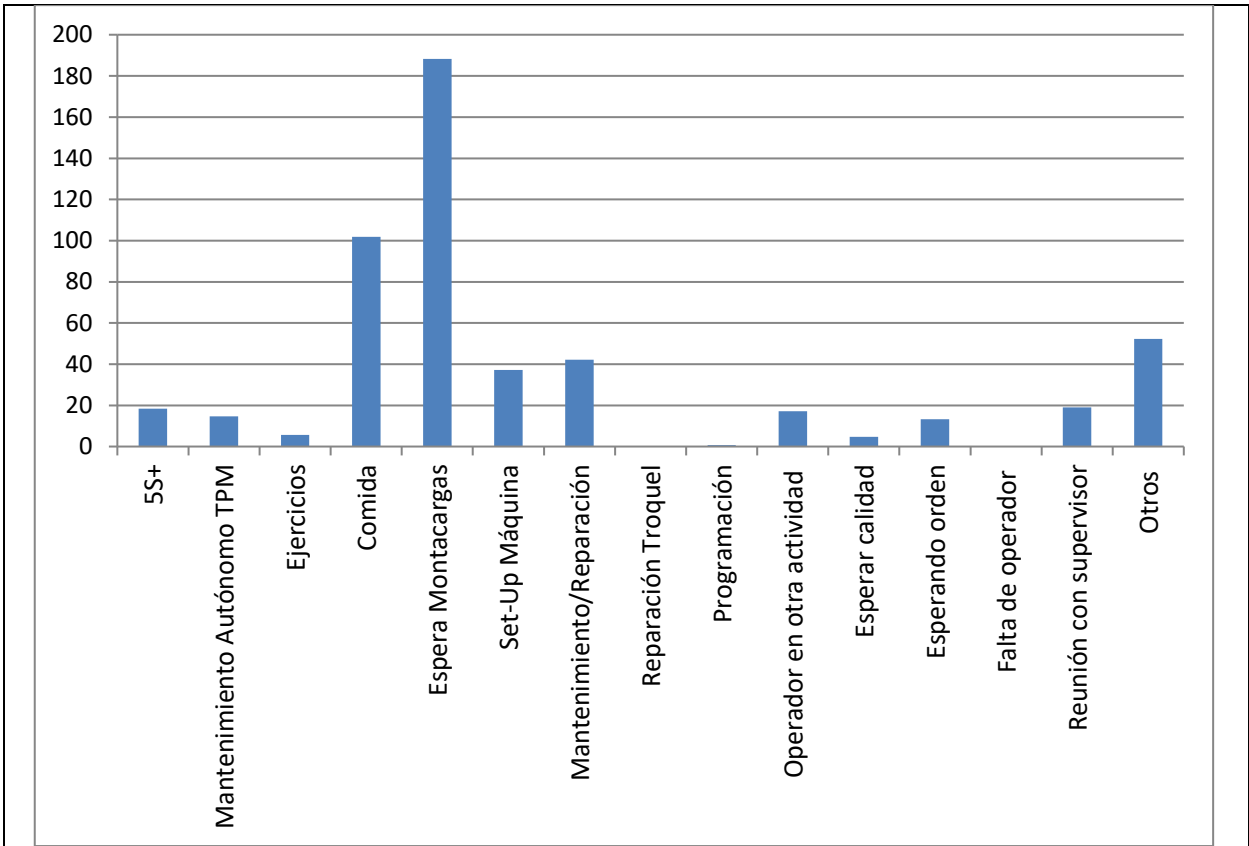
**Tabla 3-3: Resumen Utilización de máquinas**

Fuente: Elaboración Propia (Excel)



**Gráfico 3—7: Utilización de máquinas CNC 06**

Fuente: Elaboración Propia (Excel)



**Gráfico 3—8: Utilización de máquinas CNC 04**

Fuente: Elaboración Propia (Excel)

## **4. Requerimientos del sistema**

La máquina cuenta con una estructura principal que es la que soporta la estructura móvil. Además de estas partes principales se cuenta con las piezas mecánicas que son las encargadas de dar el movimiento a la estructura móvil.

### ***4.1 Estructura principal***

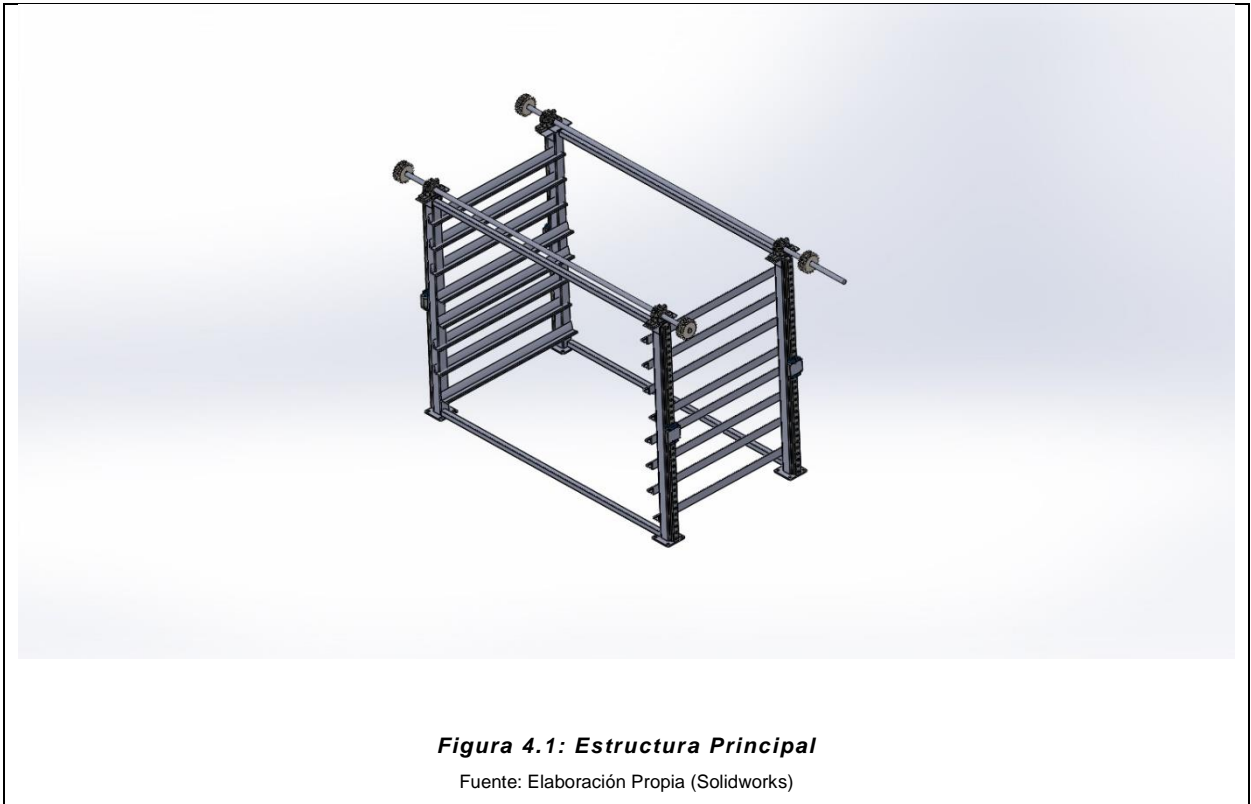
La estructura principal es la encargada de almacenar las láminas metálicas mientras no están siendo utilizadas por el operario. La máquina contará con 8 niveles, los cuales deben estar diseñados para soportar cada uno un peso del al menos 3 toneladas. Además, los 3 niveles inferiores están habilitados para los calibres con grosor hasta de calibre #6, que actualmente no se utiliza en la planta, mientras los demás niveles están habilitados para paquetes de láminas únicamente para láminas de Fe #10 en cualquiera de sus presentaciones como máximo. Es importante además tomar el tamaño de las uñas del montacargas a la hora de colocar las láminas.

- Estructura con dimensiones para alojar láminas de 1.22 m x 2.44 m.
- Debe soportar la carga ejercida por 8 niveles con carga cada uno de los niveles con 2.25 toneladas, además del propio peso de la estructura.
- Debe ajustarse para que cada uno de los niveles tenga como mínimo 0.23 m de altura para tener buena manipulación de las láminas.
- Debe soportar el torque que le genere el *Carro Móvil* que va sujeto a la estructura principal cuando va cargado además de su peso.
- La planta no cuenta con limitación de campo en este momento, pero se planea que se sitúe en un área de 5.5 m x 3,5 m como máximo.

- Tener guías para el *Carro Móvil*.

La estructura principal está formada por 4 columnas de acero estructura, en grupos de dos están unidos mediante guías que servirán como carriles para cada uno de los niveles de los *Carrito de Nivel*. Además, cada una de las columnas de acero cuenta con un riel y un carro sujeto de manera vertical, con el fin de ser guía para el *Carro Móvil*.

En la parte superior de cada una de las columnas cuenta con un cojinete, los cuales cumplirán la misión de soportar las flechas encargadas de transmitir potencia y movimiento del *Carro Móvil*.



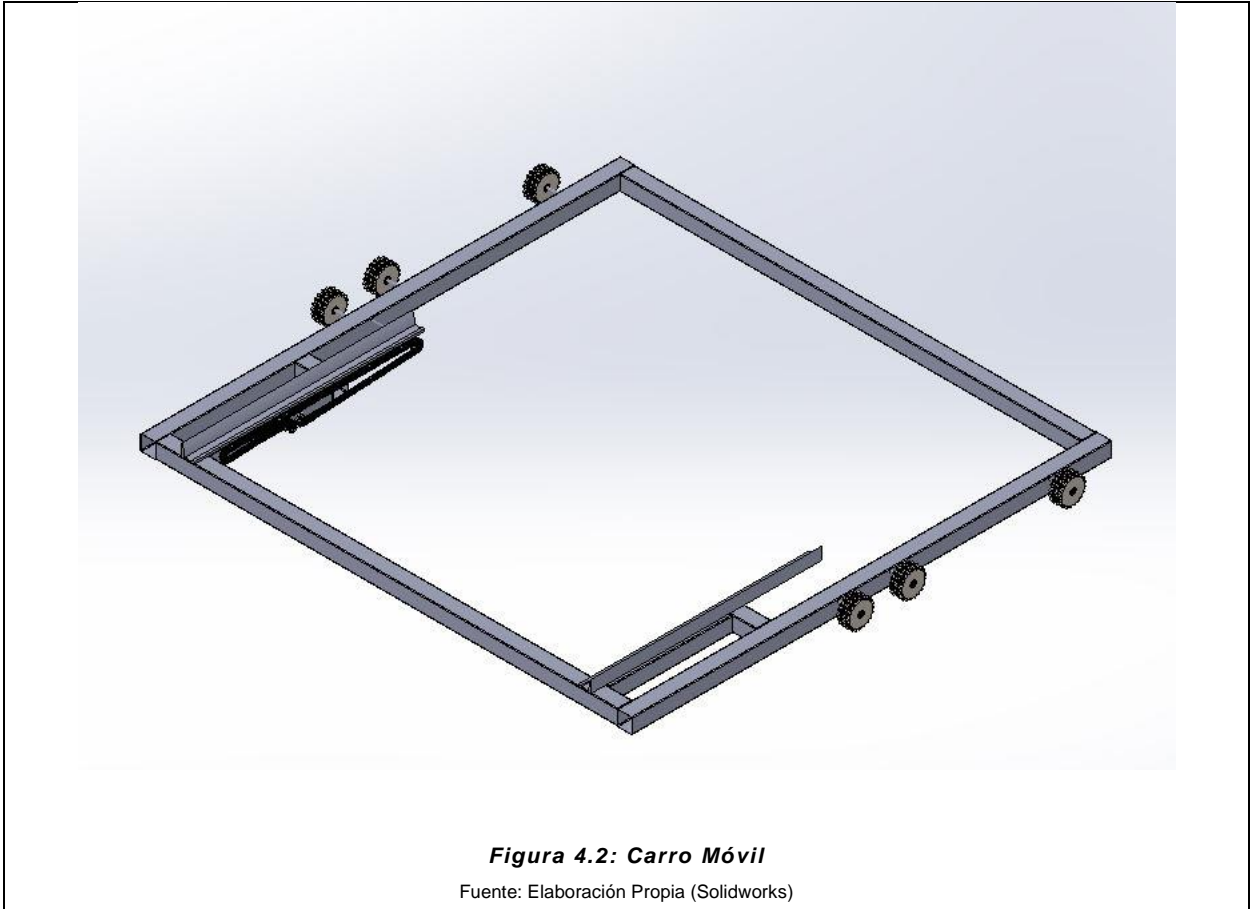
## 4.2 Carro móvil

El carro móvil es el encargado de tomar las láminas del nivel deseado de la estructura principal y llevarlas a nivel del operador. Este debe ser capaz de soportar



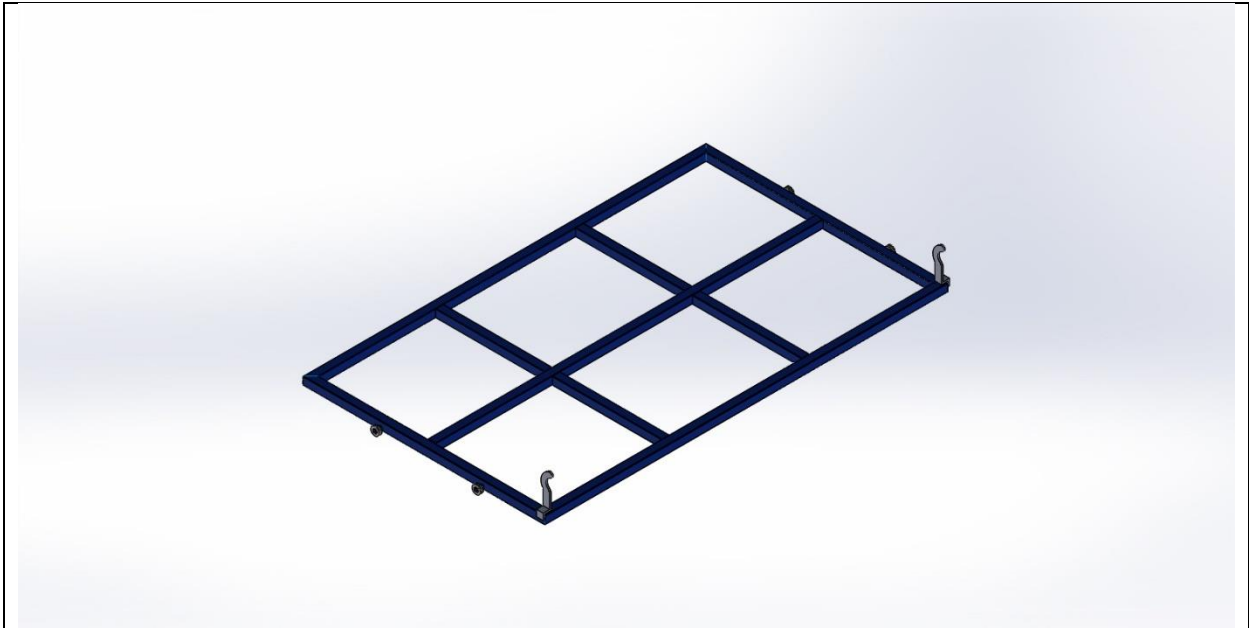
el peso de todo el paquete de láminas. El *Carro Móvil* únicamente realiza movimientos verticales, se mueve a lo largo de la *Estructura Principal*, mediante los rieles y un sistema de cadenas los cuales son soportados por la *Estructura Principal*.

- Alojarse láminas de dimensiones 1.22 m x 2.44 m.
- Soportar el peso de los paquetes de láminas completos.



Los carros de carga serán los encargados en alojar las láminas en cada uno de los niveles de la *Estructura Principal*. Estos se pueden desplazar a lo largo del *Carro Móvil* a la *Estructura Principal* y viceversa, siempre y cuando el *Carro Móvil* no esté siendo ocupado por algún otro *Carrillo Nivel*.

- Alojarse láminas de dimensiones 1.22 m x 2.44 m.
- Soportar el peso de los paquetes de láminas completos.
- Ser capaz de acoplarse de alguna manera al carro móvil.

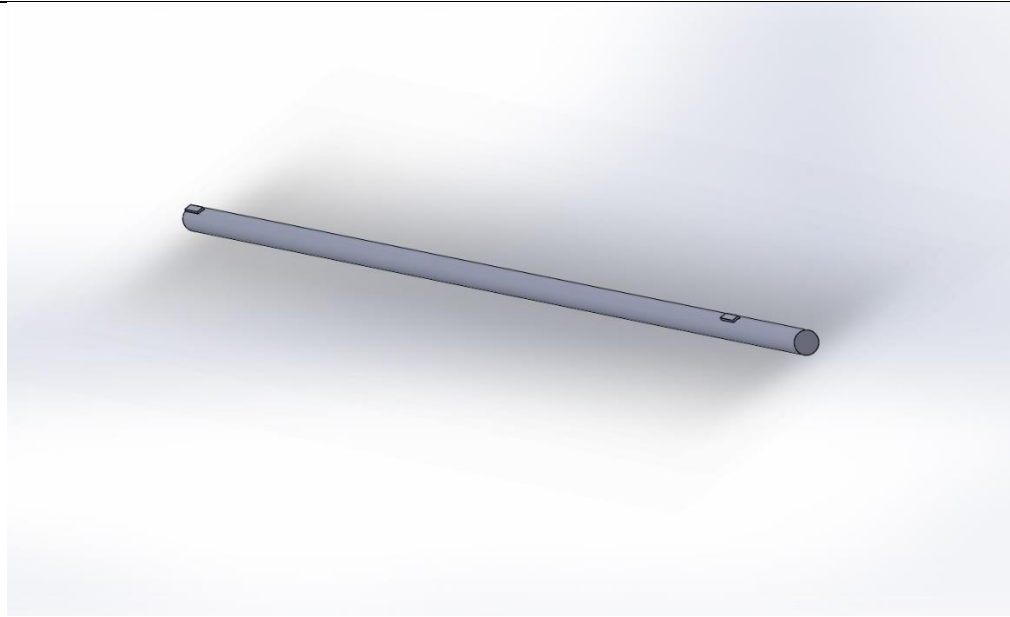


**Figura 4.3: Carrito Nivel**

Fuente: Elaboración Propia (Solidworks)

#### **4.4 Flechas**

Las partes móviles son todas las partes que transmitirán la potencia para que se dé el movimiento. Las partes deben estar fabricadas para que puedan soportar la fatiga, en este apartado están incluidos rodamientos, flechas, engranajes, entre otros.



**Figura 4.4: Flecha**

Fuente: Elaboración Propia (Solidworks)

#### **4.5 Dispositivos eléctricos**

En la parte eléctrica únicamente se ocupará un circuito de potencia trifásico, con un voltaje de 208 V; capaz de alimentar un motor.

El motor eléctrico debe contar con el torque necesario para poder transportar la carga de las láminas y el peso de la estructura móvil. Además, debe ofrecer la oportunidad de enclavamiento para cuando esté detenido en alguno de los niveles.

#### **4.6 Dispositivos electrónicos**

Los requerimientos de los dispositivos electrónicos se enlistan a continuación:

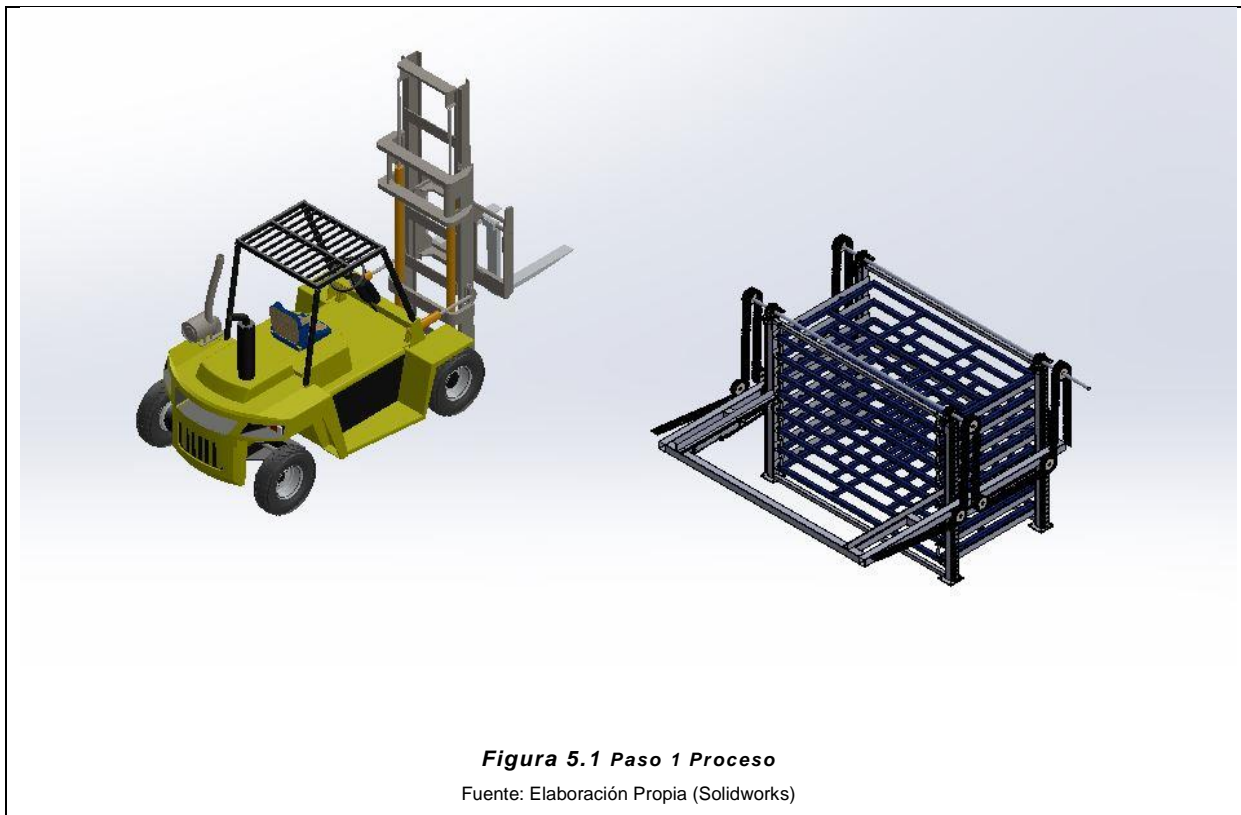
- Indicar la ubicación de la máquina.
- Indicar el peso del carro móvil.
- Indicar peso sobre cada uno de los niveles de la *Estructura Principal*.
- Indicar al carro cuando ya se encuentra en posición de un nivel.
- Activar diferentes sistemas de seguridad que no permita que la máquina sea propensa a un error y esto cause un accidente.

## **5. Funcionamiento del mecanismo**

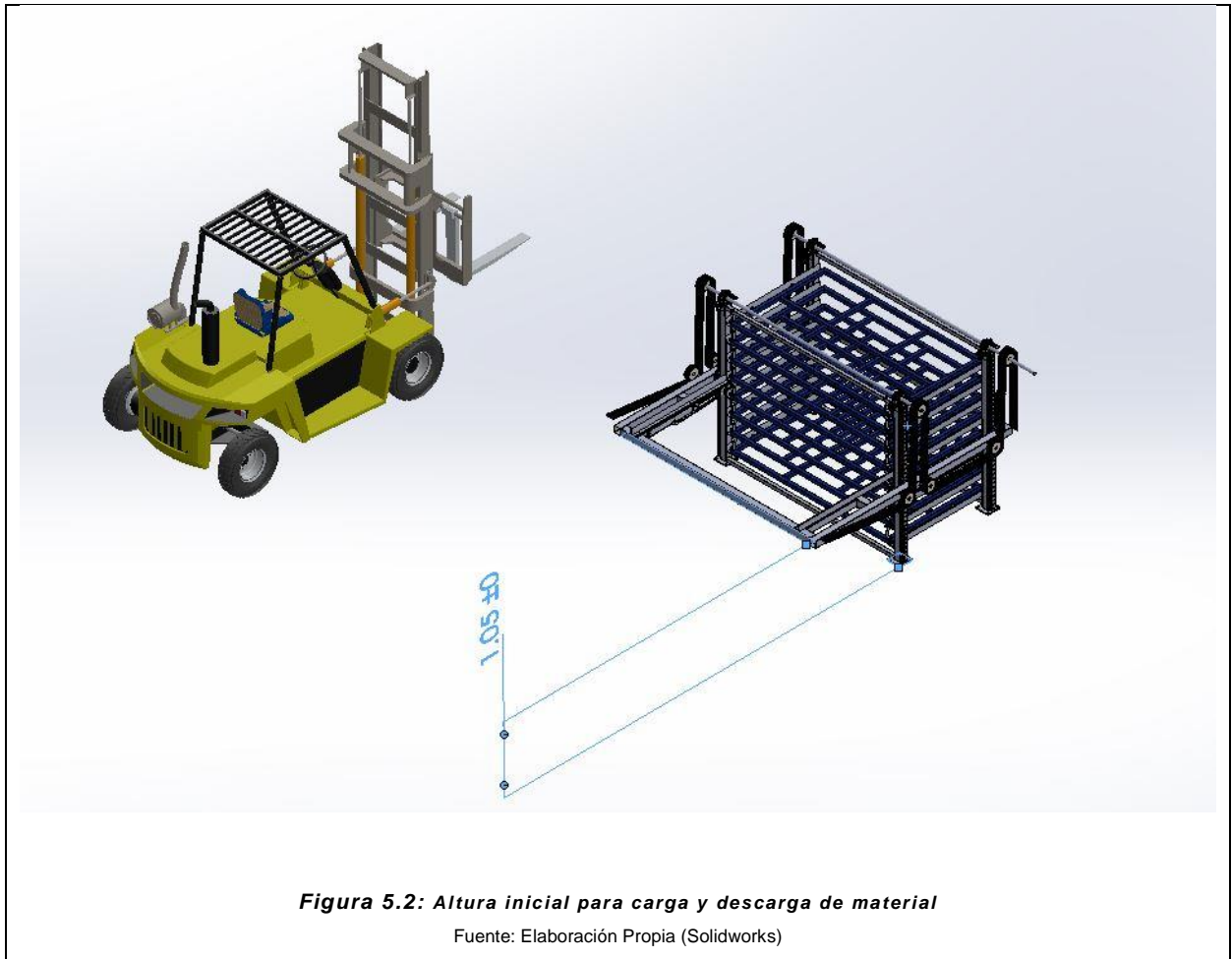
Como antes se describió el objetivo de la máquina es aumentar rendimiento de los equipos CNC 06 y CNC 04, además de disminuir el uso de el montacargas durante la jornada, se espera que la planificación de las láminas que se van a guardar durante la noche sea acorde con la producción del día siguiente, así evitar contra tiempos con el montacargas.

A partir de ello el procedimiento de funcionamiento del mecanismo sería de la siguiente manera:

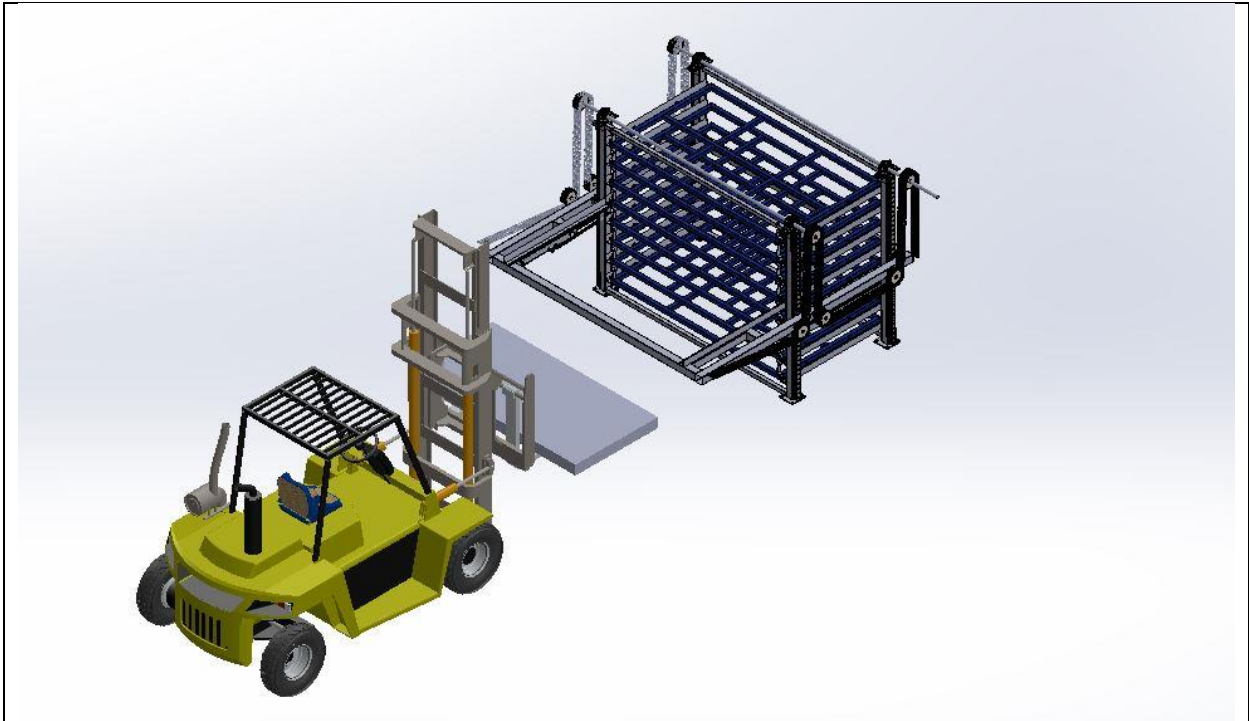
1. La máquina se encuentra en reposo después de una jornada de trabajo. Puede contener material de sobrantes del día de trabajo o puede estar completamente vacía.



2. Una vez terminada la jornada el montacargas debe traer el material a la máquina. La máquina cuando está en posición de carga se posicionará a una posición de 1,05 m, la cual resulta bastante cómoda para el operario y el montacarguista poder llevar un buen control de lo que está aconteciendo.

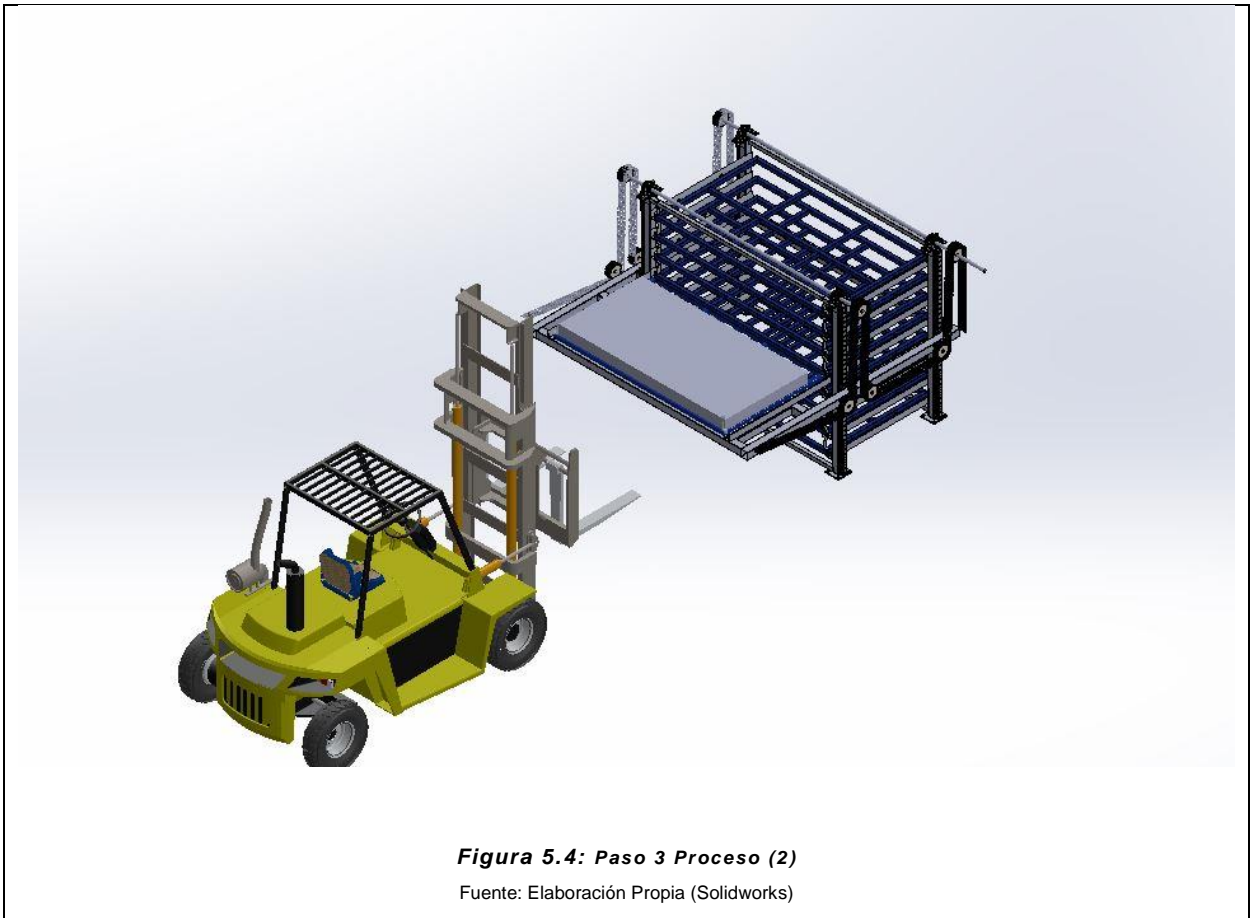


3. Una vez la máquina se encuentra en posición de carga el montacarguista colocará sobre el Carro Móvil las láminas que se desean guardar.



**Figura 5.3: Paso 3 Proceso (1)**

Fuente: Elaboración Propia (Solidworks)

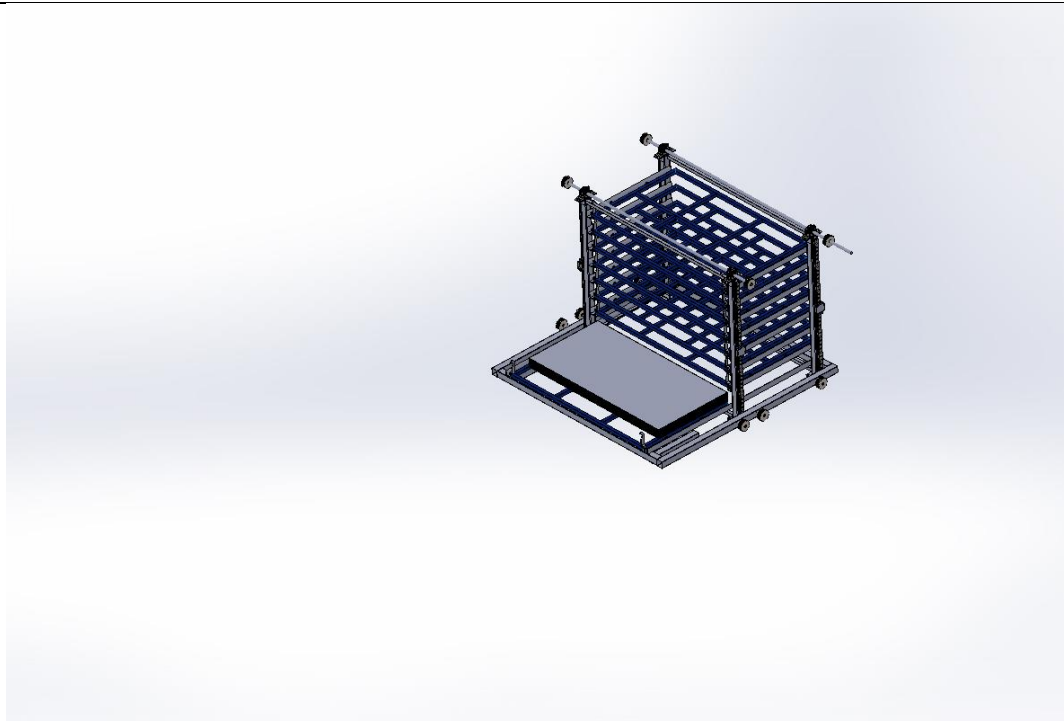


**Figura 5.4: Paso 3 Proceso (2)**

Fuente: Elaboración Propia (Solidworks)

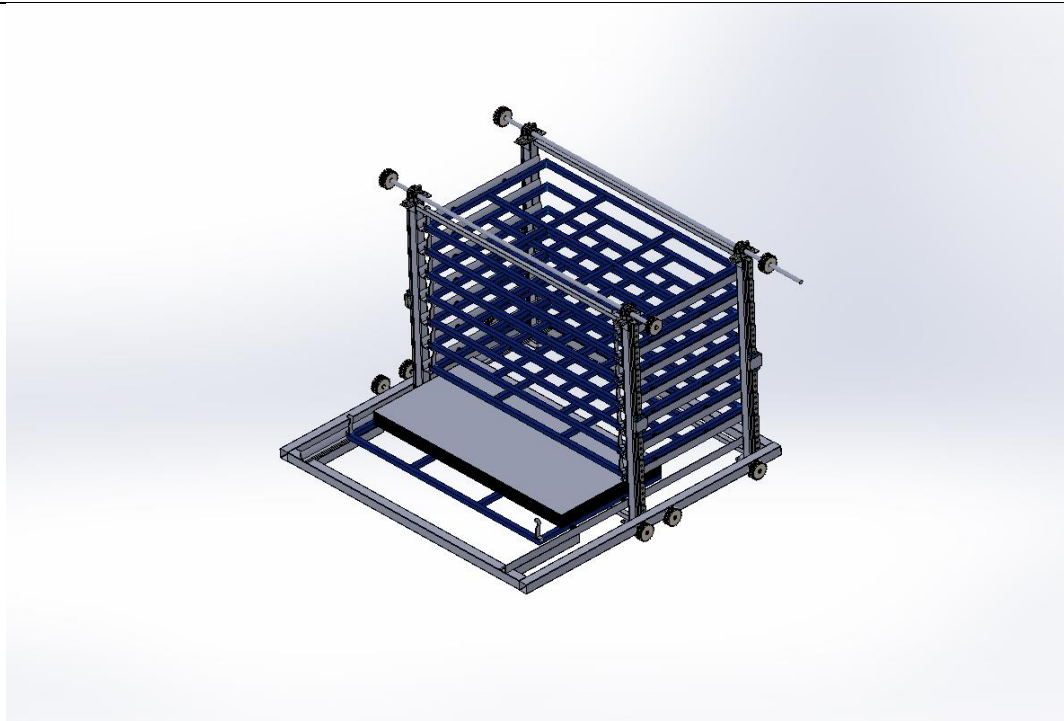
4. Una vez el material se encuentra asegurado en la máquina, la máquina devolverá el *Carro Móvil* al nivel donde pertenece, pero en este caso con láminas.





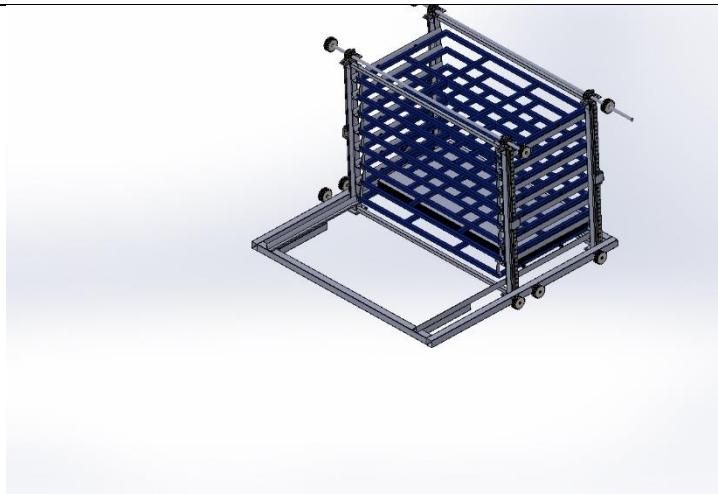
***Figura 5.5: Láminas en nivel, listas para ser guardadas***

Fuente: Elaboración Propia (Solidworks)



**Figura 5.6: Láminas pasando de Carro Móvil a Estructura Principal**

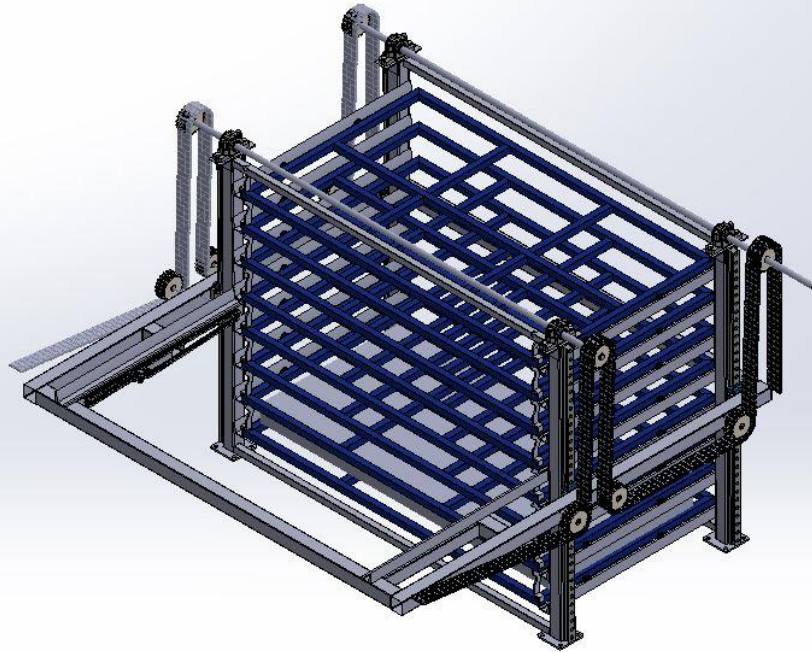
Fuente: Elaboración Propia (Solidworks)



**Figura 5.7: Láminas almacenadas en nivel respectivo**

Fuente: Elaboración Propia (Solidworks)

5. Una vez la máquina ya entregó el *Carro Móvil*, volverá a posición de espera.



**Figura 5.8: Carro Móvil de vuelta a nivel de descarga y carga**

Fuente: Elaboración Propia (Solidworks)

## **6. Diseño del mecanismo**

### **6.1 Teorías de fallas**

La palabra falla en el ámbito de la mecánica se suele utilizar para referirse a una pieza que ha sido distorsionada o separada de manera permanente y que no será posible que recupere sus condiciones físicas y geométricas iniciales. Las teorías de falla se encargan de predecir bajo las condiciones a las cuales sea sometido un material fallará; existen diferentes teorías de falla y cada una es aplicable bajo diferentes condiciones, además que no existe con certeza la más acertada.

Como parte de un diseño de cualquier tipo, el ingeniero debe tener a mano una gran cantidad de resultados de pruebas realizadas sobre dicho material, mientras más pruebas se les realicen a los diferentes materiales con más facilidad se podrá predecir el comportamiento ante dichas situaciones.

Las teorías de fallas en piezas y en materiales se pueden encasillar en dos grandes grupos, las fallas resultantes de carga estática y las fallas por fatiga resultantes de cargas variables o dinámica. Las primeras evalúan el comportamiento ante propiedades como cortante, flexión y o la aplicación de cierto momento en la pieza, con el fin de predecir de cuál manera fallará primero. Como ya se dijo no existe una teoría que logre encasillar todos los tipos de materiales y unifique toda la teoría.

#### **6.1.1 Teoría de esfuerzo cortante máximo para materiales dúctiles**

Para término de este diseño se utilizará como teoría de falla estática la teoría de cortante máximo. La cuál es recomendada para materiales dúctiles, esta teoría también es conocida como la teoría de Tresca.

Se toma la decisión de utilizar esta teoría de falla como la indicada para este proyecto debido a que en este proyecto se utilizará únicamente materiales dúctiles, además de la sencillez que implica utilizarla, tomando en cuenta que las cargas que se aplicarán en las piezas mecánicas no serán de diferentes naturalezas en la mayoría de los casos.

Esta teoría se puede describir de forma generalizada como que cualquier material tenderá a fallar cuando esté siendo sometido a una combinación de cargas que supere el esfuerzo máximo de fluencia del material, el cual se debe conocer previamente mediante diferentes pruebas.

### ***6.1.2 Factores que afectan la selección del Factor de Seguridad***

En el diseño de una máquina sería demasiado arriesgado trabajar los cálculos con las cargas que se van a utilizar de manera exacta; es por ello por lo que entran ciertos factores a tomarse en cuenta a la hora de realizar el cálculo de la carga. A continuación, se enumeran ciertos aspectos a tomar en cuenta a la hora de elegir el factor de seguridad de la carga a emplear.

1. No existe certeza en cuanto a la carga que se va aplicar. En ciertas situaciones es muy fácil poder predecir la carga a la cual estará sujeta la máquina, pero esto no es cierto en todos los casos; mientras mayor sean las variables que no se puedan medir a la hora de diseñar la máquina mayor deberá ser el factor de seguridad que se debe aplicar.
2. No existe certeza en cuanto las propiedades del material. Sería un ideal que el ingeniero que diseña cuente con las fichas técnicas del material que se va a emplear en para el diseño, el problema yace en que no siempre las hojas de datos son muy acertadas, dependiendo del fabricante muchas veces alteran

las hojas de datos, así que si el proveedor no es de confianza es mejor tener un factor de seguridad considerable para protegerse de cualquier situación.

3. Consecuencias de la falla. En este apartado se puede dividir en 2, las implicaciones económicas y las implicaciones que pueda tener con el operario.
4. Por último, se toma en cuenta la posibilidad real de tener un factor de seguridad muy alto, debido a que un factor de seguridad implica un sobredimensionamiento, esto se traduce en costo económico. Se recuerda que uno de los objetivos de un diseño de ingeniería es poder crear una máquina a la medida y que cumple con las expectativas tanto económicas como en seguridad del cliente, es por ello que un sobredimensionamiento en desmedida no sería ideal ya que elevaría demasiado el costo de llevar a cabo la obra.

#### ***6.1.2.1 Factor de Seguridad***

Con base a los aspectos que se deben tomar en cuenta para la elección de un factor de seguridad se decide que el factor de seguridad elegido debe ser 2.5.

Según la literatura de Juvinal (2012) indican que un valor de factor de seguridad entre 2-2.5 es el ideal para: materiales promedio operados ante condiciones ordinarias y ambientes ordinarios, en donde las cargas se pueden determinar.

#### ***6.1.3 Falla dinámica***

La falla dinámica se puede separar en dos subgrupos, la falla a causa de impacto y la falla a causa de fatiga; en el caso de la falla por impacto se pueden agrupar en (1) cargas en movimiento de magnitud constante, (2) cargas aplicadas de manera espontánea (3) cargas de impacto directo. Todas estas cargas son instantánea y de manera abrupta; una vez analizado el mecanismo a diseñar, se determina que no existirá ninguna falla por impacto.

### **6.1.3.1 Falla por fatiga**

Las fallas por fatiga se comienzan a través de una rotura del material microscópica, a raíz de esta primera rotura el material tenderá a fallar de manera microscópica. Estas pequeñas fallas harán el trabajo de un concentrador de esfuerzos. Las pequeñas fallas empezarán a unirse hasta el punto en que el esfuerzo aplicado sobrepasará al esfuerzo último.

La fatiga se debe a algún esfuerzo que sea repetitivo, las fallas por fatiga fueron obviadas por los ingenieros por mucho tiempo, después de cierto tiempo ha tomado importancia a la hora de realizar un diseño, principalmente en flechas que rotan.

Para este proyecto únicamente se encuentran flechas que son afectadas por la flexión rotativa. Para poder llevar un estimado de la fatiga a la cual será sometida una flecha se lleva tomando en cuenta varios factores, cada uno de ellos tendrá valores diferentes dependiendo del tipo de carga que sea aplicada.

- Tipo de cargas a las cuales será sometida: Torsión, flexión axial.
- Cantidad de ciclos a los cuales se espera sea diseñado
- Factor gradiente, se refiere al tamaño de la pieza.
- Factor de confiabilidad
- Factor temperatura de trabajo

## **6.2 Métodos de sujeción**

A pesar de los diferentes tipos de sujeción que existen para la elaboración de este proyecto únicamente se utilizarán las sujeciones por medio de soldaduras para

cuando se necesite realizar una unión entre dos piezas metálicas, además para realizar el anclaje al piso de la máquina se utilizarán pernos.

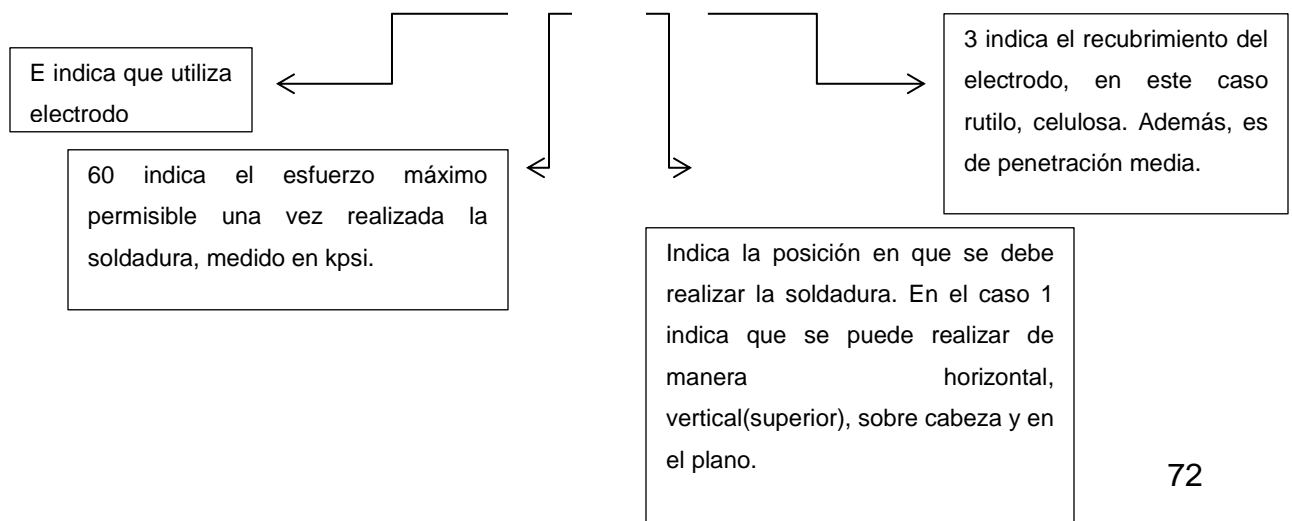
### 6.2.1 Proceso de soldadura

El tipo de soldadura que se utilizará en este proyecto será del tipo (SMAW) por sus siglas en inglés (Shielded Metal Arc Welding), es un proceso que se da de manera manual y que se utiliza comúnmente para la soldadura en estructuras. En este proceso el soldador cuenta con un electrodo consumible cubierto de algún recubrimiento que será el encargado de realizar la sujeción entre las partes. Este tipo de soldadura es comúnmente utilizado en hierro estructural consiguiendo buenos resultados.

Por razones de costo se utilizará un único calibre de electrodo, el cuál será E6013 ( $S_y=345$  Mpa), a partir de este electrodo se especificará las dimensiones de la soldadura para que pueda soportar los esfuerzos a los cuales será sometido

La codificación del electrodo indica las diferentes características del electrodo y la soldadura que se va a aplicar.

## E 60 13





### **6.3 Rodamientos**

A la hora de realizar elección de los rodamientos se toman en cuenta se debe hacer referencia a varios de los aspectos que se mencionaron en la sección de fatiga. Al ser los rodamientos expuestos a cargas variables o dinámicas.

Dependiendo del tipo de fuerzas que se le estén aplicando al rodamiento se tomarán en consideración diferentes factores que darán un diseño ideal. Por ejemplo, para este caso no será lo mismo diseñar los rodamientos que llevarán los *Carritos Nivel* que diseñar los rodamientos que llevarán las flechas que cargan con el *Carro Móvil*; esto debido a las fuerzas aplicadas en ellas.

A pesar de ello en ambos casos se utilizarán rodamientos de bolas, debido a que solo existen fuerzas radiales en ambos casos. Dentro de los aspectos a tomar en cuenta a la hora de elegir los rodamientos se encuentran:

- Carga Aplicada
- Desplazamiento
- Velocidad
- Ciclos por minuto
- Días de trabajo por año
- Fiabilidad en años

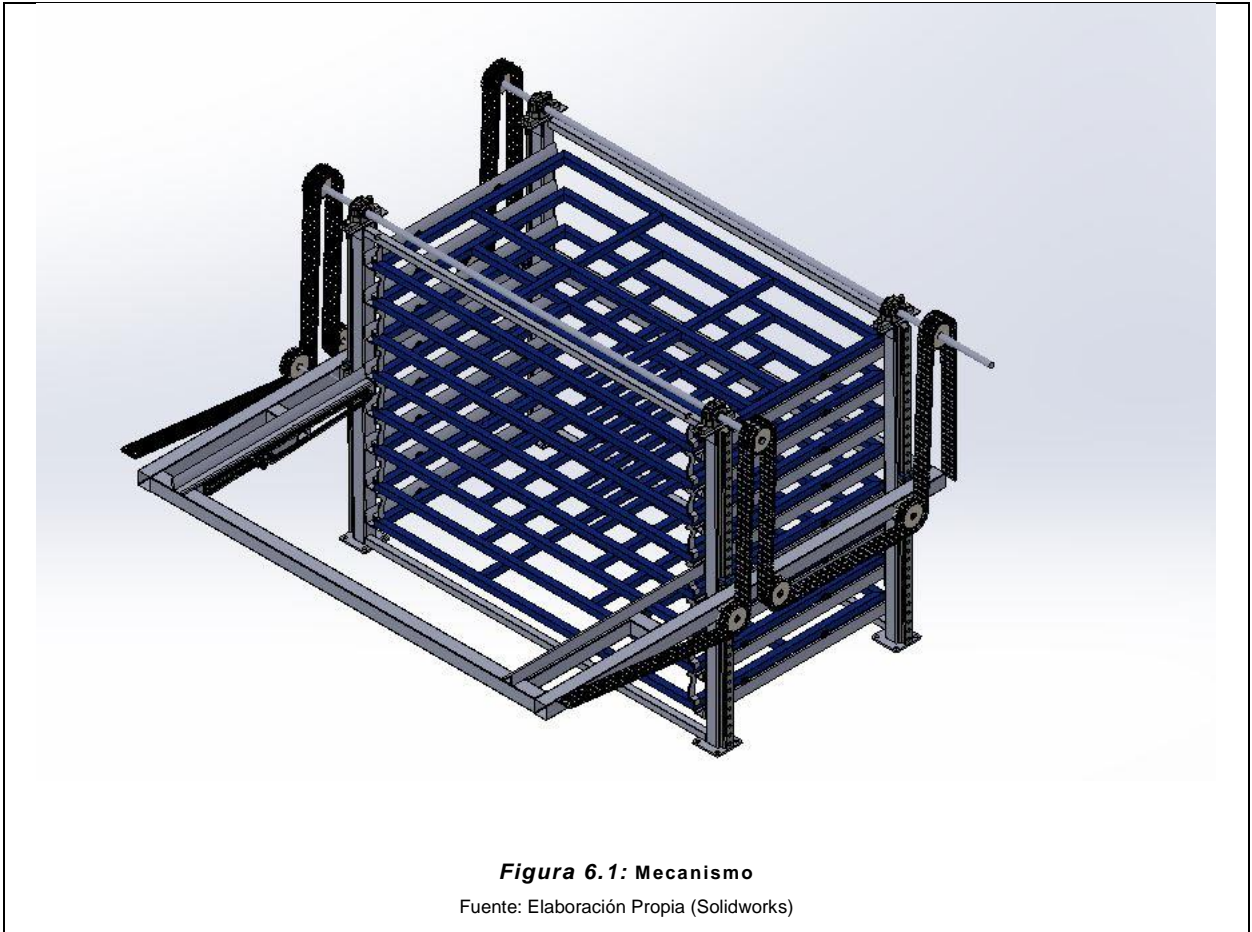
En ambos casos se utilizarán marcas disponibles en el país y la confianza que brinda en sus clientes. Para el caso de los *Carritos Nivel* se utilizarán únicamente rodamientos de bolas, en tanto para el *Carro Móvil* se utilizarán cojinetes de rodamiento.

Todos los rodamientos seleccionados en esta máquina se realizarán para una confiabilidad del 90% y una vida útil de 5 años.

#### **6.4 Flechas**

Cada flecha de una con una distancia entre cojinetes de 2,76 m. Deben ser capaces de soportar la fatiga, para una velocidad de 50 rpm, además de una confiabilidad del 90 % y una vida útil del al menos 10 años bajo esas condiciones. En las flechas se realizan análisis de carga por torsión y flexión como se muestra en la Figura A2.13 de los anexos, en el cual se muestra la hoja de cálculo.

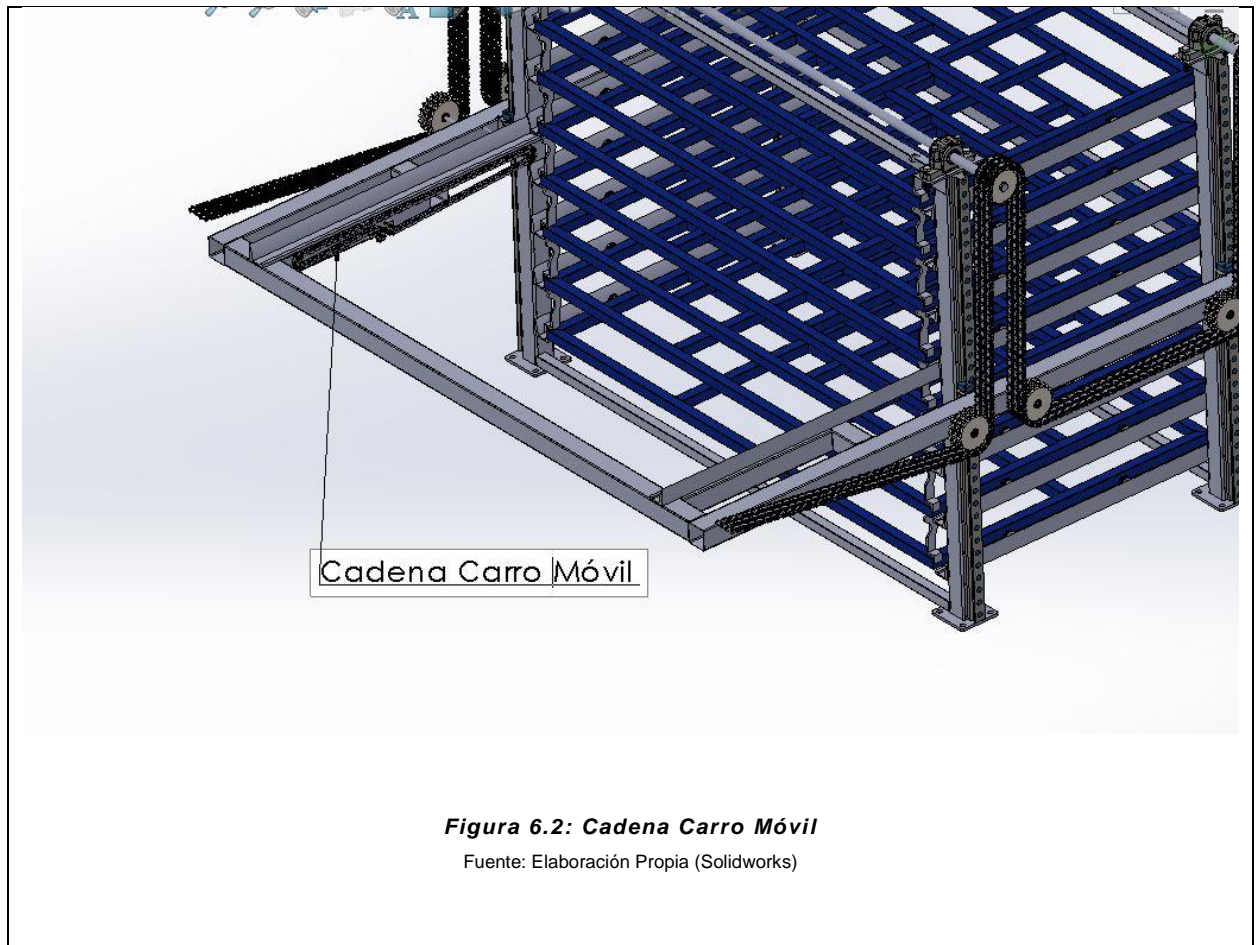
En este caso se utilizarán dos flechas idénticas, una que está acoplada directamente al motor que es la encargada de transmitir toda la potencia del motor, la otra flecha únicamente hará el trabajo de guiar la máquina. Las flechas son las encargadas de realizar mediante la cadena el movimiento ascendente y descendente del *Carro Móvil*.



### **6.5 Cadenas y transmisión por cadena**

Existen dos juegos de cadenas en el mecanismo, uno colocado en la estructura principal, la cual está encargada de llevar todo el peso del carro móvil y guiarla a través de los rieles guías; además de este se encuentra una cadena en el carro móvil encargada de movilizar los carritos de nivel desde la estructura principal hasta el carro móvil.

Las cadenas de transmisión son una buena opción para aplicaciones donde se quiere transmitir pares de fuerza considerables y donde los ejes de transmisión se mueven a velocidad entre medias y bajas.



Para la selección de las cadenas se utiliza la norma ISO 606, además de una guía de diseño del fabricante de cadenas de Renold Jeffrey, la cual indica que la elección de la cadena dependerá la fuerza a tensión aplicada en la cadena cuando se trabaje con bajas velocidades. La tensión ejercida sobre la cadena viene dada por la fuerza que sea aplicada sobre los eslabones. Por recomendación de la norma ISO 606, se debe utilizar un factor de seguridad puede ser hasta de  $FS=11$  para aplicaciones de cadenas que se utilicen para elevar y bajar pesos, el cual es el caso de la cadena de la estructura principal como se observa en la Figura 6.3. Mientras para aplicaciones de únicamente tirar como se observa en la Figura 6.2, como es el caso de la cadena de Carro Móvil, se pueden utilizar factores de seguridad de  $FS=7$ .

Entonces, por ejemplo, para la cadena Carro Móvil la fuerza de tensión:

$$T = FS \frac{\mu_c F_n}{4} \quad (6.1)$$

Donde la tensión para la cadena de Carro Móvil viene dada por la ecuación 6.1, en donde se:

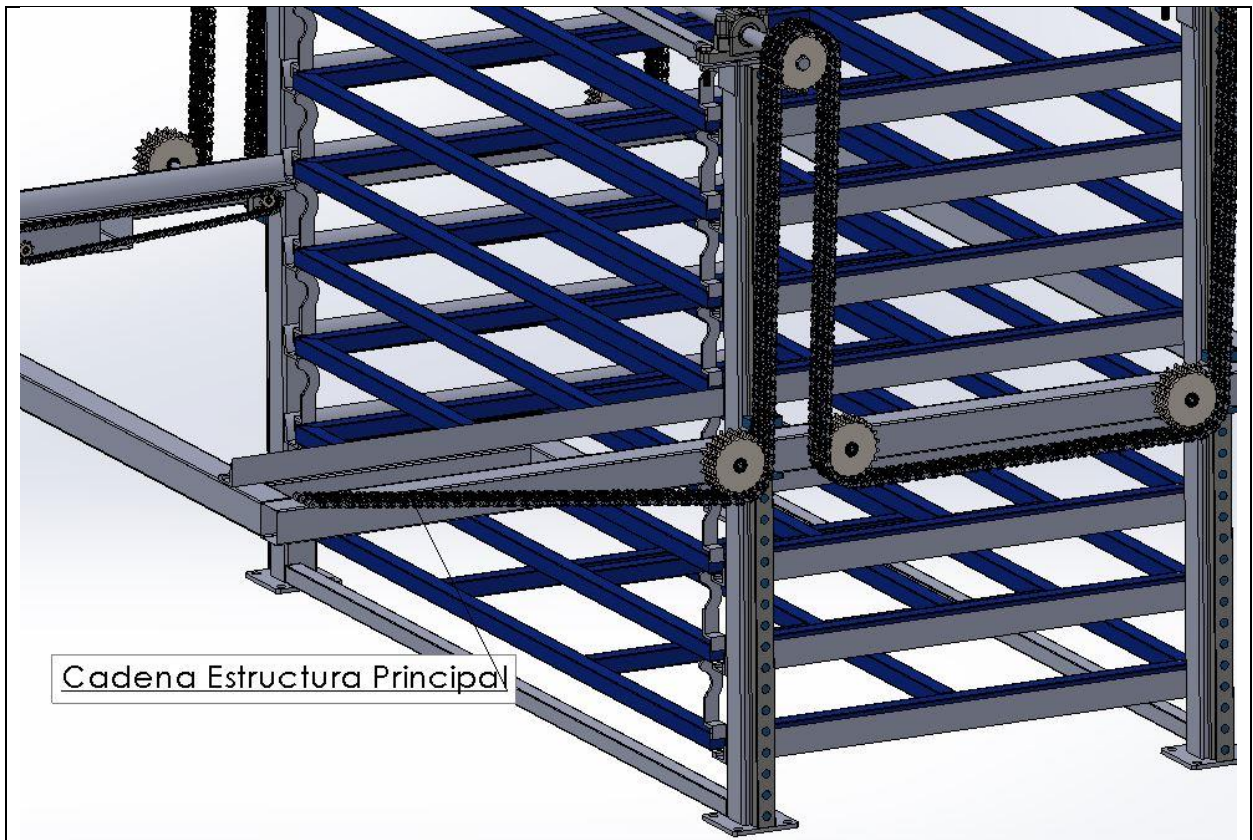
$\mu_c =$  *coeficiente de fricción dinámico*

$F_n =$  *fuerza normal*

Con un coeficiente de fricción dinámico tomado de la literatura de Juvinall, C.R. (2012) de 0,42; en tanto la fuerza normal se utilizará todo el peso del carro nivel cargado, para obtener un valor de tensión. Para el caso de la cadena de Carro Móvil se obtiene un valor de fuerza a tensión de 18 kN.

Una vez se obtiene el valor de la tensión se hace referencia a la tabla de SKF, donde se especifican los valores mínimos de fuerza a tensión de cada cadena ISO, a partir de este se elige la cadena ISO 10A-1, la cual resiste como mínimo según hoja de datos 22,2 kN.

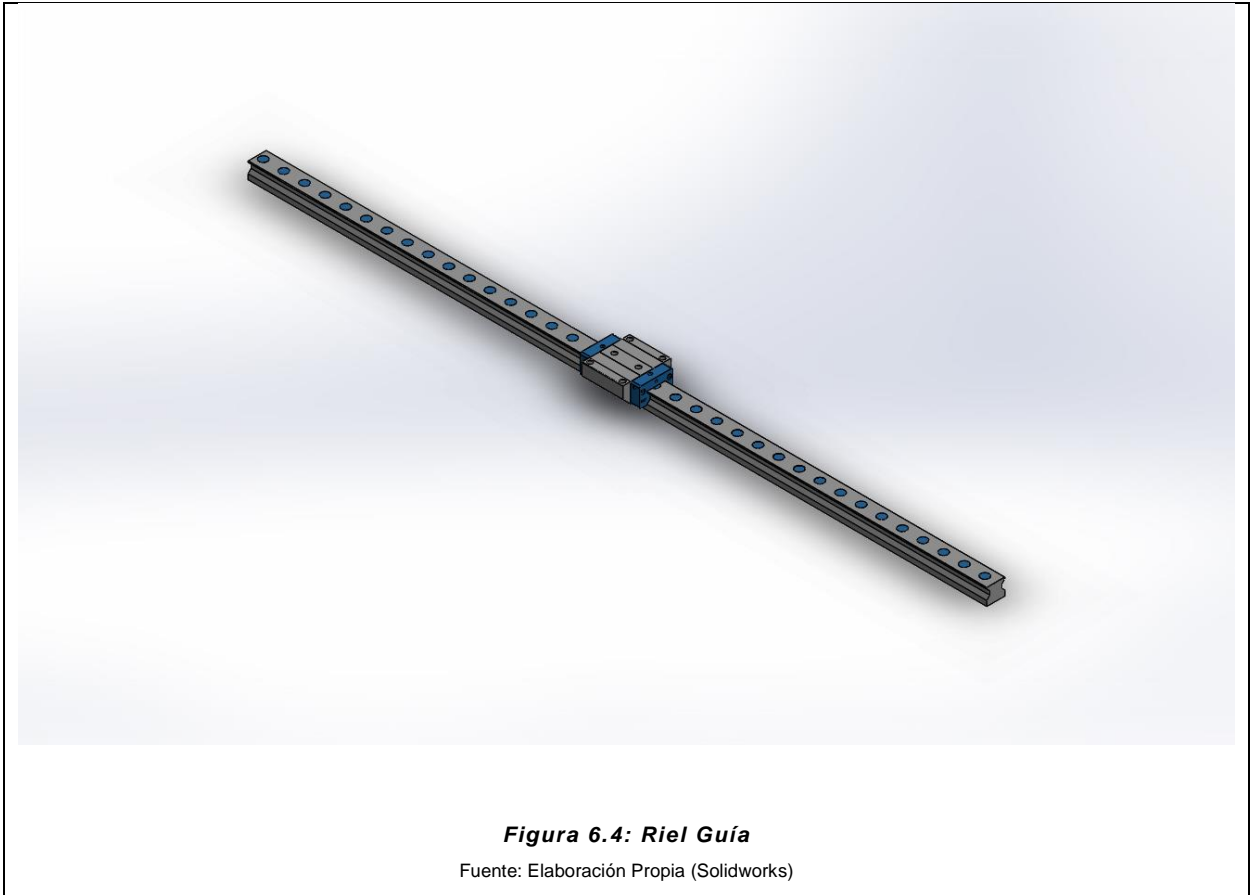
Bajo un proceso similar se calcula la cadena de Estructura Principal, la cual resulta en una cadena ISO 16A-3, sin embargo, es importante destacar que el cálculo de la tensión no es el mismo debido a la forma en que está apoyado el Carro Móvil sobre la cadena.



**Figura 6.3: Cadena Estructura Principal**

Fuente: Elaboración Propia (Solidworks)





### **6.6 Rieles Guía en Estructura Principal**

Estos rieles son los encargados de guiar a través de la *Estructura Principal* al *Carro Móvil*, a pesar de que estos no llevarán casi ninguna carga, o no deberían porque las cadenas harán la mayor parte del trabajo, se deben escoger equipos de Trabajo Pesado.

En cada una de las columnas de la *Estructura Principal* se encontrará un riel que servirá de guía, para el *Carro Móvil*. En la Figura 6.4 se muestra la forma en la que están colocados los Rieles Guía.

## 6.7 Anclajes

Eaton Electrical tiene como parte de sus políticas de seguridad un procedimiento de anclaje de máquinas al piso.

El procedimiento indica que cada uno de los puntos de apoyo que se encuentren en contacto fijo con el piso de la máquina deben estar sujetos como mínimo por 4 pernos; de acero al carbono de la marca Hilti modelo Súper. Los cuales dentro de sus propiedades principales tienen esfuerzos últimos de ( $S_u= 862$  MPa) y un esfuerzo de fluencia ( $S_y= 520$  MPa). Además, como parte de la normativa de seguridad de anclajes se estipula que los pernos deben tener como mínimo las dimensiones 1"X12" cada uno, un diámetro de 1" y una profundidad de 12".

Para este diseño la única parte que se va a someter a anclajes será la *Estructura Principal*, la cual en cada una de las columnas contará cada uno con 4 pernos de anclaje, ubicados en láminas de 1,2 mm centrados en una lámina con medidas de 0.20x0.20 m, y los pernos centrados a una distancia de 0.175x0.175 m.

A partir de las características ya conocidas, se calculan los esfuerzos tanto cortantes como de aplastamiento a los que se verá sometido cada uno de los pernos, resultando en esfuerzos máximos de  $S_{max}= 186$  MPa con un factor de seguridad de 2,5 los esfuerzos de diseño serían  $S_d= 480$  MPa, por lo cual los pernos recomendados por Eaton son aceptables y serán los que se utilizarán en este caso.

Además, como parte del procedimiento de anclaje se utilizará HIT-RE 500 V3, un epoxi adhesivo que el cual es una mezcla de dos productos HIS-N y HIS-RN, el cual funciona como adhesivo para los pernos, el cual tendrá un efecto de apoyo al perno, así como un mejor ajuste, que permitirá que los esfuerzos mayores aplicados por la máquina al perno directamente disminuyan en aproximadamente 10% según la ficha técnica del producto.

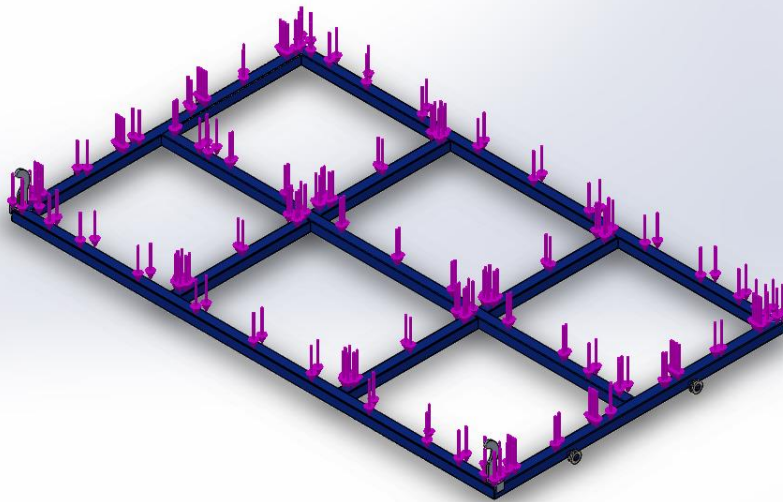


## 6.8 Hojas de cálculo

### 6.8.1 Análisis de Esfuerzos y diagramas para transversal Carrito Nivel

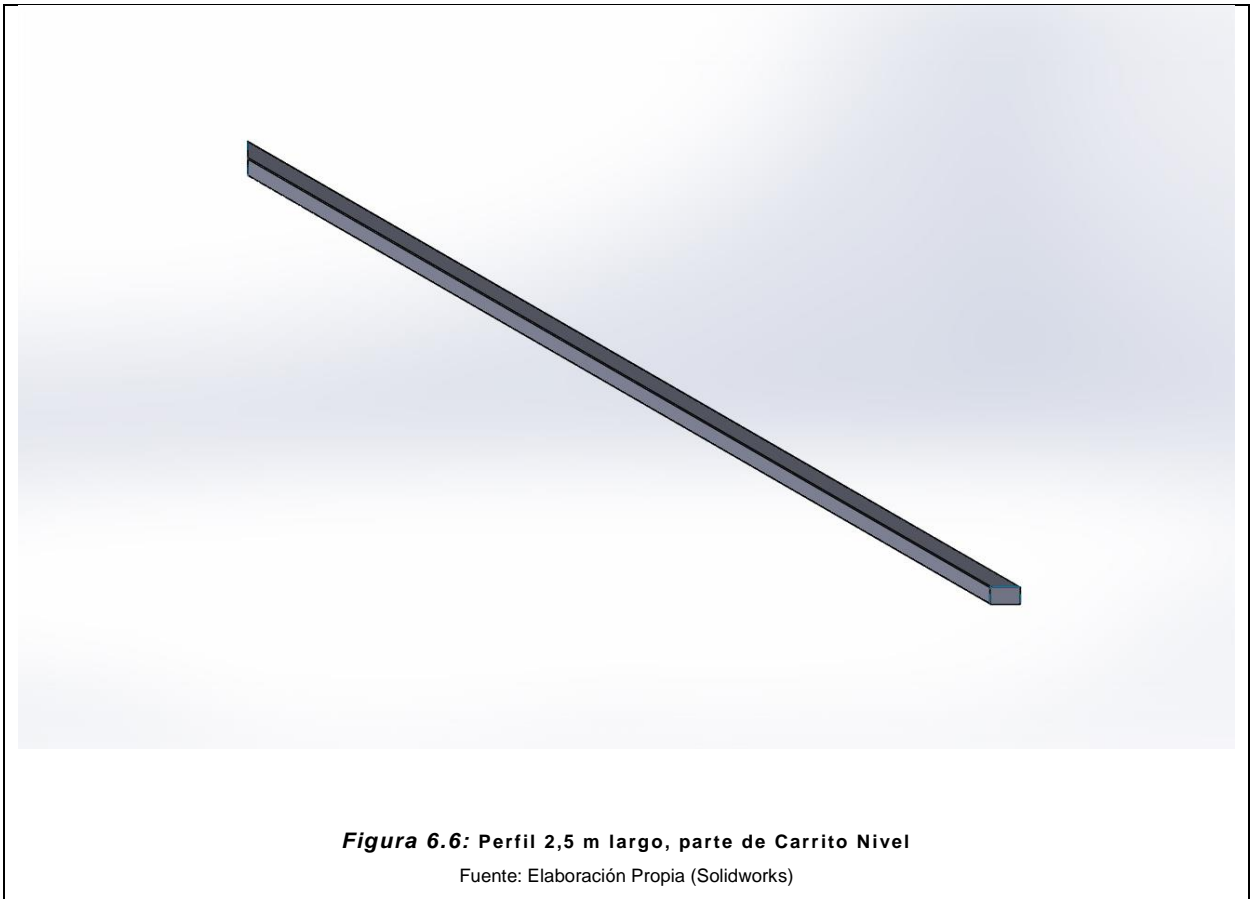
En esta sección se muestra el análisis de esfuerzos estáticos, el procedimiento de cómo se realizó en la hoja de cálculo, esto con el fin de que quede claro los esfuerzos tomados en cuenta.

Por motivos ilustrativos se mostrará el procedimiento realizado en una de las barras de acero estructural de 2,5 m del *Carrito Nivel*, las cuales deben soportar además de su peso, el peso de las láminas; estas barras de 2,5 m están unidas por medio de hilos de soldadura a otras barras de 1,5 m, para formar así el *Carrito Nivel*.

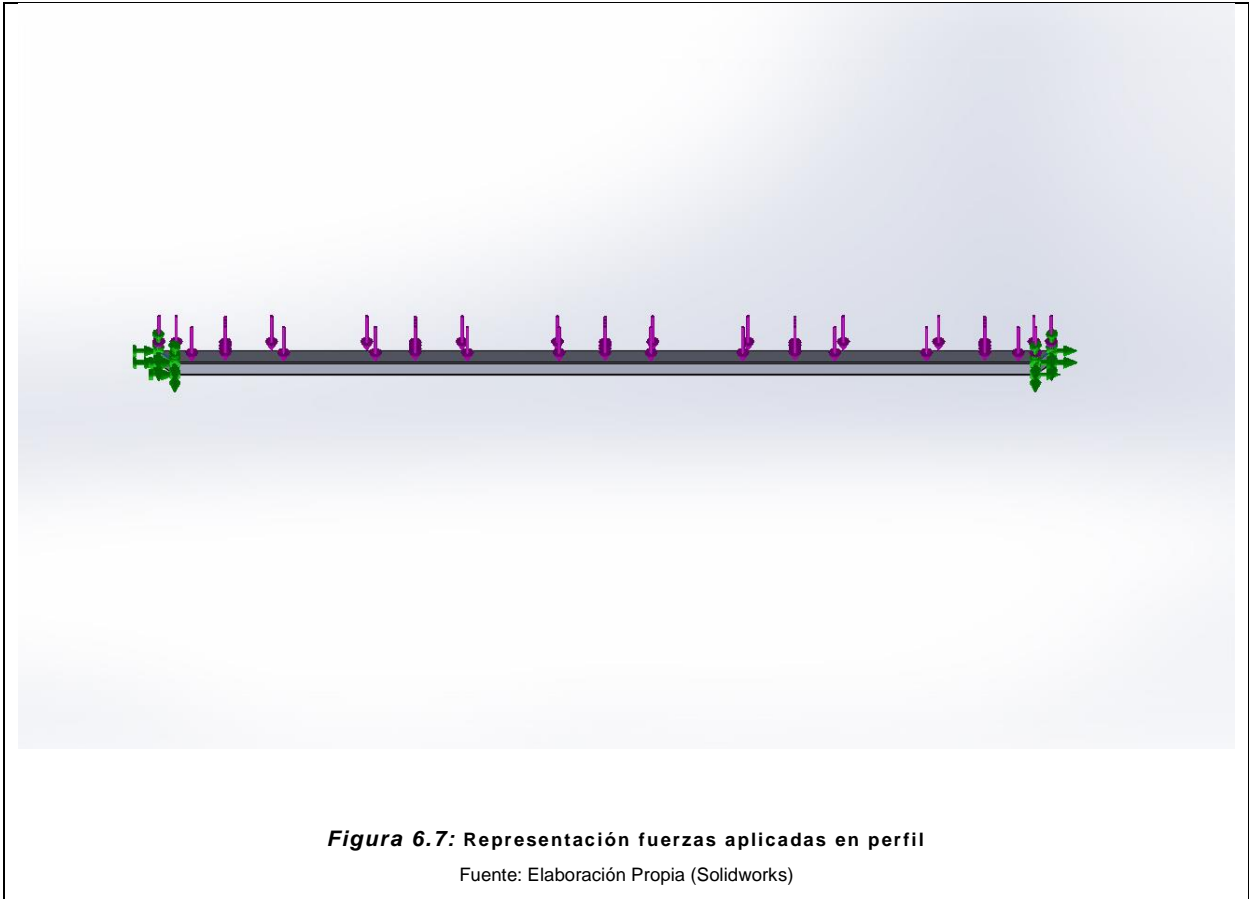


**Figura 6.5: Carrico Nivel con carga distribuida**

Fuente: Elaboración Propia (Solidworks)



En la Figura 6.4 se muestra uno de los *Carritos de Nivel* bajo las cargas que va a sufrir, en este caso se tomará una viga de la estructura, para realizar análisis de esfuerzos, como se puede observar en las Figuras 6.5 y 6.6.



En la Figura 6.7 se muestran las fuerzas externas aplicadas sobre la barra en estudio, donde hay una carga distribuida ejercida por las láminas de manera uniforme alrededor de toda la estructura.

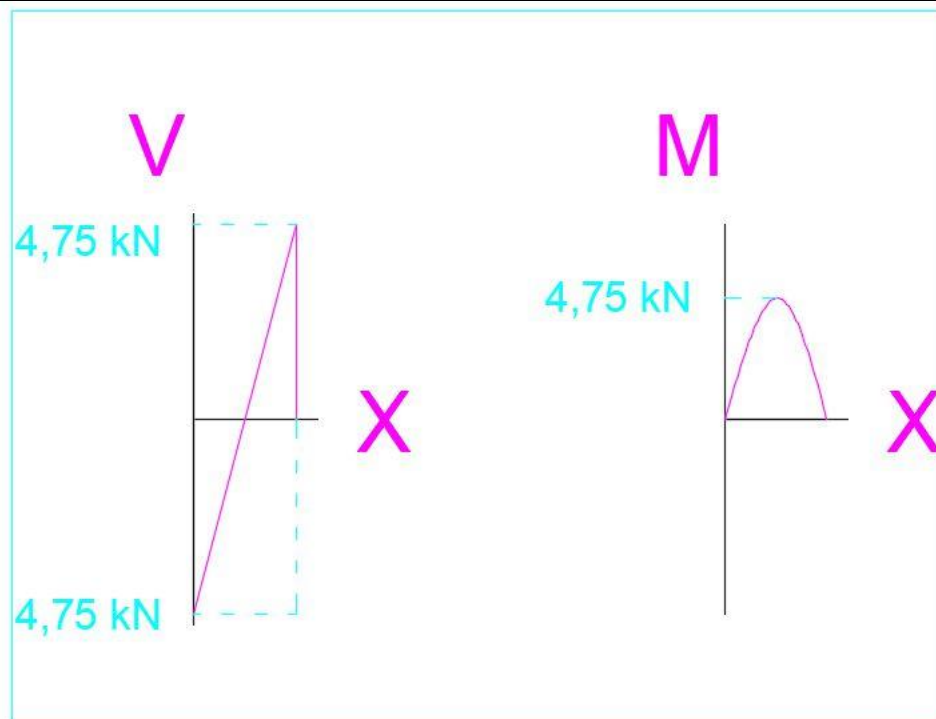
Una vez se conocen las cargas aplicadas en la barra, se procede a realizar los diagramas de momento flector, fuerza cortante y torsión. Para la barra mostrada en la Figura 6.7 no existen cargas aplicadas de torsión.

Para calcular la carga distribuida sobre cada uno de los elementos del *Carrito Nivel* se realiza una distribución de la carga total entre la longitud total equivalente de los elementos, así obtener un valor por unidad lineal, como se muestra en la Tabla 6.1.

Resumen para obtención esfuerzos					
Paquetes de Láminas			Elementos Carrito Nivel		
				Número de elementos	Longitud (m)
Masa Paquete Láminas	2250	kg		2	2.5
Peso Paquete Láminas	22000	kN		2	1.5
Factor de Seguridad	2.5			2	1.4
Carga de diseño	55000			1	2.4
Carga de diseño/m	3,8	kN/m		$\Sigma$	14.2

**Tabla 6-1. Resumen obtención datos para análisis de esfuerzos**  
Fuente: Elaboración Propia (Excel)

Una vez se obtienen los valores lineales de carga que se van a aplicar sobre la barra en estudio se procede a realizar los diagramas de fuerza cortante, momento flector y torsión, esto dependerá de las fuerzas aplicadas en cada uno de los casos; para este caso no habrá torsión.



**Figura 6.8: Diagramas de fuerza cortante y momento flector**

Fuente: Elaboración Propia (AutoCAD)

Una vez se encuentran los datos de cortante máximo y momento flector que serán aplicados en la barra se aplican las ecuaciones 6.1 y 6.2 para obtener los esfuerzos que serán aplicados en la lámina, los cuales no deben por ninguna razón superar el esfuerzo de fluencia del material.

$$\vartheta = \frac{Mc}{I} \quad (6.1)$$

$$T = \frac{VQ}{It} \quad (6.2)$$

En donde de la ecuación (6.1)  $\vartheta$  se refiere al máximo valor absoluto de esfuerzo en flexión,  $M$  se refiere al momento flector encontrado en la Figura 6.8,  $c$  se refiere a la distancia máxima a la superficie neutra; por último,  $I$  hace referencia al momento de inercia de la pieza que está siendo analizada.

Por su parte de la ecuación (6.2) se puede deducir que  $T$  al esfuerzo cortante,  $V$  hace referencia a la fuerza cortante obtenida en la Figura 6.8,  $I$  es el momento de inercia de la pieza en estudio y por último  $t$  hace referencia al grosor del alma del perfil, en donde si tiene 2 almas se deben sumar.

Para las gráficas mostradas en la Figura 6.8 se puede observar que el valor de  $V= 4,75$  kN, mientras que  $M= 2,95$  kNm.

### ***6.8.2 Elaboración y desarrollo de hojas de cálculo***

En el anexo A2 se presentan las hojas de cálculo utilizadas para poder las dimensiones de los diferentes elementos que componen el mecanismo.

Se realizaron cuatro hojas de cálculos, separando la máquina en cuatro partes principales, que después deben ensamblarse.

- Carritos nivel
- Carro móvil
- Estructura Principal
- Flechas

En todos los casos lo primero que se brinda en cada una de las hojas de cálculo es la general de la parte que se va a diseñar. Las dimensiones con las cuales se desea trabajar y las cargas que van a estar sobre esta pieza, además del factor de seguridad con el cual se realizará el diseño; el cual por razones de comodidad

Como parte de esta explicación se utilizará la hoja de cálculo del carrito nivel,

Por ejemplo:

<b>Carritos Nivel</b>	
<b>Aspectos de diseño</b>	
Dimensiones del carro [l x a ] (mxm)	2,5 x 1,5
Carga (kg)	2.25E+03
Factor de Seguridad	2.50E+00
Carga distribuida en viga (N/m)	3.80E+03

**Figura 6.9: Explicación Hoja de cálculos 1**  
Fuente: Excel (Elaboración Propia)

El siguiente apartado contendrá información del material que se desea utilizar, esfuerzos y el tipo de material que se desea utilizar; las diferentes presentaciones con información que pueda ser útil para realizar los cálculos.

<b>Características del material</b>		Carbon steel tubes for machine structural purposes				
JIS G 3445						
Resistencia a la tracción (Pa)	2.70E+09					
Esfuerzo de Fluencia (Pa)	1.62E+09					
<b>Dimensiones de tubo estructural (m)</b>						
0.050x0.050x0.0012	0.050x0.050x0.0015	0.050x0.050x0.0018	0.050x0.050x0.00237	0.050x0.050x0.00317		
<b>Momento de Inercia (m4) (Ix=Iy)</b>						
8.94E-08	1.08E-07	1.26E-07	1.62E-07	1.92E-07		
<b>Peso por unidad (N/unidad) Medida unidad (6 m)</b>						
110	136	163	215	285		
<b>Espesor alma=t (m)</b>						
0.0024	0.003	0.0036	0.00474	0.00634		
<b>Primer momento de area= Q</b>						
0.000001464	1.81875E-06	0.000002169	2.82208E-06	3.71128E-06		
<b>Esfuerzos máximos Permisibles</b>						
<b>Vigas transversales 2,5 m</b>						
<b>Flexión en vigas [θ= Mc/I] (Pa)</b>		<b>Mmax (N/m)</b>		<b>c (m)</b>		
8.25E+05	6.82E+05	5.85E+05	4.54E+05	3.85E+05		
<b>Cortante en vigas [T=VQ/It]</b>		<b>Vmax (N)</b>				
3.24E+04	2.66E+04	2.27E+04	1.74E+04	1.45E+04		
<b>Vigas transversales 2,4 m</b>						
<b>Flexión en vigas [θ= Mc/I] (Pa)</b>		<b>Mmax (N/m)</b>		<b>c (m)</b>		
7.69E+05	6.35E+05	5.46E+05	4.23E+05	3.59E+05		
<b>Cortante en vigas [T=VQ/It]</b>		<b>Vmax (N)</b>				
3.10E+04	5.60E+04	2.18E+04	1.67E+04	1.39E+04		
<b>Vigas transversales 1,5 m</b>						
<b>Flexión en vigas [θ= Mc/I] (Pa)</b>		<b>Mmax (N/m)</b>		<b>c (m)</b>		
1.30E+06	1.07E+06	9.23E+05	7.16E+05	6.07E+05		
<b>Cortante en vigas [T=VQ/It]</b>		<b>Vmax (N)</b>				
6.82E+04	5.60E+04	4.78E+04	3.67E+04	3.06E+04		

**Figura 6.10: Explicación Hoja de Cálculos 2**  
Fuente: Excel (Elaboración Propia)

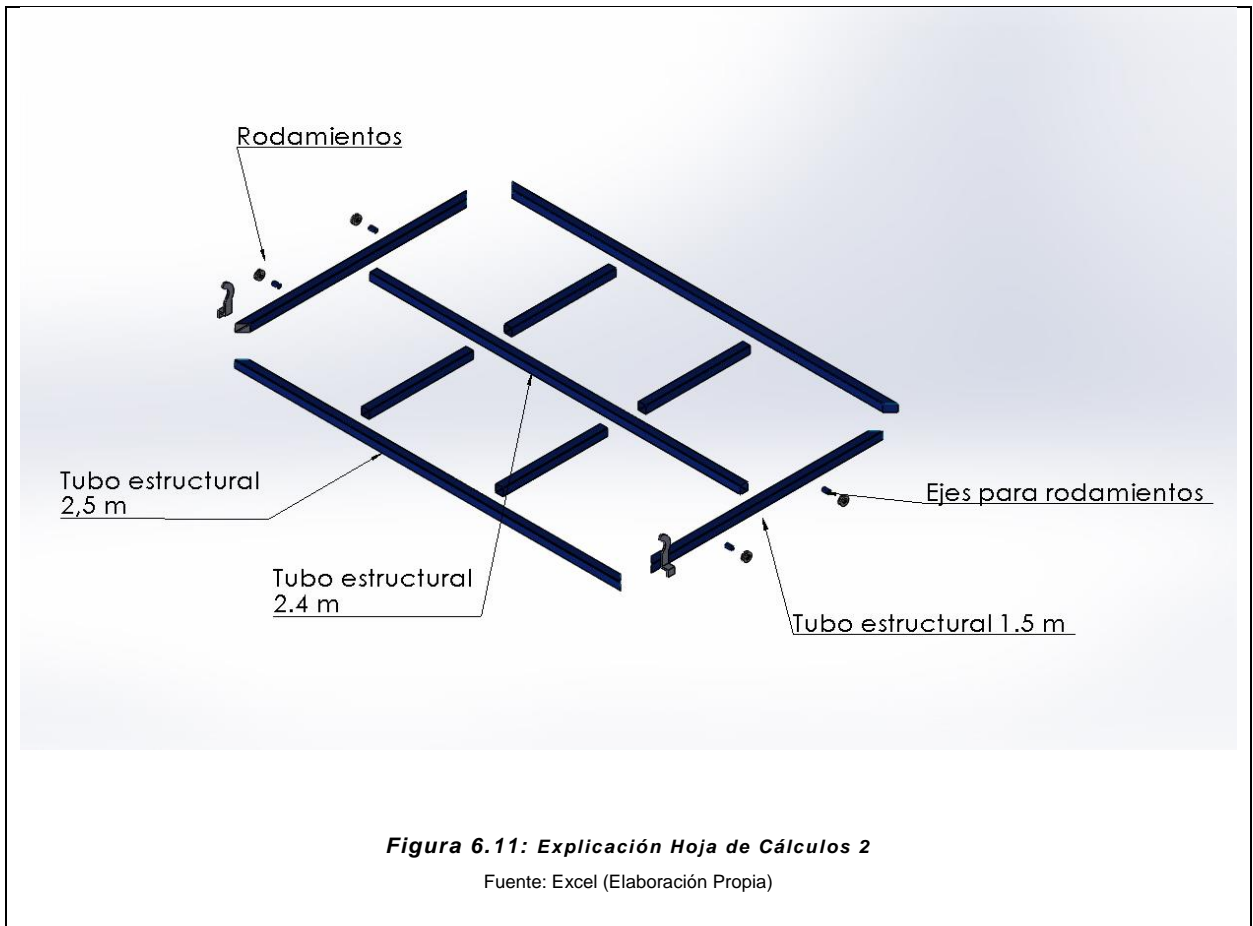
En la Figura 6.10 se muestra por columnas cada uno de los materiales disponibles para el diseño del *Carrito de Nivel*. Las dimensiones del tubo estructural se toman de

la Figura A2.1 de los anexos, a pesar de la figura A2.1 contener una gran cantidad de datos en la hoja de cálculos únicamente se mostrará la información necesaria.

Una vez enlistados los materiales disponibles se procede a realizar los cálculos respectivos, dependiendo si la parte cuenta con cargas estáticas o variables; en el caso del *Carrito Nivel* son cargas estáticas así que por medio de la Teoría de Tresca; se comprueba que ninguno de los esfuerzos aplicados supere el esfuerzo máximo de fluencia del material en ningún punto.

Se subdivide el *Carrito Nivel* en sus diferentes partes como se observa en la Figura 6.11 y se le realiza el estudio necesario a cada uno de sus componentes, esfuerzos cortantes máximos y momentos máximos son fundamentales para poder conocer el esfuerzo máximo al que estará sometida la pieza.





En el caso de la Figura 6.10 se puede observar que existe una columna resaltada con color verde, esto significa que el perfil seleccionado para esta aplicación será el de 0,005x0,005x0,0012 mm.

El siguiente paso a seguir una vez se tiene la estructura principal del *Carro Móvil* se elegirán los accesorios necesarios, por ejemplo, la sujeción o rodamientos, dependiendo de la función de cada parte. En el caso del caso del *Carrito Nivel* ocupará tanto rodamientos como soldaduras.

<b>Soldadura</b>					
<b>Punto Cortate y momento máximo</b>					
$F = S_y \cdot A / SF$					
<b>Electrodo</b>	<b>E6013</b>				
Sy (Pa)					3.45E+08
Factor Seguridad (SF)					2.5
Mmax (N/m)					9.23E+05
Vmax (N)					4.78E+04
h [altura aleta soldadura min] (mm)					3.00E+00
<b>Rodamientos</b>					
Fuerza Radial (kN)					13.8
rpm					50
Horas semanales	8 horas x 5 días				
Confiabilidad					90%
horas de vida					15000
Creq (kN)					10.2
Elección Rodamiento	L305				
Anillo interior (mm)	Anillo Exterior	Grosor	Ajuste barra		
	25	62	17		33
Barra					
diámetro	49 mm	largo	49 mm	filete	3 mm
<b>Materiales</b>					
Hierro estructural	0.050x0.050x0.0012	4 unidades			
Rodamientos	L307	4 unidades			
Electródos	E60	20 unidades			
Barra Hierro Fundido Redonda	35mm	1 unidad			
<b>Figura 6.12: Explicación Hoja de Cálculos 3</b>					
Fuente: Excel (Elaboración Propia)					

A partir de gráficas que simulan la fatiga que va a resultar del uso necesario de la máquina se obtienen los coeficientes de vida útil, confiabilidad y velocidad de trabajo.

## **7. Planos mecánicos**

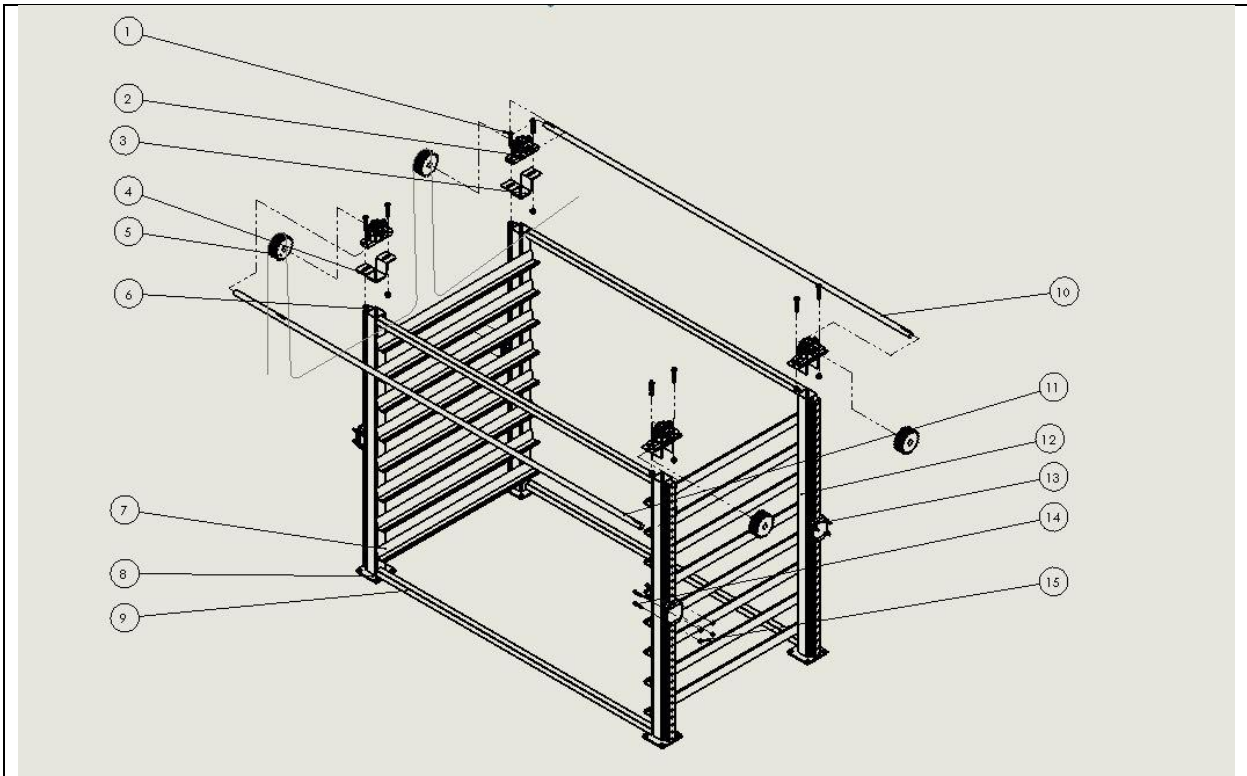
Con base en las hojas de cálculo mostradas en el Anexo A2 se dimensionan los calibres y el material que se va a utilizar, una vez se obtienen esos resultados es fundamental para la construcción de la máquina obtener planos de mecánicos. A partir de normas ISO se realizan los dibujos de las piezas.

Similar a como se ha tratado la máquina a lo largo del proyecto, en los planos mecánicos se encontrará la máquina dividida en tres partes, *Carrito de Nivel*, *Carro Móvil* y *Estructura Principal*. En los archivos adjuntos se pueden obtener los planos necesarios para la construcción de la máquina.

Cada una de las partes *Carrito de Nivel*, *Carro Móvil* y *Estructura Principal* posee un juego de planos con la parte totalmente armada mostrando las distancias, ubicaciones de las partes que la componen y la especificación que hay en la pieza como el mostrado en la Figura 7.1. Cada plano de estos llevará como nombre el propio nombre de la parte.

Además, cada parte también trae un plano de vista en explosión, en el cual se muestran cada una de las piezas y se nombra cada una de las piezas que componen la parte, para luego hacer referencia con ese mismo nombre y tener un plano para cada parte. Para las partes que no se fabricarán y están debidamente normalizadas se hace referencia en la tabla del plano de explosión como la tabla mostrada en la Figura 7.3. El plano en explosión llevará como nombre 3DXPLODE con el nombre de la parte correspondiente.





**Figura 7.2 Vista 3DXPLODE Estructura Principal 3**

Fuente: Elaboración Propia (SolidWorks)

No. Parte	Identificación Pieza	Descripción	Qty
1	Tornillo M20x100x100-W-N	KS 1002 B	8
2	Cojinete SE 511-609	SKF	4
3	Tapa Inferior	A2-3	4
4	Soporte Cojinete	Perfil L100x100x8	8
5	Rueda de cadena 16A-3	ISO - 197	4
6	Tuerca Hex M20-W-N	KS 1012 S2	8
7	UPN 80	A2-7	16
8	Perfil 50x50x2,66x2,15	A2-8	1
9	Soporte Inferior	A2-9	1
10	Flecha Motor	A2-10	1
11	Flecha	A2-11	1
12	Perfil 100x100x2,15x4,75	A2-12	4
13	Riel y carro Guía	LLUH55A SKF	4
14	Tornillo M16x60x40	KS 1003	16
15	Tuerca M16-N	KS 1012 C	16

**Figura 7.3 Vista 3DXPLODE Estructura Principal 3**

Fuente: Elaboración Propia (SolidWorks)

En la Figura 7.3 se muestra la tabla que cada uno de los planos de planos en explosión incluye, la cual contiene cuatro columnas; la primera contiene el número de identificación de cada pieza que compone la parte, la segunda una identificación de la pieza, la descripción en la tercera columna será importante para identificar las piezas normalizadas. Para las piezas que se van a fabricar en la columna descripción se hace referencia al nombre que tendrá el plano, por ejemplo, la Parte No. 3, identificación Tapa Inferior, va a encontrarse en el plano A2-3.

Cada parte tendrá denominación; por ejemplo, la *Estructura Principal* es A2, así que cada pieza de la *Estructura Principal* tendrá una denominación A2-1, A2-2, así sucesivamente. Es así como las denominaciones de las partes son las siguientes:

- Carrito Nivel-A1
- Estructura Principal-A2
- Carrito Móvil -A3

## **8. Materiales eléctricos y diagrama de conexión**

Como parte de los objetivos está realizar una selección de equipos que beneficien en costos a Eaton Electric, con ello se quiere decir que la mayor parte de los productos que se puedan conseguir dentro de la corporación serán utilizados.

En este capítulo únicamente se justificará la elección de materiales que cumplan funciones principales del funcionamiento, por ejemplo, PLC, servomotores, sensores y demás dispositivos electrónicos, mas no se profundizará en la elección de gabinete, cableado o algún otro componente que a pesar de que si son importantes su elección no dependerá de tantas variables.

### **8.1 Servomotores y drivers**

Para la máquina en diseño se necesitarán 2 servomotores, uno que está encargado de darle movimiento vertical *Carro Móvil*, mientras que el otro se encargará de generar el movimiento de las cadenas que extraerán los *Carritos de Nivel* del nivel en que se encuentren y llevarlos al carro móvil, y viceversa.

Se decide utilizar servomotores por la precisión del movimiento, a pesar de que se dijo que se iban a utilizar la mayor cantidad de componentes de la marca Eaton en este caso no fue posible conseguir motores ni servomotores de la marca Eaton.

Como ya se comentó antes en el proyecto es bastante complicado conseguir productos de proveedores que no son autorizados por Eaton, es por ello que se refiere a los catálogos de Fanuc, los cuales actualmente están autorizados por Eaton y son los encargados en dar soportes a todo este tipo de equipos.

En primera instancia se elegirá el servomotor que será encargado de guiar el *Carro Móvil*, seguidamente y de una manera similar se escogerá el servomotor que guiará los *Carritos de Nivel*.

A partir de los catálogos de Fanuc se encuentran motores con los torques buscados, de donde se puede obtener el torque a partir de la ecuación de momento.

$$T = r \times F \text{ (8.1)}$$

Donde se conoce que los diámetros de las Catarina son de 0.08 m y la fuerza que será ejercida por el *Carro Móvil* será de aproximadamente 11 036 N. Conociendo el diámetro de catarina y la fuerza ejercida se utiliza la ecuación (8.1) se conoce que el torque necesario para poder hacer funcionar la máquina será de 445 Nm.

A partir de los datos mostrados en el Figura A1.5.9 se elige ais500/2000, las características de este servomotor se muestran en la Tabla 8.1.

<b>ais500/2000</b>	
Torque (Nm)	500
Tamaño de Flange (mm)	265
Voltage (V)	200

**Tabla 8-1: Selección Servomotor**  
Fuente: Fanuc()

De la misma manera se escoge el servomotor que será el encargado de guiar los *Carritos de Nivel*, para obtener la selección ais500/2000.




Para la selección del driver de los servomotores se utiliza la Figura A1.5.2 del Anexo A1.5, la cual es una tabla brindada por el fabricante que indica el driver que se debe utilizar en base al motor seleccionado.

## 8.2 Finales de carrera

Los finales de carrera serán los encargados de avisar al PLC cuando los *Carritos de Nivel* ya están en su correcta posición, la máquina no procederá a hacer un nuevo movimiento hasta que encuentre todos los *Carritos de Nivel* en su posición.

Para el caso de los finales de carrera si será posible utilizar los productos Eaton, lo cual ayuda a disminuir costos de la máquina tomando en cuenta que son 8 niveles en los cuales se utilizará en cada uno de ellos dos finales de carrera.

Tomando en cuenta los espacios con los que cuenta la máquina para la disposición de los finales de carrera se opta por equipos de dimensiones compactas, que además trabajen a 24 VDC. Una vez se analizan las opciones en los catálogos de Eaton Electrical se decide utilizar el modelo E49G31BP3.

	Adjustable Side Rotary Lever					
	20°	12°	70°	750g	100g	E49G31UP3

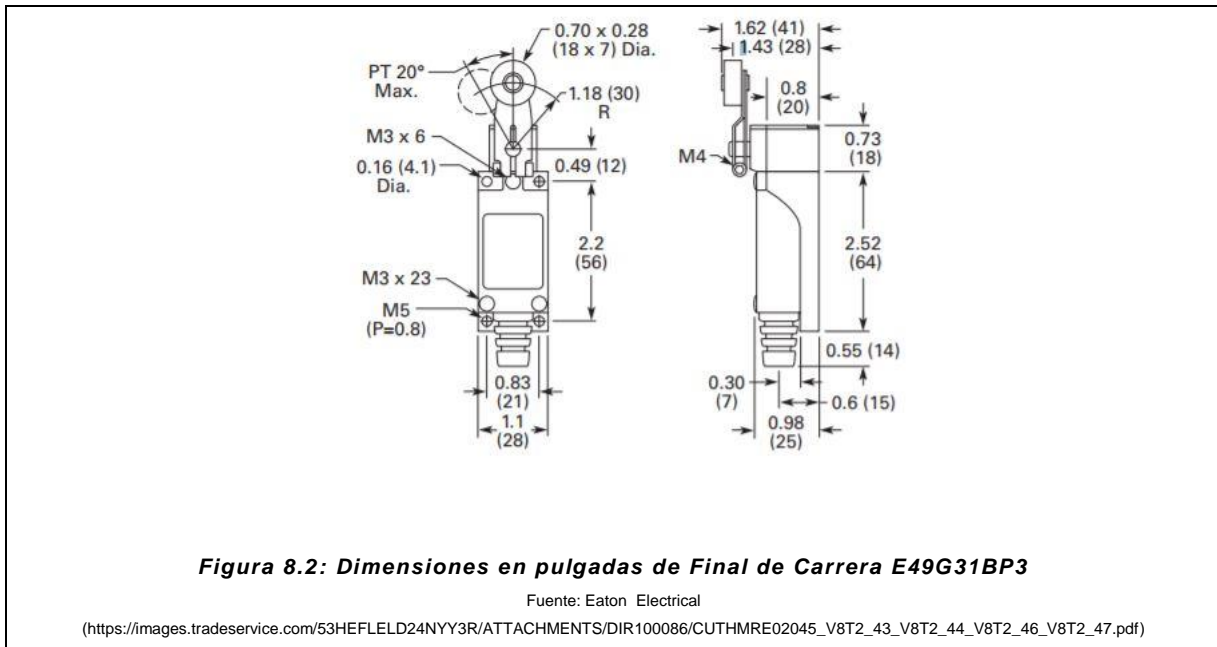
**Figura 8.1: Características Generales Final de Carrera E49G31BP3**

Fuente: Eaton Electrical

[https://images.tradeservice.com/53HEFLELD24NYY3R/ATTACHMENTS/DIR100086/CUTHMRE02045\\_V8T2\\_43\\_V8T2\\_44\\_V8T2\\_46\\_V8T2\\_47.pdf](https://images.tradeservice.com/53HEFLELD24NYY3R/ATTACHMENTS/DIR100086/CUTHMRE02045_V8T2_43_V8T2_44_V8T2_46_V8T2_47.pdf)

En las Figura 8.1 se pueden encontrar características generales del final de carrera, el cual cuenta con una palanca ajustable, la cual será encargada de cerrar el

contacto que enviará la señal al controlador, mientras en la Figura 8.2 se muestran las dimensiones del aparato en pulgadas.



### 8.3 Celdas de carga

Las celdas de carga se pueden interpretar como un método de seguridad para los operarios de la máquina, las celdas de carga estarán encargadas tanto de avisar si en el *Carro Móvil* ya se encuentra material, además de asegurarse que no se esté sobrepasando en ningún momento los límites para los cuales fue construida la máquina.

Para el caso de las celdas de carga, las cuales estarán ubicadas en el *Carro Móvil* no fue posible encontrarlas dentro de los productos Eaton, por lo cual se contactó con otro proveedor.

Debido a las altas cargas que se manejan la celda de carga debe ser robusta, por ello se acude al catálogo de Rice Lake Weighing Systems, se selecciona el modelo

#33680 el cual es capaz de realizar mediciones de hasta 50 kN, valor que es considerablemente mayor al límite mayor de carga permitido en la máquina.



Es posible conectar las dos celdas de carga que se necesitarán a un solo módulo por lo cual únicamente se necesitará un módulo que envíe la información al PLC, una vez el PLC reciba que hay demasiada carga no dejará que el proceso siga; debido a que es un producto que no tiene representante en el país se utilizan los datos del proveedor, para tener un costo de  $\phi 1\ 250\ 000$  cada una.

#### **8.4 PLC y módulos de expansión**

En la elección del PLC se deben tomar en cuenta los equipos que se van a conectar al controlador, es por ello que este se colocó como último paso, una vez se conocen la cantidad de entradas y salidas, además de la naturaleza de las señales que se van a manejar es posible elegir los equipos.

A continuación, se presenta una tabla resumen de entradas y salidas que debe tener el sistema además de la naturaleza de las señales para así poder realizar una elección de equipo adecuada.

Entradas y salidas de PLC							
Cantidad	Entradas	Tipo de señal		Cantidad	Salidas	Tipo de señal	
16	Finales de carrera	Digital		2	Servomotores	Digital	
1	Paro de Emergencia	Digital		1	Luz de activación	Digital	
1	Cortina de Luz	Digital					
2	Celdas de carga	Analógica					

**Tabla 8-2: Análisis de equipos para selección de PLC**  
Fuente: Excel (Elaboración Propia)

A partir de estos datos se puede realizar una elección de los equipos, y los diferentes módulos de expansión que se necesitarán para el correcto funcionamiento, Eaton cuenta con PLC's y sus módulos de expansión que pueda cumplir con las tareas esperadas, a partir de estos se seleccionan los siguientes equipos.

Selección PLC y módulos de expansión	
Equipo	Descripción
ELC2-PC12NNDR	PLC 24DC, 5 mA, 8 Digital, 4 Relay Out
ELC-AN04 ANNN	Módulo de Expansión Analógico 16 I/O, 4 I
ELC-EX08 NNDN	Módulo de Expansión Digital 8 I
ELC-EX08 NNNR	Módulo de Expansión Digital 8 O

**Tabla 8-3: Selección de PLC y módulos de expansión**  
Fuente: Excel (Elaboración Propia)



**Figura 8.4: ELC2-PC12NNDR**

Fuente: Eaton Electrical (<http://datasheet.octopart.com/ELC2-PC12NNDR-Eaton---Cutler-Hammer-datasheet-38483127.pdf>)

En la Figura 8.4 se muestra el PLC modelo1 ELC2-PC12NNDR maestro, el cual será el encargado de ser el cerebro de las operaciones, en la Figura 7.2 se muestran las características de este, de donde se puede observar que claramente no se cuenta con suficientes entradas y salidas para el proceso, por lo cual se escogen los demás equipos mostrados en la Tabla 8.2 para poder satisfacer las entradas y salidas necesarias.

Basado en Tabla 8.1 de entradas y salidas de PLC se elige un módulo de expansión ELC-AN04 ANNN que cuenta con 16 entradas y salidas analógicas, de la misma manera se seleccionan los modelos ELX-08 NNDR y ELX-08NNNR los cuales cada uno cuenta con 8 entradas digitales y 8 entradas digitales. Con estos equipos será posible realizar la conexión de los equipos que se planean conectar.

	ELC2-PB14NDR	ELC2-PB14NNDT	ELC2-PB12NNDP	ELC2-PC12NDR	ELC2-PC12NNDT	ELC2-PA20ADR	ELC2-PA20AADT	ELC2-PA20ADP	ELC2-PV28NDR	ELC2-PV28NNDT	ELC2-PV28NNDP
<b>INPUTS</b>											
Digital Inputs (24Vdc Sink or Source)	8	8	8	8	8	8	8	8	16	16	16
Input Current ( $\pm 10\%$ )	5mA	5mA	5mA	5mA	5mA	5mA	5mA	5mA	5mA	5mA	5mA
Analog Inputs	-	-	-	-	-	4	4	4	-	-	-
Analog Input Resolution	-	-	-	-	-	12-bit	12-bit	12-bit	-	-	-
High Speed Inputs (10kHz)	4	4	4	5	5	-	-	-	8	8	8
High Speed Inputs (20kHz)	4	4	4	-	-	-	-	-	4	4	4
High Speed Inputs (100kHz)	-	-	-	3	3	-	-	-	-	-	-
High Speed Inputs (200kHz)	-	-	-	-	-	-	-	-	4	4	4
<b>OUTPUTS</b>											
Relay Outputs	6	-	-	4	-	6	-	-	12	-	-
Relay Output Current	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Transistor (NPN) Outputs	-	6	-	-	4	-	6	-	-	12	-
Transistor (PNP) Outputs	-	-	4	-	-	-	-	6	-	-	12
Analog Outputs ( $\pm 10V$ , $\pm 20mA$ , 4-20mA)	-	-	-	-	-	2	2	2	-	-	-
Analog Output Resolution	-	-	-	-	-	12-bit	12-bit	12-bit	-	-	-
Analog Output Response Time	-	-	-	-	-	2ms	2ms	2ms	-	-	-
High Speed Outputs (10kHz)	-	4	4	-	2	-	2	2	-	6	6
High Speed Outputs (100kHz)	-	-	-	-	2	-	2	2	-	-	-
High Speed Outputs (200kHz)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	6
<b>CPU</b>											
CPU Type	32-bit	32-bit	32-bit	32-bit	32-bit	32-bit	32-bit	32-bit	32-bit	32-bit	32-bit
Ladder Execution Time ( $\mu s$ )	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76
Program Memory (steps)	8k	8k	8k	16k	16k	16k	16k	16k	30k	30k	30k
<b>COMMUNICATIONS &amp; PORTS</b>											
Modbus RTU	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
Ethernet	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
COM 1	RS232	RS232	RS232	RS232	RS232	RS232	RS232	RS232	RS232	RS232	RS232
COM 2	RS485	RS485	RS485	RS485	RS485	RS485	RS485	RS485	RS485	RS485	RS485
COM 3	-	-	-	RS485	RS485	USB	USB	USB	-	-	-
Left Side Bus	N	N	N	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y

**Figura 8.5: ELC2-PC12NDR Información**

Fuente: Eaton Electrical (<http://datasheet.octopart.com/ELC2-PC12NDR-Eaton---Cutler-Hammer-datasheet-38483127.pdf>)

### 8.5. Diagrama de conexión equipos eléctrico

En el apartado de diagrama de conexión se realiza un diagrama esquemático de los componentes que se van a utilizar en la máquina, únicamente se mostrarán en el diagrama los componentes que aseguren la funcionalidad del equipo; a pesar de que en la lista de materiales en la Figura 9.2 se toman en cuenta para presupuesto otros equipos de seguridad como guardas de seguridad. Los equipos de seguridad no se muestran en el diagrama de conexiones debido a que como política de Eaton Electrical, los circuitos de seguridad de las máquinas deben ser instalados por personal de la compañía OMRON.

Como archivo adjunto se puede encontrar el diagrama de conexiones, el cual también incluye una tabla de simbología para que sea de fácil entendimiento para las personas que estén encargadas de realizar la conexión de los equipos. El archivo adjunto el disco compacto se puede encontrar en como Esquemático Eléctrico DWG.

## 9. Lista de Materiales

En esta sección se adjuntan dos listas de materiales, una con los materiales estructurales y mecánicos que se utilizarán para la construcción de esta máquina, mostrados en la Figura 9.1, mientras en la Figura 9.2 se muestra la lista de materiales eléctricos necesarios igualmente.

TEC   Tecnológico de Costa Rica		Instituto Tecnológico de Costa Rica Diseño una máquina dispensadora automatizada y de almacenaje de láminas metálicas			
Lista de materiales Mecánicos : Informe de grado de especialidad para optar por el grado de licenciatura en Ingeniería en Mantenimiento Industrial					
Lista de materiales eléctricos					
Proveedor	Descripción	Precio Unitario	Cantidad	Precio Total	
Metalco	Tubo Estructural Cuadrado Caliente 50x 1,20 x 6	₡ 7,930.00	50	₡ 396,500.00	
Metalco	Tubo Estructural Cuadrado Caliente 100x 2,37x 6	₡ 29,950.00	5	₡ 149,750.00	
Metalco	Tubo Estructural Cuadrado Caliente 100x 4,76x 6	₡ 59,705.00	5	₡ 298,525.00	
Metalco	Lamina Lisa 1,2 mm espesor	₡ 12,130.00	1	₡ 12,130.00	
Metalco	Tubo Estructural Cuadrado Caliente 50x 3,17x 6	₡ 20,040.00	2	₡ 40,080.00	
Metalco	Barra de acero redonda .4140 35 mm	₡ 14,700.00	4	₡ 58,800.00	
Aceros Roag	Viga en u de 80 mm	₡ 30,645.00	16	₡ 490,320.00	
Aceros Roag	Barra de acero redonda .4140 45 mm	₡ 105,790.00	2	₡ 211,580.00	
Balisa	Cojinetes SNL 511-609 SKF	₡ 73,240.00	2	₡ 146,480.00	
Balisa	Rodamiento L307 FAF SKF	₡ 16,315.00	32	₡ 522,080.00	
SKF	Rieles y carros guías LLUH55A1TT22150P3E18MTLL	₡ 340,560.00	4	₡ 1,362,240.00	
SKF	Rodamiento L03 SKF	₡ 14,000.00	6	₡ 84,000.00	
SKF	Rueda de Cadena ISO 606- 20Z 16 A	₡ 63,000.00	10	₡ 630,000.00	
SKF	Rueda de Cadena ISO 606- 9Z 05B-1	₡ 27,000.00	4	₡ 108,000.00	
Capris	Anclajes 12"x1 Hilti Paquete 20 unidades	₡ 36,000.00	1	₡ 36,000.00	
Capris	Cadena ISO 16A-3 7 m	₡ 280,000.00	2	₡ 560,000.00	
Capris	Cadena ISO 05B-1 4 m	₡ 198,000.00	2	₡ 396,000.00	
<b>Total</b>				<b>₡4,956,235.00</b>	

**Figura 9.1: Lista de materiales mecánicos y estructurales**

Fuente: Excel (Elaboración Propia)

La lista mostrada en la Figura 9.2 tiene la particularidad que ciertos componentes tienen asterisco, esto quiere decir que no fue posible encontrarlo con Eaton ni con ninguna de las compañías hermanas, por lo cual tuvo que recurrirse a otras empresas.



Lista de materiales eléctricos

Código	Descripción	Precio Unitario	Cantidad	Precio Total
PSG240E	Fuente de alimentación Carril DIN AC/DC	€ 340,000.00	1	€ 340,000.00
E49G31BP3	Interruptor de posición miniatura	€ 26,297.00	16	€ 420,752.00
XBAES35C	Bornes para terminales	€ 1,345.00	50	€ 67,250.00
KL60/60	Canaleta Plástica para control	€ 6,363.00	20	€ 127,260.00
XBAFBS106	Accesorios para bornes	€ 4,300.00	50	€ 215,000.00
CS-86300	Gabinete metálico IP66	€ 478,000.00	1	€ 478,000.00
P3-100/EA/SVB	Aislador 3 Polos/600 V /100 A	€ 83,000.00	1	€ 83,000.00
CVX050-240D	Supresor de transientes para montar en panel	€ 549,200.00	1	€ 549,200.00
M22-C1-M3H	Centro de control/ Arranque-Pare	€ 60,000.00	1	€ 60,000.00
E26KWWLGA1-V2	Columna Luminosa Completa	€ 565,000.00	1	€ 565,000.00
ELC2-PC12NDR	PLC 24DC, 5 mA, 8 Digital, 4 Relay Out	€ 71,288.00	1	€ 71,288.00
ELC-AN04 ANNN	Módulo de Expansión Analógico 16 I/O, 4 I	€ 71,144.00	1	€ 71,144.00
ELC-EX08 NNDN	Módulo de Expansión Digital 8 I	€ 30,210.00	1	€ 30,210.00
ELC-EX08 NNNR	Módulo de Expansión Digital 8 O	€ 32,210.00	1	€ 32,210.00
HMIVU10WCUNBE	Pantalla HMI 10"	€ 460,000.00	1	€ 460,000.00
HMI-SPKIP	Kit de montaje para pantalla HMI 10"	€ 6,970.00	1	€ 6,970.00
ELC-CBCEBC3	Cable Conexión	€ 6,420.00	1	€ 6,420.00
HMI10-Gasket	Sello Pantalla	€ 6,369.00	1	€ 6,369.00
33680*	Mount Kit,Paramount EP 3ea 50kn 11,250lb Mild Steel Zinc Plated Compression Incl S85 And JB45	€1,250,000.00	2	€ 2,500,000.00
dis500/2000*	Servomotor Fanuc	€4,325,000.00	1	€ 4,325,000.00
dis50/2000*	Servomotor Fanuc	€2,300,000.00	1	€ 2,300,000.00
FANUC Amplifier ALPHA i series*		€3,600,000.00	2	€ 7,200,000.00
<b>TOTAL</b>				<b>€ 19,915,073.00</b>

**Figura 9.2: Lista de materiales eléctricos y de control**

Fuente: Excel (Elaboración Propia)

## **10. Análisis financiero**

En el anexo A1 se encuentran las cotizaciones de los diferentes materiales que se utilizarán para lograr la construcción del mecanismo. Como parte del anexo A1 también se adjunta A1.1 la cotización de un montacargas con las especificaciones de Eaton Electrical, mientras el anexo A1.4 es la cotización de la empresa Kasto de un apilador de láminas similar al que se está proponiendo en este proyecto.

Para realizar este análisis económico como primera parte se realiza una comparación entre los precios de la máquina propuesta, de un montacargas nuevo y la máquina de la marca Kasto. Una vez realizada esta comparación se procede a analizar con la mejora de rendimiento proyectada cual es la tasa interna de retorno (TIR).

### ***10.1 Comparación inversión para obtener los diferentes equipos***

En la Tabla 10.1 muestra el valor total de la construcción de la máquina dispensadora, este valor es tomado a partir de las diferentes cotizaciones de los materiales con sus respectivas cotizaciones mostrados en el apéndice A1, además como parte de la mano de obra se agregará un 30% del valor de los productos, además de los valores totales adquiridos en las tablas 9.1 y 9.2.

La Tabla 10.2 muestra una comparación de los precios que costaría a la empresa obtener cada uno de estos productos, se toma como valor del dólar \$1= ₡575 para efectos de conversión, ya que las cotizaciones tanto del montacargas y del apilador se encuentran en dólares.

<b>Precio Total Máquina Dispensadora</b>		
	Precio	\$
Materiales Eléctricos	¢19,915,000.00	\$ 34,634.78
Materiales Mecánicos	¢ 4,189,105.00	\$ 7,285.40
<b>Total</b>	<b>¢24,104,105.00</b>	<b>\$ 41,920.18</b>
	<b>Total*1.3</b>	<b>\$ 54,496.24</b>

**Tabla 10-1: Sumatoria de precios construcción de máquina**  
Fuente: Excel (Elaboración Propia)

<b>Tabla Comparación Análisis Económico</b>		
	Precio	Plazo Entrega
Montacargas Crown	\$ 52,000.00	14 semanas
Apilador Kasto	\$ 342,000.00	26 semanas
Máquina Dispensadora	\$ 54,500.00	N/A

**Tabla 10-2: Precios de diferentes alternativas previo a proyecto**  
Fuente: Excel (Elaboración Propia)

## 10.2 Análisis Financiero

En esta sección se realiza un análisis financiero más profundo con ayuda de indicadores para evaluación de proyecto con el fin de dar un buen fundamento económico a la propuesta. Para poder llegar a conclusiones se utilizarán las herramientas: Tiempo de Retorno de Inversión (ROI) y Valor Actual Neto (VAN), a partir de estas dos herramientas se establecerá la rentabilidad del proyecto.

A pesar de que en el apartado pasado se tomaron en cuenta y se compararon los valores de la apiladora Kasto y el montacargas en esta sección no se tomarán en cuenta; como se explicó en la justificación del problema por razones de seguridad el

montacargas no es una opción, mientras que el apilador Kasto fue un proyecto que ya se desechó por parte de la administración debido a los altos costos.

El (ROI) o Tiempo de Retorno de Inversión calcula principalmente la efectividad de una inversión. Esta herramienta toma en cuenta las ganancias y los costos de un proyecto para obtener el rendimiento que pueda llevar a tener la inversión, si el valor de este indicador es negativo se indica que el proyecto no es viable.

$$ROI = \frac{\text{Ingresos} - \text{Gastos}}{\text{Ingresos}} * 100 \quad (10.1)$$

El (VAN) o Valor Actual Neto se calcula a partir de una diferencia entre el valor del desembolso inicial de la inversión y el valor presente de los futuros ingresos proyectados gracias a la inversión. Para poder obtener un valor presente de los futuros ingresos se debe tener una tasa de interés fijo, para efectos de este proyecto se ha seleccionado una tasa de interés del 9%. Similar al Tiempo de Retorno de Inversión cuando el valor del (VAN) negativo la viabilidad del proyecto se pondrá en duda.

$$VAN = -I_0 + \sum_{i=1}^n \frac{Q_n}{(1+r)^n} \quad (10.2)$$

De la Ecuación 10.2 se puede inferir  $I_0$  como el desembolso inicial de la inversión,  $Q_n$  como los flujos de caja,  $r$  la tasa de interés fija y  $n$  como la cantidad de periodos en los cuales se va a evaluar.

### **10.2.1 Evaluación Financiera**

Se espera que los tiempos muertos de la máquina CNC 06 se disminuyan por espera de material/ o montacargas, la CNC 06 será en la primera utilizar la máquina dispensadora. Se proyecta que los tiempos muertos pasen de un 10, 26 % de las horas totales a un 1% por espera de material. A partir de los datos mostrados en la Tabla 3.3, que son los datos compilados del año 2016 se pasaría de tener 156,8

horas de paro por espera de material a 16 horas de horas de paro, convirtiendo aproximadamente 140 horas de producción.

Según datos obtenidos en la empresa una hora de trabajo de la máquina CNC 06 se traduce en ₡56000 por hora, lo que también se puede traducir en que por cada hora que la máquina no estuvo parada se están ahorrando ₡56000 por hora.

Como parte del análisis económico también se toma en cuenta un estimado en mantenimientos predictivos, que consta en el cambio de rodamientos anual básicamente. La sumatoria de los materiales para realizar el mantenimiento anual y el costo de mano de obra ronda en unos ₡460000 anuales. También se debe tomar en cuenta que los componentes de la máquina van a ir cumpliendo su vida útil, por lo cual, por cada año se asumirá una depreciación de un 10% del valor inicial, esto a partir del Reglamento a la Ley del Impuesto Sobre la Renta, donde además se indica que la vida útil de la maquinaria es de 10 años.

Basados en los cálculos de diseño se espera la máquina tenga una vida útil no menor a los 10 años, por lo cual este será el valor que se utilizará para el análisis económico. En la Figura 10.3 se puede observar la información de forma resumida que se utilizará para realizar el análisis económico.

<b>Costo de construcción</b>	
Costo de compra	#####
Gastos por Mantenimiento	₡ 460.000,00
Ahorro anual	₡ 7.840.000,00
Vida Util	10 años
Depreciación anual	10%

**Tabla 10-3: Información Requerida para utilizar Herramientas Financieras**

Fuente: Excel (Elaboración Propia)

Año	Inversión	Ahorro por tiempos muertos	Gastos por mantenimiento	Depreciación anual	Balance Anual	Balance Total	Valor Actual Neto
0	-C\$ 31.335.336,00	C\$ -	-C\$ 460.000,00	-C\$ 3.133.533,60	-C\$ 3.593.533,60	-C\$ 34.928.869,60	-C\$ 31.335.336,00
1	C\$ -	C\$ 7.840.000,00	-C\$ 501.400,00	-C\$ 3.415.551,62	C\$ 3.923.048,38	-C\$ 31.005.821,22	C\$ 3.599.126,95
2	C\$ -	C\$ 8.545.600,00	-C\$ 546.526,00	-C\$ 3.722.951,27	C\$ 4.276.122,73	-C\$ 26.729.698,49	C\$ 3.599.126,95
3	C\$ -	C\$ 9.314.704,00	-C\$ 595.713,34	-C\$ 4.058.016,88	C\$ 4.660.973,78	-C\$ 22.068.724,72	C\$ 3.599.126,95
4	C\$ -	C\$ 10.153.027,36	-C\$ 649.327,54	-C\$ 4.423.238,40	C\$ 5.080.461,42	-C\$ 16.988.263,30	C\$ 3.599.126,95
5	C\$ -	C\$ 11.066.799,82	-C\$ 707.767,02	-C\$ 4.821.329,86	C\$ 5.537.702,94	-C\$ 11.450.560,36	C\$ 7.192.654,00
6	C\$ -	C\$ 12.062.811,81	-C\$ 771.466,05	-C\$ 5.255.249,55	C\$ 6.036.096,21	-C\$ 5.414.464,15	C\$ 7.192.654,00
7	C\$ -	C\$ 13.148.464,87	-C\$ 840.898,00	-C\$ 5.728.222,01	C\$ 6.579.344,87	C\$ 1.164.880,71	C\$ 7.192.654,00
8	C\$ -	C\$ 14.331.826,71	-C\$ 916.578,82	-C\$ 6.243.761,99	C\$ 7.171.485,90	C\$ 8.336.366,62	C\$ 7.192.654,00
9	C\$ -	C\$ 15.621.691,11	-C\$ 999.070,91	-C\$ 6.805.700,57	C\$ 7.816.919,64	C\$ 16.153.286,25	C\$ 6.053.918,00
10	C\$ -	C\$ 17.027.643,31	-C\$ 1.088.987,29	-C\$ 7.418.213,62	C\$ 8.520.442,40	C\$ 24.673.728,66	C\$ 6.053.918,00
						VAN	C\$ 23.939.623,80
						ROI	179%

**Tabla 10-4: Resultados Análisis Financiero**

Fuente: Excel (Elaboración Propia)

En la Tabla 10.4 se puede observar los resultados de las 2 herramientas que se utilizarán para medir este proyecto, donde el VAN y ROI ofrecen valores positivos que sostienen el proyecto.

## **11. Recomendaciones**

- El reacomodo de ciertos equipos en la planta de Moravia es un factor importante para que el tránsito de montacargas sea más fluido, con un tránsito más fluido de montacargas los rendimientos de operación de otras máquinas también se verán beneficiadas con la construcción de esta máquina.
- Una correcta planificación de la producción contribuirá al éxito de la máquina, debido a que no habrá necesidad en todo el día de esperar montacargas.
- Previo a la construcción de la máquina se deber revisar los protocolos de seguridad de la empresa, para así asegurar que no pueda ser causante de accidentes con los operarios.

## **12. Conclusiones**

- Se realizan los planos mecánicos del mecanismo además de las piezas que se deben fabricar con base en normas ISO, además las piezas que están normalizadas están debidamente referenciadas para su adquisición.
- Se desarrollan los diagramas eléctricos de conexión de los equipos eléctricos seleccionados para el funcionamiento óptimo de la máquina.
- Con base en los planos eléctricos y mecánicos se realizan listas de materiales para la construcción de la máquina; en cuanto a los materiales eléctricos se tiene preferencia en los materiales que puedan ser obtenidos mediante Eaton Electrical.
- Mediante herramientas financieras se realizan diferentes estudios que respaldan la construcción de la máquina, debido a los tiempos de espera se reducirán drásticamente el retorno se verá a muy corto plazo.



### **13. Bibliografía**

- Andersson, C., & Bellgran, M. (2015). On the complexity of using performance measures: Enhancing sustained production improvement capability by combining OEE and productivity. *Journal of Manufacturing Systems*, 35, 144-154.  
doi:<https://ezproxy.itcr.ac.cr:2878/10.1016/j.jmsy.2014.12.003>
- Bernuzzi, C., & Simoncelli, M. (2017). Steel storage pallet racks in seismic zones: Advanced vs. standard design strategies. *Thin-Walled Structures*, 116, 291-306.  
doi:<https://ezproxy.itcr.ac.cr:2878/10.1016/j.tws.2017.03.002>
- Berro, D. (2009). Trabajo ciencia tecnología y sociedad actual.
- Biasca, R. E. (1977). *Movimiento y almacenamiento de materiales*. Buenos Aires, AR: Cadepro.
- Budynas, R., & Nisikbert, K. (2006). *Diseño de ingeniería mecánica shigley* (9na ed.) McGraw Hill.
- Daneri, P. A. (2008). *PLC: Automatización y control industrial*. Buenos Aires, AR: Editorial Hispano Americana HASA.
- Grichnik, K., & Winkler, C. (2009). *La nueva era de la manufactura*. México, D.F., MX: McGraw-Hill Interamericana.
- Hüning, F. *Fundamentals of electrical engineering - for mechatronics* De Gruyter. Retrieved from <http://app.knovel.com/hotlink/toc/id:kpFEEFM002/fundamentals-electrical/fundamentals-electrical>
- Juvinall R. C., Marshek K. M. (2005). *Fundamentals of machine component design* (5th Ed.) John Wiley and Sons.
- Mott, R. (2012). *Diseño de elementos de máquinas* (4ta ed.) Pearson.

Norton, R.,L. (2009). *Diseño de máquinas* (4th ed.) Pearson.

Renoldjeffrey. (2012) Design guide. Advancing Chain Technology}

Reglamento a la ley de impuesto sobre la renta.decreto no.18455 H, (1996).

Rojas, L. *Rediseño del alumbrado público del complejo de playa & club hotel Condovac la Costa en pro de la eficiencia energética y la autogeneración* (Licenciatura en Ingeniería en Mantenimiento Industrial).

*Sheet metal storage system- sideros engineering- spaziomatic*. Sideros Engineering (Director). (2016, 26/06/2017).[Video/DVD]

*Vidir vertical lift system*. SMD Machinery Inc. (Director). (2016, 13/01/2016).[Video/DVD]

Spotts, M.,F. (2009). *Design of machine elements* (8th Ed.) Pearson.

*Mastertower*. Storemaster GmbH & Co. KG (Director). (2012, 2/07/2012).[Video/DVD]

Valerio, L.,F.*Diseño de una mesa cortadora de precisión corte por plasma, para la empresa fabricación industrial comercial MAMS* (Licenciatura Ingeniería en Mecatrónica).

Zheng, C., Le Duigou, J., Bricogne, M., & Eynard, B. (2016). Multidisciplinary interface model for design of mechatronic systems. *Computers in Industry*, 76, 24-37.  
doi:<https://ezproxy.itcr.ac.cr:2878/10.1016/j.compind.2015.12.002>:

## **A. Anexos**

### ***A1 Cotizaciones y fichas técnicas***

#### ***A1.1 Ficha técnica y cotización montacargas***

Dentro de las posibles soluciones que se propone a la problemática de tiempos muertos debido a la espera de montacargas, se propone como una de las posibles soluciones la adquisición de un nuevo montacargas.

Debido a las políticas de Eaton Electrical de comprar únicamente a proveedores autorizados entonces se solicita a la empresa LARCE, la cual es la encargada actualmente de venderle y darle mantenimiento al montacargas de la planta.

Se solicita una cotización de un montacargas idéntico al que actualmente se encuentra en la planta, con el fin que sea de completa funcionalidad y cumpla con las características de seguridad de la empresa. El montacargas es de la marca Crown con una capacidad de levantar cargas de hasta 3 toneladas. El precio ronda los \$53 000 para el día que se solicitó la cotización, como se puede observar en la Figura A1.1.1.



Distribuidora Larce S.A.  
Tel: 2223-1100 | Fax: 2255-2182  
125m. Este de las Placitas de Plaza Viquez  
Email: avargas@dlarce.com  
www.dlarce.com

Fecha de Cotización: 08 DE SETIEMBRE 2017 Asesor: Adelyn Vargas G  
Cotización N°: DMM-479-17 Celular: 8449-8265  
Dirigido a: EATON ELECTRICAL  
Atencion: SR. MAURICIO BARBOZA  
Descripcion: MONTACARGAS CROWN

EQUIPO NUEVO



Observaciones:  
EQUIPO DE 3 TONELADAS  
ALTURA 4,35 MTS

Imagen con fines ilustrativos

Marca	Cantidad	Modelo	Precio Unitario	Total
Crown	1	FCS245-65	\$46.645,00	\$46.645,00
			LV.	\$6.063,85
			Total:	\$52.708,85

Forma de Pago: Credito 60 dias  
Entrega: 14 Semanas en Costa Rica  
Lugar de Entrega: Sus Instalaciones en El GAM

**Garantía:** 12 MESES SIN LÍMITE DE HORAS, por desperfectos de fabricación, en partes y mano de obra. Los cuidados preventivos del equipo no son considerados como garantía, por tal razón se facturan.

#### Principios que nos diferencian

**Profesionales en Asesoría:** nuestra experiencia, diagnostico y apoyo del fabricante asegura la mejor solución para su operación.

**Profesionales en la Entrega:** nuestro entrenamiento asegura el aprovechamiento máximo de su adquisición.

**Profesionales en Postventa:** el mayor esfuerzo de nuestra empresa para establecer una buena relación a largo plazo.

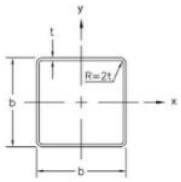
**Figura A1.1.1: Cotización montacargas Crown**

Fuente: LARCE

## A1.2 Ficha técnica Hierro METALCO y cotización

Como parte de los materiales que se van a utilizar para la construcción de la máquina se utilizará como proveedor de hierro estructural a la empresa METALCO. Antes se mencionó que para un diseño mecánico es importante conocer las fichas técnicas y las características de los materiales. Por lo cual a continuación se adjuntan las fichas técnicas de dicho material y los perfiles a disposición para realizar el diseño. En la Figura A1.2.2 se muestran las especificaciones de la tubería estructural en hierro negro y galvanizado.

Tabla de especificaciones para tubería estructural rectangular en hierro negro y galvanizada  
Características tubería estructural cuadrada



TUBERÍA ESTRUCTURAL CUADRADA EN HIERRO NEGRO Y GALVANIZADA (especificaciones técnicas y propiedades geométricas de las secciones)										
SECCIÓN	Largo (m)	b (cm)	t (cm)	A (cm <sup>2</sup> )	F <sub>y</sub> (Mpa)	I <sub>x</sub> = I <sub>y</sub> (cm <sup>4</sup> )	S <sub>x</sub> = S <sub>y</sub> (cm <sup>3</sup> )	r <sub>x</sub> = r <sub>y</sub> (cm)	Acabado y Peso (kg/unidad)	
									H.N.	H.G.
50 X 50	1.20 mm	5.0	0.120	2.280	0	8.92	3.57	1.98	11.135	11.346
	1.50 mm	5.0	0.150	2.810	0	10.82	4.33	1.96	13.919	14.13
	1.80 mm	5.0	0.180	3.330	0	12.60	5.04	1.94	16.703	16.914
	2.37 mm	5.0	0.237	4.370	227	16.24	6.50	1.93	21.992	
	3.17 mm	5.0	0.317	5.506	227	19.15	7.66	1.86	28.972	
72 X 72	1.20 mm	7.2	0.120	3.340	0	27.60	7.67	2.88	15.891	16.192
	1.50 mm	7.2	0.150	4.130	0	33.80	9.39	2.86	19.864	20.165
	1.80 mm	7.2	0.180	4.915	0	39.75	11.04	2.84	23.837	24.138
	2.37 mm	7.2	0.237	6.442	227	51.39	14.28	2.82	31.385	
	3.17 mm	7.2	0.317	8.296	227	63.54	17.65	2.76	41.831	
91 X 91	1.50 mm	9.1	0.150	5.330	0	72.10	15.67	3.68	24.83	25.206
	1.80 mm	9.1	0.180	6.355	0	85.17	18.52	3.66	29.796	30.172
100 X 100	1.50 mm	10.0	0.150	5.813	227	93.18	18.63	4.36	27.418	27.834
	1.80 mm	10.0	0.180	6.931	227	110.21	22.04	3.98	32.902	33.317
	2.37 mm	10.0	0.237	9.050	227	141.65	28.33	3.95	43.32	
	3.17 mm	10.0	0.317	11.847	227	181.37	36.27	3.91	57.943	
	4.75 mm	10.0	0.475	17.129	227	250.44	50.08	3.82	86.38	
150 X 150	2.37 mm	15.0	0.237	13.810	227	496.92	66.26	5.99	65.754	
	3.17 mm	15.0	0.317	18.187	227	645.10	86.02	5.96	87.21	
	4.75 mm	15.0	0.475	26.629	227	917.40	122.32	5.86	129.792	

Nota: La fabricación especial se da en los productos de lista, en longitudes de 4 a 12 metros, cantidad mínima 20 unidades.

Utilizar límite de fluencia F<sub>y</sub>, según la sección A7.2 de AISI con F<sub>x</sub> = 227 Mpa  
Límite de fluencia mínimo del acero virgen F<sub>y</sub> = 227 MPA / Esfuerzo último mínimo de acero virgen F<sub>u</sub> = 310 MPA

**Figura A1.2.2: Ficha Técnica hierro estructural Metalco**  
Fuente: Metalco

En la Figura A1.2.2 se muestran las características de las láminas lisas, las cuales se utilizarán para como bases para poder conectar los pernos de anclaje de la máquina.

LÁMINA LISA						
Espesor (mm)	Calibre	Ancho Total (m)	Largo (m)	Dureza del acero	Peso (kg/unidad)	Acabado
1.20	18	1.22	2.44	suave	28.56	•
0.80	20		2.44		19.69	•
0.70	22		2.44		16.89	•
			1.83		12.67	•
0.53	24	1.22	2.44		12.92	•
		914	6		12.92	•
		1.22	6		12.92	•
		1.22	1.83		9.69	•
		0.91	1.83		7.27	•
0.44	26	0.91	6		10.88	• • • • •
			1.83		6.21	• • • • •
1.83	4.51		•			
0.32	28		1.83		4.25	•
0.30	28		1.83		3.85	•
0.27	30		1.83			

**Figura A1.2.3: Ficha Técnica lámina lisa Metalco**  
Fuente: Metalco

Por último, en la Figura A1.2.4 se muestra la cotización de los productos que se utilizarán de la empresa Metalco para la construcción de la máquina.

## Cotización No. 2000080555

24.10.2017

DISTRIBUIDORA  
**METALCO**  
Por encima de todo

www.metalco.net  
508 2247-1100  
Pagina 1 de 1

### Nacional

Cliente: 614000000 MAURICIO BARBOZA  
FaxNo. (508)2247-1100  
e-Mail:  
Direccion de envio: COLIMA TIBAS  
Pais: CR  
Comentarios:

Fecha de pedido :24.10.2017

Condición Pago:CONTADO  
Ciudad: SAN JOSE  
Moneda: CRC  
Estado del pedido:

Código	Descripción del Item	Cant.Pedida	Unid	Peso	PrecioUnit	Total
102674	Tubo Estructural Cuadrado Caliente 60 x 1.20 mm 8.00 m	5.00	UN	56.24	7,930.0000	39,650.00
102714	Tubo Estructural Cuadrado Caliente 100 x 2.37 mm 8.00 m	5.00	UN	218.79	29,950.0000	149,750.00
102732	Tubo Estructural Cuadrado Caliente 100 x 4.76 mm 8.00 m	5.00	UN	436.27	59,705.0000	298,525.00
102728	Tubo Estructural Cuadrado Caliente 60 x 3.17 mm 8.00 m	2.00	UN	58.53	20,040.0000	40,080.00

Total Peso Neto : 769.83

SUBTOTAL: 528,005.00

*Figura A1.2.4: Cotización Metalco*

Fuente: Metalco

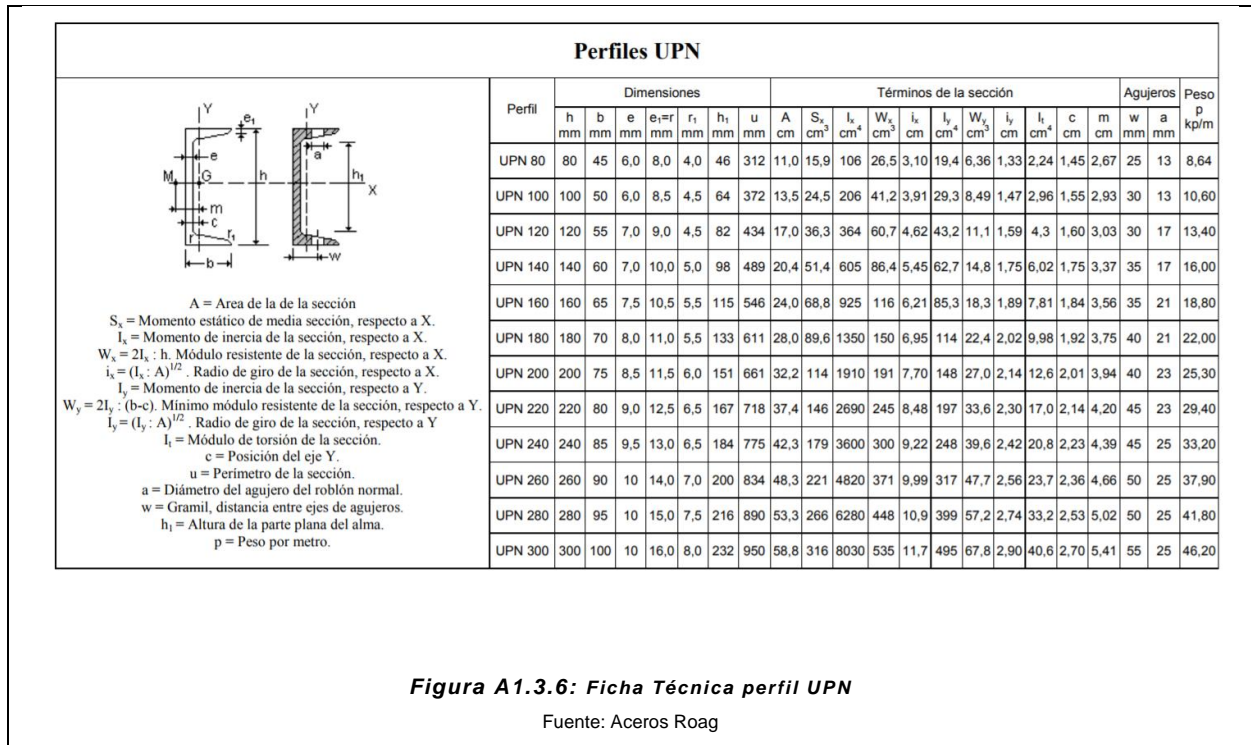
### A1.3 Ficha técnica barra de acero redonda calibrada, perfil UPN y cotización (Aceros Roag)



La figura A1.3.1 muestra las diferentes dimensiones de barras de acero calibrada con la que cuentan, además de las características mecánicas de las barras. En la Figura A1.3.6 se muestra las dimensiones de los perfiles UPN los cuales se utilizarán como



guías para los *Carrito de Nivel*. Por último, la Figura A1.3.7 hace referencia a la cotización de los materiales que se van a utilizar por parte de Aceros Roag.



**Figura A1.3.6: Ficha Técnica perfil UPN**

Fuente: Aceros Roag

**Aceros Roag**

Proforma: 79659



Cédula Jurídica 3-101-010243-28, SAN JOSE  
 Teléfono 2257-2222 Fax 2233-7779. URUCA Teléfono 2231-3555 Fax 2231-3128

Validez de la oferta: 1 día  
 Condicionada a existencia en inventario

Fecha : 23/10/2017	CREDITO 30	Vendedor : Manuel Aragón
Código : 010389	Cliente : EATON ELECTRICAL SOCIEDAD ANONIMA	
Teléfono: 22477600	Dirección : SAN JOSÉ, 300 OESTE DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA	

Cantidad	Código	Descripción	Medidas	Precio Uni.	Total
16	016-001-80	VIGA EN U DE 80 mm (80x43x8 kg/m)	UND	30,645.00	490,320.00
2	001-011-45	BARRA DE ACERO RED.4140 DE 45mm	6.000mts	105,790.00	211,580.00


23/10/2017 14:10	SUBTOTAL ¢	701,900.00
	DESCUENTO	35,095.00
	SUBTOTAL	666,805.00
	I.VENTAS	86,685.00
	TOTAL ¢	****753,490.00

La entrega será según existencia al momento de efectuar la venta.

**Figura A1.3.7: Cotización Aceros Roag**

Fuente: Aceros Roag

## A1.4 Cotización apilador por medio de Kasto



KASTO, Inc. • 3002 Venture Court • Export, PA 15632

Price Summary

Pos.	Unid/m	Description
1000	1	Operating Gantry Crane
2000	1	Shelf Block
2010	1	Safety fence
2020	1	Maintenance Door
3100	34	Pallet
4100	1	Lateral Station – Shuttle / Cart (Station 1) as loading station (for Finn Power)
4101	1	Optical Contour Check
4102	1	Station operating desk for KASTOlogic client
4103	1	Automatic Approach and Exit
4104	1	Interface with Finn Power Machine
4150	1	Longitudinal station – Shuttle / Cart (Station 2)
4151	1	Optical Contour Check
4152	1	Station operating desk for KASTOlogic client
4153	1	Automatic Approach and Exit
4154	1	Hydraulic lifting device
4155	1	Material stops in coordinate corner
6000	1	EasyControl for Automatic Operation with ID Number Management
6100	1	Special voltage
7000	1	KASTOlogic LARGE
7005	1	KASTOlogic: Server-Hardware
7020	2	KASTOlogic: License for graphical user surface
7021	2	KASTOlogic: Extra terminal (Fat Client)
7200	1	KASTOlogic: automation / processing machine (with KASTOlogic LARGE)

**BUDGETARY PRICE INCLUDING SHIPPING, INSTALLATION & TRAINING: US \$342,000.00**

**Figura A1.4.8: Cotización por parte de Kasto**

Fuente: Kasto (Elaboración Propia)

La Figura A1.4.8 hace referencia a una cotización suministrada por la empresa Kasto, Eaton Electrical en su momento solicitó una cotización de un equipo similar al diseñado.

## A1.5 Información general catálogos Fanuc Servomotores y Drivers

Lineup																	
Stall torque Nm		2	4	8	12	22	30	40	50	60	100	200	300	500	1000	2000	3000
Flange size mm		90		130		174				265				380	500		
<b>αis</b>	200V	αis 2 /5000	αis 4 /5000	αis 8 /4000	αis 12 /4000	αis 22 /4000	αis 30 /4000	αis 40 /4000	αis 50 /2000	αis 60 /2000	αis 100 /2500	αis 200 /2500	αis 300 /2000	αis 500 /2000			
		αis 2 /6000	αis 4 /6000	αis 8 /6000	αis 12 /6000	αis 22 /6000			αis 50 /3000 FAN	αis 60 /3000 FAN	αis 100 /2500 FAN	αis 200 /2500 FAN					
	400V	αis 2 /5000 HV	αis 4 /5000 HV	αis 8 /4000 HV	αis 12 /4000 HV	αis 22 /4000 HV	αis 30 /4000 HV	αis 40 /4000 HV	αis 50 /2000 HV	αis 60 /2000 HV	αis 100 /2500 HV	αis 200 /2500 HV	αis 300 /2000 HV	αis 500 /2000 HV	αis 1000 /2000 HV		
		αis 2 /6000 HV	αis 4 /6000 HV	αis 8 /6000 HV	αis 12 /6000 HV	αis 22 /6000 HV			αis 50 /3000 HV FAN	αis 60 /3000 HV FAN	αis 100 /2500 HV FAN	αis 200 /2500 HV FAN	αis 300 /3000 HV	αis 500 /3000 HV	αis 1000 /3000 HV	αis 2000 /2000 HV	αis 3000 /2000 HV

**Figura A1.5.9: Hoja de Datos de Servomotores Fanuc**

Fuente: Fanuc(<http://www.fanuc.eu/be/en/cnc/drive-systems/motors>)

## A.2 Hojas de cálculo


		Instituto Tecnológico de Costa Rica Diseño una máquina dispensadora automatizada y de almacenaje de láminas metálicas Hoja de cálculos: Informe de grado de especialidad para optar por el grado de licenciatura en Ingeniería en Mantenimiento Industrial				
<b>Carritos Nivel</b>						
<b>Aspectos de diseño</b>						
Dimensiones del carro [l x a] (m x m)			2,5 x 1,5			
Carga (kg)			2.25E+03			
Factor de Seguridad			2.50E+00			
Carga distribuida en viga (N/m)			3.80E+03			
<b>Características del material</b>						
JIS G 3445	Carbon steel tubes for machine structural purposes					
Resistencia a la tracción (Pa)			2.70E+09			
Esfuerzo de Fluencia (Pa)			1.62E+09			
<b>Dimensiones de tubo estructural (m)</b>						
0.050x0.050x0.0012	0.050x0.050x0.0015	0.050x0.050x0.0018	0.050x0.050x0.00237	0.050x0.050x0.00317		
<b>Momento de Inercia (m<sup>4</sup>) (Ix=Iy)</b>						
	8.94E-08	1.08E-07	1.26E-07	1.62E-07	1.92E-07	
<b>Peso por unidad(N/unidad)</b>						
	110	136	163	215	285	
<b>Espesor alma=t (m)</b>						
	0.0024	0.003	0.0036	0.00474	0.00634	
<b>Primer momento de area= Q</b>						
	0.000001464	1.81875E-06	0.000002169	2.82208E-06	3.71128E-06	
<b>Esfuerzos máximos Permisibles</b>						
<b>Vigas transversales 2,5 m</b>						
Flexión en vigas [θ= Mc/I] (Pa)		Mmax (N/m)		c (m)		0.025
	8.25E+05	6.82E+05	5.85E+05	4.54E+05	3.85E+05	
Cortante en vigas [T=VQ/It]		Vmax (N)				
	3.24E+04	2.66E+04	2.27E+04	1.74E+04	1.45E+04	
<b>Vigas transversales 2,4 m</b>						
Flexión en vigas [θ= Mc/I] (Pa)		Mmax (N/m)		c (m)		0.025
	7.69E+05	6.35E+05	5.46E+05	4.23E+05	3.59E+05	
Cortante en vigas [T=VQ/It]		Vmax (N)				
	3.10E+04	5.60E+04	2.18E+04	1.67E+04	1.39E+04	
<b>Vigas transversales 1,5 m</b>						
Flexión en vigas [θ= Mc/I] (Pa)		Mmax (N/m)		c (m)		0.025
	1.30E+06	1.07E+06	9.23E+05	7.16E+05	6.07E+05	
Cortante en vigas [T=VQ/It]		Vmax (N)				
	6.82E+04	5.60E+04	4.78E+04	3.67E+04	3.06E+04	
<b>Soldadura</b>						
<b>Punto Cortate y momento máximo</b>						
$F=Sy^*A/SF$						
<b>Electrodo E6013</b>						
Sy (Pa)			3.45E+08			
Factor Seguridad (SF)			2.5			
Mmax (N/m)			9.23E+05			
Vmax (N)			4.78E+04			
h [altura aleta soldadura min] (mm)			3.00E+00			
<b>Rodamientos</b>						
Fuerza Radial (kN)			13.8			
rpm			50			
Horas semanales	8 horas x 5 días					
Confiabilidad			90%			
horas de vida			15000			
Creq (kN)			10.2			
<b>Elección Rodamiento L305</b>						
Anillo interior (mm)	Anillo Exterior	Grosor	Ajuste barra			
	25	62	17	33		
<b>Barra</b>						
diametro	49 mm	largo	49 mm	filete	3 mm	
<b>Materiales</b>						
Hierro estructural	0.050x0.050x0.0012	4 unidades				
Rodamientos	L307	4 unidades				
Electródos	E60	20 unidades				
Barra Hierro Fundido Redonda	35mm	1 unidad				

Figura A2.10: Hoja de cálculos Carrito Nivel

Fuente: Excel (Elaboración Propia)

<b>Carro Móvil</b>					
<b>Aspectos de diseño</b>					
Dimensiones del carro [l x a ] (m x m)	3,218x3,2	Peso del carro (N)	1.50E+03		
Masa (kg)	2300				
Factor de Seguridad	2.5				
Carga (N)	5.60E+04				
<b>Características del material</b>					
JIS G 3445	Carbon steel tubes for machine structural purposes				
Resistencia a la tracción (Pa)	2.70E+09				
Esfuerzo de Fluencia (Pa)	1.62E+09				
<b>Dimensiones de tubo estructural (m)</b>					
0.100x0.100x0.0015	0.100x0.100x0.0018	0.100x0.100x0.00237	0.100x0.100x0.00317	0.100x0.100x0.00475	
<b>Momento de inercia (m4) (Ix=Iy)</b>					
	9.32E-08	1.10E-06	1.42E-06	1.81E-06	2.50E-06
<b>Peso por unidad (N/unidad) Medida unidad (6 m)</b>					
	268.9	322.75	424.95	568.45	847.35
<b>Espesor alma=t (m)</b>					
	0.003	0.0036	0.00474	0.00634	0.0095
<b>Primer momento de area= Q</b>					
	7.3875E-06	0.000008838	1.15692E-05	1.53476E-05	2.26219E-05
<b>Esfuerzos máximos Permisibles</b>					
Vigas transversales 3,018 m					
Flexión en vigas [θ= Mc/I] (Pa)		Mmax (N/m)	3.37E+07	c (m)	0.05
	1.81E+07	1.53E+06	1.19E+06	9.29E+05	6.73E+05
Cortante en vigas [T=VQ/It]		Vmax (N)	1.27E+07		
	8.67E+04	7.12E+04	6.07E+04	4.66E+04	3.88E+04
Vigas transversales 1,4 m					
Flexión en vigas [θ= Mc/I] (Pa)		Mmax (N/m)	1.21E+07	c (m)	0.05
	6.49E+06	5.49E+05	4.27E+05	3.34E+05	2.42E+05
Cortante en vigas [T=VQ/It]		Vmax (N)	2.35E+07		
	6.21E+05	4.39E+04	4.05E+04	3.14E+04	2.23E+04
Vigas transversales 1,4 m					
Flexión en vigas [θ= Mc/I] (Pa)		Mmax (N/m)	1.25E+07	c (m)	0.05
	6.68E+06	5.65E+05	4.39E+05	3.43E+05	2.49E+05
Cortante en vigas [T=VQ/It]		Vmax (N)	1.97E+07		
	5.21E+05	4.39E+04	3.39E+04	2.63E+04	1.87E+04
<b>Soldadura Bases Máquina</b>					
<b>Dimensiones Bases</b>					
F=Sy*A/SF					
<b>Electrodo E6013</b>					
Sy (Pa)	3.45E+08				
Factor Seguridad (SF)	2.5				
Mmax (N/m)	3.37E+07				
Vmax (N)	2.35E+07				
h [altura aleta soldadura min] (mm)	1.60E+01				
<b>Rodamientos Salida "Carrito Nivel"</b>					
rpm	50				
Horas semanales	8 horas x 5 días				
Confiabilidad	90%				
horas de vida	15000				
Creq (kN)	1.5				
Elección Rodamiento L03					
Anillo interior (mm)	Anillo Exterior	Grosor	Ajuste barra		
	17	35	10	10	
<b>Pasador Cadena</b>					
ACOPLE DIRECTO AL MOTOR					
<b>Materiales</b>					
Hierro estructural	0.100x0.100x0.00237	6			
Rodamientos	L03	4 unidades			
Electródos	E60	60 unidades			
Barra Hierro Fundido Redonda		10	1		

Figura A2.11: Hoja de cálculo Carro Móvil

Fuente: Excel (Elaboración Propia)

**Estructura Principal**

**Aspectos de diseño**

Dimensiones de la estructura [l x a] (mxm)	1,5x2,86	Peso del carro (N)	1.50E+03
Factor Seguridad	2.5	Peso de nivel (N)	2.31E+04
Carga (N)	5.60E+04	Peso carro lleno (N)	2.45E+04

**Características del material**

JIS G 3445	Carbon steel tubes for machine structural purposes
Resistencia a la tracción (Pa)	2.70E+06
Esfuerzo de Fluencia (Pa)	1.62E+06

**Dimensiones de tubo estructural (m)**

0.100x0.100x0.0015	0.100x0.100x0.0018	0.100x0.100x0.00237	0.100x0.100x0.00317	0.100x0.100x0.00475	
Momento de Inercia (m <sup>4</sup> ) (Ix=Iy)	9.32E-08	1.10E-06	1.4165E-06	1.81E-06	2.50E-06
Kilogramo fuerza por unidad (N/unidad)	Medida unidad (6 m)				
	268.9	322.75	424.95	568.45	847.35
Espesor alma=t (m)	0.003	0.0036	0.00474	0.00634	0.0095

Primer momento de area= Q

**Esfuerzos máximos Permisibles**

Columnas 2,15 m					
Flexión en vigas [σ= Mc/I] (Pa)		Mmax (N/m)	9.73E+07	c (m)	0.05
	5.22E+07	4.41E+06	3.43E+06	2.68E+06	1.94E+06

**Estudio de Columna**

Un extremo libre/ un extremo empotrado

Longitud (m)	2.15	$\theta = \frac{P_{per}}{A}$	$P = \frac{\pi^2 EI}{L_e^2}$	$P_{cr} = \frac{P}{\gamma}$
Longitud equivalente (Le) (m)	4.30E+00			
I (m <sup>4</sup> )	2.50E-06			
E (Pa)	7.50E+11			
Área (m <sup>2</sup> )	4.75E-01			
Factor Seguridad (SF)	2.5			
P (N)	1.00E+06			
Pper(N)	4.00E+05			
σ (Pa)	8.43E+11			

**Soldadura**

Punto Cortante y momento máximo

F=Sy\*A/SF

Electrodo	E60
Sy (MPa)	345
Factor Seguridad (SF)	2.5
Mmax	2.30E+00
Vmax	0.00E+00
h [altura aleta soldadura min] (mm)	7.00E+00

**Rieles para rodamiento**

UPN 80

**Soldadura**

Punto Cortate y momento máximo

F=Sy\*A/SF

Electrodo	E60
Sy (MPa)	345
Factor Seguridad (SF)	2.5
Mmax	3.37E+04
Vmax	2.35E+04
h (altura soldadura) max	1.60E+01

**Materiales**

Hierro estructural	0.100x0.100x0.00237	6
Barra Hierro Fundido Redonda		1
Electródos	E60	60 unidades

Figura A2.12: Hoja de cálculos Estructura Principal

Fuente: Excel (Elaboración Propia)



<b>Flechas</b>				
<b>Aspectos de diseño</b>				
Distancia entre flechas	1.5	Largo Flecha (m)	3.5	
Carga (kg)	2600			
Factor de Seguridad	2.5			
Carga (N) en flecha	31882.5			
<b>Características del material</b>				
		Cold drawn 1020 steel		
Resistencia a la tracción (Pa)	5.30E+08			
Esfuerzo de Fluencia (Pa)	4.50E+08			
<b>Esfuerzos máximos Permisibles</b>				
Vmax (N)	3.20E+06			
Mmax (N/m)	8.00E+06			
Torsión (N/m)	3.20E+06			
Separación entre cojinetes (m)	2.76			
Separación entre pasador (m)	3.23E+00			
<b>Concentradores de esfuerzos</b>		<b>Chaveta para Pasador cadena</b>		
D/d	1.25			
r/d	0.4			
Kf= coeficiente concentración de esfuerzos				
Kf Torsión	1.6			
Kf Flexión	1.8			
Vida Util (Mpa)	165			
Diametro (m)	4.00E-02			
Barra (m)	0.045			
<b>Cojinetes (mm)</b>				
L08				
Diametro interior	40	Diametro Exterior	Ancho	Barra
			68	68 45.2
<b>Concentrador de esfuerzo Pin</b>				
Chaveta pasador cadena				
<b>Modelo Pasador</b>				
H6016 1-1/2" Bore #60 Steel 16Teeth FB Roller Chain Sprocket w/2 Set Screws - DISCONTINUED				
Tsubakimoto				
<b>Tamaño de la chaveta</b>				
3/8" x 3/16"				

**Figura A2.13: Hoja de Cálculos Flechas**

Fuente: Excel (Elaboración Propia)