



**DISEÑO Y MONTAJE DE UNA PLANTA DE GALVANIZADO  
EN CALIENTE POR CENTRIFUGADO PARA LA EMPRESA 10MHERRAJES**

**EDINSON DANIEL CORZO PARRA**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA  
BUCARAMANGA**

**2015**

**DISEÑO Y MONTAJE DE UNA PLANTA DE GALVANIZADO  
EN CALIENTE POR CENTRIFUGADO**

**EDINSON DANIEL CORZO PARRA**

**PRACTICA EMPRESARIAL REALIZADA PARA OPTAR POR EL TITULO DE  
INGENIERIA MECANICA**

**SUPERVISOR DE PRACTICA UPB**

**PhD. ADULJAY REMOLINA MILLAN**

**INGENIERO METALURGICO**

**SUPERVISOR DE PRÁCTICA 10MHERRAJES S.A.**

**FABIO ANDRES GONZALEZ RUGELES**

**INGENIERO MECANICO**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA**

**ESCUELA DE INGENIERIA**

**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA**

**BUCARAMANGA**

**2015**

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

Ing. Fabio Andres Gonzalez Rugeles

Tutor Empresarial

Ing. Aduljay Remolina Millan

Tutor Académico

## DEDICATORIA

A Dios, por permitirme llegar a esta etapa de mi formación, por guiarme en el camino, por darme la bendición de estudiar, por llenarme de sabiduría y darme la disposición para cumplir de la mejor manera cada paso en mi formación profesional.

A mis padres Luis y Ruth, a mis hermanos Claudia, Luis y Oscar, que me han brindado su apoyo incondicional en cada etapa de mi vida, por guiarme y aportar en mi formación personal y profesional, por darme la oportunidad de tener educación profesional, por llenarme de valores que me permiten una integridad personal.

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	8
1 OBJETIVOS.....	9
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	9
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	10
2 MARCO TEÓRICO.....	11
2.1 CHAPEADO Y PROCESOS AFINES.....	11
2.1.1 CHAPEADO.....	11
2.1.2 CHAPEADO.....	11
2.1.3 ELECTRODEPOSICIÓN.....	11
2.1.4 ELECTROFORMADO.....	12
2.1.5 DEPOSICIÓN SIN ELECTRICIDAD.....	13
2.1.6 GALVANIZADO POR INMERSIÓN EN CALIENTE.....	13
2.1.6.1 DESENGRASE.....	14
2.1.6.2 DECAPADO.....	15
2.1.6.3 FLUXADO.....	16
2.1.6.4 GALVANIZADO.....	16
2.2 PUENTE GRÚA.....	16
2.2.1 COMPONENTES PRINCIPALES DE LOS PUENTE GRÚA.....	17
2.2.2 PRINCIPALES COMPONENTES DEL POLIPASTO.....	17
2.2.3 SISTEMAS DE SEGURIDAD.....	18
2.2.3.1 DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD EN LOS PUENTE GRÚA.....	19
2.3 DIAGRAMA DE ESFUERZO DEFORMACIÓN UNITARIA.....	20
2.3.1 RESISTENCIA A LA TENSIÓN.....	21
2.3.2 RESISTENCIA DE FLUENCIA.....	21
2.3.3 MODULO DE ELASTICIDAD.....	21
2.3.4 ESFUERZO PERMISIBLE.....	21
3 DESCRIPCIÓN DE LA PRÁCTICA.....	23
3.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	23
3.2 DISEÑO DEL PUENTE GRÚA.....	24
3.2.1 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL PUENTE GRÚA.....	24
3.2.2 DISEÑO Y SELECCIÓN DEL PERFIL DE LA VIGA.....	25
3.2.3 DISEÑO Y SELECCIÓN DEL PERFIL DE LA COLUMNA DE APOYO.....	32
3.3 SELECCIÓN DEL MOTOR DE CENTRIFUGADO.....	36
3.4 DISEÑO DE LAS CANASTILLAS DE TRANSPORTE.....	38
4 CONCLUSIONES.....	40
5 RECOMENDACIONES.....	41
6 BIBLIOGRAFIA.....	42
7 ANEXOS.....	44

## RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

**TITULO:** DISEÑO Y MONTAJE DE UNA PLANTA DE GALVANIZADO EN CALIENTE POR CENTRIFUGADO PARA LA EMPRESA 10MHERRAJES

**AUTOR(ES):** EDINSON DANIEL CORZO PARRA

**FACULTAD:** Facultad de Ingeniería Mecánica

**DIRECTOR(A):** ADULJAY REMOLINA MILLAN

### RESUMEN

El siguiente informe es una recopilación de pasos y actividades a seguir que se desarrollaron en el diseño y construcción de la planta de galvanizado en caliente por centrifugado en la empresa 10Mherrajes S.A. Dando así una descripción detallada de cada una de las labores en base a los objetivos propuestos y metas alcanzadas. Conlleva desde una recopilación de datos, análisis de información e implementación de cada uno de los elementos seleccionados en el análisis. A si mismo se realiza una breve reseña de la empresa 10Mherrajes S.A, dando a conocer principalmente su relación con este trabajo. En este documento se muestra un desarrollo de actividades para el análisis e implementación de un puente grúa para el transporte de carga, así mismo la selección del motor más adecuado para la intervención en el proceso de centrifugado, además el diseño de las canastillas encargadas del transporte del material en el proceso de galvanizado. Todo esto corroborado por las imágenes que sustenten la información mencionada.

### PALABRAS

#### CLAVES:

DISEÑO, GALVANIZADO, CENTRIFUGADO,  
PUENTE GRUA, MONTAJE

## **GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE**

**TITLE:** DESIGN AND ASSEMBLY OF HOT DIP GALVANIZED PLANT BY SPIN FOR THE COMPANY 10MHERRAJES

**AUTHOR(S):** EDINSON DANIEL CORZO PARRA

**FACULTY:** Facultad de Ingeniería Mecánica

**DIRECTOR:** ADULJAY REMOLINA MILLAN

### **ABSTRACT**

This document is a compilation of steps and activities that were developed for design and assembly of hot dip galvanized plant by spin in the enterprise 10Mherrajes S.A. Thus giving a description of each of the tasks based on the objectives and goals achieved. Leads from data collection, information analysis and implementation of each elements selected in the analysis. Also is performed a little review of the enterprise 10Mherrajes S.A, giving mainly about your relationship with this work. In this document shown development activities for the analysis and implementation of a bridge crane for carrying loads, also the selection of the more suitable engine for spin, also the design of the baskets authorized to transport the material in the galvanizing process. This is corroborated by pictures and images giving support to the information mentioned.

### **KEYWORDS:**

DESIGN, GALVANIZED, SPIN, BRIDGE CRANE, MOUNTING

## INTRODUCCION

10Mherrajes es una empresa dedicada al diseño, comercialización y fabricación de herrajes eléctricos para la industria de la energía en Colombia. Enfocada en atender la demanda de estos componentes en el sector de la industria prestando sus servicios al sector de fabricación. 10Mherrajes se encuentra generando esta labor desde el año 2014.

Como es mencionado el campo de aplicación de los herrajes es en la industria, es un dispositivo metálico y entre sus funciones encontramos fijación, empalme, protección eléctrica o mecánica, reparación, separación, amortiguamiento de vibraciones, etc. De esto podemos concluir que son dispositivos con deben generar alta confiabilidad en su aplicación desarrollando un buen trabajo.

El proyecto consiste en la implementación de una planta de galvanizado en caliente por centrifugado la cual como su nombre lo indica tiene como función galvanizar los diferentes herrajes fabricados por la empresa. Como es mencionado anteriormente son productos que deben tener alta confiabilidad en su aplicación y el proceso de galvanizado generara mayor garantía en este, pues la intención de galvanizado consiste en combatir la oxidación y corrosión que se presenta en los aceros en los diferentes ambientes de trabajo.

Se hace necesario la implementación de un plan de trabajo y pasos a seguir, entre estos hemos de encontrar la implementación de la estructura de la planta como lo es en este caso un puente grúa, la implementación de un motor eléctrico que forma parte del proceso de centrifugado y también el diseño de las canastillas pertinentes para el transporte del material.

## **1 OBJETIVOS**

### **1.1 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar y realizar el montaje de la planta de galvanizado en caliente por centrifugado, para la empresa 10Mherrajes.

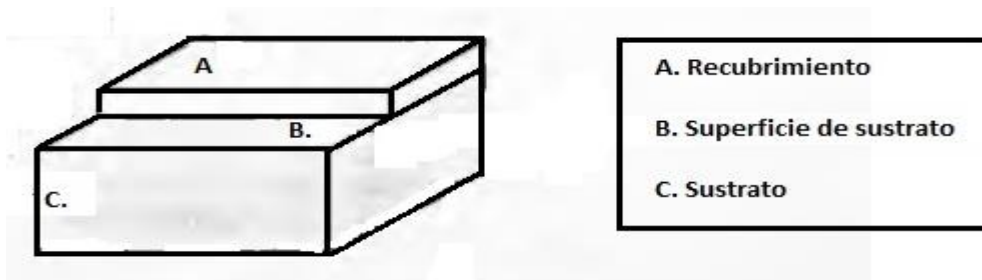
## 1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Diseñar y seleccionar el puente grúa de acuerdo a las condiciones de trabajo requeridas, teniendo en cuenta los aportes de diferentes autores que se han registrado con respecto a esta temática.
- Seleccionar el motor más adecuado para el proceso de centrifugado, teniendo en cuenta las necesidades del proceso.
- Diseñar las canastillas para el transporte de carga, teniendo en cuenta la capacidad de transporte y las diferentes piezas que se van a galvanizar.

## 2 MARCO TEORICO

### 2.1 CHAPEADO Y PROCESOS AFINES

Los elementos de metal generalmente tienen un recubrimiento, con pintura, chapeado u otros procesos. Las razones principales para querer recubrir un metal son: 1) generar protección contra la corrosión del sustrato; 2) mejorar la apariencia del elemento, por ejemplo, para proporcionar un color o textura especificados; 3) dar mayor resistencia al desgaste y disminuir la fricción de la superficie; 4) mejorar la conductividad eléctrica; 5) generar mayor resistencia eléctrica; 6) mantener una superficie metálica para un procesamiento posterior y 7) reconstruir las superficies gastadas o erosionadas durante el servicio.



- 1) Vista del corte de un recubrimiento de grosor  $d$  en una superficie de sustrato característica de estos procesos.

Imagen tomada de Groover, Mikell P. Fundamentos de manufactura moderna: Materiales, procesos y sistemas.

En ocasiones los elementos no metálicos también se recubren. Algunos ejemplos son: 1) Materiales plásticos que se recubren para darles un aspecto metálico; 2) recubrimientos anti reflejantes que se aplican normalmente a lentes de cristales ópticos; y 3) algunos procesos de recubrimiento y deposición se aplican a la fabricación de chips semiconductores y tableros de circuitos impresos [1].

#### 2.1.2 CHAPEADO

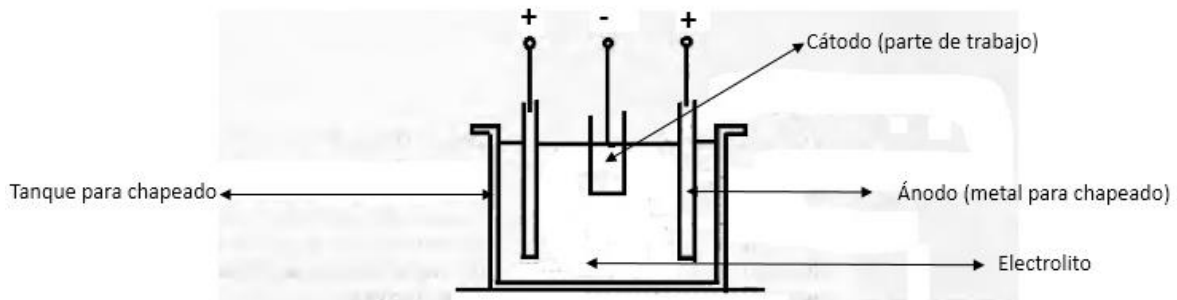
El chapeado implica el recubrimiento de una delgada capa metálica a través de la superficie de un material del sustrato. El sustrato comúnmente es metálico, aunque hay varios métodos para recubrir partes plásticas y cerámicas. Los motivos para chapear una parte incluyen: 1) la protección ante la corrosión, 2) el aspecto atractivo, 3) la resistencia al desgaste, 4) una mayor conductividad eléctrica, 5) mejorar la soldabilidad y 6) mejorar la lubricidad de la superficie. La tecnología más conocida y con más uso es la electrodeposición [1].

### 2.1.3 ELECTRODEPOSICIÓN

Un proceso de electrodeposición consiste en una reacción electroquímica. Cuando a una disolución de una especie oxidante se le adiciona un reductor, se produce una reacción química redox. Si en lugar de adicionar un reductor, en la disolución se introduce un conductor y este cede electrones a la disolución, tiene lugar a una reacción electroquímica.

La electrodeposición, también conocida como recubrimiento electroquímico, es un proceso electrolítico en el cual se depositan iones metálicos en una solución electrolítica dentro de una parte de trabajo que funciona como cátodo. El ánodo esta hecho generalmente del metal que se recubre y, por tanto, funciona como fuente del metal recubierto. Se pasa corriente directa de un transformador de corriente extremo entre el ánodo y el cátodo. El electrolito es una solución acuosa de ácidos, bases o sales que conduce corriente eléctrica mediante el movimiento de iones metálicos del recubrimiento en solución. Para resultados óptimos, las partes deben pasar por una limpieza química justo antes de la electrodeposición.

Principios de la electrodeposición: El recubrimiento electroquímico consiste en dos leyes físicas de Faraday. En resumen, las leyes plantean que: 1) la masa de una sustancia liberada en electrolisis es proporcional a la cantidad de electricidad que pasa por la celda, y 2) la masa del material liberado es proporcional a su equivalente electroquímico (la razón de peso atómico a valencia) [1], [2], [3].



2) Disposición para la electrodeposición.

Imagen tomada de Groover, Mikell P. Fundamentos de manufactura moderna: Materiales, procesos y sistemas.

### 2.1.4 ELECTROFORMADO

Este proceso es virtualmente igual que la electrodeposición pero su propósito es muy distinto. El electroformado implica la deposición electrolítica de metal en un patrón hasta obtener el grosor requerido; después se remueve el patrón para dejar la parte formada. Mientras que el grosor de una deposición común es de solo aproximadamente 0.002 pulg (0.05 mm) o menos, con frecuencia, las partes electroformadas son mucho más gruesas, por lo que el ciclo de producción es proporcionalmente más largo. Los modelos usados en el electroformado son: 1) sólidos o 2) desechables. Los patrones sólidos tienen un ahusamiento u otra geometría que permite la remoción de la parte electrodepositada.

Los modelos desechables se destruyen durante la remoción de la parte, y se usan cuando la forma de la parte imposibilita un patrón sólido. Los modelos desechables son fusibles o solubles. Los de tipo fusible están hechos de aleaciones de baja fusión, plásticos, cera u otro material que puede removerse por fusión. Cuando se usan materiales no conductivos, el patrón o modelo debe metalizarse para aceptar el recubrimiento electrodepositado.

Los de tipo soluble están hechos de un material que puede disolverse con facilidad mediante productos químicos; por ejemplo, el aluminio se disuelve en hidróxido de sodio (NaOH). Por lo general, las partes electroformadas se fabrican de aleaciones de cobre, níquel y níquelcobalto. Las aplicaciones incluyen moldes y dados finos; entre los ejemplos están los moldes para lentes, los discos fonográficos y las placas para estampar e imprimir. Una aplicación reciente con mucha demanda implica la producción de moldes para discos compactos de lectura mediante laser y discos de video. Los detalles de la superficie que deben imprimirse en un disco compacto se miden en micro pulgadas o micrones,  $1\mu\text{m} = 39.4 / \mu\text{pulg}$ . Estos detalles se obtienen con facilidad en el moldeado mediante electroformado [1].

### **2.1.5 DEPOSICIÓN SIN ELECTRICIDAD**

La deposición sin electricidad es el nombre que se da al proceso de recubrimiento que se produce completamente mediante reacciones químicas y no se requiere una fuente externa de corriente eléctrica.

La deposición del metal en la superficie de una parte ocurre en una solución acuosa que contiene los iones del metal para recubrimiento que se vaya a utilizar. El proceso usa un agente reductor y la superficie de la parte de trabajo actúa como catalizador para la reacción.

Son pocos los metales que se pueden emplear para la deposición sin electricidad, así como los que pueden procesarse mediante esta técnica, el costo es generalmente mayor que en el recubrimiento electroquímico. El metal para deposición sin electricidad más común es el níquel y algunas de sus aleaciones (Ni-Co, NiP y Ni-B). También se usan el cobre y, en menor grado, el oro como metales para deposición mediante este proceso. La deposición con níquel se usa para aplicaciones que requieren alta resistencia a la corrosión y al desgaste. La deposición con cobre sin electricidad se usa para recubrir a través de orificios de tableros de circuitos impresos. El cobre también puede utilizarse para recubrir partes plásticas con propósitos decorativos. Las ventajas de la deposición sin electricidad incluyen: 1) espesores de chapeado uniformes sobre geometrías de partes complejas (lo cual es un problema con la electrodeposición), 2) el proceso puede usarse en sustratos metálicos y no metálicos y 3) no se necesita una provisión de corriente directa para realizar el proceso [3].

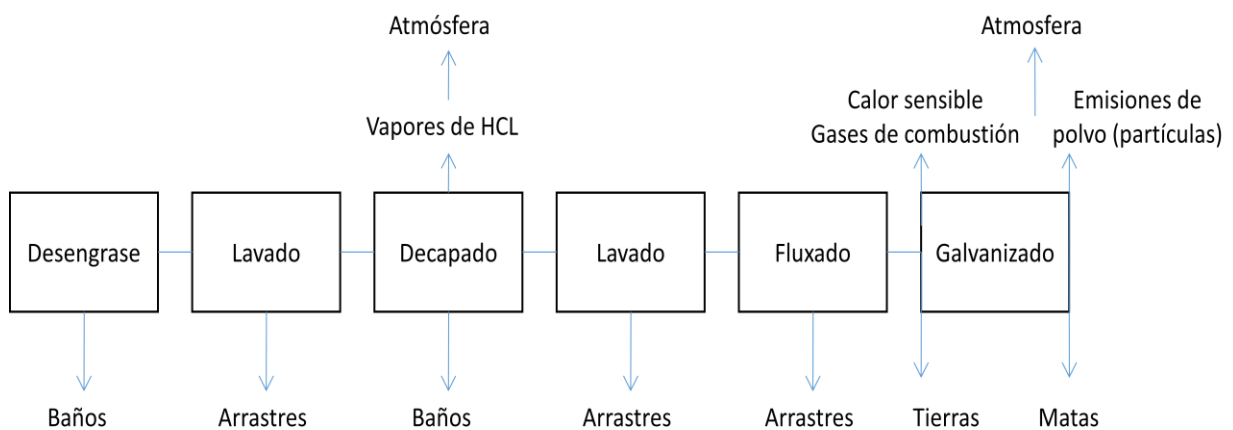
### **2.1.6 GALVANIZADO POR INMERSION EN CALIENTE**

El propósito principal de la inmersión en caliente es la protección ante la corrosión. Normalmente operan dos mecanismos para proporcionar esta protección: 1) protección de barrera, para la cual el recubrimiento simplemente funciona como un escudo para el metal que está debajo y 2) protección de sacrificio, en la cual el recubrimiento se corroe mediante un proceso electroquímico para preservar el sustrato [1], [3], [4].

El proceso de galvanizado consta de las siguientes fases:

- Desengrase alcalino: solución a base de hidróxido sódico (soda caustica).
- Decapado: solución acuosa de ácido clorhídrico.
- Fluxado: solución de cloruro de zinc y cloruro de amonio a 40-60 grados Celsius.
- Galvanizado: zinc fundido a 440-460 grados Celsius.
- Enfriamiento: agua o aire.

DIAGRAMA DEL PROCESO DE GALVANIZADO



### 3) Diagrama del proceso de galvanizado clásico.

Imagen tomada de Blount, Estefania., Clarimon, Luis., Cortes, Ana., Rechmann, Jorge., Romano, Dolores. Industria como naturaleza. Hacia la producción limpia.

#### 2.1.6.1 Desengrase

Esta etapa tiene como objetivo la eliminación de las impurezas de tipo orgánico adheridas a la superficie, como lubricantes, aceites de corte, pinturas, etc. Existen varios procedimientos de desengrase [5].

##### 1. Térmico, o pirogénico

Destrucción de grasas e impurezas mediante el calor, sin llegar a producirse oxidación. Se realiza cuando la cantidad de grasa es pequeña [6].

##### 2. Disolventes orgánicos halogenados o no halogenados

Se emplean cuando las piezas son pequeñas. Los disolventes halogenados más utilizados son el tricloroetileno y el percloroetileno, y los no halogenados xileno y tolueno. Se pueden aplicar en fase vapor, líquida, mixta y proyección [7].

### 3. Medio alcalino

Se utiliza esta técnica para gran número de piezas de tamaños grandes. Los álcalis que se emplean son hidróxido sódico, carbonatos, permanganatos, fosfatos, orto fosfatos, silicatos alcalinos, jabones y detergentes sintéticos, en medio acuoso, en el que se sumergen las piezas, o por rociado de estas. El desengrase alcalino también puede ser electrolítico: la pieza puede actuar como cátodo si no se da el problema de la fragilización del metal a causa del hidrogeno gas que se desprende en este electrodo. Si hay fragilización, actúa como ánodo [7].

#### 2.1.6.2 Decapado

Con esta operación se eliminan los óxidos metálicos de la superficie de la pieza. Puede realizarse por procedimientos químicos o físicos.

##### 1. Decapado en disolución acuosa.

- Medio ácido: ácido sulfúrico, al 5-10% y a 65-88 grados Celsius que lleva un inhibidor catódico (compuestos orgánicos: quinona, tiourea, pirideno, etc.) ácido clorhídrico al 18% en peso y a temperatura ambiente. Ácido fluorhídrico al 0,5-3%. Ácido fosfórico. Ácido crómico [7].
- Medio básico: decapado y desengrase conjunto. Se emplea una disolución de sosa. Esta forma de desengrase y decapado se suele realizar al alambre. También se pueden emplear cianuros en casos puntuales [7].
- Decapado electroquímico: la pieza actúa como electrodo, sumergida en un baño ácido o básico [7].

##### 2. Decapado con sales fundidas

Se realiza en medio básico con hidróxido, nitrato y carbonato sódico, a temperatura entre 450 y 500 grados Celsius. Después se sumerge en agua ligeramente ácida. Este es un procedimiento oxidante. Se puede emplear también un reductor como el hidruro de sodio [7].

##### 3. Decapado mecánico

Con esta operación se realiza el desengrase y el decapado de una vez. Se emplean muelas abrasivas, discos de fieltro impregnados de abrasivos, cepillos, discos de teas duras, etc. [7].

Las superficies decapadas tienden a oxidarse, por lo que se suelen someter a un posterior pasivado (inmersión en una solución diluida y caliente de ácido crómico y fosfórico) o fluxado (recubrimiento con un fundente: cloruro amónico-cloruro de zinc). De cualquier forma, las piezas deben pasar por un tanque de aclarado para eliminar restos de productos químicos o impurezas, antes de introducirse en la cuba electrolítica [7].

El decapado más utilizado es el que emplea disoluciones acuosas ácidas, por lo que en fichas posteriores, al hablar de decapado, nos referiremos al decapado en medio acuoso ácido [7].

### **2.1.6.3 Fluxado**

El motivo del baño de fluxado es evitar la oxidación superficial de las piezas y aumentar su adherencia superficial. Este baño de fluxado es una disolución de cloruro de zinc y de cloruro de amonio en agua. Generalmente se añaden las sales de zinc por separado para poder regular mejor el pH de la disolución [4].

### **2.1.6.4 Galvanizado**

Es un proceso en el cual un sustrato metálico se sumerge en un baño fundido de un segundo metal; tras la remoción, el segundo metal recubre el primero. El primer metal debe poseer una temperatura de fusión más alta que la del segundo. Los metales de sustrato más comunes son el acero y el hierro. El zinc, el aluminio, el estaño y el plomo son los metales de recubrimiento más comunes. La inmersión en caliente funciona para formar capas de transición sobre compuestos de aleación variable. Junto al sustrato normalmente se encuentran compuestos intermetálicos de los dos metales; en el exterior hay aleaciones de solución sólida que consisten predominantemente en metal de recubrimiento. Las capas de transición proporcionan una excelente adhesión del recubrimiento [1], [3], [4].

## **2.2 PUENTE GRÚA**

El puente grúa es una máquina con un sistema de elevación compuesto por una viga, simple o doble, biapoyada sobre dos carriles elevados sobre unos postes, dispuestos a tal efecto o componentes de la estructura resistente a la nave o edificación.

Son máquinas empleadas para la elevación y el transporte de cargas dentro de un espacio limitado por la propia configuración del puente grúa. Permite desplazamientos verticales y horizontales. Su capacidad de translación está limitada por la longitud de los raíles sobre los que se desplazan las columnas que dan soporte a la máquina. La altura se encuentra limitada por la propia altura del puente, en el que se sitúa el carro con el gancho del que cuelga la carga.

El movimiento longitudinal se lleva a cabo mediante la translación de la viga principal o puente a través de los carriles elevados. En la práctica la totalidad de los casos, la rodadura es por ruedas metálicas sobre los carriles metálicos.

El movimiento transversal se realiza mediante el desplazamiento de un polipasto o carro sobre una o dos carriles dispuestos sobre la viga principal. Generalmente la rodadura es para todos los casos de tipo acero-acero.

Los puentes grúa son máquinas utilizadas para la elevación y transporte de materiales generalmente en procesos de almacenamiento o curso de fabricación.

La máquina propiamente está compuesta generalmente por una doble estructura rematada en dos testeros automotores sincronizados dotados de ruedas con doble pestaña para su encarrilamiento. Apoyado en dicha estructura y con capacidad para discurrir encarrilado a lo largo de la misma, un carro automotor soporta un polipasto cuyo cableado de izamiento se descuelga entre ambas partes de la estructura (también puede ser monorraíl con estructura simple). La combinación de movimientos de estructura y carro permite actuar sobre cualquier punto de una superficie delimitada por la longitud de los raíles por los que se desplazan los testeros y por la separación entre ellos [8], [9].

### **2.2.1 Componentes principales de los puentes grúa:**

- Mecanismo para elevación: consiste en una serie de dispositivos que van montados sobre un carro: motores, poleas, cables, etc. Usados para izar las cargas en un movimiento sobre la vertical.
- Mecanismo para la traslación del carro: se trata de una serie de motores que forman parte del carro y que se usan para el movimiento longitudinal del mismo.
- Mecanismo para la traslación del puente: conlleva el movimiento longitudinal de la grúa mediante unos motores incluidos en los testeros.
- Camino de rodadura: se trata de una grúa que es usada para el desplazamiento longitudinal de esta.
- Mecanismo de giro: elemento mecánico para la realización del giro del brazo que también está relacionado con la posición de los ganchos.
- Botonera: componente de naturaleza eléctrica unido a una manguera para mantenerse fuera del alcance de la acción de la grúa.
- Telemando: aparato electrónico por el cual no se hace necesaria la unión entre la grúa y el mando (inalámbrico).
- Accesorios: tienen la función de sujetar la carga. Existe una gran variedad dependiendo del uso según el tipo de carga.

Estos son algunos de los principales componentes de los puentes grúa [10].

### **2.2.2 Principales componentes del polipasto**

Se distingue entre los componentes del polipasto de cable y los del polipasto de cadenas.

1. Los principales componentes de un polipasto de cable son los siguientes:

- Freno de elevación: mediante un bloque de freno cónico realiza la parada de la elevación o descarga incorporando un sistema de enfriamiento y la activación en caso de falta de alimentación eléctrica.

- Motor eléctrico de elevación: se ocupa del movimiento sobre la vertical de la carga y consta de un motor asíncrono trifásico y está equipado con sondas para las sobrecargas.
- Acoplamiento: elemento de conexión entre el reductor y el motor.
- Reductor: serie de engranajes con varias etapas de reducción.
- Tambor: dimensionado para alojar el cable en canales.
- Guía cable: permite el enrollamiento seguro del cable en el tambor.
- Finales de carrera de elevación: elemento de seguridad que actúa en caso de emergencia limitando la elevación o bajada de la carrera del gancho.
- Limitador de carga: este componente mantiene controlado, mediante mediciones, el valor de la carga y los efectos que se producen por la inercia del movimiento. Se calibra con unos valores que cuando se superan se abre el circuito del dispositivo.
- Cable: elemento usado para realizar el izado y descarga. Se fabrica en acero con resistencia a la fatiga y al desgaste.
- Gancho: tiene la función de anclaje para los elementos accesorios de elevación de la carga. El gancho está fabricado en acero al carbono y consta de unos cojinetes de giro lubricados por donde para un travesaño.
- Caja de conexión eléctrica: usado para la conexión de todos los equipos.
- Mandos de baja tensión: cuando en el equipo eléctrico se incluyen mandos con todas las funciones también se adapta el transformador, contactor, diferencial, etc.

2. Los principales componentes de un polipasto actual de cadena son:

- Gancho superior: opción de enganche mediante este elemento también se puede realizar con una lámina.
- Recolector de cadena: con la función de recoger y contener la cadena, el recolector aloja el tramo que queda libre.
- Mando con botonera: desde donde se lleva el control del polipasto.
- Gancho inferior: con el objetivo de amarrar la carga. Provisto de gatillo de seguridad.
- Limitador de sobrecarga: por medio de embrague o sistema electrónico. Consta de un limitador de carga.
- Cadena: elemento de elevación para izado y descarga.

Estos son algunos de los principales componentes de los polipastos [10].

### **2.2.3 Sistema de seguridad**

- Polipasto dotado de dispositivos final de carrera.
- Limitadores de carga que impiden levantar pesos con una sobrecarga entre 10% y el 20% sobre la carga máxima permisible.
- Los ganchos dispondrán de pestillos de seguridad para evitar que los cables, estrobas o eslingas se salgan de ellos.
- Protección contra choques. Los extremos de los caminos de rodadura de los aparatos y de los carros deben estar dotados de topes eficaces.
- Existencia de señal acústica aviso.

Estos son algunos elementos del sistema de seguridad [6].

### 2.2.3.1 Dispositivos de seguridad en los puentes grúa

- **Topes elásticos**  
Son amortiguadores de choque. Se colocan en los extremos de los caminos de rodadura y en los extremos del recorrido del carro. Deben existir también topes amortiguadores a ambos lados de los testeros del puente y a ambos lados del carro. Para evitar un posible descarrilamiento, los topes deben disponerse por pares, simétricamente con relación a los caminos de rodadura y recorrido del carro, y deben tener igual longitud y las mismas características elásticas y de amortiguación. Los topes actúan, obviamente, previo al fallo de los limitadores de carrera. [9]
- **Finales de carrera**  
Los finales de carrera, normalmente son dispositivos electromecánicos que eliminan un desplazamiento determinado actuando sobre un circuito eléctrico. El mecanismo de elevación de carga debe estar dotado del limitador de carrera, que debe actuar directamente sobre el freno, de modo que inmovilice el elemento de sujeción de la carga al llegar a una determinada altura. [9]
- **Limitadores de carga máxima**  
Cuando exista un riesgo de que se manejen cargas con pesos sobre el máximo autorizado de trabajo para el que está diseñando el puente grúa, el mecanismo de elevación dispondrá de un limitador de sobrecarga que impida todo movimiento. Deben funcionar entre el 10% y 20% de sobrecarga. La placa indicadora de la capacidad de carga que obligatoriamente deben llevar los equipos de elevación de cargas como medida preventiva no es suficiente para garantizar la seguridad en el trabajo. [9]
- **Interruptor general**  
La misión del interruptor o seccionador general es cortar totalmente el suministro de energía eléctrica a la línea de toma de corriente. Este interruptor debe usarse en caso de emergencia y siempre al terminar la jornada laboral. Deben tener un dispositivo de bloqueo en la posición de desconectado que impida la conexión intempestiva por el personal no autorizado. Este interruptor general ha de poder desconectarse por pulsadores en el piso de trabajo y en los pasillos a lo largo de los caminos de rodadura. [9]
- **Puesta a tierra**  
Todos los elementos de la instalación y equipo eléctrico que no deban estar bajo tensión es necesario que tengan una puesta a tierra eficaz. Los conductores y partes bajo tensión que queden desconectados durante los trabajos de mantenimiento y reparación han de poder ser puestos a tierra en cortocircuito cuando sea necesario. [9]

- Frenos

De elevación

El mecanismo de elevación de cargas debe equiparse con dos frenos:

Uno, de accionamiento eléctrico, se aplicara directamente sobre el eje del motor, y el otro, que puede ser mecánico o eléctrico, debe controlar la velocidad de descenso y, si es mecánico, inmovilizar la carga cuando se pare la elevación [9].

Mecanismo de traslación del puente

Está equipado con un freno electro-hidráulico, que permita disminuir la velocidad sin que se produzcan distorsiones que hagan peligrar las condiciones de estabilidad del puente grúa [9].

Traslación del carro

En el mecanismo de dirección, el carro debe estar equipado con un dispositivo que permita disminuir su velocidad, pararlo y mantenerlo en la posición requerida [9].

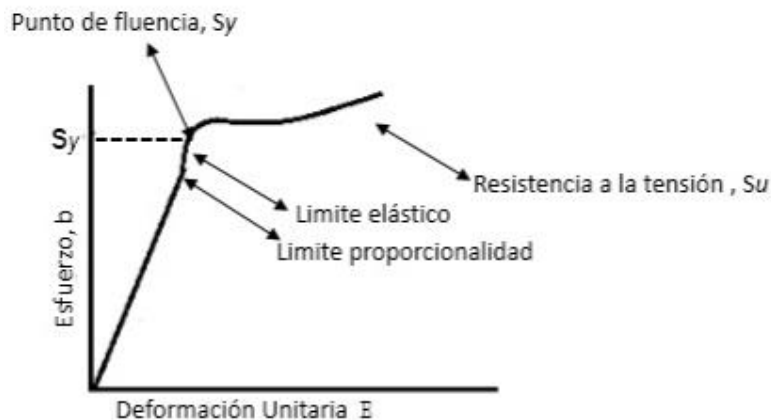
- Elementos móviles

Los elementos móviles son únicamente de transmisión y se hallan situados en la parte superior del puente grúa. Su protección va encaminada hacia el personal de mantenimiento, y generalmente se realiza mediante resguardos fijos.

Además han de tenerse en cuenta las ruedas que permiten el desplazamiento de la grúa y del carro, que deberán estar protegidas con defensas que impidan el atrapamiento de las personas expuestas [9].

### 2.3 DIAGRAMA DE ESFUERZO DEFORMACION UNITARIA

Para el diseño del puente grúa es importante hacer un análisis del comportamiento de este cuando se encuentre en servicio, es decir, bajo la acción de las fuerzas que estará soportando. El diagrama de esfuerzo deformación unitaria, nos muestra el comportamiento que está sufriendo un material, en este caso cuanto se está deformando con respecto al esfuerzo que este está sintiendo.



4) Diagrama típico de esfuerzo-deformación unitaria para el acero.  
Tomado de Mott, Robert L. Diseño de elementos de máquinas.

### 2.3.1 Resistencia a la tensión, $S_u$

Se considera que el punto máximo de la curva esfuerzo-deformación unitaria es la resistencia última a la tensión, a veces se le llama resistencia última o simplemente resistencia a la tensión. En ese punto de la prueba se mide el máximo esfuerzo aparente en una barra de prueba del material. El esfuerzo aparente se calcula al dividir la carga entre el área de la sección transversal original de la barra de prueba. Después de que se alcanza el máximo de la curva hay un decremento notable del diámetro de la barra [11].

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

### 2.3.2 Resistencia de fluencia, $S_y$

La resistencia a la fluencia es el esfuerzo que tiene el material a la deformación irrecuperable bajo la acción de algún tipo de fuerza. Como se observa en la gráfica la fluencia se sitúa al final de la tendencia lineal de la gráfica, dando así finalidad a su límite elástico. Esta propiedad indica que, en realidad, el material ha cedido o se ha alargado en gran medida y en forma plástica y permanente. Si el punto de fluencia es muy notable, a la propiedad se llama punto de fluencia o punto de cadencia y no resistencia a la fluencia. Es típico de un acero al carbono simple, laminado en caliente [11].

### 2.3.3 Módulo de elasticidad, $E$

Para la parte rectilínea del diagrama esfuerzo-deformación unitaria, el esfuerzo es proporcional a la deformación unitaria y el valor de  $E$ , el módulo de elasticidad, es la constante de proporcionalidad [11].

### 2.3.4 Esfuerzo permisible

Un ingeniero a cargo del diseño de un miembro estructural o elemento mecánico debe restringir el esfuerzo en el material a un nivel que sea seguro. Además, una estructura o máquina corrientemente en uso puede en ocasiones tener que ser analizada para ver que carga adicional pueden soportar sus miembros o partes. Así que nuevamente es necesario efectuar los cálculos usando un esfuerzo permisible o seguro.

Una manera de especificar la carga permisible para el diseño o análisis de un miembro es usar un número llamado factor de seguridad. El factor de seguridad es la razón de la carga de falla, dividida entre la carga permisible. La fuerza de falla se determina por medio de ensayos experimentales del material y el factor de seguridad se selecciona con base a la experiencia, de manera que las incertidumbres mencionadas antes sean tomadas en cuenta cuando el miembro se use en condiciones similares de carga y simetría. Expresando matemáticamente

$$FS = \frac{\text{esfuerzo de fluencia}}{\text{esfuerzo permisible}} = \eta$$

Este será el factor de seguridad [12], [13].

### **3 DESCRIPCION DE LA PRÁCTICA**

#### **3.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La empresa 10mherrajes se encarga de fabricar y vender herrajes en la industria de la energía en Colombia, regida por la norma NTC 2076 (Recubrimiento de zinc por inmersión en caliente para elementos en hierro y acero) se hace necesario la implementación de una planta de galvanizado que le permita cumplir con este requerimiento.

Acercas de la norma NTC 2076, se tiene que esta norma cubre los recubrimientos de zinc aplicados por proceso de inmersión en caliente sobre elementos de hierro y acero. El proceso de galvanizado por inmersión en caliente se efectúa mediante la inmersión de elementos en zinc fundido por un tiempo suficiente que permita la reacción química entre el hierro de la superficie del acero y el zinc fundido, provocando la formación de capas de aleación de zinc-hierro unidas que conforman el recubrimiento de la superficie de acero. La presente norma está destinada a aplicación en elementos o piezas que son centrifugadas o se manipulan de otra manera para remover excesos de metal del baño de galvanizado (zinc libre). Los requisitos del grado de espesor del recubrimiento reflejan esto [14].

Para la implementación de la planta de galvanizado, se hace necesario la construcción de un puente grúa el cual permita en todo momento el transporte de piezas y que sea más fácil maniobrar a los operadores encargados del proceso. Para este caso el puente grúa contará con una viga y dos columnas; la viga permanecerá fija y a través de su eje axial tendrá movimiento el carro que transportara la carga junto con el polipasto. Se desarrollara de este modo puesto que la carga a transportar solo viajara en un solo sentido sin necesidad de que la viga se desplace a otro sitio.

También se requiere de un motor eléctrico para el proceso de centrifugado, el cual se realizara de manera inmediata una vez la piezas salgan del baño en la fundición de zinc para retirar el material sobrante y que las piezas obtengan el espesor deseado.

Junto con esto se deben implementar canastillas que se ajusten a las condiciones requeridas, las cuales permitan el transporte de las piezas a lo largo de todo el proceso de galvanizado.

## 3.2 DISEÑO DEL PUENTE GRUA

El diseño del puente grúa constara de una viga y dos columnas fijas, esto permitirá el movimiento del carro a través de la viga.

El primer paso a tener en cuenta para el diseño es determinar el espacio disponible en donde se va a implementar la estructura. El largo del puente grúa está dado por la distancia total del recorrido que tendrán las piezas a través del proceso de galvanizado.

Sumando las distancias que consumen cada uno de los procesos en el recorrido del galvanizado se tendrá una estimación de la distancia entre las columnas, esto sería la luz entre apoyos, por lo tanto al sumar el proceso de desengrase, decapado, fluxado, baño de zinc y el proceso de limpieza se concluye que la distancia que consumen es de 5.8m, por lo tanto la luz entre apoyos es de 6m.

La altura del puente grúa en este caso está limitada por espacio disponible en la planta de trabajo, puesto que lo máximo disponible que permite abarcar es de 4m de altura para el puente grúa, dejando un espacio disponible de trabajo de 3m.

De lo cual se concluyeron las características iniciales para la estructura.

### 3.2.1 Características iniciales del puente grúa

- Luz entre apoyos: *6 m* (distancia entre los apoyos de la viga).
- Distancia libre: *5.8 m* (distancia sin contar el espacio de los apoyos).
- Altura total: *4 m* (altura del puente grúa).
- Altura de elevación: *3 m* (altura de izaje del polipasto).

Adicionalmente se cuenta con dos juegos de carro transportador junto con el polipasto para el transporte de carga a través de la viga con las siguientes características (ver anexo A):

- Voltaje de operación: *220/440 V* (voltaje necesario para el motor del carro transportador).
- Capacidad: *1000 Kg* (capacidad de carga de cada polipasto).
- Motor de elevación: *1.5 KW* (potencia de trabajo del motor del polipasto).
- Velocidad de elevación: *7.96 m/min* (velocidad del elevación del polipasto).
- Izaje: *4 m* (altura de elevación del polipasto).

### 3.22 Diseño y selección del perfil de la viga

Teniendo en cuenta los datos principales del puente grúa se tiene que la longitud de la viga será de 6 metros de un apoyo al otro; el peso para la cual será diseñada será para 250 Kg por cada polipasto, es decir que estarán trabajando dos polipastos al tiempo a lo largo de la viga.

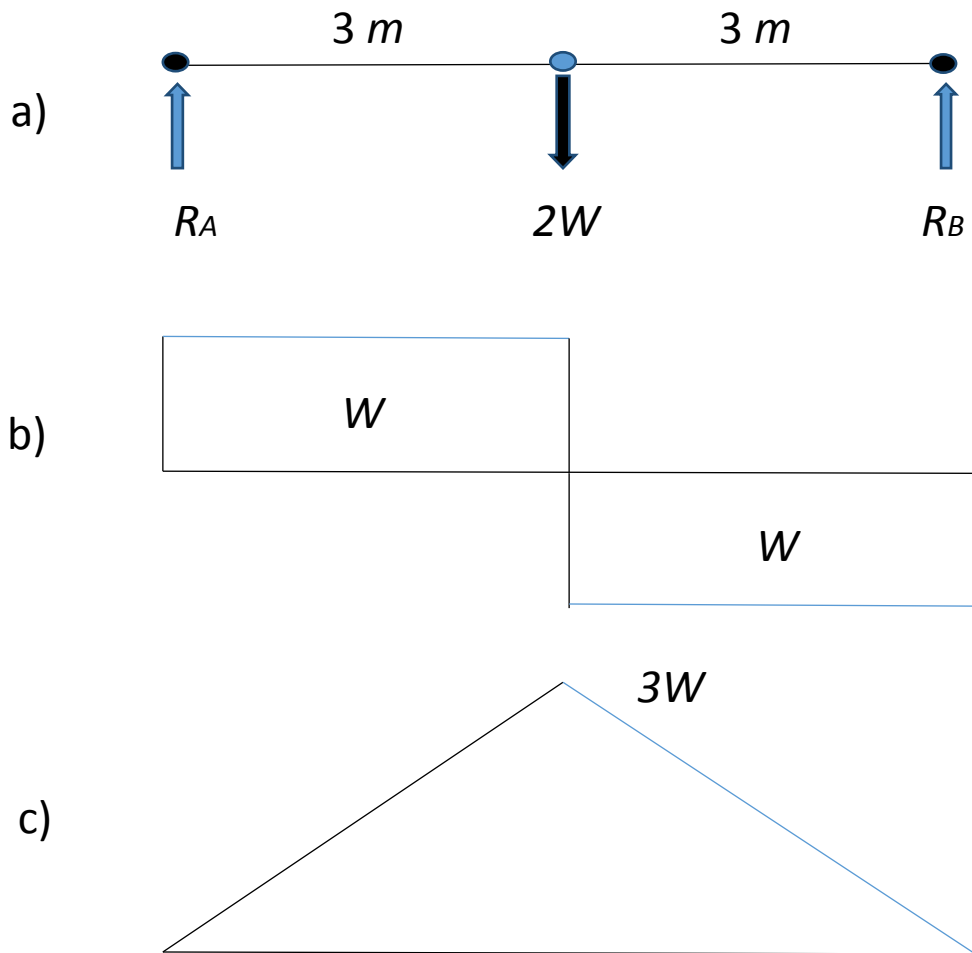
Para el diseño de la viga lo primero que hay que hacer es realizar el debido planteamiento de la estática con sus debidas cargas y reacciones para posteriormente hallar el valor de estas. Para esto se deben ubicar las cargas en la posición donde podrían ser estas más críticas, es decir, donde los valores de las reacciones sean máximos, en este caso hablaremos del momento máximo que se sentirá en algún punto de la viga. El par o momento flector se define como la acción que tiene una fuerza a lo largo de un radio o distancia con respecto a un punto [15].

Donde  $M$  es el momento flector,  $F$  es la fuerza y  $d$  es la distancia o radio con respecto algún punto de referencia. Si tenemos en cuenta que la fuerza permanecerá constante a lo largo del trayecto, podemos deducir que la magnitud del momento flector solo se verá afecta por el valor de la distancia, es decir a mayor distancia tendremos un momento mayor, o de modo contrario si la distancia es mínima también el momento lo será. Teniendo esto como referencia para la ubicación de la carga, para el diseño la ubicación de la carga estará en el punto en el que se encuentre con mayor distancia de ambos apoyos [15], [16], [11], [12].

Se considera que la ubicación donde las cargas serán más críticas es en la mitad de la viga, por lo tanto la carga que en este caso llamaremos  $W$  para cada polipasto será  $W = 250 \text{ Kg} \times 9.81 \text{ m/s}$ , los apoyos estarán ubicados a 3 metros de la ubicación de la carga.

En la figura 5a) se muestra la estática presente en la viga para determinar las respectivas reacciones. Las reacciones de cada uno de los apoyos son  $R_a$  y  $R_b$  respectivamente, estas reacciones son debido a la fuerza ejercida, es decir una fuerza contraria a la carga de ambos polipastos, los cuales se han ubicado en el medio para determinar el momento máximo. Las magnitudes de las reacciones serán iguales, como se puede observar en la figura, las reacciones están ubicadas simétricamente con respecto al punto donde se encuentra la carga, esto hace que sean de igual magnitud. Otro resultado al ser simétrico el análisis, hace que las reacciones sean de igual magnitud al peso de cada polipasto, es decir, la mitad de la carga total en el medio que es producto de los dos polipastos es igual a cada reacción, como se puede observar en la figura 1b), [15], [16], [11], [12] por lo tanto:

$$R_A = R_B = W$$



5) Diagrama de cortante y momento máximo en la viga.  
Fuente autor.

Teniendo los valores de las reacciones, lo siguiente es hallar el momento máximo, lo cual se determina con el valor de la carga en el medio, en este caso sería  $2W$ , el momento máximo  $M$  sería, el producto de la mitad de la carga con respecto a la distancia que mantiene esta hasta el apoyo, por lo tanto sería,  $M = 3W$  como se observa en la figura 5c); las magnitudes serían las siguientes:

$$2W = 2 * 250 \text{ Kg} * 9.81 \text{ m/s} = 4.905 \text{ KN}$$

$$3W = M = 3 * 250 \text{ Kg} * 9.81 \text{ m/s} = 7.36 \text{ KN-m}$$

Una vez hallado el momento máximo el siguiente paso es el de encontrar el módulo de sección de la viga para posteriormente seleccionar el perfil más adecuado para esta [15], [16], [11], [17].

El módulo de sección es una propiedad dependiente de la geometría que establece las dimensiones de la viga, se le conoce con la letra S. Para hallar el módulo de sección de la viga es necesario conocer el material que se va a usar y además definir algún factor de seguridad. Para el diseño se usara el acero A-36, conocido como acero estructural, que es de fácil acceso y además es uno de los más usados en construcción. El acero A-36 cuenta con un límite de fluencia de 250MPa [18].

#### Datos de propiedades del acero ASTM A36

Propiedad	Valor	Unidades
Densidad	7850	Kg/m <sup>3</sup>
Límite de fluencia	32-36 (250-280)	Ksi (Mpa)
Resistencia a la tensión	58-80 (400-550)	Ksi (Mpa)
Módulo de elasticidad	29000	Ksi
% de elongación mínimo	20 (8'')	%
Punto de fusión	1538	°C

#### 6) Propiedades del acero ASTM A36.

Tomado de Ciencias de materiales, selección y diseño, de Pat L Mangonon.

Cuando un factor de seguridad es de 1, quiere decir que se igualan las condiciones del esfuerzo de falla (la fluencia del material) con respecto al esfuerzo permisible. Generalmente el factor de seguridad es criterio del diseñador, en algunos casos es dictado por ciertas normas de seguridad. Se tendrá en cuenta un factor de seguridad de 2, lo cual quiere decir que el esfuerzo permisible estará por la mitad con respecto al esfuerzo real del material, en este caso el esfuerzo de fluencia [12], [19].

- $\sigma = \frac{M}{S}$
- $\eta = \frac{S_y}{\sigma}$
- $M = 7.36 \text{ KN}$
- $S_y = 250 \text{ MPa}$
- $\eta = 2$

De lo anterior podemos hallar el módulo de sección de la viga S, que da como resultado:

$$S = 5.889 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

Luego de tener el módulo de sección el siguiente paso es seleccionar de un catálogo el modulo que mejor se ajuste. En este caso el catalogo pertenece a la empresa de aceros Steckerl (ver anexo B), como se puede observar (ver anexo); el módulo de rigidez disponible por la empresa que más se ajusta es  $S = 139 \text{ cm}^3$ , el peso del acero por cada metro de longitud es  $P = 23.81 \text{ kg/m}$ .

Una vez seleccionado el módulo de sección directamente del catálogo el siguiente paso es recalculer nuevamente junto con el peso de la viga y verificar que se cumpla el factor de seguridad propuesto.

En la figura N.7 se puede observar nuevamente la estática de la viga incluyendo esta vez el peso de la misma. También se puede observar, como era de esperarse, un incremento en las reacciones de los apoyos y así mismo en el momento máximo de la viga.

$$R_A = R_B = 3.16 \text{ KN}$$

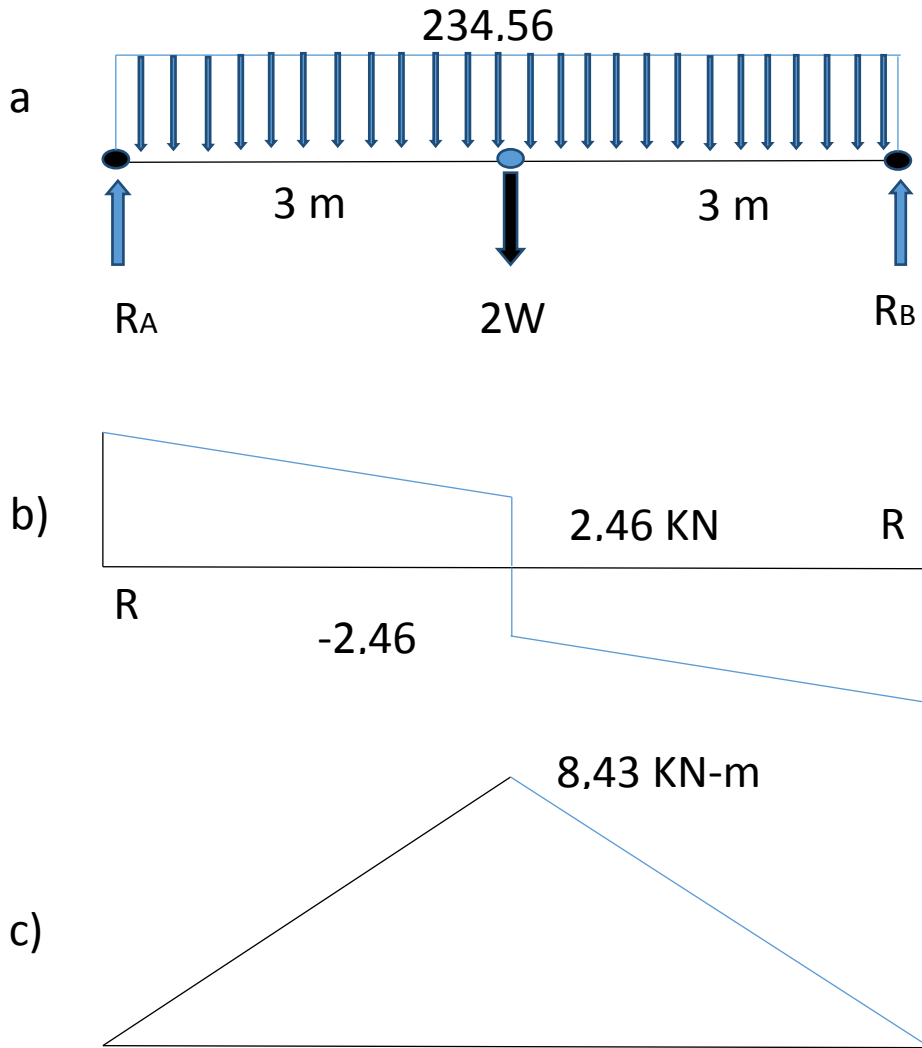
$$M = 8.43 \text{ KN-m}$$

Reemplazando tenemos:

$$\sigma = \frac{8.43 \text{ KN-m}}{1.39 \times 10^{-4} \text{ m}^3} = 60.647 \text{ MPa}$$

$$\eta = \frac{250 \text{ MPa}}{60.647 \text{ MPa}} = 4.14$$

Como se puede observar el perfil de viga cumple con la condición de factor de seguridad.



7) Diagrama de cortante y momento máximo en la viga.  
Fuente autor.

El siguiente paso a seguir es verificar la deflexión máxima que se presenta en la viga, teniendo en cuenta los valores máximos permitidos por las normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras metálicas con respecto a las flechas máximas permitidas en vigas de acero. A continuación en la figura N.8 se puede ver una tabla de los valores máximos permitidos de las normas técnicas complementarias con respecto a las flechas máximas [20].

**Desplazamientos máximos permisibles en  
trabes carril y edificios que soportan grúas**

Elemento	Carga	Desplazamiento máximo
<b>Desplazamientos verticales</b>		
Trabe carril		
Grúa colgada o monorriel, clase A, B o C.	Carga vertical de la grúa (sin impacto)	$L/450^1$
Grúa de puente		
Clase A, B o C	Carga vertical de la grúa (sin impacto)	$L/600^1$
Clase D		$L/800^1$
Clase E		$L/1000^1$

- 8) Desplazamientos máximos permisibles en trabes carril y edificios que soportan grúas.  
Tomado de Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras metálicas.

En la imagen se puede observar que el desplazamiento máximo permitido está influenciado por el tipo de servicio que este presta con respecto a la carga. Donde L es el largo del carril [20].

Servicio	Mantenimiento	Ligero	Mediano	Pesado	Cíclico
Clase	A	B	C	D	E

La deflexión presente en la viga se da de la siguiente manera:

$$\delta = \frac{PL^3}{48EI} + \frac{5qL^4}{384EI} \quad [1]$$

Donde:

$\delta$  = Deformación máxima

$P$  = Carga en la mitad de la viga =  $4.91 \times 10^3 \text{ N}$

$L$  = Longitud de la viga =  $6 \text{ m}$

$E$  = Modulo de elasticidad acero A36 =  $200 \times 10^9 \text{ MPa}$

$I$  = Momento de inercia de la viga, según catalogo Steckerl =  $8.86 \times 10^{-6} \text{ m}^4$

De acuerdo a lo anterior se tiene que la deformación es:

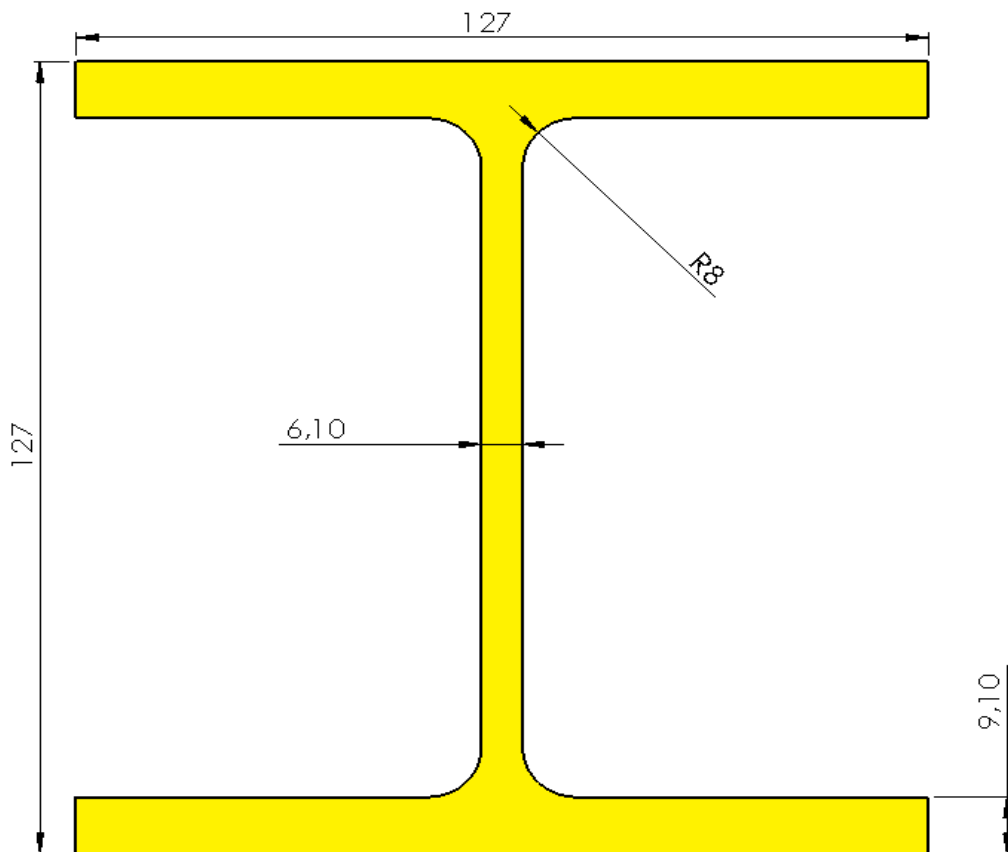
$$\delta = 0.0147 \text{ m}$$

De acuerdo con la figura N.8 y teniendo en cuenta un puente grúa o monorraíl de clase A, B o C se tiene que:

$$L/450 = 0.0130 \text{ m [15]}$$

Como se puede ver se está presentando una deformación de 1.7 mm mayor que la permitida, por lo tanto la viga por sí sola no está cumpliendo la condición de flecha máxima permitida, por esto la solución que se le dio a este problema fue la de anclar tres perfiles en ángulo a la viga para evitar que la deformación supere el valor permitido.

El perfil de viga según el catalogo steckerl es perfil H americano de ala ancha o WF, las unidades están en milímetros, como se puede observar en la figura N.9.



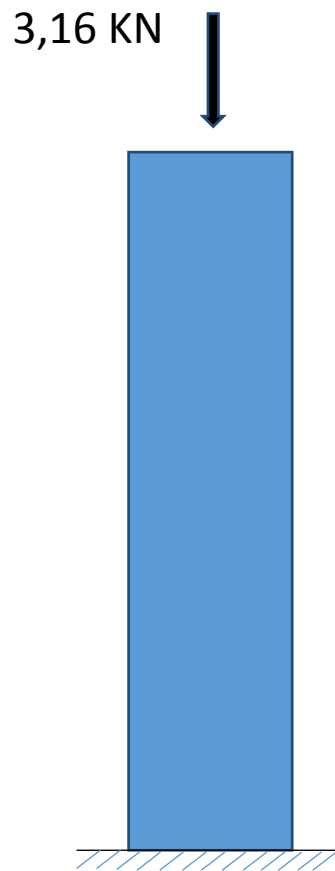
9) Dimensiones del perfil de la viga.

Fuente autor.

### 3.23 Diseño y selección del perfil de la columna de apoyo

Ya teniendo seleccionado el perfil de viga y previamente haber realizado la estática para determinar las reacciones correspondientes en los apoyos, el siguiente paso es el de determinar y seleccionar el perfil de la columna del catálogo de steckerl.

A continuación se puede observar en la figura N.10 el DCL (diagrama de cuerpo libre) de la columna donde se presenta la estática de esta para poder realizar el debido análisis.



10) Diagrama de cuerpo libre de la columna.  
Fuente autor.

Para el diseño de la columna, se tiene en cuenta la reacción presente en los apoyos de la viga analizada anteriormente, ya que en estos apoyos se encuentran ubicadas las columnas, por lo tanto las columnas son las encargadas de ejercer la reacción en cada uno de los apoyos. Se tomará entonces la magnitud de la reacción dada anteriormente, la cual pertenece a  $R_a=R_b$  y estará ubicada sobre la columna como se puede observar en la imagen. Para el análisis de columnas se tiene en cuenta que existen dos tipos de columnas, columnas largas y columnas cortas [15].



11) Empotramiento de la columna.  
Fuente autor.

El tipo de columna viene dictado por la relación de esbeltez de la misma, la cual compara su longitud con respecto a su radio de giro. La relación de esbeltez viene dada por la siguiente fórmula:

$$\frac{L}{rg} = \frac{L}{\left(\frac{I}{A}\right)^{1/2}} \quad [12]$$

Donde:

$rg$ = radio de giro

$L$ = longitud

$I$ = momento de inercia

$A$ = área

Existe una fórmula para cada tipo de columna, generalmente se aplica la fórmula de Euler para columnas largas y la fórmulas de Johnson para columnas cortas. Las cuales son:

Euler: 
$$nPcr = \frac{\pi EI}{(2L)^2} \quad [12]$$

Johnson: 
$$nPcr = ASy\left\{1 - \frac{Sy\left(\frac{2L}{r}\right)^2}{4\pi^2 E}\right\} \quad [12]$$

Dónde:

$\eta =$  Factor de diseño = 5

$R_a = R_b = P_{cr} =$  Valor de la carga crítica = 3.16 KN

$E =$  Módulo de elasticidad = 250 MPa

$L =$  Longitud de la columna = 4 m

$I =$  Momento de inercia

El primer paso a seguir es realizar el análisis como si fuera una columna larga, es decir, una columna de Euler, para lo cual se halla el valor del momento de inercia para ese tipo de columna, puesto que ya tenemos todos los datos, lo siguiente es hallar el momento de inercia de la columna [15].

Reemplazando en la ecuación de Euler tenemos el siguiente valor para el momento de inercia:

$$I = 1.61 \times 10^{-6} \text{ m}^4$$

Habiendo hallado el momento de inercia, se pasa a la selección del perfil en el catálogo de steckerl, el perfil más disponible en el catálogo y que mejor se ajusta a las condiciones es el mismo usado para la viga, debido a que su momento de inercia está muy por encima del calculado, siendo el valor del momento de inercia y del radio de giro en el catálogo los siguientes:

$$I = 3.11 \times 10^{-6} \text{ m}^4$$

$r_g =$  Radio de giro = 0.032 m

Teniendo el radio de giro lo siguiente es hallar la relación de esbeltez que presenta la columna, la longitud de la columna se multiplica por 2 al ser una columna empotrada como lo muestra la figura N.11;

$$\frac{L}{r_g} = \frac{2 \times 4}{0.032} = 250, \text{ relación de esbeltez}$$

Aplicando la fórmula tenemos que la relación es 250, ya teniendo este valor, el siguiente paso es comparar esta relación con la relación del material dada por las propiedades del material, que viene dada por la siguiente ecuación, donde:

$E =$  módulo de elasticidad

$S_y =$  Límite de fluencia, acero A-36

$$\left(\frac{2\pi^2 E}{S_y}\right)^{1/2} = 125.66 \text{ [15]}$$

Como podemos ver la relación de esbeltez propuesta por la ecuación de Euler es mayor que la relación que ofrece el material, por lo tanto si cumple con la condición propuesta de una columna Euler. Como conclusión la viga y las columnas usarán el mismo tipo de perfil en la estructura.



12) unión entre la viga, la columna y el ángulo de refuerzo.  
Fuente autor.

En la imagen N.12 podemos observar como fue el resultado final con respecto al diseño de la columna y la viga, además se puede observar el refuerzo del ángulo para evitar la deflexión en la viga.

### 3.3 Selección del motor de centrifugado

El centrifugado es el proceso en el cual se retira el material sobrante para que las piezas en su acabado no queden con exceso de material, por lo tanto el centrifugado se convierte en parte clave del galvanizado para dar un buen acabado a las piezas.

La velocidad del motor se mide en revoluciones por minuto (rpm) y juegan un papel importante, ya que existe una relación entre el espesor de las piezas (acabado final) y la velocidad a la cual estas se centrifugan, generalmente se sugiere que para las rpm su valor debe estar entre 750 rpm para que las piezas tenga un buena acabado, esto hablando de piezas pequeñas como lo son tornillos, arandelas, etc. La sobrecarga en las canastas extiende los tiempos de inmersión de estas, por lo tanto el peso de estas oscilan entre los 20 y 30 Kg, con alrededor de 30 a 35 canastas por hora. Al momento del centrifugado debe realizarse con una rápida aceleración alcanzando las 750 rpm en un rango de 2 a 3 segundos, este ciclo es esencial para revestimientos de buena calidad. La velocidad de rotación tiene menos importancia que el efecto que produce al momento de sacudirse, esto quiere decir, que la mayor parte del exceso de zinc se elimina dentro de los primero pocos segundos de rotación y se gana poco cuando la centrifugación se hace por periodos largos [21].

En cuanto al montaje, el motor va sostenido por el polipasto que cuelga del puente grúa, para que el motor sea quien sostenga las canastas que van a llevar las piezas en el recorrido y también las centrifugue. Debido a esto se debe instalar una especie de cilindro para que el gancho proveniente del polipasto pueda agarrar de forma segura el motor.

Es de esperar que al momento del centrifugado las canastas arrojaran material de zinc a todo su alrededor haciendo insegura esa zona, por lo tanto se hace necesario el diseño e instalación de una campana que proteja su alrededor de este desprendimiento de material.

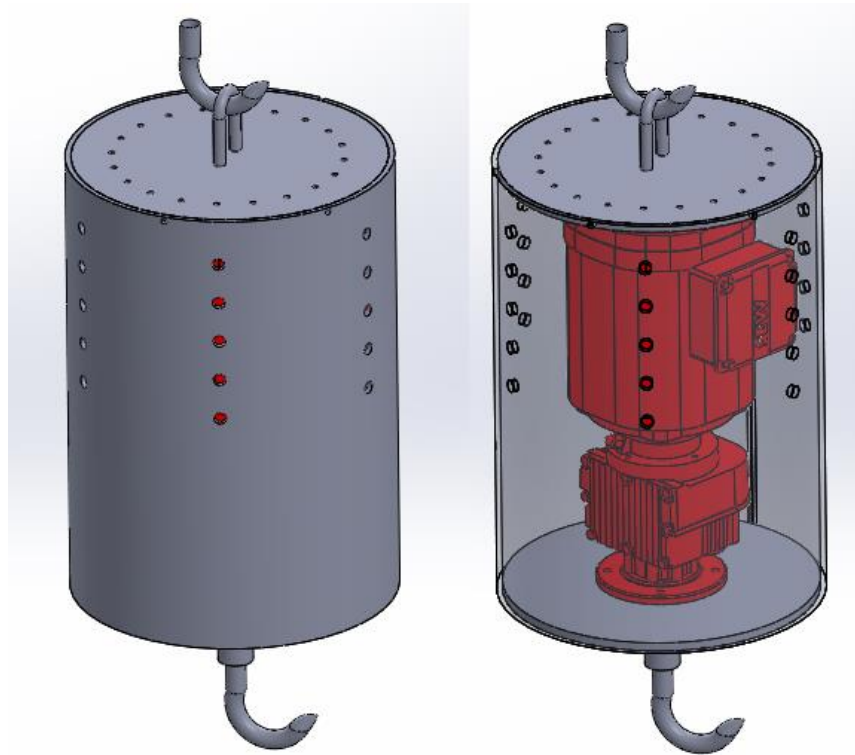
Teniendo en cuenta lo anterior, se contactó con la empresa Sew Eurodrive para la debida selección del motor. Teniendo en cuenta la condición de las rpm, por consiguiente un par de salida relativamente bajo, con base en esto se adquirió un motor con las siguientes características (ver anexo C):

Descripción de la unidad: helical geared motor

Velocidad de entrada/salida: 3440/806

Par de salida: 36 Nm

Ya teniendo el motor, se tienen las medidas de este, en especial las de su superficie para poder hacer el diseño del cilindro que envolverá el motor, para esto se hizo un modelado del cilindro en Solid Works para visualizar y proyectar de mejor manera la idea planteada. A continuación en la imagen N.13 se puede observar la modelación.



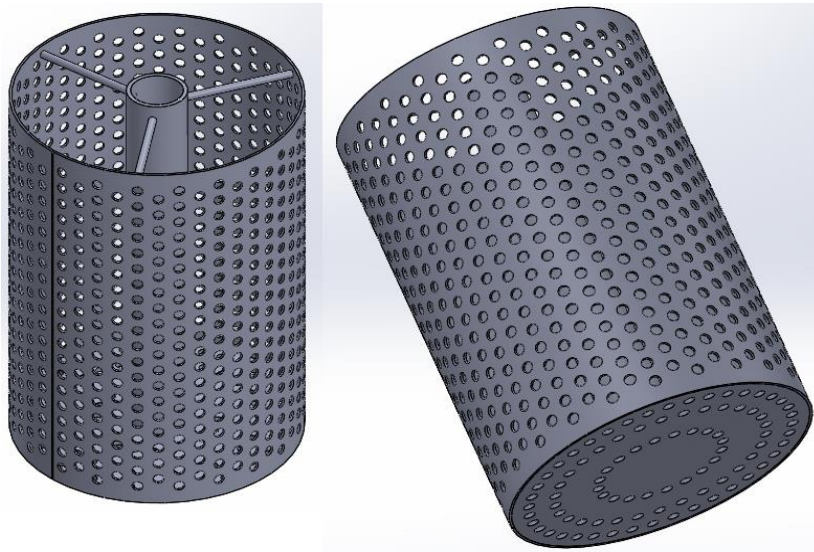
13) Diseño en Solid Works del motor de centrifugado junto con el cilindro que lo envuelve.  
Fuente autor.

Como se puede observar el cilindro lleva consigo unos agujeros que sirven de respiradero para poder refrigerar el motor y evitar que se recaliente mientras trabaja. La lámina del cilindro se decidió hacer en acero A-36, como se pudo observar en la imagen N.6, el acero estructural cuenta con un punto de fusión alto, 1538°C, “[acero A-36, ASTM], al estar el punto de fusión muy por encima de la temperatura de trabajo de la planta lo hace apto para el proceso, puesto que no presentara deformaciones por la temperatura de trabajo del proceso de galvanizado, con un calibre de ¼ in.

### 3.4 Diseño de las canastillas de transporte

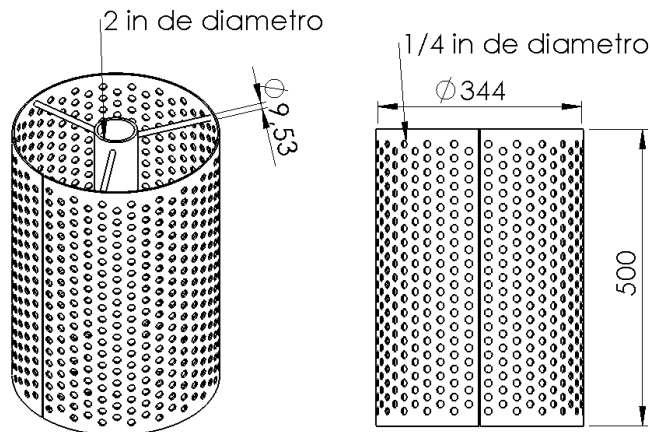
La función de la canasta básicamente es transportar las piezas en el recorrido, pero también debe garantizar que no se acumule material y que las piezas estén seguras en el momento del centrifugado. La canasta junto con las piezas se sumerge en el baño de zinc, por lo tanto estará sometida a una temperatura por encima de los 400 grados Celsius, esto quiere decir que el material de la canasta debe tener un punto de fusión alto para que este no se deforme por la temperatura de trabajo, para este caso se decidió optar también por el acero A36 que cumple con estas características para poder garantizar la estructura de la canasta. [1] [21]

En la imagen N.14 se puede observar el modelamiento de la canastilla que se implementó para el transporte de las piezas.



14) Diseño en Solid Works de las canastas de transporte.

Fuente autor.

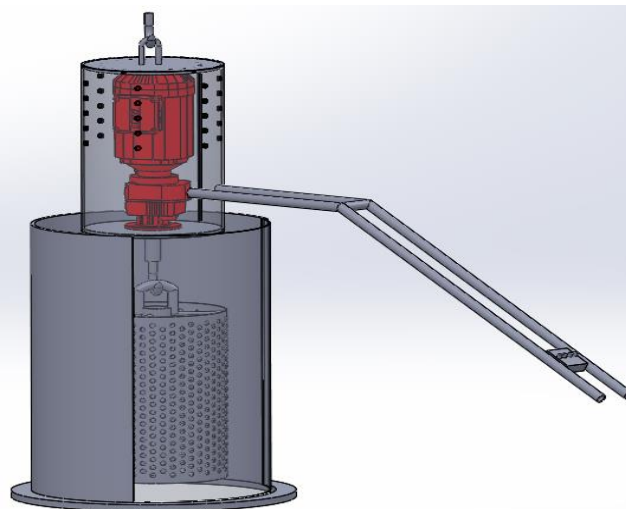


15) Medidas de la canasta de galvanizado.

Fuente autor.

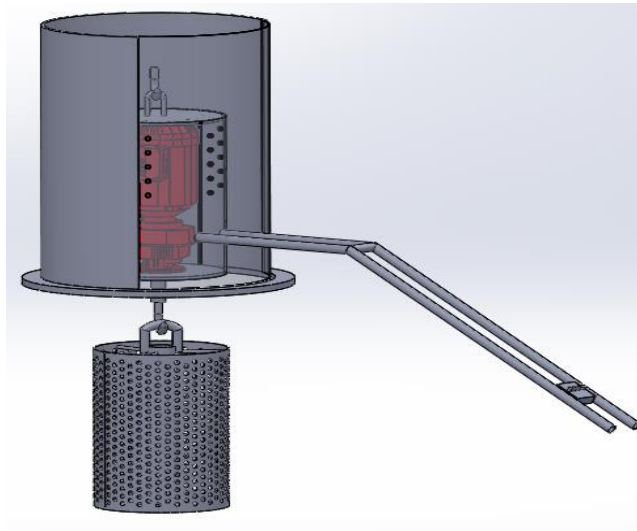
Como se puede ver en la imagen N.15, la canasta lleva en su alrededor agujeros lo cual permite desalojar gran parte del material restante que queda acumulado en el interior de la canasta. Por recomendaciones de algunas otras empresas que trabajan con este tipo de canastas en galvanizado, la cantidad de agujeros corresponde al 30% del volumen total de la canasta, permitiendo mantener estable la estructura de esta. En la imagen 16 se puede observar las medidas del diseño de la canasta, las cuales fueron determinadas por el espacio interno del crisol. [21]

En la imagen N.16 y N.17 se puede observar el diseño completo del sistema de centrifugado, donde se encuentra el cilindro que lo envuelve, la campana, la canasta y el manubrio del operador.



16) Diseño final del sistema de centrifugado.

Fuente autor.



17) Diseño final del sistema de centrifugado.

Fuente autor.

En las imágenes 16 y 17, la base donde se apoya la campana, es la parte del crisol donde se dará el baño de zinc a la canasta junto con las piezas a galvanizar. El manubrio se diseñó de tal manera que el operario mantuviera cierta distancia para evitar la alta temperatura que se maneja en el proceso manteniendo su seguridad.

Como se observa en la imagen 16 la canasta aún no ha ingresado al baño zinc dentro del crisol, posteriormente se introduce la canasta en el crisol para el baño de zinc como se puede observar en la imagen 17 y luego retornar al momento de la imagen 15 para el proceso de centrifugado.

#### **4 CONCLUSIONES**

- Se diseñó un perfil de viga, H americano, con designación WF 5 X 16, para soportar 500Kg en el proceso de galvanizado.
- También se diseñó un perfil de columna WF 5 X 16, para apoyar la viga con 500 Kg de carga.
- El motorreductor de centrifugado es de 3KW de potencia y 806 rpm de salida.
- La canasta para las piezas es 500 mm de altura y su diámetro de 344 mm.

## 5 RECOMENDACIONES

- Se recomienda no exceder una carga de 250 Kg, para mantener el valor de seguridad planteado evitando un mal funcionamiento o inestabilidad en la estructura.
- Tener y seguir rigurosamente normativa con respecto a la seguridad industrial para el proceso de galvanizado.
- Limpiar constantemente la campana y el cilindro que envuelve el motor, para evitar acumulación de material evitando un mal funcionamiento.
- Realizar el debido mantenimiento a cada uno de los equipos involucrados en el proceso de galvanizado.

## 6 BIBLIOGRAFIA

1. Groover, Mikell P. Fundamentos de manufactura moderna: Materiales, procesos y sistemas. 1ª ed. Mexico: Prentice Hall Hispanoamericana S.A; 1997.
2. Cases, M. Valarcel., Hens A. Gómez. Técnicas analíticas de separación. 1ª ed. Barcelona: Reverte; 1998.
3. González, José A. Teoría y práctica de la lucha contra la corrosión. 1ª ed. Madrid: Consejo superior de investigadores científicas; 1984.
4. Ministerio de industria y energía. Manual media: minimización económica del impacto ambiental; 1995.
5. Blount Estefania., Clarimon Luis., Cortez Ana., Riechmann Jorge., Romano Dolores. Industria como naturaleza. 1ª ed. Madrid: Catarata; 2003.
6. Sanchez, Jose M., Pizarro, Nuria., Palomino, Antonio E., González, Juana M. Seguridad en el trabajo. 3ª ed. Madrid: Fundación Confemetal; 2007.
7. Empresa para la gestión de residuos industriales. Aplicaciones del manual media a sectores industriales: sector tratamiento de superficies. Madrid; 1999.
8. Larrodé, Emilio., Miravete, Antonio. Grúas; 1ª ed. Reverte; 1996.
9. Azcuénaga, Luis Mª. Manejo de cargas. Riesgos y medidas preventivas. 1ª ed. Madrid: Fundación Confemetal; 2007.
10. González, Antonio J. Manipulación de cargas con puentes-grúa y polipastos. 1ª ed. IC Editorial; 2014.
11. Mott, Robert L. Diseño de elementos de máquinas. 4ª ed. Mexico: Pearson Educacion; 2006.
12. Hibbeler, R. C. Mecánica de materiales; 6ª ed. Mexico: Pearson Educación; 2006.
13. DeGarmo, Paul E., Black, Temple J., Kohser, Ronald A. Materiales y procesos de fabricación. 2ª ed. Barcelona: Reverte; 1994.
14. Recubrimiento de zinc por inmersión en caliente para elementos en hierro y acero. NTC 2076
15. Gere, James G., Goodno, Barry J. Mecánica para materiales; 7ª ed. México: Cengage Learning; 2009.
16. Budynas, Richard G., Nisbett, Keith J. Diseño en ingeniería mecánica de Shigley; 8ª ed. Mexico: McGraw-Hill; 2008.
17. McCormac, Jack C. Diseño de estructuras de acero; 2ª ed. Alfaomega; 2002.
18. Mangonon, L Pat., De la Torre, A. Ciencias de materiales: selección y diseño. 1ª ed. Pearson Educación; 2001.

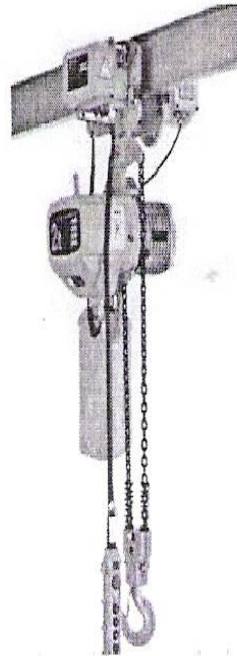
19. Marin, Juan M. Apuntes de diseño de máquinas; 2ª ed. San Vicente: Club Universitario; 2008.
20. Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras metálicas.
21. Hot dip galvanizers association. Hot dip galvanizing of nuts and bolts; ISO 1461:2009 and ISO 100684:2004

## 8 ANEXOS

### Anexo A

#### Especificaciones del polipasto

1	2	POLIPASTO ELECTRICO GIRAVAN CON TROLLEY	\$ 4,700,000	\$ 9,400,000
		MARCA	GIRAVAN by DAEWOO	
		FABRICACION	KOREANA	
		TIPO	POLIPASTO ELECTRICO DE CADENA	
		REFERENCIA	GT-S100	
		VOLTAJE OPERACIÓN	220/440 V	
		CAPACIDAD	1000 Kg	
		MOTOR ELEVACION	1.5 Kw	
		VELOCIDAD ELEVACION	7,96 m/min	
		TIPO DE TRABAJO	Según ISO=M5	
		GUARDA CADENA	SI	
		IZAJE	4 m	
		SENSORES	SUBIR Y BAJAR	
		DETECTOR DE FASE	SI	
		PROTECCION	IP 55	
		<b>INCLUYE</b>	Limitador de carga electronico mediante sensor de peso Aislamiento clase F en el motor Proteccion contra sobrecalentamiento en el motor. Botonera de Control con 4 pulsadores + Stop de emergencia	



## Anexo B

### Perfiles en H americano.

Tomado de catálogo steckerl.

PERFIL H AMERICANO DE ALA ANCHA - WF																			
PERFILES WF		DIMENSIONES Y PROPIEDADES PARA EL DISEÑO																	
DESIGNACION	ALTURA		DIMENSIONES ALA			DISTANCIAS		AREA	PESO	PROPIEDADES ELASTICAS						MODULO PLASTICO		CONS TORS	
	h	s	b	t	r	c	d			EJE X-X			EJE Y-Y			Zx	Zy		Jt
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm <sup>2</sup>	kg/mt	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>4</sup>	
WF 4 X 13	102.00	6.50	100.00	9.40	6.00	83.20	71.20	24.50	19.35	441.00	86.40	4.24	157.00	31.40	2.53	99.50	48.00	6.90	
WF 4 X 13.8	102.00	8.00	102.00	9.40	6.00	83.20	71.20	26.10	20.54	456.00	89.40	4.18	167.00	32.70	2.53	104.00	50.40	8.13	
WF 4 X 16.3	107.00	7.90	100.00	12.00	6.00	83.00	71.00	30.90	24.26	587.00	110.00	4.36	200.00	40.10	2.55	129.00	61.50	13.70	
WF 5 X 16	127.00	6.10	127.00	9.10	8.00	108.80	92.80	30.30	23.81	886.00	139.00	5.41	311.00	49.00	3.20	157.00	74.70	8.10	
WF 5 X 19	131.00	6.90	128.00	10.90	8.00	109.00	93.20	36.00	28.28	1.099.00	168.00	5.53	381.00	59.60	3.26	191.00	90.90	13.40	
WF 6 X 9	150.00	4.30	100.00	5.50	6.00	139.00	127.00	17.30	13.50	685.50	91.40	6.29	91.80	18.36	2.30	102.40	28.26	1.74	
WF 6 X 12	153.00	5.80	102.00	7.10	6.00	138.40	126.40	22.90	18.00	915.90	122.10	6.33	125.90	25.37	2.36	138.60	39.29	3.86	
WF 6 X 16	160.00	6.60	102.00	10.30	6.00	139.40	127.40	30.60	24.00	1.342.00	167.80	6.63	182.60	35.80	2.45	191.50	55.24	9.35	
WF 6 X 15	152.00	5.80	152.00	6.60	6.00	138.80	126.80	28.40	22.32	1.205.00	159.00	6.51	387.00	50.90	3.69	176.00	77.50	4.31	
WF 6 X 20	157.00	6.60	153.00	9.30	6.00	138.40	126.40	37.90	29.76	1.714.00	218.00	6.73	556.00	72.60	3.83	244.00	111.00	10.20	
WF 6 X 25	162.00	8.10	154.00	11.60	6.00	138.80	126.80	47.30	37.20	2.219.00	274.00	6.85	707.00	91.80	3.87	310.00	140.00	19.50	
WF 8 X 10	200.00	4.30	100.00	5.20	8.00	189.60	173.60	19.10	15.00	1.280.00	128.00	8.18	86.89	17.38	2.13	145.20	27.10	1.93	
WF 8 X 13	203.00	5.80	102.00	6.50	8.00	190.00	174.00	24.80	19.30	1.662.00	163.70	8.17	115.40	22.63	2.15	188.10	35.69	3.99	
WF 8 X 15	206.00	6.20	102.00	8.00	8.00	190.00	174.00	28.60	22.50	2.004.00	194.50	8.36	142.00	27.85	2.22	222.80	43.72	5.97	
WF 8 X 14	203.00	5.00	133.00	6.40	8.00	190.20	174.20	27.08	21.00	1.980.00	195.10	8.55	251.30	37.78	3.05	217.70	58.03	3.74	
WF 8 X 18	207.00	5.80	133.00	8.40	8.00	190.20	174.20	33.90	26.79	2.585.00	250.00	8.73	330.00	49.60	3.12	279.00	76.20	7.31	
WF 8 X 21	210.00	6.40	134.00	10.20	8.00	189.60	173.60	40.00	31.25	3.124.00	299.00	8.86	410.00	61.10	3.20	336.00	93.80	12.10	
WF 8 X 24	201.00	6.20	165.00	10.20	10.00	180.60	160.60	45.70	35.72	3.437.00	342.00	8.67	764.00	92.60	4.09	379.00	141.00	14.50	
WF 8 X 28	205.00	7.20	166.00	11.80	10.00	181.40	161.40	53.10	41.67	4.086.00	399.00	8.77	900.00	108.00	4.12	445.00	165.00	22.30	

Anexo C

Especificaciones del motor para centrifugado

Item	Material	Cant.	Descripción	Ctg.	Precio Unitario	Precio Total
01	SEW	1	RF27 DRS100M2/LN i=4.27	ZQ COP	1.464.000	1.464.000

VIGENCIA DE LA COTIZACION DE 15 DIAS.

Número de Serie	58.0245902001.0001.14
Descripción de la unidad	HELICAL GEARED MOTOR
Denominación de catálogo	RF27 DRS100M2/LN
Velocidad de Entrada/Salida	3440/806
Par de salida [Nm]	36
Posición de montaje / IM	M1
Factor de servicio A FB	2,40
Índice reducción total [I]	4,27
Protección de la superficie	-
Código de pintura	TOP COAT RAL7031 (BLUE GREY)
Peso [kg]	30,00
Categoría de desempeño	-
Ma max [Nm]	87
Eje de salida	25x50 mm
Brida	140 mm
Código/Viscosidad ISO	CLP 220
Cantidad de lubricante [l]	0,250
Tapón de salida de gases	Ninguno