

**UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA**



**“DISEÑO DE UN ELEVADOR COMO ALTERNATIVA DE MEJORA,  
PARA AGILIZAR EL PROCESO DE ALMACENAMIENTO Y  
DESPACHO DE BOLAS DE ACERO DE 7635mm, EN LA  
EMPRESA ACEROS CHILCA SAC”**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

Para optar el Título Profesional de

**INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICISTA**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER**

**URPAY TORRES, MARITZA MALU**

**Villa El Salvador**

**2017**

**DEDICATORIA:**

Dedico este trabajo mis padres y hermanos y a todas aquellas personas que formaron parte de mi vida universitaria y que han hecho posible que pueda desarrollarme y culminar con éxito mis estudios profesionales.

## **AGRADECIMIENTO**

A mis padres y mis maestros de la UNTELS por sus sabios consejos y aliento incondicional para obtener mi título profesional

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	8
<b>CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	
1.1. Descripción de la Realidad Problemática	11
1.2. Justificación del Proyecto	11
1.3. Delimitación del Proyecto	12
1.4. Formulación del Problema	12
1.5. Objetivos	12
1.5.1. Objetivo General	12
1.5.2. Objetivos Específicos	13
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO</b>	
2.1 Antecedentes de la Investigación	14
2.2 Bases Teóricas	17
2.3 Marco Conceptual	54
<b>CAPÍTULO III: DESCRIPCIÓN Y APLICACIÓN DE PLAN DE ENSAYOS</b>	
3.1 Descripción del Elevador de Bolas de Acero de 7635mm	59
3.2 Normas aplicables al proyecto	66
3.3 Cálculos de diseño del Elevador de Bolas de Acero de 7635mm	67
3.4 Revisión y Consolidación de resultados	80
<b>CONCLUSIONES</b>	84
<b>RECOMENDACIONES</b>	85
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	86

## LISTADO DE FIGURAS

- Figura N° 01: Esquema de una máquina para ensayos de tracción
- Figura N° 02: Curva de carga contra alargamiento
- Figura N° 03: Máquina Rockwell
- Figura N° 04: Esquema de la máquina Charpy para el ensayo de impacto
- Figura N° 05: Esquema del ensayo de doblado
- Figura N° 06: Acero al carbono SAE 1005
- Figura N° 07: Acero al carbono SAE 10100
- Figura N° 08: Banda de templabilidad
- Figura N° 09: Diagrama de revenido
- Figura N° 10: Dimensión general del elevador - Línea 1
- Figura N° 11: Características del elevador de acero de 7635mm
- Figura N° 12: Plano y característica del eje motriz del elevador de acero de  
7635mm
- Figura N° 13: Plano de ubicación yíi dimensiones de las chumaceras y Sprocket  
en el eje motriz
- Figura N° 14: Plano de la rueda y piñón
- Figura N° 15: Plano del sistema de transmisión
- Figura N° 16: Arreglo de la cantidad de bolas por espacio entre paletas
- Figura N° 17: Dimensionamiento de las paletas del elevador de bolas
- Figura N° 18: Dimensionamiento del Sprocket motriz
- Figura N° 19: Características del motorreductor seleccionado
- Figura N° 20: Coeficientes F1 y F2
- Figura N° 21: Factor de seguridad

Figura N° 22: Esquema de un Sprocket

Figura N° 23: Diagrama de cargas

Figura N° 24: Simulación de los diagramas de momentos en los ejes X - Z

Figura N° 25: Simulación de los diagramas de momentos en los ejes X-Y

Figura N° 26: Parámetros para la carga de rotura

## LISTADO DE TABLAS

- Tabla N° 01: Composición química
- Tabla N° 02: Propiedades típicas a temperatura ambiente sin endurecimiento
- Tabla N° 03: Propiedades típicas a temperatura ambiente con temple en aceite redondo de 25 MM
- Tabla N° 04: Propiedades típicas a temperatura ambiente con temple en agua – redondo de 25 MM
- Tabla N° 05: Tratamiento térmico
- Tabla N° 06: Torneado
- Tabla N° 07: Templado al agua y revenido
- Tabla N° 08: Composición química
- Tabla N° 09: Propiedades mecánicas
- Tabla N° 10: Propiedades mecánicas ASTM A325
- Tabla N° 11: Cálculo de la capacidad de carga del elevador

## INTRODUCCIÓN

El Perú en sus cuatro regiones naturales: mar, costa, andes y la amazonia, cuenta con recursos de minerales tales como el carbón, minerales metálicos, minerales no metálicos y es uno de los países con mayor producción en yacimientos de cobre, hierro, plomo, zinc, bismuto, fosfatos, manganeso de alta calidad; además de oro, plata, campos petroleros, gas natural y un potencial hidroeléctrico entre otros recursos naturales como para abastecer las necesidades de energía de todo el continente sudamericano.

El acero es considerado como el material o recurso más importante para diversas industrias: automotriz, aeronáutica, construcción naval (buques), construcción civil (aeropuertos, puentes, etc), maquinarias en general, herramientas de todo tipo, equipos hospitalarios, etc. Según el Ministerio de Energía y Minas, el Perú posee grandes yacimientos de hierro, materia prima para la elaboración de todo tipo de acero. En Marcona se estima la existencia de 10 millones de toneladas de fierro, en Apurímac 20 millones entre otros depósitos.

Como podemos apreciar, el potencial de nuestro país es increíble en lo que respecta a la fabricación de acero, porque contamos también, con yacimientos de carbón de coque y piedra caliza ( $\text{CO}_3\text{Ca}$ ) que son la materia o elementos básicos usados para la fabricación de acero.



Podemos decir que los últimos cien años, se han caracterizado por la masiva utilización del acero. El motivo principal está centrado en la enormidad de usos que se le puede dar, y la versatilidad de sus propiedades mecánicas.

Otra ventaja, es que algunas de estas propiedades pueden ser modificadas para ajustarse al destino final que se le quiera dar al producto. Dentro de las propiedades podemos mencionar las siguientes: ductibilidad, dureza, resistencia, maleabilidad y tenacidad.

Tomando como referencia lo dicho anteriormente, y teniendo en cuenta la necesidad de desarrollar estructuras que optimicen los procesos de la empresa Aceros Chilca S.A.C, es que presento a continuación los capítulos del proyecto de ingeniería.

En el Capítulo I, se describe el planteamiento del problema, que está basado en cómo desarrollar un elevador como alternativa de mejora para agilizar el proceso de almacenamiento y despacho de bolas de acero de 7635mm, en la empresa Aceros Chilca S.A.C.

En el Capítulo II, se describe el marco teórico en la cual se sustenta mi propuesta de solución, referente a las características del acero, clasificación y estándares asociados al diseño de estructuras.

Finalmente en el Capítulo III, se realiza la descripción del elevador de bolas de acero, para luego realizar el cálculo de diseño, para finalizar realizando una revisión y consolidación de resultados verificando el cumplimiento de estándares

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA**

La empresa Aceros Chilca S.A.C, hace unos meses atrás carecía de un sistema de almacenamiento y despacho de bolas de acero.

Otro punto importante a tener en cuenta, es que la empresa Aceros Chilca S.A.C. no contaba con un proceso automatizado de elevador de bolas de aceros, el cual implicaba demora en los procesos, lo mismo que hacía que se penetre una cantidad de apreciable de operarios para realizar el trabajo.

#### **1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO**

El proyecto de ingeniería se justifica en que a partir del desarrollo de un elevador se pretende agilizar el proceso de almacenamiento y despacho de bolas de acero de 7635mm, en la empresa Aceros Chilca S.A.C.

Así también este proyecto busca diseñar, construir y realizar el montaje de un elevador que cumpla con las condiciones establecidas por las normas, garantizando un óptimo proceso que reemplace esfuerzos innecesarios así como posibles lesiones del personal de planta con el fin de aprovechar mejor el recurso humano.

### **1.3 DELIMITACIÓN DEL PROYECTO**

#### **1.3.1 ESPACIAL**

El proyecto se desarrollará para la empresa Aceros Chilca, ubicado en Quebrada de Parca Lote Ref. ZI, Chilca - Cañete - Lima.

#### **1.3.2 TEMPORAL**

El proyecto de ingeniería comprende el periodo de Agosto de 2016 a Enero de 2017.

### **1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cómo desarrollar un elevador como alternativa de mejora para agilizar el proceso de almacenamiento y despacho de bolas de acero de 7635mm, en la empresa Aceros Chilca S.A.C.?

### **1.5 OBJETIVOS**

#### **1.5.1 OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar un elevador como alternativa de mejora para agilizar el proceso de almacenamiento y despacho de bolas de acero de 7635mm, en la empresa Aceros Chilca S.A.C.

### **1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Diseñar un elevador para agilizar el proceso de almacenamiento y despacho de bolas de acero de 7635mm, en la empresa Aceros Chilca S.A.C.
- Verificar si los parámetros de diseño del elevador propuesto se encuentran dentro de los valores estándares establecidos.
- Determinar si es posible desarrollar el elevador como alternativa de mejora para agilizar el proceso de almacenamiento y despacho de bolas de acero de 7635mm, en la empresa Aceros Chilca S.A.C.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **21. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN**

Torres (2010), en su tesis titulada “Diseño de un elevador automático para la línea #1 de producción de la C.A. Ron Santa Teresa”, para optar el Título de Ingeniero en Ingeniería Mecánica en la Universidad Simón Bolívar de Sartenejas, concluye que: “La factibilidad económica del proyecto es alta, permitiendo una recuperación de la inversión en aproximadamente 3 meses, únicamente tomando en cuenta la mano de obra directa en el actual proceso. La culminación de esta etapa de diseño da pie al comienzo de una etapa de fabricación de prototipos, y diseño del sistema de control de la máquina. Se recomienda a la empresa analizar la posibilidad de cambiar el modelo de paleta utilizado, manteniendo el formato americano, pero utilizando paletas que permitan la entrada de las uñas del montacargas por ambos lados, lo cual

puede simplificar el diseño del paletizador y traer ventajas en cuanto al transporte y almacenaje de mercancía”.<sup>1</sup>

Basurto (2013), en su tesis titulada “Diseño de Transportadores de Acero” para optar el Título de Ingeniero en Ingeniería Mecánica en la Escuela Superior Politécnica del Litoral de Guayaquil, concluye que: “El método de diseño planteado en esta tesis proporciona al ingeniero consideraciones de diseño necesarias para dimensionar y seleccionar los componentes de una transportador de acero tubular como: diámetro de la sección tubular y potencia del sistema. Los cálculos de la tensión y potencia de transportadores convencionales, pueden ser utilizados en el diseño de transportadores de acero tubulares, considerando los factores apropiados de corrección”.<sup>2</sup>

Puente (2010), en su tesis titulada “Diseño de Transportador de Carga” para optar el Grado de Maestro en Ciencias de Ingeniería Mecánica con especialidad de diseño mecánico en la Universidad Autónoma de Nueva León de Monterrey, concluye que: “El material más barato para construcción de ejes es el acero al carbono laminado en caliente, un acero ampliamente empleado en tales usos es el SAE 1045. Así mismo, estas barras regularmente precisan de un profundo mecanizado. Sin embargo, en el campo de la transmisión

---

<sup>1</sup>TORRES, C. (2010). Diseño de un elevador automático para la línea #1 de producción de la C.A. Ron Santa Teresa. (Tesis de Pre Grado). Universidad Simón Bolívar. Sartenejas, Venezuela.

<sup>2</sup>BASURTO, B. (2013). Diseño de Transportadores de Acero. (Tesis de Pre Grado). Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador.

general de potencia se utilizan barras estiradas en frío ya que la cantidad de mecanización necesaria es mínima.

El estirado en frío mejora las propiedades físicas; eleva los valores de resistencia de la tracción y el punto de fluencia. Cuando las condiciones de servicio son más severas, se utilizan aceros aleados tratados térmicamente, estos aceros son más tenaces, más dúctiles y soportan mejor los impactos o cargas repentinas, así como las cargas repetidas (alta resistencia a la fatiga)<sup>3</sup>.

Mott (2006), en su libro titulado “Diseño de elementos de máquinas”, señala que: “Cualquier máquina con ejes que giren en cojinetes de superficie plana debe tener piezas para dispositivos mecánicos. Esta clase de cojinetes se llaman chumaceras rectas o muñones, y debe haber una holgura pequeña, pero segura entre el eje y el cojinete, para permitir la rotación uniforme del eje. Pero la holgura no puede ser demasiado grande, porque si no el funcionamiento de la máquina parecerá demasiado tosco y áspero”.<sup>4</sup>

Harmsen (2005), en su libro titulado “Diseño de Estructuras” señala que: “El acero es una aleación de diversos elementos entre ellos: carbono, manganeso, silicio, cromo, níquel y vanadio. El carbono es el más importante y el que determina sus propiedades mecánicas. A mayor contenido de carbono,

---

<sup>3</sup>PUENTE, J. (2010). Diseño de Transportador de Carga. (Tesis de Pos Grado). Universidad Autónoma de Nueva León. Monterrey, México.

<sup>4</sup>MOTT, R. (2006). Diseño de Elementos de maquinas. México: PEARSON



contenido de carbono, la dureza, la resistencia a la tracción y el límite elástico aumentan. Por el contrario, disminuye la ductibilidad y la tenacidad.”<sup>5</sup>

Pascual (2011), en su libro titulado “Construcciones de Estructuras Metálicas” señala que: “La durabilidad de una estructura de acero es su capacidad para soportar, durante la vida útil para la que ha sido proyectada, las condiciones físicas y químicas a las que está expuesta, y que podrían llegar a provocar su degradación como consecuencia de efectos diferentes a las cargas y sollicitaciones consideradas en el análisis estructural. Una estrategia correcta para la durabilidad debe de tener en cuenta que en una estructura puede haber diferentes elementos estructurales sometidos a distintos tipos de ambiente”.<sup>6</sup>

## **22 BASES TEORICAS**

### **2.2.1 PROPIEDADES DE LOS ACEROS**

El Perú en sus cuatro regiones naturales: mar, costa, andes y la amazonia, cuentan con grandiosos recursos de minerales: carbón, minerales metálicos, minerales no metálicos y es uno de los países más ricos del mundo en: yacimientos de cobre, hierro, plomo, zinc, bismuto, fosfatos, manganeso de alta calidad; además de oro, plata, campos petroleros, gas natural y un potencial hidroeléctrico entre otros recursos naturales como para abastecer las

---

<sup>5</sup>HARMSSEN, T. (2005). Diseño de Estructuras. Lima, Perú: PUCP

<sup>6</sup>PASCUAL, B. (2011). Construcciones de Estructuras Metálicas. Alicante, España: ECU

necesidades de energía de todo el continente sudamericano. El acero es considerado como el material o recurso más importante para diversas industrias: automotriz, aeronáutica, construcción naval (buques), construcción civil (aeropuertos, puentes, etc), maquinarias en general, herramientas de todo tipo, equipos hospitalarios, etc.

Según el Ministerio de Energía y Minas, el Perú posee grandes yacimientos de hierro, materia prima para la elaboración de todo tipo de acero. En Marcona se estima la existencia de 10 millones de toneladas de fierro, en Apurímac 20 millones entre otros depósitos. Como podemos apreciar, el potencial de nuestro país es increíble en lo que respecta a la fabricación de acero, porque contamos también, con yacimientos de carbón de coque y piedra caliza ( $\text{CO}_3\text{Ca}$ ) que son la materia o elementos básicos usados para la fabricación de acero.

Podemos decir que los últimos cien años, se han caracterizado por la masiva utilización del acero. El motivo principal está centrado en la enormidad de usos que se le puede dar, y la versatilidad de sus propiedades mecánicas. Otra ventaja, es que algunas de estas propiedades pueden ser modificadas para ajustarse al destino final que se le quiera dar al producto. Dentro de las propiedades podemos mencionar las siguientes:

- **Ductilidad**

La ductilidad, se refiere a la capacidad del acero para deformarse, al soportar esfuerzos de tracción sin llegar a la rotura. En otros términos, un material es dúctil cuando la relación entre el alargamiento longitudinal producido por una atracción y la disminución de la sección transversal es muy elevada.

- **Dureza**

La dureza se define como la propiedad del acero a oponerse a la penetración de otro material.

- **Resistencia**

Analizando el caso de la resistencia, específicamente el de la resistencia a la tracción, tendremos que ésta es la fuerza máxima por unidad de área, que puede soportar el acero al ser estirado.

- **Maleabilidad**

La maleabilidad es la capacidad que presenta el acero de soportar la deformación, sin romperse, al ser sometido a un esfuerzo de comprensión.

- **Tenacidad**

La tenacidad viene siendo la conjugación de dos propiedades: ductilidad y resistencia. Un material tenaz será aquel que posee una buena ductilidad y una buena resistencia al mismo tiempo.

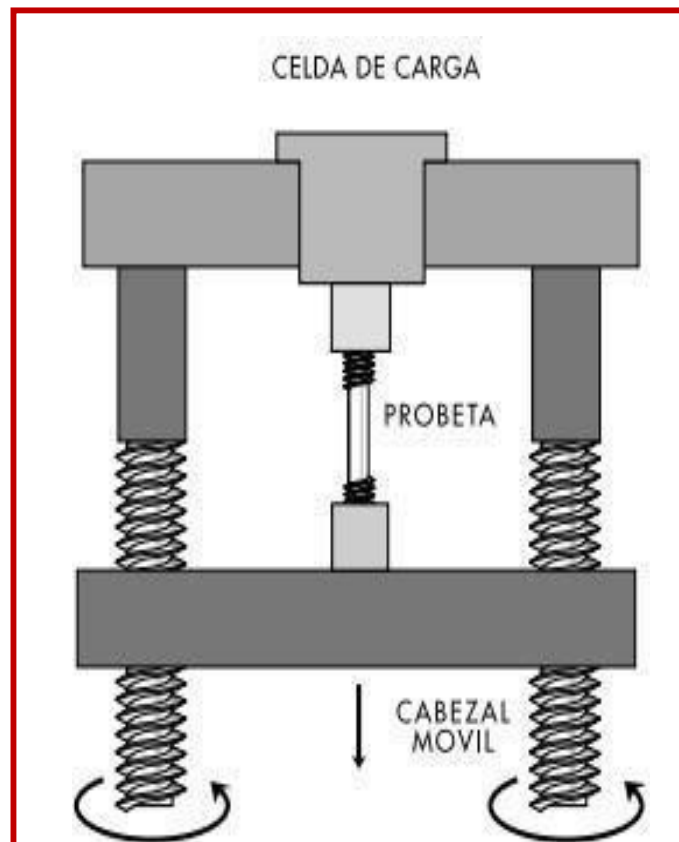
La forma en que se determinan con qué propiedades cuenta un material, es mediante la realización de diferentes pruebas o ensayos. En base a ellos es posible determinar qué material es el que emplearemos, por ejemplo, en levantar determinada estructura o edificio.

Dentro de los ensayos a que se someten los aceros, destacaremos los más utilizados:

- **Ensayo de tracción**

Debido a la gran cantidad de información que puede obtenerse a partir de este ensayo, es sin duda alguna, uno de los test mecánicos más empleados para el acero. La versatilidad del ensayo de tracción radica en el hecho de que permite medir al mismo tiempo, tanto la ductilidad, como la resistencia. El valor de resistencia es directamente utilizado en todo lo que se refiere al diseño. Los datos relativos a la ductilidad, proveen una buena medida de los límites hasta los cuales se puede llegar a deformar el acero en cuestión, sin llegar a la rotura del mismo

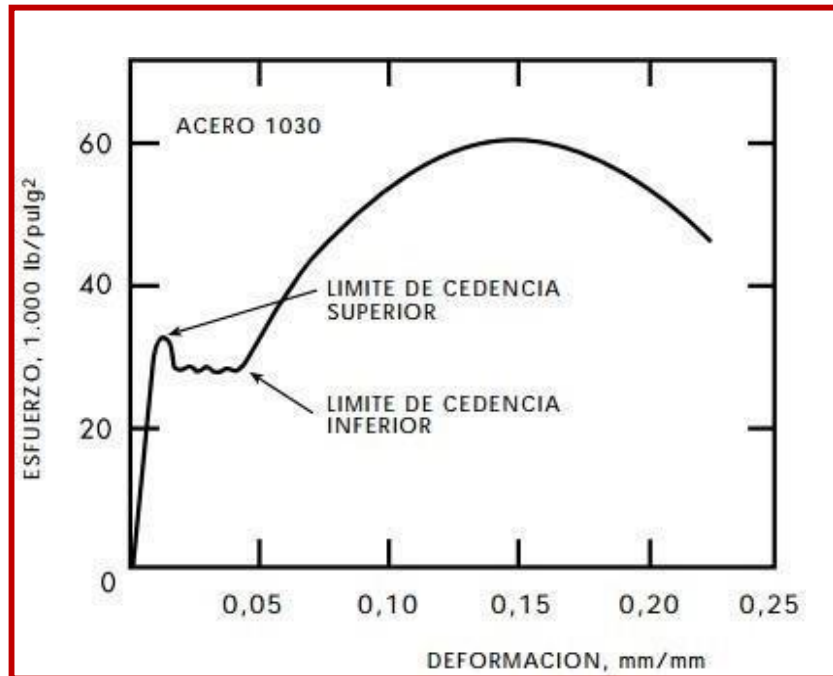
Este ensayo consiste en someter una muestra, denominada probeta, de sección uniforme y conocida, a una fuerza de tracción que va aumentando progresivamente. En forma simultánea se van midiendo los correspondientes alargamientos de la probeta.



**FIGURA Nº 01: ESQUEMA DE UNA MÁQUINA PARA ENSAYOS DE TRACCIÓN**

Fuente: <http://www.ingenierocivilinfo.com/2010/10/ensayo-de-traccion-del-acero.html>

Con los resultados de la elongación de la probeta, se puede graficar una curva de carga contra alargamiento, que generalmente se registran como valores de esfuerzo y deformaciones unitarios, y son independientes de la geometría de la probeta.



**FIGURA Nº 02: CURVA DE CARGA CONTRA ALARGAMIENTO**

Fuente: [http://es.manufactura.wikia.com/wiki/Ensayo\\_de\\_Tracci%C3%B3n](http://es.manufactura.wikia.com/wiki/Ensayo_de_Tracci%C3%B3n)

Al iniciarse el ensayo, el material se deforma elásticamente; esto significa que si la carga se elimina, la muestra recupera su longitud inicial. Se dice que el material sobrepasó su límite elástico cuando la carga es de magnitud suficiente para iniciar una deformación plástica, esto es, no recuperable. En otras palabras, el material no recupera su longitud inicial si se elimina la carga aplicada.

El esfuerzo alcanza su máximo en el valor de resistencia máxima a la tensión. En este valor de esfuerzo, se forma en la probeta una estricción o cuello, la cual es una reducción localizada en el área de la sección transversal, en la que se concentra todo el alargamiento posterior.

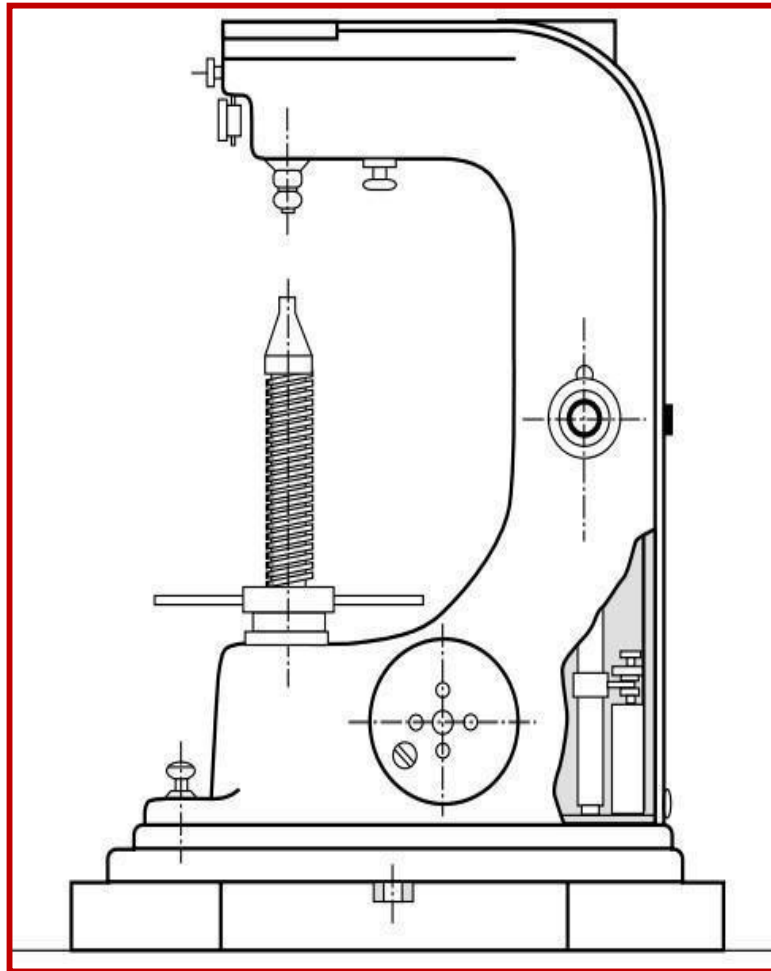
Una vez formado este cuello, el esfuerzo disminuye al aumentar la deformación y continúa disminuyendo hasta que la probeta se rompe.

- **Ensayo de dureza**

El ensayo de dureza mide la resistencia de un material a la penetración de un punzón o una cuchilla. Este penetrador es también llamado durómetro. El durómetro usualmente consta de una bolita, pirámide o un cono de un material mucho más duro que el acero que se está midiendo. La profundidad hasta la cual penetra este material nos entrega un valor, el que está tabulando, obteniéndose así una medida de la dureza del acero. Su uso está ampliamente extendido, especialmente dentro de las áreas de conformado y de tratamiento térmico de los aceros.

Una utilización práctica, es la de dar una buena correlación entre las medidas que entrega y otras propiedades que pueden medirse directamente, como la penetración del temple de un acero. Dado que el ensayo de dureza puede hacerse fácilmente, la información obtenida puede ser evaluada inmediatamente. Por estas razones y por su carácter no destructivo se le usa ampliamente para control de calidad en producción.

Los ensayos de dureza mas utilizados en el campo ingenieril, son el Rockwell y el Brinell.



**FIGURA Nº 03: MÁQUINA ROCKWELL**

<http://spanish.digitalhardnesstesters.com/sale-4198018-intelligent-digital-hardness-testing-machine-superficial-rockwell-h-rtepr-fer.html>

- **Dureza Brinell**

En él, una esfera de 10 mm de diámetro, usualmente de un acero endurecido, se presiona contra la superficie del material bajo una carga estática de 3.000 kg. El tamaño de la huella nos entrega una medida de la dureza bajo las condiciones del ensayo.



- **Dureza Rockwell**

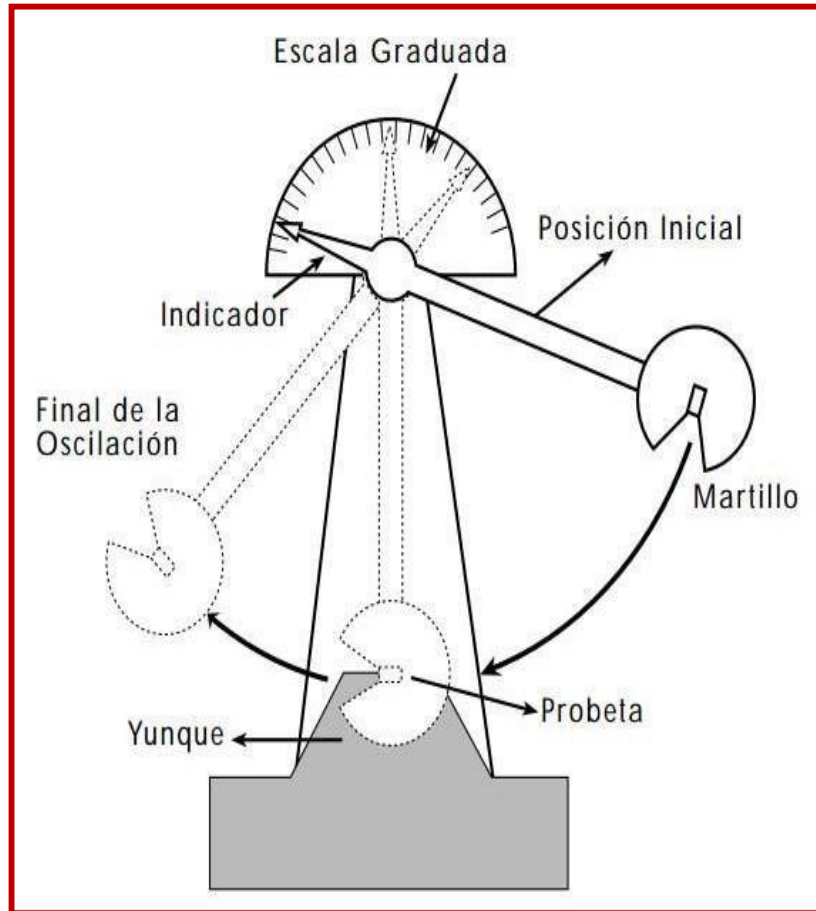
A diferencia del anterior, en el test de Rockwell se aplica primero una carga pequeña (de menos de 10 kg), lo que hace que el penetrador hasta una cierta profundidad. Luego se aplica la carga mayor predeterminada. La diferencia en la penetración nos entrega una medida de la dureza del acero.

- **Ensayo de impacto**

Utilizado para medir la tenacidad del acero. En esta prueba, una probeta especial del acero en cuestión, es sometida a un fuerte impacto instantáneo, producto del cual ésta se rompe muy rápidamente. Este hecho entrega una medida de la energía que se debe aplicar para su fractura, lo que se traduce en un índice de su tenacidad.

Si bien los resultados de los ensayos de impacto no se utilizan directamente para el diseño, son muy útiles como herramienta de la producción, ya que permiten la comparación de un acero con otro que ha dado resultados satisfactorios.

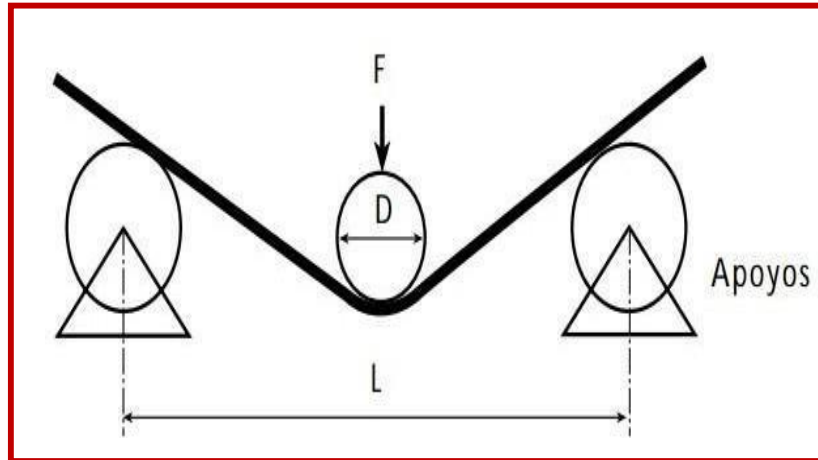
Existen dos tipos de ensayo que han alcanzado gran difusión: Charpy e Izod.



**FIGURA Nº 04: ESQUEMA DE LA MÁQUINA CHARPY PARA EL ENSAYO DE IMPACTO**  
<http://fundamentos-de-ciencias-materiales.html>

- **Ensayo de doblado**

Este ensayo sirve para obtener una idea aproximada sobre el comportamiento del acero a la flexión o esfuerzo de doblado. Se comienza el ensayo, colocando la pieza sobre dos apoyos, cuya separación está normalizada. Se aplica luego, una fuerza controlada y que aumenta paulatinamente hasta que la probeta se dobla completamente o comienzan aparecer las primeras grietas



**FIGURA Nº 05: ESQUEMA DEL ENSAYO DE DOBLADO**  
[https://www.ecured.cu/Ensayo\\_de\\_doblado](https://www.ecured.cu/Ensayo_de_doblado)

### 2.2.1.1 CLASIFICACIÓN DE LOS ACEROS

Es muy difícil establecer una clasificación precisa y completa para todos los tipos de acero existentes. Más difícil aún, es establecer una equivalencia exacta entre los aceros de diferentes denominaciones, ya que el ordenamiento de estos materiales en clasificaciones y normas difiere según el país de origen.

#### **Clasificación de los aceros por composición química**

Este sistema de clasificación de los aceros considera como base la composición química de los aceros, los que a su vez, podrían ser considerados en los siguientes subgrupos:

- **Aceros al Carbono**

Aquellos aceros en los que está presente el Carbono y los elementos residuales, como el Manganeso, Silicio, Fósforo y Azufre, en cantidades consideradas como normales.

- **Aceros aleados de baja aleación:**

Aquellos aceros en que los elementos residuales están presentes arriba de cantidades normales, o donde están presentes nuevos elementos aleantes, cuya cantidad total no sobrepasa un valor determinado (normalmente un 3,0 al 3,5%).

En este tipo de acero, la cantidad total de elementos aleantes no es suficiente para alterar la microestructura de los aceros resultantes, así como la naturaleza de los tratamientos térmicos a que deben ser sometidos.

- **Aceros aleados de alta aleación:**

Aquellos aceros en que la cantidad total de elementos aleantes se encuentra, en el mínimo, de un 10 a 12%. En estas condiciones, no sólo la microestructura de los aceros correspondientes puede ser profundamente alterada, sino que igualmente los tratamientos térmicos comerciales sufren modificaciones, exigiendo técnicas, cuidados especiales y frecuentemente, múltiples operaciones.

- **Aceros aleados de media aleación:**

Aquellos aceros que pueden ser considerados un grupo intermedio entre los dos anteriores.

### **Clasificación de los aceros por características mecánicas**

- **Aceros estructurales**

Entre los materiales de construcción, como es de conocimiento general, el acero tiene una posición relevante; combina la resistencia mecánica, su

capacidad de ser trabajado, disponibilidad y su bajo costo. Siendo así, es fácil comprender la importancia y el amplio uso de los aceros en todos los campos de la ingeniería, en las estructuras, sean éstas fijas, como los edificios, puentes, etc. o sean móviles, en la industria ferroviaria, automotriz, naval, aeronáutica, etc.

Para la mayoría de las aplicaciones consideradas, la importancia de la resistencia mecánica es, en cierto modo, relativamente pequeña, del mismo modo que el factor peso no es primordial.

De esta forma, los aceros al Carbono comunes, simplemente laminados y sin ningún tratamiento térmico, son plenamente satisfactorios y constituyen un porcentaje considerable dentro de los aceros estructurales. En otras aplicaciones, se exige una relación resistencia/peso más satisfactoria.

Es el caso de la industria del transporte, en donde el equipo utilizado camiones, buses, equipo ferroviario, naval, etc.; debido a las condiciones propias del servicio, debe caracterizarse por un peso relativamente bajo y una alta resistencia.

Esta condición es fundamental ya que estas estructuras están sujetas a esfuerzos e impactos severos, además de una resistencia a la corrosión adecuada. Para todas estas aplicaciones, los aceros indicados son los de baja aleación, más conocidos como los de alta resistencia y baja aleación. De esta forma, se puede establecer la siguiente división de los aceros empleados en estructuras:

- **Aceros al Carbono**

Llámesese Aceros al carbono a las aleaciones de Hierro con Carbono en porcentajes que varían del 0.05 a 2.00% de Carbono y el resto de Hierro.

Conforme aumenta el contenido de Carbono en los aceros aumenta la Dureza, la Resistencia a la Tracción, Templabilidad a la vez que disminuye la Tenacidad, Ductibilidad del acero, la variación de estas propiedades es una de las consecuencias de las variaciones de las fases o componentes estructurales.

Estos aceros al Carbono que son de uso general en todos los equipos e instalaciones contienen además pequeños porcentajes de Manganeso, Silicio, Azufre y Fósforo, elementos que unas veces se agregan adrede para mejorar las propiedades mecánicas del acero, otras veces el elemento se encuentra en la materia prima y es costoso eliminarlo en el proceso de fabricación y forma parte del producto final. El carbono en el acero está presente como Carburo de Fierro ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ).

Los requisitos fundamentales que deben cumplir estos aceros, son los siguientes:

- Ductibilidad y homogeneidad.
- Valor elevado de la relación resistencia mecánica/límite de fluencia.
- Soldabilidad.
- Apto para ser cortado por llama, sin endurecimiento.
- Resistencia a la corrosión, razonable.

Con excepción de la resistencia a la corrosión, todos los otros requisitos son satisfechos en mayor o menor grado, por los aceros al Carbono de bajo a medio Carbono, que son obtenidos por laminación y cuyos límites de resistencia varían de 40 a 50 Kgf/mm<sup>2</sup> y alargamientos que están en torno al 20%.

De hecho, un contenido relativamente bajo de Carbono y el trabajado en caliente de laminación de los perfiles estructurales, garantizan la ductilidad necesaria, además de la homogeneidad en todo el producto. La ductilidad de estos aceros garantiza una excelente trabajabilidad en operaciones como el corte, doblado, perforado, etc., sin que se originen fisuras u otros defectos.

El límite de fluencia, así como el módulo de elasticidad, son las características del acero que se utilizan en el proyecto y el cálculo de una estructura. La soldabilidad por otra parte, es otra característica muy importante en este tipo de material de construcción, ya que la soldadura de los elementos y piezas en una estructura, es práctica común. Los aceros al Carbono comunes también satisfacen este requisito, pues deben ser soldados sin alterar su microestructura.

Del mismo modo, el corte por llama, muy empleado en piezas estructurales, poco afecta a estos aceros, desde el punto de vista de sus alteraciones micro estructural en las proximidades de la zona de corte.

Finalmente, la resistencia a la corrosión sólo es alcanzada por la adición de pequeñas cantidades de cobre, elemento que adicionado en cantidades muy bajas (0,25%) mejora esta propiedad en dos veces en relación al mismo acero sin cobre. Para la mayoría de las aplicaciones estructurales, la cantidad de Carbono de estos aceros varía entre 0,15% a 0,40%, con otros elementos (Mn, Si, P y S) en cantidades consideradas normales.

Un acero con Carbono y Manganeso de un 0,20% y 0,50% respectivamente, presenta un límite de fluencia de 25 Kgf/mm<sup>2</sup> y una resistencia mecánica de 42 Kgf/mm<sup>2</sup>. Un aumento del contenido de Carbono eleva estos límites, actuando en el mismo sentido pero en menor grado, del aumento de contenido de Manganeso.

En las estructuras, los perfiles de acero al Carbono utilizados son los más diversos, sobresaliendo los siguientes: barras redondas, cuadradas, hexagonales, planas, ángulos, canales, perfiles doble T, etc. Todos estos productos son laminados en caliente y empleados en ese estado, sin otro tratamiento térmico o mecánico posterior.

- **Aceros de alta Resistencia y baja aleación**

Llámesese Aceros de aleación de alta resistencia a los aceros que además de los 5 elementos, Carbono, Manganeso, Silicio, Azufre y Fósforo, contienen cantidades relativamente importantes de los metales Cromo, Níquel, Molibdeno, Vanadio, Tungsteno, Cobalto y Titanio.



Estos elementos se agregan para mejorar las propiedades de Resistencia, Tenacidad, Dureza a altas y bajas temperaturas que de ninguna manera se consigue con los simples aceros al Carbono, con el inconveniente de que el precio del acero se eleva y solo se justifica para usos especiales tal es el caso de los aceros Inoxidables, aceros Maraging, aceros al Manganeso.

- **Aceros de Cementación, Nitruración y Carbonitruración**

Los aceros de Carburización, Nitruración y Carbonitruración, son aceros especiales.

Con estos 3 grupos de aceros si están bien elegidos, estamos en capacidad de resolver dentro de límites digamos aceptables los problemas que se plantean en los Proyectos de Construcción Mecánica donde la Resistencia y Ductilidad sin lugar a dudas son las propiedades fundamentales.

### 2.2.1.2 OBTENCIÓN DEL ACERO

Los procedimientos de obtención del acero en los países industrializados desde hace más de 200 años son:

- Procesos Bessemer Acido y Básico
- Proceso Thomas Básico
- Procesos de Hogar abierto Siemens-Martín Acido y Básico
- Proceso Horno Eléctrico

En Noviembre de 1952 se realizó en Linz (Austria), la primera colada de acero usando oxígeno puro; en Mayo de 1953 se puso operativo la segunda acería usando también oxígeno puro en Donawitz (Austria). El proceso que se llama LD en reconocimiento a las ciudades Austríacas de Linz y Donawitz emplea un horno llamado Convertidor en forma de pera, revestido con recubrimiento básico con el fondo cerrado, puede girar 360° y con capacidad de 30 a 300 ton.; y con una lanza Vertical refrigerada con agua que se introduce por la boca del convertidor se inyecta Oxígeno puro a una presión de 10-14 atmósferas, sobre el metal, constituido por arrabio líquido iniciándose las reacciones de oxidación.

La temperatura del metal se elevará rápidamente llegando a los 1500°- 3000°C quemándose el Carbono en forma de CO y CO<sub>2</sub> que escapa con los humos. La fase del soplado dura de 12 a 15 min., al final se añaden los elementos aleatorios, se espera unos minutos para que se produzca la homogenización y se vuelca el metal sobre un crisol con una ligera capa de escoria para evitar la oxidación del metal líquido por el aire.

En general las ventajas de procedimiento LD son:

- Acero de mejor calidad que el Bessemer y Thomas y de la misma calidad de los aceros Siemens-Martín compitiendo con los aceros elaborados en Horno Eléctrico.
- El costo del acero es inferior al Horno Siemens- Martín o Eléctricos.
- La duración de una colada en un convertidor LD de 150 ton. es de 40-55 min., comparado con las 5-6 horas que dura una colada en el Siemens- Martín y 2-4 horas en un Horno Eléctrico.
- La desoxidación del acero se hace con menor adición de desoxidantes.

La gran capacidad de producción del proceso LD no lo hace rentable para aceros aleados de tonelaje limitado.

El éxito de la fabricación de acero con oxígeno puro fue tan grande que el procedimiento se divulgó con rapidez a todos los países industrializados. El gran desarrollo alcanzado por el proceso fue también posible en gran parte por el progreso en la obtención de oxígeno puro a partir del aire.

Se han desarrollado una serie de variantes del proceso LD y como información citaremos sólo las siguientes:

- AOD Inyección de gas Oxígeno y gas inerte por el fondo del convertidor a través de toberas
- LD-OB Inyección de Oxígeno por la boca del convertidor con lanza y soplado de oxígeno por el fondo con toberas.
- Q-BOP Soplado por el fondo de Oxígeno y Propano.

- LBE Combinación de Oxígeno con Argón con la lanza a través de ladrillos porosos.
- KMS Soplado por el fondo de oxígeno, hidrocarburos, polvo de cal y carbón a través de toberas.

Otro procedimiento importante en la fabricación de aceros es:

- **El Eléctrico de arco**

En este método se usa chatarra de acero que se funde por corriente eléctrica y afino posterior del baño fundido. Se emplean dos tipos de Hornos:

- **Hornos de arco**

Estos hornos están equipados con 3 electrodos verticales y la carga de hierro y acero y el calor generado por el arco funde la carga. Los electrodos son hechos de grafito de hasta 70 cms. De diámetro que se introducen por orificios practicados en la bóveda del horno y se regula la distancia a la carga a medida que se vayan consumiendo, la corriente se suministra mediante un transformador.

- **Hornos de inducción**

En estos hornos la carga de hierro y acero se coloca en un crisol rodeado de una bobina por donde se hace pasar la corriente que funde la carga.

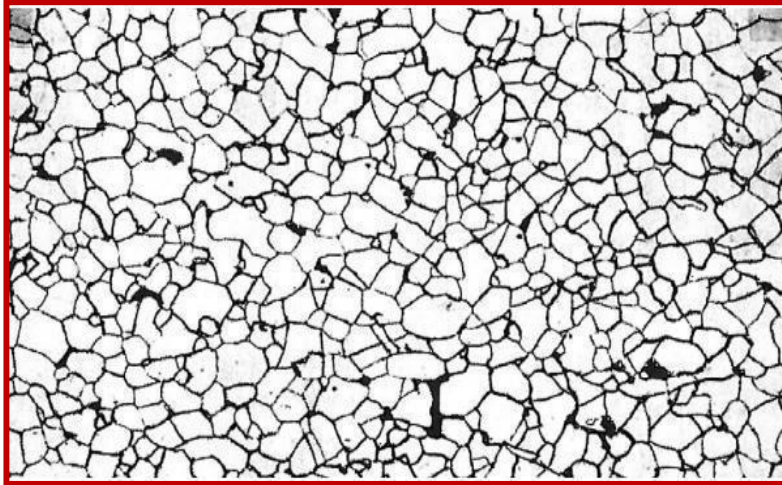
### **2.2.1.3 METALOGRAFIA**

Es la rama de la Metalurgia que con la ayuda del Microscopio Metalográfico estudia y determina la estructura de los metales.

En el caso del acero la Metalografía proporciona información sobre los componentes estructurales, el tamaño del grano, la forma, tamaño y distribución de las fases que componen la aleación así como las inclusiones, segregaciones y otras heterogeneidades que podrían presentar.

Con ciertas limitaciones la micro estructura refleja casi la historia completa del tratamiento mecánico y térmico que ha sufrido el material. Para efectuar la observación microscópica debe prepararse la superficie del acero a examinar, operación que en cuanto a su fundamento es relativamente sencillo pero su ejecución requiere habilidad manual debiendo repetirse el proceso cuantas veces sea necesario para lograr en el acero una superficie de pulido especular. A continuación del pulido se procede al ataque químico con reactivos preparados de acuerdo a la composición química del acero. Se presenta algunos de los componentes estructurales del acero obtenidos en el examen metalográfico.

- Carbono: 0.05%
- Tratamiento térmico: recocido
- Estructura metalográfica: ferrita granos cristalinos
- Equixiales de ferrita
- Reactivo de ataque: Nital al 5%
- Tiempo de ataque: 5 segundos



**FIGURA Nº 06: ACERO AL CARBONO SAE 1005**

<http://eafasainz12.blogspot.pe/2012/12/el-acero-el-acero-es-una-aleacion-de.html>

- Ampliación: 100 x
- Carbono: 1.00%
- Tratamiento térmico: templado
- Estructura metalográfica: martensita: acículas en zig-zag. Áreas blancas de austenita
- Reactivo de ataque: Nital al 5%
- Tiempo de ataque: 5 segundos
- Ampliación: 500x dureza: 65 rc



**FIGURA Nº 07: ACERO AL CARBONO SAE 10100**

<http://eafasainz12.blogspot.pe/2012/12/el-acero-el-acero-es-una-aleacion-de.html>

- Cromo:18%; níquel 8%
- Estructura metalográfica: austenita, los granos de austenita están unidos por bordes rectos que forman ángulos agudos
- Reactivo de ataque: ácido crómico y ácido clorhídrico
- Tiempo de ataque: 5 minutos
- Ampliación: 200x

#### **2.2.1.4 DIAGRAMA DE EQUILIBRIO HIERRO – CARBONO**

Este diagrama representa las relaciones entre temperatura, composición y estructuras que pueden ser formadas por el Hierro y Carbono (aceros) bajo condiciones de equilibrio con enfriamiento muy lento.

Sin embargo, el diagrama Hierro-Carbono será considerado solamente como una guía debido a que la mayoría de aceros contiene elementos aleatorios que modifican las posiciones de las fases limitantes.

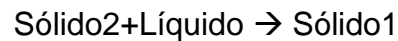
La línea ABCD es la línea líquida, por encima de esta línea todas las aleaciones del sistema se encuentran al estado líquido, por debajo de ella las aleaciones están parcial o totalmente sólidas. La Línea sólida es AHJECF, debajo de ella todas las aleaciones están totalmente sólidas.

El área ABJ N muestra una reacción peritectica cuya representación en el calentamiento es:



**FIGURA Nº 11: REPRESENTACIÓN DEL CALENTAMIENTO EN EL AREA ABJ N**

Y en el enfriamiento:



**FIGURA Nº 12: REPRESENTACIÓN DEL ENFRIAMIENTO EN EL AREA ABJ N**

En el punto C (4.3% Carbono y 11302C) tenemos una reacción Eutéctica. En el enfriamiento:



**FIGURA Nº 13: REPRESENTACIÓN DEL ENFRIAMIENTO EN EL PUNTO C**

En el punto 5 (0.80% Carbono y 7232 C) tenemos una reacción Eutectoide; en el Enfriamiento:



**FIGURA Nº 14: REPRESENTACIÓN DEL ENFRIAMIENTO EN EL PUNTO 5**

En el área GPO encontramos el componente estructural llamado Ferrita o Hierro puro con estructura BCC, la Ferrita a temperaturas inferiores a 9102 C disuelve pequeñas cantidades de carbono, siendo lo máximo que disuelve 0.025% de carbono, a 7232C, a temperatura ambiente disuelve 0.008% de Carbono.



A temperaturas superiores a 9102 C el Hierro se encuentra en forma de Hierro Gamma (Fe) llamado Austenita de estructura FCC que puede disolver hasta 2.00% de Carbono a 11302 C.

En el Hierro puro la transformación a Hierro Gamma ocurre a 9102C, si se incrementa la cantidad de Carbono disuelto en el Hierro Gamma desde 0.00 hasta 0.80% la temperatura a la cual se forma la Ferrita a partir del Hierro Gamma disminuye desde 9102 C hasta 7232 C, la línea G5 muestra esta curva que indica la solubilidad de la Ferrita en Austenita y que se llama curva de Solubilidad de la Ferrita.

A la temperatura de 1130°C conocida como la temperatura Eutéctica, la Austenita puede retener hasta 2.00% de Carbono en solución sólida. Si la Austenita de esta composición se enfría lentamente precipitará Cementita ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) de la solución sólida bajando el contenido del Carbono de la Austenita remanente bajando también la temperatura a la cual precipita la Cementita.

El enfriamiento lento del acero está acompañado por una precipitación constante de la Cementita a lo largo de la línea ES hasta que se alcanza la temperatura de 7232 C, temperatura a la cual la Austenita remanente contiene 0.80% de Carbono, recristaliza y forma una mezcla de Ferrita y Cementita llamada Perlita.

Este punto conocido como Eutectoide se representa en el diagrama por el punto S que viene a ser la intersección de la curva de solubilidad de la Ferrita GS con la curva ES conocida como la curva de Solubilidad de la Cementita.

En la composición 4.3% de Carbono y 11302C se forma el Eutectico llamado Ledeburita que está formado por Austenita y Cementita, esta reacción se realiza en aquellas aleaciones que contiene más de 2.00% de Carbono. La cantidad de Ferrita y Perlita que presenta el acero al efectuarse el examen metalográfico depende del contenido de Carbono.

Si este contenido es menor de 0.02% la estructura solo contiene Ferrita, si el contenido es de 0.80% de Carbono solo encontramos Perlita, si es intermedio entre estos porcentajes estará formado por Perlita y Ferrita, las estructuras con mayor porcentaje de 0.80% de Carbono están formadas por Perlita y Cementita.

Las partículas duras y frágiles de Cementita al deformar la red cristalina de la Ferrita dificultan el movimiento de deslizamiento y por lo tanto aumenta la resistencia a la deformación y disminuye la plasticidad.

### **2.2.2 ESTANDARES Y NORMAS DE LOS ACEROS**

Los estándares de acero son sistemas para la clasificación, evaluación y especificación de las propiedades químicas, mecánicas y metalúrgicas de los distintos tipos de acero y aleaciones ferrosas que son usadas en la producción de componentes, maquinaria y construcciones.

Los estándares del acero son útiles para guiar los laboratorios metalúrgicos, fabricantes y usuarios finales en la producción, elaboración y aplicación del acero. Los aceros se pueden clasificar según una gran variedad de criterios, tales como:

- Composición, por ejemplo carbono, baja aleación, o acero inoxidable.

- Métodos de fabricación, tales como horno de reverbero, el proceso básico de oxígeno, o los métodos de horno eléctrico.
- Métodos de acabado, tales como laminado en caliente, laminado en frío, y varias tecnologías de acabado de superficie y técnicas de enchapado.
- Forma del producto, por ejemplo de barra, alambre, chapa, lámina, tira, tubo o forma estructural.
- La práctica de desoxidación, como muerto, semimuerto, grados de acero bordeado o tapado.
- Microestructura, tales como grados de acero ferrítico, perlítico y martensítico.
- Tratamiento térmico, tales como recocido, templado y revenido.

Desafortunadamente, no existe una norma común mundial del acero o del sistema de clasificación. Más bien, hay una serie de sistemas de clasificación y designación aceptada y utilizada en todo el mundo, que se desarrollan y normalizan tanto a nivel nacional como internacional por organizaciones de desarrollo estándar (SDO), o por sectores verticales específicos o proveedores.

Algunos de los estándares de acero utilizados con más frecuencia y sistemas de clasificación incluyen:

- Los estándares de acero del AISI (Instituto Americano del Hierro y Acero), que son usados tradicionalmente en USA y en el extranjero. Aunque esta norma ya no se mantiene y ha sido cada vez más sustituida por SAE, ASTM y otras normas de EE.UU, todavía está generalizada.

- EN (norma europea), que es un sistema armonizado de estándares de metal y acero de los países europeos. A pesar de que está aceptado y es utilizado de manera efectiva en todos los países europeos, sistemas nacionales "obsoletos", como el alemán DIN, el británico BS, el francés AFNOR y el italiano UNI son de uso común y frecuentemente encontrados en muchos documentos y especificaciones.
- Los estándares del acero japonés JIS, que son ampliamente utilizados en Asia y regiones pacíficas. Las especificaciones de acero JIS también han sido utilizadas a menudo como base de otros sistemas nacionales, tales como los coreanos, chinos y taiwaneses.
- Estándares del acero de los nuevos países industriales, tales como los chinos GB y YB, EL indio IS, y el brasileño NBR, aunque algunas veces menos desarrollados y detallados, se utilizan cada vez más debido al abastecimiento global. Lo mismo se aplica para el ruso GOST, que es prácticamente el estándar de facto para toda la Comunidad de Estados Independientes.

Los estándares del acero industrial vertical incluido el SAE para la automoción, aeroespacial y más; ASME para recipientes a presión y muchas otras aplicaciones; AWS para consumibles de soldadura y materiales relacionados. Las especificaciones de la construcción naval están cubiertos por el ABS de América, Lloyds británica, italiana RINA y otros.

Además de las numerosas normas descritas anteriormente, muchos fabricantes de acero y proveedores han desarrollado sus propias denominaciones, nombres comerciales para la designación de los aceros.

Algunas de estas denominaciones, después de años y décadas de uso, se han convertido en uso habitual en la comunidad industrial y se refieren a menudo como nombres "común" o nombres de "comercio", sin que en realidad se refieran al proveedor en particular. En la mayoría de los casos, estos nombres "comunes" no están estandarizados y las propiedades pueden variar de forma considerable; por lo tanto, su aplicación en los documentos oficiales técnicos debería ser evitada.

### 2.2.2.1 ACERO SAE 1045

SAE 1045 es un acero grado ingeniería de aplicación universal que proporciona un nivel medio de resistencia mecánica y tenacidad a bajo costo con respecto a los aceros de baja aleación. Frecuentemente se utiliza para elementos endurecidos a la llama ó por inducción.

Este acero puede ser usado en condiciones de suministro: laminado en caliente o con tratamiento térmico (templado en aceite y revenido; ó templado en agua y revenido). SAE 1045 es un acero de baja templabilidad que puede ser endurecido totalmente en espesores delgados por temple en agua.

En secciones más gruesas se pueden obtener un endurecimiento parcial de la sección de la pieza y el incremento de la resistencia será proporcional a la capa o espesor endurecido, al ser deformado en frío se presenta un incremento en la dureza y la resistencia mecánica.

COMPOSICION QUÍMICA	C %	Mn %	P máx. %	S máx. %	Si máx. %
Análisis típico en %	0.43 0.50	0.6 0.9	0.04	0.05	0.2 0.4

**TABLA Nº 01: COMPOSICIÓN QUÍMICA**

<https://es.slideshare.net/nano0018/ficha-1045-10201>

### Propiedades físicas

Estos valores son obtenidos a partir de probetas bajo condiciones específicas de laboratorio y deben ser usados como referencia.

- Densidad → 7.85 gr/cm<sup>3</sup>.
- Módulo de elasticidad → 2 x 10<sup>11</sup> Pa (24 x 10<sup>6</sup> PSI).
- Conductividad térmica → 52 W/ (m °C).

- Calor específico J/(Kg°K) → 460
- Coeficiente de Poisson → 0,3
- Resistividad eléctrica (microhm-cm): 32°F = 16.2 a 212°F = 22.3
- Coeficiente de dilatación térmica / °C (20 - 100°C) 12.3 x 10-6 (20 - 200°C) 12.7 x 10-6 (20 - 400°C) 13.7 x 10

<b>PROPIEDADES TÍPICAS A TEMPERATURA AMBIENTE SIN ENDURECIMIENTO</b>			
<b>Diámetro de la barra: 12 a 38 mm</b>			
<b>Propiedad</b>	<b>Laminado en caliente</b>	<b>Normalizado</b>	<b>Recocido</b>
Resistencia a la tracción MPa	655	655	620
Punto de fluencia MPa	413	413	379
% de elongación	23	23	26
% de reducción de área	44	45	53
Dureza brinell (3000 kg.)	190	190	180

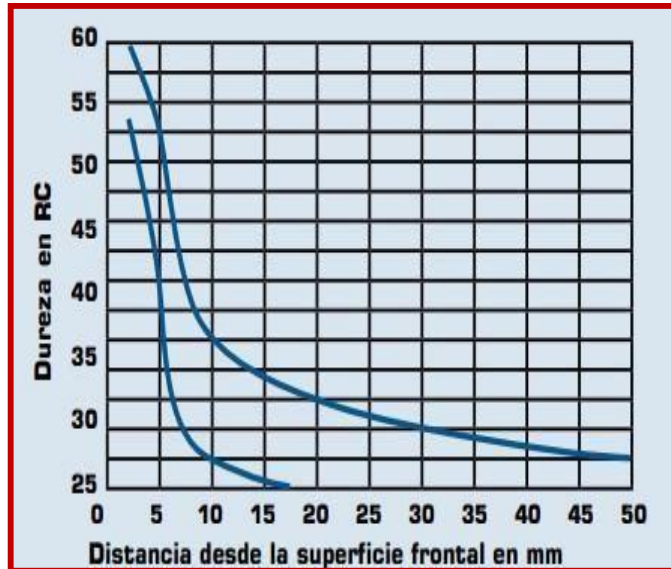
**TABLA Nº 02: PROPIEDADES TÍPICAS A TEMPERATURA AMBIENTE SIN ENDURECIMIENTO**  
<https://es.slideshare.net/nano0018/ficha-1045-10201>

<b>PROPIEDADES TÍPICAS A TEMPERATURA AMBIENTE CON TEMPLE EN ACEITE</b>					
<b>- REDONDO DE 25 MM</b>					
<b>(Temple en aceite desde 820°C, revenido a la temperatura indicada)</b>					
<b>Temperatura de revenido °C</b>	<b>Resistencia a la tracción MPa</b>	<b>Punto de Fluencia MPa</b>	<b>Elongación (en 50 mm) %</b>	<b>Reducción de área %</b>	<b>Dureza Brinell (3000 Kg.)</b>
320	965	655	11	34	278
430	875	621	15	39	257
540	793	558	18	45	228
650	703	482	23	51	203
705	641	462	25	55	195

**TABLA Nº 03: PROPIEDADES TÍPICAS A TEMPERATURA AMBIENTE CON TEMPLE EN ACEITE REDONDO DE 25 MM**  
<https://es.slideshare.net/nano0018/ficha-1045-10201>

<b>PROPIEDADES TÍPICAS A TEMPERATURA AMBIENTE CON TEMPLE EN AGUA - REDONDO DE 25 MM</b>						
<b>(Temple en agua desde 820°C, revenido a la temperatura indicada)</b>						
<b>Temperatura de revenido °C</b>	<b>Resistencia a la tracción N/mm<sup>2</sup></b>	<b>Punto de Fluencia N/mm<sup>2</sup></b>	<b>Elongación (en 50 mm) %</b>	<b>Reducción de área %</b>	<b>Dureza Brinell (3000 Kg.)</b>	<b>Impacto Izod ft - lb</b>
320	1034	786	8	33	313	15
430	965	731	13	43	281	24
540	827	621	19	52	242	38
650	717	503	24	60	210	61
705	669	455	27	62	198	70

**TABLA Nº 04: PROPIEDADES TÍPICAS A TEMPERATURA AMBIENTE CON TEMPLE EN AGUA - REDONDO DE 25 MM**  
<https://es.slideshare.net/nano0018/ficha-1045-10201>



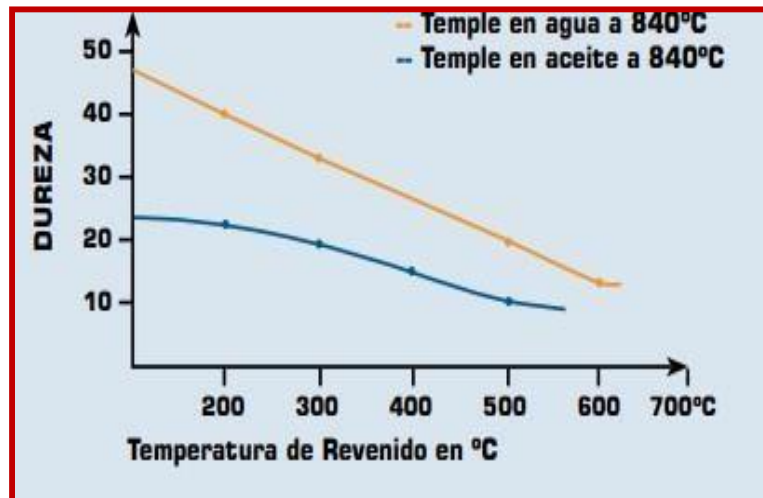
**FIGURA Nº 08: BANDA DE TEMPLABILIDAD**

<http://ingenieriadelosmaterialess.blogspot.pe/2015/11/acero-1045-ficha-tecnica.html>

TRATAMIENTO TÉRMICO	TEMPERATURA °C	MEDIO DE ENFRIAMIENTO
Forja	850 - 1100	Arena seca
Normalizado	856 - 900	Aire
Recocido total	815 - 885	Horno
Recocido posterior al trabajo en frío	595 - 662	Horno luego aire
Temple (*)	815 - 870	Agua - aceite
Revenido		Aire

**TABLA Nº 05: TRATAMIENTO TERMICO**

<https://es.slideshare.net/nano0018/ficha-1045-10201>



**FIGURA Nº 09: DIAGRAMA DE REVENIDO**

<http://www.block.cl/productos/aceros-para-trabajo-en-frio/f2080>



## Maquinabilidad

Puede ser mecanizado fácilmente en estado recocido, normalizado o templado, tomando como referencia al 12L14 (100% de maquinabilidad). El acero 1045 presenta la siguiente maquinabilidad:

- En estado calibrado = 55%
- En estado recocido = 68 - 70%

Este acero presenta un buen acabado superficial y su mecanizado se caracteriza por presentar una larga vida útil de la herramienta de corte.

TORNEADO					
PROFUNDIDAD DE CORTE mm	ACERO RÁPIDO		HERRAMIENTA DE CARBURO		
	Velocidad m/min	Avance mm/rev	Soldado velocidad m/min	Insertado velocidad m/min	Avance mm/rev
Dureza, 125 a 175 HB					
1	43	0.18	140	180	0.18
4	35	0.40	110	140	0.50
8	27	0.50	85	110	0.75
16	11	0.75	67	85	1.00
Dureza, 175 a 225 HB					
1	40	0.18	130	160	0.18
4	30	0.40	100	125	0.50
8	26	0.50	78	100	0.75
16	20	0.75	60	78	1.00

**TABLA N° 06: TORNEADO**

<https://es.slideshare.net/nano0018/ficha-1045-10201>

## Conformabilidad

SAE 1045 puede ser conformado fácilmente en caliente a temperaturas entre 980 y 1230°C. Este material no debe ser deformado en frío extensivamente sin realizar recocidos intermedios. Un recocido subcrítico será suficiente excepto cuando un trabajo severo en frío ha de ser seguido por más trabajo en frío en cuyo caso se requiere de un recocido total.

## Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas del SAE 1045:

- Dureza 163 HB (84 HRb)
- Esfuerzo de fluencia 310 Mpa (45000 PSI)
- Esfuerzo máximo 565 MPa (81900 PSI)
- Elongación 16% (en 50 mm)
- Reducción de área (40%)
- Módulo de elasticidad 200 GPa (29000 KSI)
- Maquinabilidad 57%

## Soldabilidad

El acero SAE 1045 está cerca al límite superior de aceros con porcentaje de carbono que pueden ser soldados satisfactoriamente por todos los métodos comunes. Sin embargo, precalentamiento y postcalentamiento pueden ser necesarios en función del espesor. Usualmente hay menos necesidad de precalentamiento y postcalentamiento con procesos de soldadura con gas que con métodos de soldadura por arco debido a que el proceso de soldadura por gas genera una zona afectada por el calor mayor que el proceso de arco eléctrico y por tal razón el enfriamiento es más lento. Se recomienda el uso de electrodos de bajo hidrógeno.

DATOS DE IMPACTO							
Templado al agua y revenido a 870°C							
Dureza	Probeta Charpy (entalla en V), Joules, realizado a diferentes temperaturas						
Brinell	- 73°C	- 45°C	- 18°C	10°C	40°C	65°C	95°C
225	7 - 15	11 - 20	27 - 40	51 - 65	55 - 70	63 - 74	70 - 81
300	----	8 - 12	10 - 16	13 - 24	19 - 36	27 - 40	36 - 47

**TABLA N° 07: TEMPLADO AL AGUA Y REVENIDO**

<https://es.slideshare.net/nano0018/ficha-1045-10201>

Este acero de medio carbono se usa cuando la resistencia y dureza obtenidas por el tratamiento térmico o por deformación en frío, son suficientes para satisfacer las condiciones de servicio requeridas. Es ampliamente utilizado en la industria automotriz (productos forjados y estampados).

Se usa en partes de máquinas que requieran dureza y tenacidad como: manivelas, chavetas, pernos, bulones, engranajes de baja velocidad, acoplamientos, árboles, bielas, cigüeñales, ejes de maquinaria de resistencia media, piezas de armas, cañones de fusiles, espárragos, barras de conexión, tornillería grado 5, pernos de anclaje, fabricación de herramientas agrícolas, mecánicas y de mano forjadas de todo tipo como: hachas, azadones, rastrillos, picas, martillos, palas, barretones, llaves, etc.

#### **2.2.2.2 NORMAS ASTM**

En los últimos años, la producción del acero a nivel mundial ha tenido cambios significativos. Actualmente existen en el mercado nacional e internacional una gran variedad de tipos de acero que se usan profusamente en la industria de la construcción, naval, mecánica, petrolera y en diversas estructuras especiales, y que evolucionaron debido a las necesidades derivadas de los avances tecnológicos acelerados en los diversos campos de la ingeniería.

##### **ASTM A36**

Producto de la más avanzada ingeniería, es fabricado con un punto mínimo de cedencia de 36,000PSI. Más resistente que la placa A-283, la placa de acero - calidad estructural A-36 es ampliamente recomendable para diseñar y construir estructuras y equipo menos pesado.

El acero estructural A36 se produce bajo la especificación ASTM A36. Abridando los perfiles moldeados en acero al carbono, placas y barras de calidad estructural para clavados, atornillados, o soldados de la construcción de puentes, edificios, y estructuras de diferente propósitos.

Esta norma es aplicable a una gran variedad de perfiles estructurales laminados en caliente y a placas de la misma calidad que aún están disponibles en el mercado mexicano.

PRODUCTO	VIGAS*	PLACAS**					BARRAS			
ESPESOR (in)	TODAS	¾"	¾" - 1 ½"	1 ½" - 2 ½"	2 ½" - 4"	Sobre 4"	¾"	¾" - 1 ½"	1 ½" - 4"	Sobre 4"
(mm)		Hasta 20mm	20mm a 40mm	40mm a 65mm	65mm a 100mm	Sobre 100mm	Hasta 20mm	20mm a 40mm	40mm a 100mm	Sobre 100mm
%C - máx.	0.26	0.25	0.25	0.26	0.27	0.29	0.26	0.27	0.28	0.29
%Mn - máx.	...	...	...	0.80-1.20	0.80-1.20	0.85-1.20	...	0.60-0.90	0.60-0.90	0.60-0.90
%P - máx.	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
%S	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
%Si	0.40 Max	0.40 Max	0.40 Max	0.15-0.40	0.15-0.40	0.15-0.40	0.40 Max	0.40 Max	0.40 Max	0.40 Max
%Cu - mín. cuando el cobre es especificado en el acero	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

**TABLA N° 08: COMPOSICIÓN QUIMICA**  
<https://es.slideshare.net/nano0018/ficha-1045-10201>

Se desarrolló desde hace muchos años en Estados Unidos para la fabricación de estructuras remachadas, atornilladas y soldadas, mejorando el contenido de carbono de los aceros disponibles en aquella época, como el ASTM A7. Con la innovación de este tipo de acero, las conexiones soldadas empezaron a desplazar a las remachadas que pronto desaparecieron.

## Soldabilidad

Según la norma ASTM A36/A36M-8, cuando el acero vaya a ser soldado, tiene que ser utilizado un procedimiento de soldado adecuado para el grado de acero y el uso o servicio previsto. No obstante el acero A36 es conocido como un acero de fácil soldabilidad.

Requerimientos a tensión*		
Láminas, Vigas* y barras	Ksi (Mpa)	*ver orientación del espécimen bajo la prueba a tensión según especificación A6. para la gama formas de brida sobre 426lb/ft (634kg / m), el 80 KSI (550Mpa) resistencia a la tensión máxima no se aplica una elongación mínimo en zin (50mm) de 19% se aplica.
Esfuerzo último	50-80 (400-550)	*** Punto de fluencia 32 KSI (220 MPa) para las placas de más de 8in (200mm) de espesor. Alargamiento de que no es obligatorio determinarle para placa de piso. Las placas de más de 24 en (600 mm) el requisito de elongación se reduce dos puntos porcentuales. Ver los ajustes de elongación en la sección de ensayo de tracción de la especificación A6
Esfuerzo de fluencia	36 (250)	
Láminas y Barras, **, ***		
Elongación en 8in. (200mm), min, %	20	
Elongación en zin. (50mm), min, %	23	
Dureza	120-135 HB	HB: Dureza Brinell

**TABLA N° 09: PROPIEDADES MECÁNICAS**

<http://donaldre.com/libros-de-ciencia-resistencia-e-ingenieria-de-materiales-para-descargar-en-pdf/>

## ASTM A325

Tornillos de alta resistencia para uniones de acero estructural, NOM-H-124-1988 (ASTM A325) Esta norma indica los requisitos mecánicos y químicos que deben cumplir los diferentes tipos de tornillos de acero, templados y revenidos, conocidos como tornillos de alta resistencia, para conexiones de acero estructural.

ESPECIFICACION	DIAMETRO NOMINAL DEL PERNO	RESISTENCIA MIN. A LA TRACCION			CARGA DE PRUEBA			DUREZA	
		PSI	KG/MM2	MPA	PSI	KG/MM2	MPA	MIN.	MAX.
ASTM-A-325 TIPO 1	1/2" HASTA 1" SOBRE 1" HASTA 1.1/2"	120.000 105.000	84 74	827 724	85.000 74.000	60 52	586 510	C 25 C 19	C 34 C 30

**TABLA Nº 10: PROPIEDADES MECÁNICAS ASTM A325**

[http://www.americanscrew.cl/admin/images\\_prod/Per%20A-325.pdf](http://www.americanscrew.cl/admin/images_prod/Per%20A-325.pdf)

### 23. MARCO CONCEPTUAL

- Abrasión: Proceso de esmerilar, frotar o gastar por fricción.
- Abrasivo: Sustancia empleada para esmerilar, lapear, pulir, chorros a presión o terminado por tratamientos en cilindros giratorios.
- Acero: Aleación de base de hierro, maleable en algún intervalo de la temperatura a que fue inicialmente fundida; contiene manganeso, generalmente carbono y a menudo otros elementos de aleación.
- Aleado: Acero con grandes cantidades de elementos de aleación distintos al carbono y cantidades comúnmente aceptadas de manganeso, silicio, azufre y fósforo, adicionados para efectuar cambios en las propiedades mecánicas o físicas.
- Acero al carbono: Acero que contiene hasta aproximadamente 2% de carbono y sólo cantidades residuales de otros elementos, excepto aquellos agregados para desoxidación, con silicio generalmente limitado a 0.60 % y manganeso alrededor 1.65 %.
- Adhesión: Fuerza de atracción entre las moléculas o átomos de las fases diferentes como la que existen entre el latón de soldar líquido para relleno y cobre sólido, o entre un metal revestido y el metal base.

- Aleación: Sustancia con propiedades metálicas y compuestas por dos o más elementos químicos, de los cuales por lo menos uno es un metal elemental.
- Análisis térmico: Método para determinar transformaciones en un metal, señalando las temperaturas en que ocurren los arrestos térmicos.
- Ataque químico: El que sufre la superficie de un metal en virtud de la acción química o electrolítica preferencial a fin de revelar detalles estructurales.
- Deformación: Medida del cambio en la forma o tamaño de un cuerpo referido a su forma o tamaño original.
- Ductibilidad: Capacidad de un material para deformarse plásticamente sin fracturarse, medida por la elongación o reducción de área en una prueba tensil.
- Dureza: es la propiedad que tienen los materiales de resistir el rayado y el corte de su superficie.
- Elasticidad: Propiedad de un material en virtud de la cual tiende a recuperar su tamaño y forma originales después de la deformación.
- Elástico, límite: Esfuerzo máximo al que un material puede someterse sin que resulte ninguna deformación permanente después de la liberación completa de esfuerzos.
- Elongación: alargamiento que sufre un cuerpo que se somete a esfuerzo de tracción.
- Endurecimiento: Incrementar la dureza mediante un tratamiento adecuado, generalmente incluyendo calentamiento y enfriamiento.

- Ensayo Rockwell de Dureza: Ensayo para determinar la dureza de un material basado en la penetración de un penetrador específico dentro de la muestra, bajo ciertas condiciones de ensayo arbitrariamente fijadas.
- Erosión: Destrucción de metales o de otros materiales por la acción abrasiva de fluidos en movimiento, generalmente acelerada por la presencia de partículas sólidas o materia en suspensión.
- Esfuerzo de fluencia: Característica mecánica del acero estructural que sirve de base para determinar la capacidad permisible de un miembro estructural en el diseño estructural.
- Esfuerzo de ruptura en tensión Máximo: Esfuerzo que el acero estructural es capaz de soportar.
- Eutéctico: Estructura aleada a base de constituyentes intermezclados sólidos formados por una reacción eutéctica.
- Eutectoide: Estructura aleada de constituyentes intermezclados sólido, formados por una reacción eutectoide.
- Fatiga: Falla de un elemento de acero estructural por la repetición de un gran número de ciclos de carga de una amplitud que aplicada una sola vez no produciría daño alguno.
- Fragilidad: Característica del acero contraria a la ductilidad, que denota la forma de falla brusca o repentina una vez alcanzada su capacidad de carga y para deformaciones relativamente pequeñas.
- Homogeneidad: Aleación cuyos elementos son de la misma índole o se encuentran íntimamente mezclados o igualmente distribuidos.
- Isotropía: Característica del acero cuyas propiedades físicas son idénticas en cualquier dirección.



- Módulo de elasticidad: Pendiente de la gráfica esfuerzo deformación del acero estructural denotado por el símbolo E.
- Plasticidad: Comportamiento del acero estructural caracterizado por deformaciones permanentes sin fractura brusca.
- Propiedades mecánicas: Propiedades de un material que revelan su comportamiento elástico e inelástico cuando se aplica una fuerza, indicando de este modo su adaptabilidad para las aplicaciones mecánicas; por ejemplo, módulo de elasticidad, resistencia tensil, elongación, dureza y límite de fatiga.
- Recocido: Calentar y mantener a una temperatura adecuada y luego enfriar a una rapidez apropiada para reducir la dureza, mejorar la maquinabilidad, facilitar el trabajado en frío para producir una microestructura deseada u obtener las propiedades deseadas mecánicas, físicas u otras.
- Resistencia: Capacidad del acero para soportar las cargas que obran en él. Se determina cuantificando la fuerza máxima por unidad de área de sección transversal que soporta el acero antes de fracturarse.
- Rigidez: Resistencia a la deformación de un miembro o estructura, medida por la relación de la fuerza aplicada entre el desplazamiento correspondiente.
- Soldabilidad: Conjunto de propiedades que debe tener un acero para permitir fabricar juntas, uniones o conexiones que presenten características adecuadas de continuidad metalúrgica, seguridad e integridad, tomando en cuenta que esta propiedad debe ser definida respecto a un proceso de soldadura determinado.

- Templado: Enfriamiento rápido.
- Tenacidad: Es la energía total que absorbe un material antes de alcanzar la rotura, por acumulación de dislocaciones.
- Tratamiento térmico: Calentar y enfriar un metal o aleación sólida en tal forma que se obtengan las condiciones o propiedades deseadas.

### **CAPÍTULO III**

#### **DESCRIPCIÓN Y APLICACIÓN DEL PLAN DE ENSAYOS**

##### **3.1 DESCRIPCIÓN DEL ELEVADOR DE BOLAS DE ACERO DE 7635mm**

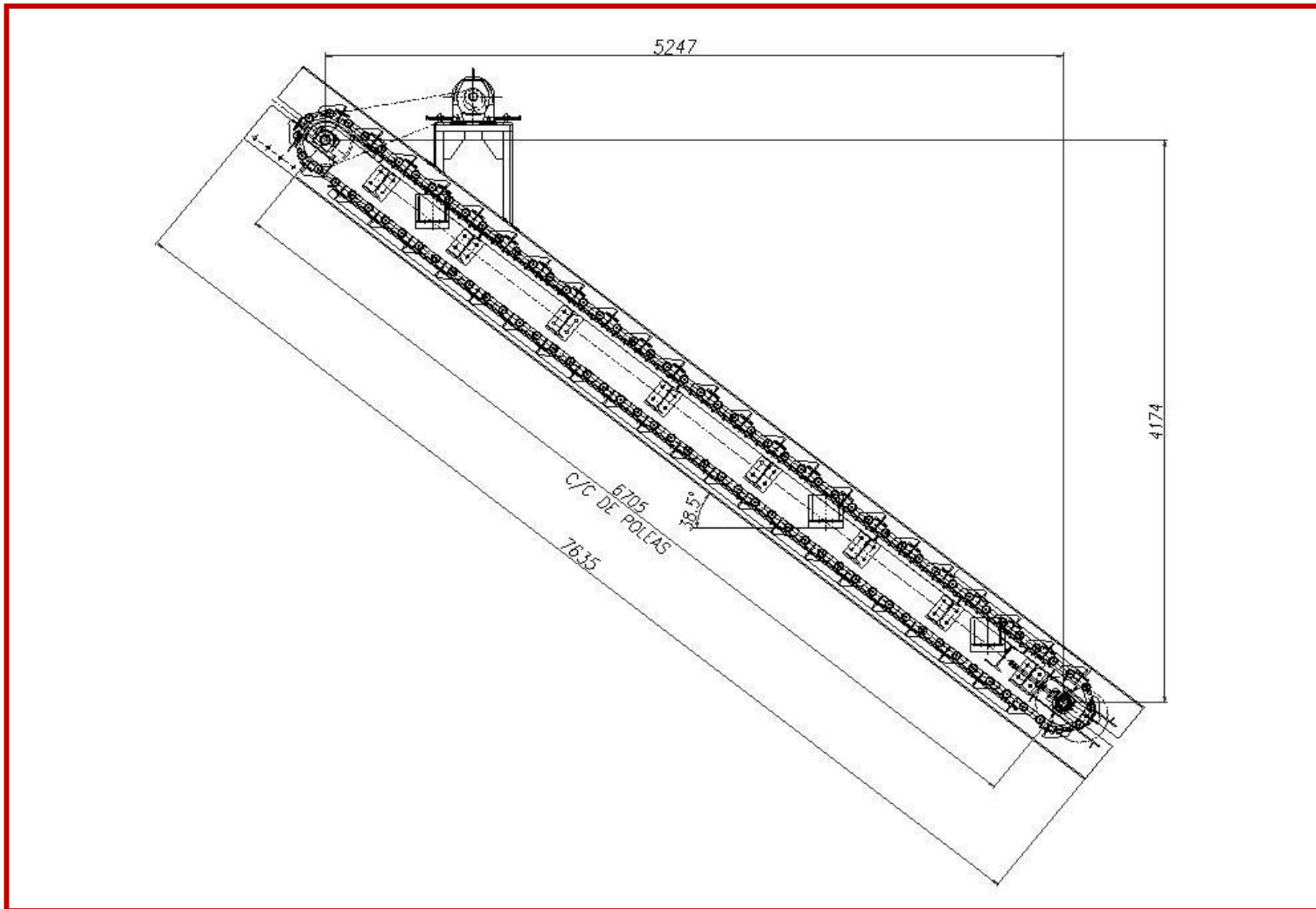
Siendo coherente con lo propuesto a alcanzar en el objetivo general de este proyecto de ingeniería.

Como parte de la descripción, iniciare especificando los estándares sobre la cual recaerá el proceso de diseño del elevador de bolas de acero de 7635mm, siendo estos:

Perfiles y planchas: ASTM A36,  $F_y = 2530 \text{ Kg/cm}^2$

Pernos de amarre: ASTM A325

Eje motriz: SAE 1045



**FIGURA N° 10: DIMENSION GENERAL DEL ELEVADOR - LÍNEA 1**  
Fuente: FAMOSE: Proyecto de sistema de almacenamiento y despacho de bolas de acero

Así también, se debe tendrá en cuenta las siguientes características técnicas:

- Material..... Bolas de acero.
- Tamaño de bolas..... Mínimo: 1 pulg diámetro.

Máximo: 2 ½ pulg diámetro.

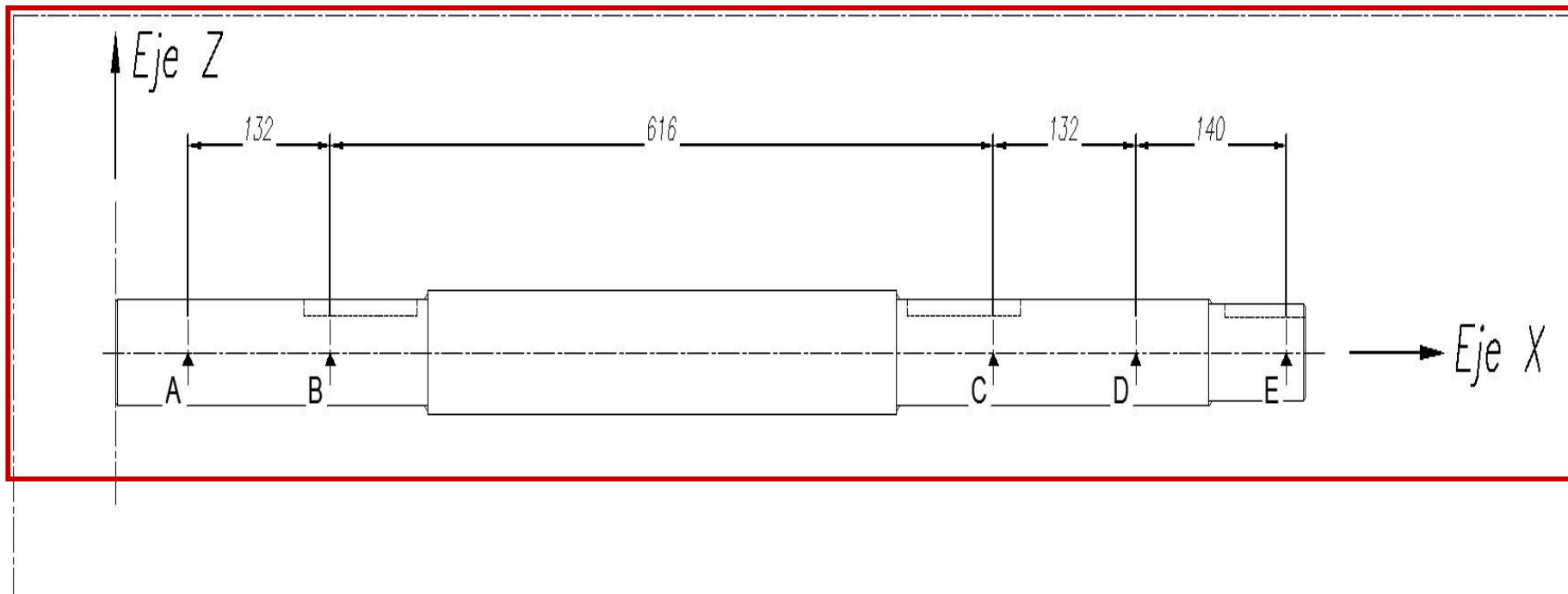
- Densidad..... 490 lb/pie3.
- Ratio ..... 120 bolas/min
- Capacidad Operación..... 7597 Kg/Hr.
- Factor de diseño.....1.2
- Capacidad de diseño..... 9116 Kg/Hr.
- Distancia entre ejes..... 7620 mm c/c ejes.
- Distancia horizontal..... 6797 mm
- Distancia vertical..... 3444 mm
- Angulo..... 26.87 grados
- Servicio ..... 24 Hr/día

	<u>Línea 1</u>	<u>Línea 2</u>
Diámetro de bolas		
Mínimo	1 pulg.	1 pulg.
Máximo	2 1/2 pulg.	3 1/2 pulg.
Ratio	120 bolas/min	40 bolas/min
Capacidad de operación	7597 kg/hr.	8725 kg/hr.
Factor de sobrecarga	1.2	1.2
<b>Capacidad de Diseño Requerida</b>	<b>9,116.00 kg/hr.</b>	<b>10,470.00 kg/hr.</b>

**FIGURA N° 11: CARACTERÍSTICAS DEL ELEVADOR DE ACERO DE 7635mm**

Fuente: FAMOSE: Proyecto de sistema de almacenamiento y despacho de bolas de acero

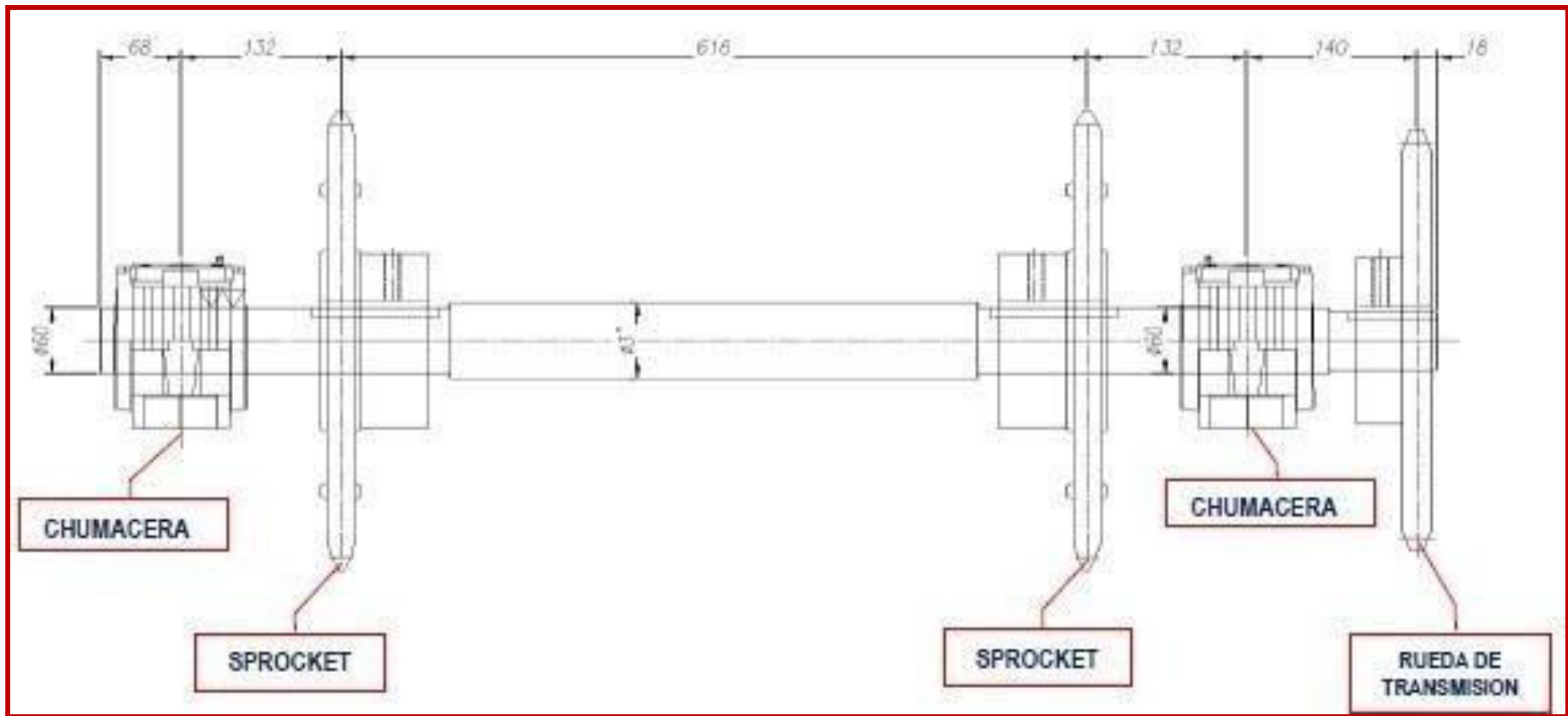
Con ellos determinamos que la capacidad de diseño máximo para los elevadores L1 y L2 es de 10,470.00 Kg/Hr.



Distancia AC:	748 mm	29.45	pulg
Distancia AD:	880 mm	34.65	pulg
Distancia AE:	1020 mm	40.16	pulg

**FIGURA N° 12: PLANO Y CARACTERÍSTICA DEL EJE MOTRIZ DEL ELEVADOR DE ACERO DE 7635mm**

Fuente: FAMOSE: Proyecto de sistema de almacenamiento y despacho de bolas de acero



**FIGURA N° 13: PLANO DE UBICACIÓN Y DIMENSIONES DE LAS CHUMACERAS Y SPROCKET EN EL EJE MOTRIZ**

Fuente: FAMOSE: Proyecto de sistema de almacenamiento y despacho de bolas de acero

# SISTEMA DE TRANSMICION

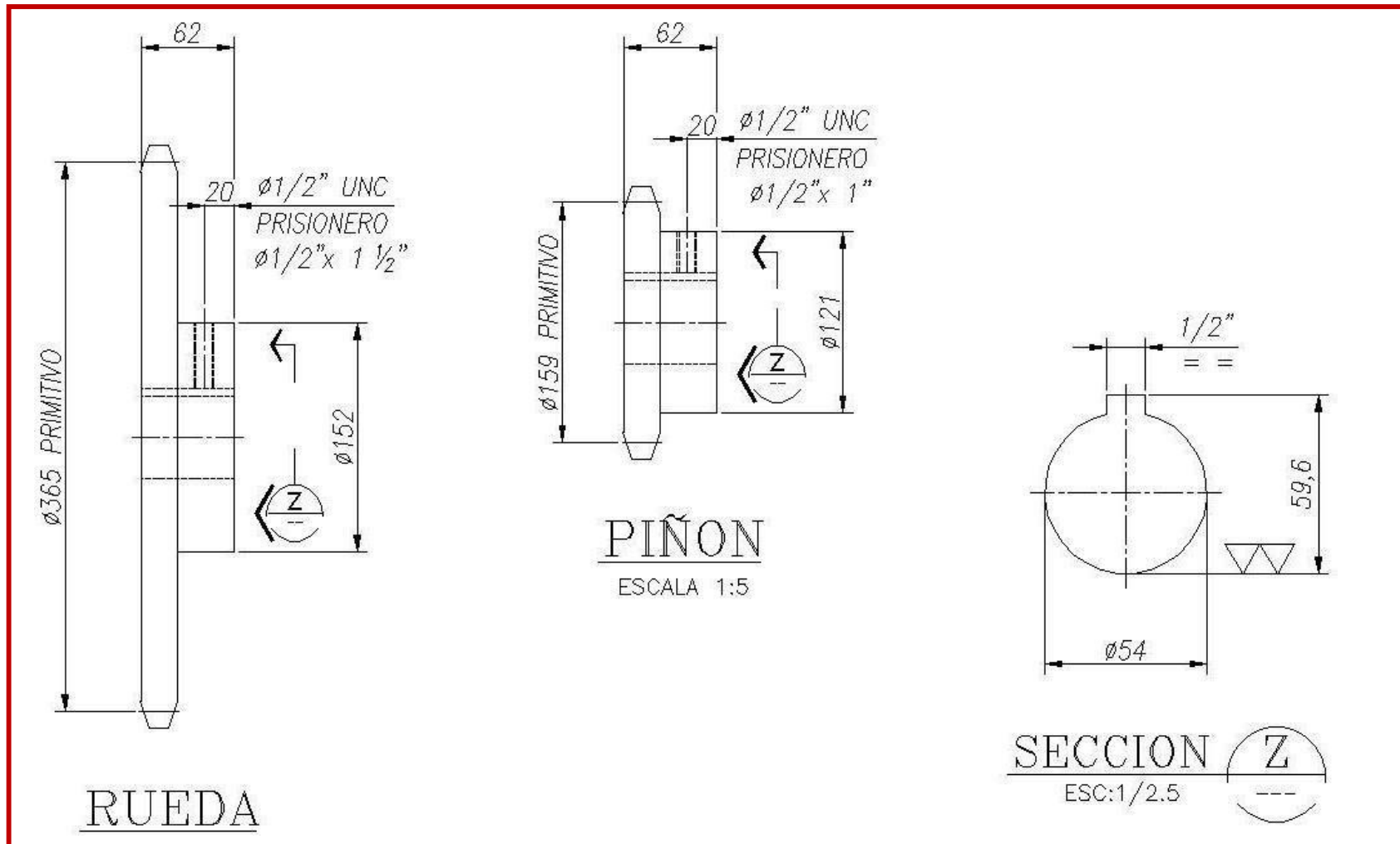
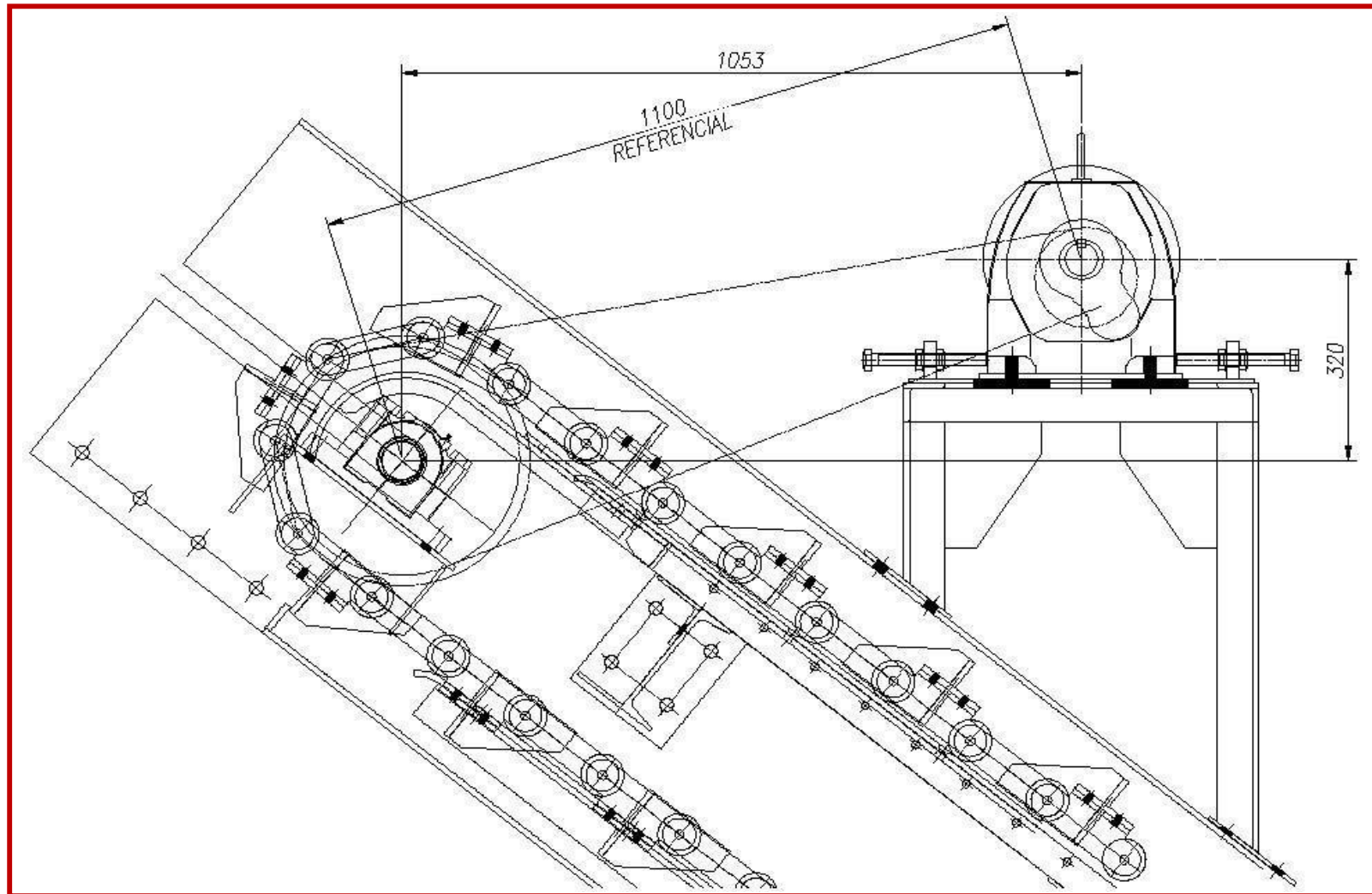


FIGURA N° 14: PLANO DE LA RUEDA Y PIÑON

Fuente: FAMOSE: Proyecto de sistema de almacenamiento y despacho de bolas de acero





**FIGURA N° 15: PLANO DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN**  
Fuente: FAMOSE: Proyecto de sistema de almacenamiento y despacho de bolas de acer

### 3.2 NORMAS APLICABLES AL PROYECTO

El proyecto está basado en las siguientes normas:

- AISC { LRFD.....(Load and resistance factor design)  
(Diseño por factores de carga y resistencia)  
ASD.....(Allowable stress design)  
(Diseño por resistencia permisible)

AISC (American Institute of Steel Construction)  
(Instituto Americano de la construcción en acero)

- RNE (Reglamento Nacional de Edificaciones)

#### **LRFD**

Este método de diseño denominado también diseño por estados límites o resistencia última, consiste en determinar en primer término, las acciones (cargas o momentos) que se representan en las secciones críticas de un miembro estructural o estructura bajo el efecto de las acciones de diseño o cargas factorizadas.

#### **ASD**

Este método de diseño denominado también diseño elástico, consiste en determinar, en primer término, los esfuerzos que se presentan en las secciones críticas de un miembro estructural bajo la acción de las cargas de servicio o de trabajo, considerando un comportamiento elástico del material. Se considera que un miembro está diseñado correctamente cuando los esfuerzos de trabajo, ocasionados por las cargas de servicio que obran en el miembro no excedan los esfuerzos permisibles.

### 3.3 CÁLCULOS DE DISEÑO DEL ELEVADOR DE BOLAS DE ACERO DE 7635mm

A continuación se procede a realizar el cálculo de diseño del elevador de bolas de acero de 7635mm.

#### 3.3.1 DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DEL TRANSPORTADOR

Bolas a transportar = 1", 2", 2 1/2", 3", 3 1/2"

Peso de bola 3 1/2" = 2.89 Kg

Peso de bola 2 1/2" = 1.054 Kg

Paso de cadena = 6 (152.4mm)

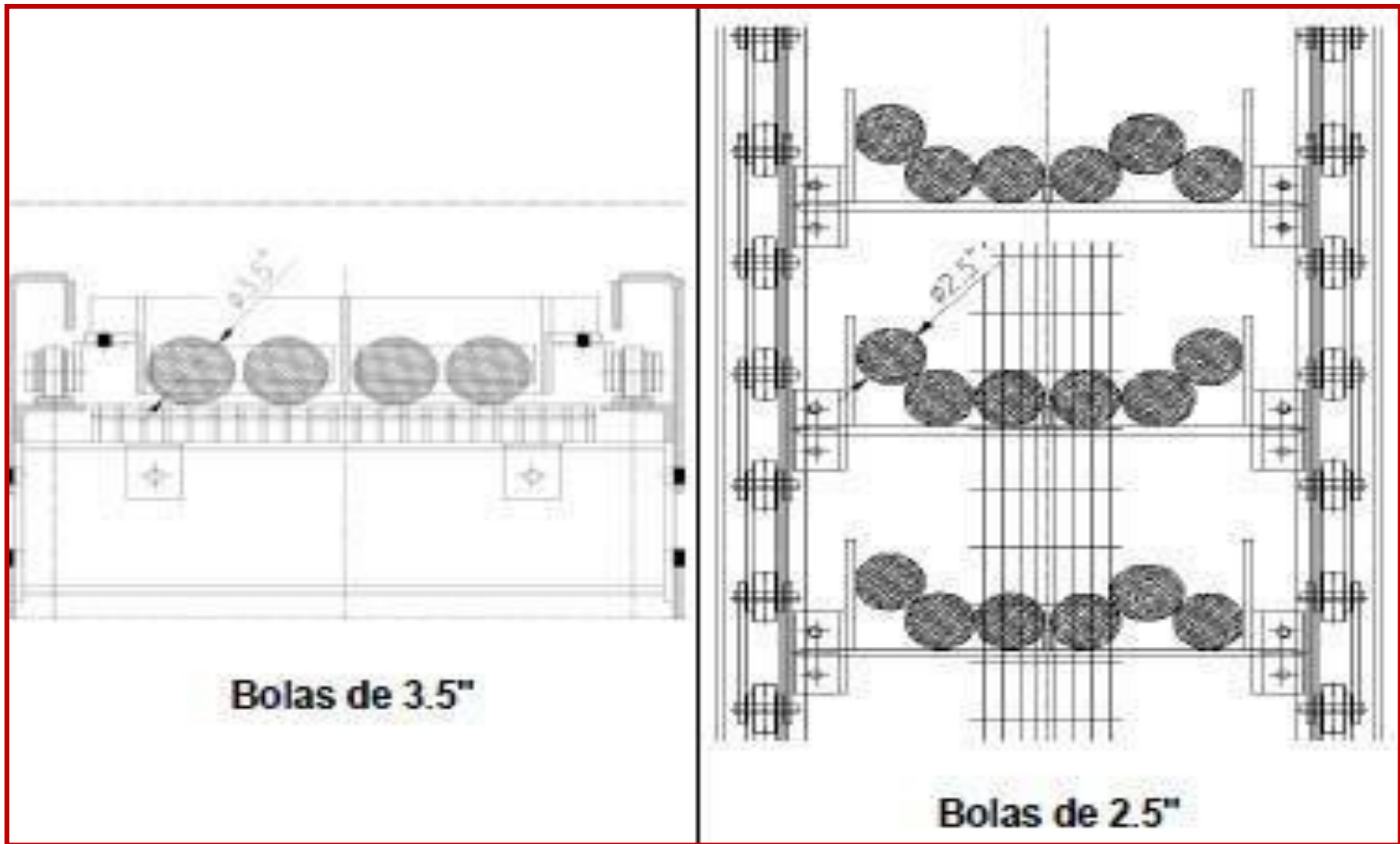
Paso entre capachos = 304.8

Numero de pasos (6705/304.8) = 22

Velocidad de transporte = 100 pie/min (0.508 mps) (30.48 mpm)

	Línea 2 (bolas de 3 1/2")	Línea 1 (bolas de 2 1/2")
Peso de la bola acero Forjada	2.89 kg	1.054 kg
Cantidad de bolas por espacio	4	6
Peso de bolas por espacio (pbe)	11.56 kg	6.324 kg
Peso total de las bolas = N° pasos x (pbe)	254.32 kg	139.128 kg
Peso Unit = Peso total / 6.705 m	37.93 kg/m	20.75 kg/m
Factor de inclinación	0.26	0.26
$k = 1 - 1.64 \left[ \frac{\varphi - \pi}{180} \right]^2$ k = factor por inclinación φ = ángulo de inclinación (grados)		
Capacidad de Carga del Elevador = Peso unit. * v * k	18,035.00 kg/hr	9,866.00 kg/hr

**TABLA N° 11: CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE CARGA DEL ELEVADOR**  
Fuente: FAMOSE: Proyecto de sistema de almacenamiento y despacho de bolas de acero



**FIGURA N° 16: ARREGLO DE LA CANTIDAD DE BOLAS POR ESPACIO ENTRE PALETAS**  
Fuente: FAMOSE: Proyecto de sistema de almacenamiento y despacho de bolas de acero

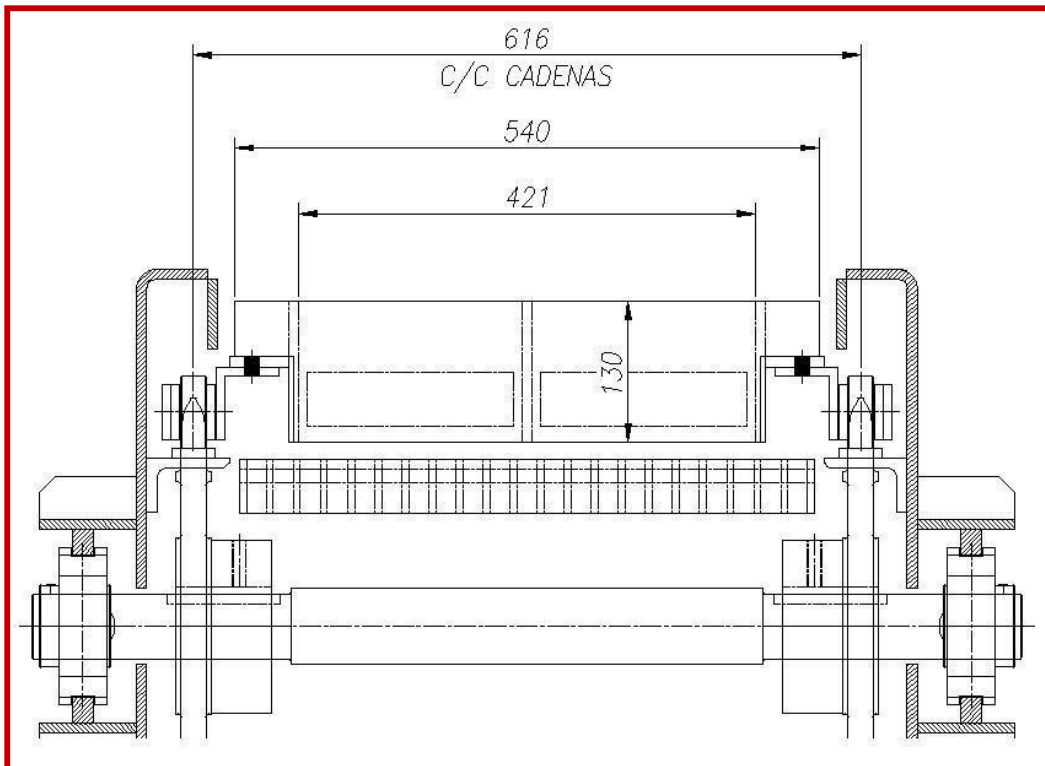
### 3.3.2 SELECCIÓN DEL TAMAÑO DE LAS PALETAS DEL ELEVADOR DE BOLAS

Ancho de paleta = 540mm Ancho

neto de paleta = 421mm Altura

de paleta = 130mm Distancia

entre cadena = 616mm



**FIGURA N° 17: DIMENSIONAMIENTO DE LAS PALETAS DEL ELEVADOR DE BOLAS**

Fuente: FAMOSE: Proyecto de sistema de almacenamiento y despacho de bolas de acero

### 3.3.3 DETERMINACIÓN DEL RPM DE LA RUEDA MOTRIZ (SPROCKET)

La velocidad del eje motriz del elevador de bolas será:

$$n = \frac{60 v}{P \cdot z}$$

Siendo:

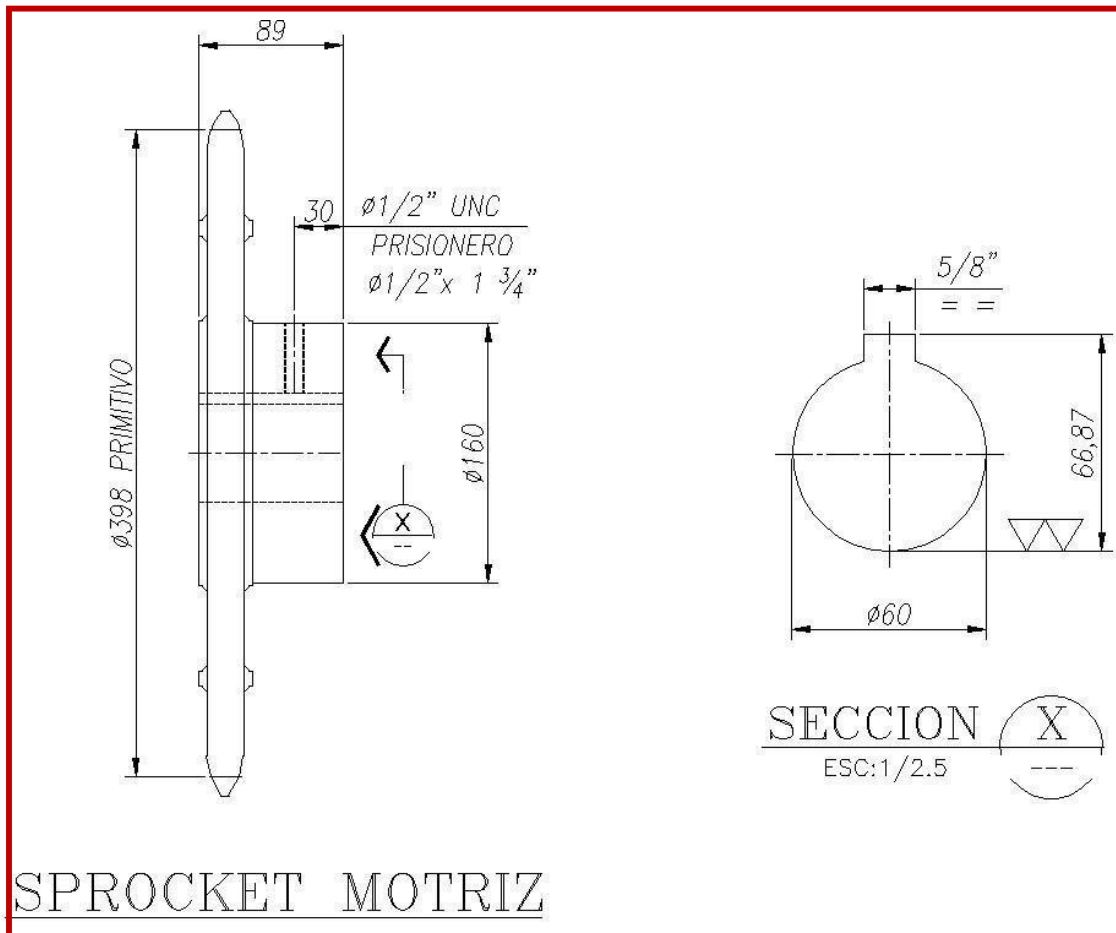
Velocidad de la cadena (mps)  $v = 0.508$  (100 pie/min) (30.48 mpm)

Paso de la cadena (m)  $P = 0.1524$  (6 pulg)

Numero de dientes rueda motriz  $z = 8$

Diámetro paso sprocket (m)  $D_p = 0.39824$  (15.68 pulg)

Con los valores anteriores se calculó la velocidad de giro "n" igual a 25 RPM



**FIGURA N° 18: DIMENSIONAMIENTO DEL SPROCKET MOTRIZ**  
Fuente: FAMOSE: Proyecto de sistema de almacenamiento y despacho de bolas de acero

### 3.3.4 DETERMINACIÓN DE LA POTENCIA DEL MOTOR ELÉCTRICO

Peso unitario del Material bolas (18.96x1.3) = 49.31 kg/m  
Peso de una paleta = 13.78 kg

Cantidad paletas x metro (1000/304.8) = 3.3 (3.3 paletas en 1.0m)

Peso de las paletas (3.3x13.78x1.25) = 56.84 kg/m

Peso de cadena (10 kg/m x 2 hileras) = 20 kg/m

Coefficiente de fricción ( $\mu_c$ ) = 0.6

Si  $h/a = 4174/5247 = 0.796 > \mu_c$ , y usando

Donde: 
$$F = \mu_c \cdot a (w + q) + h (w + q)$$

a: Distancia horizontal = 5.247m

h: Distancia vertical = 4.174m

w: Peso cadena + accesorios = 76.84 Kg/m

q: Peso material a transportar = 49.31Kg/m

Luego, reemplazando, se tiene que la Fuerza tracción será igual a 924 kg (2033 lb).

Ahora la potencia absorbida (HP) será igual a:

Potencia absorbida ( $P = 1493.45 \times 100/33000$ ) = 5.63 Hp

Además, como  $h/a > \mu_c$ , entonces usamos Luego, se tiene que:

$$P = [ F - w ( h - \mu_c \cdot a ) ] \cdot \frac{V}{100}$$

Eficiencia de transmisión = 0.85

Potencia de motor = 6.62 Hp

Potencia del motor eléctrico = 7.5 Hp

MOTORREDUCTOR GROVE GEAR&LEESON/USA										
Item	Cant.	Marca	MODELO	HP	Ratio	RPM	Torque (lb x pulg.)	F.S.	Peso (lbs)	Motor Eléctrico
1	1	Grove Gear & Leeson	Motorreductor Coaxial de Engranajes Helicoidales, eje sólido, Montaje Horizontal, Mod. RBQ8872-31.51-M11-B3 -G151346.60	7.5	31.51	56.0	13330	1.62	319	230/460 Vac, 60 Hz., trifásico, TEFC, F.S. 1.25, Aisl. F, 89.5% Eficiencia, F.L.A. 19.2/9.6 Amp., Cat. N° G151346.60, frame 213TC, sin base.

**FIGURA N° 19: CARACTERÍSTICAS DEL MOTOREDUCTOR SELECCIONADO**

Fuente: FAMOSE: Proyecto de sistema de almacenamiento y despacho de bolas de acero

### 3.3.5 SELECCIÓN DE LA CADENA DE TRANSPORTE

La tracción de la cadena calculada hace referencia a una condición estática y considerando el arrastre con una sola cadena, y bajo las condiciones reales de trabajo, la fuerza de tracción calculada se tendrá que corregir.

$$F_{cor} = F * f_1 * f_2 = 2402.4 \text{ kg (5285 lb)}$$

Donde:

$F_{cor}$ : Tracción de cadena corregida

F: Fuerza de tracción cadena estática

$f_1, 2$ : coeficientes de corrección

Ahora se considerará:

$f_1 = 2$ , Depende del tipo de engrase, horas por día, arranque por hora y sobrecargas.

$f_2 = 1.3$ , Depende del número de dientes de las ruedas y velocidad de cadena.



Coeficiente $F_1$							
		Horas de trabajo diarias					
		N° arranques por hora					
Tipo	Tipo	8 h/día		16 h/día		24 h/día	
Funcionamiento	Engrase	hasta 2	de 2 a 10	hasta 2	de 2 a 10	hasta 2	de 2 a 10
Funcionamiento Uni- formal (sobrecargas inferiores al 5%)	Normal	1	1,20	1,20	1,40	1,60	1,80
	Irregular	1,30	1,50	1,50	1,80	2,00	2,30
	Sin engrase	1,70	2,00	2,00	2,40	2,70	3,00
Funcionamiento irregu- lar (sobrecargas entre el 5% y el 20%)	Normal	1,20	1,40	1,40	1,60	1,80	2,00
	Irregular	1,50	1,80	1,80	2,00	2,30	2,60
	Sin engrase	2,00	2,40	2,40	2,70	3,00	3,40
Funcionamiento a golpes (sobrecargas entre el 20% y el 40%)	Normal	1,40	1,60	1,60	1,80	2,00	2,20
	Irregular	1,80	2,00	2,00	2,30	2,60	3,00
	Sin engrase	2,40	2,70	2,70	3,00	3,40	3,80

**FIGURA N° 20: COEFICIENTES  $f_1$  Y  $f_2$**

Fuente: FAMOSE: Proyecto de sistema de almacenamiento y despacho de bolas de acero

Coeficiente $F_2$						
N° dientes rueda	Velocidad cadena m/seg					
	0,25	0,5	0,75	1	1,5	2
6	1,4	2	2,9	4,4	-	-
7	1,1	1,4	1,8	2,3	4	-
8	1	1,3	1,5	1,8	2,5	3,6
9	1	1,2	1,4	1,6	2,0	2,6
10	0,9	1,1	1,2	1,4	1,7	2,0
11	0,9	1	1,2	1,3	1,5	1,8
13	0,8	1	1,1	1,2	1,4	1,5
15	0,8	0,9	1	1	1,2	1,3
19	0,8	0,9	1	1	1,1	1,2

Además:

$$F_{cor} \text{ (por cadena)} = F_{cor} \cdot f_3$$

Donde:

$f_3$ , está determinado por el número de cadenas que trabajan en paralelo.

Entonces, con:

$$f_3 = 1.2/n^\circ \text{ cadenas} = 0.6$$

Se tiene que:

$$F_{cor} \text{ (por cadena)} = 1441 \text{ Kg (3170lb)}$$

Ahora, para determinar el factor de seguridad y carga de rotura de la cadena, se tomará en cuenta la siguiente expresión:

<b><math>F_R = F_{cor} \cdot S</math></b>	
<b>Factor de seguridad S</b>	
Ambiente idóneo limpio y lubricado	6
Ambiente semilimpio lubricado	8
Ambiente sucio y temperatura > 100°C	10
Ambiente abrasivo sucio > 100°C y extremas condiciones	12

**FIGURA N° 21: FACTOR DE SEGURIDAD**

Fuente: FAMOSE: Proyecto de sistema de almacenamiento y despacho de bolas de acero

Tomando como referencia la figura anteriores, se elige  $S=12$ ,

entonces:

$$F_R = \text{Tensión de rotura} = S \times F_{cor} \text{ (por cadena)} = 38,040.00 \text{ lb}$$

### 3.3.6 DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICA DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN

Del motorreductor seleccionado, con 7.5 HP x 56 rpm salida, 220/240 V, 60 Hz y alimentación trifásica.

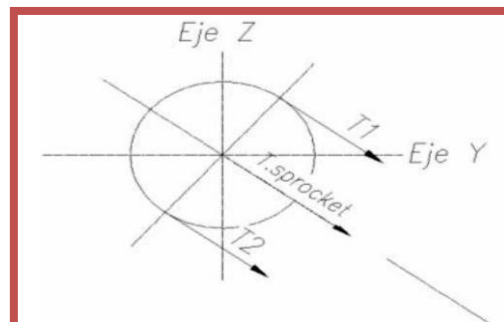
Se tiene:

- Piñón:  $Z = 13$ , paso  $1 \frac{1}{2}$  pulg x 1 hilera
- Rueda:  $Z = 30$ , paso  $1 \frac{1}{2}$  pulg x 1 hilera
- Cadena: paso =  $1 \frac{1}{2}$  pulg x 1 hilera,  $L=3.5$  mts (aproximado)
- Candado: paso =  $1 \frac{1}{2}$  pulg x 1hilera

### 3.3.7 DIMENSIONAMIENTO DE EJES Y CHUMACERAS

Partiendo de los siguientes datos definidos:

- T sprocket: 3170 Lb
- Potencia: 7.5 Hp
- N sprocket: 25 RPM
- Dp sprocket: 398mm
- W = Peso sprocket: 300 lb
- RPM: 25 RPM



$$T1 + T2 = 3170\text{lbs}$$

FIGURA N° 22: ESQUEMA DE UN SPROCKET

Fuente: FAMOSE: Proyecto de sistema de almacenamiento y despacho de bolas de acero

### **Momento Torsor**

$$M_t = hp * 63000 / N_{\text{sprocket}}$$

$$M_t = 7.5 * 63000 / 25 = 18900 \text{ lb-pulg}$$

### **Para transmisión por cadena**

$$M_t = (T_1 - T_2) * R$$

$$R = D_p_{\text{sprocket}} / 2 = 7.83465 \text{ pulg} \quad \implies T_1 - T_2 = 2412 \text{ lb}$$

De (1) y (2)

$$T_1 = 2791.18 \text{ lb} \quad T_2 =$$

$$378.82 \text{ lb}$$

Descomponiendo fuerzas de la tensión del sprocket en los ejes Y, Z.

$$F_y = \cos(38.5) * T_{\text{sprocket}} = 2480.84 \text{ lb}$$

$$F_z = \sin(38.5) * T_{\text{sprocket}} = 1973.33 \text{ lb}$$

Velocidad lineal del sistema transmisión (v)

$$v = n * P * Z / 60 = 0.47625 \text{ m/s} \quad (\text{Rueda} = 93.75 \text{ pie/min})$$

$$n = 25 \text{ RPM}$$

$$P = 0.0381 \text{ m} \quad (\text{paso de la cadena})$$

$$z = 30 \text{ N}^\circ \text{ dientes}$$

$$F_{\text{útil rueda}} = \text{Pot.} * 33000 / v = 2640.00 \text{ lb}$$

$$F_y \text{ rueda} = \text{Cos}(16.8^\circ) * F \text{ rueda} = 2527.27 \text{ lb}$$

$$F_z \text{ rueda} = \text{Sen}(16.8^\circ) * F \text{ rueda} = 762.96 \text{ lb}$$

### 3.3.8 CÁLCULO DE CARGAS

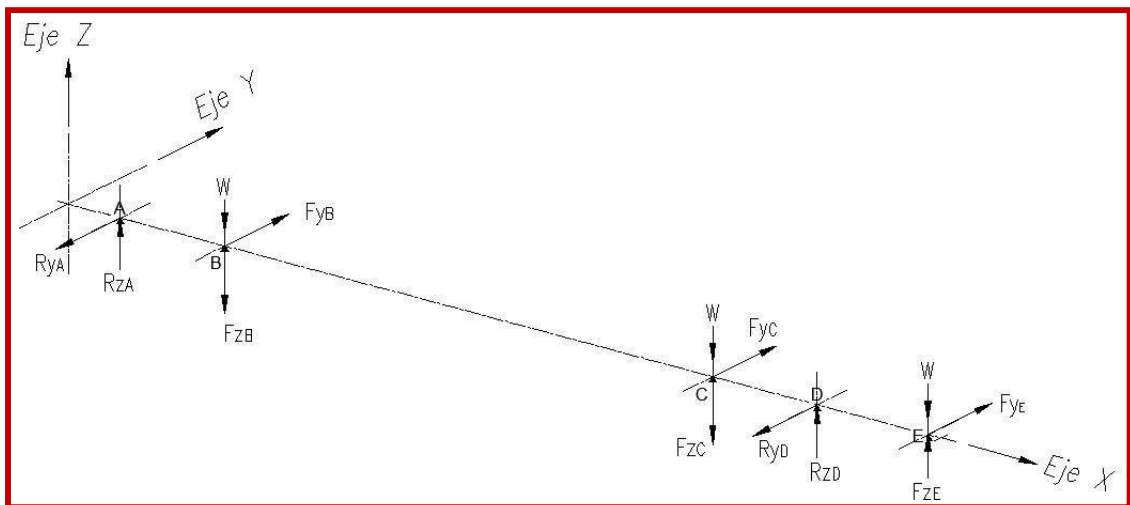
$$F_{y \text{ B, D}} = 2480.84 \text{ lb}$$

$$F_{z \text{ B, D}} = 1973.33 \text{ lb}$$

$$W_{\text{ B, D, E}} = 300.00 \text{ lb}$$

$$F_{y \text{ E}} = 2527.27 \text{ lb}$$

$$F_{z \text{ E}} = 762.96 \text{ lb}$$



**FIGURA N° 23: DIAGRAMA DE CARGAS**

Fuente: FAMOSE: Proyecto de sistema de almacenamiento y despacho de bolas de acero

### **Diagrama de Momentos**

#### **A. Diagrama en los ejes X, Z**

$$R_{z \text{ A}} = 2347.14 \text{ lb}$$

$$R_{z \text{ D}} = 1735.56 \text{ lb}$$

$$M_{z \text{ B}} = 12192.74 \text{ lb-pulg}$$

$$M_z C = 13987.83 \text{ lb-pulg}$$

$$M_z D = 2557.26 \text{ lb-pulg}$$

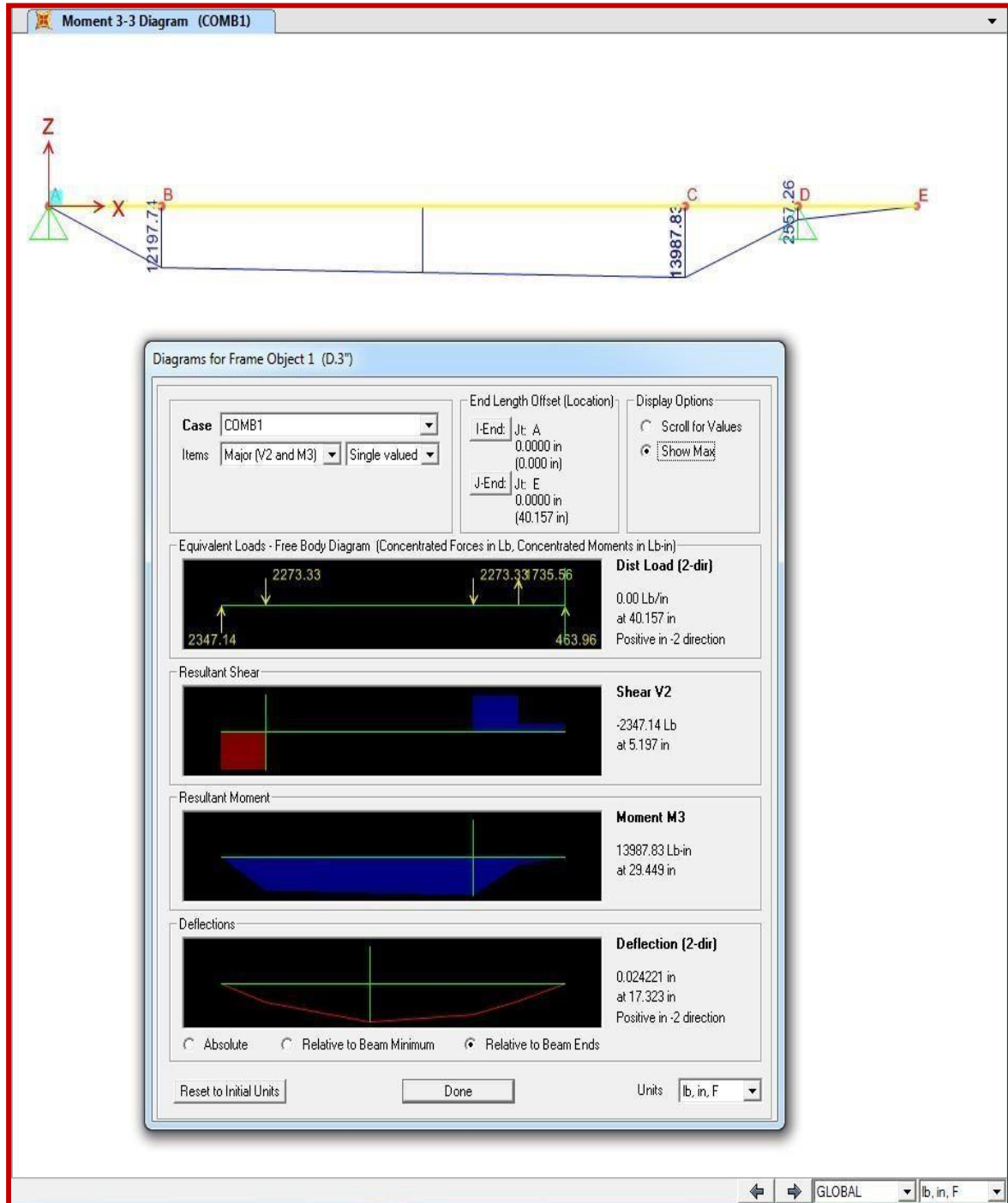


FIGURA N° 24: SIMULACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE MOMENTOS EN LOS EJES X - Z  
Fuente: FAMOSE: Proyecto de sistema de almacenamiento y despacho de bolas de acero



### 3.4 REVISIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE RESULTADOS

✚ Para el acero SAE 1045

Límite de fluencia = 310Mpa (4500psi)

Resistencia tracción = 565Mpa (81900psi)

Según código ASME para aceros con ejes definidos:

Ss (permisible) debe ser mayor o igual a 30% limite elástico,

entonces: 30% \* 4500 psi = 1350psi

Además:

18% resistencia x Tracción \* 75%(cuñero)

18%\*75%\*81900 psi =11056.5psi

Por lo tanto: Ss (permisible) es igual a 11056.5psi

Para eje macizo con carga axial pequeña o nula, se calcula el diámetro del eje con la siguiente expresión:

$$d^3 = \frac{16}{\pi S_s} \sqrt{(kb * Mb)^2 + (kt * Mt)^2}$$

Considerando Kb=1.5 y Kt = 1 y teniendo en cuenta que el Mb max (Momento de flexión Máximo) es igual a 16293.85 lb-pulg, entonces:

Mb máx. = (MB, MC, MD)

MB =  $\sqrt{(10803^2 + 12197.74^2)}$  = 16293.85lb-pulg

MC =  $\sqrt{(1052.19^2 + 13987.83^2)}$  = 14027.35 lb-pulg



$$MD = \sqrt{(13929.83^2 + 2557.26^2)} = 14162.62 \text{ lb-pulg}$$

$$d^3 = \frac{16}{\pi (11056)} \sqrt{(1.5 * 16293.85)^2 + (18900)^2}$$

Se tiene que  $d = 2.42$  pulg

Además como el:

Diámetro instalado = 3.00 pulg

Diámetro Calculado = 2.42 pulg

Por lo tanto:

**D instalado > D. calculado**

✚ En cuanto a la revisión de las chumaceras seleccionadas, se tiene:

SNL 513 - 611

El rodamiento con agujero cilíndrico 22213 EK, con manguito de fijación

H 313, presenta:

Diámetro seleccionado: 60mm

Datos del rodamiento:

$P_u = 24 \text{ KN}$

Carga Dinámica C: 193 KN

Carga Estática  $C_o$ : 216 KN  $e = 0.24$

$Y_1 = 2.8$

$$Y1 = 4.2$$

$$Y1 = 2.8$$

Fuerza axial Nula o caso cero  $F_a = 0$

Fuerza radial  $F$  resultante en el punto A = 3135.339039lb (13.95KN)

$F$  resultante en el punto D = 5681.744111lb (25.28KN)

Por lo tanto:

La carga equivalente  $P$  (Fuerza radial) es igual a 25.28KN < 216 KN

Factor de seguridad ( $f_s$ ) =  $C / P$  7.63

✚ En cuanto a la vida del rodamiento (horas):  $p = 3$  bolas

$$p = 10/3 \text{ rodillo}$$

$$n = 25 \text{ rpm}$$

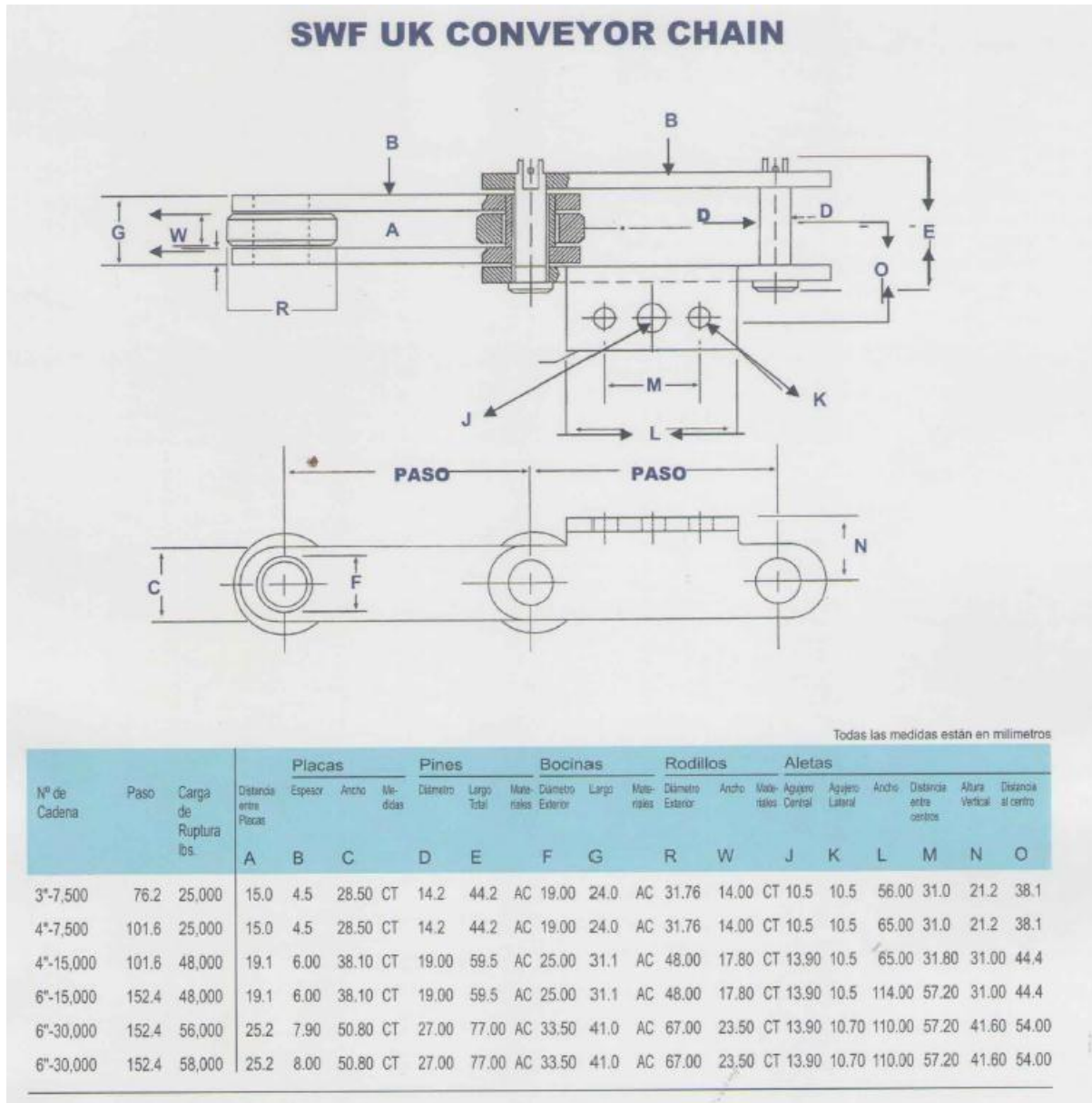
Y considerando la siguiente expresión, se tiene:

$$Lh = \left(\frac{C}{P}\right)^p \frac{10^6}{n \cdot 60}$$

Se tiene:

$$Lh = 584,130 \text{ horas} > 250000 \text{ hrs}$$

✚ En referencia a la Carga de Rotura:



**FIGURA N° 26: PARAMETROS PARA LA CARGA DE ROTURA**

Fuente: FAMOSE: Proyecto de sistema de almacenamiento y despacho de bolas de acero

De la figura anterior se tiene que el paso de la cadena seleccionada es igual a 6 pulg x 30,000 A3 Standard SWF UK, con lo que la Carga de rotura será igual a 56,000 lbs, siendo este valor mayor a la tensión de rotura del diseño obtenida (38,040.00lbs)

Carga de rotura = 56,000 lbs > 38,040.00

## CONCLUSIONES

- ✚ Se diseñó el elevador del proceso de almacenamiento y despacho de bolas de acero de 7635mm, de la Empresa Aceros Chilca S.A.C, el cual conllevó a su implementación y montaje de forma correcta.
- ✚ Se verificó parámetros obtenidos en referencia al diseño del elevador del proceso de almacenamiento y despacho de bolas de acero de 7635mm, cumplen con los parámetros estándares establecidos ASTM.
- ✚ Finalmente se concluye que fue posible desarrollar el elevador como alternativa de mejora para agilizar el proceso de almacenamiento y despacho de bolas de acero de 7635mm, en la empresa Aceros Chilca S.A.C.

## RECOMENDACIONES

- ✚ Se recomienda establecer los procedimientos para el mantenimiento preventivo del proceso de almacenamiento y despacho de bolas de acero de 7635mm en la Empresa Aceros Chilca S.A.C, el cual contenga también los procedimientos para el mantenimiento preventivo del elevador propuesto.
- ✚ Se recomienda establecer los procedimientos correctivos en el registro de tiempo de recambio de las paletas, a fin de establecer la optimización del elevador de bolas a través del recambio de Acero ASTM 36, por Hardox 400.
- ✚ Se recomienda tomar como referencia este diseño del elevador a fin de que pueda servir como base teórica, con el propósito de ser utilizado para otros procesos que requieran elevadores de bolas de acero.

## BIBLIOGRAFÍA

1. **TORRES. C.** (2010). Diseño de un elevador automático para la línea #1 de producción de la C.A. Ron Santa Teresa. (Tesis de Pre Grado). Universidad Simón Bolívar. Sartenejas, Venezuela.
2. **BASURTO. B.** (2013). Diseño de Transportadores de Acero. (Tesis de Pre Grado). Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador.
3. **PUENTE. J.** (2010). Diseño de Transportador de Carga. (Tesis de Pos Grado). Universidad Autónoma de Nueva León. Monterrey, México.
4. **MOTT. R.** (2006). Diseño de Elementos de máquinas. México: PEARSON
5. **HARMSSEN. T.** (2005). Diseño de Estructuras. Lima, Perú: PUCP
6. **PASCUAL. B.** (2011). Construcciones de Estructuras Metálicas. Alicante, España: ECU

## BIBLIOGRAFÍA ELECTRÓNICA

1. Diseño, fabricación y montaje de un elevador de carga para el frigorífico\_  
<http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/5691/2/119575.pdf>
2. Diseño Práctico de un Molino de Bolas\_  
<http://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/107/TESIS%20Juan%20Ramon%20Alcantara%20Valladares%20%20MOLINO%20DE%20BOLAS.pdf?sequence=1>
3. Acero y sus clasificaciones\_  
[http://cdigital.dgb.uanl.mx/te/1020119025/1020119025\\_02.pdf](http://cdigital.dgb.uanl.mx/te/1020119025/1020119025_02.pdf)
4. Compendio de normas para productos de acero\_  
<http://descom.jmc.utfsm.cl/sgeywitz/dctos/normas.pdf>
5. SAE 1020 - SAE 1045  
<http://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/7826/VasquezTorresEdwinLibardo2013Anexos.pdf?sequence=2>
6. Acero Recurso Estratégico para el desarrollo\_  
<http://asdopen.unmsm.edu.pe/files/Articulo2-4.pdf>