

UNIVERSIDAD DEL BÍO - BÍO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

Profesor Patrocinante:

Sr. Alvaro Suazo Schwencke.

**“DIAGNÓSTICO DE LA FALLA EN RASTRAS ESPESADOR”**

Proyecto de Título presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título de Ingeniero Civil.

HIPÓLITO RODRIGO FUENTES FUENTES

Concepción, Enero de 2016

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mi amada esposa, Norma Pedreros Nova por su gran amor, apoyo, paciencia y ánimo que me brinda día con día para alcanzar nuevas metas, tanto profesionales como personales.

A mis adorados hijos Diego Fuentes Pedreros y Rodrigo Fuentes Pedreros, a quienes siempre cuidaré para verlos hechos personas profesionales y capaces, que puedan valerse por sí mismos.

A mi Madre y hermanas, quienes son mi guía desde mi infancia.

En especial se lo dedico a mi hija Camilita y mi Padre que se encuentran en el cielo y sé que desde arriba están contentos por el gran logro. Esta es una forma de decirles cuanto los amo y aunque ha sido un camino largo y duro por seguir este triunfo se los dedico con cariño.

## **AGRADECIMIENTOS**

A quienes me guiaron y colaboraron en el presente trabajo: En primer lugar agradezco a Dios y a mis padres por darme la vida y por enseñarme la luz que me guía hacia el sendero de la superación, permitiéndome llegar a culminar una etapa más de mi vida.

A la Universidad del Bio Bio, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiente. A su Directora de Escuela Ing. Ángela Salinas Barrera.

En especial reconocimiento y agradecimiento al Ing. Álvaro Suazo Schwencke. Docente y profesor patrocinante del Proyecto de Título, por sus sabios conocimientos, su don de gente, por su mística profesional y sobre todo por su inestimable apoyo y confianza depositada en mi persona.

## NOMENCLATURAS

ASD	: Diseño por tensiones admisibles
CC	: Criterio de Carga
CD	: Criterio de Diseño
cp	: Carga Permanente
ct	: Carga de Torque
DE	: Diseño Estructural
GMAW	: Proceso soldadura por arco bajo gas protector con electrodo consumible
LRFD	: Diseño por factor de carga y resistencia
pp	: Peso Propio
RCC	: Rastra del Cilindro Central
RD	: Resistencia de Diseño
RE	: Rastras del Estanque
RR	: Resistencia Requerida
SMAW	: Proceso soldadura por arco eléctrico con varilla metálica recubierta.
Arco Sumergido	: Es un procedimiento de soldadura con arco eléctrico en el que no se ve el arco de soldadura quemándose entre el electrodo sin fin y la pieza. El arco eléctrico y el baño de fusión están cubiertos por un polvo granular. La escoria formada por el polvo sirve para proteger la zona de soldadura frente a la influencia de la atmósfera.
Cp	: Corresponde a la concentración de sólidos en peso que se obtiene mediante la razón entre el peso del sólido presente en la mezcla, por el peso total del fluido.

- Espesador** : Es un aparato o equipo de separación continua de sólido – líquido, en el que los sólidos en suspensión se dejan decantar, produciendo un rebose de agua clarificada y un lodo concentrado en la descarga.
- Estanque elevado** : Deposito metálico elevado de 40 metros de diámetro y 5.2 metros de pared lateral recta. Pilares y vigas estructurales de soporte con una altura máxima de 6.8 metros.
- Feedwell** : Componente diseñado para permitir una distribución uniforme de la alimentación y minimizar la destrucción de los flóculos después de su floculación, es de 8.23 m de diámetro por 1.52 m de profundidad y construido en acero ASTM A36 con un espesor de 6 mm.
- Hipótesis** : Suposición hecha a partir de unos datos que sirven de base para iniciar una investigación o una argumentación. Es algo que se supone y a lo que se le otorga un cierto grado de posibilidad para extraer de ellos un efecto o una consecuencia.
- Homologación** : Igualación o comparación de una cosa con otra por tener ambas en común características referidas a su naturaleza.
- Jaula (Cage)** : Estructura fabricada en acero ASTM A572-Gr50, a la cual son unidas las rastras y será apernada al engranaje principal.
- Mecanismo** : Fabricado en acero ASTM A572 Gr.50, comprenden: Sistema motriz, pasillos, plataformas, columna central, jaula (cage), feedwell y rastras.
- Rastras** : Dividido en Rastras estanque y rastras cilindro central, las rastras estanque se componen por dos rastras largas y dos cortas, con raspadores (blade) que están adecuadamente espaciadas y dispuestas con el ángulo del estanque para permitir el barrido completo del fondo dos veces por revolución en la sección interna del estanque, fabricadas en tubulares acero ASTM A572 Gr.50, y las rastras cilindro central, se componen de cuatro rastras de una altura 2.5 m y un ancho de 1.5 m.

**Relave espesado** : Para fines de este proyecto definiremos relave espesado como un relave con tensión de fluencia mayor a 20 Pa. Fluido del tipo No-Newtoniano o Plástico tipo Bingham en condiciones de no segregabilidad.

**Resistencia Diseño** : Corresponde a las máximas solicitaciones que pueden resistir los miembros estructurales sin llegar a alcanzar las condiciones de inseguridad de comportamientos tales como ruptura, pandeo, rotaciones, pérdida de funcionalidad, entre otros. Resistencia nominal del elemento, determinada de acuerdo con los requisitos de las normas, multiplicada por el factor de reducción de la resistencia ( $\Phi$ ).

**Resistencia Requerida:** Fuerza máxima en un miembro o conexión bajo carga.

**Superestructura** : Armazón del puente de acero ASTM A36, para soportar el mecanismo, carga de pulpa, pasillos, cañería de alimentación, cargas vivas y muertas de 250 Kg/m<sup>2</sup>, La estructura se soporta en las paredes laterales del estanque y cubre todo el radio del espesador.

**Tensión de fluencia (Yield Stress)** : Corresponde al esfuerzo requerido para que el material comience a fluir. Este parámetro es medido en laboratorio mediante dos métodos. Uno corresponde a una medición en la cual una paleta es sumergida en el fluido y un equipo especializado (reómetro) registra la resistencia del fluido sobre la paleta al moverse lentamente. La segunda corresponde a la extrapolación a velocidad cero de la recta de Bingham sobre un reograma.

**Viscosidad** : Este parámetro expresa la resistencia del material a fluir y corresponde a la pendiente de la recta de la modelación de Bingham sobre un reograma.

El reograma es una gráfica de Shear Stress v/s Shear Rate, la cual se logra mediante un ensayo de laboratorio con un equipo especializado llamado viscosímetro o reómetro, en que una pulpa es puesta en un sistema cup and bob (vaso rotor) y el rotor gira desde velocidad cero hasta altas velocidades. Este parámetro es muy importante en el dimensionamiento del transporte del relave espesado.

**INDICE**

	Página.
1. INTRODUCCIÓN	3
1.1. Objetivo general	3
1.2. Objetivos específicos	3
2. METODOLOGÍA	4
2.1. Hipótesis	4
2.2. Recolección de datos	4
2.3. Revisión del diseño estructural	5
2.3.1. Homologación	5
2.3.2. Criterio de diseño	6
2.3.3. Cargas	6
2.3.3.1. Determinación carga de torque	7
2.3.3.2. Determinación carga permanente	7
2.3.4. Combinación de carga	8
2.3.5. Creación de modelo computacional	8
2.4. Revisión de perfiles	10
2.5. Revisión de conexiones	11
2.6. Revisión proceso operacional y metalúrgico	12
2.7. Torque	13
2.8. Ensayo de sedimentación	14
2.9. Fluido no newtonianos	15
2.10. Velocidad de sedimentación	16

	Página.
3. RESULTADOS	17
3.1. Esfuerzos por elemento	17
3.2. Resistencia de diseño de perfiles	20
3.3. Resistencia conexión apernada	22
3.4. Resistencia conexiones soldadas	22
3.5. Modelo capacidad última de la estructura	24
3.6. Proyección curva yield stress v/s concentración de sólido	24
3.7. Modelo torque requerido	25
3.8. Reporte control diario área de relave	25
3.9. Velocidad de sedimentación y tiempo llenado	26
3.10. Análisis de los resultados	26
3.10.1. Diseño estructural	26
3.10.2. Proceso de operación y metalúrgico	26
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	27
4.1. Del diseño estructural	27
4.2. Del proceso de operación y metalúrgico	28
REFERENCIAS	29

## “DIAGNÓSTICO DE LA FALLA EN RASTRAS ESPESADOR”

Hipólito Fuentes Fuentes

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío - Bío

hfuentes@ubiobio.cl

Profesor Patrocinante: Alvaro Suazo Schwencke

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío - Bío

asuazo@ubiobio.cl

### RESUMEN

El presente proyecto es un caso real producido en enero 2015 en dos espesadores de relave de cuarenta metros de diámetro de alta densidad. Estos espesadores presentaron una destrucción total de las rastras del cilindro central en pleno proceso productivo. El objetivo del presente proyecto es la determinación de la posible falla en las rastras. Para tal efecto, se analizaron dos hipótesis principales: En la primera relacionada con el diseño estructural, se utilizó un modelo computacional y las normativas vigentes nacionales e internacionales, para generar una revisión a los elementos estructurales y conexiones, determinando las cargas actuantes, fuerzas, factores, combinaciones y resistencias. En la segunda relacionada con el proceso operacional y metalúrgico, se analizó la documentación de operación del área de relave, balance hidráulico, datos metalúrgicos de laboratorio y flujos, además una revisión de los esfuerzos de corte (cizalle), tensión de fluencia, concentración de sólidos y velocidad de sedimentación. Después de obtener los resultados, se comprueba que ambas hipótesis planteadas tienen su grado de veracidad. Además, se logró determinar y recomendar varias mejoras estructurales como aumento de espesores y cambio de conexiones. También se incluyen recomendaciones a la operación de los espesadores.

Palabras Claves: Estructura metálica, proceso, tratamiento industrial de agua

4269 Palabras Texto + 22 Figuras/Tablas\*250 + 0 Figuras/Tablas\*500 = 9769 Palabras Totales



## **“FAULT DIAGNOSIS IN THICKENER RAKES”**

Hipólito Fuentes Fuentes

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío - Bío

hfuentes@ubiobio.cl

Advisor: Alvaro Suazo Schwencke

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío - Bío

asuazo@ubiobio.cl

### **ABSTRACT**

This project is a real case which happened in January 2015, in two high density thickeners of tailing, both of 40 meter of diameter. Those thickeners had a complete destruction of the rakes of the central column during the production process. The objective of this project is try to determinate the possible failures of rakes in both units. For this purpose, it have analyzed two main hypotheses: The first is for the structural design, where it had used a computational model and also national and international regulations, to permit a structural review for its elements and connections, determining the loads acting, its forces, combinations of factors and resistance; The second is referred to operational and metallurgical process, where it was analyzed the operational documentation for tailings area, hydraulic balance, metallurgical data from laboratory, flows, besides a review of the shear, yield stress, solids concentration and sedimentation rate.

On view of the results, it is found that in both hypotheses have raised their degree of veracity and also it was possible to determine and recommend various structural improvements, like to increase thickness and change of connections. Also, some recommendations to the operation of the thickeners were included.

Keywords: Steel structural, process, treatment industrial waste water.

## **1. INTRODUCCIÓN**

En el territorio nacional, existen varias y grandes empresas mineras (cobre, hierro, oro, plata, molibdeno, otros), representando aproximadamente el 15% (desde 2008 al 2014) de la economía chilena, respecto al Producto Interno Bruto. En el año 2014 llegó a 41.918 millones de dólares las exportaciones mineras, siendo los principales países de destino como China y Japón.

En el ámbito minero siempre se habla de tener buenos procesos productivos, de obtener productos de excelente calidad y de cumplir con las metas. Para conseguir esto es necesario que los equipos que componen cualquier línea productiva sean de muy buena calidad, es decir, que posean de una muy alta confiabilidad. Los espesadores de relave son equipo que se utilizan dentro del proceso de la minera para la separación del sólido-líquido del mineral proveniente de la planta concentradora.

Este proyecto de título se desarrolla tomando de base una situación real en dos espesadores de relaves, relativamente nuevos, puestos en marcha en el año 2014. Entre los componentes principales de un espesador de relave (Anexo A), se encuentran las rastras del cilindro central (RCC). En enero del 2015 las RCC presentaron una destrucción total en pleno proceso productivo, ocasionando pérdidas millonarias y atrasos en compromisos de exportación.

Se utilizaron herramientas como modelos computacionales, manual de diseño estructural “ICHA”, normas nacionales (NCh) e internacionales (ASTM, ASCI, ASCE-7, AWS), además literatura general de proceso operacional y metalúrgico, para la determinación de la posible falla en las RCC.

### **1.1. OBJETIVO GENERAL**

Determinación de la posible falla en las rastras del cilindro central del espesador de columna de alta densidad de relave.

### **1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Formular las hipótesis de falla para las RCC.
- Recolectar datos, documentación o información técnica y operaciones.
- Modelar las hipótesis de condición de falla.
- Analizar los datos y resultados obtenidos.
- Identificar la(s) falla(s), para generar recomendaciones y/o soluciones.

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1. HIPÓTESIS

A partir de las evidencias, fotos, videos observados y visitas a terreno, se establecieron dos hipótesis principales. La primera hipótesis es por falla en el diseño estructural (DE) y la segunda por falla en el proceso operacional y/o metalúrgico (Ver Figura 1).



Figura 1. Diagrama hipótesis

### 2.2. RECOLECCIÓN DE DATOS

En el transcurso del trabajo se logró obtener y acceder a documentación, información y antecedentes relevantes para el desarrollo del proyecto. Además se tomó como base para la evaluación de ambas hipótesis, a continuación se detallan:

- Especificaciones Técnicas
- Criterios de diseño
- Hojas de datos
- Balances
- Planos
- Manual de instalación, operación y mantenimiento
- Propuesta técnica comercial
- Reportes de novedades turno área relave

- Reporte control diario área relave
- Gráficos de torque
- Planilla reporte torque del día 10-01-2015
- Fotografías
- Videos
- Muestras de sedimentos

En Anexo B se muestra los documentos principales considerados en el análisis de este informe.

### **2.3. REVISIÓN DEL DISEÑO ESTRUCTURAL**

Una revisión al diseño estructural, tiene como finalidad la de constatar que los elementos y conexiones cumplan con la resistencia requerida, según las normas nacionales e internacionales vigentes aplicables. El diseño estructural y los planos (General Arrangement, Assembly y Manufacturing) se desarrollaron en Estados Unidos, utilizando sistema ISO-A, nomenclatura y normativas americanas.

#### **2.3.1. HOMOLOGACIÓN**

Se homologaron en la fabricación de la estructura varios puntos, respecto al diseño estructural original del mecanismo, los cambios son:

- Material “A500 Gr. B” por “A572 Gr.50”.
- Perfiles tubulares cajón “TS” por “OC” plegados y soldados con Arco Sumergido.
- Cambios de Espesores
  - 1/4” por 6mm
  - 3/8” por 10mm
  - 1/2” por 14mm

Las homologaciones consideradas afectan directamente en el diseño estructural, por tanto se consideran dos diseños independientes:

- Primero : Diseño Estructural Original
- Segundo : Diseño Estructural Fabricado

### 2.3.2. CRITERIO DE DISEÑO (CD)

La experiencia de la empresa suministradora de espesadores de columna de alta densidad que ha logrado en el tiempo, el posicionamiento de sus equipos en el mercado y el continuo desarrollo tecnológico, para estos espesadores y material a procesar, se consideró un criterio de carga (CC) en las rastras del mecanismo de:

25% del torque nominal en las rastras cilindro central

75% del torque nominal en las rastras del estanque.

Para la revisión del DE se consideró cuatros conjugaciones o CC:

- 15% con 85%
- 25% con 75% (Como en el DE original)
- 30% con 70%
- 35% con 65%.

Con la finalidad de observar la evolución del comportamiento de los elementos y/o tensiones.

### 2.3.3. CARGAS

En la revisión del DE, las cargas consideradas son:

- ct: Carga de Torque, considerada carga viva
- cp: Carga Permanente, considerada carga nominal
- pp: Peso Propio, considerada carga muerta

Carga Torque (ct) : Porcentaje del torque nominal según CC descrito anteriormente.

Carga Permanente (cp): Carga mayor entre carga producida por la acumulación de sedimento sobre los perfiles de la estructura del mecanismo o la sobrecarga de 500 kgf/m<sup>2</sup>.

Peso Propio (pp) : Carga producida por el peso propio del material.

### 2.3.3.1. DETERMINACIÓN CARGA DE TORQUE

La determinación de la  $ct$  se generó considerando los CD indicados en el punto 2.3.2. Las cargas son distribuidas y aplicadas en la cuerda perimetral de la RCC y elementos horizontales. Para las rastras del estanque (RE) las cargas son aplicadas en las cuerdas inferiores de cada rastra.

Los valores de las cargas distribuidas “ $q_1$  y  $q_2$ ” de la RE y “ $q_1$ ” para la RCC ver Tabla 1, (Detalles de cálculo en Anexo C).

Tabla 1. Valor Carga Distribuida para Rastra

RASTRA CILINDRO CENTRAL				RASTRA ESTANQUE				
Criterio Diseño %	Torque Nominal (Kg-m)	Torque Rastra (Kg-m)	Carga Distribuida $q_1$ (Kg/m)	Criterio Diseño %	Torque Nominal (Kg-m)	Torque Rastra (Kg-m)	Carga Distribuida (Kg/m)	
							$q_1$	$q_2$
15%	663625	99544	1510	85%	663625	564081	772	732
20%	663625	132725	2014	80%	663625	530900	727	689
25%	663625	165906	2517	75%	663625	497719	681	646
30%	663625	199088	3020	70%	663625	464538	636	603
35%	663625	232269	3524	65%	663625	431356	590	560

### 2.3.3.2. DETERMINACIÓN CARGA PERMANENTE

La determinación de la  $cp$  (Ver Anexo D) se generó considerando el valor mayor entre la carga producida por la acumulación de sedimento ( $q_{as}$ ) sobre los perfiles horizontales e inclinados ( $< 45^\circ$ ) o la sobrecarga ( $q_{sc}$ ) de  $500\text{kg/m}^2$ . Ver valor “ $q_1$ ” indicada en Tabla 2.

Tabla 2. Valor Carga Distribuida Permanente

Perfil	A (mm)	B (mm)	C (mm)	Área Sedimento ( $\text{m}^2$ )	$q_{AS}$ (kg/m)	$q_{sc}$ (kg/m)	Carga Distribuida $q_1$ (kg/m)
TS 9 x 24 x 3/8	229	610	229	0.161	322	305	322
TS 12 x 12 x 3/8	305	305	305	0.040	80	152	155
TS 9 x 9 x 1/2	229	229	229	0.023	45	114	
TS 8 x 8 x 1/4	203	203	203	0.018	36	102	
TS 6 x 6 x 3/8	152	152	152	0.010	20	76	80
TS 5 x 5 x 1/4	127	127	127	0.007	14	64	
TS 4 x 4 x 1/4	102	102	102	0.004	9	51	

### 2.3.4. COMBINACIÓN DE CARGA

La resistencia requerida (RR) se determinó con las siguientes combinaciones de cargas, las cuales están basada en los puntos 2.3.2 y 2.4.1 de ASCE-7 (Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures) o del Manual de Diseño Estructural “ICHA” parte 2:

- Diseño por Factor de Carga y Resistencia (LRFD)

$$C1 = 1.4 \text{ pp}$$

$$C2 = 1.2 \text{ pp} + 1.6 \text{ ct} + 0.5 \text{ cp}$$

$$C3 = 1.2 \text{ pp} + 1.6 \text{ cp} + 0.5 \text{ ct}$$

- Diseño por Tensiones Admisibles (ASD)

$$C4 = \text{pp}$$

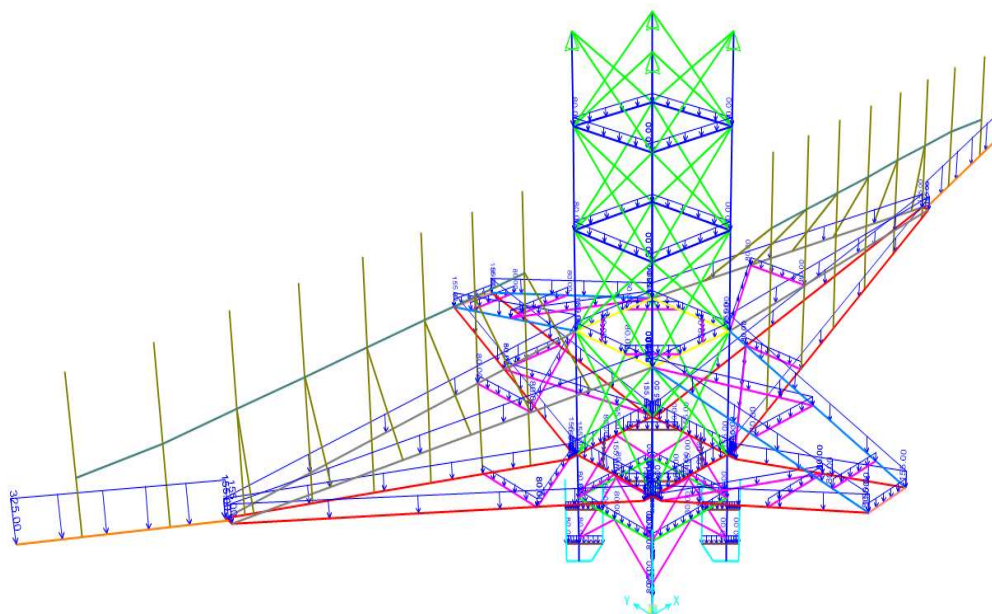
$$C5 = \text{pp} + \text{ct}$$

$$C6 = \text{pp} + \text{cp}$$

$$C7 = \text{pp} + 0.75 (\text{ct} + \text{cp})$$

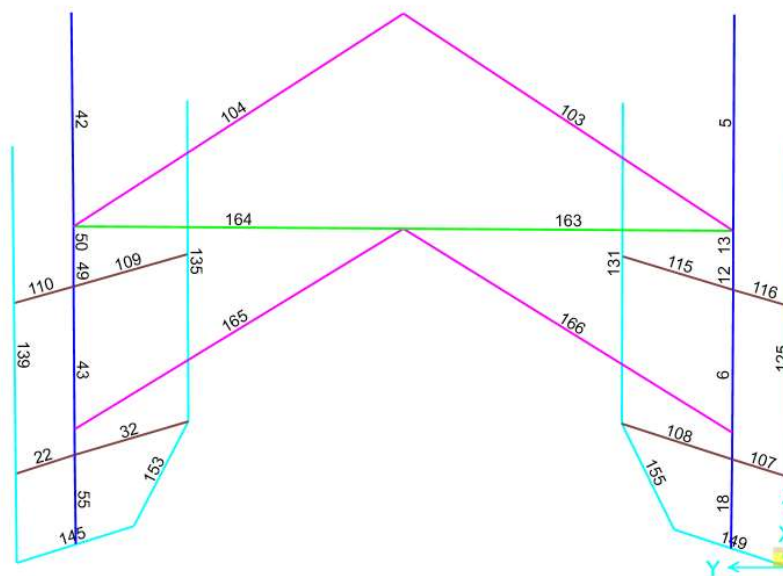
### 2.3.5. CREACIÓN DE MODELO COMPUTACIONAL

En este estudio empleando herramientas computacionales, se utilizó el programa SAP2000 V17 para la creación de un modelo 3D de la estructura del mecanismo (Ver Anexo E), incorporando las cargas descritas en el punto 2.3.3 (Ver Figura 2 y Anexo F) y las combinaciones del punto 2.3.4 de este informe.



**Figura 2. Modelo 3d Estructura – Carga “Cp”**

El análisis se enfocó principalmente en un marco típico de las RCC. El comportamiento de los cuatro marcos o lados son idénticos (Ver Figura 3).



**Figura 3. Marco típico rastra cilindro central**



## 2.4. REVISIÓN DE PERFILES

Las disposiciones de LRFD satisfacen los requisitos cuando la resistencia de diseño (RD) de cada componente estructural es mayor o igual a la resistencia requerida determinada de acuerdo a las combinaciones de carga para el LRFD.

El DE se realiza y se verifica de acuerdo a Ecuación 1 y Ecuación 2:

$$R_u \leq \phi * R_n \quad \text{Ec. (1)}$$

$$R_u / \phi * R_n \leq 1 \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde:

$R_u$  = RR para el LRFD

$R_n$  = Resistencia nominal

$\phi$  = Factor de resistencia

$\phi R_n$  = Resistencia de diseño

Se determinó la RD de cada componente estructural para las siguientes condiciones:

- Diseño de miembros en tracción
- Diseño de miembros en compresión
- Diseño de miembros en flexión
- Diseño de miembros en corte
- Diseño de miembros en torsión
- Diseño de miembros para solicitaciones combinadas flexión y compresión
- Diseño de miembros para solicitaciones combinadas flexión y tracción
- Diseño de miembros para solicitaciones combinadas torsión, flexión, corte y/o cargas axiales

## 2.5. REVISIÓN DE CONEXIONES

En el DE de las RCC existen conexiones para unir los diferentes elementos, conexión apernada es para unir las RCC con la jaula (cage), es la única conexión apernada involucrada en el análisis. La resistencia disponible de tracción de un perno solicitado por una combinación de tracción y corte se determina en la Ecuación 5:

$$\phi * R_n \text{ o } R_n/\Omega \quad \text{Ec. (5)}$$

$$R_n = F'_{nt} * A_b \quad \text{Ec. (6)}$$

Donde:

$F'_{nt}$  = Tensión de tracción nominal modificada para incluir los efectos de la tensión de corte (Ver Ecuaciones 7 y 8)

$$F'_{nt} = 1.3 * F_{nt} - (F_{nt}/\phi * F_{nv}) * f_v \leq F_{nt} \text{ (LRFD)} \quad \text{Ec. (7)}$$

$$F'_{nt} = 1.3 * F_{nt} - (\Omega * F_{nt}/F_{nv}) * f_v \leq F_{nt} \text{ (ASD)} \quad \text{Ec. (8)}$$

$F_{nt}$  = Tensión de tracción nominal

$F_{nv}$  = Tensión de corte nominal

$f_v$  = Tensión requerida de corte

La gran mayoría de las conexiones para las rastras cilindro central fueron ejecutadas por soldadura, utilizando una unión tipo filete con un tamaño de 5mm según lo especificado en los planos. En los controles de terreno se detectan tamaños de filete menores al solicitado por plano, en promedio un tamaño de 3mm. Se revisa las conexiones soldadas de los siguientes elementos: 22 – 32 – 49 – 50 – 103 – 104 - 109 – 110 – 165 y 166. Son los elementos principales del marco típico rastra cilindro central, se consideró para la revisión y análisis de estas uniones el método Elástico.

La resistencia disponible o capacidad de una unión soldada, se determina en Ecuación 9:

$$\phi * R_n \text{ o } R_n/\Omega \quad \text{Ec. (9)}$$

$$R_n = 0.6 * F_{cexx} * w \quad \text{Ec. (10)}$$

Donde:

$R_n$  = Resistencia nominal (Ver Ecuación 10)

$\phi$  = Factor de resistencia (LRFD)

$\Omega$  = Factor de resistencia (ASD)

W = Sección resistente soldadura

## 2.6. REVISIÓN PROCESO OPERACIONAL Y METALÚRGICO

El proceso operación de cada espesador, consiste en alimentar el equipo con relave de hierro en concentraciones en peso ( $C_p$ ) bajas, del orden del 4.4% y una producción máximo de 841 t/h, provenientes de la etapa de concentración, las cuales se mezcla en el feedwell del espesador, para producir el contacto de relave con la solución madre del floculante diluido, con ello se obtiene in situ la coalescencia de las partículas sólidas, que por acción gravitacional, decantan, con la consecuente separación de fases sólido – líquido de la pulpa. Los relaves espesados resultan en concentraciones de entre el 71% - 74% de sólidos en peso.

El agua resultante de este proceso se extrae de cada espesador por una canaleta perimetral de conducción conocida como lauder, la cual tiene una leve pendiente hacia un vertedero, ubicado en un costado del espesador y desde aquí se conduce gravitacionalmente por tubería hacia una canaleta que conduce hasta la sentina de agua recuperada. Esta agua recuperada en la sentina, es transportada a un anillo de agua que distribuye a todo el proceso productivo.

Las partículas sólidas decantan y conforman una pulpa de mayor  $C_p$  en el fondo del mismo, la cual se extrae del equipo de sedimentación por medio de bombas centrífugas conectadas a las boquillas del cilindro central de descarga.

Para cada espesador, la descarga de relave se produce a través de bombas centrífugas, que alimentan a una bomba de desplazamiento positivo del tipo pistón diafragma (una bomba operando por cada espesador y una bomba stand by), que son las encargadas de transportar el relave espesado desde la planta de espesado al depósito de pasta.

La alimentación de relaves es por intermedio de una canaleta llamada “Canaleta de Colas”, proveniente de la planta concentradora. Posteriormente, la canaleta de colas llega a un cajón

distribuidor, el que reparte el relave en iguales cantidades para ser entregados a los dos espesadores. El transporte desde el cajón a los espesadores es a través de tuberías independientes para cada espesadores, llegando a la boquilla de la cañería de alimentación del espesador, que se encuentra en un extremo del espesador.

En la tabla 3, se muestra el balance másico e hídrico para las condiciones mínima, nominal y de diseño.

**Tabla 3. Balance Másico e Hídrico**

			Relave proveniente de concentración	Alimentación espesador	Agua fresca preparación floculante	Solución floculante madre	Agua de dilución floculante	Dosificación de floculante	Alimentación a espesadores	Agua Recuperada	Descarga espesador	Relave en pasta al depósito	Relave al límite de contracción	Agua evaporada del depósito
			1	2	3	4	5	6	7	6	7	9	10	11
MÍNIMO	SÓLIDO	t/h	623	208		0,0042		0,0042	208		208	623	623	
	AGUA	m3/h	13.412	4.471	2,1	2,07	18,7	20,76	4.492	4.394	77	242	127	116
	PULPA	t/h	14.035	4.678		2,08		20,77	4.699		284	865	750	
	PULPA	m3/h	13.603	4.534		2,08		20,77	4.555		140	433	317	
NOMINAL	SÓLIDO	t/h	732	244		0,0049		0,0049	244		244	732	732	
	AGUA	m3/h	15.759	5.253	2,4	2,44	22,0	24,40	5.277	5.187	90	285	149	136
	PULPA	t/h	16.491	5.497		2,44		24,40	5.521		334	1.017	881	
	PULPA	m3/h	15.983	5.328		2,44		24,40	5.352		165	509	373	
DISEÑO	SÓLIDO	t/h	841	280		0,0056		0,0056	280		280	841	841	
	AGUA	m3/h	18.106	6.035	2,8	2,80	25,2	28,03	6.063	5.960	104	327	171	156
	PULPA	t/h	18.947	6.316		2,80		28,03	6.344		384	1.168	1.012	
	PULPA	m3/h	18.363	6.121		2,80		28,03	6.149		189	584	428	
	DENS. PULPA	t/m3	1,03	1,03		1,00		1,00	1,03		2,03	2,00	2,36	
	DENS. SOLIDO	t/m3	3,27	3,27		1,40		1,40	3,27		3,27	3,27	3,27	
	SÓLIDO	%	4,4%	4,4%		0,2%		0,02%	4,4%		73,0%	72,0%	83,1%	

## 2.7. TORQUE

Unos de los parámetros operacionales a controlar es el torque del mecanismo de los equipos espesantes. El torque de la unidad motriz es controlado por una unidad de presión diferencial a través de líneas hidráulica de entrada / salida emitiendo una señal de 4-20 mA. Por recomendaciones del proveedor del equipo espesante, el funcionamiento de cada equipo, se debe mantener el torque bajo los 40% del torque nominal. Para ello cada equipo espesante contiene un interruptor de alarma. Los interruptores de alarma y corte de motor en el sistema de control son calibrados, los ajustes (settings) para estos equipos son:

- Alarma de Torque : 40% del torque nominal 265450 Kg-m
  - Corte de motor : 90% del torque nominal 597262 Kg-m
- (Torque nominal instalado = 663625 Kg-m)

En Anexo G se muestra el gráficos de torque para el espesador número uno y espesador número dos. Obtenidos de la sala de control área relave.

## 2.8. ENSAYO DE SEDIMENTACIÓN

La empresa dueña de los espesadores, antes de adquirir estos equipos desarrollo dos ensayos metalúrgico de sedimentación para evaluar el Yield Stress (sin cizalle). El primero se desarrolló en el año 2007 y el segundo en el año 2010. La Figura 4 muestra las curvas obtenidas en las pruebas y el gráfico de la Figura 5 es la curva Yield Stress v/s Concentración de sólido empleada para el proyecto.

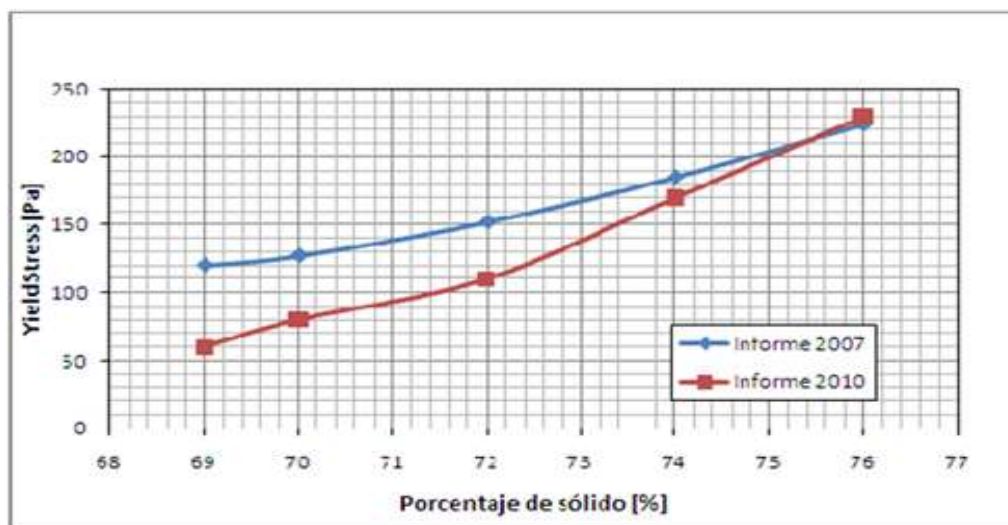
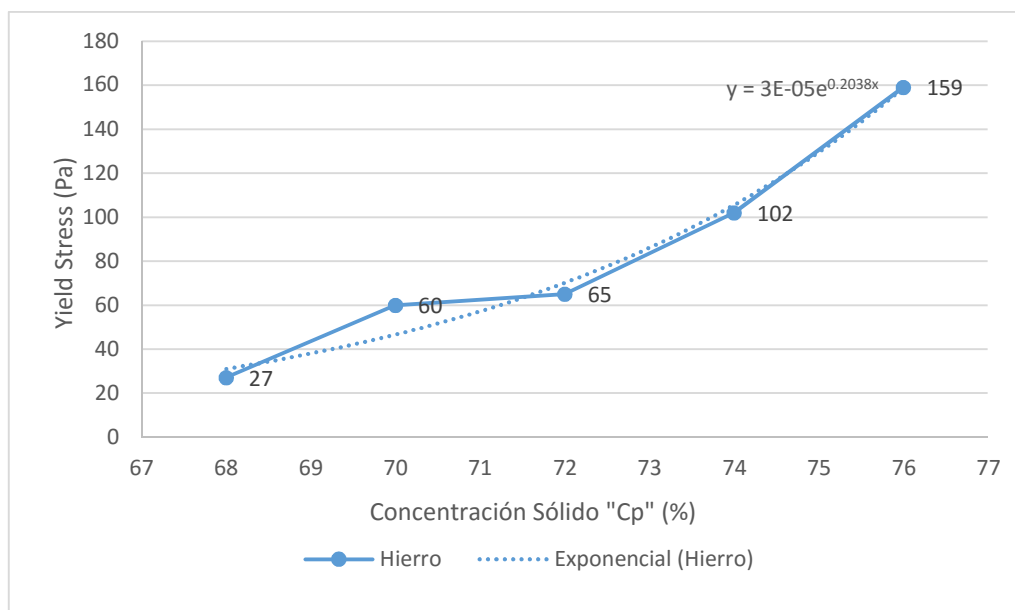


Figura 4. Comparación yield stress (Tensión de Fluencia) año 2007 y 2010



**Figura 5. Yield stress (Tensión de Fluencia) proyecto**

El comportamiento típico de la curva yield stress v/s concentración de sólido es exponencial, por lo tanto se puede desarrollar una proyección del comportamiento, la ecuación de curva exponencial se muestra en la gráfica de la figura 5.

## 2.9. FLUIDO NO NEWTONIANOS

De acuerdo a los ensayos preliminares de laboratorio desarrollado por el dueño de los espesadores, el relave espesado se ajusta al modelo reológico de tipo Plástico Bingham a partir de una velocidad de cizalle de 100 (1/s) aproximadamente. En la ecuación 11 se presenta el modelo.

$$\tau = \tau_y + \eta * \gamma \tag{Ec. (11)}$$

Donde:

$\tau$  : Esfuerzo de corte (Pa)

$\tau_y$ : Yield Stress Plástico Bingham (Pa)

$\eta$  : Viscosidad Plástico Bingham (Pa s)

$\gamma$  : Velocidad de cizalle (1/s)

Con el esfuerzo de corte y el área de corte se determina la fuerza actuante en la RCC, esta fuerza multiplicada con la distancia o brazo se determina el torque.

## 2.10. VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN

La partícula que se supone discreta y esférica se encuentra sometida a la acción gravitacional, por lo que estará solicitada por una fuerza que le imprimirá un movimiento vertical uniforme acelerado.

Si  $d < 0.085$  mm y  $Re < 1$ , entonces prevalece flujo laminar, se origina la ecuación de Stokes:

$$V_s = g / 18 * (S_s - 1) * d^2 / \eta \quad \text{Ec. (12)}$$

Donde:

$d$  : Diámetro de la partícula

$Re$  : Número de Reynolds

$V_s$  : Velocidad de sedimentación

$g$  : aceleración de la gravedad

$S_s$  : relación de la densidad de la partícula con la densidad del fluido

$\eta$  : Viscosidad cinemática (Stokes)

Se puede obtener los siguientes comentarios:

- A mayor tamaño de partícula, mayor velocidad de sedimentación
- A mayor temperatura, mayor velocidad de sedimentación, porque decrece la viscosidad ( $\eta$ )

Si  $d > 1.0$  mm y  $Re < 1.000$ , presenta flujo turbulento, se origina la ecuación de de Newton:

$$V_s = \sqrt{3.3 * g * (S_s - 1) * d} \quad \text{Ec. (13)}$$

Por tanto, el flujo laminar permite una mayor sedimentación de la partículas suspendidas en el líquido, que el flujo turbulento.

### 3. RESULTADOS

A manera de resumen de lo obtenido a través del modelo simulado en el programa SAP 2000 V17, los conceptos o resultados principales para el DE se exponen a continuación. Con estos valores se desarrollaron los cálculos para el análisis y verificación respectiva a los diferentes elementos y conexiones.

Además se muestra los resultados a partir de lo observado, revisado y calculado para el proceso de operaciones y metalúrgico.

#### 3.1. ESFUERZOS POR ELEMENTO

La RR de fuerzas normales ( $P_u$ ), corte ( $V_{ux} / V_{uy}$ ), momento flector ( $M_{ux} / M_{uy}$ ) y momento torsión ( $M_{uz}$ ) para el LRFD, arrojados por el programa SAP2000 de los elementos del marco RCC, se muestran en las figuras 6 a 11.

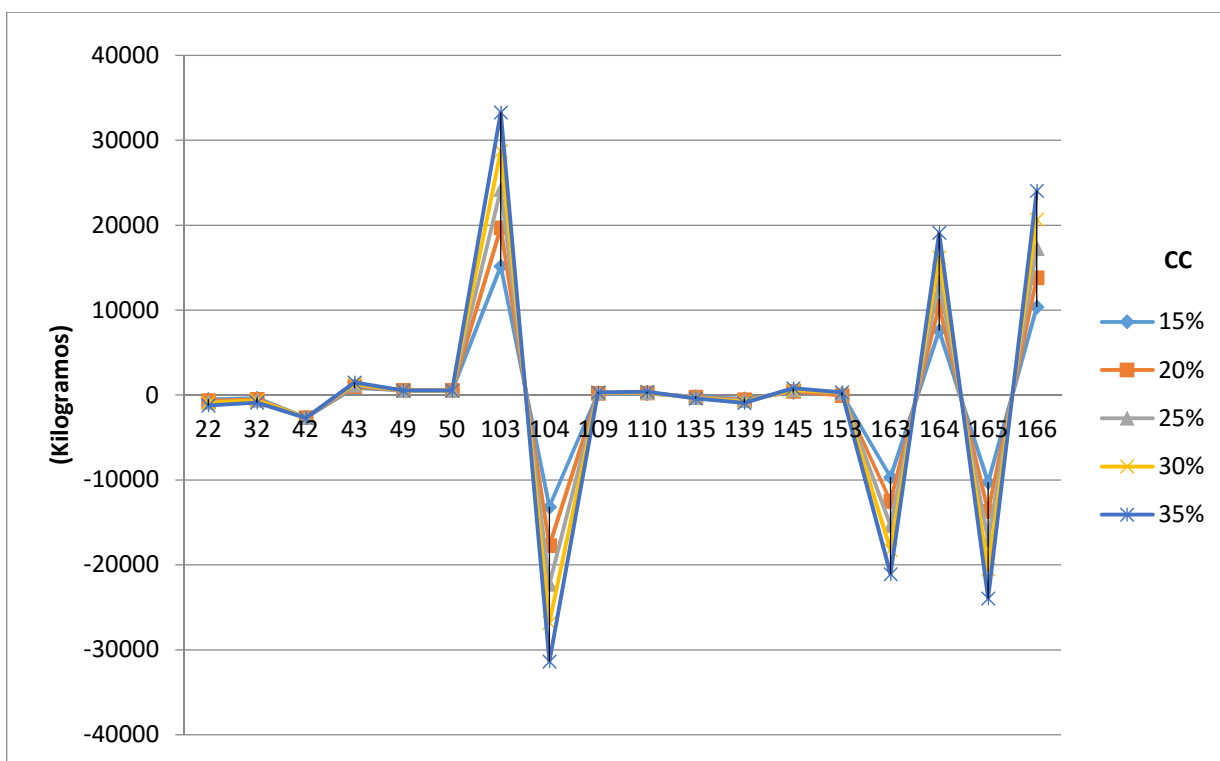


Figura 6. Fuerzas axiales ( $P_u$ ) simuladas



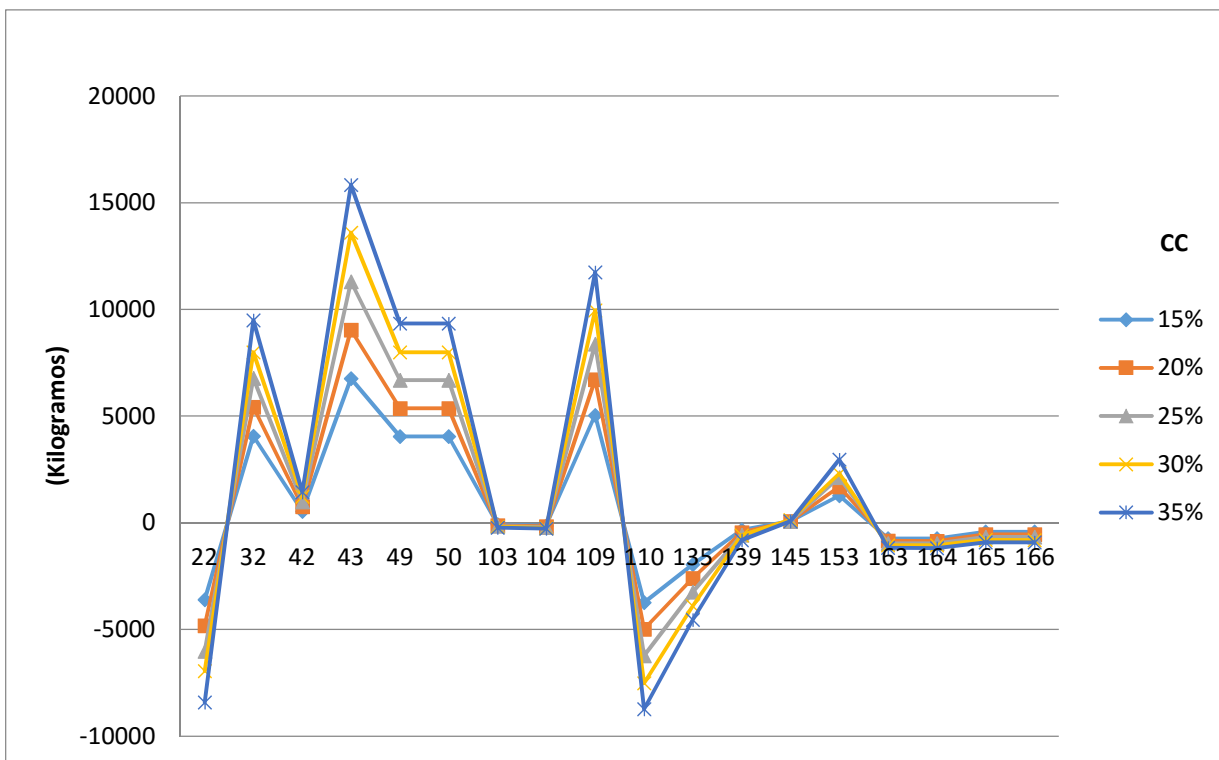


Figura 7. Fuerzas de corte ( $V_{ux}$ ) simuladas

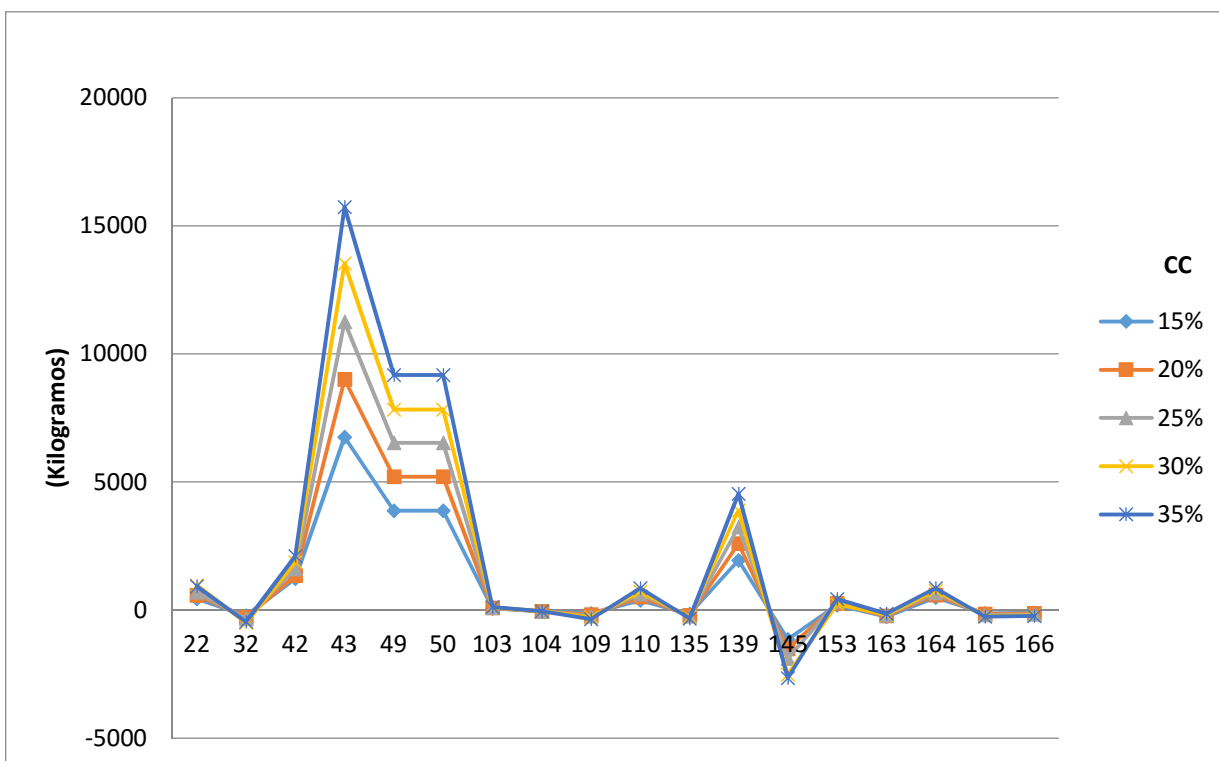


Figura 8. Fuerzas de corte ( $V_{uy}$ ) simuladas

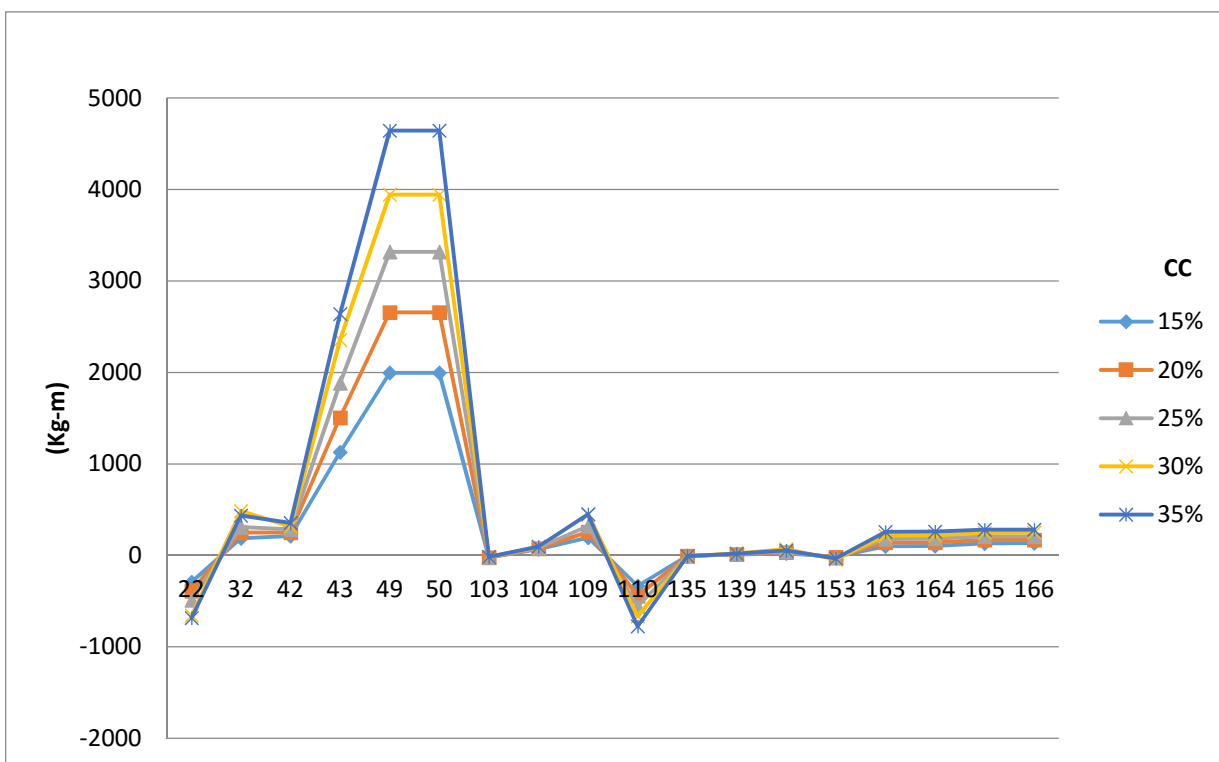


Figura 9. Fuerzas de torsión ( $M_{uz}$ ) simuladas

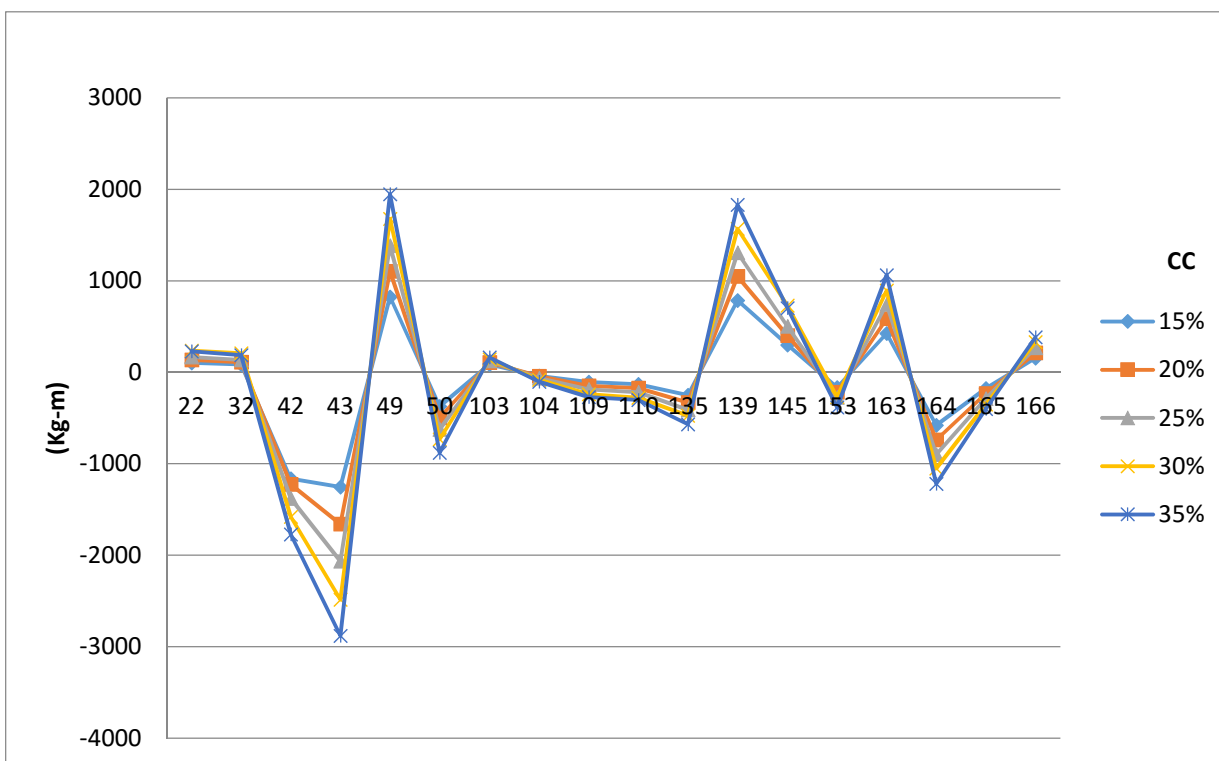


Figura 10. Fuerzas de momento ( $M_{ux}$ ) simuladas

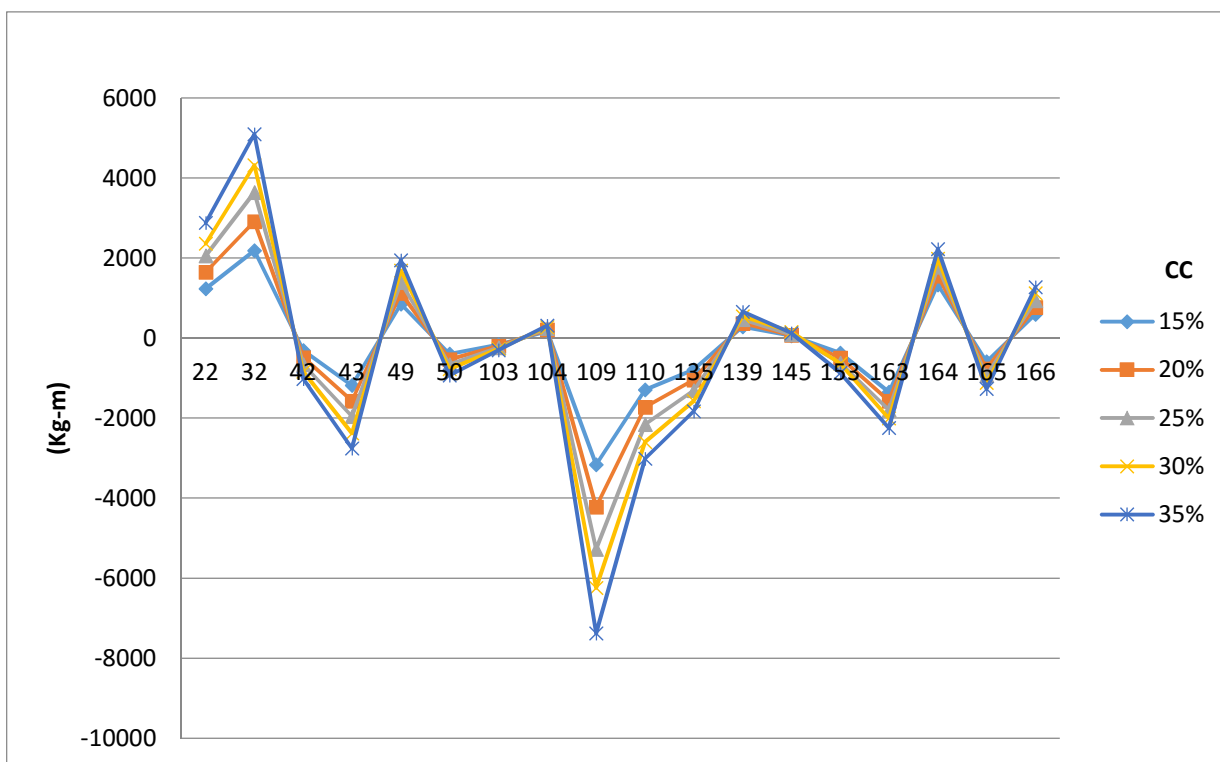


Figura 11. Fuerzas de momento ( $M_{uy}$ ) simuladas

### 3.2. RESISTENCIA DE DISEÑO DE PERFILES

Considerando la relación entre la RR con la RD más desfavorable se tiene los siguientes valores con el factor de resistencia = 0.90:

- Diseño Estructural Original, ver Figura 12.
- Diseño Estructural Fabricado, ver Figura 13.

En Anexo H se muestra los cálculos desarrollados de cada uno de las RD de los elementos que superan la relación  $R_u / \phi R_n$  (CD 25%) para el marco típico RCC.

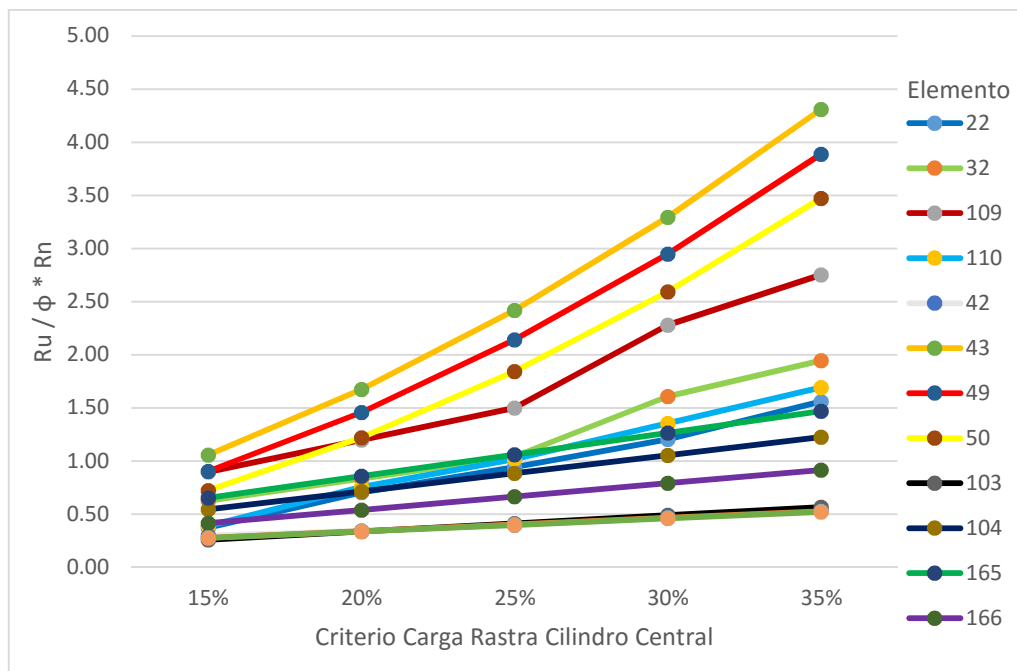


Figura 12. Resistencia de diseño perfil cajón "TS" (LRFD)

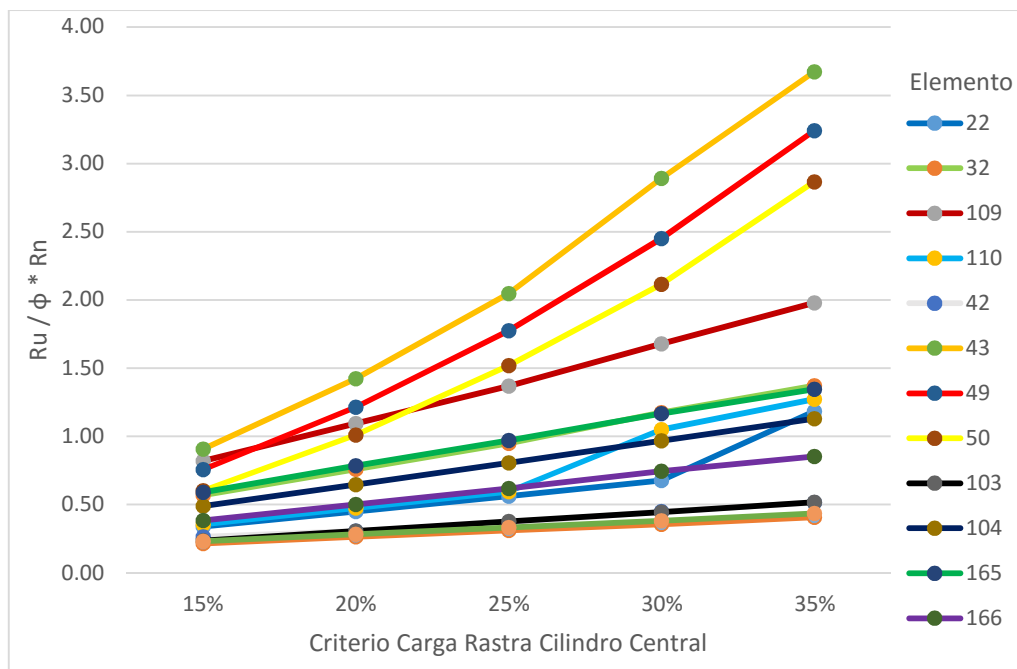


Figura 13. Resistencia de diseño perfil cajón "OC" (LRFD)

### 3.3. RESISTENCIA CONEXIÓN APERNADA

La conexión revisada es entre la jaula (cage) y RCC o conexión entre elementos número 49 y 50. La RR en la revisión corresponde al elemento número 49, los valores obtenidos ver en Figura 14. La conexión está considerada tipo aplastamiento con un perno hexagonal calidad ASTM A325 de un diámetro 5/8" y su hilo excluido de la zona de corte. En Anexo I se muestra los cálculos respectivos y en Anexo J un informe de ensayo de tracción a un perno.

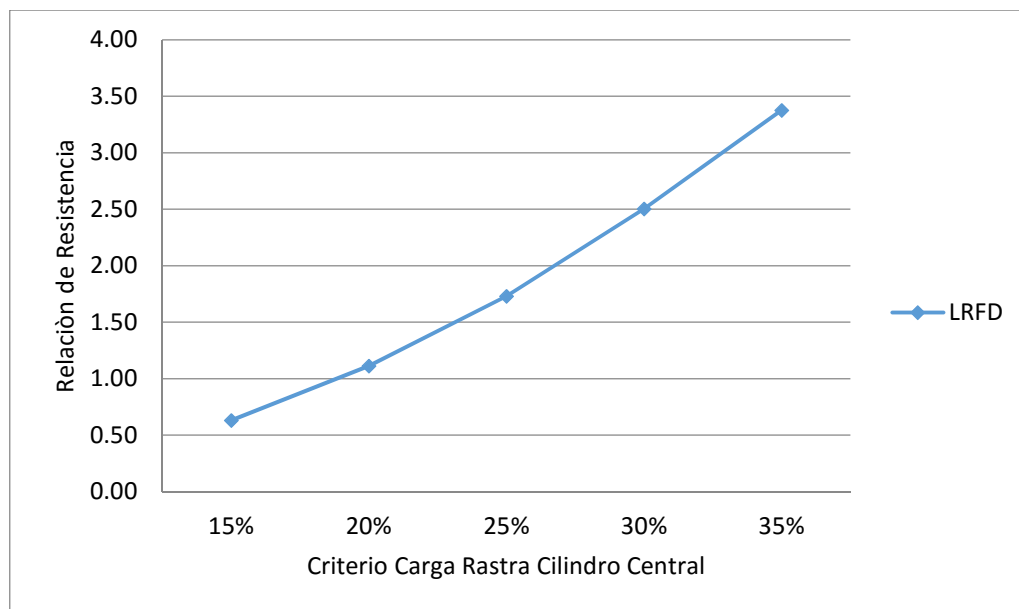


Figura 14. Resistencia conexión apernada

### 3.4. RESISTENCIA CONEXIONES SOLDADAS

Las conexiones para armar la RCC son soldadas en maestranza, con proceso de soldadura GMAW. Otras son desarrolladas en terreno con proceso soldadura SMAW, estas últimas son claramente especificadas en los planos de montaje. Los valores obtenidos de los cálculos se muestran en la Figura 15 para tamaños filete 5mm y Figura 16 para tamaño 3mm (Ver Anexo K el detalle de los cálculos respectivos).

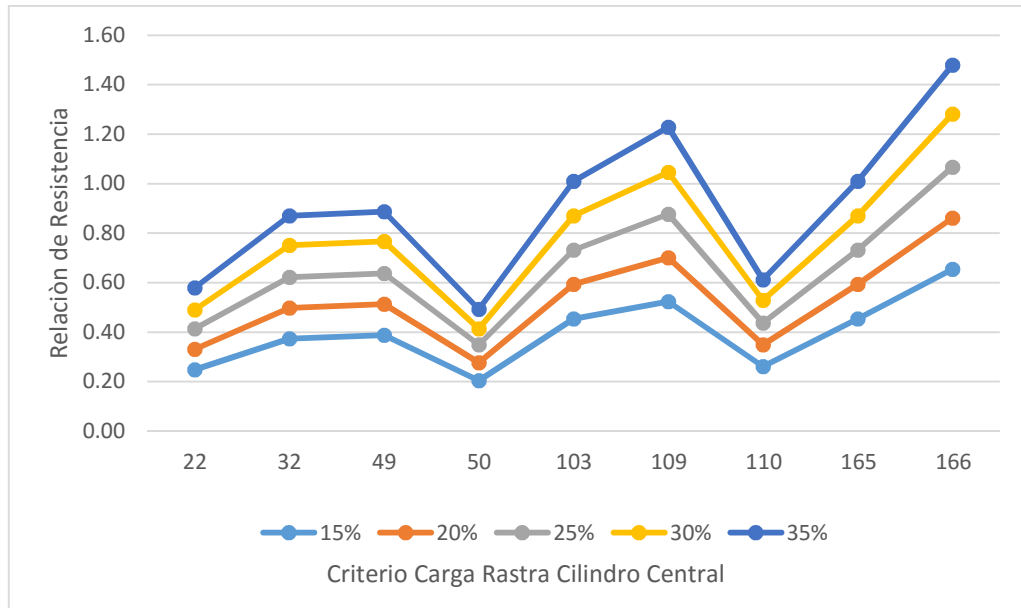


Figura 15. Resistencia conexión soldada, tamaño filete 5mm (LRFD)

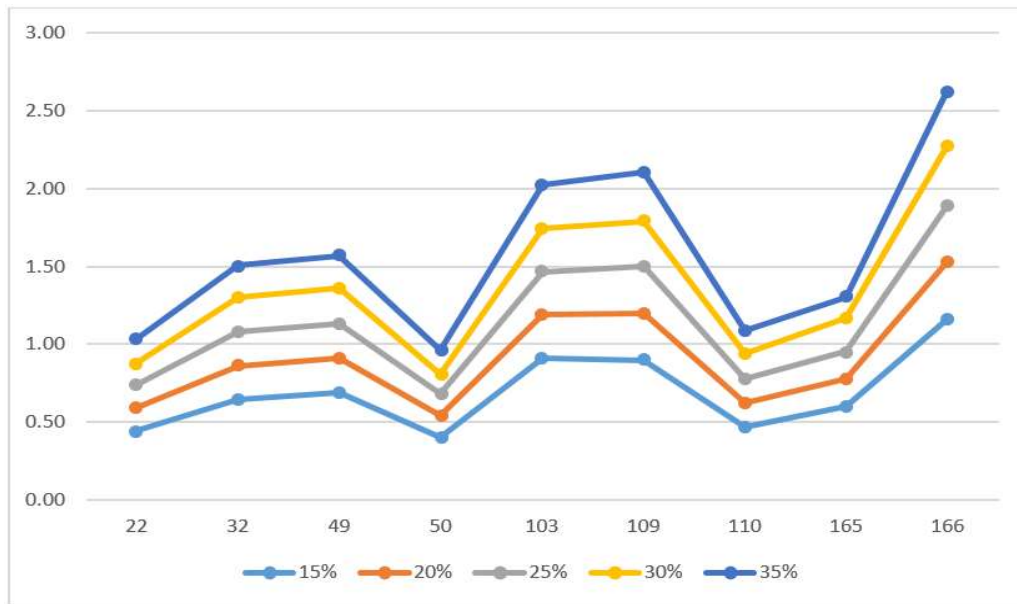


Figura 16. Resistencia conexión soldada, tamaño filete 3mm (LRFD)

### 3.5. MODELO CAPACIDAD ÚLTIMA DE LA ESTRUCTURA

Se desarrolla un análisis de la capacidad ultima de la estructura, considerando el perfil y conexión soldada con mayor requerimiento, además la conexión apernada. En la Figura 17 se muestran los resultados obtenidos.

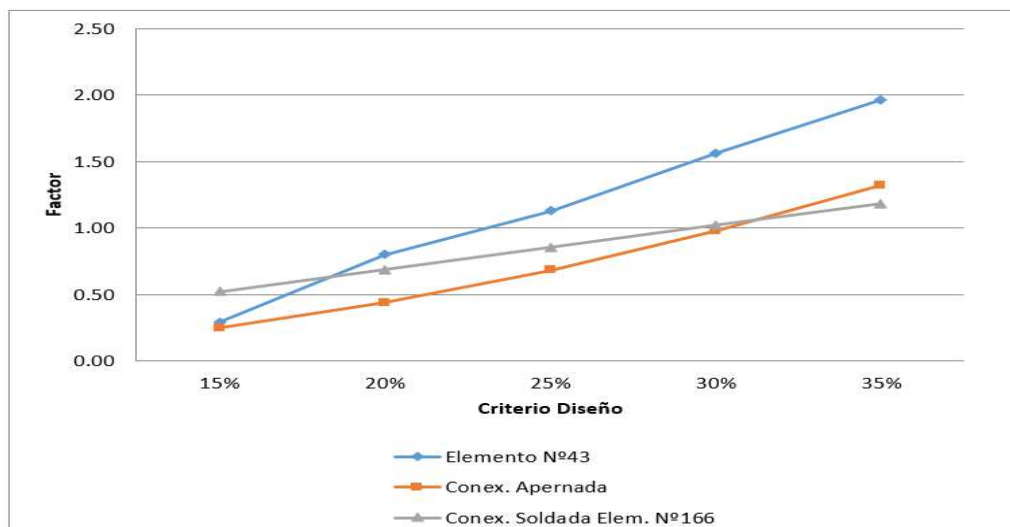


Figura 17. Modelo última capacidad (LRFD)

### 3.6. PROYECCIÓN CURVA YIELD STRESS V/S CONCENTRACIÓN DE SÓLIDO

La proyección de la curva yield stress v/s concentración de sólido, al utilizar la ecuación exponencial de dicha curva se obtiene los valores mostrados en la Figura 18.

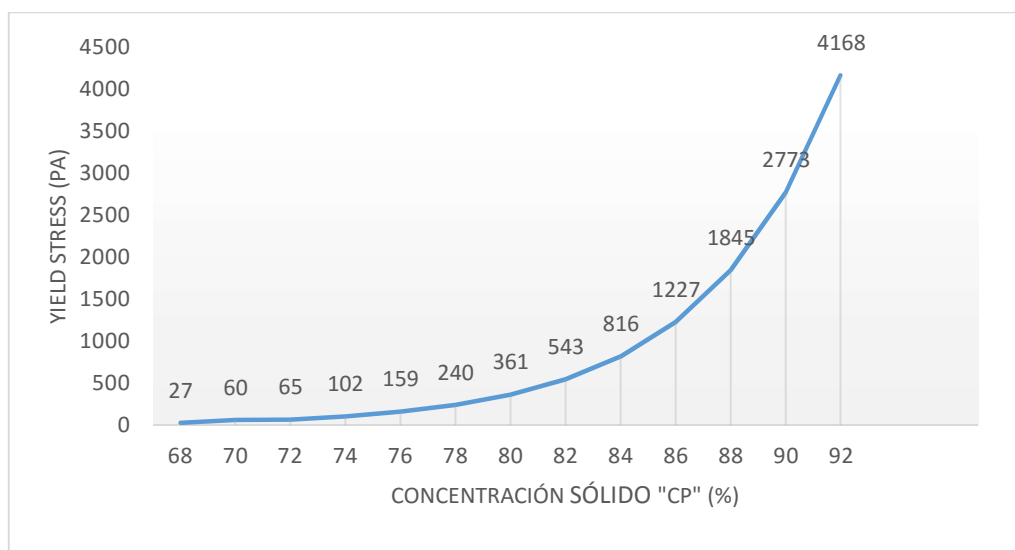
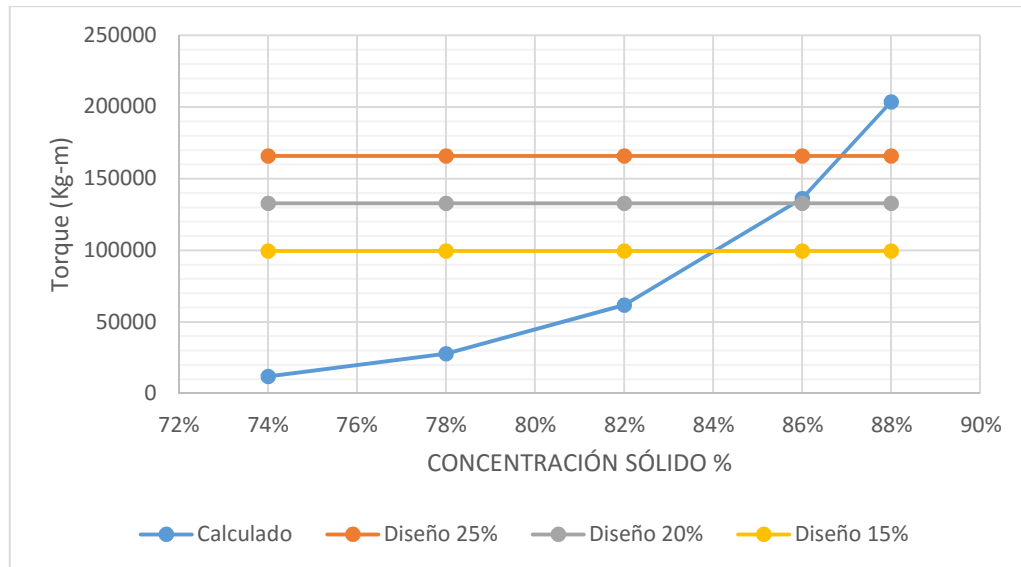


Figura 18. Tensión fluencia proyectado

### 3.7. MODELO TORQUE REQUERIDO

En la Figura 19 muestra los valores de torque requeridos en las RCC y de diseño según el porcentaje de concentración de sólido.



**Figura 19. Torque v/s concentración de sólido**

### 3.8. REPORTE CONTROL DIARIO ÁREA DE RELAVE

Lo observado en los reportes emitidos por el área de relave, ver Anexo L reportes, se puede indicar los siguientes puntos:

- Con fecha 08-01-2015 se inició la puesta en marcha (operar el mecanismo) el espesador número dos después de una mantención y llenado del estanque.
- No existe recirculación del flujo, en el espesador dos.
- Con fecha 08-01-2015 a las 13:30 pm se obtuvo un  $C_p=83,7\%$ , en el espesador dos.
- Con fecha 09-01-2015 a las 1:30 am se obtuvo un valor de yield stress 178.1 (Pa) en el espesador dos.
- Con fecha 09-01-2015 a las 11:30 am se inició la descarga del espesador dos.
- Con fecha 10-01-2015 se inició la puesta en marcha (operar el mecanismo) el espesador número uno después de una mantención y llenado del estanque.
- No existe recirculación del flujo, en el espesador uno.
- Con fecha 10-01-2015 a las 09:30 am se inició la descarga del espesador uno.



- i. Con fecha 10-01-2015 a las 17:30 pm se obtuvo un  $C_p=87,7\%$ , en el espesador uno.
- j. Con fecha 09-01-2015 a las 17:30 pm se obtuvo un valor de yield stress 175.4 (Pa) en el espesador uno.
- k. Con fecha 10-01-2015 a las 19:30 pm se detiene la descarga del espesador uno.
- l. Con fecha 11-01-2015 a las 05:30 am se re-inició la descarga del espesador uno.

### **3.9. VELOCIDAD DE SEDIMENTACIÓN Y TIEMPO LLENADO**

En Anexo M se muestra las velocidades de sedimentación y el tiempo calculado de llenado del cilindro central. Aproximadamente una hora se demora en llenarse el cilindro central con sólido.

### **3.10. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS**

#### **3.10.1. DISEÑO ESTRUCTURAL**

Los resultados obtenidos considerando el criterio original de diseño de 25% del torque nominal como carga en las RCC es:

- Algunos Perfiles Cajón no cumplen con la capacidad requerida. Según análisis el perfil con mayor probabilidad de falla es el elemento N° 43.
- La conexión soldada del elemento N° 166, no cumple con la capacidad requerida.
- La conexión apernada, no cumple con lo requerido.
- Las homologaciones de espesor y material desarrolladas, favorecieron al diseño.

#### **3.10.2. PROCESO DE OPERACIÓN Y METALÚRGICO**

- Ambos espesadores antes de los Peak de torque se inició una puesta en marcha.
- No se consideraron algunos puntos del manual para la puesta en marcha de los espesadores, según el punto 2 y 4 de las instrucciones para puesta en marcha se solicita.

**“Haga partir el mecanismo y la bomba de corriente subálvea, recircule la corriente subálvea hacia la alimentación”**

- En algunos momentos se supera el  $C_p$  (74%) de diseño.

- En algunos momentos se supera el  $Y_s$  (102 Pa) de diseño.
- Algunos tiempos de residencia son mayores a 4 horas.

Existe una gran probabilidad que el material de alimentación no corresponda a lo considerado en el diseño, amerita una evaluación con laboratorio del material ingresado como alimentación a los espesadores.

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1. DEL DISEÑO ESTRUCTURAL

En virtud de los resultados obtenidos existen varios posibles puntos de falla. Según el modelo última capacidad, el elemento N° 43 es el más probable punto de inicio de la falla. En segundo lugar según el modelo última capacidad se encuentran las conexiones soldadas del elemento N° 166 del marco típico, además las evidencias observadas en terreno (Ver Anexo N), se puede indicar que el punto más probable de falla o inicio de esta sea por la fractura de la soldadura del elemento diagonal sometido a tracción debido a la fuerza de reacción al empujar el relave acumulado en el cilindro central y el tamaño promedio del filete controlado en terreno (3mm) es menor al solicitado. Las RCC al no contar con este punto de apoyo se produce una fractura en cadena.

Según los calculados (Ver Anexo O) para las rastras del cilindro central se recomiendan los siguientes puntos:

- Aumentar espesores a los siguientes Perfiles Cajón:
  - Cambiar de OC127 x 127 x 6 a OC127 x 127 x 14
  - Cambiar de OC152 x 152 x 6 a OC152 x 152 x 12
- Cambio de junta en las conexiones soldadas:
  - Cambiar de Filete 5mm a Full penetración con terminación filete de 6mm
- Para la conexión apernada se recomienda dos alternativas:
  - I. Cambio de perno a HX 3/4" calidad ASTM A490.
  - II. Soldadura por el perímetro con una junta V de 6 mm. (Sugerida)

## 4.2. DEL PROCESO DE OPERACIÓN Y METALÚRGICO

En virtud a los resultados y lo indicado en el modelo de torque requerido, se requiere un porcentaje de concentración de solido de un 87% aproximadamente para llegar al torque de diseño de la estructura, siendo alcanzado en algún momento según registros de reporte del área de relave.

Para una buena operación del espesador o espesadores, se recomiendan los siguientes puntos:

- I. Para una puesta en marcha:
  - Debe estar vacío y sin material el cilindro central y fondo del estanque.
  - Hacer partir el mecanismo antes de iniciar llenado o alimentación.
  - Re-circular flujo hasta balancear las partículas en la descarga.
  
- II. Operar bomba Shear Thinning al aumentar el Yield Stress sobre 150Pa.
- III. Si el tiempo de residencia están sobre las 4 horas revisar la alimentación, es posible que no esté llegando el material considerado en el diseño y actualizar parámetros.
- IV. Hacer funcionar la bomba de descarga al llegar o superar la primera alerta de los 40% del torque nominal, para no seguir aumentando este valor.
- V. Se recomienda poner en funcionamiento el sensor nivel de interface que se encuentra no operativo.

## REFERENCIAS

American Institute of Steel Construction, 2005, Specification for Structural Steel Buildings, ANSI/AISC 360-05, AISC, Chicago, IL.

American Society of Civil Engineers, 2002, Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, SEI/ASCE 7-02, ASCE, Reston, VA.

ASTM (2003a), Standard Specification for Cold-Formed Welded and Seamless Carbon Steel Structural Tubing in Rounds and Shapes, ASTM A500-03a, American Society for Testing and Material, West Conshohocken, PA.

ASTM (2004), Standard Specification for Structural Bolts, Steel, Heat Treated, 120/105 ksi Minimum Tensile Strength, ASTM A325-04, American Society for Testing and Material, West Conshohocken, PA.

ASTM (2004), Standard Specification for Heat-Treated Steel Structural Bolts, 150 ksi Minimum Tensile Strength, ASTM A490-04, American Society for Testing and Material, West Conshohocken, PA.

ASTM (2007), Standard Specification for High-Strength Low-Alloy Columbium-Vanadium Structural Steel, ASTM A572/A572M-07, American Society for Testing and Material, West Conshohocken, PA.

ASTM (2008), Standard Specification for Carbon Structural Steel, ASTM A36/A36M-08, American Society for Testing and Material, West Conshohocken, PA.

AWS (2004), Structural Welding Code – Steel, AWS D1.1/D1.1M:2004, 19<sup>th</sup> edition, American Welding Society, Miami, FL.

Banco Central de Chile, Producto Interno Bruto por Clase Actividad Económica, Trimestral, Precio Corrientes. [www.bcentral.cl](http://www.bcentral.cl), <http://si3.bcentral.cl/estadisticas/Principal1/Excel/CCNN/trimestrales/excel.html>. Acceso 15 de agosto de 2015.

ICHA-2008: Manual ICHA 2008, 2<sup>da</sup> edición, Manual de Diseño para Estructuras de Acero, Santiago, Chile, 2008.

INN (1957): NCh 428. Of 57 - Ejecución de Construcción de Acero, Instituto Nacional de Normalización. Santiago, Chile, 1957.

INN (2009): NCh 1537. Of 2009 - Diseño Estructural – Cargas Permanentes y Cargas de Uso, Instituto Nacional de Normalización. Santiago, Chile, 2009.

INN (2010): NCh 3171. Of 2010 - Diseño Estructural – Disposiciones Generales y Combinaciones de Cargas, Instituto Nacional de Normalización. Santiago, Chile, 2010.

SAP2000, Computer & Structures.INC, Structural and Earthquake Engineering Software, SAP2000 v17, Nueva York, Estados Unidos, 1985.

Sociedad Nacional de Minería, Exportaciones Mineras Anuales. [www.sonami.cl/index.php?option=com\\_content&view=article&id=214&itemid=115](http://www.sonami.cl/index.php?option=com_content&view=article&id=214&itemid=115). Acceso 17 de Diciembre de 2015.

**ANEXOS**

	<b>Página.</b>
<b>ANEXO A.</b> Componentes principales de un espesador de columna alta densidad.	33
Figura A1, Corte general espesador.	33
Figura A2, Estanque y Soportación.	33
Figura A3, Superestructura.	33
Figura A4, Mecanismo.	33
Figura A5, Rastra cilindro central.	33
<b>ANEXO B.</b> Documentos principales considerados en el análisis.	34
Figura B1, Especificación técnica.	34
Figura B2, Hoja de datos.	42
Figura B3, Extracto “Protocolo funcionamiento”.	43
Figura B4, Extracto “Planilla reporte torque del día 10-01-2015”.	45
<b>ANEXO C.</b> Determinación carga de torque.	46
Figura C1, Determinación carga distribuida RCC.	46
Figura C2, Determinación carga distribuida RE.	46
<b>ANEXO D.</b> Determinación carga permanente “Cp”.	49
<b>ANEXO E.</b> Modelo estructural simulado en computador.	50
<b>ANEXO F.</b> Modelo 3D con carga de torque “Ct”.	50
<b>ANEXO G.</b> Gráfico de torque	51
Figura G1, Torque espesador de relave número uno.	51
Figura G2, Torque espesador de relave número dos.	51

	<b>Página.</b>
<b>ANEXO H.</b> Cálculos para la resistencia de diseño.	52
Figura H1, Determinación de las propiedades de la sección, perfil OC127x127x6mm.	52
Figura H2, Determinación de las propiedades de la sección, perfil OC152x152x6mm.	53
Figura H3, Determinación de la RD, elemento N° 43.	54
Figura H4, Determinación de la RD, elemento N° 49.	62
Figura H5, Determinación de la RD, elemento N° 50.	70
Figura H6, Determinación de la RD, elemento N° 109.	78
<b>ANEXO I.</b> Cálculo conexión apernada.	86
<b>ANEXO J.</b> Informe laboratorio ensayo tracción de un perno.	88
<b>ANEXO K.</b> Cálculo conexión soldada.	98
<b>ANEXO L.</b> Reportes.	99
Figura L1, Extracto “Reporte control diario área relave”, fecha 08.01.2014.	99
Figura L2, Extracto “Reporte control diario área relave”, fecha 09.01.2014.	99
Figura L3, Extracto “Reporte control diario área relave”, fecha 10.01.2014.	100
Figura L4, Extracto “Reporte control diario área relave”, fecha 11.01.2014.	100
<b>ANEXO M.</b> Velocidad sedimentación y tiempo llenado cilindro central.	101
<b>ANEXO N.</b> Fotos de evidencias en terreno.	102
<b>ANEXO O.</b> Cálculo de las soluciones y esquemas.	103
Figura O1, Cálculo respaldo aumento espesor a 14 mm del perfil OC152x152x6.	103
Figura O2, Cálculo respaldo, solución de conexión soldada (elemento N° 166).	111
Figura O3, Cálculo respaldo, solución de conexión apernada.	112
Figura O4, Esquema plano fabricación RCC, con las soluciones propuestas.	114
Figura O5, Esquema plano montaje RCC, con las soluciones propuestas.	115

ANEXO A, Componentes principales de un espesador de columna alta densidad.

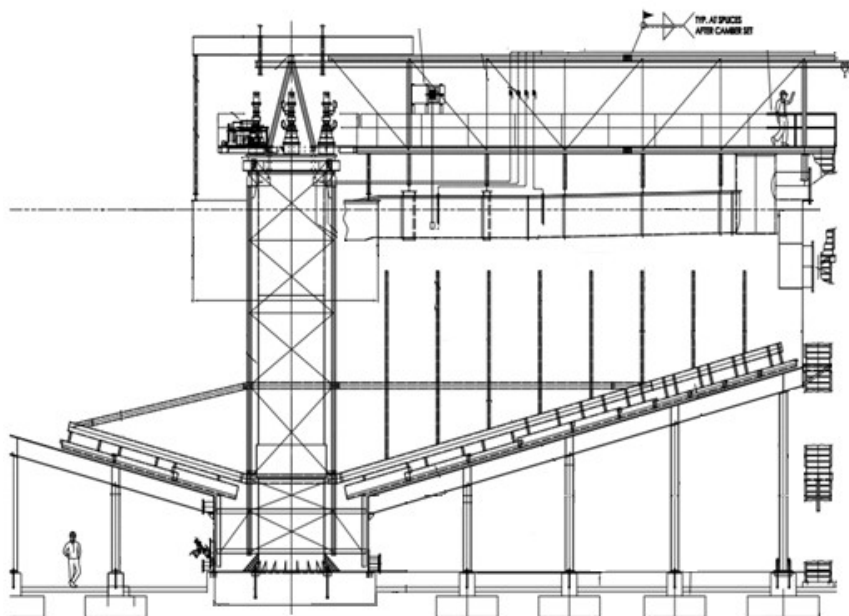


Figura A1, Corte general espesador.



Figura A2, Estanque y Soportación.



Figura A3, Superestructura.



Figura A4, Mecanismo.



Figura A5, Rastra cilindro central.



ANEXO B, Documentos principales considerados en el análisis.

Figura B1, Especificación técnica.

		<input type="checkbox"/> Documento completo	Hoja
		<input type="checkbox"/> Solo hojas revisadas	1 de 9

<b>TITULO DOCUMENTO:</b>	<b>ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DE SUMINISTRO ESPEADORES</b>		
<b>CLIENTE:</b>			
<b>PROYECTO:</b>	<b>IB DEPOSITO TTD</b>	<b>NÚMERO DE PROYECTO:</b>	
<b>NÚMERO DE DOCUMENTO:</b>	<b>VP910619-2100-45ES-0001</b>	<b>VP910619</b>	

REGISTRO DE REVISIONES						
Rev. #	Fecha	APROBACIONES				EMITIDO PARA
		J.D.	J.P.		Cliente	
PA	13-04-2011	GMM	RVV			<input type="checkbox"/> <i>Coordinación interna</i>
PB	18-04-2011	GMM	RVV			<input type="checkbox"/> <i>Aprobación cliente</i>
P0	25-07-2011	GMM	RVV			<input type="checkbox"/> <i>Emisión final</i>

<b>COMMENTARIOS</b>
_____
_____
_____

	<b>IB DEPOSITO TTD PROYECTO</b>	<b>Rev</b>	<b>Hoja</b>
	<b>ESPECIFICACIÓN TÉCNICA ESPEADORES</b>	<b>P0</b>	<b>2 de9</b>
	<b>Nº: VP910619-2100-45E S-0001</b>		

### ÍNDICE DE REVISIONES

Revisión					Firma/Fecha	Hojas revisadas
#	Autor	Chequeado por	Aprobado por	Fecha	Jefe Disciplina	
PA	GMM	AM	RVV	25/4/2011		
PB	GMM	AM	RVV	26/4/2011		
P0	GMM	AM	RVV	25/7/2011		

	<b>IB DEPOSITO TTD PROYECTO</b>	<b>Rev</b>	<b>Hoja</b>
	<b>ESPECIFICACIÓN TÉCNICA ESPEADORES</b>	<b>P0</b>	<b>3 de9</b>
	<b>Nº: VP910619-2100-45ES-0001</b>		

### ÍNDICE GENERAL

1.0	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>4</b>
2.0	<b>ALCANCE</b> .....	<b>4</b>
3.0	<b>DESCRIPCIÓN GENERAL</b> .....	<b>5</b>
4.0	<b>CONDICIONES DE OPERACIÓN</b> .....	<b>5</b>
5.0	<b>REQUERIMIENTOS PARA EL EQUIPO</b> .....	<b>6</b>
5.1	Requerimientos generales.....	6
5.2	Requerimientos específicos .....	6
5.3	Parámetros de proceso.....	7
6.0	<b>INFORMACIÓN REQUERIDA EN LA OFERTA</b> .....	<b>7</b>
7.0	<b>ESPECIFICACIONES DE SUMINISTRO</b> .....	<b>9</b>
7.1	Información a entregar por el proveedor .....	9
7.2	Alcance del suministro .....	4

### ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°1. Parámetros de diseño.....	7
Tabla N°2. Información técnica requerida en la oferta .....	8

### ANEXOS

**Anexo 1: Hoja de datos del espesador**

**Anexo 2: Hoja de datos del relave**

	<b>IB DEPOSITO TTD PROYECTO</b>	<b>Rev</b>	<b>Hoja</b>
	<b>ESPECIFICACIÓN TÉCNICA ESPEADORES</b>	<b>P0</b>	<b>4 de9</b>
	<b>Nº: VP910619-2100-45ES-0001</b>		

## 1.0 INTRODUCCIÓN

El presente documento contiene los antecedentes técnicos necesarios para la formulación de ofertas y comparación técnico/económicas, para el suministro del o los equipos espesadores incluida en el proyecto de depósito de relaves espesados, que \_\_\_\_\_ implementará en su faena minera \_\_\_\_\_, en la provincia de \_\_\_\_\_.

Esta especificación técnica tiene por finalidad, ser puesta a disposición de distintos proveedores interesados en el proyecto, con objeto de solicitar ofertas de suministro para el o los equipos.

Los requerimientos técnicos que se señalan, corresponden a las exigencias que deberán cumplir los equipos a fin de lograr la concentración de sólidos propuesta y asegurar una correcta operación y control del proceso de espesamiento.

## 2.0 ALCANCE

Esta especificación aplica a la formulación de ofertas y al suministro propiamente tal de modo que la oferta que haya sido aceptada para el proyecto, cumpla con las indicaciones contenidas en este documento.

### 2.1 Alcance del suministro

El Proveedor deberá entregar los equipos completamente armados, probados en fábrica, balanceados y listos para su instalación, con todos los elementos necesarios para garantizar una operación segura y continua.

Todos los componentes del equipo y/o sistema deberán ser nuevos

El suministro deberá incluir como mínimo lo siguiente:

- Todos los elementos mecánicos como bombas, flujómetros etc, que son requeridos para la operación automática del equipo, según se indica en el punto 5.2
- Protecciones de partes móviles
- Repuestos para las pruebas y puesta en marcha, si son requeridos.

	<b>IB DEPOSITO TTD PROYECTO</b>	<b>Rev</b>	<b>Hoja</b>
	<b>ESPECIFICACIÓN TÉCNICA ESPESADORES</b>	<b>P0</b>	<b>5 de9</b>
	<b>Nº: VP910619-2100-45ES-0001</b>		

la no responsabilidad del proveedor en los daños.

- Listado de repuestos requeridos para un año de operación normal.
- Juego de herramientas especiales para instalación, mantención u operación (si es requerido).
- Manuales de operación, y mantenimiento.
- Cualquier elemento no mencionado y que a juicio del Proveedor sea requerido.
- Asistencia técnica para la instalación y puesta en marcha.
- El equipo deberá ser entregado funcionando en las condiciones de operación normales de la planta de espesado, salvo que su recepción conforme sea hecha por personal autorizado de con anterioridad a que se ponga en marcha la planta de espesado.

### 3.0 DESCRIPCIÓN GENERAL

El Proceso consiste en el espesamiento de relaves de mineral de hierro proveniente de la planta concentradora con contenido de sólidos de 4% y una producción máxima de 841 t/h. Este relave debe ser espesado hasta una concentración de 73% de sólidos en peso, para luego ser impulsada a una batería de bombas de desplazamiento positivo las cuales impulsaran el relave a su disposición final en el depósito

### 4.0 CONDICIONES DE OPERACIÓN

El o los equipos serán instalados en una planta dispuesta junto a la planta de concentración de hierro de La ubicación de la planta es en la provincia de

Las condiciones a la cual estará expuesto el equipo se encuentran en el documento "Especificación Técnica Condiciones del sitio" VP910619-2000-45ER-0001.

	<b>IB DEPOSITO TTD PROYECTO</b>	<b>Rev</b>	<b>Hoja</b>
	<b>ESPECIFICACIÓN TÉCNICA ESPESADORES</b>	<b>P0</b>	<b>7 de9</b>
	<b>Nº: VP910619-2100-45ES-0001</b>		

- Filosofía de control.

### 5.3 Parámetros de proceso

Los parámetros de proceso que deben cubrir son los que se indican en la Tabla N°1.

Tabla N°1. Parámetros de diseño.

Parámetro	Unidad	Valor
Producción Mínima	t/h	623
Producción Nominal	t/h	732
Producción Máxima	t/h	841
Días de operación por año	d/año	365
Horas de operación por día	h/d	24
Gravedad específica del sólido	-	3,27
Gravedad específica del líquido	-	1
P <sub>90</sub>	µm	168
d <sub>50</sub>	µm	23
pH	-	8,2
Cp relave	%	4
Cp relave en pasta	%	73

### 6.0 INFORMACIÓN REQUERIDA EN LA OFERTA

El proveedor deberá entregar a lo menos, la información técnica y comercial que se indica en la Tabla N°2 y en la hoja de datos adjunta, de modo de facilitar la comparación de ofertas. La ausencia de cualquiera de los datos que se solicitan, no invalida la oferta, pero será considerada negativamente para efectos de realizar la selección del equipo.

	<b>IB DEPOSITO TTD PROYECTO</b>	<b>Rev</b>	<b>Hoja</b>
	<b>ESPECIFICACIÓN TÉCNICA ESPEADORES</b>	<b>P0</b>	<b>8 de9</b>
	<b>Nº: VP910619-2100-45E S-0001</b>		

**Tabla N°2. Información técnica requerida en la oferta**

<b>Datos</b>	<b>Especificaciones</b>
<b>Equipo</b>	
Marca	--
Modelo	--
Procedencia	País
Descripción de la operación	Reseñar el modo de operación del equipo, indicando tiempos de operación.
<b>Diseño</b>	
Dimensiones de estanques	En metros
Feedwell	Modelo
Mecanismo de accionamiento de rastras	Torque de diseño y factor K
Rastras y eje	Dimensiones
Acceso a estanque	Esquema
Bombas de descarga	Modelo
Bombas de cizalle	Modelo
Soportación	Planos
Peso total del equipo	En Kilogramos
Peso del component mas pesado	En Kilogramos
<b>Montaje</b>	
Planos de montaje	Incluir planta y elevaciones con cotas globales ancho, alto y largo
Escalera	Incluir planos
Puente y acceso a puente	Incluir planos
Velocidad de alimentación	Indicar velocidad de alimentación de espesadores
<b>Materiales</b>	
Tanques	Tipo (acero carbono, acero inoxidable, aluminio, plásticos, etc...) y denominación del material de acuerdo a SAE, ASTM u otra norma de uso frecuente
Bombas	
feedwell	
Piping y conexiones	
<b>Antecedentes eléctricos</b>	
Accionamiento mecánico de rastras	Indicar marca, modelo, país de procedencia, tensión de alimentación y tipo de protección/aislación
Bomba descarga y shear thinning	
Consumo eléctrico	Consumo en KW de cada uno de los motores incluidos en el suministro
<b>Post venta</b>	
Repuestos 1 años	Listado de repuestos necesarios para un año de operación según hoja de datos. Se debe indicar el valor de ellos

	<b>IB DEPOSITO TTD PROYECTO</b>	<b>Rev</b>	<b>Hoja</b>
	<b>ESPECIFICACIÓN TÉCNICA ESPEADORES</b>	<b>P0</b>	<b>9 de9</b>
	<b>Nº: VP910619-2100-45E-0001</b>		

<b>Datos</b>	<b>Especificaciones</b>
Garantía	En meses
<b>Valores</b>	
Valor total de la oferta	En pesos chilenos. Si se tratare de equipos cotizados en divisa extranjera, se debe indicar la tasa de cambio empleada (precio FOB)
<b>Proveedor</b>	
Agente de ventas	Indicar ejecutivo responsable de la venta, número de teléfono directo y correo electrónico.

## 7.0 ESPECIFICACIONES DE SUMINISTRO

### 7.1 Información a entregar por el proveedor

El proveedor debe entregar la siguiente información:

- Dimensionamiento de tamaño de equipos requeridos.
- Planos de huellas y carga.
- Descripción general de suministro.
- Listado de piezas individuales.
- Arreglos Generales y sketch de montaje para el equipo.
- Repuestos requeridos y stock recomendados para piezas de desgaste para 1 año.
- Set de herramientas especiales de montaje o mantención, en caso de ser requeridas.
- Requerimiento de suministros para el funcionamiento de equipos, agua, aire, aceite hidráulico, electricidad, etc. Características del suministro: presión, potencia, requerimientos de limpieza, etc.



Figura B2, Hoja de datos.


		PROYECTO	VP910619 INGENIERÍA BÁSICA TTD CERRO NEGRO		
		DOCUMENTO	DATA SHEET DEL FLUIDO		
HOJA		1	DE	1	
DESCRIPCIÓN	UNIDADES	VALOR			
<b>RELAVE EN PASTA</b>					
Rango de concentración de sólidos	-	71-74%			
Gravedad específica de ma mezcla	-	1,9-2,1			
Rango de pH	-	8,2-8,5			
pH de diseño	-	8,2			
<b>Valores Reológicos referenciales</b>		Cp	Viscosidad	Yield Stress	
Se presenta tabla con Yield stress y viscosidad		%	(Pas)	(Pa)	
		76	0,14	159	
		74	0,076	102	
		72	0,053	65	
		70	0,027	42	
		68	0,017	27	
Modelo plástico de Bingham		$\tau = \tau_0 + \eta_B * \dot{\gamma}$			
Viscosidad	Pas	$\eta_B$			
Shear Rate	1/s	$\dot{\gamma}$			
Yield Stress	Pa	$\tau_0 = A\phi^B$			A=455893 B=7,979
Concentración de sólidos en volumen		$C_v = \frac{C_p}{C_p + SG_{sólidos}(1 - C_p)}$			
<b>FLUIDO</b>					
Descripción	-	Agua			
Rango de temperatura	°C	20-25			
Gravedad específica	-	1			
pH	-	7,5			
Viscosidad	Pas	0,1			
Presión de Vapor	kPa	2,21			
<b>SÓLIDOS</b>					
Gravedad específica	-	3,27			
d50	µm	23			
P80	µm	210			
<b>Granulometría</b>					
Se presenta una tabla granulométrica referencial					
		Malla ASTM N°	Abertura µm	Pasante Acumulado %	
		#4	5000	100	
		#10	2000	95	
		#40	420	83	
		#60	250	81	
		#100	150	78	
		#140	105	75	
		#200	74	71	
		#270	55	65	
		#400	38	59	
		#500	25	52	

Figura B3, Extracto “Protocolo funcionamiento”.

## Protocolo Funcionamiento Operacional

### Espesadores

Para el proyecto \_\_\_\_\_ de Compañía Minera \_\_\_\_\_ suministró 2 espesadores de 40m de diámetro, del tipo Alta Densidad, junto con una garantía de funcionamiento de procesos.

El presente protocolo, tiene por objetivo, indicar las variables de entrada a controlar para verificar dicha garantía, así mismo como la verificación de las variables de salida. En caso que las variables de entrada estén en el rango apropiado y aun así, los espesadores no entreguen las variables de salida apropiadas, se deberán realizar pruebas, las cuales se indican en este documento, para verificar la calidad del material, y así determinar si las diferencias en las variables de salida son atribuibles al diseño del equipo o a las características del material.

#### **Variables de Entrada a Espesadores:**

El material de alimentación a ambos espesadores deberá cumplir con las siguientes condiciones:

- |   |  |
|---|--|
| • Material a Procesar:                        | Pulpa de Relaves de Planta de Fierro.  |
| • Tratamiento de Sólidos en Pulpa:            | Máximo 841 t/h para ambos espesadores.   |
| • %Sólidos en Pulpa de Alimentación:          | 4.4% $\pm$ 0.3% (4.1% a 4.7% de sólidos en peso).  |
| • Gravedad Específica de Sólidos:             | 3.27 $\pm$ 5% (3.11 a 3.43)  |
| • Flujo de Pulpa de Alimentación:             | Máximo de 19,942 m <sup>3</sup> /h de Pulpa ( considerando las variaciones por % Sólidos en Pulpa de Alimentación y Densidad del Sólido. |
| • pH de la pulpa de Alimentación:             | 8.2 a 8.5.   |
| • Granulometría de Sólidos, P <sub>80</sub> : | 210 $\mu$ m $\pm$ 10% ( 189 a 231 $\mu$ m)   |
| • Granulometría de Sólidos, P <sub>50</sub> : | $\geq$ 23 $\mu$ m.   |
| • Dosis de Floculante:                        | 20 a 25 gramos de Floculante por Tonelada de Sólidos. (16.820 a 21.025 kg de Floculante por hora)  |
| • Dilución del Floculante:                    | 0.2 a 0.3 g/l (en alimentación al espesador)   |
| • Flujo de Floculante:                        | 84.1 a 105.13 m <sup>3</sup> /h de floculante diluido  |

Nota: El floculante a usar es el SNF 670 o equivalente, el cual deberá ser preparado apropiadamente, según las recomendaciones del proveedor de floculantes, y adicionado adecuadamente al espesador.

#### **Variables de Salida de Espesadores:**

Si se cumplen las variables de entrada a uno o a ambos espesadores, entonces, las variables de salida de uno o ambos espesadores deberán ser:

- |  |  |
|--|--|
| • Concentración de Sólidos Descarga Espesador: | 71 a 74% de sólidos en peso.           |
| • Concentración de Sólidos Agua Recuperada:    | menor a 300 ppm de sólidos suspendidos |

Para la verificación de la garantía de proceso de funcionamiento de los espesadores, se medirán y registrarán las variables de salida del espesador, por parte de \_\_\_\_\_.

**Si las variables de salida de los espesadores, se cumplen en promedio por lo menos 1 turno (8 hr continuas) se entenderá que los espesadores cumplen con la garantía de procesos requerida.**

Para lo anterior, será necesario operar eficientemente el o los espesadores, considerando una apropiada dosificación de floculante, dilución del mismo, nivel de cama al interior del espesador y flujo de descarga del o de los espesadores.

Si durante la verificación de la garantía de proceso, se observa que no se cumplen las variables de salida, se verificarán las variables de entrada al espesador. Si las variables de entrada están fuera de rango, se entiende que el rendimiento del o de los equipos, está sujeto a las variables de entrada. Si durante un periodo de 6 meses después de la puesta en marcha con pulpa del o los equipos, no se logran las variables de salida y al mismo tiempo no se logran las variables de entrada, se entenderá que la garantía de procesos esta vencida, y \_\_\_\_\_ quedará liberado de responsabilidad por el rendimiento del o los equipos.

En el caso que se no se cumplan las variables de salida y al mismo tiempo se cumplan las variables de entrada al o a los equipos, se verificará las características del material a procesado. Esto tiene por objeto verificar que el material procesado sea similar al material estudiado para el diseño de los equipos y que en base a este se dio la garantía de procesos.

Para determinar las características del material a procesar, se verificarán las variables de entrada, medibles en el espesador y \_\_\_\_\_ tomará muestras de la pulpa de alimentación, en presencia de \_\_\_\_\_, para formar un compósito representativo de la pulpa de alimentación al espesador. Este compósito será entregado a \_\_\_\_\_, quien realizará pruebas de sedimentación para medir la calidad de la muestra y al mismo tiempo verificar las variables de entrada no medibles en el espesador.

Estas pruebas de sedimentación, tendrán por objetivo verificar los siguientes parámetros:

- **Área Unitaria:** La muestra compósito deberá tener a lo mínimo un área unitaria de  $0.1125 \text{ m}^2/\text{TMPD}$ .
- **Tiempo de Retención:** la muestra compósito, deberá alcanzar en laboratorio, un 74% de sólidos en peso en un tiempo de residencia inferior a 4.0 hr.
- **Reología:** La muestra, una vez sedimentada en laboratorio, con las dosis, dilución y floculante antes indicado, se someterá a mediciones de Yield Stress, donde deberá mostrar para una concentración de 74% de sólidos en peso, un Yield Stress (unshear) inferior a 102 Pa y al mismo tiempo, para una concentración de 71% de sólidos en peso, un Yield Stress (un shear) inferior a 50 Pa.

Si alguna de las variables anteriores, no se cumpliera, se entenderá que el material alimentado al espesador es distinto al estudiado en la fase de diseño del mismo, luego \_\_\_\_\_, quedará excusado de cumplir con la garantía de procesos.

Las pruebas de sedimentación necesarias para la medición de las variables de Área Unitaria, Tiempo de Residencia y Reología se detallan a continuación.

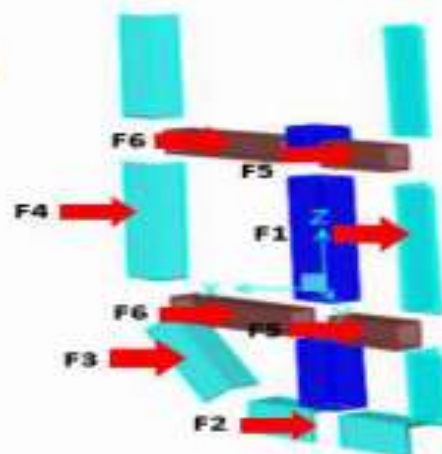
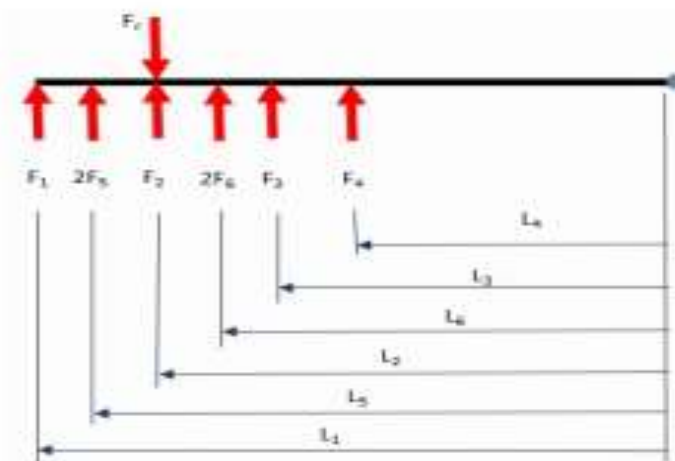
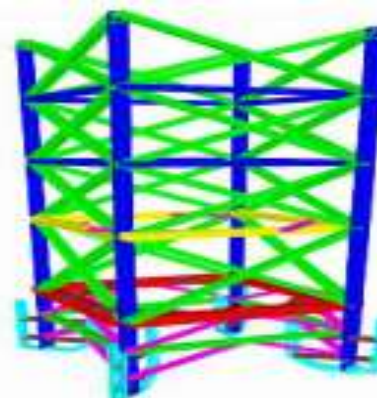
Figura B4, Extracto “Planilla reporte torque del día 10-01-2015”.

Tag name	Time stamp	Value	Quality
SystemArchive/Torque_EP01/Torque.PV_Out#Value	1/10/2015 18:18:36.353	67	128
SystemArchive/Torque_EP01/Torque.PV_Out#Value	1/10/2015 18:18:37.353	67	128
SystemArchive/Torque_EP01/Torque.PV_Out#Value	1/10/2015 18:18:38.353	71	128
SystemArchive/Torque_EP01/Torque.PV_Out#Value	1/10/2015 18:18:39.353	71	128
SystemArchive/Torque_EP01/Torque.PV_Out#Value	1/10/2015 18:18:40.353	71	128
SystemArchive/Torque_EP01/Torque.PV_Out#Value	1/10/2015 18:18:41.353	70	128
SystemArchive/Torque_EP01/Torque.PV_Out#Value	1/10/2015 18:18:42.353	70	128
SystemArchive/Torque_EP01/Torque.PV_Out#Value	1/10/2015 18:18:43.353	70	128
SystemArchive/Torque_EP01/Torque.PV_Out#Value	1/10/2015 18:18:44.353	69	128
SystemArchive/Torque_EP01/Torque.PV_Out#Value	1/10/2015 18:18:45.353	68	128
SystemArchive/Torque_EP01/Torque.PV_Out#Value	1/10/2015 18:18:46.353	68	128
SystemArchive/Torque_EP01/Torque.PV_Out#Value	1/10/2015 18:18:47.353	70	128
SystemArchive/Torque_EP01/Torque.PV_Out#Value	1/10/2015 18:18:48.353	76	128
SystemArchive/Torque_EP01/Torque.PV_Out#Value	1/10/2015 18:18:49.353	76	128
SystemArchive/Torque_EP01/Torque.PV_Out#Value	1/10/2015 18:18:50.353	78	128
SystemArchive/Torque_EP01/Torque.PV_Out#Value	1/10/2015 18:18:51.353	78	128
SystemArchive/Torque_EP01/Torque.PV_Out#Value	1/10/2015 18:18:52.353	78	128
SystemArchive/Torque_EP01/Torque.PV_Out#Value	1/10/2015 18:18:53.353	77	128
SystemArchive/Torque_EP01/Torque.PV_Out#Value	1/10/2015 18:18:54.353	76	128
SystemArchive/Torque_EP01/Torque.PV_Out#Value	1/10/2015 18:18:55.353	71	128
SystemArchive/Torque_EP01/Torque.PV_Out#Value	1/10/2015 18:18:56.353	69	128
SystemArchive/Torque_EP01/Torque.PV_Out#Value	1/10/2015 18:18:57.353	69	128
SystemArchive/Torque_EP01/Torque.PV_Out#Value	1/10/2015 18:18:58.353	69	128
SystemArchive/Torque_EP01/Torque.PV_Out#Value	1/10/2015 18:18:59.353	69	128
SystemArchive/Torque_EP01/Torque.PV_Out#Value	1/10/2015 18:19:00.353	69	128
SystemArchive/Torque_EP01/Torque.PV_Out#Value	1/10/2015 18:19:01.353	69	128
SystemArchive/Torque_EP01/Torque.PV_Out#Value	1/10/2015 18:19:02.353	69	128
SystemArchive/Torque_EP01/Torque.PV_Out#Value	1/10/2015 18:19:03.353	69	128
SystemArchive/Torque_EP01/Torque.PV_Out#Value	1/10/2015 18:19:04.353	69	128
SystemArchive/Torque_EP01/Torque.PV_Out#Value	1/10/2015 18:19:05.353	67	128
SystemArchive/Torque_EP01/Torque.PV_Out#Value	1/10/2015 18:19:06.353	67	128
SystemArchive/Torque_EP01/Torque.PV_Out#Value	1/10/2015 18:19:07.353	67	128
SystemArchive/Torque_EP01/Torque.PV_Out#Value	1/10/2015 18:19:08.353	67	128
SystemArchive/Torque_EP01/Torque.PV_Out#Value	1/10/2015 18:19:09.353	67	128
SystemArchive/Torque_EP01/Torque.PV_Out#Value	1/10/2015 18:19:10.353	64	128
SystemArchive/Torque_EP01/Torque.PV_Out#Value	1/10/2015 18:19:11.353	62	128
SystemArchive/Torque_EP01/Torque.PV_Out#Value	1/10/2015 18:19:12.353	62	128
SystemArchive/Torque_EP01/Torque.PV_Out#Value	1/10/2015 18:19:13.353	62	128
SystemArchive/Torque_EP01/Torque.PV_Out#Value	1/10/2015 18:19:14.353	61	128
SystemArchive/Torque_EP01/Torque.PV_Out#Value	1/10/2015 18:19:15.353	61	128
SystemArchive/Torque_EP01/Torque.PV_Out#Value	1/10/2015 18:19:16.353	62	128
SystemArchive/Torque_EP01/Torque.PV_Out#Value	1/10/2015 18:19:17.353	62	128
SystemArchive/Torque_EP01/Torque.PV_Out#Value	1/10/2015 18:19:18.353	62	128
SystemArchive/Torque_EP01/Torque.PV_Out#Value	1/10/2015 18:19:19.353	57	128
SystemArchive/Torque_EP01/Torque.PV_Out#Value	1/10/2015 18:19:20.353	57	128
SystemArchive/Torque_EP01/Torque.PV_Out#Value	1/10/2015 18:19:21.353	57	128
SystemArchive/Torque_EP01/Torque.PV_Out#Value	1/10/2015 18:19:22.353	56	128

ANEXO C, Determinación carga de torque

Figura C1, Determinación carga distribuida RCC.

Torque Nominal ( $T_n$ ) = 663625 kg - m  
 Torque Raspadores ( $T_r$ ) = 25%  
 $T_r = 165906.3$  Kg - m  
 Ancho Cage ( $b_c$ ) = 3302 mm  
 Brazo Torque ( $B_t$ ) = 2.335 m  
 $B_t = (\sqrt{2} (b_c)^2)/2$   
 Cantidad Raspadores = 4  
 Fuerza Raspadores ( $F_r$ ) = 17764 Kg  
 $F_r = T_r / (4 B_t)$



$L_1 = 2.733$ m	$d_1 = 2.16$ m	$F_1 = q \times d_1$
$L_2 = 2.335$ m	$d_2 = 0.8$ m	$F_2 = q \times d_2$
$L_3 = 1.749$ m	$d_3 = 0.6$ m	$F_3 = q \times d_3$
$L_4 = 1.562$ m	$d_4 = 1.69$ m	$F_4 = q \times d_4$
$L_5 = 2.534$ m	$d_5 = 0.4$ m	$F_5 = q \times d_5$
$L_6 = 1.949$ m	$d_6 = 0.77$ m	$F_6 = q \times d_6$

SUMATORIA DE FUERZAS

$\sum M_o = 0$

$F_r * L_2 = F_1 * L_1 + F_2 * L_2 + F_3 * L_3 + F_4 * L_4 + 2 * F_5 * L_5 + 2 * F_6 * L_6$

$F_r * L_2 = (q * d_1 * L_1) + (q * d_2 * L_2) + (q * d_3 * L_3) + (q * d_4 * L_4) + (2 * q * d_5 * L_5) + (2 * q * d_6 * L_6)$

$F_r * L_2 = q (d_1 * L_1 + d_2 * L_2 + d_3 * L_3 + d_4 * L_4 + 2 * d_5 * L_5 + 2 * d_6 * L_6)$

**q = 2517 Kg/m**

Figura C2, Determinación carga distribuida RE.

Torque Nominal ( $T_n$ ) = 663625 kg - m  
 Torque Raspadores ( $T_r$ ) = 75%  $T_n$  = 497718.75 Kg - m  
 Ancho Cage ( $b_c$ ) = 3302 mm  
 Brazo Torque ( $B_1$ ) = 2.335 m  $B_1 = (\sqrt{2} (b_c)^2)/2$   
 Cantidad Raspadores = 4

**Raspadores Rastra Larga**

Nº	Canl	A	B	C	D	E	F	Tubo	$m_2$
24	1	4880	2952	1928	295	88	172	8 x 4	2.093
25	1	4670	2663	2007	276	60	92	6 x 4	1.818
26	1	3932	2148	1784	216	38	45	4 x 4	1.167
27	1	3861	1930	1931	165	28	32	6 x 4	1.168
28	1	3400	1700	1700	165	19	19	6 x 4	1.047
29	1	2629	0	0	164	0	0	4 x 4	0.698
2	3	2629	0	0	191	0	0	0	1.506
3	1	2694	0	0	191	0	0	0	0.515
<b>Total</b>		<b>28695</b>						<b>Total</b>	<b>10.011</b>

**Raspadores Rastra Corta**

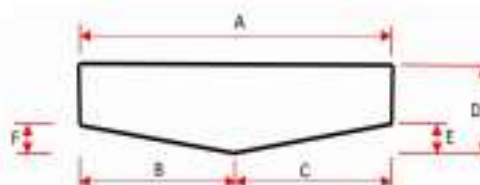
Nº	Canl	A	B	C	D	E	F	Tubo	$m_2$
24	1	4880	2952	1928	295	88	172	8 x 4	2.093
25	1	4670	2663	2007	276	60	92	6 x 4	1.818
26	1	3932	2148	1784	216	38	45	4 x 4	1.167
<b>Total</b>		<b>13482</b>						<b>Total</b>	<b>5.077</b>

**Relacion rastra Larga v/s Corta**

Perimetro = 2.128

Area = 1.972

Promedio = 2.050



**Fuerza Raspadores**

$F_1 = 2.050 F_2$

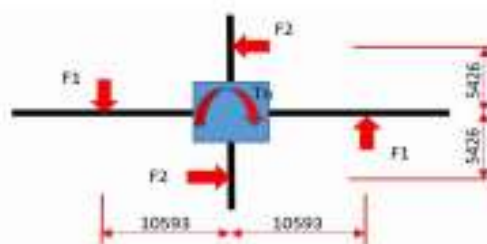
$\sum Mo = 0$

$T_n = 2 F_1 \times 10593 + 2 F_2 \times 5426$

$T_n = 2 * 2 F_2 \times 10593 + 2 F_2 \times 5426$

$F_2 = 9.169 \text{ Ton}$

$F_2 = 9169 \text{ Kg}$



Reemplazando en ecuacion original

$$F_1 = 18.796 \text{ Ton}$$

$$F_1 = 18796 \text{ Kg}$$

$$L_1 = 16.74 \text{ m}$$

$$L_2 = 10.59 \text{ m}$$

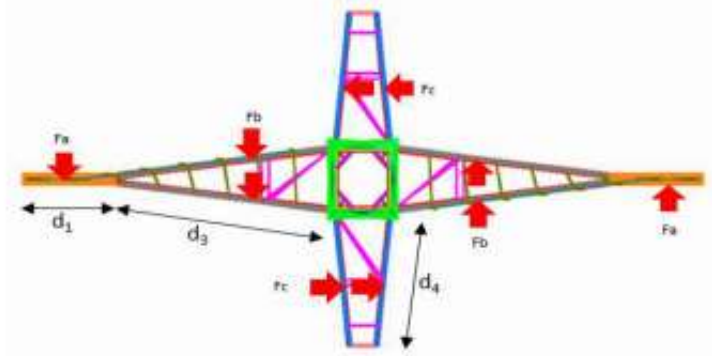
$$L_3 = 8.15 \text{ m}$$

$$d_1 = 5.031 \text{ m}$$

$$d_3 = 12.76 \text{ m}$$

$$F_a = q_1 \times d_1$$

$$F_b = q_1 \times d_3$$



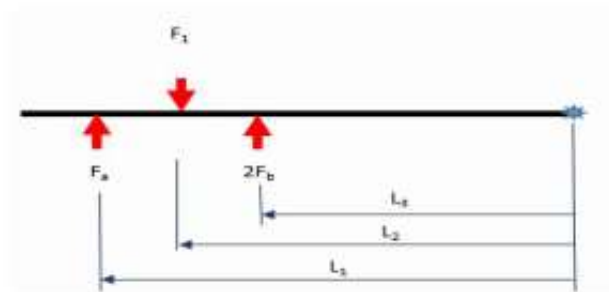
Para Rastra Larga

$$\sum M_o = 0$$

$$F_1 * L_2 = F_a * L_1 + 2 F_b * L_3$$

$$F_1 * L_2 = q * d_1 * L_1 + 2 (q * d_3) * L_3$$

$$q_1 = 681 \text{ Kg/m}$$



Para Rastra Corta

$$L_4 = 5.43 \text{ m}$$

$$d_4 = 7.10 \text{ m}$$

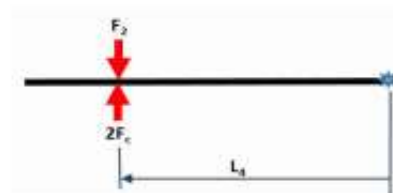
$$F_c = q_2 \times d_4$$

$$\sum M_o = 0$$

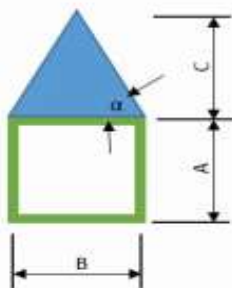
$$F_2 * L_4 = 2 F_c * L_4$$

$$F_2 * L_4 = 2 (q_2 * d_4) * L_4$$

$$q_2 = 646 \text{ Kg/m}$$



**ANEXO D, Determinación carga permanente “Cp”**



**Datos Ejemplo :**

Perfil = TS 12 x 12 x 3/4

$\alpha = 60^\circ$

$D_s = 2000 \text{ kg/m}^3$  (Densidad Solido)

$A = 304.8 \text{ mm}$

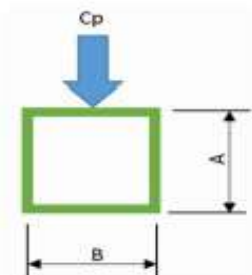
$B = 304.8 \text{ mm}$

$C = \text{tg}(90 - \alpha) * (B / 2) = 264 \text{ mm}$

$$A_t = (B/2) * C = 40228 \text{ mm}^2$$

$$0.040 \text{ m}^2$$

$$q_{AS} = A_t * D_s = 80 \text{ Kg/m}$$



**Sobre carga**

**Datos Ejemplo :**

Perfil = TS 12 x 12 x 3/4

$SC = 500 \text{ kg/m}^2$

$A = 304.8 \text{ mm}$

$B = 304.8 \text{ mm}$

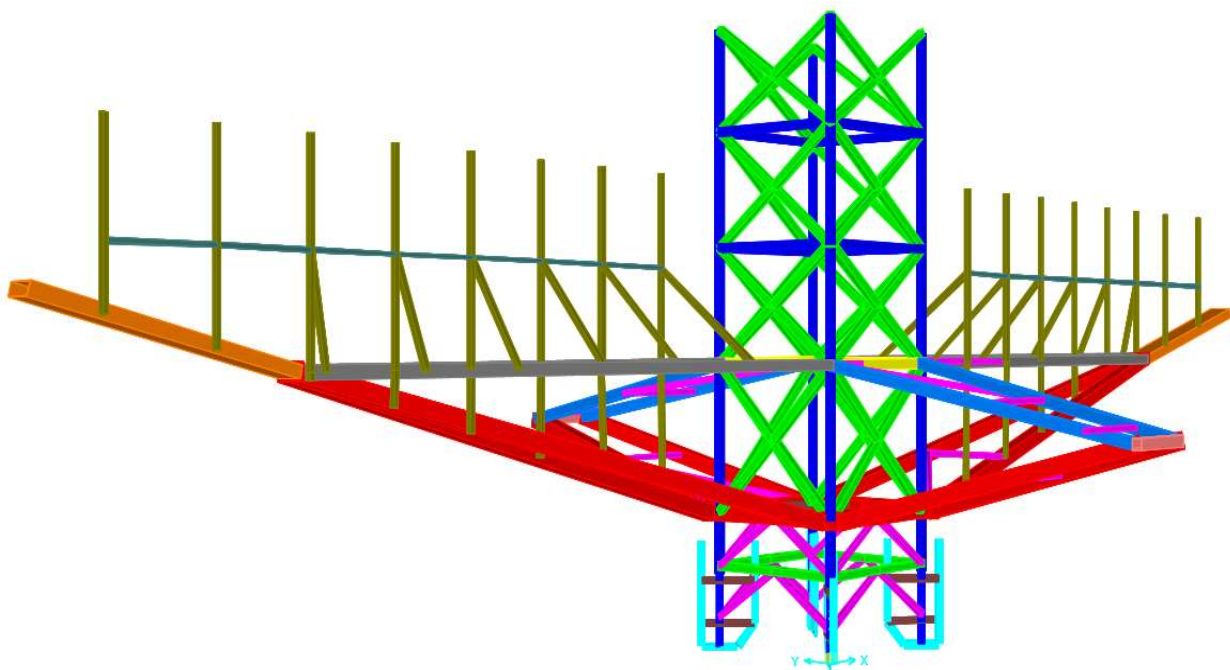
$$A_t = B * 1000 = 304800 \text{ mm}^2$$

$$0.305 \text{ m}^2$$

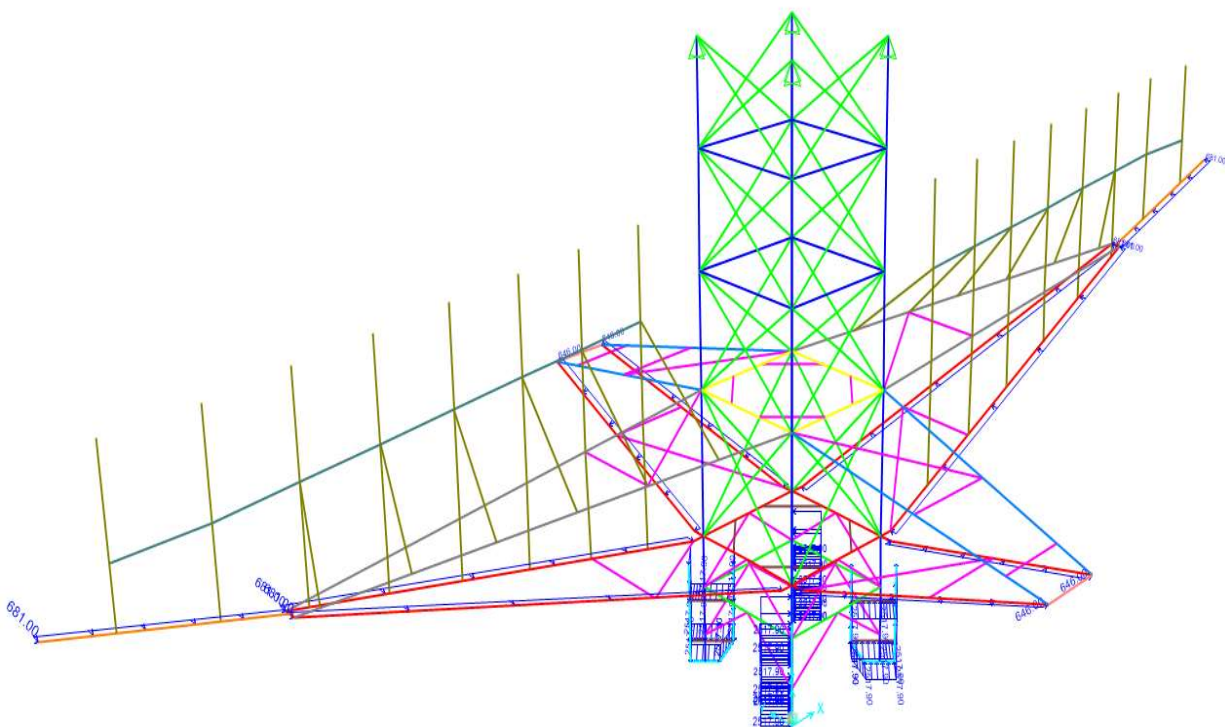
$$q_{sc} = A_t * sc = 152 \text{ Kg/m}$$



**ANEXO E.** Modelo estructural simulado en computador.



**ANEXO F.** Modelo 3D con carga de torque "Ct".



ANEXO G. Gráfico de torque

Figura G1, Torque espesador de relave número uno.

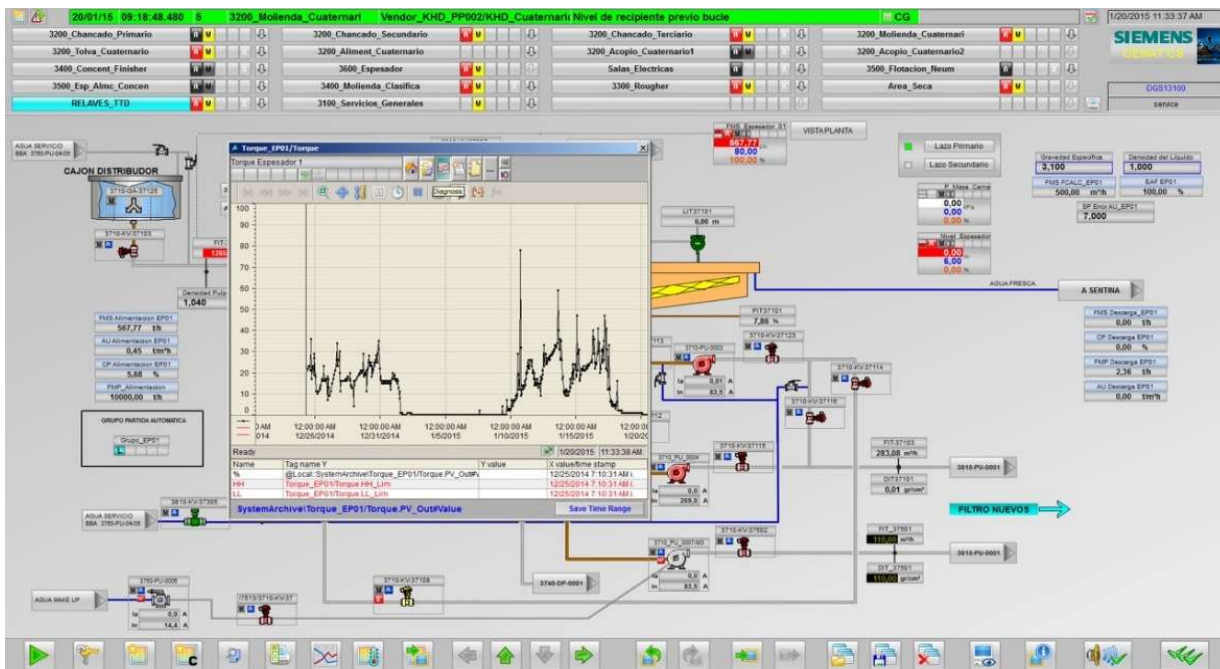
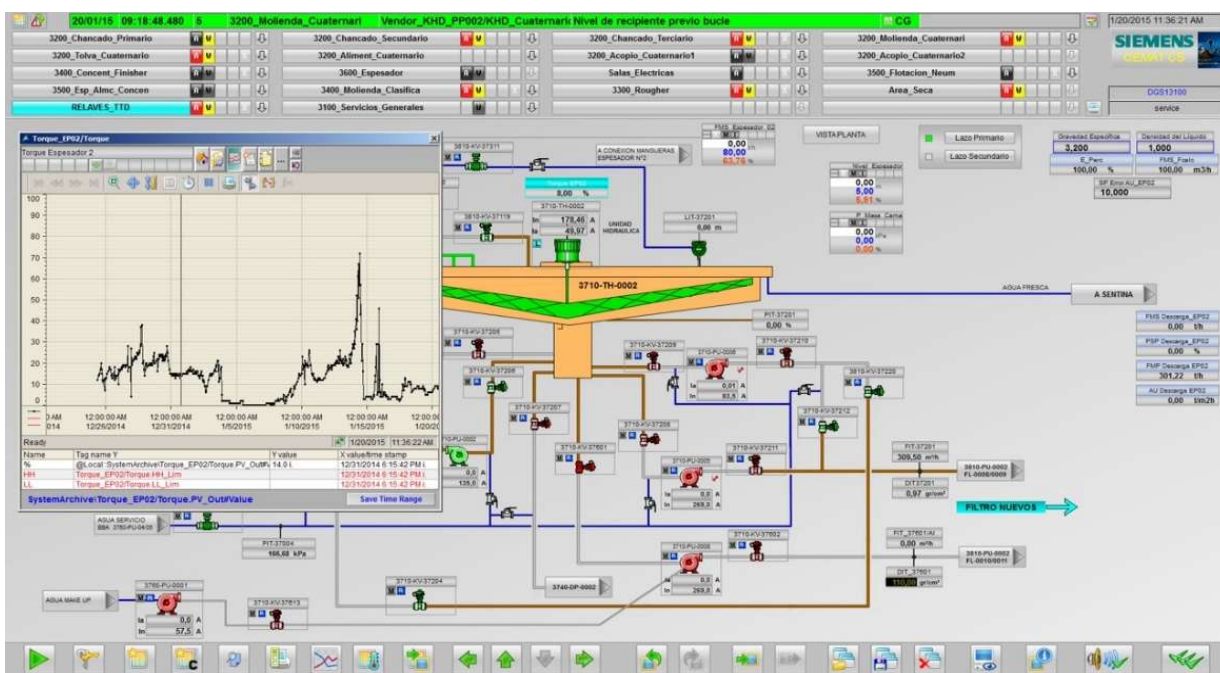
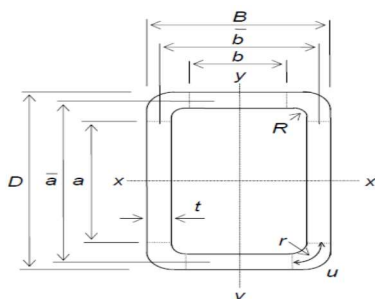


Figura G1, Torque espesador de relave número dos.



ANEXO H, Cálculos para la resistencia de diseño

Figura H1, Determinación de las propiedades de la sección, perfil OC127x127x6mm



Perfil: OC127x127x6

B:	12.7	cm
D = H:	12.7	cm
t:	0.6	cm
R:	0.6	cm

Parámetros auxiliares

$r = R + t/2$	=	0.90	cm
$u = \pi r/2$	=	1.41	cm
$a = h = D - 2(t+R)$	=	10.30	cm
$\bar{a} = D - t$	=	12.10	cm
$b = B - 2(t + R)$	=	10.30	cm
$\bar{b} = B - t$	=	12.10	cm

Area

$$A = 2t(a + b + 2u) = 28.11 \text{ cm}^2$$

Propiedades flexo - torsionales

$$J = \frac{2t\bar{a}^2\bar{b}^2}{\bar{a} + \bar{b}} = 1062.94 \text{ cm}^4$$

Momento de inercia

$$I_x = 1/6 (ta^3 + bt^3) + 2tb(a/2 + r)^2 + t/4\pi r [(\pi r)^2 (4r^2 + t^2) - 8(2r^2 + t^2/6)^2 + 2(\pi r a + 4r^2 + t^2/3)^2]$$

$$I_x = 674.33 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 1/6 (tb^3 + at^3) + 2tb(b/2 + r)^2 + t/4\pi r [(\pi r)^2 (4r^2 + t^2) - 8(2r^2 + t^2/6)^2 + 2(\pi r b + 4r^2 + t^2/3)^2]$$

$$I_y = 674.33 \text{ cm}^4$$

Modulo elastico de la sección

$$S_x = I_x / (D/2) = 106.2 \text{ cm}^3$$

$$S_y = I_y / (B/2) = 106.2 \text{ cm}^3$$

Radios de giros

$$r_x = 0.4 (D-t) = 4.84 \text{ cm}$$

$$r_y = 0.4 (B-t) = 4.84 \text{ cm}$$

Modulo de sección plástico

$$Z_x = ta^2/2 + bt(a + 2r) + t(\pi r a + 4r^2 + t^2/3)$$

$$Z_x = 126.09 \text{ cm}^3$$

$$Z_y = tb^2/2 + at(b + 2r) + t(\pi r b + 4r^2 + t^2/3)$$

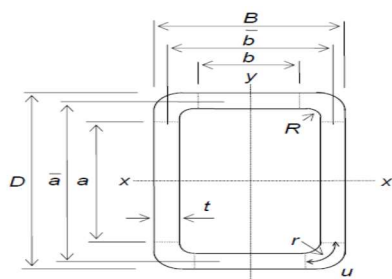
$$Z_y = 126.09 \text{ cm}^3$$

Constante torsional

$$C = 2(B - t)(H - t)t - 4.5(4 - \pi)t^3$$

$$C = 174.86 \text{ cm}^3$$

Figura H2, Determinación de las propiedades de la sección, perfil OC152x152x6mm



Perfil: OC152x152x6

B:	15.2	cm
D = H:	15.2	cm
t:	0.6	cm
R:	0.6	cm

**Parámetros auxiliares**

$r = R + t/2$	=	0.90	cm
$u = \pi r/2$	=	1.41	cm
$a = h = D - 2(t+R)$	=	12.80	cm
$\bar{a} = D - t$	=	14.60	cm
$b = B - 2(t + R)$	=	12.80	cm
$\bar{b} = B - t$	=	14.60	cm

**Area**

$$A = 2t(a + b + 2u) = 34.11 \text{ cm}^2$$

**Propiedades flexo - torsionales**

$$J = \frac{2t\bar{a}^2\bar{b}^2}{\bar{a} + \bar{b}} = 1867.28 \text{ cm}^4$$

**Momento de inercia**

$$I_x = 1/6 (ta^3 + bt^3) + 2tb(a/2 + r)^2 + t/4\pi r [( \pi r)^2 (4r^2 + t^2) - 8(2r^2 + t^2/6)^2 + 2(\pi r a + 4r^2 + t^2/3)^2]$$

$$I_x = 1195.02 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 1/6 (tb^3 + at^3) + 2tb(b/2 + r)^2 + t/4\pi r [( \pi r)^2 (4r^2 + t^2) - 8(2r^2 + t^2/6)^2 + 2(\pi r b + 4r^2 + t^2/3)^2]$$

$$I_y = 1195.02 \text{ cm}^4$$

**Modulo elastico de la sección**

$$S_x = I_x / (D/2) = 157.2 \text{ cm}^3$$

$$S_y = I_y / (B/2) = 157.2 \text{ cm}^3$$

**Radios de giros**

$$r_x = 0.4 (D-t) = 5.84 \text{ cm}$$

$$r_y = 0.4 (B-t) = 5.84 \text{ cm}$$

**Modulo de sección plástica**

$$Z_x = ta^2/2 + bt(a + 2r) + t(\pi r a + 4r^2 + t^2/3)$$

$$Z_x = 185.01 \text{ cm}^3$$

$$Z_y = tb^2/2 + at(b + 2r) + t(\pi r b + 4r^2 + t^2/3)$$

$$Z_y = 185.01 \text{ cm}^3$$

**Constante torsional**

$$C = 2(B - t)(H - t)t - 4.5(4 - \pi)t^3$$

$$C = 254.96 \text{ cm}^3$$

Figura H3, Determinación de la RD, elemento N° 43

Perfil : OC152x152x6

Nº Elemento: 43

% Tn : 25%

Material : A572 Gr. 50

$F_y = 3520 \text{ kgf/cm}^2$

Peso Especifico =  $0.0079 \text{ kg/cm}^3$

$F_u = 4590 \text{ kgf/cm}^2$

Designación	Peso Kg/m	Dimensiones						
		D mm	B mm	$t_{nom}$ mm	$t_{dis}$ mm	h mm	r mm	$J/10^4$ mm <sup>4</sup>
OC152x152x6	26.78	152	152	6	6	128	9	1867.28

Eje X - X				Eje Y - Y				
$I_x/10^6$ mm <sup>4</sup>	$S_x/10^3$ mm <sup>3</sup>	$r_x$ mm	$Z_x/10^3$ mm <sup>3</sup>	$I_y/10^6$ mm <sup>4</sup>	$S_y/10^3$ mm <sup>3</sup>	$r_y$ mm	$Z_y/10^3$ mm <sup>3</sup>	$C/10^3$ mm <sup>3</sup>
11.95	157.24	58.4	185.01	11.95	157	58.4	185.01	254.96

Area Bruta $A_g$ mm <sup>2</sup>	Area Neta Efectiva $A_e$ mm <sup>2</sup>	Esbeltez		Material			
		Ala $\lambda = b/t_{dis}$	Alma $\lambda = h/t_{dis}$	$F_y$ MPa	E MPa	K	L mm
3411.3	3072.0	21.3	21.3	345	200000	2	885

 **CLASIFICACION DE LA SECCION DE ACUERDO AL PANDEO LOCAL**

**COMPRESION Y FLEXION ALA**

$\lambda = b/t =$	21.3
$\lambda_p = 1.12 \sqrt{E/F_y} =$	27.0
$\lambda_r = 1.40 \sqrt{E/F_y} =$	33.7

$\lambda < \lambda_p$

**SECCION COMPACTA**

**FLEXION ALMA**

$\lambda = h/t =$	21.3
$\lambda_p = 2.42 \sqrt{E/F_y} =$	58.3
$\lambda_r = 5.70 \sqrt{E/F_y} =$	137.2

$\lambda < \lambda_p$

**SECCION COMPACTA**



**Disposición general**

Resistencia de diseño =  $\phi_c P_n$   $\phi_c = 0.9$

Resistencia admisible =  $P_n / \Omega_c$   $\Omega_c = 1.67$

**Resistencia a compresión por pandeo por flexión de miembros sin elementos esbeltos**

Resistencia de Compresion Nominal

$$P_n = A_g \times F_{cr}$$

Tensión crítica de pandeo elástico

$$F_e = (\pi^2 E) / (K^2 L / r)^2 = 2148.86 \text{ MPa}$$

Tension de pandeo por flexion

$(KL)/r = 30.31$	$(KL)/r \leq 4.71 \sqrt{E/F_y}$
$4.71 \sqrt{E/F_y} = 113.41$	$F_e \geq 0.44 F_y$
$0.44 F_y = 151.78$	

$$F_{cr} = (0.658 F_y / F_e) F_y = 323 \text{ MPa}$$

$$32.91 \text{ Kg}_f / \text{mm}^2$$

Reemplazando, la resistencia de compresión nominal:

$$P_n = F_{cr} A_g = 112274 \text{ Kg}_f$$

$$112.27 \text{ Ton}$$

Resistencia de diseño = $\phi_c P_n =$	<b>101.05 Ton</b>
Resistencia admisible = $P_n / \Omega_c =$	<b>67.23 Ton</b>



 **CORTE**

**Disposición General**

Resistencia de diseño =  $\phi_v V_n$   $\phi_v = 0.9$

Resistencia admisible =  $V_n / \Omega_v$   $\Omega_v = 1.67$

**Resistencia de corte nominal**

$V_n = 0.6 F_y A_w C_v$

**Coefficiente de pandeo de placas del alma atiesadas**

$k_v = 5 + 5 / (a/h)^2 = 9.18$

**Coefficiente de corte del alma**

$h/t < 1.10 \sqrt{(k_v E / F_y)}$  ➔  $C_v = 1.0$

**Área del alma**

$A_w = 2ht = 15.36 \text{ cm}^2$

**Reemplazando, la resistencia de corte nominal:**

$V_n = 32440 \text{ Kg}_f$   
 $32.44 \text{ Ton.}$

Resistencia de diseño = $\phi_v V_n =$	<b>29.20 Ton.</b>
Resistencia admisible = $V_n / \Omega_v =$	<b>19.43 Ton.</b>

 **TRACCIÓN**

**Disposición General**

Resistencia de diseño =  $\phi_t P_n$

Resistencia admisible =  $P_n / \Omega_t$

**Para fluencia en tracción en la sección bruta**

$P_n = F_y A_g$   $\phi_t = 0.90$   $\Omega_t = 1.67$

$P_n = 120077 \text{ Kg}_f$   
 $120.08 \text{ Ton.}$

Resistencia de diseño =  $\phi_t P_n = 108.07 \text{ Ton.}$

Resistencia admisible =  $P_n / \Omega_t = 71.9 \text{ Ton.}$



**Para fractura en tracción en la sección neta**

$$P_n = F_u A_e$$

$$\phi_t = 0.75 \quad \Omega_t = 2.00$$

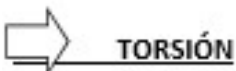
$$P_n = \begin{matrix} 141005 \text{ Kg}_f \\ 141.00 \text{ Ton.} \end{matrix}$$

Resistencia de diseño =  $\phi_t P_n = 105.75 \text{ Ton.}$

Resistencia admisible =  $P_n / \Omega_t = 70.5 \text{ Ton.}$

Por lo tanto, se considera:

Resistencia de diseño = $\phi_t P_n = 105.75 \text{ Ton.}$
Resistencia admisible = $P_n / \Omega_t = 70.5 \text{ Ton.}$



**Disposición General**

Resistencia de diseño =  $\phi_T T_n$

Resistencia admisible =  $T_n / \Omega_T$

**Para fluencia torsional y pandeo torsional**

$$T_n = F_{cr} C$$

$$\phi_T = 0.90 \quad \Omega_T = 1.67$$

**Tensión crítica**

$$\begin{matrix} h/t = 21.3 \\ 2.45 \sqrt{E/F_y} = 58.99 \\ 3.07 \sqrt{E/F_y} = 73.92 \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} F_{cr} = 0.6F_y \\ F_{cr} = 206.98 \text{ MPa} \end{matrix}$$

Reemplazando:

$$T_n = \begin{matrix} 5.3E+07 \text{ Nmm} \\ 5.38 \text{ T-m} \end{matrix}$$

Resistencia de diseño = $\phi_T T_n = 4.85 \text{ T-m}$
Resistencia admisible = $T_n / \Omega_T = 3.22 \text{ T-m}$

**Resumen para LRFD**

	LRFD		LRFD
Compresión	$P_u =$	$Kg_f$	$P_c = \phi_c P_n$ <b>101047</b> OK...Cumple
Flexión	$M_{ux} =$ <b>2068</b>	$Kg_f \cdot m$	$M_{cx} = \phi_b P_n$ <b>5861</b> OK...Cumple
Flexión	$M_{uy} =$ <b>1960</b>	$Kg_f \cdot m$	$M_{cy} = \phi_b P_n$ <b>5861</b> OK...Cumple
Corte	$V_u =$ <b>15947</b>	$Kg_f$	$V_c = \phi_v V_n$ <b>29196</b> OK...Cumple
Tracción	$P_u =$ <b>1165</b>	$Kg_f$	$P_c = \phi_t P_n$ <b>105754</b> OK...Cumple
Torsión	$T_u =$ <b>1885</b>	$Kg_f \cdot m$	$T_c = \phi_T T_n$ <b>4846</b> OK...Cumple

**Resumen para ASD**

	ASD		ASD
Compresión	$P_a =$ <b>0</b>	$Kg_f$	$P_c = P_n / \Omega_c$ <b>67230</b> OK...Cumple
Flexión	$M_{ax} =$ <b>1292</b>	$Kg_f \cdot m$	$M_{cx} = M_{ux} / \Omega_b$ <b>3900</b> OK...Cumple
Flexión	$M_{ay} =$ <b>1226</b>	$Kg_f \cdot m$	$M_{cy} = M_{uy} / \Omega_b$ <b>3900</b> OK...Cumple
Corte	$V_a =$ <b>9967</b>	$Kg_f$	$V_c = V_n / \Omega_v$ <b>19425</b> OK...Cumple
Tracción	$P_a =$ <b>748</b>	$Kg_f$	$P_c = P_n / \Omega_t$ <b>70502</b> OK...Cumple
Torsión	$T_a =$ <b>1178</b>	$Kg_f \cdot m$	$T_c = T_n / \Omega_T$ <b>3224</b> OK...Cumple

⇒ **SOLICITACIONES COMBINADAS**

**1.- Miembros con simetría simple y doble solicitados a flexión y carga axial**

**1.1.- Flexión y Compresión**

	LRFD	ASD
$P_r =$	0 Kg <sub>f</sub>	0 Kg <sub>f</sub>
$M_{rx} =$	2068 Kg <sub>f</sub> - m	1292 Kg <sub>f</sub> - m
$M_{ry} =$	1960 Kg <sub>f</sub> - m	1226 Kg <sub>f</sub> - m
$P_c =$	101047 Kg <sub>f</sub>	67230 Kg <sub>f</sub>
$M_{cx} =$	5861 Kg <sub>f</sub> - m	3900 Kg <sub>f</sub> - m
$M_{cy} =$	5861 Kg <sub>f</sub> - m	3900 Kg <sub>f</sub> - m

**LRFD**

Cuando:

$$P_r / P_c = 0.00 < 0.20$$

Debe cumplir para:

$$P_r / 2P_c + [(M_{rx}/M_{cx}) + (M_{ry}/M_{cy})] \leq 1.0$$

0.69	≤	1.0	<b>OK....Cumple</b>
------	---	-----	---------------------

**ASD**

Cuando:

$$P_r / P_c = 0.00 < 0.20$$

Debe cumplir para:

$$P_r / 2P_c + [(M_{rx}/M_{cx}) + (M_{ry}/M_{cy})] \leq 1.0$$

0.65	≤	1.0	<b>OK....Cumple</b>
------	---	-----	---------------------

**1.2.- Flexión y Tracción**

	LRFD	ASD
$P_r =$	1165 Kg <sub>f</sub>	748 Kg <sub>f</sub>
$M_{rx} =$	2068 Kg <sub>f</sub> - m	1292 Kg <sub>f</sub> - m
$M_{ry} =$	1960 Kg <sub>f</sub> - m	1226 Kg <sub>f</sub> - m
$P_c =$	105754 Kg <sub>f</sub>	70502 Kg <sub>f</sub>
$M_{cx} =$	5861 Kg <sub>f</sub> - m	3900 Kg <sub>f</sub> - m
$M_{cy} =$	5861 Kg <sub>f</sub> - m	3900 Kg <sub>f</sub> - m

**LRFD**

Cuando:

$$P_r / P_c = 0.01 < 0.20$$

Debe cumplir para:

$$Pr / 2Pc + [(Mrx/Mcx) + (Mry/Mcy)] \leq 1.0$$

0.69	≤	1.0	OK....Cumple
------	---	-----	--------------

**ASD**

Cuando:

$$P_r / P_c = 0.01 < 0.20$$

Debe cumplir para:

$$Pr / 2Pc + [(Mrx/Mcx) + (Mry/Mcy)] \leq 1.0$$

0.65	≤	1.0	OK....Cumple
------	---	-----	--------------

**2.-Miembros bajo torsión y combinación de torsión, flexión, corte y/o carga axial**

	LRFD	ASD
$P_r =$	1165 Kg <sub>f</sub>	748 Kg <sub>f</sub>
$M_{rx} =$	2068 Kg <sub>f</sub> - m	1292 Kg <sub>f</sub> - m
$M_{ry} =$	1960 Kg <sub>f</sub> - m	1226 Kg <sub>f</sub> - m
$V_{rx} =$	11300 Kg <sub>f</sub>	7064 Kg <sub>f</sub>
$V_{ry} =$	11252 Kg <sub>f</sub>	7032 Kg <sub>f</sub>
$T_r =$	1885 Kg <sub>f</sub> - m	1178 Kg <sub>f</sub> - m
$P_c =$	105754 Kg <sub>f</sub>	70502 Kg <sub>f</sub>
$M_{cx} =$	5861 Kg <sub>f</sub> - m	3900 Kg <sub>f</sub> - m
$M_{cy} =$	5861 Kg <sub>f</sub> - m	3900 Kg <sub>f</sub> - m
$V_c =$	29196 Kg <sub>f</sub>	19425 Kg <sub>f</sub>
$T_c =$	4846 Kg <sub>f</sub> - m	3224 Kg <sub>f</sub> - m

$$[(P_r/P_c) + (M_{rx}/M_{cx}) + (M_{ry}/M_{cy})] + [(V_r/V_c) + (T_r/T_c)]^2 \leq 1.0$$

$$[(P_r/P_c) + (M_{rx}/M_{cx}) + (M_{ry}/M_{cy})] + [(V_{rx}/V_c) + (V_{ry}/V_c) + (T_r/T_c)]^2 \leq 1.0$$

Para Utilizar se debe cumplir  $T_r/T_c \geq 0.2$

0.39	>	0.2	Sí, Considerar Combinación
------	---	-----	----------------------------

LRFD	2.05 > 1.0	No Cumple
ASD	1.85 > 1.0	No Cumple

Figura H4, Determinación de la RD, elemento N° 49

Perfil : OC152x152x6

Nº Elemento: 49

% Tn : 25%

Material : A572 Gr. 50

$F_y = 3520 \text{ kgf/cm}^2$

Peso Especifico =  $0.0079 \text{ kg/cm}^3$

$F_u = 4590 \text{ kgf/cm}^2$

Designación	Peso Kgf/m	Dimensiones						
		D mm	B mm	$t_{nom}$ mm	$t_{dis}$ mm	h mm	r mm	$J/10^4$ mm <sup>4</sup>
OC152x152x6	26.78	152	152	6	6	128	9	1867.28

Eje X - X				Eje Y - Y				
$I_x/10^6$ mm <sup>4</sup>	$S_x/10^3$ mm <sup>3</sup>	$r_x$ mm	$Z_x/10^3$ mm <sup>3</sup>	$I_y/10^6$ mm <sup>4</sup>	$S_y/10^3$ mm <sup>3</sup>	$r_y$ mm	$Z_y/10^3$ mm <sup>3</sup>	$C/10^3$ mm <sup>3</sup>
11.95	157.24	58.4	185.01	11.95	157	58.4	185.01	254.96

Área Bruta $A_g$ mm <sup>2</sup>	Área Neta Efectiva $A_e$ mm <sup>2</sup>	Esbeltez		Material			
		Ala $\lambda = b/t_{dis}$	Alma $\lambda = h/t_{dis}$	$F_y$ MPa	E MPa	K	L mm
3411.3	3072.0	21.3	21.3	345	200000	2	152



**CLASIFICACION DE LA SECCION DE ACUERDO AL PANDEO LOCAL**

**COMPRESION Y FLEXION ALA**



$\lambda = b/t =$	21.3
$\lambda_p = 1.12 \sqrt{E/F_y} =$	27.0
$\lambda_r = 1.40 \sqrt{E/F_y} =$	33.7

$\lambda < \lambda_p$  **SECCION COMPACTA**

**FLEXION ALMA**

$\lambda = h/t =$	21.3
$\lambda_p = 2.42 \sqrt{E/F_y} =$	58.3
$\lambda_r = 5.70 \sqrt{E/F_y} =$	137.2

$\lambda < \lambda_p$  **SECCION COMPACTA**

 **CALCULO RESISTENCIA**  
 **COMPRESIÓN**

**Disposición general**

Resistencia de diseño =  $\phi_c P_n$   $\phi_c = 0.9$   
 Resistencia admisible =  $P_n / \Omega_c$   $\Omega_c = 1.67$

**Resistencia a compresión por pandeo por flexión de miembros sin elementos esbeltos**

Resistencia de Compresión Nominal

$P_n = A_g \times F_{cr}$

Tensión crítica de pandeo elástico

$F_e = (\pi^2 E) / (K^2 L / r)^2 = 72846.43 \text{ MPa}$

Tensión de pandeo por flexión

$(KL)/r =$	$5.21$	$(KL)/r \leq$	$4.71 \sqrt{E/F_y}$
$4.71 \sqrt{E/F_y} =$	$113.41$	$F_e \geq$	$0.44 F_y$
$0.44 F_y =$	$151.78$		

$F_{cr} = (0.658 F_y / F_e) F_y = 344 \text{ MPa}$   
 $35.13 \text{ Kg}_f / \text{mm}^2$

Reemplazando, la resistencia de compresión nominal:

$P_n = F_{cr} A_g = 119840 \text{ Kg}_f$   
 $119.84 \text{ Ton}$

Resistencia de diseño =  $\phi_c P_n = 107.86 \text{ Ton}$   
 Resistencia admisible =  $P_n / \Omega_c = 71.76 \text{ Ton}$

 **FLEXIÓN**

**Disposición General**

Resistencia de diseño =  $\phi_b P_n$                        $\phi_b = 0.9$   
 Resistencia admisible =  $P_n / \Omega_b$                        $\Omega_b = 1.670$

**Resistencia de flexión nominal**

Fluencia

$M_n = M_p = F_y Z = \begin{matrix} \boxed{6.4E+07} \text{ Nmm} \\ \boxed{6.51} \text{ T m} \end{matrix}$

**Pandeo Local Ala, secciones no compacta**

$M_n = M_p - (M_p - F_y S) [3.57 (b/t) \sqrt{F_y/E} - 4.0] \leq M_p$   
 $M_n = \boxed{7.33} \text{ T m}$       **NO Cumple, es > a Mp : NO CONSIDERAR**

**Pandeo Local Ala, secciones esbeltas**

$M_n = F_y S_{eff}$

Sección efectiva

$b_e = 1.92 t \sqrt{E/F_y} [1 - 0.38 / (b/t) \sqrt{E/F_y}] \leq b$   
 $b_e = \boxed{158} \text{ mm}$       **NO Cumple, es > b: NO CONSIDERAR**

Modulo de sección efectiva

$I_x = 1/6 (ta^3 + b_e t^3) + 2tb_e(a/2 + r)^2 + t/4\pi r [(\pi r)^2 (4r^2 + t^2) - 8(2r^2 + t^2/6)^2 + 2(\pi r a + 4r^2 + t^2/3)^2]$   
 $I_x = \boxed{1.4E+07} \text{ mm}^4$

$S_{eff} = I_x / (b_e/2)$                        $S_{eff} = \begin{matrix} \boxed{175441} \text{ mm}^3 \\ \boxed{175.4} \text{ cm}^3 \end{matrix}$

Reemplazando,


$M_n = \boxed{6.18} \text{ T m}$

**Pandeo Local Alma, secciones no compacta**

$M_n = M_p - (M_p - F_y S_x) [0.305 (h/t_w) \sqrt{F_y/E} - 0.738] \leq M_p$   
 $M_n = \boxed{6.97} \text{ T m}$       **NO Cumple, es > a Mp: NO CONSIDERAR**

Por lo tanto:

Resistencia de diseño = $\phi_b P_n =$	<b>5.86</b>	T m
Resistencia admisible = $P_n / \Omega_b =$	<b>3.90</b>	T m

 **CORTE**

**Disposición General**

Resistencia de diseño =  $\phi_v V_n$   $\phi_v = 0.9$   
 Resistencia admisible =  $V_n / \Omega_v$   $\Omega_v = 1.67$

**Resistencia de corte nominal**

$V_n = 0.6 F_y A_w C_v$

**Coefficiente de pandeo de placas del alma atiesadas**

$k_v = 5 + 5 / (a/h)^2 = 9.18$

**Coefficiente de corte del alma**

$h/t < 1.10 \sqrt{(k_v E / F_y)}$    $C_v = 1.0$

**Área del alma**

$A_w = 2ht = 15.36 \text{ cm}^2$

**Reemplazando, la resistencia de corte nominal:**

$V_n = 32440 \text{ Kg}_f$   
 $32.44 \text{ Ton.}$

Resistencia de diseño =  $\phi_v V_n = 29.20 \text{ Ton.}$   
 Resistencia admisible =  $V_n / \Omega_v = 19.43 \text{ Ton.}$

 **TRACCIÓN**

**Disposición General**

Resistencia de diseño =  $\phi_t P_n$   
 Resistencia admisible =  $P_n / \Omega_t$

**Para fluencia en tracción en la sección bruta**

$P_n = F_y A_g$   $\phi_t = 0.90$   $\Omega_t = 1.67$

$P_n = 120077 \text{ Kg}_f$   
 $120.08 \text{ Ton.}$

Resistencia de diseño =  $\phi_t P_n = 108.07 \text{ Ton.}$   
 Resistencia admisible =  $P_n / \Omega_t = 71.9 \text{ Ton.}$



Para fractura en tracción en la sección neta

$$P_n = F_u A_e$$

$$\phi_t = 0.75 \quad \Omega_t = 2.00$$

$$P_n = \frac{141005}{141.00} \begin{matrix} \text{Kg} \\ \text{Ton.} \end{matrix}$$

$$\text{Resistencia de diseño} = \phi_t P_n = 105.75 \text{ Ton.}$$

$$\text{Resistencia admisible} = P_n / \Omega_t = 70.5 \text{ Ton.}$$

Por lo tanto, se considera:

Resistencia de diseño = $\phi_t P_n =$	<b>105.75</b> Ton.
Resistencia admisible = $P_n / \Omega_t =$	<b>70.5</b> Ton.

## TORSIÓN

Disposición General

$$\text{Resistencia de diseño} = \phi_T T_n$$

$$\text{Resistencia admisible} = T_n / \Omega_T$$

Para fluencia torsional y pandeo torsional

$$T_n = F_{cr} C$$

$$\phi_T = 0.90 \quad \Omega_T = 1.67$$

Tensión crítica

$$h/t = 21.3$$

$$2.45 \sqrt{E/F_y} = 58.99$$

$$3.07 \sqrt{E/F_y} = 73.92$$

$$F_{cr} = 0.6F_y$$

$$F_{cr} = 206.98 \text{ MPa}$$

Reemplazando:

$$T_n = \frac{5.3E+07}{5.38} \begin{matrix} \text{Nmm} \\ \text{T-m} \end{matrix}$$

Resistencia de diseño = $\phi_T T_n =$	<b>4.85</b> T-m
Resistencia admisible = $T_n / \Omega_T =$	<b>3.22</b> T-m

**Resumen para LRFD**

	LRFD		LRFD
Compresión	$P_u =$	$Kg_f$	$P_c = \phi_c P_n$ <b>107856</b> OK...Cumple
Flexión	$M_{ux} =$ <b>1385</b>	$Kg_f \cdot m$	$M_{cx} = \phi_b P_n$ <b>5861</b> OK...Cumple
Flexión	$M_{uy} =$ <b>1399</b>	$Kg_f \cdot m$	$M_{cy} = \phi_b P_n$ <b>5861</b> OK...Cumple
Corte	$V_u =$ <b>9350</b>	$Kg_f$	$V_c = \phi_v V_n$ <b>29196</b> OK...Cumple
Tracción	$P_u =$ <b>555</b>	$Kg_f$	$P_c = \phi_t P_n$ <b>105754</b> OK...Cumple
Torsión	$T_u =$ <b>3319</b>	$Kg_f \cdot m$	$T_c = \phi_T T_n$ <b>4846</b> OK...Cumple

**Resumen para ASD**

	ASD		ASD
Compresión	$P_a =$ <b>0</b>	$Kg_f$	$P_c = P_n / \Omega_c$ <b>71760</b> OK...Cumple
Flexión	$M_{ax} =$ <b>864</b>	$Kg_f \cdot m$	$M_{cx} = M_{max} / \Omega_b$ <b>3900</b> OK...Cumple
Flexión	$M_{ay} =$ <b>875</b>	$Kg_f \cdot m$	$M_{cy} = M_{my} / \Omega_b$ <b>3900</b> OK...Cumple
Corte	$V_a =$ <b>5845</b>	$Kg_f$	$V_c = V_n / \Omega_v$ <b>19425</b> OK...Cumple
Tracción	$P_a =$ <b>407</b>	$Kg_f$	$P_c = P_n / \Omega_t$ <b>70502</b> OK...Cumple
Torsión	$T_a =$ <b>2074</b>	$Kg_f \cdot m$	$T_c = T_n / \Omega_T$ <b>3224</b> OK...Cumple

⇒ **SOLICITACIONES COMBINADAS**

**1.- Miembros con simetría simple y doble solicitados a flexión y carga axial**

**1.1.- Flexión y Compresión**

	LRFD	ASD
$P_r =$	0 Kg <sub>f</sub>	0 Kg <sub>f</sub>
$M_{rx} =$	1385 Kg <sub>f</sub> - m	864 Kg <sub>f</sub> - m
$M_{ry} =$	1399 Kg <sub>f</sub> - m	875 Kg <sub>f</sub> - m
$P_c =$	107856 Kg <sub>f</sub>	71760 Kg <sub>f</sub>
$M_{cx} =$	5861 Kg <sub>f</sub> - m	3900 Kg <sub>f</sub> - m
$M_{cy} =$	5861 Kg <sub>f</sub> - m	3900 Kg <sub>f</sub> - m

**LRFD**

Cuando:

$$P_r / P_c = 0.00 < 0.20$$

Debe cumplir para:

$$P_r / 2P_c + [(M_{rx}/M_{cx}) + (M_{ry}/M_{cy})] \leq 1.0$$

$$0.47 \leq 1.0 \quad \text{OK....Cumple}$$

**ASD**

Cuando:

$$P_r / P_c = 0.00 < 0.20$$

Debe cumplir para:

$$P_r / 2P_c + [(M_{rx}/M_{cx}) + (M_{ry}/M_{cy})] \leq 1.0$$

$$0.45 \leq 1.0 \quad \text{OK....Cumple}$$

**1.2.- Flexión y Tracción**

	LRFD	ASD
$P_r =$	555 Kg <sub>f</sub>	407 Kg <sub>f</sub>
$M_{rx} =$	1385 Kg <sub>f</sub> - m	864 Kg <sub>f</sub> - m
$M_{ry} =$	1399 Kg <sub>f</sub> - m	875 Kg <sub>f</sub> - m
$P_c =$	105754 Kg <sub>f</sub>	70502 Kg <sub>f</sub>
$M_{cx} =$	5861 Kg <sub>f</sub> - m	3900 Kg <sub>f</sub> - m
$M_{cy} =$	5861 Kg <sub>f</sub> - m	3900 Kg <sub>f</sub> - m

**LRFD**

Cuando:

$$P_r / P_c = 0.01 < 0.20$$

Debe cumplir para:

$$Pr / 2Pc + [(Mrx/Mcx) + (Mry/Mcy)] \leq 1.0$$

0.48	≤	1.0	OK....Cumple
------	---	-----	--------------

**ASD**

Cuando:

$$P_r / P_c = 0.01 < 0.20$$

Debe cumplir para:

$$Pr / 2Pc + [(Mrx/Mcx) + (Mry/Mcy)] \leq 1.0$$

0.45	≤	1.0	OK....Cumple
------	---	-----	--------------

**2.-Miembros bajo torsión y combinación de torsión, flexión, corte y/o carga axial**

	LRFD	ASD
$P_r =$	555 Kg <sub>f</sub>	407 Kg <sub>f</sub>
$M_{rx} =$	1385 Kg <sub>f</sub> - m	864 Kg <sub>f</sub> - m
$M_{ry} =$	1399 Kg <sub>f</sub> - m	875 Kg <sub>f</sub> - m
$V_{rx} =$	6693 Kg <sub>f</sub>	4181 Kg <sub>f</sub>
$V_{ry} =$	6529 Kg <sub>f</sub>	4085 Kg <sub>f</sub>
$T_r =$	3319 Kg <sub>f</sub> - m	2074 Kg <sub>f</sub> - m
$P_c =$	105754 Kg <sub>f</sub>	70502 Kg <sub>f</sub>
$M_{cx} =$	5861 Kg <sub>f</sub> - m	3900 Kg <sub>f</sub> - m
$M_{cy} =$	5861 Kg <sub>f</sub> - m	3900 Kg <sub>f</sub> - m
$V_c =$	29196 Kg <sub>f</sub>	19425 Kg <sub>f</sub>
$T_c =$	4846 Kg <sub>f</sub> - m	3224 Kg <sub>f</sub> - m

$$[(P_r/P_c) + (M_{rx}/M_{cx}) + (M_{ry}/M_{cy})] + [(V_{rx}/V_c) + (T_r/T_c)]^2 \leq 1.0$$

$$[(P_r/P_c) + (M_{rx}/M_{cx}) + (M_{ry}/M_{cy})] + [(V_{rx}/V_c) + (V_{ry}/V_c) + (T_r/T_c)]^2 \leq 1.0$$

Para Utilizar se debe cumplir  $T_r/T_c \geq 0.2$

0.68	>	0.2	Si, Considerar Combinación
------	---	-----	----------------------------

LRFD	1.77	>	1.0	No Cumple
ASD	1.59	>	1.0	No Cumple

Figura H5, Determinación de la RD, elemento N° 50

### Verificación Perfil Cuadrado

Perfil : OC152x152x6

Nº Elemento: 50

% Tn : 25%

Material : A572 Gr. 50

$F_y = 3520 \text{ kgf/cm}^2$


Peso Especifico =  $0.0079 \text{ kg/cm}^3$

$F_u = 4590 \text{ kgf/cm}^2$

Designación	Peso Kgf/m	Dimensiones						$J/10^4$ mm <sup>4</sup>
		D mm	B mm	$t_{nom}$ mm	$t_{dis}$ mm	h mm	r mm	
OC152x152x6	26.78	152	152	6	6	128	9	1867.28

Eje X - X				Eje Y - Y				$C/10^3$ mm <sup>3</sup>
$I_x/10^6$ mm <sup>4</sup>	$S_x/10^3$ mm <sup>3</sup>	$r_x$ mm	$Z_x/10^3$ mm <sup>3</sup>	$I_y/10^6$ mm <sup>4</sup>	$S_y/10^3$ mm <sup>3</sup>	$r_y$ mm	$Z_y/10^3$ mm <sup>3</sup>	
11.95	157.24	58.4	185.01	11.95	157	58.4	185.01	254.96

Área Bruta $A_g$ mm <sup>2</sup>	Área Neta Efectiva $A_e$ mm <sup>2</sup>	Esbeltez		Material			
		Ala $\lambda = b/t_{dis}$	Alma $\lambda = h/t_{dis}$	$F_y$ MPa	E MPa	K	L mm
3411.3	3072.0	21.3	21.3	345	200000	2	156

 **CLASIFICACION DE LA SECCION DE ACUERDO AL PANDEO LOCAL**

**COMPRESION Y FLEXION ALA**

$\lambda = b/t =$	21.3
$\lambda_p = 1.12 \sqrt{E/F_y} =$	27.0
$\lambda_r = 1.40 \sqrt{E/F_y} =$	33.7

$\lambda < \lambda_p$

**SECCION COMPACTA**

**FLEXION ALMA**

$\lambda = h/t =$	21.3
$\lambda_p = 2.42 \sqrt{E/F_y} =$	58.3
$\lambda_r = 5.70 \sqrt{E/F_y} =$	137.2

$\lambda < \lambda_p$

**SECCION COMPACTA**

**→ CALCULO RESISTENCIA**

**→ COMPRESIÓN**

**Disposición general**

Resistencia de diseño =  $\phi_c P_n$   $\phi_c = 0.9$   
 Resistencia admisible =  $P_n / \Omega_c$   $\Omega_c = 1.67$

**Resistencia a compresión por pandeo por flexión de miembros sin elementos esbeltos**

Resistencia de Compresión Nominal

$P_n = A_g \times F_{cr}$

Tensión crítica de pandeo elástico

$F_e = (\pi^2 E) / (K^2 L / r)^2 = 69158.61 \text{ MPa}$

Tensión de pandeo por flexión

$(KL)/r =$	5.34
$4.71 \sqrt{E/F_y} =$	113.41
$0.44 F_y =$	151.78

$(KL)/r \leq 4.71 \sqrt{E/F_y}$   
 $F_e \geq 0.44 F_y$

$F_{cr} = (0.658 F_y / F_e) F_y = 344.2 \text{ MPa}$   
 $35.13 \text{ Kg}_f/\text{mm}^2$

Reemplazando, la resistencia de compresión nominal:

$P_n = F_{cr} A_g = 119827 \text{ Kg}_f$   
 $119.83 \text{ Ton}$

Resistencia de diseño = $\phi_c P_n =$	<b>107.84 Ton</b>
Resistencia admisible = $P_n / \Omega_c =$	<b>71.75 Ton</b>

 **FLEXIÓN**

**Disposición General**

Resistencia de diseño =  $\phi_b P_n$                        $\phi_b = 0.9$   
 Resistencia admisible =  $P_n / \Omega_b$                        $\Omega_b = 1.670$

**Resistencia de flexión nominal**

Fluencia

$M_n = M_p = F_y Z = \begin{matrix} 6.4E+07 & \text{Nmm} \\ 6.51 & \text{T m} \end{matrix}$

**Pandeo Local Ala, secciones no compacta**

$M_n = M_p - (M_p - F_y S_x) [3.57 (b/t) \sqrt{F_y/E} - 4.0] \leq M_p$   
 $M_n = \begin{matrix} 7.33 & \text{T m} \end{matrix}$       **NO Cumple, es > a Mp : NO CONSIDERAR**

**Pandeo Local Ala, secciones esbeltas**

$M_n = F_y S_{eff}$

Sección efectiva

$b_e = 1.92 t \sqrt{E/F_y} [1 - 0.38 (b/t) \sqrt{E/F_y}] \leq b$   
 $b_e = \begin{matrix} 158 & \text{mm} \end{matrix}$       **NO Cumple, es > b: NO CONSIDERAR**

Modulo de sección efectiva

$I_x = 1/6 (ta^3 + b_e t^3) + 2tb_e(a/2 + r)^2 + t/4\pi r [(\pi r)^2 (4r^2 + t^2) - 8(2r^2 + t^2/6)^2 + 2(\pi r a + 4r^2 + t^2/3)^2]$   
 $I_x = \begin{matrix} 1.4E+07 & \text{mm}^4 \end{matrix}$

$S_{eff} = I_x / (b_e / 2)$                        $S_{eff} = \begin{matrix} 175441 & \text{mm}^3 \\ 175.4 & \text{cm}^3 \end{matrix}$

Reemplazando,


$M_n = \begin{matrix} 6.18 & \text{T m} \end{matrix}$

**Pandeo Local Alma, secciones no compacta**

$M_n = M_p - (M_p - F_y S_x) [0.305 (h/t_w) \sqrt{F_y/E} - 0.738] \leq M_p$   
 $M_n = \begin{matrix} 6.97 & \text{T m} \end{matrix}$       **NO Cumple, es > a Mp: NO CONSIDERAR**

Por lo tanto:

Resistencia de diseño = $\phi_b P_n =$	<b>5.86</b>	T m
Resistencia admisible = $P_n / \Omega_b =$	<b>3.90</b>	T m

 **CORTE**

**Disposición General**

Resistencia de diseño =  $\phi_v V_n$   $\phi_v = 0.9$   
 Resistencia admisible =  $V_n / \Omega_v$   $\Omega_v = 1.67$

**Resistencia de corte nominal**

$V_n = 0.6 F_y A_w C_v$

**Coefficiente de pandeo de placas del alma atiesadas**

$k_v = 5 + 5 / (a/h)^2 = 9.18$

**Coefficiente de corte del alma**

$h/t < 1.10 \sqrt{(k_v E / F_y)}$    $C_v = 1.0$


**Área del alma**

$A_w = 2ht = 15.36 \text{ cm}^2$

**Reemplazando, la resistencia de corte nominal:**

$V_n = 32440 \text{ Kg}_f$   
 $32.44 \text{ Ton.}$

Resistencia de diseño = $\phi_v V_n =$	<b>29.20 Ton.</b>
Resistencia admisible = $V_n / \Omega_v =$	<b>19.43 Ton.</b>

 **TRACCIÓN**

**Disposición General**

Resistencia de diseño =  $\phi_t P_n$   
 Resistencia admisible =  $P_n / \Omega_t$

**Para fluencia en tracción en la sección bruta**

$P_n = F_y A_g$   $\phi_t = 0.90$   $\Omega_t = 1.67$

$P_n = 120077 \text{ Kg}_f$   
 $120.08 \text{ Ton.}$

Resistencia de diseño =  $\phi_t P_n = 108.07 \text{ Ton.}$   
 Resistencia admisible =  $P_n / \Omega_t = 71.9 \text{ Ton.}$



**Para fractura en tracción en la sección neta**

$$P_n = F_u A_n \quad \phi_t = 0.75 \quad \Omega_t = 2.00$$


$$P_n = \begin{matrix} 141005 & \text{Kg}_f \\ 141.00 & \text{Ton.} \end{matrix}$$

Resistencia de diseño =  $\phi_t P_n = 105.75 \text{ Ton.}$

Resistencia admisible =  $P_n / \Omega_t = 70.5 \text{ Ton.}$

Por lo tanto, se considera:

Resistencia de diseño = $\phi_t P_n =$	<b>105.75</b> Ton.
Resistencia admisible = $P_n / \Omega_t =$	<b>70.5</b> Ton.

 **TORSIÓN**

**Disposición General**

Resistencia de diseño =  $\phi_T T_n$   
 Resistencia admisible =  $T_n / \Omega_T$

**Para fluencia torsional y pandeo torsional**

$$T_n = F_{cr} C \quad \phi_T = 0.90 \quad \Omega_T = 1.67$$

**Tensión crítica**

$h/t =$	21.3	$F_{cr} = 0.6F_y$
$2.45\sqrt{E/F_y} =$	58.99	$F_{cr} =$ <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">206.98</span> MPa
$3.07\sqrt{E/F_y} =$	73.92	

Reemplazando:

$$T_n = \begin{matrix} 5.3E+07 & \text{Nmm} \\ 5.38 & \text{T-m} \end{matrix}$$

Resistencia de diseño = $\phi_T T_n =$	<b>4.85</b> T-m
Resistencia admisible = $T_n / \Omega_T =$	<b>3.22</b> T-m

**Resumen para LRFD**

	LRFD		LRFD
Compresión	$P_u =$	$Kg_f$	$P_c = \phi_c P_n$ <b>107844</b> OK...Cumple
Flexión	$M_{ux} =$	<b>626</b> $Kg_f \cdot m$	$M_{cx} = \phi_b P_n$ <b>5861</b> OK...Cumple
Flexión	$M_{uy} =$	<b>663</b> $Kg_f \cdot m$	$M_{cy} = \phi_b P_n$ <b>5861</b> OK...Cumple
Corte	$V_u =$	<b>9350</b> $Kg_f$	$V_c = \phi_v V_n$ <b>29196</b> OK...Cumple
Tracción	$P_u =$	<b>560</b> $Kg_f$	$P_c = \phi_t P_n$ <b>105754</b> OK...Cumple
Torsión	$T_u =$	<b>3319</b> $Kg_f \cdot m$	$T_c = \phi_T T_n$ <b>4846</b> OK...Cumple

**Resumen para ASD**

	ASD		ASD
Compresión	$P_a =$	<b>0</b> $Kg_f$	$P_c = P_n / \Omega_c$ <b>71753</b> OK...Cumple
Flexión	$M_{ax} =$	<b>394</b> $Kg_f \cdot m$	$M_{cx} = M_{ux} / \Omega_b$ <b>3900</b> OK...Cumple
Flexión	$M_{ay} =$	<b>413</b> $Kg_f \cdot m$	$M_{cy} = M_{uy} / \Omega_b$ <b>3900</b> OK...Cumple
Corte	$V_a =$	<b>5845</b> $Kg_f$	$V_c = V_n / \Omega_v$ <b>19425</b> OK...Cumple
Tracción	$P_a =$	<b>411</b> $Kg_f$	$P_c = P_n / \Omega_t$ <b>70502</b> OK...Cumple
Torsión	$T_a =$	<b>2074</b> $Kg_f \cdot m$	$T_c = T_n / \Omega_T$ <b>3224</b> OK...Cumple

➔ **SOLICITACIONES COMBINADAS**

**1.- Miembros con simetría simple y doble solicitados a flexión y carga axial**

**1.1.- Flexión y Compresión**

	LRFD	ASD
$P_r =$	0 Kg <sub>f</sub>	0 Kg <sub>f</sub>
$M_{rx} =$	626 Kg <sub>f</sub> - m	394 Kg <sub>f</sub> - m
$M_{ry} =$	663 Kg <sub>f</sub> - m	413 Kg <sub>f</sub> - m
$P_c =$	107844 Kg <sub>f</sub>	71753 Kg <sub>f</sub>
$M_{cx} =$	5861 Kg <sub>f</sub> - m	3900 Kg <sub>f</sub> - m
$M_{cy} =$	5861 Kg <sub>f</sub> - m	3900 Kg <sub>f</sub> - m

**LRFD**

Cuando:

$$P_r / P_c = 0.00 < 0.20$$

Debe cumplir para:

$$P_r / 2P_c + [(M_{rx}/M_{cx}) + (M_{ry}/M_{cy})] \leq 1.0$$

0.22	≤	1.0	OK....Cumple
------	---	-----	--------------

**ASD**

Cuando:

$$P_r / P_c = 0.00 < 0.20$$

Debe cumplir para:

$$P_r / 2P_c + [(M_{rx}/M_{cx}) + (M_{ry}/M_{cy})] \leq 1.0$$

0.21	≤	1.0	OK....Cumple
------	---	-----	--------------

**1.2.- Flexión y Tracción**

	LRFD	ASD
$P_r =$	560 Kg <sub>f</sub>	411 Kg <sub>f</sub>
$M_{rx} =$	626 Kg <sub>f</sub> - m	394 Kg <sub>f</sub> - m
$M_{ry} =$	663 Kg <sub>f</sub> - m	413 Kg <sub>f</sub> - m
$P_c =$	105754 Kg <sub>f</sub>	70502 Kg <sub>f</sub>
$M_{cx} =$	5861 Kg <sub>f</sub> - m	3900 Kg <sub>f</sub> - m
$M_{cy} =$	5861 Kg <sub>f</sub> - m	3900 Kg <sub>f</sub> - m

**LRFD**

Cuando:

$$P_r / P_c = 0.01 < 0.20$$

Debe cumplir para:

$$P_r / 2P_c + [(M_{rx}/M_{cx}) + (M_{ry}/M_{cy})] \leq 1.0$$

0.22	≤	1.0	OK....Cumple
------	---	-----	--------------

**ASD**

Cuando:

$$P_r / P_c = 0.01 < 0.20$$

Debe cumplir para:

$$P_r / 2P_c + [(M_{rx}/M_{cx}) + (M_{ry}/M_{cy})] \leq 1.0$$

0.21	≤	1.0	OK....Cumple
------	---	-----	--------------

**2.-Miembros bajo torsión y combinación de torsión, flexión, corte y/o carga axial**

	LRFD	ASD
$P_r =$	560 Kg <sub>f</sub>	411 Kg <sub>f</sub>
$M_{rx} =$	626 Kg <sub>f</sub> - m	394 Kg <sub>f</sub> - m
$M_{ry} =$	663 Kg <sub>f</sub> - m	413 Kg <sub>f</sub> - m
$V_{rx} =$	6693 Kg <sub>f</sub>	4181 Kg <sub>f</sub>
$V_{ry} =$	6529 Kg <sub>f</sub>	4085 Kg <sub>f</sub>
$T_r =$	3319 Kg <sub>f</sub> - m	2074 Kg <sub>f</sub> - m
$P_c =$	105754 Kg <sub>f</sub>	70502 Kg <sub>f</sub>
$M_{cx} =$	5861 Kg <sub>f</sub> - m	3900 Kg <sub>f</sub> - m
$M_{cy} =$	5861 Kg <sub>f</sub> - m	3900 Kg <sub>f</sub> - m
$V_c =$	29196 Kg <sub>f</sub>	19425 Kg <sub>f</sub>
$T_c =$	4846 Kg <sub>f</sub> - m	3224 Kg <sub>f</sub> - m

$$[(P_r/P_c) + (M_{rx}/M_{cx}) + (M_{ry}/M_{cy})] + [(V_{rx}/V_c) + (T_r/T_c)]^2 \leq 1.0$$

$$[(P_r/P_c) + (M_{rx}/M_{cx}) + (M_{ry}/M_{cy})] + [(V_{ry}/V_c) + (V_{ry}/V_c) + (T_r/T_c)]^2 \leq 1.0$$

Para Utilizar se debe cumplir  $T_r/T_c \geq 0.2$

0.68	>	0.2	Sí, Considerar Combinación
------	---	-----	----------------------------

LRFD	1.52	>	1.0	No Cumple
ASD	1.36	>	1.0	No Cumple

Figura H6, Determinación de la RD, elemento N° 109

Perfil : OC127x127x6  
 N° Elemento: 109  
 % Tn : 25%

Material : A572 Gr. 50  
 $F_y = 3520 \text{ kg/cm}^2$   
 $F_u = 4590 \text{ kg/cm}^2$   
 Peso Especifico =  $0.0079 \text{ kg/cm}^3$

Designación	Peso Kgf/m	Dimensiones						
		D mm	B mm	$t_{nom}$ mm	$t_{dis}$ mm	h mm	r mm	$J/10^4$ $mm^4$
OC127x127x6	22.07	127	127	6	6	103	9	1062.94

Eje X - X				Eje Y - Y				$C/10^3$ $mm^3$
$I_x/10^6$ $mm^4$	$S_x/10^3$ $mm^3$	$r_x$ mm	$Z_x/10^3$ $mm^3$	$I_y/10^6$ $mm^4$	$S_y/10^3$ $mm^3$	$r_y$ mm	$Z_y/10^3$ $mm^3$	
6.74	106.19	48.4	126.09	6.74	106	48.4	126.09	174.86

Área Bruta $A_g$ $mm^2$	Área Neta Efectiva $A_e$ $mm^2$	Esbeltez		Material			
		Ala $\lambda = b/t_{dis}$	Alma $\lambda = h/t_{dis}$	$F_y$ MPa	E MPa	K	L mm
2811.3	2472.0	17.2	17.2	345	200000	2	774



**CLASIFICACION DE LA SECCION DE ACUERDO AL PANDEO LOCAL**

**COMPRESION Y FLEXION ALA**



$\lambda = b/t =$	17.2
$\lambda_p = 1.12 \sqrt{E/F_y} =$	27.0
$\lambda_r = 1.40 \sqrt{E/F_y} =$	33.7

$\lambda < \lambda_p$  **SECCION COMPACTA**

**FLEXION ALMA**

$\lambda = h/t =$	17.2
$\lambda_p = 2.42 \sqrt{E/F_y} =$	58.3
$\lambda_r = 5.70 \sqrt{E/F_y} =$	137.2

$\lambda < \lambda_p$  **SECCION COMPACTA**

 **CÁLCULO RESISTENCIA**  
 **COMPRESIÓN**

**Disposición general**

Resistencia de diseño =  $\Phi_c P_n$   $\Phi_c = 0.9$   
 Resistencia admisible =  $P_n / \Omega_c$   $\Omega_c = 1.67$

**Resistencia a compresión por pandeo por flexión de miembros sin elementos esbeltos**

Resistencia de Compresión Nominal

$P_n = A_g \times F_{cr}$

Tensión crítica de pandeo elástico  
 $F_e = (\pi^2 E) / (K^* L / r)^2 = 1929.65 \text{ MPa}$

Tensión de pandeo por flexión

$(KL)/r = 31.98$	$(KL)/r \leq 4.71 \sqrt{E/F_y}$
$4.71 \sqrt{E/F_y} = 113.41$	$F_e \geq 0.44 F_y$
$0.44 F_y = 151.78$	

$F_{cr} = (0.658 F_y / F_e) F_y = 320.1 \text{ MPa}$   
 $32.66 \text{ Kg}_f / \text{mm}^2$

Reemplazando, la resistencia de compresión nominal:

$P_n = F_{cr} A_g = 91823.4 \text{ Kg}_f$   
 $91.82 \text{ Ton}$

Resistencia de diseño = $\Phi_c P_n = 82.64 \text{ Ton}$
Resistencia admisible = $P_n / \Omega_c = 54.98 \text{ Ton}$

 **FLEXIÓN**

**Disposición General**

Resistencia de diseño =  $\Phi_b P_n$                        $\Phi_b = 0.9$   
 Resistencia admisible =  $P_n/\Omega_b$                        $\Omega_b = 1.670$

**Resistencia de flexión nominal**

Fluencia

$M_n = M_p = F_y Z = \begin{matrix} 4.3E+07 & \text{Nmm} \\ 4.44 & \text{T m} \end{matrix}$

**Pandeo Local Ala, secciones no compacta**

$M_n = M_p - (M_p - F_y S) [3.57 (b/t) \sqrt{F_y/E} - 4.0] \leq M_p$   
 $M_n = \begin{matrix} 5.46 & \text{T m} \end{matrix}$       **NO Cumple, es > a Mp : NO CONSIDERAR**

**Pandeo Local Ala, secciones esbeltas**

$M_n = F_y S_{eff}$

Sección efectiva

$b_e = 1.92 t \sqrt{E/F_y} [1 - (0.38/(b/t) \sqrt{E/F_y})] \leq b$   
 $b_e = \begin{matrix} 130 & \text{mm} \end{matrix}$       **NO Cumple, es > b: NO CONSIDERAR**

Modulo de sección efectiva

$I_x = 1/6 (ta^3 + b_e t^3) + 2tb_e(a/2 + r)^2 + t/4\pi r [(\pi r)^2 (4r^2 + t^2) - 8(2r^2 + t^2/6)^2 + 2(\pi r a + 4r^2 + t^2/3)^2]$   
 $I_x = \begin{matrix} 7909912 & \text{mm}^4 \end{matrix}$

$S_{eff} = I_x / (b_e/2)$                        $S_{eff} = \begin{matrix} 122125 & \text{mm}^3 \\ 122.1 & \text{cm}^3 \end{matrix}$

Reemplazando,


$M_n = \begin{matrix} 4.30 & \text{T m} \end{matrix}$

**Pandeo Local Alma, secciones no compacta**

$M_n = M_p - (M_p - F_y S_x) [0.305 (h/t_w) \sqrt{F_y/E} - 0.738] \leq M_p$   
 $M_n = \begin{matrix} 4.80 & \text{T m} \end{matrix}$       **NO Cumple, es > a Mp: NO CONSIDERAR**

Por lo tanto:

Resistencia de diseño = $\Phi_b P_n =$	<b>3.99</b>	T m
Resistencia admisible = $P_n/\Omega_b =$	<b>2.66</b>	T m

 **CORTE**

**Disposición General**

Resistencia de diseño =  $\Phi_v V_n$   $\Phi_v = 0.9$   
 Resistencia admisible =  $V_n / \Omega_v$   $\Omega_v = 1.67$

**Resistencia de corte nominal**

$V_n = 0.6 F_y A_w C_v$

**Coficiente de pandeo de placas del alma atiesadas**

$k_v = 5 + 5 / (a/h)^2 = 9.01$

**Coficiente de corte del alma**

$h/t < 1.10 \sqrt{(k_v E / F_y)}$    $C_v = 1.0$


**Área del alma**

$A_w = 2ht = 12.36 \text{ cm}^2$

**Reemplazando, la resistencia de corte nominal:**

$V_n = 26104 \text{ Kg}_f$   
 $26.10 \text{ Ton.}$

Resistencia de diseño = $\Phi_v V_n =$	<b>23.49 Ton.</b>
Resistencia admisible = $V_n / \Omega_v =$	<b>15.63 Ton.</b>

 **TRACCIÓN**

**Disposición General**

Resistencia de diseño =  $\Phi_t P_n$   
 Resistencia admisible =  $P_n / \Omega_t$

**Para fluencia en tracción en la sección bruta**

$P_n = F_y A_g$   $\Phi_t = 0.90$   $\Omega_t = 1.67$

$P_n = 98957 \text{ Kg}_f$   
 $98.96 \text{ Ton.}$

Resistencia de diseño =  $\Phi_t P_n = 89.06 \text{ Ton.}$   
 Resistencia admisible =  $P_n / \Omega_t = 59.26 \text{ Ton.}$



**Para fractura en tracción en la sección neta**

$$P_n = F_u A_n \quad \phi_t = 0.75 \quad \Omega_t = 2.00$$


$$P_n = \begin{matrix} 113465 \text{ Kg}_f \\ 113.46 \text{ Ton.} \end{matrix}$$

Resistencia de diseño =  $\phi_t P_n = 85.1 \text{ Ton.}$

Resistencia admisible =  $P_n / \Omega_t = 56.73 \text{ Ton.}$

Por lo tanto, se considera:

Resistencia de diseño = $\phi_t P_n =$	<b>85.1</b> Ton.
Resistencia admisible = $P_n / \Omega_t =$	<b>56.73</b> Ton.

 **TORSIÓN**

**Disposición General**

Resistencia de diseño =  $\phi_T T_n$

Resistencia admisible =  $T_n / \Omega_T$

**Para fluencia torsional y pandeo torsional**

$$T_n = F_{cr} C \quad \phi_T = 0.90 \quad \Omega_T = 1.67$$

**Tensión crítica**

$h/t =$	17.2
$2.45 \cdot \sqrt{E/F_y} =$	58.99
$3.07 \cdot \sqrt{E/F_y} =$	73.92

$$F_{cr} = 0.6F_y$$

$$F_{cr} = 206.98 \text{ MPa}$$

Reemplazando:

$$T_n = \begin{matrix} 3.6E+07 \text{ Nmm} \\ 3.69 \text{ T-m} \end{matrix}$$

Resistencia de diseño = $\phi_T T_n =$	<b>3.32</b> T-m
Resistencia admisible = $T_n / \Omega_T =$	<b>2.21</b> T-m

**Resumen para LRFD**

	LRFD		LRFD		
Compresión	$P_u =$	$Kg_f$	<	$P_c = \phi_c P_n$	<b>82641</b> OK...Cumple
Flexión	$M_{ux} =$	<b>189</b> $Kg_f \cdot m$	<	$M_{cx} = \phi_b P_n$	<b>3995</b> OK...Cumple
Flexión	$M_{uy} =$	<b>5274</b> $Kg_f \cdot m$	>	$M_{cy} = \phi_b P_n$	<b>3995</b> No Cumple
Corte	$V_u =$	<b>8388</b> $Kg_f$	<	$V_c = \phi_v V_n$	<b>23494</b> OK...Cumple
Tracción	$P_u =$	<b>250</b> $Kg_f$	<	$P_c = \phi_t P_n$	<b>85099</b> OK...Cumple
Torsión	$T_u =$	<b>321</b> $Kg_f \cdot m$	<	$T_c = \phi_T T_n$	<b>3324</b> OK...Cumple

**Resumen para ASD**

	ASD		ASD		
Compresión	$P_a =$	<b>0</b> $Kg_f$	<	$P_c = P_n / \Omega_c$	<b>54984</b> OK...Cumple
Flexión	$M_{ax} =$	<b>117</b> $Kg_f \cdot m$	<	$M_{cx} = M_{nx} / \Omega_b$	<b>2658</b> OK...Cumple
Flexión	$M_{ay} =$	<b>3296</b> $Kg_f \cdot m$	>	$M_{cy} = M_{ny} / \Omega_b$	<b>2658</b> No Cumple
Corte	$V_a =$	<b>5242</b> $Kg_f$	<	$V_c = V_n / \Omega_v$	<b>15631</b> OK...Cumple
Tracción	$P_a =$	<b>157</b> $Kg_f$	<	$P_c = P_n / \Omega_t$	<b>56732</b> OK...Cumple
Torsión	$T_a =$	<b>200</b> $Kg_f \cdot m$	<	$T_c = T_n / \Omega_T$	<b>2211</b> OK...Cumple

➔ **SOLICITACIONES COMBINADAS**

**1.- Miembros con simetría simple y doble solicitados a flexión y carga axial**

**1.1.- Flexión y Compresión**

	LRFD	ASD
$P_r =$	0 Kg <sub>f</sub>	0 Kg <sub>f</sub>
$M_{rx} =$	189 Kg <sub>f</sub> - m	117 Kg <sub>f</sub> - m
$M_{ry} =$	5274 Kg <sub>f</sub> - m	3296 Kg <sub>f</sub> - m
$P_c =$	82641 Kg <sub>f</sub>	54984 Kg <sub>f</sub>
$M_{cx} =$	3995 Kg <sub>f</sub> - m	2658 Kg <sub>f</sub> - m
$M_{cy} =$	3995 Kg <sub>f</sub> - m	2658 Kg <sub>f</sub> - m

**LRFD**

Cuando:

$$P_r / P_c = 0.00 < 0.20$$

Debe cumplir para:

$$P_r / 2P_c + [(M_{rx}/M_{cx}) + (M_{ry}/M_{cy})] \leq 1.0$$

1.37 > 1.0	<b>No Cumple</b>
------------	------------------

**ASD**

Cuando:

$$P_r / P_c = 0.00 < 0.20$$

Debe cumplir para:

$$P_r / 2P_c + [(M_{rx}/M_{cx}) + (M_{ry}/M_{cy})] \leq 1.0$$

1.28 > 1.0	<b>No Cumple</b>
------------	------------------

**1.2.- Flexión y Tracción**

	LRFD	ASD
$P_r =$	250 Kg <sub>f</sub>	157 Kg <sub>f</sub>
$M_{rx} =$	189 Kg <sub>f</sub> - m	117 Kg <sub>f</sub> - m
$M_{ry} =$	5274 Kg <sub>f</sub> - m	3296 Kg <sub>f</sub> - m
$P_c =$	85099 Kg <sub>f</sub>	56732 Kg <sub>f</sub>
$M_{cx} =$	3995 Kg <sub>f</sub> - m	2658 Kg <sub>f</sub> - m
$M_{cy} =$	3995 Kg <sub>f</sub> - m	2658 Kg <sub>f</sub> - m

**LRFD**

Cuando:

$$P_r / P_c = 0.00 < 0.20$$

Debe cumplir para:

$$P_r / 2P_c + [(M_{rx}/M_{cx}) + (M_{ry}/M_{cy})] \leq 1.0$$

1.37 > 1.0	No Cumple
------------	-----------

**ASD**

Cuando:

$$P_r / P_c = 0.00 < 0.20$$

Debe cumplir para:

$$P_r / 2P_c + [(M_{rx}/M_{cx}) + (M_{ry}/M_{cy})] \leq 1.0$$

1.29 > 1.0	No Cumple
------------	-----------

**2.-Miembros bajo torsión y combinación de torsión, flexión, corte y/o carga axial**

	LRFD	ASD
$P_r =$	250 Kg <sub>f</sub>	157 Kg
$M_{rx} =$	189 Kg <sub>f</sub> - m	117 Kg - m
$M_{ry} =$	5274 Kg <sub>f</sub> - m	3296 Kg - m
$V_r =$	8388 Kg <sub>f</sub> - m	5242 Kg - m
$T_r =$	321 Kg <sub>f</sub>	200 Kg
$P_c =$	85099 Kg <sub>f</sub>	56732 Kg
$M_{cx} =$	3995 Kg <sub>f</sub> - m	2658 Kg - m
$M_{cy} =$	3995 Kg <sub>f</sub> - m	2658 Kg <sub>f</sub> - m
$V_c =$	23494 Kg <sub>f</sub>	15631 Kg
$T_c =$	3324 Kg <sub>f</sub> - m	2211 Kg - m

$$[(P_r/P_c) + (M_{rx}/M_{cx}) + (M_{ry}/M_{cy})] + [(V_r/V_c) + (T_r/T_c)]^2 \leq 1.0$$

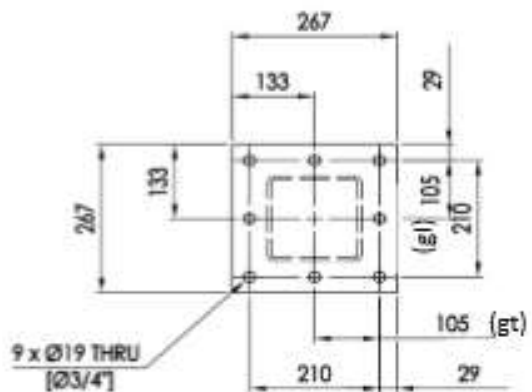
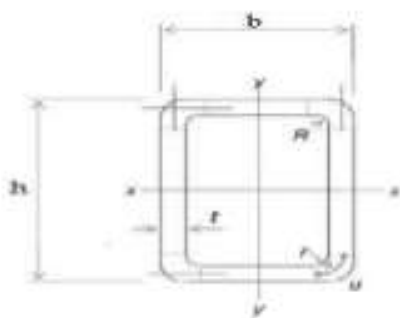
Para Utilizar se debe cumplir

$$T_r/T_c \geq 0.2$$

0.10 ≤ 0.2	No, Considerar Combinación
------------	----------------------------

LRFD	0.00 ≤ 1.0	OK....Cumple
ASD	0.00 ≤ 1.0	OK....Cumple

ANEXO I, Cálculo conexión apernada.



Criterio diseño = 25%

	LRFD	ASD	
$P_t =$	555	407	Kg
$V_x =$	6693	4181	Kg
$V_y =$	6529	4085	Kg
$M_y =$	139877	87480	Kg cm
$M_x =$	138465	86373	Kg cm
$M_z =$	331883	207425	Kg cm

DATOS			
$d = 5/8$	$Ab = 1.98$	$cm^2$	
$At = 8$	$gl = 10.5$	$cm$	
$m = 3$	$gt = 10.5$	$cm$	
$n = 3$	$Fnt = 6320$	$kg/cm^2$	
$c = 3$	$Fnw = 3360$	$kg/cm^2$	
$g = 3$	$\phi = 0.75$	$\Omega = 2.00$	

Donde:

- $At$  = Numero de pernos total
- $m$  = Numero de pernos en una línea horizontal
- $n$  = Numero de pernos en una línea vertical

- $c$  = Numero de línea vertical
- $g$  = Numero de línea horizontal

1.- Fuerzas Cortante Actuantes Sobre el Perno.

$$R_x = (V_x / At) + (M_{zz} / I_p) * Y_{max}$$

$$R_y = (V_y / At) + (M_{zz} / I_p) * X_{max}$$

$$R_a = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$$

$$fv = R_a / Ab$$

Donde:

$$I_x = \frac{[n * gl^2 * (n^2 - 1)] * c}{12}$$

$$I_x = 661.5 \text{ cm}^4$$

$$I_z = \frac{[m * gt^2 * (m^2 - 1)] * g}{12}$$

$$I_z = 661.5 \text{ cm}^4$$

$$I_p = I_x + I_z$$

$$I_p = 1323 \text{ cm}^4$$

$$X_{max} = 1/2 (n - 1) gl$$

$$X_{max} = 10.5 \text{ cm}$$

$$Y_{max} = 1/2 (m - 1) gt$$

$$Y_{max} = 10.5 \text{ cm}$$

Reemplazando:

LRFD	
R <sub>x</sub> =	3471 kg
R <sub>y</sub> =	3014 kg
R <sub>a</sub> =	4597 kg
f <sub>v</sub> =	2322 kg / cm <sup>2</sup>

ASD	
R <sub>x</sub> =	2169 kg
R <sub>y</sub> =	1885 kg
R <sub>a</sub> =	2874 kg
f <sub>v</sub> =	1451 kg / cm <sup>2</sup>

2.- Fuerzas Traccionantes Actuantes Sobre el Perno.

$$FT = FF + FM$$



$$FF = P_t / A_t$$

$$FM = FM_1 + FM_2$$



$$f_t = FT / A_b$$

$$F_{M1} = [(M_y * g_t) / l_x] * A_b$$

$$F_{M2} = [(M_x * g_l) / l_x] * A_b$$

Reemplazando:

LRFD	
FF =	69 Kg
F <sub>M1</sub> =	4396 Kg
F <sub>M2</sub> =	4352 Kg
FM =	8748 Kg
FT =	8817 Kg
f <sub>t</sub> =	4453 kg / cm <sup>2</sup>

ASD	
FF =	51 Kg
F <sub>M1</sub> =	2749 Kg
F <sub>M2</sub> =	2715 Kg
FM =	5464 Kg
FT =	5515 Kg
f <sub>t</sub> =	2785 kg / cm <sup>2</sup>

Combinación de Tracción y Corte en Conexión Tipo Aplastamiento

Para LRFD

$$F'_{nt} = 1,3 F_{nt} - (F_{nt} / \phi F_{nv}) f_v \leq F_{nt}$$

$$F'_{nt} = 2393.55 \text{ kg / cm}^2 < F_{nt} \quad \text{ok}$$

$$R_n = F'_{nt} * A_b = 4739 \text{ Kg}$$

$$\phi R_n \geq FT$$

$$3554.415 < 8817 \quad \text{No...Cumple}$$

$$(F_t / \phi F_{nt})^2 + (F_v / \phi F_{nv})^2 \leq 1$$

$$1.73 > 1 \quad \text{No...Cumple}$$

**ANEXO J**, Informe laboratorio ensayo tracción a un perno.

Santiago, 05 de Febrero de 2015



**ESTUDIO DE FALLA PERNO  
ASTM A325.**

**Solicitado por**

**Dr. Ing. Rodolfo Mannheim C.**

UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA METALÚRGICA  
Avda. Libertador Bernardo O'Higgins 3363  
Estación Central - Santiago - Chile - Teléfono 71832 08 - 7183202  
Web: [www.smyc.cl](http://www.smyc.cl) E-mail: [rodolfo.mannheim@usach.cl](mailto:rodolfo.mannheim@usach.cl)



Santiago, 05 de Febrero de 2015



## A. INTRODUCCION.

Informe: 7609.

Solicitante:

Material recibido:

Se recibió una muestra de perno de acero ASTM A325 de dimensiones  $5/8 \times 11 \times 2 \frac{1}{2}$ , el cual presenta deformación longitudinal. La muestra recibida corresponde a:

- Perno ASTM A325 deformado,  $5/8 \times 11 \times 2 \frac{1}{2}$ .

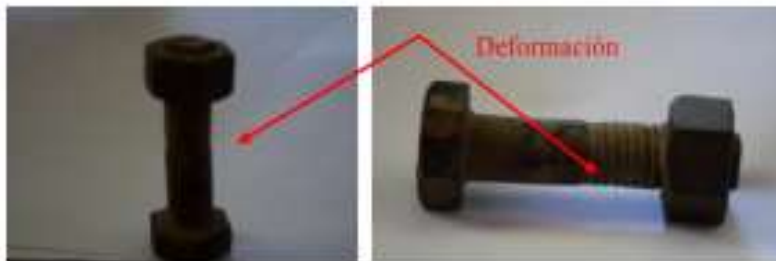


Figura 1 Perno recibido.

Para realizar estudio de fallas se realizarán las siguientes pruebas metalúrgicas:

- ✓ Análisis Químico mediante Espectrometría de Emisión Óptica según norma ASTM E415,
- ✓ Estudio Metalográfico según norma ASTM E3,
- ✓ Ensayo de tracción según norma ASTM E8 y A370 y
- ✓ Medición de dureza Rockwell según norma ASTM E18.

## OBJETIVOS.

- Caracterizar material de perno de sujeción.
- Determinar causas de fallas en pernos de sujeción.

UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA METALÚRGICA  
Avda. Libertador Bernardo O'Higgins 3363  
Estación Central - Santiago - Chile - Teléfono 71832 08 - 7183202  
Web: [www.smym.cl](http://www.smym.cl) E-mail: [rodolfo.mannheim@usach.cl](mailto:rodolfo.mannheim@usach.cl)





Santiago, 05 de Febrero de 2015



## B. ANALISIS QUÍMICO.

El ensayo es realizado en Espectrómetro de Emisión Óptica, donde se prepara una superficie plana mediante corte y desbaste grueso en esmeril (SiC), la muestra es analizada en tres puntos y se informa el promedio de los tres análisis.

En la tabla 1 se entrega el promedio del análisis químico.

Tabla 1 Análisis químico, promedio de tres análisis, % peso.

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Al	Co	Cu
0,362	0,202	0,685	0,0145	0,0131	0,0340	0,0125	0,0182	,00566	,00774	0,0259

Nb	Ti	V	W	Pb	Sn	Ce	B	Fe
<,005	,00345	<,005	<0,01	<,005	<,005	<,005	,00038	98,60

Tabla 2 Requerimiento químicos ASTM A325 tipo 1, % peso.

C	Si	Mn	P	S
0,3-0,52	0,15-0,3	0,6 min	0,04 máx.	0,04 máx.

- Acero cumple especificación ASTM A325 tipo 1.



Santiago, 05 de Febrero de 2015

### C. ESTUDIO MICROESTRUCTURAL.

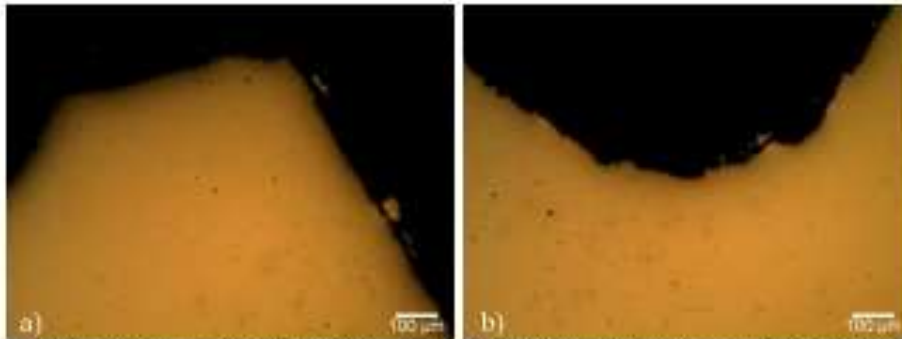


Figura 2 Metalografía sin ataque, corte longitudinal, a) cresta rosca, b) valle rosca, 100x.

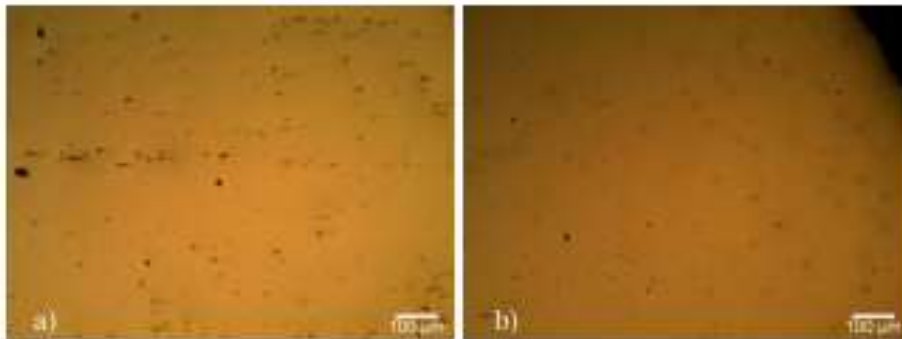


Figura 3 Metalografía sin ataque, corte longitudinal, a) centro, b) centro zona rosca, 100x.



Santiago, 05 de Febrero de 2015

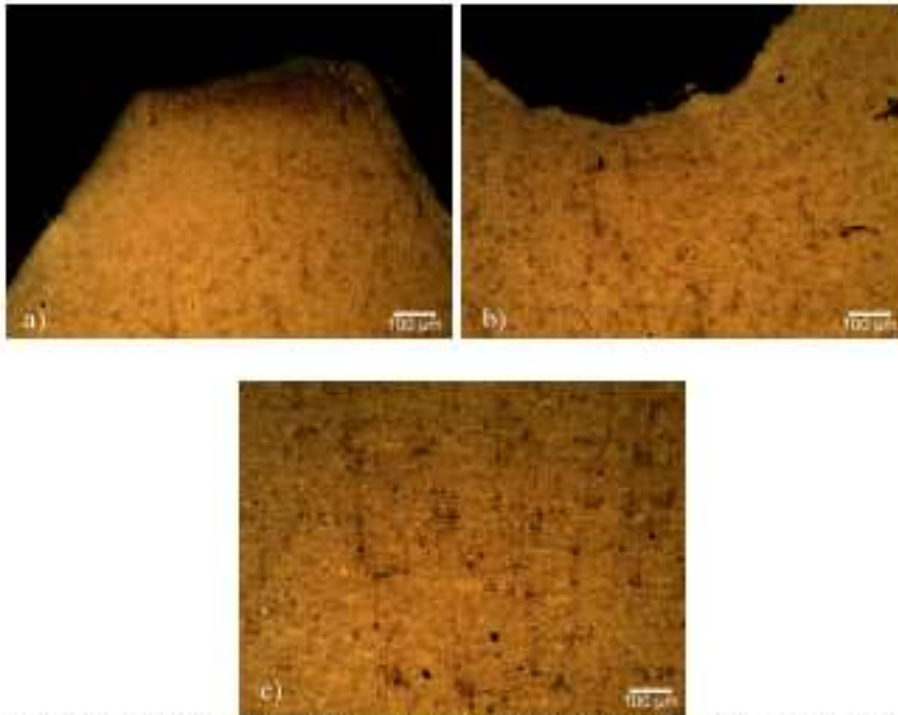


Figura 4 Metalografía con ataque, corte longitudinal, a) cresta rosca, b) valle rosca y c) centro, 100x.



Santiago, 05 de Febrero de 2015

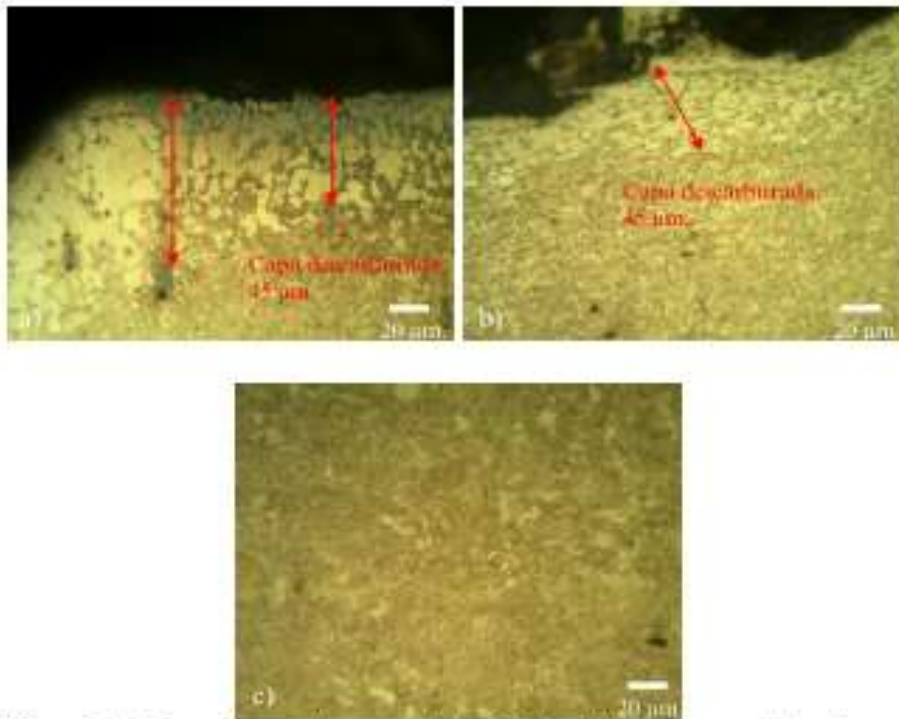


Figura 5 Metalografía con ataque, corte longitudinal, a) cresta rosca, b) valle rosca y c) centro, 500x.

En las figuras 5 se aprecia una capa descarbura de 45 µm y una microestructura compuesta principalmente de martensita revenida y mínimas cantidades de ferrita.



Santiago, 05 de Febrero de 2015

## D. ENSAYO DE TRACCION TAMAÑO COMPLETO.

Tabla 3 Propiedades Mecánicas y requerimientos ASTM A325.

Muestra	Dimensiones Pulg.	Carga máxima (lbf)	Esfuerzo máximo (psi)
Perno deformado	5/8 x 11	28.722	127.000
ASTM A325	5/8 x 11	27.100	120.000 min.

- Acero cumple especificación ASTM A325 para 5/8 x 11.



Santiago, 05 de Febrero de 2015

## E. MEDICION DE DUREZA.

Tabla 4 Dureza Rockwell, escala C.

Indentación	Valor HRC.
1	26
2	26
3	25,5
4	25
PROMEDIO	25,5
ASTM A325 5/8	25 - 34

- Acero cumple especificación ASTM A325 a 5/8".



Santiago, 05 de Febrero de 2015



## F. CONCLUSIONES.

- ✓ El perno ASTM A325 cumple composición química según tipo 1, posee 0,362% de Carbono, 0,685% de Manganeso y 0,202% de Silicio, ver tabla 1 y 2.
- ✓ En las figuras 2 y 3 se aprecia el acero del perno metalográficamente sin ataque, se aprecia un nivel de inclusiones según norma ASTM E45 de A3 6  $\mu\text{m}$  (sulfuros de manganeso) y D2 8  $\mu\text{m}$  (óxidos globulares), los cuales son niveles medios de inclusiones no metálicas.
- ✓ En las figuras 4 y 5 se aprecia la microestructura con ataque del perno, en donde se aprecia una microestructura de martensita revenida, la cual posee una concentración mínima de ferrita, debido principalmente a un sobrevenido. También podemos apreciar una capa descarburada de 45  $\mu\text{m}$  de espesor.
- ✓ En la tabla 3 se aprecia las propiedades mecánicas resultantes del ensayo de tracción a tamaño completo realizado al perno defectuoso, resultados que cumplen especificación ASTM A325 para 5/8". Además en tabla 4 se aprecia que el perno cumple dureza mínima exigida según norma ASTM A325 de 25 HRC, arrojando un valor promedio de 25,5 HRC.
- ✓ El perno cumple en nivel menor las propiedades mecánicas exigidas según norma ASTM A325. Solo presenta problemas de capa descarburada, que no está asociada al defecto de deformación del perno. Todos los antecedentes descritos anteriormente nos llevan a concluir que el perno se deforma debido a factores mecánicos en montaje y/o uso de sujeción.



Santiago, 05 de Febrero de 2015

Trabajo realizado por:



  
  
*Dr. Ing. Rodolfo Mannheim C.*  
*Opto. Ing. Metalúrgica*  
*USACH*

UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA METALÚRGICA  
Avda. Libertador Bernardo O'Higgins 3363  
Estación Central - Santiago - Chile - Teléfono 71832 08 - 7183202  
Web: [www.smym.cl](http://www.smym.cl) E-mail: [rodolfo.mannheim@usach.cl](mailto:rodolfo.mannheim@usach.cl)



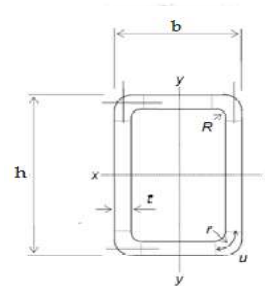


ANEXO K, Cálculo conexión soldada.

Criterio diseño	25%	
	LRFD	ASD
$P_t =$	17236	10772 Kg
$V_x =$	-669	-418 Kg
$V_y =$	-169	-111 Kg
$M_y =$	93646	58516 Kg cm
$M_x =$	26840	16722 Kg cm
$M_z =$	20775	12972 Kg cm

Soldadura FEXX

$F_{EXX} =$	4920 Kg/cm <sup>2</sup>
Filete =	5 mm
w =	3.5 mm
h =	120 mm
b =	102 mm
t =	6 mm
$\alpha =$	50
$\phi =$	0.75
$\Omega =$	2.00



$L = 2(h+b)$	$L =$	44.4 cm
$L/w = 125.6 > 100$	<b>Aplicar Factor Reducción <math>\beta</math></b>	
$\beta = 1,2 - 0,002 (L/w)$	$=$	0.949
$L_e = L \cdot \beta$	$L_e =$	42 cm
$L_e = (2(H_b - 1.2t_b)/\text{sen}\alpha) + (B_b - 1.2t_b)$	$L_e =$	38.93 cm

$I_x = b (d_y)^2 \cdot 2 + (h^3/12) \cdot 2$	$I_x =$	818.6 cm <sup>3</sup>
$I_y = h (d_x)^2 \cdot 2 + (b^3/12) \cdot 2$	$I_y =$	1041 cm <sup>3</sup>
$I_p = I_x + I_y$	$I_p =$	1859 cm <sup>3</sup>
$c = h/2 = b/2$	$c =$	6.0 cm

	$r_p$ Kg/cm	$r_{pvx}$ Kg/cm	$r_{pvy}$ Kg/cm	$r_{mx}$ Kg/cm	$r_{my}$ Kg/cm	$r_{mz}$ Kg/cm	$R_u$ Kg/cm	$R_n$ Kg/cm
LRFD	442.7	-17.2	-4.3	86.6	302.2	67.0	835.4	1044
ASD	276.7	-10.7	-2.8	54.0	188.8	41.9	521.9	1044

$R_u$			
LRFD	$\phi R_n =$	782.8	< 835.4 <b>NO Cumple!!</b>
ASD	$R_n/\Omega =$	521.8	< 521.9 <b>NO Cumple!!</b>

Fomulas

$w =$	Filete * sen 45°				
$r_p =$	$P_t / l_e$	$r_{pvx} =$	$V_x / l_e$	$r_{pvy} =$	$V_y / l_e$
$r_{mx} =$	$(M_x \cdot c) / I_e$	$r_{my} =$	$(M_y \cdot c) / I_e$	$r_{mz} =$	$(M_z \cdot c) / I_e$
$R_u =$	$\sqrt{(r_{pvx} + r_{mz})^2 + (r_{pvy} + r_{mz})^2 + (r_p + r_{mx} + r_{my})^2}$				
$R_n =$	$0,6 \cdot F_{exx} \cdot w$				

ANEXO L, Reportes.

Figura I1, Extracto “Reporte control diario área relave”, fecha 08.01.2014.

REPORTE CONTROL DIARIO ÁREA RELAVE

3 de Enero de 2015

Usar bomba Shear Thinning en caso de tener yield stress mayor a 150 Pa.

Hora	Alimentación		ESPEZAMIENTO														IMPULSIÓN										
			ESPEZADOR TH-001							ESPEZADOR TH-002							Bba Shear Thinning 001		Bba Shear Thinning 002		Flujo Geho 1	Flujo Geho 2	Flujo Geho 3				
			Cp, %	Densidad	Alt. agu a, m	Torque, %	Cp	Densidad	NTU	Concn tración	YS Labort., Pa	YS Test Slump, Pa	Alt. agu a, m	Torque, %	Cp	densidad	NTU	Concn tración	YS Labort., Pa	YS Test Slump, Pa	FIS o EIS	PIS	FIS o EIS	PIS	m³/h	m³/h	m³/h
0:30																											
1:30																											
2:30																											
3:30																											
4:30																											
5:30																											
6:30																											
7:30																											
8:30	1	1005																									
9:30	1	1005																									
10:30	1	1005																									
11:30	1	1005																									
12:30	1	1005																									
13:30	1	1005																									
14:30	0	0																									
15:30	0	0																									
16:30	1	1005																									
17:30	1	1005																									
18:30	1	1005																									
19:30	1	1005																									
20:30	1	1005																									
21:30	1	1005																									
22:30	1	1005																									
23:30	1	1005																									

Figura I2, Extracto “Reporte control diario área relave”, fecha 09.01.2014.

REPORTE CONTROL DIARIO ÁREA RELAVE

3 de Enero de 2015

Usar bomba Shear Thinning en caso de tener yield stress mayor a 150 Pa.

Hora	Alimentación		ESPEZAMIENTO											IMPULSIÓN						PLANTA FLOCULANTE 1		PLANTA FLOCULANTE 2			
			ESPEZADOR TH-001					ESPEZADOR TH-002						Bba Shear Thinning 001		Bba Shear Thinning 002		Flujo Geho 1	Flujo Geho 2	Flujo Geho 3	Caudal	Sacos usados	Concn tración	Caudal	Sacos usados
			Cp, %	Alt. agu a, m	Torque, %	Cp	YS Test Slump, Pa	Alt. agu a, m	Torque, %	Cp	NTU	YS Test Slump, Pa	FIS o EIS	PIS	FIS o EIS	PIS	m³/h	m³/h	m³/h	m³/h		g/l	m³/h	N°	
0:30	1	FIS	FIS	FIS	FIS	5.8	6	74.0	100	65.7	FIS		FIS		FIS	FIS	FIS	FIS	5.0						
1:30	1	FIS	FIS	FIS	FIS	5.6	6	73.0	143	108.1	FIS		FIS		FIS	FIS	FIS	FIS	5.0		1.10	FIS			
2:30	1	FIS	FIS	FIS	FIS	4.8	6	75.0	169	130.5	FIS		FIS		FIS	FIS	FIS	FIS	5.0			FIS			
3:30	1	FIS	FIS	FIS	FIS	5.1	6	72.3	51	101.4	FIS		FIS		FIS	FIS	FIS	FIS	5.0			FIS			
4:30	***	FIS	FIS	FIS	FIS	5.1	6	75.0	32.5	75.0	FIS		FIS		FIS	FIS	FIS	FIS	5.0			FIS			
5:30	***	FIS	FIS	FIS	FIS	4.4	5	76.0	48.2	72.3	FIS		FIS		FIS	FIS	FIS	FIS	5.0			FIS			
6:30	1	FIS	FIS	FIS	FIS	4.2	4	77.4	132	64.4	FIS		FIS		FIS	FIS	FIS	FIS	5.0			FIS			
7:30	1	FIS	FIS	FIS	FIS	4.2	4	76.7	38		FIS		FIS		FIS	FIS	FIS	FIS	5.0			FIS			
8:30	2	FIS	FIS	FIS	FIS	4.1	6	79.6	87.9	64.4	FIS		FIS		FIS	FIS	FIS	FIS	5.0			0.21	FIS		
9:30	2	FIS	FIS	FIS	FIS	3.9	7	79.6	83.7	64.4	FIS		FIS		FIS	FIS	FIS	FIS	5.0			0.3	FIS		
10:30	1	FIS	FIS	FIS	FIS	3.7	8	71.9	173	43.3	FIS		FIS		FIS	FIS	FIS	FIS	5.0			0.63	FIS		
11:30	1	FIS	FIS	FIS	FIS	3.7	8	74.5	125	64.4	FIS		FIS		FIS	190	FIS	FIS	5.0			4	FIS		
12:30	1	FIS	FIS	FIS	FIS	3.7	8	73.1	71.9	43.3	FIS		FIS		FIS	220	FIS	FIS	5.0			4	FIS		
13:30	1	FIS	FIS	FIS	FIS	3.7	9	74.5	233	52.5	FIS		FIS		FIS	220	FIS	2.5	5.0			0.25	FIS		
14:30	1	FIS	FIS	FIS	FIS	3.7	9	74.2	209	53.8	FIS		FIS		FIS	220	FIS	2.5	5.0			0.25	FIS		
15:30	1	FIS	FIS	FIS	FIS	3.8	11	73.4	55.1	80.3	FIS		FIS		FIS	220	FIS	5.0	5.0			0.2	FIS		
16:30	1	FIS	FIS	FIS	FIS	3.9	11	70.6	125.3	68.4	FIS		FIS		FIS	220	FIS	5.0	5.0			0.25	FIS		
17:30	1	FIS	FIS	FIS	FIS	4.0	12	70.4	143	69.7	FIS		FIS		FIS	220	FIS	5.0	5.0			0.34	FIS		
18:30	1	FIS	FIS	FIS	FIS	4.0	13	69.8	114	68.4	FIS		FIS		FIS	220	FIS	6.0	5.0			0.44	FIS		
19:30	1	FIS	FIS	FIS	FIS	3.9	13	69.4	96.6	61.8	FIS		FIS		FIS	220	FIS	6.0	5.0			0.44	FIS		
20:30	1	FIS	FIS	FIS	FIS	3.8	14	69.4	78.4	53.8	FIS		FIS		FIS	220	FIS	6.0	5.0			0.48	FIS		
21:30	1	FIS	FIS	FIS	FIS	3.8	14	69.8	65.5	61.8	FIS		FIS		FIS	220	FIS	6.0	5.0			0.48	FIS		
22:30	1	FIS	FIS	FIS	FIS	3.5	14	69.4	56.4	60.4	FIS		FIS		FIS	220	FIS	6.0	5.0			0.53	FIS		
23:30	1	FIS	FIS	FIS	FIS	3.3	15	69.4	46.9	61.8	FIS		FIS		FIS	220	FIS	6.0	5.0			0.53	FIS		

Figura I3, Extracto “Reporte control diario área relave”, fecha 10.01.2014.

**REPORTE CONTROL DIARIO ÁREA RELAVE**

10 de Enero de 2015

Usar bomba Shear Thinning en caso de tener yield stress mayor a 150 Pa.

Hora	Alimentación	ESPESAMIENTO										IMPULSIÓN					PLANTA FLOCULANTE 1			PLANTA FLOCULANTE 2					
		ESPESADOR TH-001					ESPESADOR TH-002					Bba Shear Thinning 001		Bba Shear Thinning 002			Flujo	Flujo	Flujo	Caudal	Sacos	Concen	Caudal	Sacos	Concen
		Cp, %	Alt. a, m	Torque, %	Cp	NTU	YS Test Slump, Pa	Alt. a, m	Torque, %	Cp	NTU	YS Test Slump, Pa	FIS o EIS	PIS	FIS o EIS	PIS	PIS	m³/h	m³/h	m³/h	m³/h	g/l	m³/h	N	g/l
0:30	1	FIS	FIS	FIS	FIS	FIS	2	16	67.0	390	512	FIS		FIS		FIS	FIS	300	FIS	6				FIS	
1:30	1	FIS	FIS	FIS	FIS	FIS	3.1	16	67.5	439	525	FIS		FIS		FIS	FIS	300	FIS	8				FIS	
2:30	1	FIS	FIS	FIS	FIS	FIS	3.1	17	67	440	466	FIS		FIS		FIS	FIS	300	FIS	9				FIS	
3:30	2		6				3.3	18		106	486	FIS		FIS		FIS	FIS	300	FIS	9				FIS	
4:30	2		4		34.7		3.4	18		281	95.2	FIS		FIS		FIS	FIS	300	FIS	9				FIS	
5:30	2		7		26.6		3.2	18		67.7	65.5	FIS		FIS		FIS	FIS	300	FIS	9				FIS	
6:30	2		7		15.6		3	18		67	49	72.0	FIS		FIS		FIS	300	FIS	9				FIS	
7:30	2		7		32.8		2.9	18		62.6	55.1	57.8	FIS		FIS		FIS	300	FIS	9				FIS	
8:30	1	6.5	7		24.3		2.6	18		69.2	72.4	64.4	FIS		FIS		FIS	300	FIS	9				FIS	
9:30	1	6.5	7		27.8		2.5	18		70.1	84.8	68.4	FIS		FIS		FIS	190	190	9				FIS	
10:30	1	6.3	8	77.4	15.6	72.0	2.5	19		70.1	47.2	72.0	FIS		FIS		FIS	190	190	9				FIS	
11:30	1	6.2	8	77.1	17	71	2.8	19		69.7	45.1	72.0	FIS		FIS		FIS	200	200	9				FIS	
12:30	1	5.9	9	77.8	17.4	98.8	3.0	20		68.0	35.7	61.8	FIS		FIS		FIS	200	200	9				FIS	
13:30	1	6.1	10	63.9	24.2	45.9	3.0	21		67.8	73.7	90.8	FIS		FIS		FIS	200	200	4.0				FIS	
14:30	1	5.9	14	68.7	21.0	47.2	3.0	21		67.8	69.0	89.5	FIS		FIS		FIS	200	200	4.0				FIS	
15:30	1	5.6	14	75.2	22.4	46.6	3.9	21		68.0	65.8	90.8	FIS		FIS		FIS	200	200	4.0				FIS	
16:30	1	5.6	14	87.4	21.0	172.8	4.0	19		67.4	49.0	78.9	FIS		FIS		FIS	200	200	4.0				FIS	
17:30	1	5.5	14	87.7	20.0	175.4	4.2	19		66.9	39.6	80.0	FIS		FIS		FIS	200	200	4.0				FIS	
18:30	1	5.3	12	78.6	23.5	64.4	4.2	16		65.7	35.2	72.0	FIS		FIS		FIS	200	200	4.0				FIS	
19:30	1	5.2	10	77.8	25.5	63.1	4.0	15		65.5	28.4	71	FIS		FIS		FIS	250	FIS	4.0				FIS	
20:30	1	5.1	10	75	26.1	56.5	4.5	14		63.0	24.6	68.7	EIS	S	FIS		FIS	230	FIS	4.0				FIS	
21:30	1	5.0	10	74.2	26.4	55.2	4.6	14		62.5	20.7	64.4	FIS		FIS		FIS	230	FIS	4.0				FIS	
22:30	1	4.6	11	75.6	25.9	60.4	4.5	14		65.4	23.6	69.7	FIS		FIS		FIS	160	FIS	4.0				FIS	
23:30	1	4.2	12	76.5	25.4	61.8	4.4	13		68.5	26.8	71	FIS		FIS		FIS	160	FIS	4.0				FIS	

Inicio Rotación Rastras "Esp.01"

Valores de Cp > 74% (Diseño)

Ys > 150Pa

No existe Re-Circulación

Detención descarga Esp.01

Figura I4, Extracto “Reporte control diario área relave”, fecha 11.01.2014.

**REPORTE CONTROL DIARIO ÁREA RELAVE**

11 de Enero de 2015

Usar bomba Shear Thinning en caso de tener yield stress mayor a 150 Pa.

Hora	Alimentación	ESPESAMIENTO										IMPULSIÓN					PLANTA FLOCULANTE 1			PLANTA FLOCULANTE 2					
		ESPESADOR TH-001					ESPESADOR TH-002					Bba Shear Thinning 001		Bba Shear Thinning 002			Flujo	Flujo	Flujo	Caudal	Sacos	Concen	Caudal	Sacos	Concen
		Cp, %	Alt. agu a, m	Torque, %	Cp	NTU	YS Test Slump, Pa	Alt. agu a, m	Torque, %	Cp	NTU	YS Test Slump, Pa	FIS o EIS	PIS	FIS o EIS	PIS	PIS	m³/h	m³/h	m³/h	m³/h	g/l	m³/h	N	g/l
0:30	1	4.2	13	75.7	45.1	67.1	4.4	12	60.9	23.8	61.8	FIS		FIS		FIS	160	FIS	4.0					0.91	
1:30	1	4.2	13	75.4	38.7	65.7	4.4	12	61.6	25.6	60.4	EIS		FIS		FIS	160	FIS	4.0					0.96	
2:30	1	4.3	14	77.0	33.8	64.4	4.5	12	72.5	20.5	60.0	EIS		FIS		FIS	90	FIS	4.0					0.86	
3:30	1	4.3	14	73.0	27.8	64.4	4.5	12	61	23.7	53.8	EIS		FIS		FIS	90	FIS	4.0					1.05	
4:30	1	4.2	15		26.7		4.6	11		16.4		EIS		FIS		FIS	FIS	FIS	4.0					1.05	
5:30	1	4.2	18	68.5	26.1	60.4	4.5	12	64.8	17.4	49.6	FIS		FIS		FIS	80	240	4.0					1.05	
6:30	1	4.2	21	67	27.9	56.5	4.5	12	68	16.7	46.9	FIS		FIS		FIS	80	240	4.0					1.05	
7:30	1	4.2	22	66	24.7	56.5	4.7	13	68	26.6	53.8	FIS		FIS		FIS	80	240	4.0					0.95	
8:30	1	4.3	22	66	19.1	56.5	4.8	13	64.5	17.8	56.5	FIS		FIS		FIS	80	240	4.0					0.95	
9:30	1	4.4	22	65.5	20.0	61.8	4.9	13	64	18.1	53.8	FIS		FIS		FIS	80	190	3.0					0.95	
10:30	1	4.6	22	66	11.4	59.1	4.9	12	67.5	9.7	75	FIS		FIS		FIS	80	190	2.0						
11:30	1	4.8	25	63.4	17.2	75	4.8	12	68.9	12.4	80.0	FIS		FIS		FIS	80	190	2.0						
12:30	1	4.6	24	68.9	12.5	72.0	4.6	12	67.5	18.9	69.7	FIS		FIS		FIS	80	211	2.0						
13:30	1	4.2	25	70.0	15.0	71	4.8	12	68.5	21.1	67.1	FIS		FIS		FIS	80	211	2.0						
14:30	1	4.4	22	65.5	8.6	61.0	4.6	12	68.5	15.5	75	FIS		FIS		FIS	80	228	2.0						2.0
15:30	1	4.1	24	65.5	12.2	60.4	4.7	12	68.5	15.5	69.7	FIS		FIS		FIS	80	228	2.0						2.0
16:30	1	4.4	22	65.5	15.2	67.4	4.7	12	68.5	22.0	68.4	EIS	S	EIS	S	FIS	80	FIS	2.0						1.05
17:30	1	4.4	19	70.8	FIS	69.7	4.8	13	70.0	26.1	72.0	EIS	S	EIS	S	FIS	160	FIS	FIS						1.05
18:30	1	4.4	19	70.8	FIS	67.1	4.9	13	70.0	18.5	73.7	EIS	S	EIS	S	FIS	160	FIS	FIS						1.05
19:30	1	4.4	18	70.6	FIS	65.7	4.9	13	70.6	12.0	72.0	EIS	S	EIS	S	FIS	160	FIS	FIS						1.01
20:30	1	4.4	17	70.0	FIS	68.4	5	13	70.6	9.04	73.7	EIS	S	EIS	S	FIS	160	FIS	FIS						1.01
21:30	1	4.6	17	70.0	45.6	65.7	4.9	15	69.9	12.6	72.0	FIS		FIS		FIS	100	100	FIS						1.01
22:30	1	4.8	16	70.0	41.0	68.4	4.7	16	69.4	13.5	72.0	FIS		FIS		FIS	100	100	FIS						1.05
23:30	1	5	16	70.8	43.7	65.7	4.5	17	68.5	15.8	73.7	FIS		FIS		FIS	100	100	FIS						1.05

Inicio descarga Esp. 01, tiempo de retención > 4 h.

**ANEXO M, Velocidad sedimentación y tiempo llenado cilindro central.**

	Alimentación	x 1 Espesador	
Alimentación Solido Mínimo	623	312	t/h
Alimentación Solido Nominal	732	366	t/h
Alimentación Solido Máximo	841	421	t/h
% Solidos pulpa alimentación	4.40%		
Gravedad especifica de Solido	3.27	t/m3	

**GRANULOMETRÍA**

Malla ASTM Nº	Abertura $\mu\text{m}$	Abertura mm	Pasante Acumulado %
4	5000	5	100%
10	2000	2	95%
40	420	0.42	83%
60	250	0.25	81%
100	150	0.15	78%
140	105	0.11	75%
200	74	0.07	71%
270	53	0.05	65%
400	38	0.04	59%
500	25	0.03	52%

$g =$	$9.81 \text{ m/s}^2$	Porcentaje Solidos (Cp)		71%	74%	80%
$\rho_s =$	$3270 \text{ kg/m}^3$	Volumen Total Cilindro Central	$\text{m}^3$	55.08	55.08	55.08
$\rho_f =$	$1000 \text{ kg/m}^3$	Volumen Liquido Cilindro Central	$\text{m}^3$	31.50	29.45	24.77
$\eta =$	$0.017 \text{ kg/(m s)}$	Volumen Solido Cilindro Central	$\text{m}^3$	23.58	25.63	30.31
$h =$	11 m					

Retenido		Sedimentación				Volumen			Caudal		
Tamaño Promedio mm	%	Velocidad Calculada m/s	Por Ensayo m/s	h	veces x h	Mínimo m3	Nominal m3	Máximo m3	Mínimo m3/h	Nominal m3/h	Máximo m3/h
3.50	5%	0.484	0.23	0.0133	1.00	5	6	6	4.76	5.60	6.43
1.21	12%	0.284	0.12	0.0255	1.00	11	13	15	11.43	13.43	15.43
0.34	2%	0.0082		0.3741	1.00	2	2	3	1.91	2.24	2.57
0.20	3%	0.0029		1.0497	0.95	3	3	4	2.86	3.36	3.86
0.13	3%	0.0012		2.5828	0.39	1	1	1	2.86	3.36	3.86
0.09	4%	0.0006		5.2417	0.19	1	1	1	3.81	4.48	5.14
0.06	6%	0.0003		10.413	0.10	1	1	1	5.72	6.72	7.72
0.05	6%	0.0002		20.281	0.05	0	0	0	5.72	6.72	7.72
0.03	7%	0.0001		42.315	0.024	0	0	0	6.67	7.83	9.00
<0.03	52%	0.00006		49.925	0.020	1.0	1	1	49.54	58.20	66.87
<b>Total</b>						<b>24.64</b>	<b>28.95</b>	<b>33.26</b>			

**Tiempo llenado (h)**

Cp	Alimentación		
	Mínimo	Nominal	Máximo
71%	0.96	0.81	0.71
74%	1.04	0.89	0.77
80%	1.23	1.05	0.91

ANEXO N, Fotos de evidencias en terreno.



ANEXO O, Calculo de las soluciones y esquemas.

Figura O1, Calculo respaldo aumento espesor a 14 mm del perfil OC152x152x6.

**Perfil :** OC152x152x12  
**Nº Elemento:** 43  
**% Tn :** 25%  
  
**Material :** A572 Gr. 50  
**F<sub>y</sub> =** 3520 kgf/cm<sup>2</sup>                      **Peso Especifico :** 0.0079 kg/cm<sup>3</sup>  
**F<sub>u</sub> =** 4590 kgf/cm<sup>2</sup>

Designación	Peso Kgf/m	Dimensiones						
		D mm	B mm	t <sub>nom</sub> mm	t <sub>dis</sub> mm	h mm	r mm	J/10 <sup>4</sup> mm <sup>4</sup>
OC152x152x12	50.16	152	152	12	12	108	16	3292.80

Eje X - X				Eje Y - Y				C/10 <sup>3</sup> mm <sup>3</sup>
I <sub>x</sub> /10 <sup>6</sup> mm <sup>4</sup>	S <sub>x</sub> /10 <sup>3</sup> mm <sup>3</sup>	r <sub>x</sub> mm	Z <sub>x</sub> /10 <sup>3</sup> mm <sup>3</sup>	I <sub>y</sub> /10 <sup>6</sup> mm <sup>4</sup>	S <sub>y</sub> /10 <sup>3</sup> mm <sup>3</sup>	r <sub>y</sub> mm	Z <sub>y</sub> /10 <sup>3</sup> mm <sup>3</sup>	
20.33	267.56	56	329.43	20.33	268	56	329.43	463.73

Area Bruta A <sub>g</sub> mm <sup>2</sup>	Area Neta Efectiva A <sub>e</sub> mm <sup>2</sup>	Esbeltez		Material			
		Ala	Alma	F <sub>y</sub> MPa	E MPa	K	L mm
		λ=b/t <sub>dis</sub>	λ=h/t <sub>dis</sub>				
12780.7	5184.0	9.0	9.0	345	200000	2	885

 **CLASIFICACION DE LA SECCION DE ACUERDO AL PANDEO LOCAL**

**COMPRESION Y FLEXION ALA**

λ = b/t =	9.0
λ <sub>p</sub> = 1.12 √(E/F <sub>y</sub> ) =	27.0
λ <sub>r</sub> = 1.40 √(E/F <sub>y</sub> ) =	33.7

λ < λ<sub>p</sub>                      **SECCION COMPACTA**

**FLEXION ALMA**

λ = h/t =	9.0
λ <sub>p</sub> = 2.42 √(E/F <sub>y</sub> ) =	58.3
λ <sub>r</sub> = 5.70 √(E/F <sub>y</sub> ) =	137.2

λ < λ<sub>p</sub>                      **SECCION COMPACTA**



 **FLEXIÓN**

**Disposición General**

Resistencia de diseño =  $\Phi_b P_n$                        $\Phi_b = 0.9$   
 Resistencia admisible =  $P_n/\Omega_b$                        $\Omega_b = 1.670$

**Resistencia de flexión nominal**

Fluencia

$M_n = M_p = F_y Z = \begin{matrix} 1.1E+08 & \text{Nmm} \\ 11.60 & \text{T m} \end{matrix}$

**Pandeo Local Ala, secciones no compacta**

$M_n = M_p - (M_p - F_y S) [3.57 (b/t) \sqrt{F_y/E} - 4.0] \leq M_p$   
 $M_n = \begin{matrix} 17.40 & \text{T m} \end{matrix}$       **NO Cumple, es > a Mp : NO CONSIDERAR**

**Pandeo Local Ala, secciones esbeltas**

$M_n = F_y S_{eff}$

Seccion efectiva

$b_e = 1.92 t \sqrt{E/F_y} [1 - (0.38/(b/t) \sqrt{E/F_y})] \leq b$   
 $b_e = \begin{matrix} -9 & \text{mm} \end{matrix}$       **Cumple, es  $\leq$  Mp**

Modulo de seccion efectiva

$I_x = 1/6 (ta^3 + b_e t^3) + 2tb_e(a/2 + r)^2 + t/4\pi r [(\pi r)^2 (4r^2 + t^2) - 8(2r^2 + t^2/6)^2 + 2(\pi r a + 4r^2 + t^2/3)^2]$   
 $I_x = \begin{matrix} 6513685 & \text{mm}^4 \end{matrix}$

$S_{eff} = I_x/(b_e/2)$                        $S_{eff} = \begin{matrix} -1E+06 & \text{mm}^3 \\ -1410.3 & \text{cm}^3 \end{matrix}$

Reemplazando,

$M_n = \begin{matrix} -49.64 & \text{T m} \end{matrix}$


**Pandeo Local Alma, secciones no compacta**

$M_n = M_p - (M_p - F_y S_x) [0.305 (h/t_w) \sqrt{F_y/E} - 0.738] \leq M_p$   
 $M_n = \begin{matrix} 12.96 & \text{T m} \end{matrix}$       **NO Cumple, es > a Mp : NO CONSIDERAR**

Por lo tanto:

Resistencia de diseño = $\Phi_b P_n =$	<b>10.44</b>	T m
Resistencia admisible = $P_n/\Omega_b =$	<b>6.94</b>	T m



 **CORTE**

**Disposición General**

Resistencia de diseño =  $\phi_v V_n$   $\phi_v = 0.9$   
 Resistencia admisible =  $V_n/\Omega_v$   $\Omega_v = 1.67$


**Resistencia de corte nominal**

$V_n = 0.6 F_y A_w C_v$

**Coefficiente de pandeo de placas del alma atizadas**

$k_v = 5 + 5 / (a/h)^2 = 8.56$

**Coefficiente de corte del alma**

$h/t < 1.10 \sqrt{(k_v E / F_y)}$    $C_v = 1.0$


**Area del alma**

$A_w = 2ht = 25.92 \text{ cm}^2$

**Reemplazando, la resistencia de corte nominal:**

$V_n = 54743 \text{ Kg}_f$   
 $54.74 \text{ Ton.}$

Resistencia de diseño =  $\phi_v V_n = 49.27 \text{ Ton.}$   
 Resistencia admisible =  $V_n/\Omega_v = 32.78 \text{ Ton.}$

 **TRACCIÓN**

**Disposición General**

Resistencia de diseño =  $\phi_t P_n$   
 Resistencia admisible =  $P_n/\Omega_t$

**Para fluencia en tracción en la sección bruta**

$P_n = F_y A_g$   $\phi_t = 0.90$   $\Omega_t = 1.67$

$P_n = 449882 \text{ Kg}_f$   
 $449.88 \text{ Ton.}$

Resistencia de diseño =  $\phi_t P_n = 404.89 \text{ Ton.}$   
 Resistencia admisible =  $P_n/\Omega_t = 269.39 \text{ Ton.}$

**Para fractura en tracción en la sección neta**

$$P_n = F_u A_e$$

$$\phi_t = 0.75 \quad \Omega_t = 2.00$$


$$P_n = \begin{matrix} 237946 \text{ Kg}_f \\ 237.95 \text{ Ton.} \end{matrix}$$

Resistencia de diseño =  $\phi_t P_n = 178.46 \text{ Ton.}$

Resistencia admisible =  $P_n / \Omega_t = 118.97 \text{ Ton.}$

Por lo tanto, se considera:

Resistencia de diseño = $\phi_t P_n =$	<b>178.46</b> Ton.
Resistencia admisible = $P_n / \Omega_t =$	<b>118.97</b> Ton.

 **TORSIÓN**

**Disposición General**

Resistencia de diseño =  $\phi_T T_n$

Resistencia admisible =  $T_n / \Omega_T$

**Para fluencia torsional y pandeo torsional**

$$T_n = F_{cr} C$$

$$\phi_T = 0.90 \quad \Omega_T = 1.67$$

**Tensión crítica**

$h/t =$	9.0
$2.45 \sqrt{E/F_y} =$	58.99
$3.07 \sqrt{E/F_y} =$	73.92

$$F_{cr} = 0.6 F_y$$

$$F_{cr} = 206.98 \text{ MPa}$$

Reemplazando:

$$T_n = \begin{matrix} 9.6E+07 \text{ Nmm} \\ 9.79 \text{ T-m} \end{matrix}$$

Resistencia de diseño = $\phi_T T_n =$	<b>8.81</b> T-m
Resistencia admisible = $T_n / \Omega_T =$	<b>5.86</b> T-m

**Resumen para LRFD**

	LRFD		LRFD
Compresión	$P_u =$	$Kg_f$	$P_c = \phi_c P_n$ <b>376362</b> OK...Cumple
Flexión	$M_{ux} =$ <b>2068</b>	$Kg_f \cdot m$	$M_{cx} = \phi_b P_n$ <b>10436</b> OK...Cumple
Flexión	$M_{uy} =$ <b>1960</b>	$Kg_f \cdot m$	$M_{cy} = \phi_b P_n$ <b>10436</b> OK...Cumple
Corte	$V_u =$ <b>15947</b>	$Kg_f$	$V_c = \phi_v V_n$ <b>49269</b> OK...Cumple
Tracción	$P_u =$ <b>1165</b>	$Kg_f$	$P_c = \phi_t P_n$ <b>178459</b> OK...Cumple
Torsión	$T_u =$ <b>1885</b>	$Kg_f \cdot m$	$T_c = \phi_T T_n$ <b>8814</b> OK...Cumple

**Resumen para ASD**

	ASD		ASD
Compresión	$P_a =$ <b>0</b>	$Kg_f$	$P_c = P_n / \Omega_c$ <b>250407</b> OK...Cumple
Flexión	$M_{ax} =$ <b>1292</b>	$Kg_f \cdot m$	$M_{cx} = M_{nx} / \Omega_b$ <b>6944</b> OK...Cumple
Flexión	$M_{ay} =$ <b>1226</b>	$Kg_f \cdot m$	$M_{cy} = M_{ny} / \Omega_b$ <b>6944</b> OK...Cumple
Corte	$V_a =$ <b>9967</b>	$Kg_f$	$V_c = V_n / \Omega_v$ <b>32780</b> OK...Cumple
Tracción	$P_a =$ <b>748</b>	$Kg_f$	$P_c = P_n / \Omega_t$ <b>118973</b> OK...Cumple
Torsión	$T_a =$ <b>1178</b>	$Kg_f \cdot m$	$T_c = T_n / \Omega_T$ <b>5865</b> OK...Cumple

⇒ **SOLICITACIONES COMBINADAS**

**1.- Miembros con simetría simple y doble solicitados a flexión y carga axial**

**1.1.- Flexión y Compresión**

	LRFD	ASD
$P_r =$	0 Kg <sub>f</sub>	0 Kg <sub>f</sub>
$M_{rx} =$	2068 Kg <sub>f</sub> - m	1292 Kg <sub>f</sub> - m
$M_{ry} =$	1960 Kg <sub>f</sub> - m	1226 Kg <sub>f</sub> - m
$P_c =$	376362 Kg <sub>f</sub>	250407 Kg <sub>f</sub>
$M_{cx} =$	10436 Kg <sub>f</sub> - m	6944 Kg <sub>f</sub> - m
$M_{cy} =$	10436 Kg <sub>f</sub> - m	6944 Kg <sub>f</sub> - m

**LRFD**

Cuando:

$$P_r / P_c = 0.00 < 0.20$$

Debe cumplir para:

$$P_r / 2P_c + [(M_{rx}/M_{cx}) + (M_{ry}/M_{cy})] \leq 1.0$$

0.39	≤	1.0	<b>OK....Cumple</b>
------	---	-----	---------------------

**ASD**

Cuando:

$$P_r / P_c = 0.00 < 0.20$$

Debe cumplir para:

$$P_r / 2P_c + [(M_{rx}/M_{cx}) + (M_{ry}/M_{cy})] \leq 1.0$$

0.36	≤	1.0	<b>OK....Cumple</b>
------	---	-----	---------------------

**1.2.- Flexión y Tracción**

	LRFD	ASD
$P_r =$	1165 Kg <sub>f</sub>	748 Kg <sub>f</sub>
$M_{rx} =$	2068 Kg <sub>f</sub> - m	1292 Kg <sub>f</sub> - m
$M_{ry} =$	1960 Kg <sub>f</sub> - m	1226 Kg <sub>f</sub> - m
$P_c =$	178459 Kg <sub>f</sub>	118973 Kg <sub>f</sub>
$M_{cx} =$	10436 Kg <sub>f</sub> - m	6944 Kg <sub>f</sub> - m
$M_{cy} =$	10436 Kg <sub>f</sub> - m	6944 Kg <sub>f</sub> - m

**LRFD**

Cuando:

$$P_r / P_c = 0.01 < 0.20$$

Debe cumplir para:

$$P_r / 2P_c + [(M_{rx}/M_{cx}) + (M_{ry}/M_{cy})] \leq 1.0$$

0.39	≤	1.0	OK....Cumple
------	---	-----	--------------

**ASD**

Cuando:

$$P_r / P_c = 0.01 < 0.20$$

Debe cumplir para:

$$P_r / 2P_c + [(M_{rx}/M_{cx}) + (M_{ry}/M_{cy})] \leq 1.0$$

0.37	≤	1.0	OK....Cumple
------	---	-----	--------------

**2.-Miembros bajo torsión y combinación de torsión, flexión, corte y/o carga axial**

	LRFD	ASD
$P_r =$	1165 Kg <sub>f</sub>	748 Kg <sub>f</sub>
$M_{rx} =$	2068 Kg <sub>f</sub> - m	1292 Kg <sub>f</sub> - m
$M_{ry} =$	1960 Kg <sub>f</sub> - m	1226 Kg <sub>f</sub> - m
$V_{rx} =$	11300 Kg <sub>f</sub>	7064 Kg <sub>f</sub>
$V_{ry} =$	11252 Kg <sub>f</sub>	7032 Kg <sub>f</sub>
$T_r =$	1885 Kg <sub>f</sub> - m	1178 Kg <sub>f</sub> - m
$P_c =$	178459 Kg <sub>f</sub>	118973 Kg <sub>f</sub>
$M_{cx} =$	10436 Kg <sub>f</sub> - m	6944 Kg <sub>f</sub> - m
$M_{cy} =$	10436 Kg <sub>f</sub> - m	6944 Kg <sub>f</sub> - m
$V_c =$	49269 Kg <sub>f</sub>	32780 Kg <sub>f</sub>
$T_c =$	8814 Kg <sub>f</sub> - m	5865 Kg <sub>f</sub> - m

$$[(P_r/P_c) + (M_{rx}/M_{cx}) + (M_{ry}/M_{cy})] + [(V_{rx}/V_c) + (T_r/T_c)]^2 \leq 1.0$$

$$[(P_r/P_c) + (M_{rx}/M_{cx}) + (M_{ry}/M_{cy})] + [(V_{rx}/V_c) + (V_{ry}/V_c) + (T_r/T_c)]^2 \leq 1.0$$

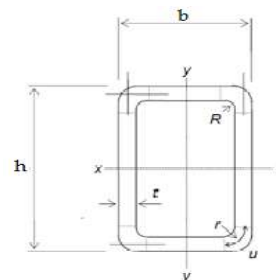
Para Utilizar se debe cumplir  $T_r/T_c \geq 0.2$

0.21	>	0.2	Si Considerar Combinación
------	---	-----	------------------------------

LRFD	0.84	≤	1.0	OK....Cumple
ASD	0.77	≤	1.0	OK....Cumple

Figura O2, Cálculo respaldo, solución de conexión soldada (elemento N° 166).

Criterio diseño	25%		Soldadura FEXX
	LRFD	ASD	
$P_t =$	17236	10772 Kg	$F_{EXX} =$ 4920 Kg/cm <sup>2</sup>
$V_x =$	-669	-418 Kg	Full = 9.2 mm
$V_y =$	-169	-111 Kg	w = 6.5 mm
$M_y =$	93646	58516 Kg cm	h = 120 mm
$M_x =$	26840	16722 Kg cm	b = 102 mm
$M_z =$	20775	12972 Kg cm	t = 6 mm
			$\alpha =$ 50
			$\phi =$ 0.75 $\Omega =$ 2.00



$$L = 2(h+b) = 44.4 \text{ cm}$$

$$L/w = 68.3 < 100$$

$$\beta = 1,2 - 0,002 (L/w) = 1.063$$

$$L_y = L \cdot \beta = 47 \text{ cm}$$

$$L_c = (2(H_b - 1.2t_b)/\text{sen}\alpha) + (B_b - 1.2t_b) = 38.93 \text{ cm}$$

$$L_y = 39 \text{ cm}$$

$$I_x = b (d_y)^2 \cdot 2 + (h^3/12) \cdot 2$$

$$I_y = h (d_x)^2 \cdot 2 + (b^3/12) \cdot 2$$

$$I_p = I_x + I_y$$

$$c = h/2 = b/2 = 6.0 \text{ cm}$$

$$I_x = 818.6 \text{ cm}^3$$

$$I_y = 1040.9 \text{ cm}^3$$

$$I_p = 1859.5 \text{ cm}^3$$

	$r_p$ Kg/cm	$r_{pvx}$ Kg/cm	$r_{pvy}$ Kg/cm	$r_{mx}$ Kg/cm	$r_{my}$ Kg/cm	$r_{mz}$ Kg/cm	$R_u$ Kg/cm	$R_n$ Kg/cm
LRFD	442.7	-17.2	-4.3	86.6	302.2	67.0	835.4	1920.4
ASD	276.7	-10.7	-2.8	54.0	188.8	41.9	521.9	1920.4

	$\phi R_n =$	$R_u$
LRFD	1440.3	835.4 <b>OK!!...Cumple</b>
ASD	960.2	521.9 <b>OK!!...Cumple</b>

**las**

$$w = \text{Filete} \cdot \text{sen } 45^\circ$$

$$r_p = P_t / l_w$$

$$r_{pvx} = V_x / l_w$$

$$r_{pvy} = V_y / l_w$$

$$r_{mx} = (M_x \cdot c) / I_e$$

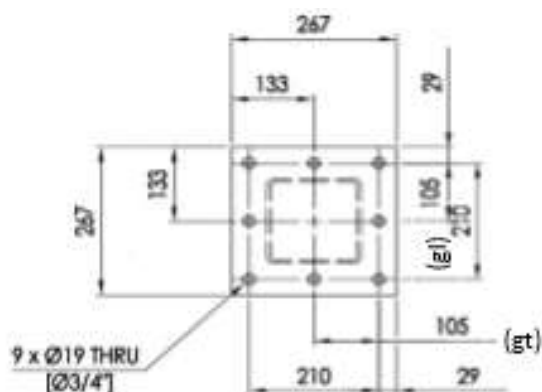
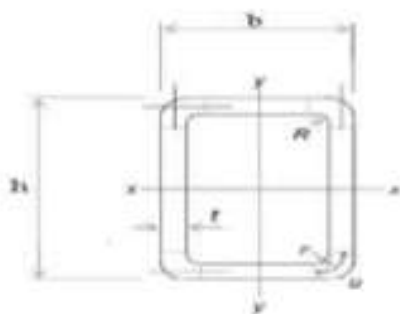
$$r_{my} = (M_y \cdot c) / I_e$$

$$r_{mz} = (M_z \cdot c) / I_e$$

$$R_u = \sqrt{(r_{pvx} + r_{mz})^2 + (r_{pvy} + r_{mz})^2 + (r_p + r_{mx} + r_{my})^2}$$

$$R_n = 0,6 \cdot F_{EXX} \cdot w$$

Figura O3, Cálculo respaldo, solución de conexión apernada.



Criterio diseño = 25%

	LRFD	ASD
$P_t =$	555	407 Kg
$V_x =$	6693	4181 Kg
$V_y =$	6529	4085 Kg
$M_y =$	139877	87480 Kg cm
$M_x =$	138465	86373 Kg cm
$M_z =$	331883	207425 Kg cm

DATOS			
$d =$	3/4	$Ab =$	2.85 cm <sup>2</sup>
$At =$	8	$gl =$	10.5 cm
$m =$	3	$gt =$	10.5 cm
$n =$	3	$Fnt =$	7950 kg/cm <sup>2</sup>
$c =$	3	$Frv =$	5300 kg/cm <sup>2</sup>
$g =$	3	$\phi =$	0.75 $\Omega =$ 2.00

Donde:

$At$  = Numero de pernos total

$m$  = Numero de pernos en una línea horizontal

$n$  = Numero de pernos en una línea vertical

$c$  = Numero de línea vertical

$g$  = Numero de línea horizontal

1.- Fuerzas Cortante Actuantes Sobre el Perno.

$$R_x = (V_x / At) + (M_{zz} / I_p) \cdot Y_{max}$$

$$R_y = (V_y / At) + (M_{zz} / I_p) \cdot X_{max}$$

$$R_a = \sqrt{(R_x)^2 + (R_y)^2}$$

$$f_v = R_a / Ab$$

Donde:

$$I_x = \frac{[n \cdot gl^2 \cdot (n^2 - 1)] \cdot c}{12}$$

$$I_x = 661.5 \text{ cm}^4$$

$$I_z = \frac{[m \cdot gt^2 \cdot (m^2 - 1)] \cdot g}{12}$$

$$I_z = 661.5 \text{ cm}^4$$

$$I_p = I_x + I_z$$

$$I_p = 1323 \text{ cm}^4$$

$$X_{max} = 1/2 (n - 1) gl$$

$$X_{max} = 10.5 \text{ cm}$$

$$Y_{max} = 1/2 (m - 1) gt$$

$$Y_{max} = 10.5 \text{ cm}$$

Reemplazando:

LRFD	
Rx =	3471 kg
Ry =	3980 kg
Ra =	5281 kg
fv =	1853 kg / cm <sup>2</sup>

ASD	
Rx =	2169 kg
Ry =	2489 kg
Ra =	3302 kg
fv =	1158 kg / cm <sup>2</sup>

2.- Fuerzas Traccionantes Actuantes Sobre el Perno.



Reemplazando:

LRFD	
FF =	69 Kg
FM1 =	6328 Kg
FM2 =	6264 Kg
FM =	12592 Kg
FT =	12661 Kg
ft =	4442 kg / cm <sup>2</sup>

ASD	
FF =	51 Kg
FM1 =	3957 Kg
FM2 =	3907 Kg
FM =	7865 Kg
FT =	7916 Kg
ft =	2777 kg / cm <sup>2</sup>

Combinación de Tracción y Corte en Conexión Tipo Aplastamiento

Para LRFD

$$F'_{nt} = 1,3 F_{nt} - (F_{nt} / \phi F_{nv}) f_v \leq F_{nt}$$

$$F'_{nt} = 6629.26 \text{ kg / cm}^2 < F_{nt} \quad \text{ok}$$

$$\phi R_n = F'_{nt} * A_b = 18893 \text{ Kg}$$

$$\phi R_n \geq FT$$

$$14170.04 > 12661 \quad \text{ok}$$

$$\frac{(F_t / \phi F_{nt})^2 + (F_v / \phi F_{nv})^2}{1} \leq 1$$

$$\boxed{0.77} < \boxed{1} \quad \text{Ok...Cumple}$$



Figura O4, Esquema con las soluciones propuestas.

