



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**

**INGENIERÍA MECÁNICA**

**TRABAJO ESTRUCTURADO DE MANERA INDEPENDIENTE PREVIO  
A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

---

**TEMA: “ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO DE UNA  
PRENSA HIDRÁULICA PARA LA ELABORACIÓN DE TAPAS  
BOMBEADAS Y SU RELACIÓN CON LOS PROBLEMAS DE  
FUNCIONAMIENTO QUE ACTUALMENTE PRESENTA EN LA  
EMPRESA INDUACERO DE LA CIUDAD DE LATACUNGA.”**

---

**AUTOR: CIRO IGNACIO ORTIZ HIDALGO**

**TUTOR: ING. MG. JORGE GUAMANQUISPE**

**AMBATO – ECUADOR**

**2013**

## CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del trabajo de investigativo **“ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO DE UNA PRENSA HIDRÁULICA PARA LA ELABORACIÓN DE TAPAS BOMBEADAS Y SU RELACIÓN CON LOS PROBLEMAS DE FUNCIONAMIENTO QUE ACTUALMENTE PRESENTA EN LA EMPRESA INDUACERO DE LA CIUDAD DE LATACUNGA”**.Elaborado por **Ciro Ignacio Ortiz Hidalgo**, egresado de la facultad de ingeniería Civil y Mecánica, carrea de Ingeniería Mecánica.

Certifico:

- Que el presente informe es original de su autor.
- Ha sido revisado en cada uno de sus capítulos.
- Está concluido y puede continuar con el trámite correspondiente.

Ambato, febrero de 2013

EL TUTOR

-----  
Ing. Mg. Jorge Guamanquispe

C.I.: 1802039485

## AUTORÍA

Declaro que el contenido del trabajo investigativo **“ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO DE UNA PRENSA HIDRÁULICA PARA LA ELABORACIÓN DE TAPAS BOMBEADAS Y SU RELACIÓN CON LOS PROBLEMAS DE FUNCIONAMIENTO QUE ACTUALMENTE PRESENTA EN LA EMPRESA INDUACERO DE LA CIUDAD DE LATACUNGA”**, así como sus ideas, opiniones, resultados, análisis, conclusiones y propuesta son auténticos y de responsabilidad exclusiva de mi persona en calidad de autor del presente proyecto.

Ambato, febrero de 2013

EL AUTOR

-----  
Ciro Ignacio Ortiz Hidalgo

C. I.: 180423923-2

## DEDICATORIA

*A Dios por darme fuerza para seguir adelante y no desmayar ante la adversidad.*

*A mis padres Ignacio y Clemencia, a mis hermanos Aidé, Egda, José y sobrinos por su apoyo, consejos, comprensión, amor y ayuda en los momentos difíciles.*

*A mi esposa Ruth por su apoyo, consejos, comprensión, amor, y ayuda en los momentos difíciles.*

*A mis compañeros y amigos porque de todos he aprendido mucho, es imposible olvidar los momentos agradables que hemos compartido.*

## AGRADECIMIENTO

*Al Ing. Mg. Jorge Guamanquispe tutor de tesis, por su incomparable ayuda, colaboración y orientación en la realización del presente trabajo investigativo.*

*Al Ing. Mg. Fredy Hidalgo jefe de proyectos en la empresa INDUACERO S. A. por su incomparable ayuda, colaboración y orientación en la realización del presente trabajo investigativo.*

*A mis padres, hermanos, familia en general y esposa por apoyarme en todo momento y confiar en mí.*

*A todos mis maestros y a las personas que de una u otra manera contribuyeron en mi formación personal y espiritual, porque me enseñaron que las mayores satisfacciones se alcanzan cuando las cosas se hacen con esfuerzo, dedicación y honestidad.*

*A la empresa INDUACERO S. A., entidad que me abrió las puertas de gentil manera para la realización del presente trabajo investigativo.*

## ÍNDICE GENERAL

Certificación.....	II
Autoría.....	III
Dedicatoria.....	IV
Agradecimiento.....	V
Índice general.....	VI
Resumen ejecutivo.....	XVIII
Executive summary.....	XIX

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

### CAPÍTULO I

#### 1 EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.1.1 Contextualización.....	1
1.1.2 Análisis crítico.....	3
1.1.3 Prognosis.....	3
1.1.4 Formulación del problema.....	4
1.1.5 Preguntas directrices.....	4
1.1.6 Delimitación del objeto de investigación.....	4
1.1.6.1 De contenido.....	4
1.1.6.2 Espacial.....	5
1.2 Justificación.....	5
1.3 Objetivos.....	5
1.3.1 Objetivo general.....	5
1.3.2 Objetivos específicos.....	6

### CAPÍTULO II

#### 2 MARCO TEÓRICO

2.1 Investigaciones previas.....	7
2.1.1 Diseño de una prensa hidráulica para elaborar pocetas de acero inoxidable.....	7

2.1.2	Diagnóstico sobre la falla de la estructura del diagnosticentro cardiesel dos quebradas risaralda .....	8
2.1.3	Construcción de una prensa hidráulica manual de 200 toneladas.....	9
2.2	Categorías fundamentales .....	11
2.2.1	Relaciones esfuerzo deformación del acero.....	11
2.2.2	Rotura.....	15
2.2.3	Fractura .....	15
2.2.3.1	Fractura dúctil .....	17
2.2.3.2	Fractura frágil.....	20
2.2.4	Principios de mecánica de la fractura .....	23
2.2.5	Concentración de tensiones.....	23
2.2.6	La inspección visual.....	25
2.2.7	La prensa hidráulica.....	27
2.2.7.1	Tipos de prensas y su clasificación.....	27
2.2.7.2	Tipos de prensas para doblar.....	29
2.2.8	Clasificación de troqueles .....	29
2.2.8.1	Troqueles para doblar y curvar (tipos y formas).....	30
2.2.9	Tipos de tapas .....	31
2.2.9.1	Tapas planas.....	31
2.2.9.2	Tapas planas con ceja.....	31
2.2.9.3	Tapas únicamente abombadas.....	32
2.2.9.4	Tapas abombadas con ceja invertida.....	32
2.2.9.5	Tapas toriesféricas .....	33
2.2.9.6	Tapas semielípticas .....	33
2.2.9.7	Tapas semiesféricas .....	34
2.2.10	Embutido.....	34
2.2.10.1	Mecánica del embutido .....	34
2.2.10.2	Análisis de ingeniería del embutido.....	38
2.2.11	Proceso de construcción de cabezas toriesféricas.....	40
2.2.12	Momento de inercia en áreas planas (figuras compuestas).....	40
2.2.12.1	Rectángulo .....	40
2.2.12.2	Teorema de los ejes paralelos o de Steiner .....	41

2.2.13	Estructuras simétricas en pórticos con soportes fijos .....	42
2.2.13.1	Notaciones, coordenadas y constantes de la estructura .....	42
2.2.13.2	Carga centrada vertical sobre el punto medio de una viga .....	43
2.2.14	Ecuaciones del método de diseño por esfuerzos permisibles (método ASD).....	44
2.2.15	Deformación en vigas .....	45
2.2.15.1	Valores teóricos de la deformación.....	45
2.2.15.2	Valores máximos admisibles de flechas en vigas .....	46
2.3	Fundamentación legal .....	48
2.4	Hipótesis .....	49
2.4.1	Señalamiento de variables.....	49

### **CAPÍTULO III**

#### **3 METODOLOGÍA**

3.1	Enfoque .....	50
3.2	Modalidad básica de la investigación .....	50
3.3	Nivel y tipo de investigación .....	51
3.3.1	Nivel.....	51
3.3.2	Tipo.....	51
3.4	Operacionalización de variables .....	52
3.4.1	Variable independiente. ....	52
3.4.2	Variable dependiente. ....	53
3.5	Plan de recolección de la información .....	53
3.6	Procesamiento y análisis .....	53
3.6.1	Plan de procesamiento de la información .....	53
3.6.2	Plan de análisis de la información .....	54

### **CAPÍTULO IV**

#### **4 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

4.1	Análisis del aspecto cuantitativo.....	55
4.1.1	Tapas que se dan forma en la prensa hidráulica .....	55
4.1.2	Tapa que mayor fuerza requiere para su elaboración .....	56

4.1.3	Presión de trabajo.....	56
4.1.4	Presión máxima entregada por el sistema hidráulico.....	57
4.1.5	Material de los miembros estructurales de la prensa hidráulica .....	57
4.1.6	Ensayo metalográfico y de dureza del material usado en las columnas .	58
4.1.7	Dado y punzón semielíptico (300 mm).....	60
4.1.8	Microestructura del acero ASTM A572-50 .....	61
4.1.9	Dimensiones de la estructura de la prensa hidráulica .....	62
4.1.10	Fisuras en las columnas de la estructura .....	64
4.1.11	Deformación de la mesa de la estructura .....	66
4.2	Presentación de resultados .....	66
4.2.1	Material de las columnas .....	66
4.2.2	Fuerza necesaria para embutir una tapa semielíptica de 300 mm de diámetro.....	67
4.2.3	Presión que debe entregar la prensa para embutir una tapa semielíptica de 300 mm de diámetro.....	68
4.2.4	Fuerza máxima entregada por el émbolo de la prensa hidráulica.....	69
4.2.5	Deformación de la mesa debida a la fuerza aplicada.....	69
4.2.6	Resistencia de las columnas usando diferentes aceros estructurales con la sección transversal dada en la tabla 4-9 por el método de diseño por esfuerzos permisibles (ASD).....	70
4.2.7	Resistencia de las columnas usando acero ASTM 588M-A y la fuerza máxima entregada por el émbolo con diferentes secciones transversales compuestas por perfiles IPE mediante el método de diseño por esfuerzos permisibles (ASD).....	80
4.2.8	Resistencia de las columnas usando acero ASTM A 570 – 50 y la fuerza máxima entregada por el émbolo con diferentes secciones transversales compuestas por perfiles IPE mediante el método de diseño por esfuerzos permisibles (ASD).....	94
4.2.9	Resistencia de las columnas usando acero ASTM A 36 (el acero JIS G-3101 SS41M tiene el mismo límite de fluencia) y la fuerza máxima entregada por el émbolo con diferentes secciones transversales compuestas por perfiles IPE mediante el método de diseño por esfuerzos permisibles (ASD) .....	105

4.2.10	Resistencia de las columnas usando acero ASTM A 283 – C y la fuerza máxima entregada por el émbolo con diferentes secciones transversales compuestas por perfiles IPE mediante el método de diseño por esfuerzos permisibles (ASD).....	116
4.2.11	Resistencia de las columnas usando diferentes aceros estructurales con la sección transversal dada en la figura 4-16 por el método de diseño por esfuerzos permisibles (ASD).....	127
4.2.12	Deformación calculada de la mesa .....	136
4.2.13	Deformación admisible de la mesa .....	137
4.2.14	Deformación admisible para los valores medidos de la mesa .....	138
4.3	Interpretación de resultados .....	140
4.4	Verificación de la hipótesis.....	145
4.4.1	Verificación de la hipótesis para las fisuras.....	145
4.4.2	Verificación de la hipótesis para la deformación de la mesa.....	149

## **CAPÍTULO V**

### **5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1	Conclusiones .....	153
5.2	Recomendaciones .....	154

## **CAPÍTULO VI**

### **6 PROPUESTA**

6.1	Datos informativos.....	155
6.2	Antecedentes de la propuesta.....	155
6.3	Justificación .....	156
6.4	Objetivos .....	156
6.4.1	Objetivo general.....	156
6.4.2	Objetivos específicos .....	156
6.5	Análisis de factibilidad .....	157
6.6	Fundamentación.....	157
6.6.1	Material de las columnas .....	157
6.6.2	Luz entre columnas .....	157

6.6.3	Fuerza a la que se somete la estructura.....	158
6.6.4	Sección transversal de la mesa.....	158
6.6.5	Sección transversal de las columnas .....	158
6.7	Metodología .....	159
6.7.1	Determinación del momento de inercia de la mesa .....	159
6.7.2	Diseño de la mesa de la estructura.....	160
6.7.3	Determinación del momento de inercia y módulo de sección de las columnas .....	162
6.7.4	Determinación de los momentos flectores del pórtico formado por las columnas y la mesa de la estructura.....	163
6.7.5	Comprobación de la resistencia de la estructura por el método de diseño por esfuerzos permisibles.....	164
6.7.6	Elaboración de los planos de la estructura.....	165
6.7.7	Elaboración del presupuesto para la reparación de la estructura .....	165
6.8	Administración.....	166
6.9	Previsión de la evaluación .....	167
6.10	Bibliografía .....	167

## **ANEXOS**

Anexo A1	Propiedades mecánicas de aceros estructurales.....	170
Anexo A2	Perfiles IPE .....	173
Anexo A3	Perfiles UPN .....	175
Anexo A4	Formatos .....	177
Anexo A5	Módulo de elasticidad.....	180
Anexo A6	Presupuesto de vigas armadas .....	182
Anexo A7	Planos.....	186

## **ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 2-1	Red de categorías fundamentales. ....	11
Figura 2-2	Diagrama esfuerzo deformación característico de un acero estructural con bajo contenido de carbono.....	12

Figura 2-3 Diagrama esfuerzo deformación característico de un acero frágil. ....	14
Figura 2-4 Representación esquemática de los diagramas de tracción de los materiales frágiles, y dúctiles ensayados hasta la fractura. ....	16
Figura 2-5 (a) Fractura muy dúctil en la cual la probeta se estiricciona hasta llegar a un punto. (b) Fractura moderadamente dúctil después de cierta estiriccción. (c) Fractura frágil sin ninguna deformación plástica. ....	18
Figura 2-6 Etapas en la estructura copa-cono (a) Estiriccción inicial. (b) Formación de pequeñas cavidades. (c) Fractura final por cizallamiento a un ángulo de 45° respecto a la dirección de la tensión. ....	19
Figura 2-7 (a) Fractura copa-cono en el aluminio. (b) Fractura frágil en un acero bajo en carbono. ....	19
Figura 2-8 (a) Fractografía electrónica de barrido mostrando las cavidades características de la fractura dúctil originadas por cargas axiales. (b) Fractografía electrónica de barrido mostrando las cavidades parabólicas características de la fractura dúctil originadas por cargas de cizalladura. ....	20
Figura 2-9 (a) Fractografía mostrando marcas en forma de V invertida con salientes y entrantes características de la fractura frágil. ....	21
Figura 2-10 (a) Fractografía electrónica de barrido de una fundición dúctil de hierro mostrando una superficie de fractura transgranular. (b) Fractografía electrónica de barrido mostrando una superficie de fractura intergranular. ....	22
Figura 2-11 (a) Geometría de grietas superficiales e internas. (b) Perfil esquemático de la tensión a lo largo de la línea x-x` en (a), mostrando la amplificación de la tensión en las posiciones cercanas a las puntas de la grieta. .	24
Figura 2-12 Tapa plana. ....	31
Figura 2-13 Tapa con ceja. ....	32
Figura 2-14 Tapa únicamente abombada. ....	32

Figura 2-15 Tapa abombada con ceja invertida. ....	32
Figura 2-16 Tapa toriesféricas. ....	33
Figura 2-17 Tapa semielíptica.....	33
Figura 2-18 Tapa semiesférica.....	34
Figura 2-19 Embutido de una parte acopada.....	35
Figura 2-20 Etapas de la deformación del material de trabajo en el embutido profundo.....	37
Figura 2-21 Rectángulo.....	40
Figura 2-22 Sección compuesta .....	41
Figura 2-23 Notación estructura en pórtico. ....	42
Figura 2-24 Momentos flectores de una estructura en pórtico.....	43
Figura 2-25 Carga centrada vertical sobre el punto medio de una viga. ....	43
Figura 2-26 Deformación en vigas.....	46
Figura 4-1 Pórtico de la estructura previo a la reparación. ....	72
Figura 4-2 Diagrama de momentos (pórtico figura 4-1).....	72
Figura 4-3 Sección transversal para la mesa.....	80
Figura 4-4 Sección transversal para la columna compuesta por perfiles IPE 330	81
Figura 4-5 Pórtico – IPE 330. ....	81
Figura 4-6 Sección transversal para la columna compuesta por perfiles IPE 360	83
Figura 4-7 Pórtico – ASTM A 588 grado A – IPE 360 .....	83
Figura 4-8 Sección transversal para la columna compuesta por perfiles IPE 400	85
Figura 4-9 Pórtico – ASTM A 588 grado A – IPE 400 .....	86

Figura 4-10 Sección transversal para la columna compuesta por perfiles IPE 450 .....	87
Figura 4-11 Pórtico – ASTM A 588 grado A – IPE 450 .....	88
Figura 4-12 Sección transversal para la columna compuesta por perfiles IPE 500 .....	90
Figura 4-13 Pórtico – ASTM A 588 grado A – IPE 500 .....	90
Figura 4-14 Sección transversal para la columna compuesta por perfiles IPE 550 .....	92
Figura 4-15 Pórtico – ASTM A 588 grado A – IPE 550 .....	93
Figura 4-16 Sección transversal compuesta.....	128
Figura 4-17 Pórtico con la sección transversal compuesta de la figura 4-16.....	129
Figura 4-18 Diagrama de momentos (pórtico figura 4-16).....	129
Figura 4-19 Resistencia de las columnas originales de la estructura verificado por el método de diseño por esfuerzos permisibles.....	140
Figura 4-20 Resistencia de las columnas ensayando diferentes perfiles IPE para formar las columnas con los aceros ASTM A588-A y A572-50 mediante el método de diseño por esfuerzos permisibles.....	141
Figura 4-21 Resistencia de las columnas ensayando diferentes perfiles IPE para formar las columnas con el acero ASTM A570-50 mediante el método de diseño por esfuerzos permisibles.....	141
Figura 4-22 Resistencia de las columnas ensayando diferentes perfiles IPE para formar las columnas con los aceros ASTM A36 y JIS G-3101 SS41 M mediante el método de diseño por esfuerzos permisibles.....	142

Figura 4-23 Resistencia de las columnas ensayando diferentes perfiles IPE para formar las columnas con el acero ASTM A283-C mediante el método de diseño por esfuerzos permisibles.....	142
Figura 4-24 Resistencia de las columnas ensayando la sección transversal de la figura 4-16 verificado por el método de diseño por esfuerzos permisibles. ....	143
Figura 4-25 Luz entre columnas con las diferentes secciones transversales ensayadas.....	143
Figura 4-26 Deformación calculada Vs. Deformación admisible.....	144
Figura 4-27 Deformación medida de la mesa por la acción de la fuerza de trabajo Vs Deformación admisible.....	144
Figura 4-28 Verificación de la hipótesis para las fisuras en las columnas.....	148
Figura 4-30 Verificación de la hipótesis para la deformación de la mesa .....	152
Figura 6-1 Sección transversal de la mesa .....	158
Figura 6-2 Sección transversal de las columnas .....	159
Figura 6-3 Pórtico (figura 6-2).....	163
Figura 6-4 Diagrama de momentos (pórtico figura 6-3).....	164

### **ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 2-1 Factor de deformación $\alpha$ .....	48
Tabla 3-1 Operacionalización de la variable independiente. ....	52
Tabla 3-2 Operacionalización de la variable dependiente. ....	53
Tabla 3-3 Plan de recolección de datos.....	53
Tabla 4-1 Tipos de tapas abombadas que se dan forma en la prensa hidráulica dentro de INDUACERO S.A. ....	55

Tabla 4-2 Parámetros de elaboración de la tapa que mayor fuerza necesita para su abombado.....	56
Tabla 4-3 Presión de trabajo en la prensa hidráulica. ....	56
Tabla 4-4 Presión máxima entregada por el sistema hidráulico. ....	57
Tabla 4-5 Material de los miembros estructurales de la prensa hidráulica.....	57
Tabla 4-6 Ensayo metalográfico y de dureza del material usado en las columnas. ....	58
Tabla 4-7 Dimensiones del dado y punzón para elaborar tapas semielípticas de 300 mm de diámetro.....	60
Tabla 4-8 Microestructura del acero ASTM A 572 grado 50 tomada del libro Metals Handbook. ....	61
Tabla 4-9 Esquema de las dimensiones de la estructura y secciones transversales de las columnas y la mesa de la prensa hidráulica. ....	62
Tabla 4-10 Fisuras en las columnas de la estructura.....	64
Tabla 4-11 Deformación de la mesa de la estructura. ....	66
Tabla 4-12 Comparación de la muestra tomada en el laboratorio con la dada en el libro Metal Handbook. ....	67
Tabla 4-13 Fuerza vs. Deformación de la mesa.....	70
Tabla 4-14 Deformación teórica de la mesa [cm].....	137
Tabla 4-15 Momentos flectores máximos de la mesa.....	137
Tabla 4-16 Tensión máxima.....	138
Tabla 4-17 Flecha máxima permisible de la mesa.....	138
Tabla 4-18 Momentos flectores máximos de la mesa actual.....	139

Tabla 4-19 Tensión máxima de la mesa actual .....	139
Tabla 4-20 Flecha máxima permisible de la mesa actual .....	140
Tabla 4-21 Razón de esfuerzos permisibles para las columnas de la estructura.	146
Tabla 4-22 Razón de esfuerzos permisibles para las columnas de la estructura con la sección transversal de la figura 4-16. ....	146
Tabla 4-23 Frecuencia observada y esperada.....	147
Tabla 4-24 Cálculo del chi cuadrado .....	148
Tabla 4-25 Deformación esperada de la mesa de la estructura .....	151
Tabla 4-26 Frecuencia observada y esperada.....	151
Tabla 4-27 Cálculo del chi cuadrado .....	151
Tabla 6-1 Presupuesto para recursos materiales y de proceso .....	166
Tabla 6-2 Presupuesto para recursos materiales .....	166
Tabla 6-3 Presupuesto reparación de la estructura de la prensa hidráulica.....	166
Tabla 6-4 Administración de la tesis.....	167

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**INGENIERÍA MECÁNICA**

“ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO DE UNA PRENSA HIDRÁULICA PARA LA ELABORACIÓN DE TAPAS BOMBEADAS Y SU RELACIÓN CON LOS PROBLEMAS DE FUNCIONAMIENTO QUE ACTUALMENTE PRESENTA EN LA EMPRESA INDUACERO DE LA CIUDAD DE LATACUNGA”.

**Autor:** Ciro Ignacio Ortiz Hidalgo

**Tutor:** Ing. Mg. Jorge Guamanquispe

**Fecha:** 21 de febrero de 2013

**RESUMEN**

En el presente trabajo de investigación se determinó el comportamiento de las columnas y la mesa de la estructura de la prensa hidráulica para abombar tapas en la empresa INDUACERO S. A. cuando se someten a la carga de trabajo.

En las columnas se realizó un análisis de esfuerzos combinados mediante las ecuaciones del método ASD usando diferentes aceros estructurales y variando el área de la sección transversal de las mismas, datos que sirvieron para realizar un análisis estadístico inferencial para determinar la influencia que puede tener la fuerza de trabajo, las dimensiones de las columnas y el material en la formación de las fisuras que estas presentan.

De igual manera se determinó los valores correspondientes a la deformación de la mesa de la estructura, debidos a la carga de trabajo de la prensa hidráulica, datos que sirvieron para realizar un análisis estadístico inferencial para determinar la influencia que puede tener la fuerza de trabajo, las dimensiones de la mesa y el material en la deformación sufrida.

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**INGENIERÍA MECÁNICA**

“STUDY DESIGN PARAMETERS OF THE STRUCTURE OF A HYDRAULIC PRESS FOR DEVELOPING PUMPED CYLINDER HEADS AND THEIR RELATIONSHIP WITH PROBLEMS CURRENTLY OPERATING IN THE COMPANY PRESENTS IN DUACEROS S.A. OF LATA CUNGA CITY”.

**Author:** Ciro Ignacio Ortiz Hidalgo

**Tutor:** Ing. Mg. Jorge Guamanquispe

**Date:** 21 de febrero de 2013

**SUMMARY**

In this research work, the behavior of the columns and the table of the structure of the hydraulic press for caps at the company bulge INDUACERO S. A. when subjected to the workload.

The columns was analyzed by combined efforts ASD Method equations using different structural steels and varying the cross-sectional area thereof, data used for inferential statistical analysis to determine the influence it can have the strength work, the dimensions of the columns and the material in the formation of cracks that are present.

Similarly, we determined the values for the deformation of the structure table due to the workload of the hydraulic press, data used for inferential statistical analysis to determine the influence that the work force, the table dimensions and the material in the deformation suffered.

## **CAPÍTULO I**

### **1 EL PROBLEMA**

Estudio de los parámetros de diseño de una prensa hidráulica para la elaboración de tapas bombeadas y su relación con los problemas de funcionamiento que actualmente presenta en la empresa INDUACERO de la ciudad de Latacunga.

#### **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

##### **1.1.1 CONTEXTUALIZACIÓN**

La prensa es una máquina herramienta que tiene como finalidad lograr la deformación permanente o incluso cortar un determinado material, mediante la aplicación de una carga.

De acuerdo a los representantes de la empresa fabricante de prensas GreenerdPress&Machine Co., Nashua, NH; las prensas en buenas condiciones trabajan sin calentarse, no presentan fugas y alcanzan la presión de trabajo rápidamente. Por ejemplo, una buena señal es cuando la presión máxima requerida es recuperada en un tiempo de 0.5 a 1 segundo. Si la prensa tarda más de 2 o 3 segundos en recuperar la presión, se debe de pensar en problemas de la bomba, la válvula de alivio o del motor.

Los dispositivos para mantenimiento preventivo, así como los diagnósticos a distancia encabezan las listas de puntos de control que proporcionan los representantes de otra empresa fabricante de prensas, NeffPress, St. Louis, MO. Ellos recomiendan a menudo equipar a las prensas hidráulicas con sensores que puedan alertar sobre desgaste de la herramienta o que inicien otras actividades de mantenimiento preventivo. Por ejemplo, sensores que puedan monitorear la fuerza de embutido en un cierto punto de la carrera de la prensa, si la fuerza detectada excede la calculada, el troquel puede necesitar mantenimiento o ajuste. Al monitorear la fuerza de embutido, el operador de la prensa puede detectar

variaciones en las propiedades de la materia prima (como dureza o espesor) permitiendo realizar ajustes antes de que se produzcan piezas de rechazo. Con este tipo de retroalimentación, las empresas de estampado pueden asegurar la calidad de la pieza, mientras ésta se encuentre todavía en el troquel, eliminando actividades de calidad posteriores. Neff ha instalado dispositivos de aseguramiento de la calidad a cerca del 20% de las nuevas prensas que ellos producen y esperan que este porcentaje continúe incrementándose hasta llegar, por lo menos, al 50% de las prensas nuevas.

Una de las ramas más interesantes de la ingeniería por su inherente valor académico e industrial es la mecánica forense.

Esta se encarga de establecer e investigar las causas de fallas o accidentes en componentes mecánicos y civiles de todo tipo, que van desde agujas para coser hasta componentes utilizados en la industria aero-espacial y bio-médica.

Dichos análisis de fallas son importantes para poder establecer de una manera adecuada y sistemática las causales de fallas y poder tomar los correctivos necesarios para evitar la repetición de accidentes, que además de causar pérdidas materiales pueden conllevar a pérdidas humanas irreparables.

En la investigación de fallas intervienen ramas de la ingeniería tan variadas como materiales de ingeniería, mecánica del medio continuo, mecánica de la fractura, metalurgia, procesos de manufactura, termodinámica y transferencia de calor, tribología, corrosión y fractografía entre otras.

En la ejecución de un análisis de fallas se deben tener en cuenta factores tales como la historia previa del elemento a analizar, tipo de material y estructura, temperaturas de trabajo, planes de mantenimiento y hasta la hoja de vida de los operarios del equipo o máquina llegan a ser importantes en algunos casos.

La documentación y reporte de análisis de fallas es de gran valor técnico y científico dado que estos brindan conocimiento sobre las causas que pueden ser reducidas en ocurrencia hasta llegar a ser eliminadas totalmente.

### **1.1.2 ANÁLISIS CRÍTICO**

La falla de la estructura de la prensa hidráulica para la fabricación de tapas bombeadas es un problema que involucra el funcionamiento incorrecto e ineficiente de la prensa. La estructura de la prensa ha fallado debido a las modificaciones que ha sufrido a nivel de sus columnas, mismas que se han hecho para poder elaborar tapas abombadas de mayor tamaño para los tanques que en la empresa se producen, dichas modificaciones han afectado seriamente la estructura incluso llegando a ocasionar fisuras en la parte inferior de las columnas de la estructura y la deformación de la mesa. Sumado a esto la estructura ha sufrido reparaciones sin ninguna base técnica, reparaciones improvisadas cada vez que la estructura falla; para lograr que la prensa hidráulica vuelva a funcionar luego de que falla la estructura se han efectuado múltiples cordones de soldadura en los lugares donde se encuentran las fisuras con el propósito de dar una solución inmediata a este problema. Todo esto ha ocasionado un funcionamiento defectuoso de la prensa hidráulica que conlleva el paro de la producción cada cierto tiempo.

### **1.1.3 PROGNOSIS**

Una vez conocido el problema se pueden identificar dos importantes efectos de éste, uno de ellos es el costo que involucra las constantes reparaciones que tienen que realizarse cada vez que falla la estructura de la prensa hidráulica puesto que para realizarlas se emplean recursos como la mano de obra y el material utilizado para reforzar sin obtener mayor éxito al hacerlo, gasto que afecta directamente al costo de producción de las tapas bombeadas que en la prensa hidráulica se producen.

El otro son las constantes paras en la producción que ocasionan retrasos en la entrega del producto final debido a que la producción de las tapas es uno de los puntos más influyentes en la producción de los tanques, además de lo mencionado muchas veces debido al mal funcionamiento de la prensa hidráulica el producto no cumple con sus requerimientos de diseño. Además en un futuro si no se corrige este problema la prensa llegará al punto de dejar de trabajar porque será tal el

daño que no podrá solucionarse y será necesario desechar esta prensa y reemplazarla.

#### **1.1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Qué parámetros de diseño deben estudiarse en la prensa hidráulica para la elaboración de tapas bombeadas para solucionar los problemas de funcionamiento que actualmente presenta en la empresa INDUACERO S. A. de la ciudad de Latacunga?.

#### **1.1.5 PREGUNTAS DIRECTRICES**

- ¿Existe algún estudio realizado sobre los parámetros de diseño de la prensa hidráulica para la elaboración de tapas bombeadas y su relación con los problemas de funcionamiento?.
- ¿Qué tipo de tapas se dan forma en la prensa hidráulica?.
- ¿Qué tipo de tapa requiere mayor fuerza para su elaboración?.
- ¿Qué fuerza es capaz de entregar el sistema hidráulico de la prensa hidráulica en el émbolo principal?.
- ¿Qué dimensiones debe tener la prensa hidráulica para la fabricación de tapas bombeadas?.
- ¿Cuáles son los materiales de los elementos de la estructura?.
- ¿Qué elementos presenten fisuras considerables?.
- ¿Qué elementos de la estructura presentan una deformación considerable?.

#### **1.1.6 DELIMITACIÓN DEL OBJETO DE INVESTIGACIÓN**

##### **1.1.6.1 De contenido**

El estudio de los parámetros de diseño de la prensa hidráulica para la elaboración de tapas bombeadas y su relación con los problemas de funcionamiento que actualmente presenta en la empresa INDUACERO de la ciudad de Latacunga, está

contemplado en ciencias como: Ensayos no destructivos, Ingeniería de materiales, Estructuras metálicas, Diseño de elementos de máquinas.

### **1.1.6.2 Espacial**

INDUSTRIA DE ACERO DEL ECUADOR Cía. Ltda. / Panamericana Sur Km. 4  
Sector Niágara / Latacunga – Ecuador.

## **1.2 JUSTIFICACIÓN**

Para la empresa INDUACERO como para cualquier empresa es necesario que sus procesos de producción no presenten ningún inconveniente, razón por la cual la empresa requiere que su prensa hidráulica usada para la fabricación de tapas bombeadas funcione de forma que cumpla su propósito sin problemas, al lograr que la prensa hidráulica funcione de esta manera se logra que la producción sea regular y no existan contratiempos, además de asegurar la calidad en la fabricación de las tapas. Además de esto al estudiar los parámetros de diseño de la prensa hidráulica usada para la fabricación de tapas bombeadas se logrará conocer cuáles son los motivos para que esta presente problemas frecuentes en su funcionamiento lo cual nos ayudará a encontrar una solución al problema.

El presente estudio es de gran interés tanto para la empresa INDUACERO S.A. ya que es de importancia que su prensa hidráulica se encuentre funcionando bajo las condiciones requeridas para el abombado de tapas; y por otro lado el presente estudio es la tesis de graduación en ingeniería mecánica para el investigador del mismo.

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 OBJETIVO GENERAL**

Estudiar los parámetros de diseño de la prensa hidráulica para la elaboración de tapas bombeadas y su relación con los problemas de funcionamiento que actualmente presenta en la empresa INDUACERO de la ciudad de Latacunga.

### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar el estudio sobre los parámetros de diseño de la prensa hidráulica para la elaboración de tapas bombeadas y su relación con los problemas de funcionamiento.
- Determinar qué tipo de tapas se dan forma en la prensa hidráulica.
- Determinar qué tipo de tapa requiere mayor fuerza para su elaboración.
- Determinar la fuerza necesaria para dar forma la tapa que mayor fuerza requiere en su elaboración.
- Determinar la fuerza que es capaz de entregar el sistema hidráulico de la prensa en su émbolo principal.
- Determinar las dimensiones que debe tener la prensa hidráulica para la fabricación de tapas bombeadas.
- Determinar los materiales usados en los elementos estructurales.
- Identificar los elementos estructurales que presentan fisuras considerables.
- Identificar los elementos estructurales que presentan una deformación considerable.

## **CAPÍTULO II**

### **2 MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 INVESTIGACIONES PREVIAS**

##### **2.1.1 DISEÑO DE UNA PRENSA HIDRÁULICA PARA ELABORAR POCETAS DE ACERO INOXIDABLE**

###### **Introducción**

El Presente trabajo trata del Diseño de una Prensa Hidráulica de 200 toneladas para embutir Pocetas de acero inoxidable y satisfacer la alta demanda de lavaderos que tiene la empresa Delta Prime S.A. En pequeñas industrias que embuten lavaderos, adquieren prensas grandes y usadas: de doble efecto que son para embutición o de simple efecto, las cuales tenían otra función, pero, con espacio necesario entre las columnas para colocar recortes de lámina delgada y carrera del pistón, pueden ser transformadas en prensas para embutir.

Estas son remodeladas adaptándole un sistema de herramienta de doble efecto para prensa de simple efecto, que consta en adaptarle un sistema sujetador al recorte de acero inoxidable que se va a embutir, para, evitar arrugamientos en el pozo y en los bordes. Los sujetadores consisten en una plancha de acero apoyada sobre un sistema de resortes que deben de permitir una presión constante en el recorte durante el proceso de embutición.

Por esta razón los resortes son del tipo colchón de cilindros hidráulicos o neumáticos. Estos aparte permiten tener la presión constante, también permiten regular la presión para diferentes tipos de área y espesor de los recortes.

###### **Conclusiones:**

➤ El Trabajo presentado muestra la capacidad de diseñar una máquina bajo requerimientos específicos. Una Prensa Hidráulica de 200 toneladas con la

suficiente rigidez para embutir una poceta de 300 mm de ancho por 500 mm de largo, 150 mm de profundidad y 0.75 mm espesor. De construcción sencilla, movimientos programados, velocidad variables y precisión de deslizamiento para evitar trabamientos.

➤ Los aceros que se comercializan en el medio permiten desarrollar los elementos o partes de la máquina de manera que estos no ocupen mucho espacio, disminuyendo así el volumen que ocupa la prensa. Ayudando también lo sencillo y factible que es su sistema hidráulico y eléctrico al contar en el medio con empresas que realizan este tipo de montajes.

➤ La construcción de la misma en el medio representa un ahorro de dinero. Siendo el valor de su construcción aproximadamente el 60% del valor de la prensa si la compramos en el extranjero, sin tomar en cuenta el porcentaje que cobra el navío por el traslado de la Prensa.

### **2.1.2 DIAGNÓSTICO SOBRE LA FALLA DE LA ESTRUCTURA DEL DIAGNOSTICENTRO CARDIESEL DOS QUEBRADAS RISARALDA**

#### **Conclusiones:**

➤ El sistema inadecuado de detallado geométrico de la unión cercha-columna, ha generado que varios elementos de la cercha no trabajen a tensión y/o compresión pura, sino que se está presentando un fenómeno de flexo-tracción y/o flexo-compresión que estos elementos no están en condiciones de resistir.

➤ Esto permite concluir que el modelo matemático de la cercha fue analizado independientemente al análisis de la columna, si fue que existió dicho análisis, por lo tanto, al momento de construir no se generaron los respectivos nudos de acople o empalme, presentándose la flexión, más por un problema constructivo que de análisis.

➤ La alta ductilidad de los aceros estructurales, que es una de las grandes ventajas de las estructuras metálicas, se puede ver entorpecida por una mala soldadura como fue el caso de la falla de muchos de los elementos analizados.

- Con el 2.5% demás de acero, con el que se hubiera logrado un mejor detallado de la estructura, como se muestra en los cálculos con la estructura corregida planteada, en la cual los índices de sobreesfuerzos mostrados son casi 4 veces menor a la estructura realmente construida y mal detallada.
- Se presentan en los elementos analizados como críticos, unos índices de sobre esfuerzo superiores a 1, esto indica, que con 1, el material entra en fluencia, pero teniendo en cuenta que algunos de estos elementos sufrieron alargamientos más allá del límite elástico y no presentaron rotura (ya que la falla fue de soldadura), este valor de sobreesfuerzo puede ser indicativo de la ductilidad, o de lo conservador que puede ser el criterio de estimación de las fuerzas de viento en NSR 98.

### **2.1.3 CONSTRUCCIÓN DE UNA PRENSA HIDRÁULICA MANUAL DE 200 TONELADAS**

#### **Introducción:**

El presente trabajo consiste en documentar el desarrollo de la solución de un problema de ingeniería, es decir, el proceso desarrollado desde la identificación del problema hasta la especificación y construcción de la solución.

En el taller de mantenimiento de una Compañía, existía un gato hidráulico manual cuya carga de trabajo es 200 toneladas. Su utilización se remitía exclusivamente a servir de punto de apoyo móvil cuando se realizaba chequeo o reposición de piezas en la parte inferior o en los mandos finales de la maquinaria pesada que trabajaba en la Planta.

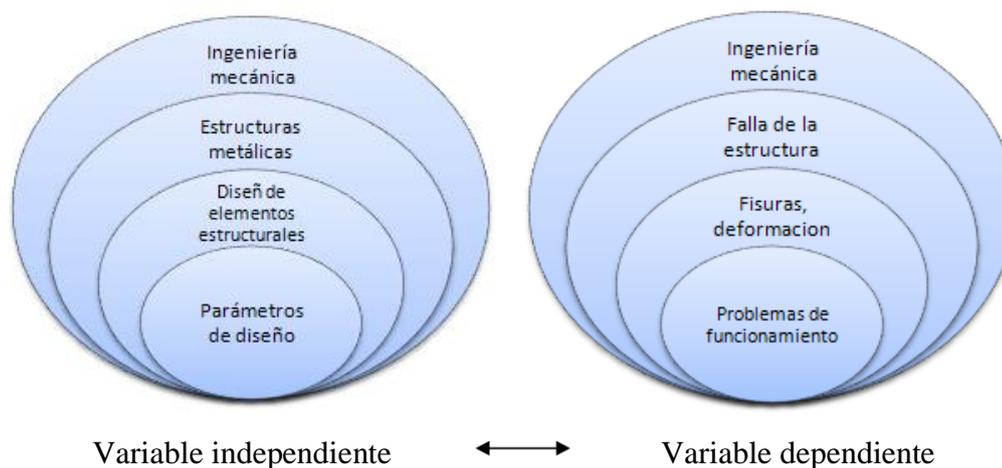
Cuando existían partes mecánicas, las cuales, por la clase de trabajo a que estaban sometidas, necesitaban tener ajuste entre ejes y agujeros de tipo indeterminado, resultaba escabroso el proceso de desacoplamiento de dichos elementos de máquinas, pues se lo hacía mediante golpes, previo calentamiento de las piezas.

Para resolver este problema, se estudió la factibilidad de la construcción de una prensa manual de tal manera que se convierta en una herramienta útil para la operación de montaje y desmontaje de dichos elementos.

## **Conclusiones:**

- Los modelos matemáticos aplicados para el dimensionamiento de los elementos constitutivos de la prensa, están al alcance de los interesados, mediante la aplicación de criterios manejados a través de las teorías de diseño de elementos mecánicos. Todas estas teorías están documentadas en los textos relacionados con el tema. Una muestra puede ser verificada en la bibliografía de este documento.
- Los esfuerzos, calculados mediante las teorías de diseño de elementos mecánicos, son aproximaciones a los esfuerzos reales que soporta la prensa hidráulica. En vista de esto, el diseñador se vio en la necesidad de proteger su trabajo utilizando factores de seguridad mayores a los recomendados para este tipo de estructuras.
- La certificación de la validez de los modelos matemáticos aplicados, fue realizada mediante la aplicación de un programa de computación, a través de la simulación de los efectos de las cargas a las que sería sometida cuando esté operativa la prensa hidráulica. Como se menciona en el punto anterior, el diseño estaba sobredimensionado, comprobándose esto, luego de esta simulación.
- La construcción de la prensa hidráulica fue el proceso que más imprevistos presentó, por lo tanto, el que mayor experiencia proveyó al encargado de la obra. Además en este lapso se tuvo que manejar conceptos de manejo de recursos (tiempo, materiales, mano de obra) y planeación para la eficiente realización de las labores de ejecución de la obra.

## 2.2 CATEGORÍAS FUNDAMENTALES



*Figura 2-1 Red de categorías fundamentales.*

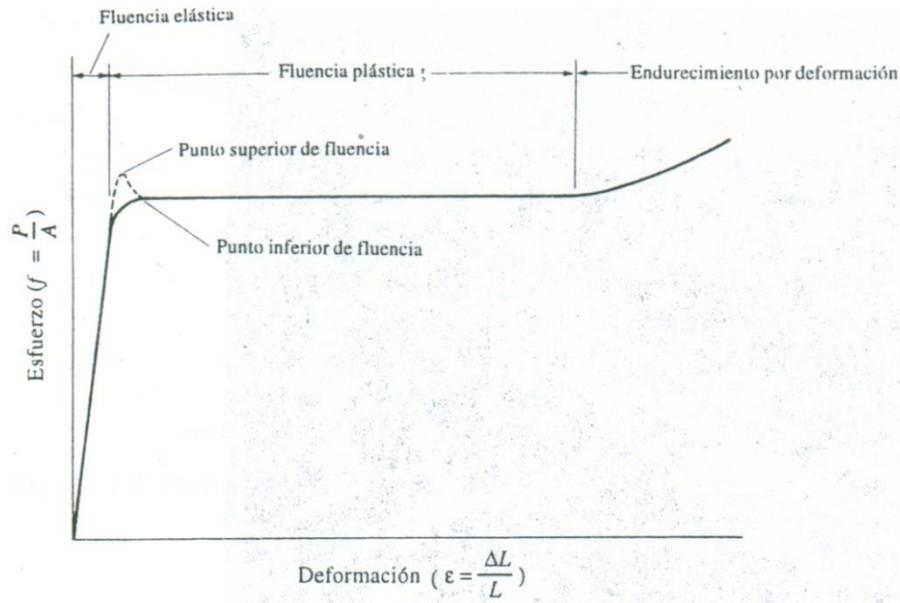
*Fuente: Ciro I. Ortiz H.*

### 2.2.1 RELACIONES ESFUERZO DEFORMACIÓN DEL ACERO

Los diagramas esfuerzo deformación, ofrecen parte de la información necesaria para entender cómo se comporta el acero en una situación. No pueden desarrollarse métodos satisfactorios a menos que se disponga de información completa relativa a las relaciones esfuerzo - deformación del material que se usa.

Si una pieza de acero estructural dulce se somete a una fuerza de tensión, ella comenzará a alargarse. Si se incrementa la fuerza a razón constante, la magnitud del alargamiento aumentará constantemente dentro de ciertos límites. Cuando el esfuerzo de tensión alcance un valor aproximadamente igual a un medio de la resistencia última del acero, el alargamiento comenzará a aumentar más rápidamente sin un incremento correspondiente del esfuerzo.

El mayor esfuerzo para el que todavía es válida la ley de Hooke, o punto más alto de la porción recta del diagrama esfuerzo-deformación (figura 2-2) se denomina *límite proporcional*. El mayor esfuerzo que un material puede resistir sin deformarse permanentemente se llama *límite elástico*. Este valor rara vez se mide y para la mayoría de los materiales estructurales, incluido el acero, es sinónimo del límite proporcional. Por esta razón se usa a veces el término *límite proporcional elástico*.



**Figura 2-2** Diagrama esfuerzo deformación característico de un acero estructural con bajo contenido de carbono.

**Fuente:** (McCormac, 2006)

El esfuerzo en el que se presenta un incremento brusco en el alargamiento o deformación sin un incremento correspondiente en el esfuerzo, se denomina *esfuerzo de fluencia*; corresponde al primer punto del diagrama esfuerzo-deformación para el cual la tangente a la curva es horizontal. El esfuerzo de fluencia es para el proyectista la propiedad más importante del acero, ya que muchos procedimientos de diseño se basan en este valor. Más allá del esfuerzo de fluencia, hay un intervalo en el que ocurre un incremento considerable de la deformación sin incremento del esfuerzo. La deformación que se presenta antes del esfuerzo de fluencia se denomina *deformación elástica*; la deformación que ocurre después del esfuerzo de fluencia, sin incremento del esfuerzo, se denomina *deformación plástica*. Ésta última deformación es generalmente igual en magnitud a 10 o 15 veces la deformación elástica.

La fluencia del acero puede parecer una seria desventaja, pero en realidad es una característica muy útil; con frecuencia ha prevenido la falla de una estructura debido a omisiones o errores del proyectista. Si el esfuerzo en un punto de una estructura de acero dúctil alcanza el esfuerzo de fluencia, esa parte de la estructura fluirá localmente sin incremento en el esfuerzo, impidiendo así una falla

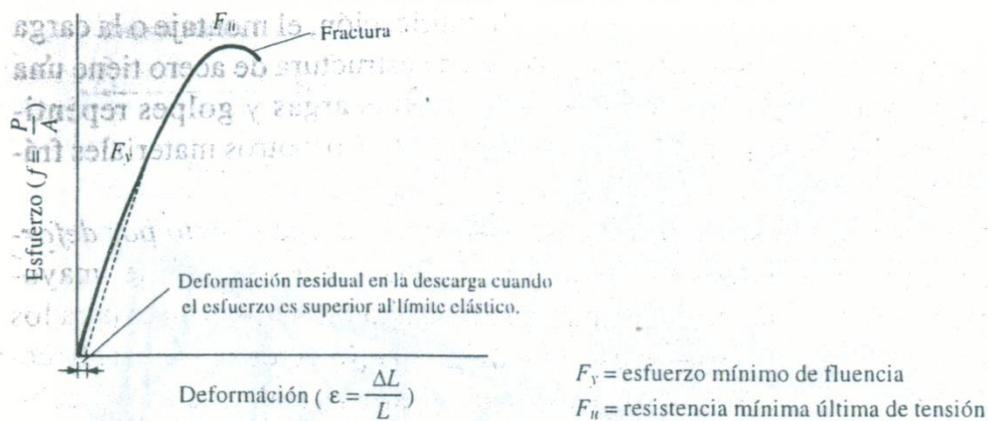
prematura. Esta ductilidad permite que los esfuerzos en una estructura de acero se reajusten. Otra manera de describir este fenómeno es afirmar que los altos esfuerzos causados por la fabricación, el montaje o la carga tienden a igualarse entre sí. También puede decirse que una estructura de acero tiene una reserva de deformación plástica que le permite resistir sobrecargas y golpes repentinos. Si no tuviese esta capacidad se podría fracturar como el vidrio u otros materiales frágiles.

Después de la región plástica se tiene una zona llamada endurecimiento por deformación en la que se requiere esfuerzos adicionales para producir deformaciones mayores, esta porción del diagrama esfuerzo deformación no resulta muy importante para los proyectistas actuales. En la figura 2-3 se muestra un diagrama típico de un acero estructural de bajo contenido de carbono.

La curva esfuerzo deformación en la figura 2-3 es típica de los aceros estructurales dúctiles, y se supone que es la misma para miembros a tensión o a compresión. (Los miembros estructurales a compresión deben ser gruesos ya que los miembros esbeltos sujetos a compresión tienden a flexionarse lateralmente, y sus propiedades se ven afectadas por los momentos que se generan). La forma del diagrama varía con la velocidad de carga, el tipo del acero y con la temperatura. En la figura se muestra dicha variación; la línea interrumpida que incluye el punto de *fluencia superior*, ocurre cuando un acero dulce se carga rápidamente, en tanto que la curva con la *fluencia inferior* se obtiene con una carga lenta.

El acero es una aleación que consiste principalmente en hierro (más del 98%). Contiene también pequeñas cantidades de carbono, silicio, manganeso, azufre, fósforo y otros elementos. El carbono es el elemento que tiene la mayor influencia en las propiedades del acero. La dureza y la resistencia aumentan con el porcentaje de carbono pero desafortunadamente el acero resultante es más frágil y su soldabilidad se ve afectada. Una menor cantidad de carbono hará al acero más suave y dúctil pero también más débil. La adición de cromo, silicio y níquel dan como resultado aceros con resistencias mucho mayores. Esos aceros son apreciablemente más caros y más difíciles de fabricar.

Un diagrama típico esfuerzo – deformación para un acero frágil se muestra en la figura 2-3. Desafortunadamente, la baja ductilidad o fragilidad es una propiedad asociada con la alta resistencia del acero (no necesariamente asociada a los aceros de alta resistencia). Como es conveniente tener a la vez alta resistencia y gran ductilidad, el proyectista tendrá que decidir entre los dos extremos o buscar un término medio entre ellos. Un acero frágil puede fallar repentinamente, sin dar aviso, cuando se sobrecarga y durante el montaje puede fallar debido a los impactos propios de los procedimientos de construcción.



**Figura 2-3** Diagrama esfuerzo deformación característico de un acero frágil.

**Fuente:** (McCormac, 2006)

Los aceros frágiles tienen un intervalo considerable en que el esfuerzo es proporcional a la deformación, pero no tienen un esfuerzo de fluencia claramente definido. Sin embargo, para aplicar muchas de las fórmulas dadas en las especificaciones de diseño de acero estructural, es necesario tener valores definidos del esfuerzo de fluencia independientemente de que los aceros sean dúctiles o frágiles.

Si un miembro de acero dulce se deforma más allá de su límite elástico y luego se descarga, él no retornará a una condición de deformación nula. Al descargarlo, su diagrama esfuerzo deformación unitaria seguirá una nueva trayectoria (indicada con línea punteada en la figura 2-3) paralela a la línea recta inicial. Como consecuencia se tendrá una deformación permanente o residual.

El esfuerzo de fluencia para un acero frágil, se define usualmente como el esfuerzo en el punto de descarga que corresponde a una deformación unitaria residual arbitrariamente definida (un valor comúnmente definido es 0.002). En otras palabras, se incrementa la deformación unitaria en una cantidad específica y se dibuja una línea por ese punto paralela a la porción recta del diagrama esfuerzo – deformación unitaria, hasta que la nueva línea interseca a la curva del diagrama. Esta intersección representa el esfuerzo de fluencia para esa deformación particular. Si se usa 0.002, se dice que la intersección es el esfuerzo de fluencia para una deformación unitaria desplazada de 0.2%.

### **2.2.2 ROTURA (Castiller, 1998)**

#### **Introducción**

La rotura de los materiales de ingeniería es casi siempre un hecho no deseado por varias razones; entre estas cabe resaltar las posibles pérdidas de vidas humanas las pérdidas materiales y su incidencia en el suministro de productos y servicios. Aún cuando las causas de la rotura y el comportamiento de los materiales sean conocidos, la prevención de las roturas es muy difícil de garantizar.

Las causas usuales son la selección y la conformación inapropiados de los materiales, el diseño inadecuado del componente, o bien su mala utilización en servicio.

Es responsabilidad del ingeniero realizar planes de contingencia para el caso de una posible rotura y, si esta ocurre, estudiar su causa tomar las medidas preventivas apropiadas contra futuros incidentes.

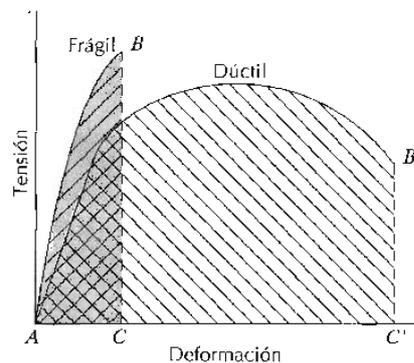
### **2.2.3 FRACTURA (Castiller, 1998)**

#### **Fundamentos de fractura**

La fractura siempre es la separación de un cuerpo en dos o más piezas en respuesta a una tensión aplicada estática (es decir, constante o que cambia lentamente con el tiempo) y a temperaturas que son relativamente bajas en comparación con la temperatura de fusión del material. La tensión aplicada puede

ser de tracción, compresión, cizalladura o torsión; el estudio presente está restringido a fracturas que resultan de cargas de tracción uniaxiales. En los materiales de ingeniería, existen dos tipos de fractura: dúctil y frágil.

La clasificación está basada en la capacidad del material para experimentar deformación plástica. Los materiales dúctiles exhiben normalmente deformación plástica substancial con muy alta absorción de energía antes de la fractura. Por otro lado, en la rotura frágil existe normalmente poca o ninguna deformación plástica con poca absorción de energía en el proceso de rotura. Las curvas esfuerzo - deformación de ambos tipos de material han sido presentadas en la figura 2-4.



Tanto  $l_f$  como  $A_f$  se miden después de la rotura, volviéndose a colocar juntas las dos piezas resultantes.

**Figura 2-4** Representación esquemática de los diagramas de tracción de los materiales frágiles, y dúctiles ensayados hasta la fractura.

*Fuente: (Castiller, 1998)*

“Dúctil” y “Frágil” son términos relativos; si una fractura particular es considerada de un tipo u otro depende de la situación. La ductilidad puede ser cuantificada en términos de porcentaje de alargamiento (Ecuación 2-1) y el porcentaje de reducción de área (Ecuación 2-2). La ductilidad también es una función de la temperatura, la velocidad de deformación, y el estado de tensiones.

$$\%EL = \left( \frac{l_f - l_0}{l_0} \right) * 100 \quad \text{Ecuación 2-1}$$

$$\%AR = \left( \frac{A_0 - A_f}{A_0} \right) * 100 \quad \text{Ecuación 2-2}$$

Cualquier proceso de fractura está compuesto de dos etapas – la formación y la propagación de una fisura – en respuesta a una tensión aplicada. El modo de fractura depende mucho del mecanismo de propagación de la grieta. La fractura dúctil se caracteriza por la existencia de mucha deformación plástica en la vecindad de la grieta que avanza.

Además, el proceso tiene lugar lentamente a medida que la grieta se extiende. Una grieta de este tipo se suele decir que es *estable*. Es decir, se resiste a su extensión a menos que se aumente la tensión aplicada. Además, hay evidencia de deformación plástica apreciable en las superficies de fractura (por ejemplo, retorcimiento y desgarre). Por el contrario, en el caso de la fractura frágil, las grietas pueden extenderse de forma muy rápida, con muy poca deformación plástica.

La fractura dúctil es siempre preferida por dos razones. En primer lugar, la fractura frágil ocurre en forma súbita y catastrófica sin ningún síntoma previo; esto es consecuencia de la propagación rápida y espontánea de la grieta.

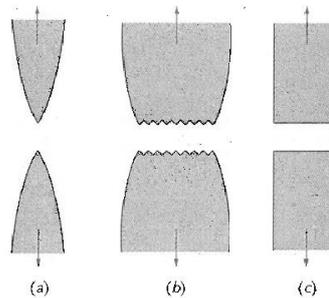
Además, en el caso de fractura dúctil la presencia de deformación plástica es un síntoma de que la fractura es inminente, siendo así posible tomar medidas preventivas. En segundo lugar, para inducir la fractura dúctil se requiere más energía de deformación ya que los materiales dúctiles generalmente son más tenaces. Bajo la acción de una tensión aplicada, la mayoría de los metales son dúctiles, mientras que las cerámicas son normalmente frágiles y los polímeros pueden exhibir ambos tipos de fractura.

### **2.2.3.1 Fractura dúctil**

Las superficies de fractura dúctiles tienen sus propios rasgos tanto a nivel macroscópico como microscópico. La figura 2-5 muestra esquemáticamente dos perfiles macroscópicos característicos de fractura.

La configuración mostrada en la figura 2-5(a) se encuentra en metales muy blandos, tales como oro y plomo a temperatura ambiente y en otros metales, polímeros y vidrios inorgánicos a temperaturas elevadas, estos materiales son muy

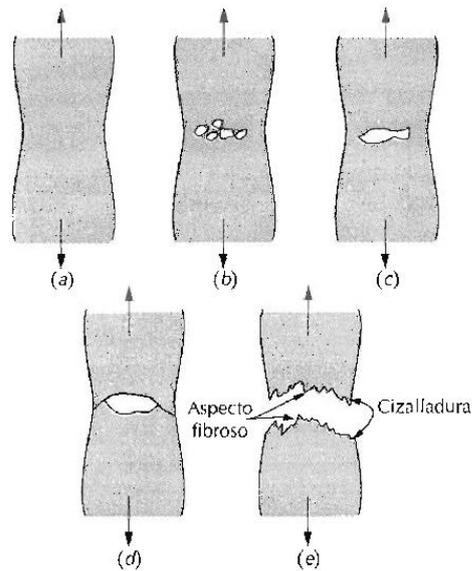
dúctiles y se rompen cuando la estricción se reduce prácticamente a un punto, presentando una reducción de área virtualmente igual al 100%.



**Figura 2-5(a) Fractura muy dúctil en la cual la probeta se estiriona hasta llegar a un punto. (b) Fractura moderadamente dúctil después de cierta estricción. (c) Fractura frágil sin ninguna deformación plástica.**

**Fuente:(Castiller, 1998)**

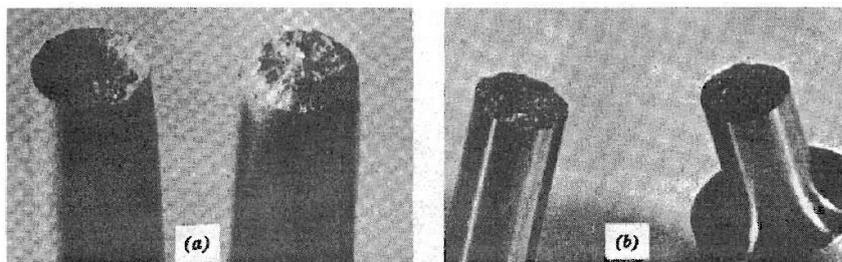
El tipo más común de perfil de fractura a tracción en los materiales dúctiles es el representado en la figura 2-5(b), en el cual la fractura es precedida por sólo una cantidad moderada de estricción. El proceso de fractura normalmente ocurre en varias etapas (figura 2-6). En primer lugar después de iniciarse la estricción, se forman pequeñas cavidades, o microcavidades, en el interior de la sección, tal como se indica en la figura 2-6(b). A continuación a medida que la deformación aumenta, estas microcavidades se hacen mayores, se juntan y coalescen para formar una grieta elíptica, la cual tiene su eje mayor perpendicular a la dirección de la fuerza aplicada. La grieta continua creciendo en una dirección paralela a su eje mayor mediante este proceso de coalescencia de microcavidades (Figura 2-6c). Finalmente se produce la fractura por la rápida propagación de una grieta alrededor del perímetro exterior de la estricción (Figura 2-6d), por deformación de cizalladura formando un ángulo de alrededor de  $45^\circ$  con respecto al eje de tracción, o sea, el ángulo en el cual la tensión de cizalladura es máxima. Algunas veces, una fractura que tiene este contorno característico se denomina *fractura copa – cono* debido a que una de las superficies tiene la forma de una copa y la otra la de un cono. En este tipo de fractura (Figura 2-7a), la región interior central de la superficie tiene un aspecto fibroso e irregular, lo cual es un indicio de la deformación plástica.



**Figura 2-6** Etapas en la estructura copa-cono (a) Estricción inicial. (b) Formación de pequeñas cavidades. (c) Fractura final por cizallamiento a un ángulo de 45° respecto a la dirección de la tensión.

**Fuente:** (Castiller, 1998)

A partir del examen microscópico, normalmente utilizando microscopía electrónica, actualmente se conocen con mucho detalle los mecanismos de fractura. Los estudios de este tipo se denominan *fractografía*. El microscopio electrónico es el instrumento más adecuado para el examen fractográfico debido a que tiene mayor resolución y mayor profundidad de campo que el microscopio óptico; estas características son necesarias para revelar los detalles topográficos de las superficies de la fractura. Normalmente se utiliza el microscopio electrónico de barrido (SEM), en el cual la probeta es observada directamente.



**Figura 2-7** (a) Fractura copa-cono en el aluminio. (b) Fractura frágil en un acero bajo en carbono.

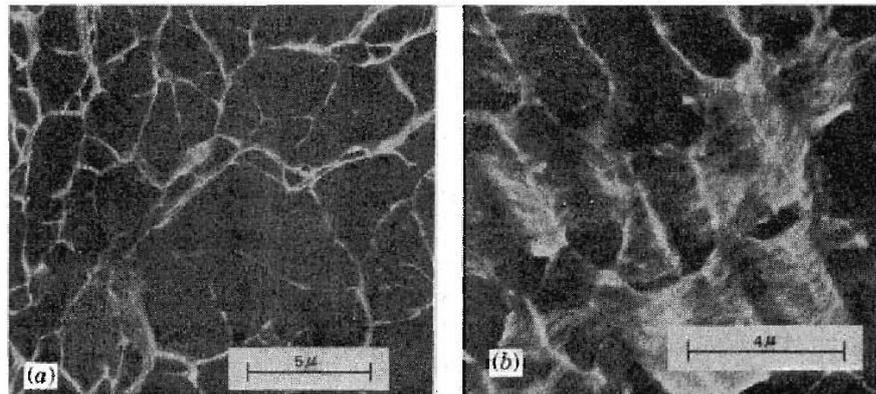
**Fuente:** (Castiller, 1998)

Cuando se examina con el microscopio electrónico a alta amplificación, se encuentra que la región central fibrosa de una fractura copa – cono consiste en numerosos “hoyuelos” (Figura 2-8a); ésta estructura es característica de la fractura que resulta de rotura a tracción uniaxial.

Cada hoyuelo es la mitad de una de las microcavidades que se formaron y que se separan durante el proceso de fractura. Los hoyuelos también se forman sobre los labios de cizalladura inclinados  $45^\circ$  en la fractura copa–cono. Sin embargo, éstos tienen forma alargada o forma de C, tal como se muestra en la figura 2-8(b). Ésta forma parabólica puede ser indicativa de la rotura por cizalladura.

También es posible observar otros detalles microscópicos de la superficie de fractura.

Las fractografías mostradas en la figuras 2-8(a) y 2-8(b) proporcionan información valiosa en el análisis de las roturas, tales como el modo de fractura, el estado tensional, así como el lugar de iniciación de la grieta.



*Figura 2-8(a) Fractografía electrónica de barrido mostrando las cavidades características de la fractura dúctil originadas por cargas axiales. (b) Fractografía electrónica de barrido mostrando las cavidades parabólicas características de la fractura dúctil originadas por cargas de cizalladura.*

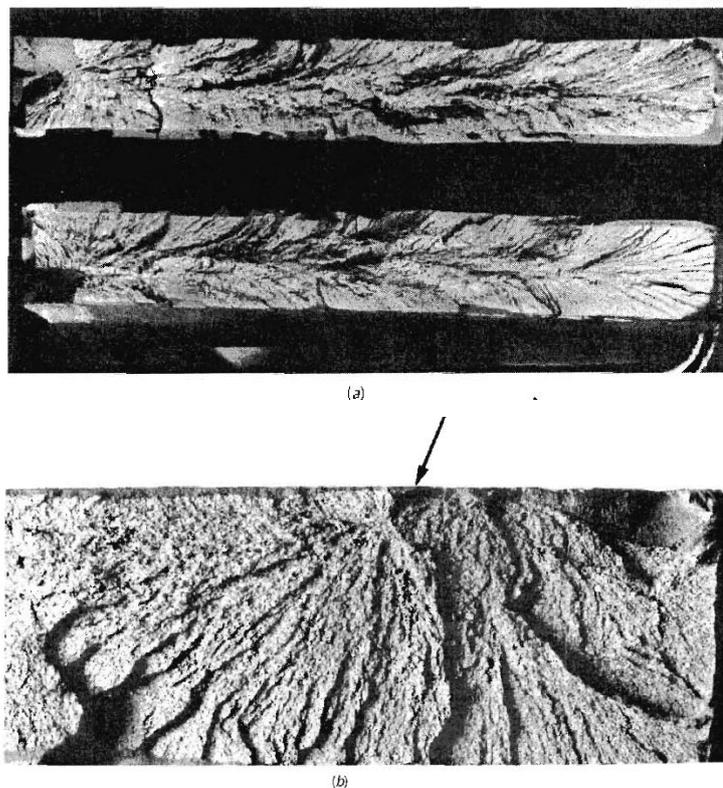
*Fuente: (Castiller, 1998)*

### **2.2.3.2 Fractura frágil**

La fractura frágil ocurre sin apreciable deformación plástica, y por propagación rápida de una grieta. La dirección del movimiento de la grieta es casi

perpendicular a la dirección de la tensión aplicada y produce una superficie de fractura relativamente plana, tal como está indicado en la figura 2-5(c).

Las superficies de fractura de materiales que se han roto de una manera frágil tienen sus propios detalles característicos; cualquier signo de deformación plástica importante está ausente. Por ejemplo, en algunas piezas de acero, una serie de marcas en forma de V se forman cerca del centro de la sección de fractura que apuntan hacia el lugar de iniciación (Figura 2-9a). Otras superficies de fractura frágiles contienen líneas de crestas que irradian desde el origen de la grieta en una forma similar a un abanico (Figura 2-9b). A menudo ambos tipos de líneas son suficientemente gruesas para ser discernibles a simple vista. Para metales muy duros y de tamaño de grano muy pequeño, no es posible discernir ninguna distribución de marcas de fractura. La fractura frágil en materiales amorfos, tales como vidrios cerámicos, produce una superficie lisa y brillante.



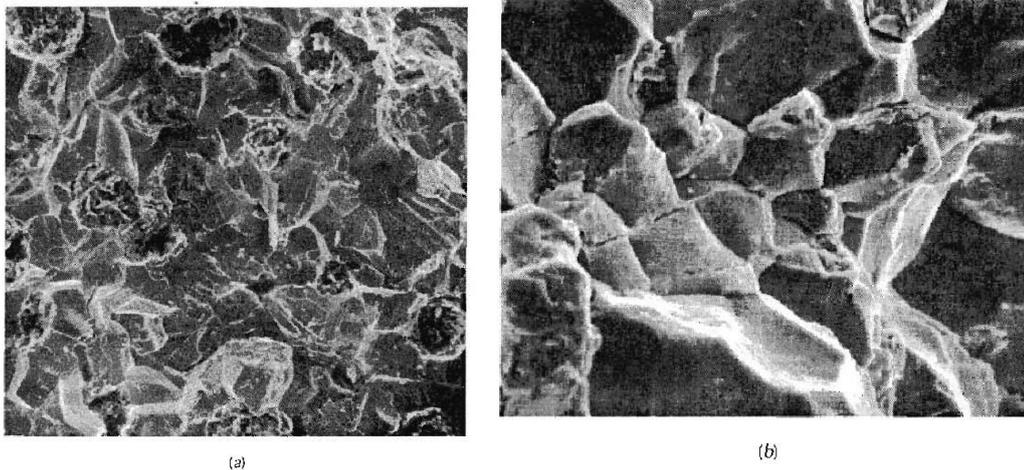
*Figura 2-9 (a) Fractografía mostrando marcas en forma de V invertida con salientes y entrantes características de la fractura frágil.*

*Fuente:(Castiller, 1998)*

En la mayoría de los materiales cristalinos frágiles, la propagación de la grieta corresponde a la sucesiva y repetida rotura de enlaces atómicos a lo largo de planos cristalográficos; tal proceso se denomina *descohesión*. Este tipo de fractura se dice que es transgranular (o transcristalina), debido a que las grietas pasan a través de los granos. Macroscópicamente, la superficie de fractura puede tener una textura granular o de facetas (figura 2-7b), como resultado de cambios en la orientación de los planos de descohesión de un grano a otro. Este fenómeno es más evidente en la micrografía mostrada en la figura 2-10(a) obtenida por microscopía electrónica de barrido.

En algunas aleaciones, la propagación de la grieta ocurre a lo largo de los bordes del grano; esta fractura se denomina fractura intergranular.

La figura 2-10(b) es una micrografía obtenida por microscopía electrónica de barrido mostrando una fractura intergranular típica, en la cual se puede apreciar la naturaleza tridimensional de los granos. Este tipo de fractura normalmente se produce después de un proceso que debilita o fragiliza las regiones de los bordes de grano.



**Figura 2-10(a) Fractografía electrónica de barrido de una fundición dúctil de hierro mostrando una superficie de fractura transgranular. (b) Fractografía electrónica de barrido mostrando una superficie de fractura intergranular.**

*Fuente:(Castiller, 1998)*

#### **2.2.4 PRINCIPIOS DE MECÁNICA DE LA FRACTURA**

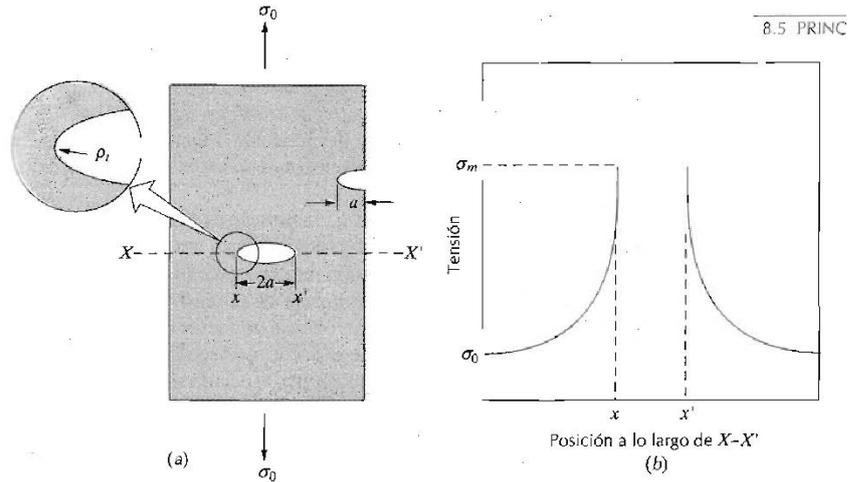
La fractura frágil de materiales normalmente dúctiles, ha puesto de manifiesto la necesidad de un mejor conocimiento de la mecánica de la fractura. Las extensas investigaciones realizadas en las pasadas décadas han conducido a la evolución del campo de la mecánica de la fractura. El conocimiento adquirido permite la cuantificación de la relación entre las propiedades de los materiales, los niveles de tensión, la presencia de defectos que producen grietas. Los ingenieros proyectistas están ahora mejor equipados para anticipar, por tanto, prevenir las roturas de las estructuras.

#### **2.2.5 CONCENTRACIÓN DE TENSIONES**

La resistencia a la fractura de un material sólido es una función de las fuerzas cohesivas que existen entre los átomos. Sobre esta base, la resistencia cohesiva teórica de un sólido elástico frágil ha sido estimada y es aproximadamente igual a  $E/10$ , donde  $E$  es el módulo de elasticidad. La resistencia a la fractura experimental de la mayoría de los materiales de ingeniería normalmente es entre 10 y 1000 veces menor que el valor teórico.

En la década de los años veinte, A. Griffith propuso que esta discrepancia entre la resistencia cohesiva teórica y la resistencia a rotura observada podría ser explicada por la presencia de grietas microscópicas muy pequeñas, las cuales siempre existen en condiciones normales en la superficie y en el interior de una pieza de material. Estos defectos van en detrimento de la resistencia a la fractura debido a que una tensión aplicada puede ser amplificada o concentrada en la punta del defecto, en un grado que depende de la orientación de la grieta y de la geometría. Este fenómeno se indica en la figura 2-11, donde se muestra el perfil de la tensión a través de la sección que contiene una grieta.

Tal como se ilustra este perfil, la magnitud de la tensión localizada disminuye con la distancia a la punta de la grieta. En las posiciones muy alejadas, la tensión es exactamente la tensión nominal  $\sigma_0$ , o sea, la carga dividida por el área de la sección. Debido a la capacidad para amplificar en sus alrededores a una tensión aplicada, estos defectos se denominan a veces concentradores de tensión.



**Figura 2-11(a) Geometría de grietas superficiales e internas. (b) Perfil esquemático de la tensión a lo largo de la línea x-x` en (a), mostrando la amplificación de la tensión en las posiciones cercanas a las puntas de la grieta.**

**Fuente:(Castiller, 1998)**

Si se supone que la grieta tiene una forma elíptica y está orientada con su eje mayor perpendicular a la tensión aplicada, la tensión máxima en el extremo de la grieta,  $\sigma_m$ , puede ser aproximada por.

$$\sigma_m = 2\sigma_0 \left(\frac{a}{\rho_t}\right)^{1/2} \quad \text{Ecuación 2-3}$$

Donde  $\sigma_0$  es la magnitud de la tensión nominal aplicada,  $\rho_t$  es el radio de curvatura de la punta de la grieta (Figura 2-11a), y  $a$  representa la longitud de una grieta superficial, o bien la mitad de la longitud de una grieta interna.

Así para una microgrieta relativamente larga que tiene un radio de curvatura pequeño, el factor  $(a/\rho_t)^{1/2}$  puede ser muy grande. Esto dará un valor de  $\sigma_m$  muchas veces mayor que  $\sigma_0$ .

A menudo el cociente  $\sigma_m/\sigma_0$  se denomina *factor de concentración de tensiones*  $K_t$ .

$$K_t = \frac{\sigma_m}{\sigma_0} = 2 \left(\frac{a}{\rho_t}\right)^{1/2} \quad \text{Ecuación 2-4}$$

El cual es simplemente una medida del grano con que una tensión externa es amplificada en el extremo de una grieta pequeña.

Adicionalmente se puede decir que la amplificación de la tensión no está restringida a estos defectos microscópicos; puede ocurrir en discontinuidades internas macroscópicas (por ejemplo agujeros), en ángulos vivos y en entallas en estructuras grandes. La figura 2-11 muestra las curvas de factores de concentración de tensiones teóricos para varios componentes sencillos y comunes.

Además, el efecto de un concentrador de tensión es más significativo en materiales frágiles que en materiales dúctiles.

Para un material dúctil ocurre deformación plástica cuando la tensión máxima excede al límite elástico. Esto conduce a una distribución uniforme de la tensión en la vecindad del concentrador de tensiones y al desarrollo de un factor de concentración de tensiones máximo que es menor que el valor teórico. Esta fluencia plástica del material y la redistribución de tensiones asociadas no ocurre en absoluto alrededor de los efectos y discontinuidades en los materiales frágiles; por consiguiente, la tensión que resulta es la teórica.

Griffith propuso que en todos los materiales frágiles existe una población de fisuras y defectos pequeños que tienen una variedad geometrías y orientaciones. Al aplicar un esfuerzo de tracción, la rotura ocurrirá cuando la resistencia cohesiva teórica del material sea superada en la punta de uno de los defectos. Esto conduce a la formación de una grieta que entonces se propaga rápidamente. Si no existieran defectos, la resistencia a la fractura sería igual a la resistencia cohesiva del material. Filamentos metálicos y cerámicos muy pequeños (“whiskers”), crecidos prácticamente libres de defectos, tienen resistencias a la fractura que están próximas a sus valores teóricos.

### **2.2.6 LA INSPECCIÓN VISUAL**

La inspección visual es la técnica más antigua entre los Ensayos No Destructivos, y también la más usada por su versatilidad y su bajo costo.

En ella se emplea como instrumento principal, el ojo humano, el cual es complementado frecuentemente con instrumentos de magnificación, iluminación y medición.

Esta técnica es, y ha sido siempre un complemento para todos los demás Ensayos No Destructivos, ya que menudo la evaluación final se hace por medio de una inspección visual.

No se requiere de una gran capacitación para realizar una inspección visual correcta, pero los resultados dependerán en buena parte de la experiencia del inspector, y de los conocimientos que éste tenga respecto a la operación, los materiales y demás aspectos influyentes en los mecanismos de falla que el objeto pueda presentar.

Aunque no es regla general, algunas normas como las ASME y las AWS, exigen una calificación y certificación del personal que realiza la prueba de Inspección Visual, en donde se tienen muy en cuenta las horas de experiencia del individuo a certificar y la agudeza visual (corregida o natural) que éste pueda certificar.

Dentro de las normas de certificación de personal que involucran este ensayo se encuentran la ISO-9712 y la ANSI/ASNT CP-189.

Según los instrumentos que se utilicen como ayuda a la visión, y la distancia (o el acceso) que se tenga entre el inspector y el objeto de estudio, la Inspección Visual se puede dividir en dos grupos:

- Inspección Visual Directa
- Inspección Visual Remota

En la primera, la inspección se hace a una distancia corta del objeto, aprovechando al máximo la capacidad visual natural del inspector. Se usan lentes de aumento, microscopios, lámparas o linternas, y con frecuencia se emplean instrumentos de medición como calibradores, micrómetros y galgas para medir y clasificar las condiciones encontradas.

La inspección visual remota se utiliza en aquellos casos en que no se tiene acceso directo a los componentes a inspeccionar, o en aquellos componentes en los cuales, por su diseño, es muy difícil ganar acceso a sus cavidades internas.

## **2.2.7 LA PRENSA HIDRÁULICA**

### **Introducción**

La máquina utilizada para la mayoría de las operaciones de trabajo en frío y algunos en caliente, se conoce como prensa. Consiste de un bastidor que sostiene una bancada y un ariete, una fuente de potencia, y un mecanismo para mover el ariete linealmente y en ángulos rectos con relación a la bancada.

Una prensa debe estar equipada con matrices y punzones, diseñada para ciertas operaciones específicas. La mayoría de operaciones de formado, punzonado y cizallado, se pueden efectuar en cualquier prensa normal si se usan matrices y punzones adecuados. Las prensas tienen capacidad para la producción rápida, puesto que el tiempo de operación es solamente el que necesita para una carrera del ariete, mas el tiempo necesario para alimentar el material. Por consiguiente se pueden conservar bajos costos de producción.

Tiene una adaptabilidad especial para los métodos de producción en masa, como lo evidencia su amplia aplicación en la manufactura de piezas para automóviles y aviones, artículos de ferretería, juguetes y utensilios de cocina.

### **2.2.7.1 Tipos de prensas y su clasificación**

No es muy correcto llamar a una prensa, prensa dobladora, prensa de repujado, o prensa cortadora, entre otras, pues los tres tipos de operaciones se pueden hacer en una máquina.

A algunas prensas diseñadas especialmente para un tipo de operación, se le puede conocer por el nombre de la operación, prensa punzonadora o prensa acuñadora. La clasificación está en relación a la fuente de energía, ya sea operada manualmente o con potencia. Las máquinas operadas manualmente se usan para trabajos en lámina delgada de metal, pero la mayor parte de maquinaria para producción se opera con potencia.

Otra forma de agrupar a las prensas, está en función del número de arietes o los métodos para accionarlos.

Los tipos más generales de clasificación de prensas son los siguientes:

- Fuente de energía
- Manual
- Potencia
- Mecánica
- Vapor, gas, neumática.
- Hidráulica
- Ariete
- Vertical de simple efecto
- Vertical de doble efecto
- En cuatro correderas
- De configuración especial
- Diseño del bastidor
- De banco
- Inclinable
- De escote
- De puente
- De costados rectos
- Yunque
- Columna
- Métodos de aplicación de potencia al ariete
- Manivela
- Leva
- Excéntrica
- Tornillo de potencia
- Cremallera y piñón
- Junta articulada
- Hidráulica
- Palanca acodillada
- Neumática
- Propósito de la prensa
- Cizallas de escuadra
- Cizallas de círculo
- Dobladora
- Punzonado
- Extruido
- Empalmado
- Enderezado
- Forzado
- Acuñado
- De transferencia

- Roedora
- Estirado
- Revólver
- Forja

Para seleccionar el tipo de prensa a usar en un trabajo dado, se deben considerar:

El tipo de operación a desarrollar, tamaño de la pieza, potencia requerida, y la velocidad de la operación. Para la mayoría de las operaciones de punzonado, recortado y desbarbado, se usan generalmente prensas del tipo manivela o excéntrica. En estas prensas, la energía del volante se puede transmitir al eje principal, ya sea directamente o a través de un tren de engranes. La prensa de junta articulada se ajusta idealmente a las operaciones de acuñado, prensado o forja. Tienen una carrera corta y es capaz de imprimir una fuerza extrema.

#### **2.2.7.2 Tipos de prensas para doblar**

- Prensa para doblado de soportes
- Prensa con dos columnas de guía para doblado en U
- Prensa para doblado múltiple
- Prensa con matriz giratoria
- Prensa con punzones oscilantes
- Prensa con matrices móviles
- Prensa con dispositivo auto alimentador

#### **2.2.8 CLASIFICACIÓN DE TROQUELES**

Herramienta empleada para dar forma a materiales sólidos, y en especial para el estampado de metales en frío.

En el estampado se utilizan los troqueles en pares. El troquel más pequeño, o cuño, encaja dentro de un troquel mayor, o matriz. El metal al que va a darse forma, que suele ser una lámina o una pieza en bruto recortada, se coloca sobre la

matriz en la bancada de la prensa. El cuño se monta en el pistón de la prensa y se hace bajar mediante presión hidráulica o mecánica.

En las distintas operaciones se emplean troqueles de diferentes formas. Los más sencillos son los troqueles de perforación, utilizados para hacer agujeros en la pieza. Los troqueles de corte se utilizan para estampar una forma determinada en una lámina de metal para operaciones posteriores.

Los troqueles de flexión y doblado están diseñados para efectuar pliegues simples o compuestos en la pieza en bruto. Los troqueles de embutir se emplean para crear formas huecas. Para lograr una sección reducida en una parte hueca, como el cuello de un cartucho de fusil, se utilizan troqueles reductores especiales. Cuando la pieza terminada debe tener una protuberancia en la parte inferior o central suelen emplearse troqueles hidráulicos. En éstos el cuño se sustituye por un pistón que introduce en la pieza agua o aceite a presión, lo que obliga al metal a doblarse hacia fuera contra la matriz. Los troqueles de rebordeado forman un reborde curvo en piezas huecas.

Un tipo especial de troquel de rebordeado, llamado troquel de costura con alambre, enrolla firmemente los bordes externos del metal alrededor de un alambre que se inserta para dar resistencia a la pieza.

Los troqueles combinados están diseñados para realizar varias de las operaciones descritas en un único recorrido de la prensa; los troqueles progresivos permiten realizar diversas operaciones sucesivas de modelado con el mismo troquel. En la acuñación de monedas se obliga al metal a pasar entre dos troqueles coincidentes, en los que figura un hueco/grabado del dibujo que debe formarse en la moneda.

#### **2.2.8.1 Troqueles para doblar y curvar (tipos y formas)**

Dos tipos:

- Punzón y matriz en troquel para doblar
- Punzón y matriz para troquel

En el primer caso es para chapa estándar que necesita ser doblada (de gran longitud). La segunda es para piezas de longitud limitada usando una matriz de igual forma para ello. En el principio de la operación el fenómeno de flexión.

En una misma chapa pueden efectuarse varios doblados pero por cada operación debe limpiarse la estampa (eliminación de cascarilla). Durante el doblado la pieza debe permanecer inmóvil para evitar un doblado desfasado.

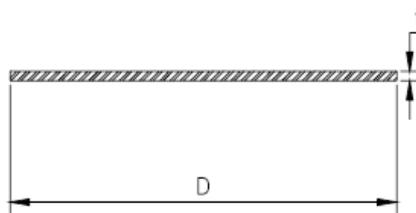
### 2.2.9 TIPOS DE TAPAS

Para “cerrar” recipientes cilíndricos, existen varios tipos de tapas, entre otras tenemos las siguientes: Tapas planas, planas con ceja, únicamente abombadas, abombadas con ceja invertida, toriesféricas, semielípticas, semiesféricas, etc.

Las características principales y usos de estas tapas son:

#### 2.2.9.1 Tapas planas

Se utilizan para “cerrar” recipientes sujetos a presión atmosférica generalmente, aunque en algunos casos se usan también en recipientes sujetos a presión. Su costo entre las tapas es el más bajo, se utilizan también como fondos de tanques de almacenamiento de grandes dimensiones.

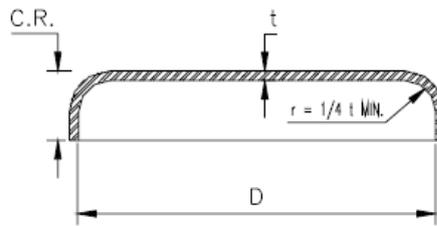


*Figura 2-12 Tapa plana.*

*Fuente: (Estrada, 2001)*

#### 2.2.9.2 Tapas planas con ceja

Al igual que las anteriores, se utilizan generalmente para presiones atmosféricas, su costo también es relativamente bajo, y tienen un límite dimensional de 6 metros de diámetro máximo.

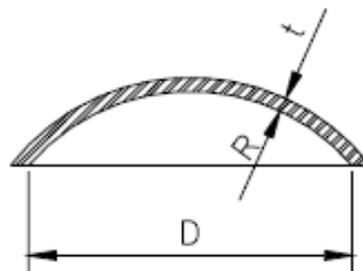


**Figura 2-13**Tapa con ceja.

*Fuente:(Estrada, 2001)*

### 2.2.9.3 Tapas únicamente abombadas

Son empleadas en recipientes a presión manométrica relativamente baja, su costo puede considerarse bajo, sin embargo, si se usan para soportar presiones relativamente altas, será necesario analizar la concentración de esfuerzos generada al efectuar un cambio brusco de dirección.

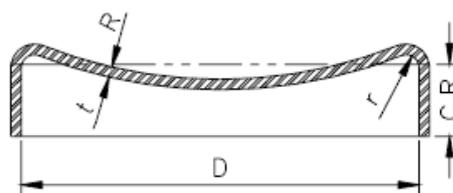


**Figura 2-14**Tapa únicamente abombada.

*Fuente:(Estrada, 2001)*

### 2.2.9.4 Tapas abombadas con ceja invertida

Su uso es limitado debido a su difícil fabricación, por lo que su costo es alto, siendo empleadas solamente en casos especiales.

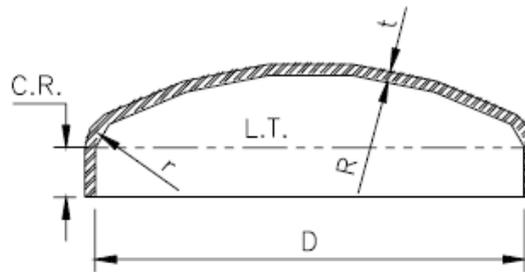


**Figura 2-15**Tapa abombada con ceja invertida.

*Fuente:(Estrada, 2001)*

### 2.2.9.5 Tapas toriesféricas

Son las que mayor aceptación tienen en la industria, debido a su bajo costo y a que soportan altas presiones manométricas, su característica principal es que el radio de abombado es aproximadamente igual al diámetro. Se pueden fabricar en diámetros desde 0.3 hasta 6 metros.



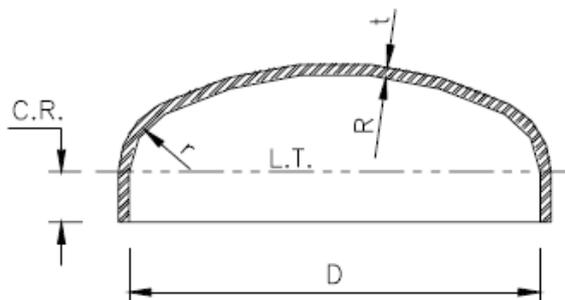
*Figura 2-16 Tapa toriesféricas.*

*Fuente: (Estrada, 2001)*

### 2.2.9.6 Tapas semielípticas

Son empleadas cuando el espesor calculado de una tapa toriesféricas es relativamente alto, ya que las tapas semielípticas soportan mayores presiones que las toriesféricas.

El proceso de fabricación de estas tapas es el troquelado, su silueta describe una elipse relación 2:1, su costo es alto y en México se fabrican hasta un diámetro máximo de 3 metros.

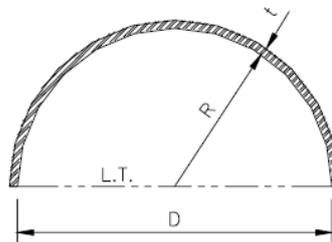


*Figura 2-17 Tapa semielíptica.*

*Fuente: (Estrada, 2001)*

### 2.2.9.7 Tapas semiesféricas

Utilizadas exclusivamente para soportar presiones críticas. Como su nombre lo indica, su silueta describe una media circunferencia perfecta, su costo es alto y no hay límite dimensional para su fabricación.



*Figura 2-18 Tapa semiesférica.*

*Fuente: (Estrada, 2001)*

### 2.2.10 EMBUTIDO (Groover, 1997)

El embutido es una operación de formado de láminas metálicas que se usa para hacer piezas de forma acopada, de caja y otras formas huecas más complejas. Se realiza colocando una lámina de metal sobre la cavidad de un dado y empujando el metal hacia la cavidad de éste con un punzón, como se muestra en la figura 2-19. La forma debe aplanarse contra el dado con un sujetador de formas. Las piezas comunes que se hacen por embutido son latas de bebidas, casquillos de municiones, lavabos, utensilios de cocina y partes para carrocería de automóviles.

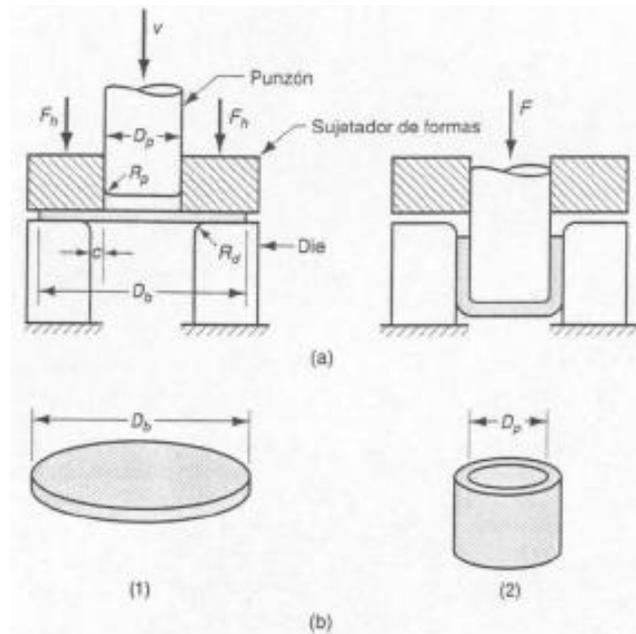
#### 2.2.10.1 Mecánica del embutido

El embutido de partes acopadas es la operación básica de embutido. Con las dimensiones y los parámetros que se muestran en la figura 2-19 examinaremos los parámetros de la operación y la mecánica de la ejecución del embutido. Se embute un disco de diámetro  $D_b$  dentro de un dado por medio de un punzón de diámetro  $D_p$ . El punzón y el dado deben tener un radio en las esquinas determinado por  $R_p$  y  $R_d$ . Si el punzón y el dado tienen esquinas agudas ( $R_p$  y  $R_d = 0$ ), se realizará una operación de perforado de un agujero en lugar de una operación de embutido. Los lados del punzón y del dado están separados por un claro  $c$ . Este claro es aproximadamente 10% mayor que el espesor del material en embutido.

$$c = 1.1t$$

**Ecuación 2-5**

El punzón aplica una fuerza hacia abajo  $F$  para realizar la deformación del metal y el sujetador de partes o de formas aplica una fuerza de sujeción hacia abajo  $F_h$ , como se muestra en el diagrama.



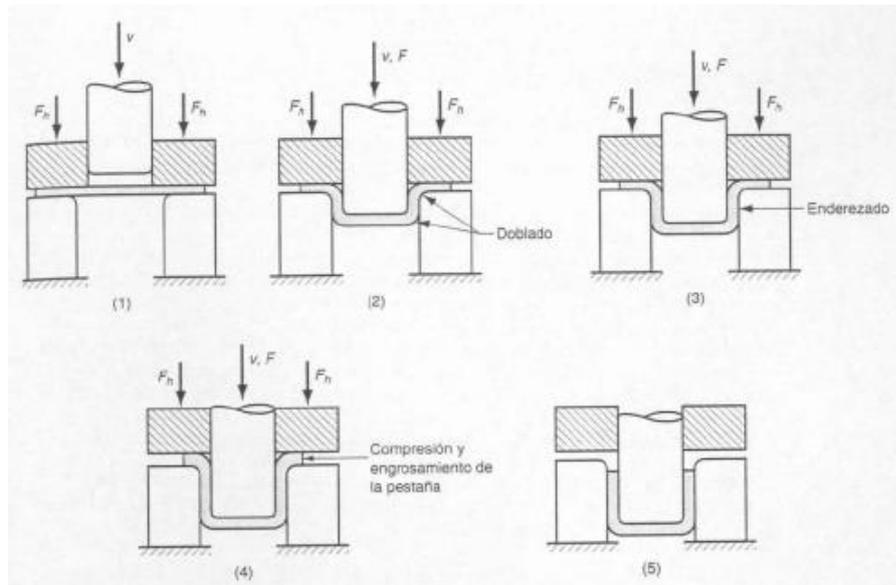
**Figura 2-19(a) Embutido de una parte acopada: (1) inicio de la operación antes de que el punzón toque el trabajo y (2) cerca del fin de la carrera; y (b) piezas de trabajo correspondientes: (1) forma inicial y (2) parte embutida. Los símbolos indican:  $c$  = claro,  $D_b$  = diámetro de la forma inicial,  $D_p$  = diámetro del punzón,  $R_d$  = radio de la esquina del dado,  $R_p$  = radio de la esquina del punzón,  $F$  = fuerza de embutido,  $F_h$  = fuerza de sujeción.**

**Fuente: (Groover, 1997)**

Conforme el punzón se recoge hacia abajo, hasta su posición final, la pieza de trabajo experimenta una serie compleja de esfuerzos y deformaciones al tomar gradualmente la forma definida por el punzón y la cavidad del dado. Las etapas en el proceso de deformación se ilustran en la figura 2-20. Cuando el punzón empieza a empujar el trabajo, sujeta al metal a una operación de doblado. La lámina es doblada simplemente sobre la esquina del punzón y la esquina del dado, como se muestra en la figura 2-20 (2). El perímetro exterior del disco se mueve hacia el centro en esta primera etapa pero sólo ligeramente.

A medida que el punzón avanza, ocurre una acción de enderezado del metal que fue previamente doblado sobre el radio del dado, etapa (3) de la figura. El metal en el fondo de la copa, así como a lo largo del radio del punzón, se ha movido hacia abajo junto con el punzón, pero el metal que se había doblado sobre el radio del dado debe enderezarse para que pueda jalarse dentro del claro y formar la pared del cilindro. En este punto se necesita más metal para reemplazar al que ahora forma la pared del cilindro. Este nuevo metal viene del borde exterior de la forma original. El metal en la porción exterior de la forma se jala o embute hacia la apertura del dado para sustituir al metal previamente doblado y enderezado que ahora forma la pared del cilindro. De este tipo de flujo de metal a través de un espacio restringido es de donde toma su nombre el proceso de embutido.

Durante esta etapa del proceso, la fricción y la compresión juegan papeles importantes en la brida de la parte. Para que el material de la brida se mueva hacia la apertura del dado, debe superar la fricción entre la lámina de metal y las superficies del sujetador y del dado. Inicialmente se involucra la fricción estática hasta que el metal empieza a moverse; cuando empieza el flujo de metal, la fricción dinámica gobierna el proceso. La magnitud de la fuerza de sujeción aplicada por el sujetador, así como las condiciones de fricción de las dos interfaces son factores que determinan el éxito de este aspecto de la operación de embutido. Generalmente se usan lubricantes o compuestos para reducir las fuerzas de fricción durante el embutido. Además de la fricción, ocurre también la compresión en las pestañas exteriores de la forma. A medida que el metal de esta porción de la forma se estira hacia el centro, el perímetro exterior se hace menor. Debido a que el volumen del metal permanece constante, el metal se comprime y se hace más grueso al reducirse el perímetro. Esto ocasiona frecuentemente el arrugado de la brida remanente de la parte o forma, especialmente cuando la lámina es delgada o cuando la fuerza de sujeción es demasiado baja. Esta condición no puede corregirse una vez que ha ocurrido. Los efectos de la fricción y de la compresión se ilustran en la figura 2-20 (4).



**Figura 2-20** Etapas de la deformación del material de trabajo en el embutido profundo: (1) el punzón entra en contacto con el trabajo, (2) doblado, (3) enderezado, (4) fricción y compresión, y (5) forma final de la copa, mostrando los efectos del adelgazamiento en las paredes de la copa.

Los símbolos indican:  $v$  = movimiento de punzón,  $F$  = fuerza del punzón,  $F_h$  = fuerza de sujeción de formas.

**Fuente:** (Groover, 1997)

La fuerza de sujeción aplicada sobre la forma se ve ahora como un factor crítico en el embutido profundo. Si esta es muy pequeña ocurre el arrugamiento; si es muy grande, evita que el material fluya adecuadamente hacia la cavidad del dado, ocasionando estiramiento y posible desgarramiento de la lámina de metal. La determinación de la fuerza adecuada de sujeción implica un delicado balance entre estos factores opuestos.

El movimiento progresivo del punzón hacia abajo ocasiona la continuación del flujo de metal, causado por el estirado y la compresión que se han descrito previamente. Ocurre además, cierto adelgazamiento de las partes del cilindro como en la figura 2-20 (5). A la fuerza que aplica el punzón se opone la del metal, en forma de deformación y fricción durante la operación. Una parte de la deformación involucra estiramiento y adelgazamiento del metal al ser jalado sobre el borde de la abertura del dado, en una operación exitosa de embutido puede ocurrir hasta un 25% de adelgazamiento, la mayor parte cerca de la base de la copa.

### 2.2.10.2 Análisis de ingeniería del embutido

Es importante valorar las limitaciones sobre la magnitud que puede alcanzar el embutido. Frecuentemente algunas medidas simples que pueden calcularse fácilmente para una determinada operación, sirven como guía. Además la fuerza de embutido y la fuerza de sujeción son variables importantes del proceso. Finalmente, debe determinarse el tamaño de la forma inicial.

**Medidas del embutido:** Una medida de la severidad de una operación de embutido profundo es la relación de embutido DR. Ésta se define más fácilmente para una forma cilíndrica como la relación entre el diámetro del disco inicial  $D_b$  y el diámetro del punzón  $D_p$ , en forma de ecuación.

$$DR = \frac{D_b}{D_p} \qquad \text{Ecuación 2-6}$$

La relación de embutido proporciona un indicativo, aunque crudo, de la severidad de una determinada operación de embutido. A mayor relación, mayor severidad de la operación. Un límite superior aproximado de la relación de embutido es un valor de 2.0. El valor limitante real para una operación depende del radio de las esquinas en el punzón y el dado ( $R_p$  y  $R_d$ ), de las condiciones de fricción, de la profundidad de embutido y de las características de la lámina de metal (por ejemplo, ductilidad y grado de direccionalidad de las propiedades de resistencia en el material).

Otra forma de caracterizar una operación dada de embutido es por la reducción  $r$ , donde:

$$r = \frac{D_b - D_p}{D_b} \qquad \text{Ecuación 2-7}$$

Está vinculada muy estrechamente con la relación de embutido. Consistente con el límite previo DR, el valor de la reducción  $r$  debe ser menor que 0.50.

Una tercera medida en el embutido profundo es la relación de espesor al diámetro  $t/D_b$  (espesor de la forma inicial  $t$  dividido por el diámetro de la forma  $D_b$ ) cuyo valor en porcentaje es recomendable que sea mayor que 1%. Conforme decrece  $t/D_b$ , aumenta la tendencia al arrugado.

$$\frac{t}{D_b} > 1\%$$

*Ecuación 2-8*

En los casos en que el diseño de la parte embutida exceda los límites de la relación de embutido, la reducción y la relación  $t/D_b$ , la forma debe ser embutida en dos o más pasos, algunas veces con recocido entre los pasos.

Fuerzas: la fuerza de embutido requerida para realizar la operación dada se puede estimar aproximadamente mediante la fórmula:

$$F = \pi D_p t (TS) \left( \frac{D_b}{D_p} - 0.70 \right) \quad \text{Ecuación 2-9}$$

Donde: F = fuerza de embutido, lb (N); t = espesor original de la forma, pulg (mm); TS = resistencia a la tensión, lb/pulg<sup>2</sup> (MPa); D<sub>b</sub> y D<sub>p</sub> son los diámetros del disco inicial y del punzón, respectivamente, en pulg (mm); la constante 0.7 es un factor de corrección para la fricción. La ecuación 2-9 estima la fuerza máxima en la operación. La fuerza de embutido varía a través del movimiento hacia abajo del punzón, alcanzando usualmente su valor máximo a una tercera parte de la longitud de la carrera.

La fuerza de sujeción es un factor importante en la operación de embutido. Como una primera aproximación, la presión de sujeción se puede fijar en un valor = 0.015 de la resistencia a la fluencia de la lámina de metal. Este valor se multiplica por la porción del área de la forma inicial que será sostenida por el sujetador. En forma de ecuación:

$$F_h = 0.015 Y \pi [D_b^2 - (D_p + 2.2 t + 2 R_d)^2] \quad \text{Ecuación 2-10}$$

Dónde: F<sub>h</sub> = fuerza de sujeción en embutido, lb (N); Y = esfuerzo de fluencia de la lámina de metal, lb/plg<sup>2</sup> (MPa); t = espesor inicial del material, pulg (mm); R<sub>d</sub> = Radio de la esquina del dado, pulg (mm); los otros términos se definieron anteriormente. La fuerza de sujeción es usualmente una tercera parte aproximadamente de la fuerza o embutido.

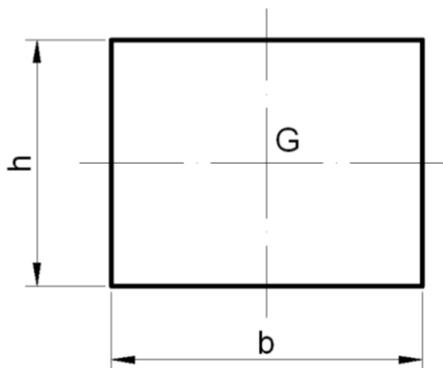
### 2.2.11 PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE CABEZAS TORIESFÉRICAS

El proceso de formado para una cabeza toriesférica, es el abombado y cejado, su formado no siempre requiere de tratamientos de tipo térmico como, el relevado de esfuerzos, en alguno de los casos y cuando la tapa cuenta con costuras es recomendable realizar pruebas no destructivas, estas son optativas en función de los espesores y rangos de presión a manejar, en este caso siempre se debe consultar el código o la legislación vigente que se tome como base para el diseño del recipiente, por último el conocimiento del espesor mínimo al momento de terminar el proceso de formado, es importante cuando se trate de recipientes sometidos a presión a fin de determinar, si estos cumplen con el cálculo de diseño.

### 2.2.12 MOMENTO DE INERCIA EN ÁREAS PLANAS (FIGURAS COMPUESTAS)

A continuación se muestra algunas fórmulas para el cálculo del momento de inercia y otros parámetros en figuras planas.

#### 2.2.12.1 Rectángulo



*Figura 2-21 Rectángulo*

*Fuente: Ciro I. Ortiz H.*

$$A = b * h$$

*Ecuación 2-11*

$$Ix = \frac{bh^3}{12}$$

*Ecuación 2-12*

### 2.2.12.2 Teorema de los ejes paralelos o de STEINER

Si se conoce el momento de inercia de un área respecto al eje de inercia centroidal, su momento de inercia puede determinarse respecto a un eje paralelo usando el teorema de los ejes paralelos de STEINER.

La expresión del teorema de los ejes paralelos de Steiner es:

$$I_x = \Sigma I_{xi} + \Sigma A_i d_i^2 \quad \text{Ecuación 2-13}$$

Donde:

$I_x$  = Momento de inercia de la figura compuesta

$I_{xi}$  = Momento de inercia de las partes que forman la figura compuesta

$A_i$  = Área de las partes que forman la figura compuesta

$d_i$  = distancia al centro geométrico de la figura compuesta desde el centro geométrico de las sub-figuras.

Además de esto se debe tomar en cuenta que el área de la sección compuesta es igual a la sumatoria de todas las sub-áreas.

$$A = \Sigma A_i \quad \text{Ecuación 2-14}$$

A continuación se ve un ejemplo:

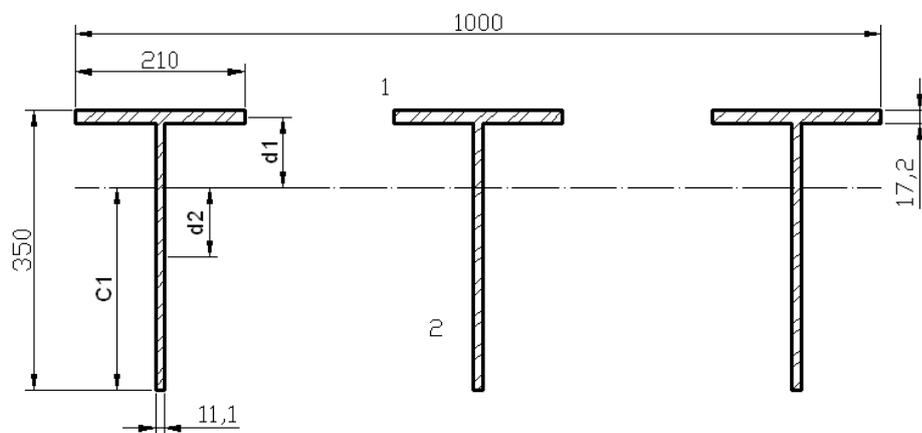


Figura 2-22 Sección compuesta

Fuente: *Ciro I. Ortiz H.*

Se determina el área de la figura compuesta.

$$A_1 = b_1 h_1 = 3,612E - 3m^2$$

$$A_2 = b_2 h_2 = 3,69408E - 3m^2$$

$$A = \Sigma A_i = 21,918E - 3m^2$$

Se determinan las inercias parciales de las sub-figuras.

$$I_1 = \frac{b_1 h_1^3}{12} = 8,905E - 8m^4$$

$$I_2 = \frac{b_2 h_2^3}{12} = 3,4095078E - 5m^4$$

Se determina la distancia al centro de inercia respecto al eje x.

$$C_1 = \bar{X} = \frac{\Sigma A_i d_i}{\Sigma A_i} = 0,2529m$$

Por último se determina el momento de inercia respecto al eje x de la sección compuesta.

$$I_x = \Sigma I_{xi} + \Sigma A_i d_i^2 = 270,34E - 6m^4$$

## 2.2.13 ESTRUCTURAS SIMÉTRICAS EN PÓRTICOS CON SOPORTES FIJOS

### 2.2.13.1 Notaciones, coordenadas y constantes de la estructura

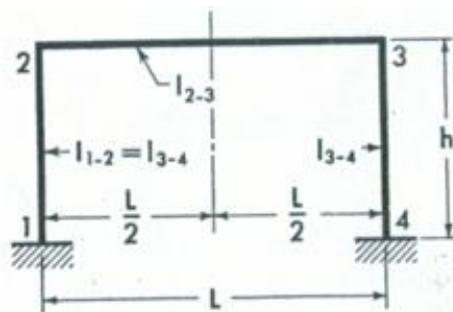


Figura 2-23 Notación estructura en pórtico.

Fuente: (Leontovich, 1981)

Explicación de las notaciones para una estructura en pórtico representativa con miembros de sección constante.

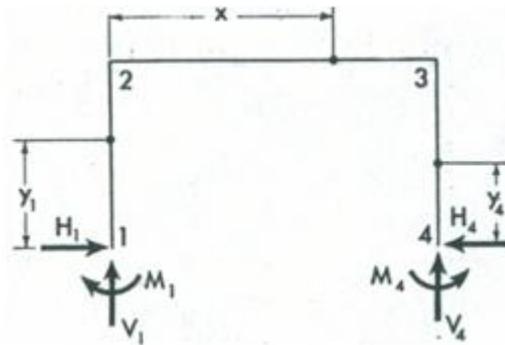


Figura 2-24 Momentos flectores de una estructura en pórtico.

Fuente:(Leontovich, 1981)

Direcciones positivas de los momentos y de las componentes vertical y horizontal de las reacciones de la estructura. Define también las coordenadas para cualquier sección de la estructura. Las coordenadas solo se consideran en sentido positivo.

Constantes de la estructura:

$$\phi = \frac{I_{1-2}}{I_{2-3}} * \frac{L}{h} \quad \text{Ecuación 2-15}$$

$$D = 2 \left( 1 + \frac{6}{\phi} \right) \quad \text{Ecuación 2-16}$$

$$F = 6 \left( 2 + \frac{1}{\phi} \right) \quad \text{Ecuación 2-17}$$

### 2.2.13.2 Carga centrada vertical sobre el punto medio de una viga

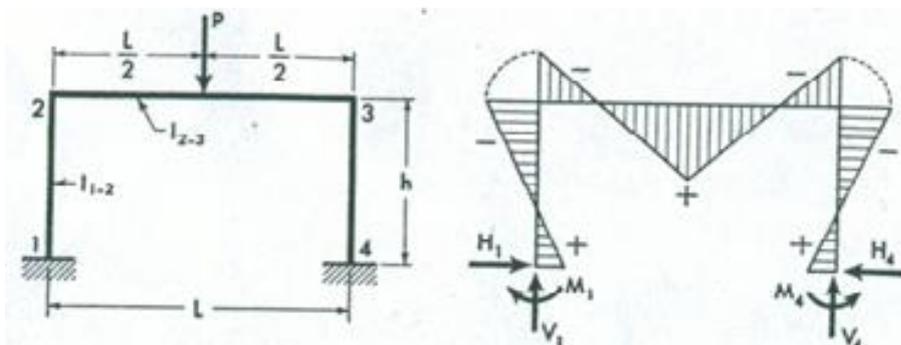


Figura 2-25Carga centrada vertical sobre el punto medio de una viga.

Fuente:(Leontovich, 1981)

$$M1 = M4 = \frac{3PL}{4F} \quad \text{Ecuación 2-18}$$

$$M2 = M3 = \frac{3PL}{2F} \quad \text{Ecuación 2-19}$$

$$H1 = H4 = \frac{3M1}{h} \quad \text{Ecuación 2-20}$$

$$V1 = V4 = \frac{P}{2} \quad \text{Ecuación 2-21}$$

#### 2.2.14 ECUACIONES DEL MÉTODO DE DISEÑO POR ESFUERZOS PERMISIBLES (MÉTODO ASD)

Las especificaciones ASD H1 incluyen tres ecuaciones para miembros sometidos a carga axial más flexión. Esas ecuaciones incluyen flexión a los ejes  $x$  y  $y$ . Si la flexión tiene lugar respecto a uno solo de estos ejes, el término asociado al otro eje se cancela.

La primera ecuación es aplicable a la mitad de la altura de los miembros. Esta ecuación se usa para verificar la estabilidad de conjunto del miembro.

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{C_{mx}f_{bx}}{\left(1 - \frac{f_a}{F_{ex}}\right)F_{bx}} + \frac{C_{my}f_{by}}{\left(1 - \frac{f_a}{F_{ey}}\right)F_{by}} \leq 1.0 \quad \text{Ecuación 2-22}$$

La ecuación que sigue es aplicable solo en los extremos de las vigas columnas y se usa para verificar las condiciones de esfuerzo en esos puntos. Se desarrolló para tomar en cuenta los casos en que los momentos máximos ocurren en los extremos del miembro. La estabilidad no es problema en un soporte por lo que, como lo muestra el primer término de la ecuación, el esfuerzo permisible de compresión  $F_a$  es  $0,60F_y$ . Además,  $F_{bx}$  es  $0,66F_y$  en los soportes si se proporciona en ellos soporte lateral. Esta ecuación suele regir en miembros soportados contra flexión lateral y en los que se tiene curvatura doble por flexión.

$$\frac{f_a}{0.60F_y} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1.0 \quad \text{Ecuación 2-23}$$

Cuando la carga axial es relativamente pequeña, ésta no ocasionará una amplificación apreciable del momento. Por ello, las especificaciones ASD proporcionan una tercera ecuación aplicable si  $f_a/F_a$  es igual o menos que  $0.15$ .

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1.0$$

*Ecuación 2-24*

Para resolver la ecuación 2-24 se tiene en cuenta las siguientes ecuaciones:

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

*Ecuación 2-25*

$$F_a = 0.60F_y$$

*Ecuación 2-26*

$$f_{bx} = \frac{M_x}{S_x}$$

*Ecuación 2-27*

$$F_{bx} = 0.66F_y$$

*Ecuación 2-28*

Donde:

P= Fuerza aplicada

A= Área transversal de la viga columna

M<sub>x</sub>= Momento de inercia en el eje x

S<sub>x</sub>= Módulo de sección de la viga columna

F<sub>y</sub>= Límite de fluencia del material

Además se debe tomar en cuenta lo siguiente para la resolución de la ecuación 2-24:

$$\frac{f_a}{F_a} \leq 0.5$$

*Ecuación 2-29*

$$\frac{f_b}{F_b} \leq 0.5$$

*Ecuación 2-30*

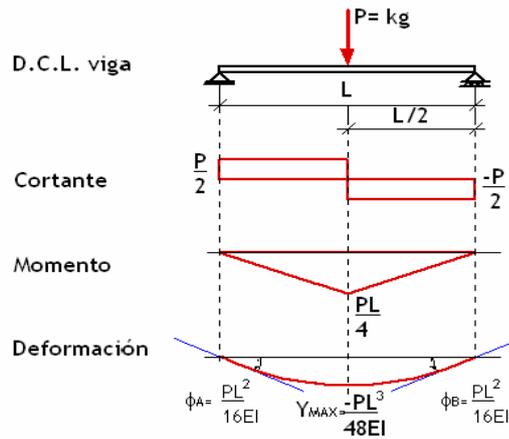
$$S_x = \frac{I_x}{c}$$

*Ecuación 2-31*

## **2.2.15 DEFORMACIÓN EN VIGAS**

### **2.2.15.1 Valores teóricos de la deformación**

En la figura 2-26 se puede observar claramente las formulas de cálculo para el momento flector máximo y la flecha de deformación máxima para una viga con carga puntual ubicada en el centro del claro.



**Figura 2-26 Deformación en vigas**

*Fuente: (Veas, 2000)*

### 2.2.15.2 Valores máximos admisibles de flechas en vigas

La condición de resistencia es la que determina generalmente la sección de la viga. Sin embargo, para vigas muy flexibles, la deformación puede ser muy importante.

La ecuación 2-32 y la norma MV-103 precisan los valores máximos admisibles de las flechas.

Según estas reglas, a falta de información suficiente, se cumplirán las siguientes condiciones (en el cálculo de flechas siempre se emplean las solicitaciones no ponderadas):

- Vigas de puentes y grúas. La flecha no excederá del milésimo de la luz entre apoyos;
- Correas y viguetas de forjados de cubiertas no visitables. La flecha máxima no excederá de 1/250 de la luz.
- Vigas de hasta 5 metros de luz y viguetas de forjados. La flecha no excederá de 1/300 de la luz.
- Vigas de más de 5 metros de luz que no soporten muros de fábrica. La flecha no excederá de 1/400 de la luz.

- Vigas y cargaderos que reciban cargas permanentes de pilares o muros de fábrica y viguetas del forjado sobre las que haya que construir tabiques: la flecha máxima no excederá de 1/500 de la luz.

Estas reglas son muy arbitrarias. Se deberán tener en cuenta las consideraciones de las deformaciones en cada caso particular. Habrá que tener en cuenta también el punto exacto donde se aplican las cargas peligrosas. Muchas veces, es el valor absoluto de la deformación el que hay que considerar, en vez de la relación flecha/luz, que no siempre tiene una importancia decisiva.

El cálculo de las flechas se realiza según las normas de la resistencia de materiales. Se da aquí un método sencillo para vigas de sección constante.

### **Cálculo de las flechas**

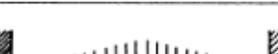
La expresión para la determinación de la flecha es la siguiente:

$$f = \frac{\sigma L^2}{h} \text{Ecuación 2-32}$$

Donde:

- $f$  = flecha en mm
- $\sigma$  = tensión máxima producida por el máximo momento flector en Kg/mm<sup>2</sup>
- $L$  = luz de la viga en m
- $h$  = canto de la viga en cm
- $\alpha$  = coeficiente dado en la tabla 2-1

Tabla 2-1 Factor de deformación  $\alpha$

CLASE DE SUSTENTACION Y TIPO DE CARGA	$\alpha$	CLASE DE SUSTENTACION Y TIPO DE CARGA	$\alpha$
	1,000		2,380
	0,800		1,930
	0,300		2,650
	0,250		3,180
	0,340		0,415
	0,400		0,448

Fuente: (Bassegoda, 1982)

La tensión máxima se calcula con la siguiente ecuación:

$$\sigma = \frac{M_{max}}{W_x} \text{ Ecuación 2-33}$$

Donde:

$M_{max}$  = Momento flector máximo

$W_x$  = Módulo de resistencia de la viga

### 2.3 FUNDAMENTACIÓN LEGAL

Para la realización de análisis metalográfico se identifican las siguientes normas:

- Código ASME Sección VIII Div. 1 Diseño, Construcción e Inspección de Tanques y Recipientes de Presión
- Especificaciones ASD H1.
- AWS D1.1, AWS D2.4.

- ISO-9712 y la ANSI/ASNT CP-189 para inspección visual.

## **2.4 HIPÓTESIS**

Los parámetros de diseño utilizados de la prensa hidráulica para la elaboración de tapas bombeadas son la causa de los problemas de funcionamiento que actualmente presenta ésta en la empresa INDUACERO de la ciudad de Latacunga.

### **2.4.1 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES**

**Variable independiente:** parámetros de diseño de la prensa hidráulica para la elaboración de tapas bombeadas.

**Variable dependiente:** problemas de funcionamiento que actualmente presenta ésta en la empresa INDUACERO de la ciudad de Latacunga.

## **CAPÍTULO III**

### **3 METODOLOGÍA**

#### **3.1 ENFOQUE**

En este proyecto de investigación predominan las variables cuantitativas y dentro de las mismas las variables continuas, debido al manejo de parámetros y propiedades físicas tanto en la parte experimental como en la parte del diseño.

#### **3.2 MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN**

La modalidad básica de la investigación que se utilizará para la variable dependiente será la experimental de campo.

Para poder determinar la o las causas por las cuales la prensa presenta problemas de funcionamiento se llevará a cabo una investigación experimental de campo realizando ensayos no destructivos como la inspección visual para determinar los componentes de la estructura que han resultado seriamente afectados, mismos que han sufrido rotura y deformación permitiendo el funcionamiento defectuoso de la prensa hidráulica y en complemento se realizará un análisis bibliográfico para demostrar porque se han producido estas roturas y deformaciones en la estructura.

Mientras que la modalidad básica de la investigación de la variable independiente será bibliográfica – documental y de campo.

Para poder determinar los parámetros de diseño de la estructura de la prensa hidráulica para la elaboración de tapas bombeadas en la empresa INDUACERO S.A. se llevará a cabo una investigación bibliográfica-documental y de campo realizando ensayos de campo para medir la presión máxima entregada en el pistón principal, también se determinará mediante una investigación documental los perfiles utilizados en la estructura y el material de los mismos, en caso de no

obtener esta información se hará un ensayo metalográfico en el laboratorio para determinar el material de los mismos y se tomará las medidas correspondientes de la estructura.

### **3.3 NIVEL Y TIPO DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.3.1 NIVEL**

Dentro del proyecto se dio lugar a los siguientes niveles de investigación.

Investigación de campo: en el presente proyecto la investigación de campo será ampliamente utilizada para la recolección de información como por ejemplo las dimensiones utilizadas en la estructura de la prensa hidráulica, los tipos de tapas que se dan forma en la prensa hidráulica, los lugares donde se presentan fisuras en la estructura, etc.

Investigación documental-bibliográfica: en el presente proyecto se ha utilizado material bibliográfico tal como normas y libros que se han empleado para diversas causas como identificar un acero por su micro-estructura dada en el MetalsHandbook.

Investigación experimental: para el presente proyecto se han realizado diversas pruebas experimentales para poder determinar ciertos parámetros para el estudio, como por ejemplo la fuerza que es capaz de entregar el sistema hidráulico de la prensa, la deformación que sufre la mesa de la estructura debido la acción de la fuerza de trabajo, etc.

Laboratorio: en el presente proyecto se ha realizado varias pruebas de laboratorio con la finalidad de investigar ciertas propiedades de materiales que servirán para el estudio.

#### **3.3.2 TIPO**

De campo: en el presente estudio este tipo de investigación servirá para la toma directa de la información sobre la estructura de la prensa hidráulica.



### 3.4.2 VARIABLE DEPENDIENTE

Tabla 3-2 Operacionalización de la variable dependiente.

CONCEPTUALIZACIÓN	CATEGORÍAS O DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
<p>Problemas de funcionamiento:</p> <p>Son aquellos inconvenientes que presenta la estructura de la prensa hidráulica que afectan directamente a su funcionamiento.</p>	1. Discontinuidades	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fisuras</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Qué elementos de la estructura presentan fisuras considerables?</li> </ul>	T: Observación de campo I: Cuaderno de notas, ficha de campo, registro específico
	2. Geometría	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deformaciones</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Qué elementos de la estructura presentan una deformación considerable?</li> </ul>	T: Observación de campo I: Cuaderno de notas, ficha de campo, registro específico

*Fuente: Ciro I. Ortiz H.*

### 3.5 PLAN DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

Tabla 3-3 Plan de recolección de datos.

Técnicas	Instrumentos
Observación de campo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuaderno de notas</li> <li>• Ficha de campo</li> <li>• Registro específico</li> </ul>
Observación de laboratorio	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuaderno de notas</li> <li>• Registro específico</li> </ul>
Entrevista	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuaderno de notas</li> <li>• Registro específico</li> </ul>

*Fuente: Ciro I. Ortiz H.*

### 3.6 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

#### 3.6.1 PLAN DE PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

➤ Revisión crítica de la información recogida.- es decir realizar una limpieza de información defectuosa, revisar los datos y los resultados que pudieran conducir a errores.

- Tabulación de datos según las variables de la hipótesis.- elaborar tablas que nos permitan presentar en forma ordenada los datos con los cuales se trabaje.
- Graficar.- representar mediante gráficos el comportamiento de la variable dependiente en función de la independiente, para tener una idea más clara de los fenómenos que se presentan.

### **3.6.2 PLAN DE ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN**

- Analizar los resultados destacando tendencias o relaciones fundamentales de acuerdo con los objetivos e hipótesis.
- Interpretar los resultados de acuerdo con el marco teórico, es decir dar un resultado científico a los resultados manejando las correspondientes categorías del marco teórico.
- Comprobación de la hipótesis, mediante la experimentación y la comparación con los datos teóricos se llegará a una conclusión sobre la hipótesis planteada.
- Conclusiones y recomendaciones, luego del proceso de comparación de variables experimentales y teórica, y durante el transcurso de la investigación se establecerá conclusiones y recomendaciones.

## CAPÍTULO IV

### 4 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1 ANÁLISIS DEL ASPECTO CUANTITATIVO

Aquí se presentarán los datos obtenidos de la experimentación realizada en los laboratorios de la facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, en la planta de producción de la empresa INDUACERO S.A. y los obtenidos mediante investigación bibliográfica; estos se presentarán en forma de tablas.

##### 4.1.1 TAPAS QUE SE DAN FORMA EN LA PRENSA HIDRÁULICA

*Tabla 4-1 Tipos de tapas abombadas que se dan forma en la prensa hidráulica dentro de INDUACERO S.A.*

<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
<b>TAPAS QUE SE DAN FORMA EN LA PRENSA HIDRÁULICA</b>			
<b>Datos informativos</b>			
<b>Tipo de estudio:</b>	Exploratoria	<b>Entrevista N°:</b>	01
<b>Entrevistado:</b> Ing. Freddy Hidalgo jefe de proyectos INDUACERO S.A.			
<b>Solicitado por:</b>	UTA – FICM	<b>Fecha:</b>	15 de julio de 2011
<b>Centro de estudio y análisis:</b>		Empresa INDUACERO S.A.	
<b>Realizado por:</b>	Ciro Ortiz	<b>Supervisado por:</b>	Ing. Mg. J. Guamanquispe
<b>Resultado</b>			
<b>N°</b>	<b>Tipo</b>	<b>Ø mayor</b>	<b>Material</b>
1	Semiesférica	300 mm	SA 516 - 70
2	Toriesférica	4 m	SA 516 - 70
3	Semiéptica	4 m	SA 516 - 70

*Fuente: **Ciro I. Ortiz H.***

#### 4.1.2 TAPA QUE MAYOR FUERZA REQUIERE PARA SU ELABORACIÓN

Tabla 4-2 Parámetros de elaboración de la tapa que mayor fuerza necesita para su abombado.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
TAPA QUE MAYOR FUERZA REQUIERE PARA SU ELABORACIÓN			
Datos informativos			
<b>Tipo de estudio:</b>	Exploratoria	<b>Entrevista N°:</b>	02
<b>Entrevistado:</b> Ing. Freddy Hidalgo jefe de proyectos INDUACERO S.A.			
<b>Solicitado por:</b>	UTA – FICM	<b>Fecha:</b>	15 de julio de 2011
<b>Centro de estudio y análisis:</b>		Empresa INDUACERO S.A.	
<b>Realizado por:</b>	Ciro Ortiz	<b>Supervisado por:</b>	Ing. J. Mg. Guamanquispe
Resultado			
<b>Tipo</b>	<b>Ø mayor</b>	<b>Material</b>	<b>Espesor chapa</b>
Semiéptica	300 mm	SA 516 – 70	3 mm

Fuente: *Ciro I. Ortiz H.*

#### 4.1.3 PRESIÓN DE TRABAJO

Tabla 4-3 Presión de trabajo en la prensa hidráulica.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
PRESIÓN DE TRABAJO EN LA PRENSA HIDRÁULICA			
Datos informativos			
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Prueba N°:</b>	01
<b>Identificación del componente de estudio:</b>		Prensa Hidráulica	
<b>Solicitado por:</b>	UTA - FICM	<b>Fecha:</b>	15 de julio de 2011
<b>Centro de estudio y análisis:</b>		Empresa INDUACERO S. A.	
<b>Realizado por:</b>	Ciro Ortiz	<b>Supervisado por:</b>	Ing. Mg. J. Guamanquispe
Resultado			
<b>Diámetro del émbolo</b>		0.413 m	
<b>N°</b>	<b>Presión</b>		
1	1100 Psi		
2	1050 Psi		
3	950 Psi		
4	1000 Psi		
5	1050 Psi		

Fuente: *Ciro I. Ortiz H.*

#### 4.1.4 PRESIÓN MÁXIMA ENTREGADA POR EL SISTEMA HIDRÁULICO

Tabla 4-4 Presión máxima entregada por el sistema hidráulico.

<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
<b>PRESIÓN MÁXIMA ENTREGADA POR EL SISTEMA HIDRÁULICO</b>			
<b>Datos informativos</b>			
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Prueba N°:</b>	02
<b>Identificación del componente de estudio:</b>		Prensa Hidráulica	
<b>Solicitado por:</b>	UTA - FICM	<b>Fecha:</b>	15 de julio de 2011
<b>Centro de estudio y análisis:</b>		Empresa INDUACERO S. A.	
<b>Realizado por:</b>	Ciro Ortiz	<b>Supervisado por:</b>	Ing. Mg. J. Guamanquispe
<b>Resultado</b>			
<b>Diámetro del émbolo</b>	0,413 m		
<b>Presión máxima</b>			
2200 Psi			

Fuente: Fuente: *Ciro I. Ortiz H.*

#### 4.1.5 MATERIAL DE LOS MIEMBROS ESTRUCTURALES DE LA PRENSA HIDRÁULICA

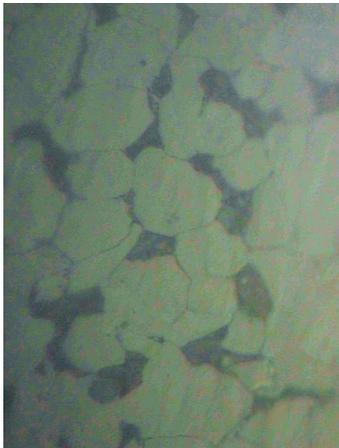
Tabla 4-5 Material de los miembros estructurales de la prensa hidráulica.

<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
<b>MATERIAL DE LOS MIEMBROS ESTRUCTURALES</b>			
<b>Datos informativos</b>			
<b>Tipo de estudio:</b>	Exploratoria	<b>Entrevista N°:</b>	03
<b>Entrevistado:</b> Ing. Freddy Hidalgo jefe de proyectos INDUACERO S.A.			
<b>Solicitado por:</b>	UTA – FICM	<b>Fecha:</b>	15 de julio de 2011
<b>Centro de estudio y análisis:</b>		Empresa INDUACERO S.A.	
<b>Realizado por:</b>	Ciro Ortiz	<b>Supervisado por:</b>	Ing. Mg. J. Guamanquispe
<b>Resultado</b>			
A excepción de las columnas el material de los perfiles usados en la estructura de la prensa hidráulica es acero ASTM A36.			

Fuente: *Ciro I. Ortiz H.*

#### 4.1.6 ENSAYO METALGRÁFICO Y DE DUREZA DEL MATERIAL USADO EN LAS COLUMNAS

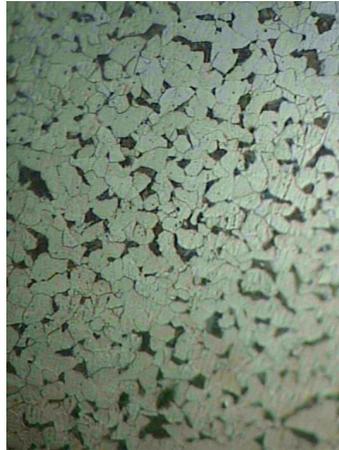
Tabla 4-6 Ensayo metalográfico y de dureza del material usado en las columnas.

<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
<b>ENSAYO METALGRÁFICO</b>			
<b>Datos informativos</b>			
<b>Tipo de estudio:</b>	De laboratorio	<b>Ensayo N°:</b>	01
<b>Identificación del componente de estudio:</b>		Probeta N° 01	
<b>Solicitado por:</b>	UTA - FICM	<b>Fecha:</b>	13 de septiembre de 2011
<b>Centro de estudio y análisis:</b>		Laboratorio de materiales FICM	
<b>Realizado por:</b>	Ciro Ortiz	<b>Supervisado por:</b>	Ing. Mg. J. Guamanquispe
<b>Parámetros del lugar durante el ensayo</b>			
<b>Lugar:</b>	Sector Huachi Chico / Campus universitario UTA		
Temperatura ambiente	21 °C	<b>Radiación:</b>	0,2 W/m <sup>2</sup>
Velocidad del aire circundante:	0,1 m/s	<b>Otros:</b>	
<b>Parámetros del ensayo metalográfico</b>			
<b>Acondicionamiento de la superficie:</b>		Pulido mecánico	
Temperatura durante el pulido:	21 °C	<b>Superficie preparada en:</b>	30 min
<b>Ataque químico de la superficie con:</b>	Nital 4	<b>Durante:</b>	4 s
<b>Resultado</b>			
<p>a) En esta figura se muestra la microestructura del material (400x – 4s – Nital 4)</p> <div style="text-align: center;">  </div>			

Fuente: *Ciro I. Ortiz H.*

Tabla 4.6 (continuación)

b) En esta figura se muestra la microestructura del material (100x – 4s – Nital 4)



Parámetros del ensayo de dureza					
<b>Método:</b>	Brinell	<b>Ensayo N°:</b>	02		
<b>Tipo de penetrador:</b>	Identador 2,5 mm				
<b>Carga aplicada:</b>	1839	<b>Tiempo de ensayo</b>	30 min		
Resultado					
N°	Diámetro de la huella		Dureza HB		
1	1,355 mm		120		
2	1,340 mm		123		
3	1,355 mm		120		
4	1,360 mm		119		
<b>DUREZA HB</b>			120,5		
<b>Método:</b>	Rockwell	<b>Tipo:</b>	C	<b>Ensayo N°:</b>	03
<b>Tipo de penetrador:</b>	Identador cono de diamante				
<b>Carga aplicada:</b>	1471	<b>Tiempo de ensayo:</b>	30 min		
resultado					
N°	Dureza Rockwell				
1	20				
2	19.5				
3	19.5				
4	22				
5	21.5				
<b>DUREZA ROCKWELL</b>		20.5			

Fuente: *Ciro I. Ortiz H.*

#### 4.1.7 DADO Y PUNZÓN SEMIELÍPTICO (300 mm)

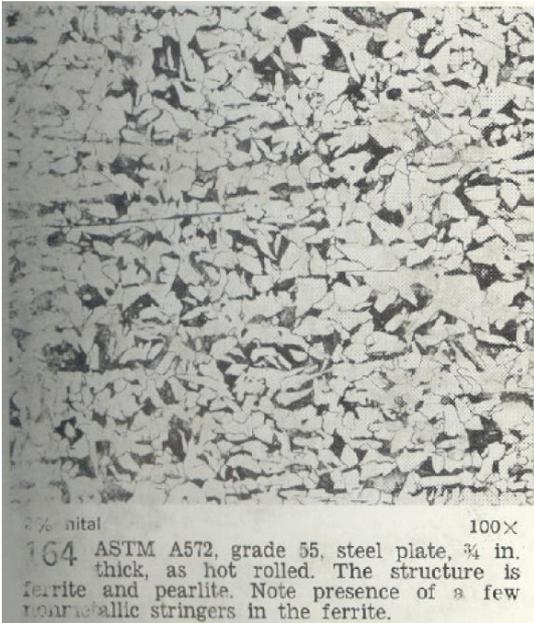
Tabla 4-7 Dimensiones del dado y punzón para elaborar tapas semielípticas de 300 mm de diámetro.

<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
<b>DIMENSIONES DEL DADO Y PUNZÓN SEMIELÍPTICOS DE 300 mm DE DIÁMETRO</b>			
<b>Datos informativos</b>			
<b>Tipo de estudio:</b>	De campo	<b>Ensayo N°:</b>	01
<b>Identificación del componente de estudio:</b>		Punzón y dado semielíptico 300 mm	
<b>Solicitado por:</b>	UTA - FICM	<b>Fecha:</b>	15 de julio de 2011
<b>Centro de estudio y análisis:</b>		Empresa INDUACERO S. A.	
<b>Realizado por:</b>	Ciro Ortiz	<b>Supervisado por:</b>	Ing. Mg. J. Guamanquispe
<b>Resultado</b>			

Fuente: *Ciro I. Ortiz H.*

#### 4.1.8 MICROESTRUCTURA DEL ACERO ASTM A572-50

Tabla 4-8 Microestructura del acero ASTM A 572 grado 50 tomada del libro *Metals Handbook*.

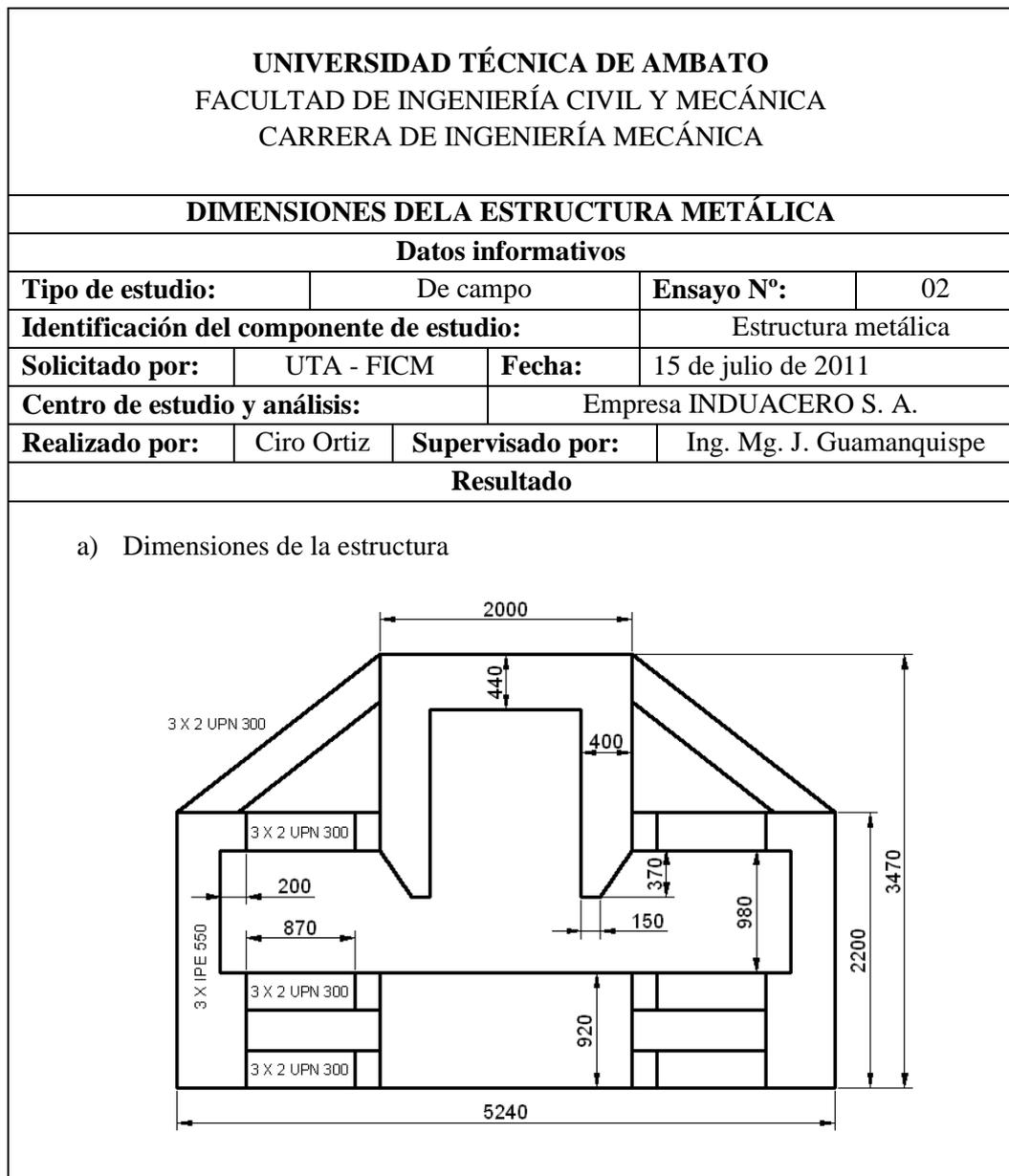
<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
<b>DIMENSIONES DEL DADO Y PUNZÓN SEMIELÍPTICOS DE 300 MM DE DIÁMETRO</b>			
<b>Datos informativos</b>			
<b>Tipo de estudio:</b>	Bibliográfica	<b>Investigación N°:</b>	01
<b>Identificación del componente de estudio:</b>		Material de las columnas de la prensa hidráulica	
<b>Solicitado por:</b>	UTA - FICM	<b>Fecha:</b>	19 de septiembre de 2011
<b>Centro de estudio y análisis:</b>		ESPOCH – Biblioteca de la Facultad de Ingeniería Mecánica Industrial.	
<b>Realizado por:</b>	Ciro Ortiz	<b>Supervisado por:</b>	Ing. Mg. J. Guamanquispe
<b>RESULTADO</b>			
 <p>2% nital 100×  164 ASTM A572, grade 55, steel plate, 3/4 in. thick, as hot rolled. The structure is ferrite and pearlite. Note presence of a few carbide stringers in the ferrite.</p>			

Fuente: *Ciro I. Ortiz H.*

#### 4.1.9 DIMENSIONES DE LA ESTRUCTURA DE LA PRESNA HIDRÁULICA

Las dimensiones de la estructura de la prensa hidráulica se muestran en los planos ubicados en el anexo A7.

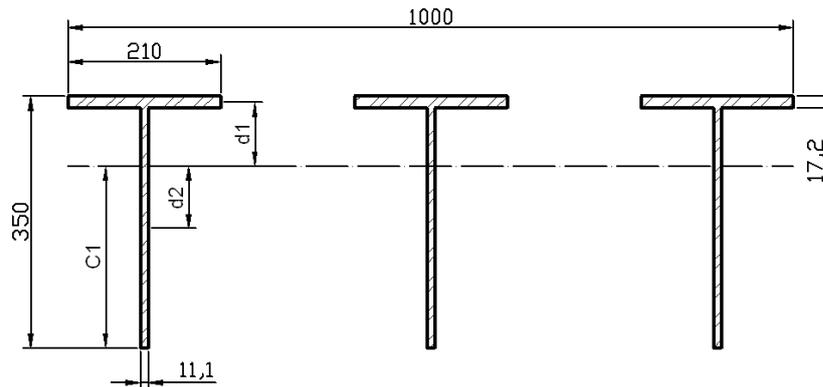
*Tabla 4-9 Esquema de las dimensiones de la estructura y secciones transversales de las columnas y la mesa de la prensa hidráulica.*



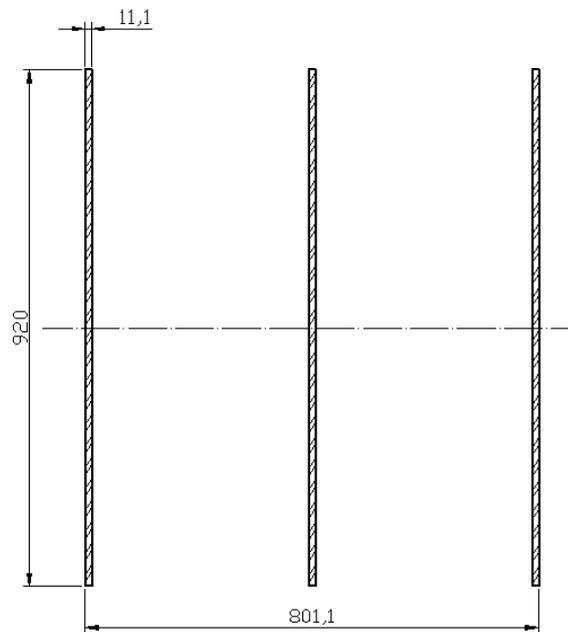
*Fuente: Ciro I. Ortiz H.*

Tabla 4.9 (continuación)

b) Sección transversal de las columnas de la estructura.



c) Sección transversal de la mesa de la estructura.



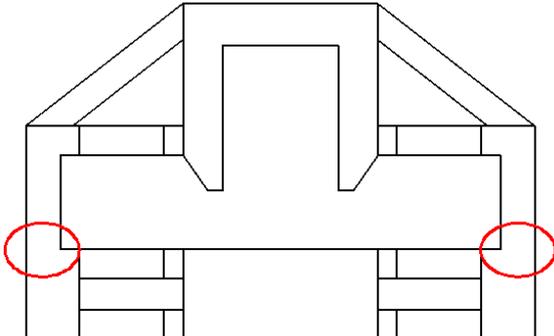
Observaciones:

- Las columnas originalmente estuvieron compuestas por tres perfiles IPE 550 los cuales fueron recortados 200 mm con el fin de conseguir un espacio mayor entre columnas.

Fuente: *Ciro I. Ortiz H.*

#### 4.1.10 FISURAS EN LAS COLUMNAS DE LA ESTRUCTURA

Tabla 4-10 Fisuras en las columnas de la estructura.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
<b>FISURAS</b>			
<b>Datos informativos</b>			
<b>Tipo de estudio:</b>	De Campo	<b>Ensayo N°:</b>	03
<b>Identificación del componente de estudio:</b>		Columnas de la estructura de la prensa hidráulica.	
<b>Solicitado por:</b>	UTA - FICM	<b>Fecha:</b>	25 de julio de 2011
<b>Centro de estudio y análisis:</b>		Empresa INDUACERO S.A.	
<b>Realizado por:</b>	Ciro Ortiz	<b>Supervisado por:</b>	Ing. Mg. J. Guamanquispe
<b>Parámetros del ensayo visual</b>			
<b>Componente de observación:</b>	Columnas de la estructura de la prensa hidráulica		
<b>Resultado</b>			
<p>a) Lugar donde se encuentran las fisuras en las columnas de la estructura.</p> 			
<p>b) Fotografías de las fisuras en la columna derecha.</p>  <p style="text-align: center;">(a)</p>			

*Fuente: Ciro I. Ortiz H.*

Tabla 4.10 (continuación)



(b)



(c)

Denominación	Longitud de la fisura (cm)
a	30
b	31.5
c	28

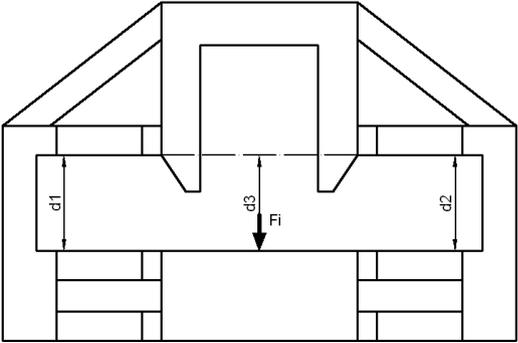
**Observaciones:**

- En la figura del literal (a) se indica la parte inferior donde se une con la mesa como el lugar donde mayor incidencia han tenido las fisuras.

*Fuente: Ciro I. Ortiz H.*

#### 4.1.11 DEFORMACIÓN DE LA MESA DE LA ESTRUCTURA

Tabla 4-11 Deformación de la mesa de la estructura.

<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
<b>DEFORMACIÓN DE LA MESA DE ESTRUCTURA</b>			
<b>Datos informativos</b>			
<b>Tipo de estudio:</b>	De Campo	<b>Ensayo N°:</b>	04
<b>Identificación del componente de estudio:</b>		Columnas de la estructura de la prensa hidráulica.	
<b>Solicitado por:</b>	UTA – FICM	<b>Fecha:</b>	12 de enero de 2012
<b>Centro de estudio y análisis:</b>		Empresa INDUACERO S.A.	
<b>Realizado por:</b>	Ciro Ortiz	<b>Supervisa do por:</b>	Ing. Mg. J. Guamanquispe
<b>Parámetros del ensayo</b>			
Componente de observación:		Estructura prensa hidráulica.	
<b>Resultado</b>			
			
N°	Pi (Psi)	$\Delta d3$ (mm)	
01	100	2	
02	400	9	
03	700	16	
04	1000	23	
05	1300	30	
06	1400	32	
Observaciones:			

*Fuente: Ciro I. Ortiz H.*

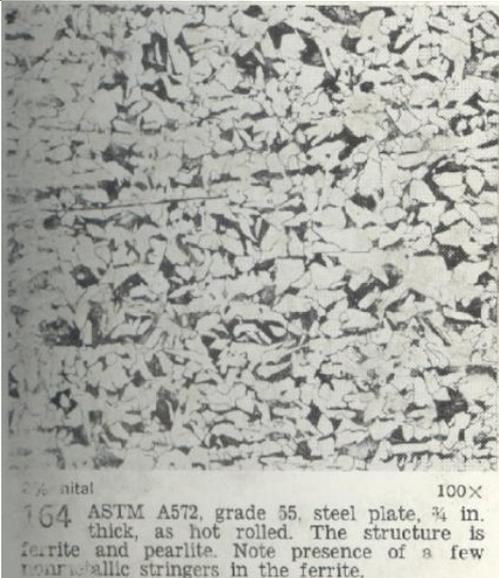
## 4.2 PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

### 4.2.1 MATERIAL DE LAS COLUMNAS

Luego de hacer la comparación de la muestra tomada en el laboratorio con los diferentes materiales dados en el libro Metal Handbook se determinó que el

material usado en las columnas es el acero ASTM A 572 grado 50; en las imágenes mostradas en la tabla siguiente se puede apreciar la similitud metalográfica de la muestra tomada en el laboratorio con la dada en el libro Metal Handbook.

*Tabla 4-12 Comparación de la muestra tomada en el laboratorio con la dada en el libro Metal Handbook.*

Fotografía tomada en el laboratorio	Fotografía dada en MetalHandbook
	

*Fuente: Ciro I. Ortiz H.*

#### **4.2.2 FUERZA NECESARIA PARA EMBUTIR UNA TAPA SEMIELÍPTICA DE 300 mm DE DIÁMETRO**

Datos:

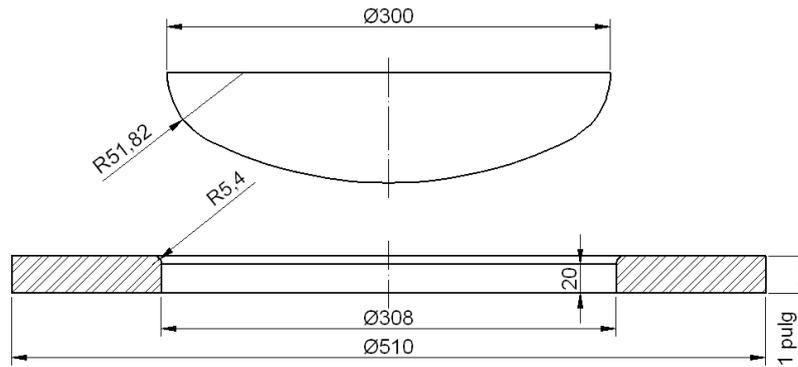
Material: ASTM A 516 grado 70

TS = 70 KPsi = 482.625 MPa

t = 0.003 m

D<sub>b</sub> = 0.42 m

Dimensiones del punzón y dado:



(Tomada de la tabla 4-7)

Fuente: *Ciro I. Ortiz H.*

$$D_p = 0.3 \text{ m}$$

$$R_p = 0.05182 \text{ m}$$

$$R_d = 0.0054 \text{ m}$$

Cálculo:

Según la ecuación 2-6 la relación de embutido es:

$$DR = 1.4 \leq 2.0 \quad \text{OK.}$$

Según la ecuación 2-7 la reducción es:

$$r = 0.29 \leq 0.50 \quad \text{OK.}$$

Según la ecuación 8-9 la fuerza de embutido es:

$$F = 955.213 \text{ KN}$$

#### **4.2.3 PRESIÓN QUE DEBE ENTREGAR LA PRENSA PARA EMBUTIRUNA TAPA SEMIELÍPTICA DE 300 mm DE DIÁMETRO**

Datos:

$$\text{Diámetro del émbolo (D)} = 0,413\text{m}$$

$$F = 955.213 \text{ KN}$$

Cálculo de la presión:

$$P = \frac{F}{A_{\text{émbolo}}}$$

$$A_{\text{émbolo}} = \pi \frac{D^2}{4}$$

$$A_{\text{émbolo}} = 0,134m^2$$

$$P = 7128,455 \text{ KPa} = 1033,91 \text{ Psi}$$

#### **4.2.4 FUERZA MÁXIMA ENTREGADA POR EL ÉMBOLO DE LA PRENSA HIDRÁULICA**

Datos:

$$A_{\text{émbolo}} = 0,134m^2$$

$$P_{\text{máx}} = 2200 \text{ Psi} = 15168,43 \text{ KPa}$$

Solución:

$$P_{\text{máx}} = \frac{F_{\text{máx}}}{A_{\text{émbolo}}}$$

$$F_{\text{máx}} = P_{\text{máx}} * A_{\text{émbolo}}$$

$$F_{\text{máx}} = 2032,57 \text{ KN}$$

#### **4.2.5 DEFORMACIÓN DE LA MESA DEBIDA A LA FUERZA APLICADA**

Datos:

$$A_{\text{émbolo}} = 0,134 \text{ m}^2 = 1340 \text{ cm}^2$$

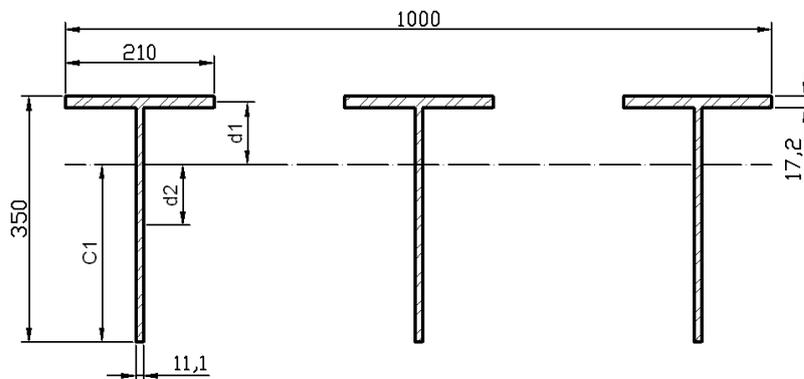
En el siguiente cuadro se muestra la deformación de la mesa debida a las diferentes fuerzas.

**Tabla 4-13 Fuerza vs. Deformación de la mesa**

Fuerza vs. Deformación de la mesa					
Ítem	$P_i$ Presión del émbolo principal		$F_i = P_i * A_{\text{émbolo}}$ Fuerza Kgf	Deformación de la mesa	
	Psi	Kgf/cm <sup>2</sup>		mm	cm
1	100	7,03	9420	2	0,2
2	400	28,12	37681	9	0,9
3	700	49,22	65955	16	1,6
4	1000	70,31	94215	23	2,3
5	1300	91,4	122476	30	3
6	1400	98,43	131896	32	3,2

*Fuente: Ciro I. Ortiz H.*

**4.2.6 RESISTENCIA DE LAS COLUMNAS USANDO DIFERENTES ACEROS ESTRUCTURALES CON LA SECCIÓN TRANSVERSAL DADA EN LA TABLA 4-9 POR EL MÉTODO DE DISEÑO POR ESFUERZOS PERMISIBLES (ASD).**



*(Tomada de la tabla 4-9)*

*Fuente: Ciro I. Ortiz H.*

Según la ecuación 2-11 las áreas parciales son:

$$A_1 = 3,612E - 3m^2$$

$$A_2 = 3,69408E - 3m^2$$

Según la ecuación 2-14 el área de la sección es:

$$A = 21,918E - 3m^2$$

Según la ecuación 2-12 las inercias parciales son:

$$I_1 = 8,905E - 8m^4$$

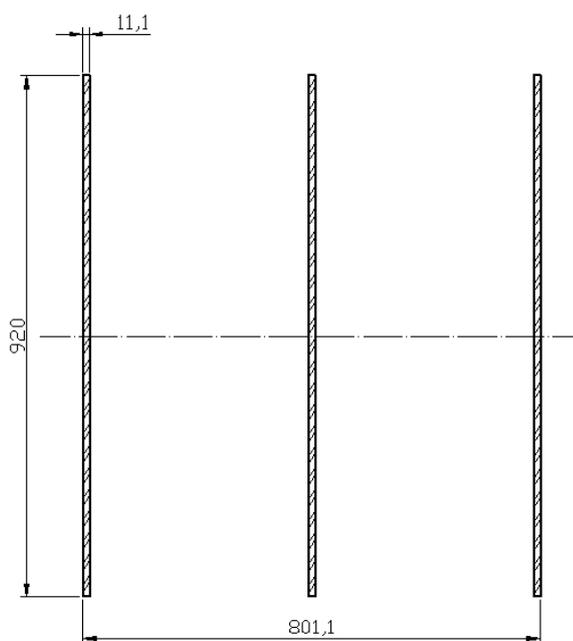
$$I_2 = 3,4095078E - 5m^4$$

De acuerdo al procedimiento descrito en la sección 2.2.12 la distancia al centro de gravedad de la sección compuesta desde su base es:

$$C_1 = 0,2529m$$

De acuerdo a la ecuación 2-13 el momento de inercia  $I_x$  es:

$$I_x = 270,34E - 6m^4$$



(Tomada de la tabla 4-9)

Fuente: **Ciro I. Ortiz H.**

Según la ecuación 2-11:

$$A_1 = 10,212E - 3m^2$$

Según la ecuación 2-14 el área de la sección es:

$$A = 30,636E - 3m^2$$

Según la ecuación 2-12 las inercias parciales son:

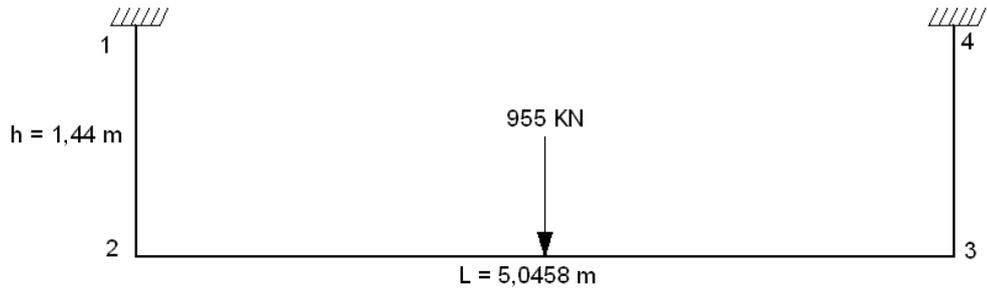
$$I_1 = 720,286E - 6m^4$$

De acuerdo a la ecuación 2-13 el momento de inercia es:

$$I_X = 2,161E - 3m^4$$

Según la ecuación 2-31 el módulo de sección es:

$$S_X = 1,069 E - 3 m^3$$



**Figura 4-1** Pórtico de la estructura previo a la reparación.

*Fuente: Ciro I. Ortiz H.*

$$I_{1-2} = 270,34E - 6m^4$$

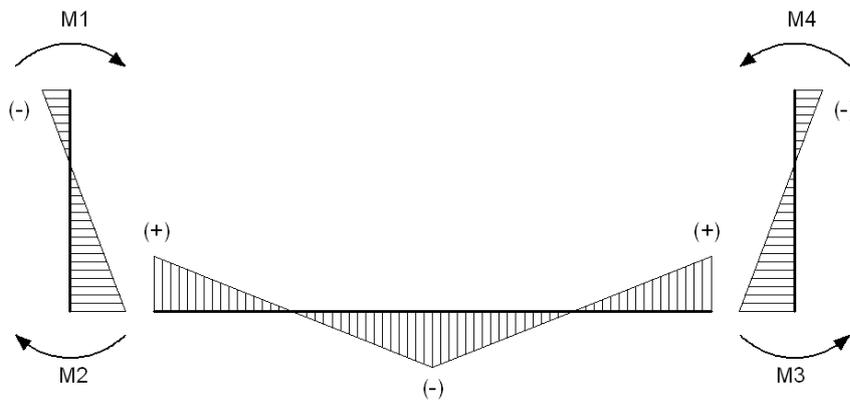
$$I_{2-3} = 2,161E - 3m^4$$

Según la ecuación 2-15:

$$\phi = 0,438$$

Según la ecuación 2-17:

$$F = 25,688$$



**Figura 4-2** Diagrama de momentos (pórtico figura 4-1)

*Fuente: Ciro I. Ortiz H.*

Según la ecuación 2-18 los momentos en los puntos 1 y 4 son:

$$M_1 = M_4 = -140,722 \text{ KNm}$$

Según la ecuación 2-19 los momentos en los puntos 2 y 3 son:

$$M_2 = M_3 = 281,444 \text{ KNm}$$

➤ Material: ASTM A 572 grado 50.

Datos:

$$P = 955.213 \text{ KN}$$

$$A = 21,918E - 3 \text{ m}^2$$

$$F_y = 345 \text{ MPa} \quad (\text{Anexo A1})$$

$$M_2 = M_3 = 281,444 \text{ KNm}$$

Solución:

Según la ecuación 2-25:

$$f_a = 43,58 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-26:

$$F_a = 207 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-29:

$$\frac{f_a}{F_a} = 0,21$$

Según la ecuación 2-27:

$$f_b = 263,28 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-28:

$$F_b = 227,7 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-30:

$$\frac{fb}{Fb} = 1,16$$

Según la ecuación 2-23:

$$\frac{fa}{Fa} + \frac{fb}{Fb} = 1,37 > 1$$

Respuesta: Las columnas no resisten la carga aplicada.

➤ Material: ASTM A 588M grado A.

Datos:

Según el anexo A1 el límite de fluencia para estos aceros es:  $F_y = 345 \text{ MPa}$

$$P = 955.213 \text{ KN}$$

$$A = 21,918E - 3 \text{ m}^2$$

$$M_2 = M_3 = 281,444 \text{ KNm}$$

Solución:

Según la ecuación 2-25:

$$f_a = 43,58 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-26:

$$F_a = 207 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-29:

$$\frac{fa}{Fa} = 0,21$$

Según la ecuación 2-27:

$$f_b = 263,28 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-28:

$$Fb = 227,7 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-30:

$$\frac{fb}{Fb} = 1,16$$

Según la ecuación 2-23:

$$\frac{fa}{Fa} + \frac{fb}{Fb} = 1,37 > 1$$

Respuesta: Las columnas no resisten la carga aplicada.

➤ Material: ASTM A 570 grado 50.

Datos:

Según el anexo A1 el límite de fluencia para este acero es:  $F_y = 340 \text{ MPa}$

$$P = 955.213 \text{ KN}$$

$$A = 21,918E - 3 \text{ m}^2$$

$$M_2 = M_3 = 281,444 \text{ KNm}$$

Solución:

Según la ecuación 2-25:

$$f_a = 43,58 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-26:

$$Fa = 204 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-29:

$$\frac{fa}{Fa} = 0,21$$

Según la ecuación 2-27:

$$f_b = 263,28 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-28:

$$F_b = 224,4 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-30:

$$\frac{f_b}{F_b} = 1,17$$

Según la ecuación 2-23:

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_b}{F_b} = 1,38 > 1$$

Respuesta: Las columnas no resisten la carga aplicada.

➤ Material: JIS G-3103SS41M.

Datos:

Según el anexo A1 el límite de fluencia para este acero es:  $F_y = 2500 \text{ MPa}$

$$P = 955.213 \text{ KN}$$

$$A = 21,918E - 3m^2$$

$$M_2 = M_3 = 281,444 \text{ KNm}$$

Solución:

Según la ecuación 2-25:

$$f_a = 43,58 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-26:

$$F_a = 150 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-29:

$$\frac{fa}{Fa} = 0,29$$

Según la ecuación 2-27:

$$fb = 263,28 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-28:

$$Fb = 165 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-30:

$$\frac{fb}{Fb} = 1,6$$

Según la ecuación 2-23:

$$\frac{fa}{Fa} + \frac{fb}{Fb} = 1,89 > 1$$

Respuesta: Las columnas no resisten la carga aplicada.

➤ Material: ASTM A 36.

Datos:

Según el anexo A1 el límite de fluencia para este acero es:  $F_y = 250 \text{ MPa}$

$$P = 955.213 \text{ KN}$$

$$A = 21,918E - 3 \text{ m}^2$$

$$M_2 = M_3 = 281,444 \text{ KNm}$$

Solución:

Según la ecuación 2-25:

$$fa = 43,58 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-26:

$$F_a = 150 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-29:

$$\frac{f_a}{F_a} = 0,29$$

Según la ecuación 2-27:

$$f_b = 263,28 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-28:

$$F_b = 165 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-30:

$$\frac{f_b}{F_b} = 1,6$$

Según la ecuación 2-23:

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_b}{F_b} = 1,89 > 1$$

Respuesta: Las columnas no resisten la carga aplicada.

➤ Material: ASTM A 283 grado C.

Datos:

Según el anexo A1 el límite de fluencia para este acero es:  $F_y = 205 \text{ MPa}$

$$P = 955.213 \text{ KN}$$

$$A = 21,918E - 3 \text{ m}^2$$

$$M_2 = M_3 = 281,444 \text{ KNm}$$

Solución:

Según la ecuación 2-25:

$$f_a = 43,58 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-26:

$$F_a = 123 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-29:

$$\frac{f_a}{F_a} = 0,35$$

Según la ecuación 2-27:

$$f_b = 263,28 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-28:

$$F_b = 135,3 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-30:

$$\frac{f_b}{F_b} = 1,95$$

Según la ecuación 2-23:

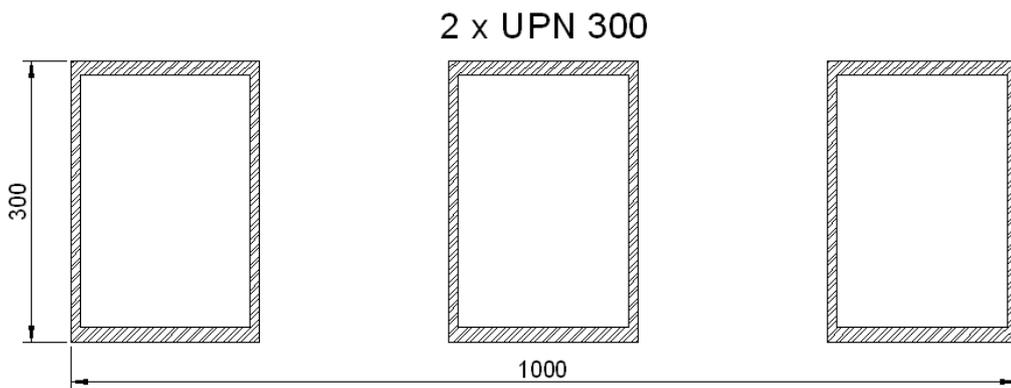
$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_b}{F_b} = 2,3 > 1$$

Respuesta: Las columnas no resisten la carga aplicada.

**4.2.7 RESISTENCIA DE LAS COLUMNAS USANDO ACERO ASTM 588M-A Y LA FUERZA MÁXIMA ENTREGADA POR EL ÉMBOLO CON DIFERENTES SECCIONES TRANSVERSALES COMPUESTAS POR PERFILES IPE MEDIANTE EL MÉTODO DE DISEÑO POR ESFUERZOS PERMISIBLES (ASD)**

Según el anexo A1 el límite de fluencia del acero ASTM A588M grado Aes:

$$F_y = 450 \text{ MPa}$$



*Figura 4-3 Sección transversal para la mesa.*

*Fuente: Ciro I. Ortiz H.*

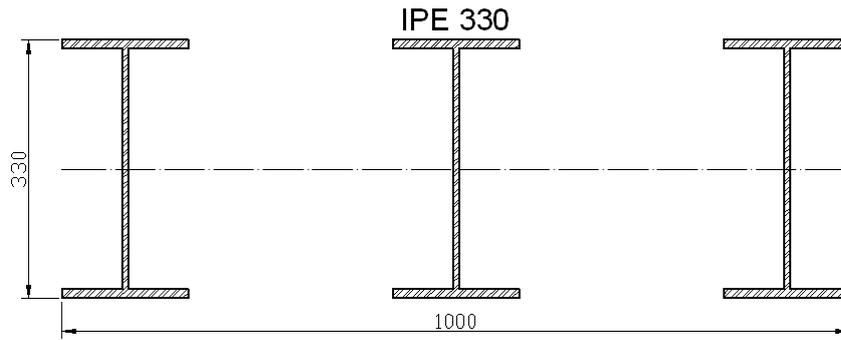
Según el anexo A3 el momento de inercia de un perfil UPN 300 es:

$$I_{xi} = 8030 \text{ cm}^4$$

El momento de inercia de la sección transversal para la mesa es:

$$I_x = 6 * I_{xi} = 48180 \text{ cm}^4 = 481,8 \text{ E} - 6 \text{ m}^4$$

Columnas compuestas por perfiles IPE 330.



**Figura 4-4 Sección transversal para la columna compuesta por perfiles IPE 330**

**Fuente: Ciro I. Ortiz H.**

Según el anexo A2 el momento de inercia de un perfil IPE 330 es:

$$I_{xi} = 11770 \text{ cm}^4:$$

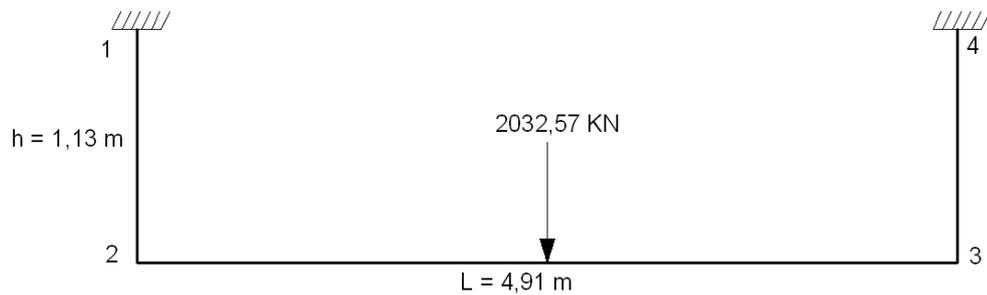
$$I_x = 3 * I_{xi} = 35310 \text{ cm}^4 = 353,1 \text{ E} - 6 \text{ m}^4$$

Según el anexo A2:

$$A_i = 62,6 \text{ cm}^2$$

El área de la sección transversal para la columna es:

$$A = 3 * A_i = 187,8 \text{ cm}^2 = 18,78 \text{ E} - 3 \text{ m}^2$$



**Figura 4-5 Pórtico – IPE 330.**

**Fuente: Ciro I. Ortiz H.**

$$I_{1-2} = 353,1 \text{ E} - 6 \text{ m}^4$$

$$I_{2-3} = 481,8 \text{ E} - 6 \text{ m}^4$$

Según la ecuación 2-15:

$$\phi = 3,18$$

Según la ecuación 2-17:

$$F = 13,88$$

El diagrama de momentos es el mismo de la figura 4-2 con los valores calculados a continuación.

Según la ecuación 2-18 los momentos en los puntos 1 y 4 son:

$$M_1 = M_4 = -539,1 \text{ KNm}$$

Según la ecuación 2-19 los momentos en los puntos 1 y 3 son:

$$M_2 = M_3 = 1078,2 \text{ KNm}$$

Según la ecuación 2-25:

$$f_a = 108 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-26:

$$Fa = 207 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-29:

$$\frac{fa}{Fa} = 0,52$$

Según la ecuación 2-27:

$$f_b = 504 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-28:

$$Fb = 228 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-30:

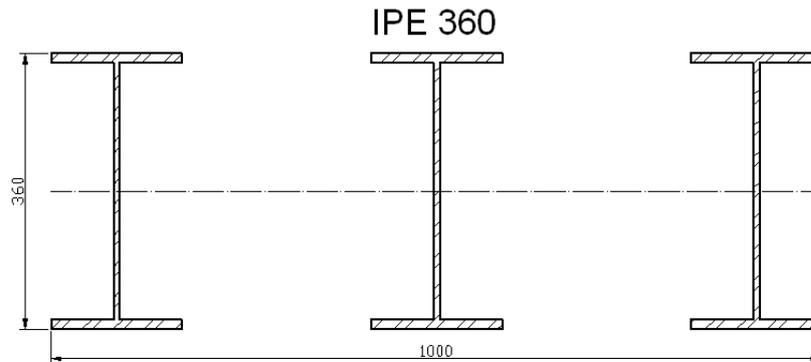
$$\frac{fb}{Fb} = 2,21$$

Según la ecuación 2-23:

$$\frac{fa}{Fa} + \frac{fb}{Fb} = 2,74 > 1$$

Respuesta: Las columnas no resisten la carga aplicada.

➤ Columnas compuestas por perfiles IPE 360.



**Figura 4-6** Sección transversal para la columna compuesta por perfiles IPE 360

Fuente: *Ciro I. Ortiz H.*

Según el anexo A2 el momento de inercia de un perfil IPE 360 es:

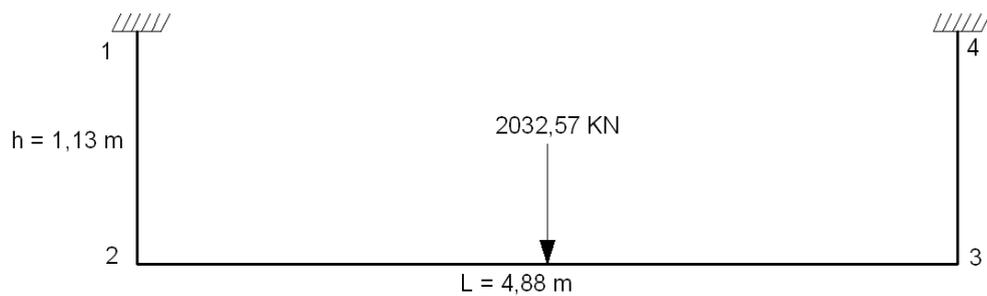
$$I_{xi} = 16270 \text{ cm}^4:$$

$$I_x = 3 * I_{xi} = 48810 \text{ cm}^4 = 488,1 \text{ E} - 6 \text{ m}^4$$

Según el anexo A2:

$$A_i = 72,7 \text{ cm}^2$$

$$A = 3 * A_i = 218,1 \text{ cm}^2 = 21,81 \text{ E} - 3 \text{ m}^2$$



**Figura 4-7** Pórtico – ASTM A 588 grado A – IPE 360

Fuente: *Ciro I. Ortiz H.*

$$I_{1-2} = 488,1 E - 6 m^4$$

$$I_{2-3} = 481,8 E - 6 m^4$$

Según la ecuación 2-15:

$$\phi = 4,38$$

Según la ecuación 2-17:

$$F = 13,37$$

El diagrama de momentos es el mismo de la figura 4-2 con los valores calculados a continuación.

Según la ecuación 2-18 los momentos en los puntos 1 y 4 son:

$$M_1 = M_4 = -556,35 \text{ KNm}$$

Según la ecuación 2-19 los momentos en los puntos 2 y 3 son:

$$M_2 = M_3 = 1112,7 \text{ KNm}$$

Según la ecuación 2-25:

$$f_a = 93,19 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-26:

$$F_a = 207 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-29:

$$\frac{f_a}{F_a} = 0,45$$

Según la ecuación 2-27:

$$f_b = 410 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-28:

$$Fb = 228 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-30:

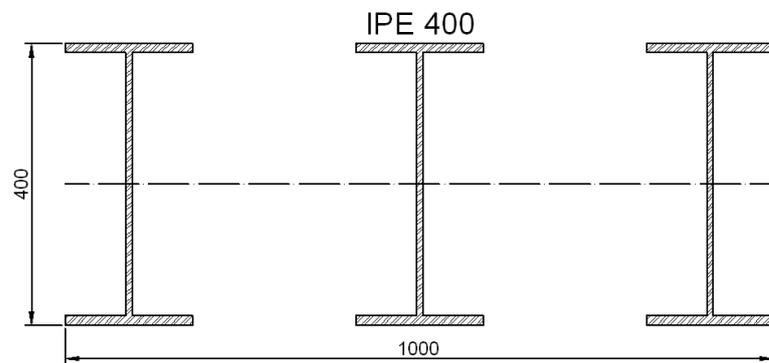
$$\frac{fb}{Fb} = 1,8$$

Según la ecuación 2-23:

$$\frac{fa}{Fa} + \frac{fb}{Fb} = 2,25 > 1$$

Respuesta: Las columnas no resisten la carga aplicada.

➤ Columnas compuestas por perfiles IPE 400.



**Figura 4-8** Sección transversal para la columna compuesta por perfiles IPE 400

*Fuente: Ciro I. Ortiz H.*

Según el anexo A2 el momento de inercia de un perfil IPE 400 es:

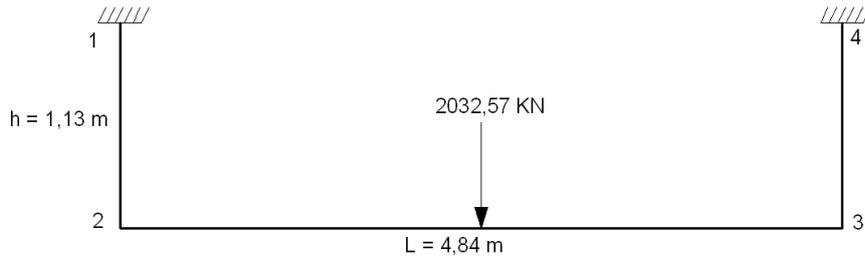
$$I_{xi} = 23130 \text{ cm}^4:$$

$$I_x = 3 * I_{xi} = 69390 \text{ cm}^4 = 693,9 \text{ E} - 6 \text{ m}^4$$

Según el anexo A2:

$$A_i = 84,5 \text{ cm}^2$$

$$A = 3 * A_i = 253,5 \text{ cm}^2 = 25,35 \text{ E} - 3 \text{ m}^2$$



**Figura 4-9** Pórtico – ASTM A 588 grado A – IPE 400

**Fuente:** *Ciro I. Ortiz H.*

$$I_{1-2} = 693,1 E - 6 m^4$$

$$I_{2-3} = 481,8 E - 6 m^4$$

Según la ecuación 2-15:

$$\phi = 6,17$$

Según la ecuación 2-17:

$$F = 12,97$$

El diagrama de momentos es el mismo de la figura 4-2 con los valores calculados a continuación.

Según la ecuación 2-18 los momentos en los puntos 1 y 4 son:

$$M_1 = M_4 = -568,75 \text{ KNm}$$

Según la ecuación 2-19 los momentos en los puntos 2 y 3 son:

$$M_2 = M_3 = 1137,51 \text{ KNm}$$

Según la ecuación 2-25:

$$f_a = 80,18 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-26:

$$F_a = 207 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-29:

$$\frac{fa}{Fa} = 0,39$$

Según la ecuación 2-27:

$$fb = 328 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-28:

$$Fb = 228 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-30:

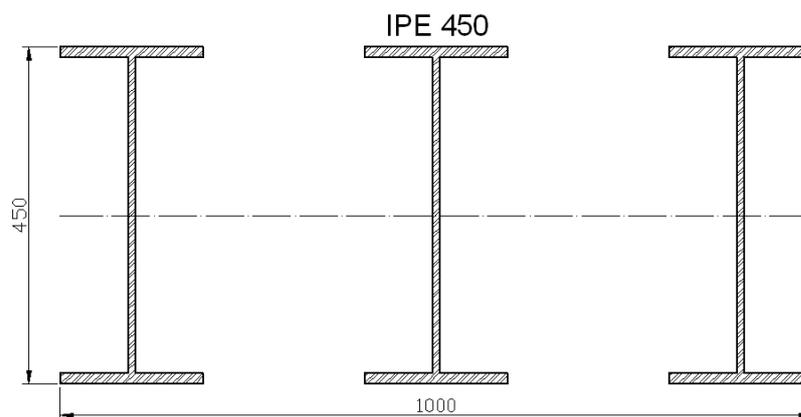
$$\frac{fb}{Fb} = 1,44$$

Según la ecuación 2-23:

$$\frac{fa}{Fa} + \frac{fb}{Fb} = 1,83 > 1$$

Respuesta: Las columnas no resisten la carga aplicada.

➤ Columnas compuestas por perfiles IPE 450.



**Figura 4-10** Sección transversal para la columna compuesta por perfiles IPE 450

*Fuente: Ciro I. Ortiz H.*

Según el anexo A2 el momento de inercia de un perfil IPE 450 es:

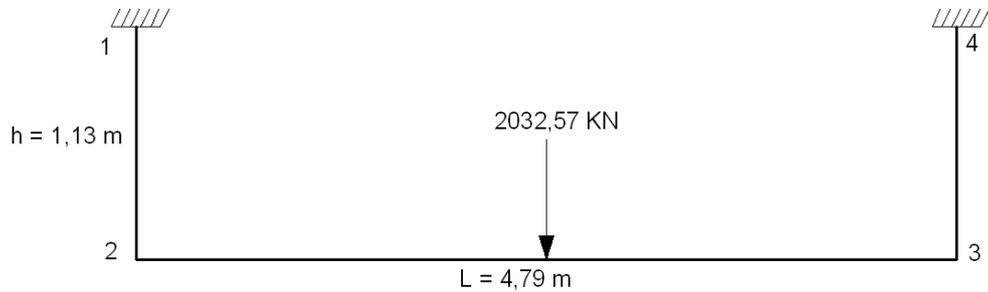
$$Ix_i = 33740 \text{ cm}^4:$$

$$I_x = 3 * I_{xi} = 101220 \text{ cm}^4 = 1,01 E - 3 \text{ m}^4$$

Según el anexo A2:

$$A_i = 98,8 \text{ cm}^2$$

$$A = 3 * A_i = 296,4 \text{ cm}^2 = 29,64 E - 3 \text{ m}^2$$



**Figura 4-11** Pórtico – ASTM A 588 grado A – IPE 450

*Fuente: Ciro I. Ortiz H.*

$$I_{1-2} = 1,01 E - 3 \text{ m}^4$$

$$I_{2-3} = 481,8 E - 6 \text{ m}^4$$

Según la ecuación 2-15:

$$\phi = 8,91$$

Según la ecuación 2-17:

$$F = 12,67$$

El diagrama de momentos es el mismo de la figura 4-2 con los valores calculados a continuación.

Según la ecuación 2-18 los momentos en los puntos 1 y 4 son:

$$M_1 = M_4 = -576,15 \text{ KNm}$$

Según la ecuación 2-19 los momentos en los puntos 2 y 3 son:

$$M_2 = M_3 = 1152,3 \text{ KNm}$$

Según la ecuación 2-25:

$$f_a = 68,6 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-26:

$$F_a = 207 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-29:

$$\frac{f_a}{F_a} = 0,33$$

Según la ecuación 2-27:

$$f_b = 256 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-28:

$$F_b = 228 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-30:

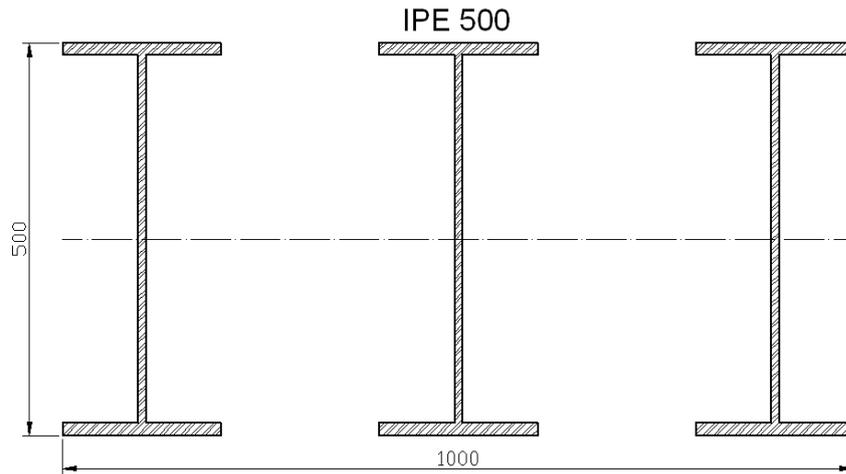
$$\frac{f_b}{F_b} = 1,12$$

Según la ecuación 2-23:

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_b}{F_b} = 1,46 > 1$$

Respuesta: Las columnas no resisten la carga aplicada.

➤ Columnas compuestas por perfiles IPE 500.



**Figura 4-12** Sección transversal para la columna compuesta por perfiles IPE 500

*Fuente: Ciro I. Ortiz H.*

Según el anexo A2 el momento de inercia de un perfil IPE 550 es:

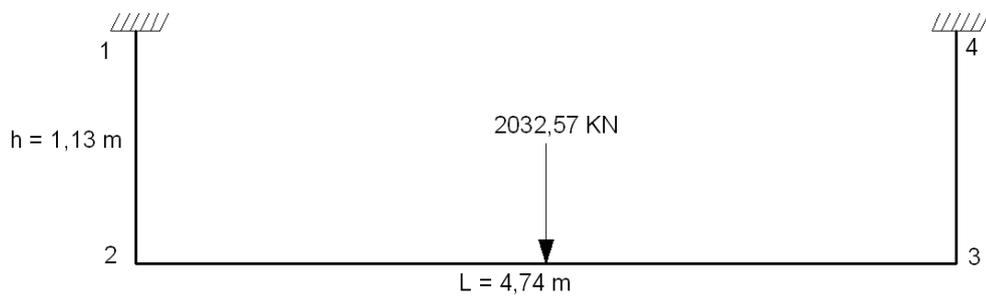
$$I_{xi} = 48200 \text{ cm}^4$$

$$I_x = 3 * I_{xi} = 144600 \text{ cm}^4 = 1,446 E - 3 \text{ m}^4$$

Según el anexo A2:

$$A_i = 116 \text{ cm}^2$$

$$A = 3 * A_i = 348 \text{ cm}^2 = 34,8 E - 3 \text{ m}^2$$



**Figura 4-13** Pórtico – ASTM A 588 grado A – IPE 500

*Fuente: Ciro I. Ortiz H.*

$$I_{1-2} = 1,446 E - 3 \text{ m}^4$$

$$I_{2-3} = 481,8 E - 6 \text{ m}^4$$

Según la ecuación 2-15  $\phi$  es:

$$\phi = 12,59$$

Según la ecuación 2-17  $F$  es:

$$F = 12,47$$

El diagrama de momentos es el mismo de la figura 4-2 con los valores calculados a continuación.

Según la ecuación 2-18 los momentos en los puntos 1 y 4 son:

$$M_1 = M_4 = -579,15 \text{ KNm}$$

Según la ecuación 2-19 los momentos en los puntos 1 y 3 son:

$$M_2 = M_3 = 1158,29 \text{ KNm}$$

Según la ecuación 2-25:

$$f_a = 58,4 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-26:

$$F_a = 207 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-29:

$$\frac{f_a}{F_a} = 0,28$$

Según la ecuación 2-27:

$$f_b = 200 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-28:

$$F_b = 228 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-30:

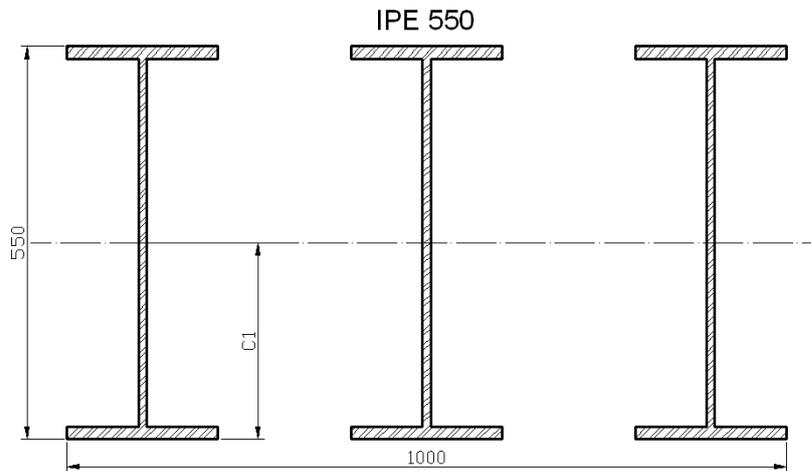
$$\frac{f_b}{F_b} = 0,87$$

Según la ecuación 2-23:

$$\frac{fa}{Fa} + \frac{fb}{Fb} = 1,16 > 1$$

Respuesta: Las columnas no resisten la carga aplicada.

➤ Columnas compuestas por perfiles IPE 550.



**Figura 4-14** Sección transversal para la columna compuesta por perfiles IPE 550

**Fuente:** *Ciro I. Ortiz H.*

Según el anexo A2 el momento de inercia de un perfil IPE 550 es:

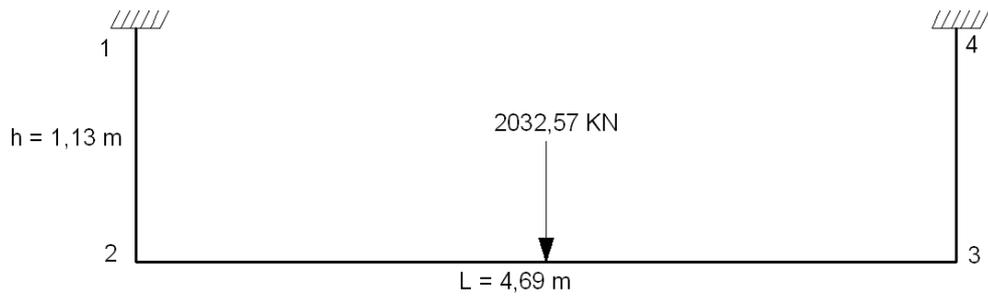
$$I_{xi} = 67120 \text{ cm}^4:$$

$$I_x = 3 * I_{xi} = 201360 \text{ cm}^4 = 2,01 \text{ E} - 3 \text{ m}^4$$

Según el anexo A2:

$$A_i = 134 \text{ cm}^2$$

$$A = 3 * A_i = 402 \text{ cm}^2 = 40,2 \text{ E} - 3 \text{ m}^2$$



**Figura 4-15** Pórtico – ASTM A 588 grado A – IPE 550

*Fuente: Ciro I. Ortiz H.*

$$I_{1-2} = 2,01 E - 3 m^4$$

$$I_{2-3} = 481,8 E - 6 m^4$$

Según la ecuación 2-15:

$$\phi = 17,35$$

Según la ecuación 2-17:

$$F = 12,35$$

El diagrama de momentos es el mismo de la figura 4-2 con los valores calculados a continuación.

Según la ecuación 2-18 los momentos en los puntos 1 y 4 son:

$$M_1 = M_4 = -579,1 \text{ KNm}$$

Según la ecuación 2-19 los momentos en los puntos 2 y 3 son:

$$M_2 = M_3 = 1158,21 \text{ KNm}$$

Según la ecuación 2-25:

$$f_a = 50,56 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-26:

$$F_a = 207 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-29:

$$\frac{fa}{Fa} = 0,24$$

Según la ecuación 2-27:

$$fb = 158 MPa$$

Según la ecuación 2-28:

$$Fb = 228 MPa$$

Según la ecuación 2-30:

$$\frac{fb}{Fb} = 0,69$$

Según la ecuación 2-23:

$$\frac{fa}{Fa} + \frac{fb}{Fb} = 0,94 < 1$$

Respuesta: Las columnas resisten la carga aplicada.

#### **4.2.8 RESISTENCIA DE LAS COLUMNAS USANDO ACERO ASTM A 570 – 50 Y LA FUERZA MÁXIMA ENTREGADA POR EL ÉMBOLO CON DIFERENTES SECCIONES TRANSVERSALES COMPUESTAS POR PERFILES IPE MEDIANTE EL MÉTODO DE DISEÑO POR ESFUERZOS PERMISIBLES (ASD)**

Según el anexo A1 el límite de fluencia del acero ASTM A570 – 50 grado A es:

$$Fy = 340 MPa$$

La sección transversal para la mesa de la estructura es la misma de la figura 4-3.

Según el anexo A3 el momento de inercia de un perfil UPN 300 es:

$$Ixi = 8030cm^4$$

El momento de inercia de la sección transversal para la mesa es:

$$I_x = 6 * I_{xi} = 48180 \text{ cm}^4 = 481,8 E - 6 \text{ m}^4$$

➤ Columnas compuestas por perfiles IPE 330.

La sección transversal para la columna es la misma de la figura 4-4.

Según el anexo A2 el momento de inercia de un perfil IPE 330 es:

$$I_{xi} = 11770 \text{ cm}^4:$$

$$I_x = 3 * I_{xi} = 35310 \text{ cm}^4 = 353,1 E - 6 \text{ m}^4$$

Según el anexo A2:

$$A_i = 62,6 \text{ cm}^2$$

$$A = 3 * A_i = 187,8 \text{ cm}^2 = 18,78 E - 3 \text{ m}^2$$

El pórtico es el mismo de la figura 4-5.

$$I_{1-2} = 353,1 E - 6 \text{ m}^4$$

$$I_{2-3} = 481,8 E - 6 \text{ m}^4$$

Según la ecuación 2-15:

$$\phi = 3,18$$

Según la ecuación 2-17:

$$F = 13,88$$

El diagrama de momentos es el mismo de la figura 4-2 con los valores calculados a continuación.

Según la ecuación 2-18 los momentos en los puntos 1 y 4 son:

$$M_1 = M_4 = -539,1 \text{ KNm}$$

Según la ecuación 2-19 los momentos en los puntos 2 y 3 son:

$$M_2 = M_3 = 1078,2 \text{ KNm}$$

Según la ecuación 2-25:

$$f_a = 108 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-26:

$$F_a = 204 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-29:

$$\frac{f_a}{F_a} = 0,53$$

Según la ecuación 2-27:

$$f_b = 504 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-28:

$$F_b = 224 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-30:

$$\frac{f_b}{F_b} = 2,25$$

Según la ecuación 2-23:

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_b}{F_b} = 2,78 > 1$$

Respuesta: Las columnas no resisten la carga aplicada.

➤ Columnas compuestas por perfiles IPE 360.

La sección transversal para la columna es la misma de la figura 4-6.

Según el anexo A2 el momento de inercia de un perfil IPE 360 es:

$$I_{xi} = 16270 \text{ cm}^4:$$

$$I_x = 3 * I_{xi} = 48810 \text{ cm}^4 = 488,1 E - 6 \text{ m}^4$$

Según el anexo A2:

$$A_i = 72,7 \text{ cm}^2$$

$$A = 3 * A_i = 218,1 \text{ cm}^2 = 21,81 E - 3 \text{ m}^2$$

El pórtico es el mismo de la figura 4-7.

$$I_{1-2} = 488,1 E - 6 \text{ m}^4$$

$$I_{2-3} = 481,8 E - 6 \text{ m}^4$$

Según la ecuación 2-15:

$$\phi = 4,38$$

Según la ecuación 2-17:

$$F = 13,37$$

El diagrama de momentos es el mismo de la figura 4-2 con los valores calculados a continuación.

Según la ecuación 2-18 los momentos en los puntos 1 y 4 son:

$$M_1 = M_4 = -556,35 \text{ KNm}$$

Según la ecuación 2-19 los momentos en los puntos 2 y 3 son:

$$M_2 = M_3 = 1112,7 \text{ KNm}$$

Según la ecuación 2-25:

$$f_a = 93,19 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-26:

$$Fa = 204 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-29:

$$\frac{fa}{Fa} = 0,46$$

Según la ecuación 2-27:

$$fb = 410 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-28:

$$Fb = 224 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-30:

$$\frac{fb}{Fb} = 1,83$$

Según la ecuación 2-23:

$$\frac{fa}{Fa} + \frac{fb}{Fb} = 2,29 > 1$$

Respuesta: Las columnas no resisten la carga aplicada.

➤ Columnas compuestas por perfiles IPE 400.

La sección transversal para la columna es la misma de la figura 4-8.

Según el anexo A2 el momento de inercia de un perfil IPE 400 es:

$$Ixi = 23130 \text{ cm}^4:$$

$$Ix = 3 * Ixi = 69390 \text{ cm}^4 = 693,9 \text{ E} - 6 \text{ m}^4$$

Según el anexo A2:

$$Ai = 84,5 \text{ cm}^2$$

$$A = 3 * Ai = 253,5 \text{ cm}^2 = 25,35 \text{ E} - 3 \text{ m}^2$$

El pórtico es el mismo de la figura 4-9.

$$I_{1-2} = 693,1 E - 6 m^4$$

$$I_{2-3} = 481,8 E - 6 m^4$$

Según la ecuación 2-15:

$$\phi = 6,17$$

Según la ecuación 2-17:

$$F = 12,97$$

El diagrama de momentos es el mismo de la figura 4-2 con los valores calculados a continuación.

Según la ecuación 2-18 los momentos en los puntos 1 y 4 son:

$$M_1 = M_4 = -568,75 \text{ KNm}$$

Según la ecuación 2-19 los momentos en los puntos 2 y 3 son:

$$M_2 = M_3 = 1137,51 \text{ KNm}$$

Según la ecuación 2-25:

$$f_a = 80,18 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-26:

$$F_a = 204 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-29:

$$\frac{f_a}{F_a} = 0,39$$

Según la ecuación 2-27:

$$f_b = 328 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-28:

$$Fb = 224 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-30:

$$\frac{fb}{Fb} = 1,46$$

Según la ecuación 2-23:

$$\frac{fa}{Fa} + \frac{fb}{Fb} = 1,85 > 1$$

Respuesta: Las columnas no resisten la carga aplicada.

➤ Columnas compuestas por perfiles IPE 450.

La sección transversal para la columna es la misma de la figura 4-10.

Según el anexo A2 el momento de inercia de un perfil IPE 450 es:

$$I_{xi} = 33740 \text{ cm}^4:$$

$$I_x = 3 * I_{xi} = 101220 \text{ cm}^4 = 1,01 \text{ E} - 3 \text{ m}^4$$

Según el anexo A2:  $A_i = 98,8 \text{ cm}^2$

$$A = 3 * A_i = 296,4 \text{ cm}^2 = 29,64 \text{ E} - 3 \text{ m}^2$$

El pórtico es el mismo de la figura 4-11.

$$I_{1-2} = 1,01 \text{ E} - 3 \text{ m}^4$$

$$I_{2-3} = 481,8 \text{ E} - 6 \text{ m}^4$$

Según la ecuación 2-15:

$$\phi = 8,91$$

Según la ecuación 2-17:

$$F = 12,67$$

El diagrama de momentos es el mismo de la figura 4-2 con los valores calculados a continuación.

Según la ecuación 2-18 los momentos en los puntos 1 y 4 son:

$$M_1 = M_4 = -576,15 \text{ KNm}$$

Según la ecuación 2-19 los momentos en los puntos 2 y 3 son:

$$M_2 = M_3 = 1152,3 \text{ KNm}$$

Según la ecuación 2-25:

$$f_a = 68,6 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-26:

$$F_a = 204 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-29:

$$\frac{f_a}{F_a} = 0,34$$

Según la ecuación 2-27:

$$f_b = 256 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-28:

$$F_b = 224 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-30:

$$\frac{f_b}{F_b} = 1,14$$

Según la ecuación 2-23:

$$\frac{fa}{Fa} + \frac{fb}{Fb} = 1,48 > 1$$

Respuesta: Las columnas no resisten la carga aplicada.

Columnas compuestas por perfiles IPE 500.

La sección transversal para la columna es la misma de la figura 4-12.

Según el anexo A2 el momento de inercia de un perfil IPE 500 es:

$$I_{xi} = 48200 \text{ cm}^4$$

$$I_x = 3 * I_{xi} = 144600 \text{ cm}^4 = 1,446 E - 3 \text{ m}^4$$

Según el anexo A2:  $A_i = 116 \text{ cm}^2$

$$A = 3 * A_i = 348 \text{ cm}^2 = 34,8 E - 3 \text{ m}^2$$

El pórtico es el mismo de la figura 4-13.

$$I_{1-2} = 1,446 E - 3 \text{ m}^4$$

$$I_{2-3} = 481,8 E - 6 \text{ m}^4$$

Según la ecuación 2-15:

$$\phi = 12,59$$

Según la ecuación 2-17:

$$F = 12,47$$

El diagrama de momentos es el mismo de la figura 4-2 con los valores calculados a continuación.

Según la ecuación 2-18 los momentos en los puntos 1 y 4:

$$M_1 = M_4 = -579,15 \text{ KNm}$$

Según la ecuación 2-19 los momentos en los puntos 2 y 3:

$$M_2 = M_3 = 1158,29 \text{ KNm}$$

Según la ecuación 2-25:

$$f_a = 58,4 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-26:

$$F_a = 204 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-29:

$$\frac{f_a}{F_a} = 0,29$$

Según la ecuación 2-27:

$$f_b = 200 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-28:

$$F_b = 224 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-30:

$$\frac{f_b}{F_b} = 0,89$$

Según la ecuación 2-23:

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_b}{F_b} = 1,18 > 1$$

Respuesta: Las columnas no resisten la carga aplicada.

➤ Columnas compuestas por perfiles IPE 550.

La sección transversal para la columna es la misma de la figura 4-14.

Según el anexo A2 el momento de inercia de un perfil IPE 550 es:

$$I_{xi} = 67120 \text{ cm}^4$$

$$I_x = 3 * I_{xi} = 201360 \text{ cm}^4 = 2,01 E - 3 m^4$$

Según el anexo A2:

$$A_i = 134 \text{ cm}^2$$

$$A = 3 * A_i = 402 \text{ cm}^2 = 40,2 E - 3 m^2$$

El pórtico es el mismo de la figura 4-15.

$$I_{1-2} = 2,01 E - 3 m^4$$

$$I_{2-3} = 481,8 E - 6 m^4$$

Según la ecuación 2-15:

$$\phi = 17,35$$

Según la ecuación 2-17:

$$F = 12,35$$

El diagrama de momentos es el mismo de la figura 4-2 con los valores calculados a continuación.

Según la ecuación 2-18 los momentos en los puntos 1 y 4 son:

$$M_1 = M_4 = -579,1 \text{ KNm}$$

Según la ecuación 2-19 los momentos en los puntos 2 y 3 son:

$$M_2 = M_3 = 1158,21 \text{ KNm}$$

Según la ecuación 2-25:

$$f_a = 50,56 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-26:

$$F_a = 204 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-29:

$$\frac{fa}{Fa} = 0,25$$

Según la ecuación 2-27:

$$fb = 158 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-28:

$$Fb = 224 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-30:

$$\frac{fb}{Fb} = 0,70$$

Según la ecuación 2-23:

$$\frac{fa}{Fa} + \frac{fb}{Fb} = 0,95 < 1$$

Respuesta: Las columnas resisten la carga aplicada.

#### **4.2.9 RESISTENCIA DE LAS COLUMNAS USANDO ACERO ASTM A 36 (EL ACERO JIS G-3101 SS41M TIENE EL MISMO LÍMITE DE FLUENCIA) Y LA FUERZA MÁXIMA ENTREGADA POR EL ÉMBOLO CON DIFERENTES SECCIONES TRANSVERSALES COMPUESTAS POR PERFILES IPE MEDIANTE EL MÉTODO DE DISEÑO POR ESFUERZOS PERMISIBLES (ASD)**

Según el anexo A1 el límite de fluencia del acero ASTM A36 y JIS G-3101 SS41M es:

$$Fy = 250 \text{ MPa}$$

La sección transversal para la mesa de la estructura es la misma de la figura 4-3.

Según el anexo A3 el momento de inercia de un perfil UPN 300 es:

$$I_{xi} = 8030 \text{ cm}^4$$

$$I_x = 6 * I_{xi} = 48180 \text{ cm}^4 = 481,8 E - 6 \text{ m}^4$$

Columnas compuestas por perfiles IPE 330.

La sección transversal para la columna es la misma de la figura 4-4.

Según el anexo A2 el momento de inercia de un perfil IPE 330 es:

$$I_{xi} = 11770 \text{ cm}^4:$$

$$I_x = 3 * I_{xi} = 35310 \text{ cm}^4 = 353,1 E - 6 \text{ m}^4$$

Según el anexo A2:

$$A_i = 62,6 \text{ cm}^2$$

$$A = 3 * A_i = 18,78 E - 3 \text{ m}^2$$

El pórtico es el mismo de la figura 4-5.

$$I_{1-2} = 353,1 E - 6 \text{ m}^4$$

$$I_{2-3} = 481,8 E - 6 \text{ m}^4$$

Según la ecuación 2-15:

$$\phi = 3,18$$

Según la ecuación 2-17:

$$F = 13,88$$

El diagrama de momentos es el mismo de la figura 4-2 con los valores calculados a continuación.

Según la ecuación 2-18 los momentos de inercia en los puntos 1 y 4 son:

$$M_1 = M_4 = -539,1 \text{ KNm}$$

Según la ecuación 2-19 los momentos en los puntos 2 y 3 son:

$$M_2 = M_3 = 1078,2 \text{ KNm}$$

Según la ecuación 2-25:

$$f_a = 108 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-26:

$$F_a = 150 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-29:

$$\frac{f_a}{F_a} = 0,72$$

Según la ecuación 2-27:

$$f_b = 504 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-28:

$$F_b = 165 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-30:

$$\frac{f_b}{F_b} = 3,05$$

Según la ecuación 2-23:

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_b}{F_b} = 3,78 > 1$$

Respuesta: Las columnas no resisten la carga aplicada.

➤ Columnas compuestas por perfiles IPE 360.

La sección transversal para la columna es la misma de la figura 4-6.

Según el anexo A2 el momento de inercia de un perfil IPE 360 es:

$$I_{xi} = 16270 \text{ cm}^4:$$

$$I_x = 3 * I_{xi} = 48810 \text{ cm}^4 = 488,1 E - 6 \text{ m}^4$$

Según el anexo A2:

$$A_i = 72,7 \text{ cm}^2$$

$$A = 3 * A_i = 218,1 \text{ cm}^2 = 21,81 E - 3 \text{ m}^2$$

El pórtico es el mismo de la figura 4-7.

$$I_{1-2} = 488,1 E - 6 \text{ m}^4$$

$$I_{2-3} = 481,8 E - 6 \text{ m}^4$$

Según la ecuación 2-15:

$$\phi = 4,38$$

Según la ecuación 2-17:

$$F = 13,37$$

El diagrama de momentos es el mismo de la figura 4-2 con los valores calculados a continuación.

Según la ecuación 2-18 los momentos en los puntos 1 y 4 son:

$$M_1 = M_4 = -556,35 \text{ KNm}$$

Según la ecuación 2-19 los momentos en los puntos 2 y 3 son:

$$M_2 = M_3 = 1112,7 \text{ KNm}$$

Según la ecuación 2-25:

$$f_a = 93,19 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-26:

$$F_a = 150 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-29:

$$\frac{f_a}{F_a} = 0,62$$

Según la ecuación 2-27:

$$f_b = 410 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-28:

$$F_b = 165 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-30:

$$\frac{f_b}{F_b} = 2,49$$

Según la ecuación 2-23:

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_b}{F_b} = 3,11 > 1$$

Respuesta: Las columnas no resisten la carga aplicada.

➤ Columnas compuestas por perfiles IPE 400.

La sección transversal para la columna es la misma de la figura 4-8.

Según el anexo A2 el momento de inercia de un perfil IPE 400 es:

$$I_{xi} = 23130 \text{ cm}^4:$$

$$I_x = 3 * I_{xi} = 69390 \text{ cm}^4 = 693,9 \text{ E} - 6 \text{ m}^4$$

Según el anexo A2:

$$A_i = 84,5 \text{ cm}^2$$

$$A = 3 * A_i = 253,5 \text{ cm}^2 = 25,35 \text{ E} - 3 \text{ m}^2$$

El pórtico es el mismo de la figura 4-9.

$$I_{1-2} = 693,1 E - 6 m^4$$

$$I_{2-3} = 481,8 E - 6 m^4$$

Según la ecuación 2-15:

$$\phi = 6,17$$

Según la ecuación 2-17:

$$F = 12,97$$

El diagrama de momentos es el mismo de la figura 4-2 con los valores calculados a continuación.

Según la ecuación 2-18 los momentos en los puntos 1 y 4 son:

$$M_1 = M_4 = -568,75 \text{ KNm}$$

Según la ecuación 2-19 los momentos en los puntos 2 y 3 son:

$$M_2 = M_3 = 1137,51 \text{ KNm}$$

Según la ecuación 2-25:

$$f_a = 80,18 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-26:

$$F_a = 150 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-29:

$$\frac{f_a}{F_a} = 0,53$$

Según la ecuación 2-27:

$$f_b = 328 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-28:

$$Fb = 165 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-30:

$$\frac{fb}{Fb} = 1,99$$

Según la ecuación 2-23:

$$\frac{fa}{Fa} + \frac{fb}{Fb} = 2,52 > 1$$

Respuesta: Las columnas no resisten la carga aplicada.

➤ Columnas compuestas por perfiles IPE 450.

La sección transversal para la columna es la misma de la figura 4-10.

Según el anexo A2 el momento de inercia de un perfil IPE 450 es:

$$I_{xi} = 33740 \text{ cm}^4:$$

$$I_x = 3 * I_{xi} = 101220 \text{ cm}^4 = 1,01 \text{ E} - 3 \text{ m}^4$$

Según el anexo A2:

$$A_i = 98,8 \text{ cm}^2$$

$$A = 3 * A_i = 296,4 \text{ cm}^2 = 29,64 \text{ E} - 3 \text{ m}^2$$

El pórtico es el mismo de la figura 4-11.

$$I_{1-2} = 1,01 \text{ E} - 3 \text{ m}^4$$

$$I_{2-3} = 481,8 \text{ E} - 6 \text{ m}^4$$

Según la ecuación 2-15:

$$\phi = 8,91$$

Según la ecuación 2-17:

$$F = 12,67$$

El diagrama de momentos es el mismo de la figura 4-2 con los valores calculados a continuación.

Según la ecuación 2-18 los momentos en los puntos 1 y 4 son:

$$M_1 = M_4 = -576,15 \text{ KNm}$$

Según la ecuación 2-19 los momentos en los puntos 2 y 3 son:

$$M_2 = M_3 = 1152,3 \text{ KNm}$$

Según la ecuación 2-25:

$$f_a = 68,6 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-26:

$$F_a = 150 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-29:

$$\frac{f_a}{F_a} = 0,46$$

Según la ecuación 2-27:

$$f_b = 256 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-28:

$$F_b = 165 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-30:

$$\frac{f_b}{F_b} = 1,55$$

Según la ecuación 2-23:

$$\frac{fa}{Fa} + \frac{fb}{Fb} = 2,01 > 1$$

Respuesta: Las columnas no resisten la carga aplicada.

➤ Columnas compuestas por perfiles IPE 500.

La sección transversal para la columna es la misma de la figura 4-12.

Según el anexo A2 el momento de inercia de un perfil IPE 500 es:

$$I_{xi} = 48200 \text{ cm}^4$$

$$I_x = 3 * I_{xi} = 144600 \text{ cm}^4 = 1,446 \text{ E} - 3 \text{ m}^4$$

Según el anexo A2:

$$A_i = 116 \text{ cm}^2$$

$$A = 3 * A_i = 348 \text{ cm}^2 = 34,8 \text{ E} - 3 \text{ m}^2$$

El pórtico es el mismo de la figura 4-13.

$$I_{1-2} = 1,446 \text{ E} - 3 \text{ m}^4$$

$$I_{2-3} = 481,8 \text{ E} - 6 \text{ m}^4$$

Según la ecuación 2-15:

$$\phi = 12,59$$

Según la ecuación 2-17:

$$F = 12,47$$

El diagrama de momentos es el mismo de la figura 4-2 con los valores calculados a continuación.

Según la ecuación 2-18 los momentos en los puntos 1 y 4 son:

$$M_1 = M_4 = -579,15 \text{ KNm}$$

Según la ecuación 2-19 los momentos en los puntos 2 y 3 son:

$$M_2 = M_3 = 1158,29 \text{ KNm}$$

Según la ecuación 2-25:

$$f_a = 58,4 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-26:

$$F_a = 150 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-29:

$$\frac{f_a}{F_a} = 0,39$$

Según la ecuación 2-27:

$$f_b = 200 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-28:

$$F_b = 165 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-30:

$$\frac{f_b}{F_b} = 1,21$$

Según la ecuación 2-23:

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_b}{F_b} = 1,60 > 1$$

Respuesta: Las columnas no resisten la carga aplicada.

➤ Columnas compuestas por perfiles IPE 550.

La sección transversal para la columna es la misma de la figura 4-14.

Según el anexo A2 el momento de inercia de un perfil IPE 550 es:

$$I_{xi} = 67120 \text{ cm}^4:$$

$$I_x = 3 * I_{xi} = 201360 \text{ cm}^4 = 2,01 E - 3 \text{ m}^4$$

Según el anexo A2:

$$A_i = 134 \text{ cm}^2$$

$$A = 3 * A_i = 402 \text{ cm}^2 = 40,2 E - 3 \text{ m}^2$$

El pórtico es el mismo de la figura 4-15.

$$I_{1-2} = 2,01 E - 3 \text{ m}^4$$

$$I_{2-3} = 481,8 E - 6 \text{ m}^4$$

Según la ecuación 2-15:

$$\phi = 17,35$$

Según la ecuación 2-17:

$$F = 12,35$$

El diagrama de momentos es el mismo de la figura 4-2 con los valores calculados a continuación.

Según la ecuación 2-18 los momentos en los puntos 1 y 4 son:

$$M_1 = M_4 = -579,1 \text{ KNm}$$

Según la ecuación 2-19 los momentos en los puntos 2 y 3 son:

$$M_2 = M_3 = 1158,21 \text{ KNm}$$

Según la ecuación 2-25:

$$f_a = 50,56 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-26:

$$F_a = 150 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-29:

$$\frac{f_a}{F_a} = 0,34$$

Según la ecuación 2-27:

$$f_b = 158 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-28:

$$F_b = 165 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-30:

$$\frac{f_b}{F_b} = 0,96$$

Según la ecuación 2-23:

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_b}{F_b} = 1,30 > 1$$

Respuesta: Las columnas no resisten la carga aplicada.

#### **4.2.10 RESISTENCIA DE LAS COLUMNAS USANDO ACERO ASTM A 283 – C Y LA FUERZA MÁXIMA ENTREGADA POR EL ÉMBOLO CON DIFERENTES SECCIONES TRANSVERSALES COMPUESTAS POR PERFILES IPE MEDIANTE EL MÉTODO DE DISEÑO POR ESFUERZOS PERMISIBLES (ASD)**

Según el anexo A1 el límite de fluencia del acero ASTM A36 y JIS G-3101 SS41M es:

$$F_y = 205 \text{ MPa}$$

La sección transversal para la mesa de la estructura es la misma de la figura 4-3.

Según el anexo A3 el momento de inercia de un perfil UPN 300 es:

$$I_{xi} = 8030 \text{ cm}^4$$

$$I_x = 6 * I_{xi} = 48180 \text{ cm}^4 = 481,8 E - 6 \text{ m}^4$$

➤ Columnas compuestas por perfiles IPE 330.

La sección transversal para la columna es la misma de la figura 4-4.

Según el anexo A2 el momento de inercia de un perfil IPE 330 es:

$$I_{xi} = 11770 \text{ cm}^4:$$

$$I_x = 3 * I_{xi} = 35310 \text{ cm}^4 = 353,1 E - 6 \text{ m}^4$$

Según el anexo A2:

$$A_i = 62,6 \text{ cm}^2$$

$$A = 3 * A_i = 187,8 \text{ cm}^2 = 18,78 E - 3 \text{ m}^2$$

El pórtico es el mismo de la figura 4-5.

$$I_{1-2} = 353,1 E - 6 \text{ m}^4$$

$$I_{2-3} = 481,8 E - 6 \text{ m}^4$$

Según la ecuación 2-15:

$$\phi = 3,18$$

Según la ecuación 2-17:

$$F = 13,88$$

El diagrama de momentos es el mismo de la figura 4-2 con los valores calculados a continuación.

Según la ecuación 2-18 los momentos en los puntos 1 y 4 son:

$$M_1 = M_4 = -539,1 \text{ KNm}$$

Según la ecuación 2-19 los momentos en los puntos 2 y 3 son:

$$M_2 = M_3 = 1078,2 \text{ KNm}$$

Según la ecuación 2-25:

$$f_a = 108 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-26:

$$F_a = 123 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-29:

$$\frac{f_a}{F_a} = 0,88$$

Según la ecuación 2-27:

$$f_b = 504 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-28:

$$F_b = 135 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-30:

$$\frac{f_b}{F_b} = 3,72$$

Según la ecuación 2-23:

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_b}{F_b} = 4,60 > 1$$

Respuesta: Las columnas no resisten la carga aplicada.

➤ Columnas compuestas por perfiles IPE 360.

La sección transversal para la columna es la misma de la figura 4-6.

Según el anexo A2 el momento de inercia de un perfil IPE 360 es:

$$I_{xi} = 16270 \text{ cm}^4:$$

$$I_x = 3 * I_{xi} = 48810 \text{ cm}^4 = 488,1 E - 6 \text{ m}^4$$

Según el anexo A2:

$$A_i = 72,7 \text{ cm}^2$$

$$A = 3 * A_i = 218,1 \text{ cm}^2 = 21,81 E - 3 \text{ m}^2$$

El pórtico es el mismo de la figura 4-7.

$$I_{1-2} = 488,1 E - 6 \text{ m}^4$$

$$I_{2-3} = 481,8 E - 6 \text{ m}^4$$

Según la ecuación 2-15:

$$\phi = 4,38$$

Según la ecuación 2-17:

$$F = 13,37$$

El diagrama de momentos es el mismo de la figura 4-2 con los valores calculados a continuación.

Según la ecuación 2-18 los momentos en los puntos 1 y 4 son:

$$M_1 = M_4 = -556,35 \text{ KNm}$$

Según la ecuación 2-19 los momentos en los puntos 2 y 3 son:

$$M_2 = M_3 = 1112,7 \text{ KNm}$$

Según la ecuación 2-25:

$$f_a = 93,19 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-26:

$$Fa = 123 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-29:

$$\frac{fa}{Fa} = 0,76$$

Según la ecuación 2-27:

$$fb = 410 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-28:

$$Fb = 135 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-30:

$$\frac{fb}{Fb} = 3,03$$

Según la ecuación 2-23:

$$\frac{fa}{Fa} + \frac{fb}{Fb} = 3,79 > 1$$

Respuesta: Las columnas no resisten la carga aplicada.

➤ Columnas compuestas por perfiles IPE 400.

La sección transversal para la columna es la misma de la figura 4-8.

Según el anexo A2 el momento de inercia de un perfil IPE 400 es:

$$Ixi = 23130 \text{ cm}^4:$$

$$Ix = 3 * Ixi = 69390 \text{ cm}^4 = 693,9 \text{ E} - 6 \text{ m}^4$$

Según el anexo A2:

$$Ai = 84,5 \text{ cm}^2$$

$$A = 3 * Ai = 253,5 \text{ cm}^2 = 25,35 \text{ E} - 3 \text{ m}^2$$

El pórtico es el mismo de la figura 4-9.

$$I_{1-2} = 693,1 E - 6 m^4$$

$$I_{2-3} = 481,8 E - 6 m^4$$

Según la ecuación 2-15:

$$\phi = 6,17$$

Según la ecuación 2-17:

$$F = 12,97$$

El diagrama de momentos es el mismo de la figura 4-2 con los valores calculados a continuación.

Según la ecuación 2-18 los momentos en los puntos 1 y 4 son:

$$M_1 = M_4 = -568,75 \text{ KNm}$$

Según la ecuación 2-19 los momentos en los puntos 2 y 3 son:

$$M_2 = M_3 = 1137,51 \text{ KNm}$$

Según la ecuación 2-25:

$$f_a = 80,18 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-26:

$$F_a = 123 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-29:

$$\frac{f_a}{F_a} = 0,65$$

Según la ecuación 2-27:

$$f_b = 328 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-28 es:

$$Fb = 135 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-30:

$$\frac{fb}{Fb} = 2,42$$

Según la ecuación 2-23:

$$\frac{fa}{Fa} + \frac{fb}{Fb} = 3,08 > 1$$

Respuesta: Las columnas no resisten la carga aplicada.

➤ Columnas compuestas por perfiles IPE 450.

La sección transversal para la columna es la misma de la figura 4-10.

Según el anexo A2 el momento de inercia de un perfil IPE 450 es:

$$Ixi = 33740 \text{ cm}^4:$$

$$Ix = 3 * Ixi = 101220 \text{ cm}^4 = 1,01 \text{ E} - 3 \text{ m}^4$$

Según el anexo A2:

$$Ai = 98,8 \text{ cm}^2$$

$$A = 3 * Ai = 296,4 \text{ cm}^2 = 29,64 \text{ E} - 3 \text{ m}^2$$

El pórtico es el mismo de la figura 4-11.

$$I_{1-2} = 1,01 \text{ E} - 3 \text{ m}^4$$

$$I_{2-3} = 481,8 \text{ E} - 6 \text{ m}^4$$

Según la ecuación 2-15:

$$\phi = 8,91$$

Según la ecuación 2-17:

$$F = 12,67$$

El diagrama de momentos es el mismo de la figura 4-2 con los valores calculados a continuación.

Según la ecuación 2-18 los momentos en los puntos 1 y 4 son:

$$M_1 = M_4 = -576,15 \text{ KNm}$$

Según la ecuación 2-19 los momentos en los puntos 2 y 3 son:

$$M_2 = M_3 = 1152,3 \text{ KNm}$$

Según la ecuación 2-25:

$$f_a = 68,6 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-26:

$$F_a = 123 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-29:

$$\frac{f_a}{F_a} = 0,56$$

Según la ecuación 2-27:

$$f_b = 256 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-28:

$$F_b = 135 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-30:

$$\frac{f_b}{F_b} = 1,89$$

Según la ecuación 2-23:

$$\frac{fa}{Fa} + \frac{fb}{Fb} = 2,45 > 1$$

Respuesta: Las columnas no resisten la carga aplicada.

➤ Columnas compuestas por perfiles IPE 500.

La sección transversal para la columna es la misma de la figura 4-12.

Según el anexo A2 el momento de inercia de un perfil IPE 500 es:

$$I_{xi} = 48200 \text{ cm}^4$$

$$I_x = 3 * I_{xi} = 144600 \text{ cm}^4 = 1,446 \text{ E} - 3 \text{ m}^4$$

Según el anexo A2:

$$A_i = 116 \text{ cm}^2$$

$$A = 3 * A_i = 348 \text{ cm}^2 = 34,8 \text{ E} - 3 \text{ m}^2$$

El pórtico es el mismo de la figura 4-13.

$$I_{1-2} = 1,446 \text{ E} - 3 \text{ m}^4$$

$$I_{2-3} = 481,8 \text{ E} - 6 \text{ m}^4$$

Según la ecuación 2-15:

$$\phi = 12,59$$

Según la ecuación 2-17:

$$F = 12,47$$

El diagrama de momentos es el mismo de la figura 4-2 con los valores calculados a continuación.

Según la ecuación 2-18 los momentos en los puntos 1 y 4 son:

$$M_1 = M_4 = -579,15 \text{ KNm}$$

Según la ecuación 2-19 los momentos en los puntos 2 y 3 son:

$$M_2 = M_3 = 1158,29 \text{ KNm}$$

Según la ecuación 2-25:

$$f_a = 58,4 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-26:

$$F_a = 123 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-29:

$$\frac{f_a}{F_a} = 0,47$$

Según la ecuación 2-27:

$$f_b = 200 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-28:

$$F_b = 135 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-30:

$$\frac{f_b}{F_b} = 1,48$$

Según la ecuación 2-23:

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_b}{F_b} = 1,95 > 1$$

Respuesta: Las columnas no resisten la carga aplicada.

➤ Columnas compuestas por perfiles IPE 550.

La sección transversal para la columna es la misma de la figura 4-14.

Según el anexo A2 el momento de inercia de un perfil IPE 550 es:

$$I_{xi} = 67120 \text{ cm}^4$$

$$I_x = 3 * I_{xi} = 201360 \text{ cm}^4 = 2,01 E - 3 \text{ m}^4$$

Según el anexo A2:

$$A_i = 134 \text{ cm}^2$$

$$A = 3 * A_i = 402 \text{ cm}^2 = 40,2 E - 3 \text{ m}^2$$

El pórtico es el mismo de la figura 4-15.

$$I_{1-2} = 2,01 E - 3 \text{ m}^4$$

$$I_{2-3} = 481,8 E - 6 \text{ m}^4$$

Según la ecuación 2-15:

$$\phi = 17,35$$

Según la ecuación 2-17:

$$F = 12,35$$

El diagrama de momentos es el mismo de la figura 4-2 con los valores calculados a continuación.

Según la ecuación 2-18 los momentos en los puntos 1 y 4 son:

$$M_1 = M_4 = -579,1 \text{ KNm}$$

Según la ecuación 2-19 los momentos en los puntos 2 y 3 son:

$$M_2 = M_3 = 1158,21 \text{ KNm}$$

Según la ecuación 2-25:

$$f_a = 50,56 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-26:

$$Fa = 123 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-29:

$$\frac{fa}{Fa} = 0,41$$

Según la ecuación 2-27:

$$fb = 158 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-28:

$$Fb = 135 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-30:

$$\frac{fb}{Fb} = 1.17$$

Según la ecuación 2-23:

$$\frac{fa}{Fa} + \frac{fb}{Fb} = 1,58 > 1$$

Respuesta: Las columnas no resisten la carga aplicada.

#### **4.2.11 RESISTENCIA DE LAS COLUMNAS USANDO DIFERENTES ACEROS ESTRUCTURALES CON LA SECCIÓN TRANSVERSAL DADA EN LA FIGURA 4-16 POR EL MÉTODO DE DISEÑO POR ESFUERZOS PERMISIBLES (ASD)**

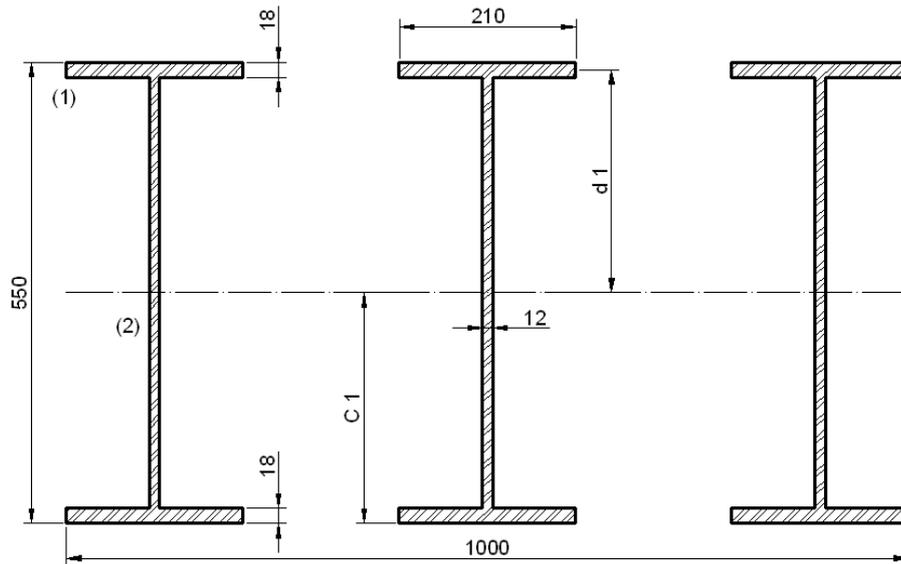
La sección transversal para la mesa de la estructura es la misma de la figura 4-3.

Según el anexo A3 el momento de inercia de un perfil UPN 300 es:

$$Ixi = 8030 \text{ cm}^4$$

El momento de inercia de la sección transversal para la mesa es:

$$Ix = 6 * Ixi = 48180 \text{ cm}^4 = 481,8 \text{ E} - 6 \text{ m}^4$$



**Figura 4-16** Sección transversal compuesta

Fuente: *Ciro I. Ortiz H*

Según la ecuación 2-11  $A_1$  y  $A_2$  son:

$$A_1 = 3,78 E - 3 m^2$$

$$A_2 = 6,17 E - 3 m^2$$

Según la ecuación 2-14 el área de la sección es:

$$A = 41,184 E - 3 m^2$$

Según la ecuación 2-12 las inercias parciales son:

$$I_1 = 1,0206 E - 7 m^4$$

$$I_2 = 1,358 E - 5 m^4$$

De acuerdo al procedimiento descrito en la sección 2.2.12 la distancia al centro de gravedad de la sección compuesta desde su base es:

$$C_1 = 0,275 m$$

Y la distancia desde el centro de gravedad de la sección compuesta al centro de gravedad de la sección (1) es:

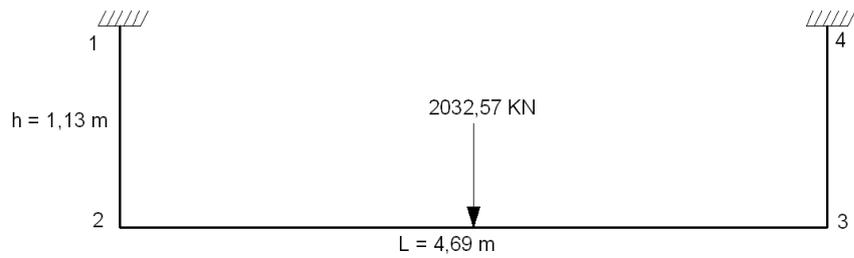
$$d1 = 0.266 \text{ m}$$

De acuerdo a la ecuación 2-13 el momento de inercia  $I_x$  es:

$$I_x = 2,01275 E - 3 \text{ m}^4$$

De acuerdo a la ecuación 2-31 el modulo de sección  $S_x$  es:

$$S_x = 7,319 E - 3 \text{ m}^3$$



**Figura 4-17 Pórtico con la sección transversal compuesta de la figura 4-16**

*Fuente: Ciro I. Ortiz H.*

$$I_{1-2} = 2,01275 E - 3 \text{ m}^4$$

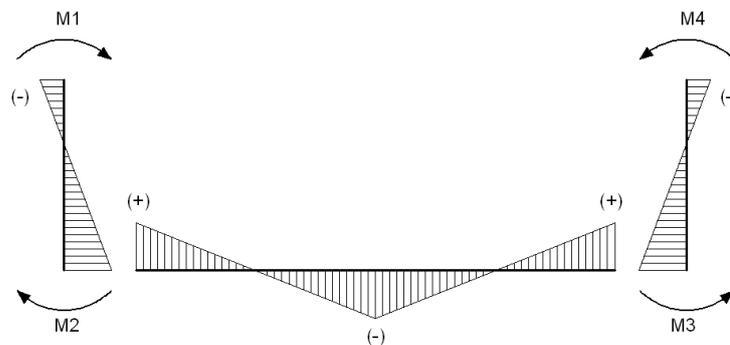
$$I_{2-3} = 481,8 E - 6 \text{ m}^4$$

Según la ecuación 2-15:

$$\phi = 17,34$$

Según la ecuación 2-17:

$$F = 12,346$$



**Figura 4-18 Diagrama de momentos (pórtico figura 4-16)**

*Fuente: Ciro I. Ortiz H.*

Según la ecuación 2-18 los momentos en los puntos 1 y 4 son:

$$M_1 = M_4 = -579,098 \text{ KNm}$$

Según la ecuación 2-19 los momentos en los puntos 2 y 3son:

$$M_2 = M_3 = 1158,195 \text{ KNm}$$

➤ Material: ASTM A 572 grado 50.

Datos:

Según el anexo A1 el límite de fluencia para este acero es:  $F_y = 345 \text{ MPa}$

$$P = 2032,57 \text{ KN}$$

$$A = 41,184 \text{ E} - 3 \text{ m}^2$$

$$M_2 = M_3 = 1158,195 \text{ KNm}$$

Solución:

Según la ecuación 2-25:

$$f_a = 49,35 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-26:

$$F_a = 207 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-29:

$$\frac{f_a}{F_a} = 0,24$$

Según la ecuación 2-27:

$$f_b = 158,24 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-28:

$$F_b = 227,7 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-30:

$$\frac{fb}{Fb} = 0,69$$

Según la ecuación 2-23:

$$\frac{fa}{Fa} + \frac{fb}{Fb} = 0,93 < 1$$

Respuesta: Las columnas resisten la carga aplicada.

➤ Material: ASTM A 588M grado A.

Datos:

Según el anexo A1 el límite de fluencia para este acero es:  $F_y = 345 \text{ MPa}$

$$P = 2032,57 \text{ KN}$$

$$A = 41,184 \text{ E} - 3 \text{ m}^2$$

$$M_2 = M_3 = 1158,195 \text{ KNm}$$

Solución:

Según la ecuación 2-25:

$$f_a = 49,35 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-26:

$$F_a = 207 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-29:

$$\frac{fa}{Fa} = 0,24$$

Según la ecuación 2-27:

$$f_b = 158,24 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-28:

$$Fb = 227,7 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-30:

$$\frac{fb}{Fb} = 0,69$$

Según la ecuación 2-23:

$$\frac{fa}{Fa} + \frac{fb}{Fb} = 0,93 < 1$$

Respuesta: Las columnas resisten la carga aplicada.

➤ Material: ASTM A 570 grado 50.

Datos:

Según el anexo A1 el límite de fluencia para este acero es:  $F_y = 340 \text{ MPa}$

$$P = 2032,57 \text{ KN}$$

$$A = 41,184 \text{ E} - 3 \text{ m}^2$$

$$M_2 = M_3 = 1158,195 \text{ KNm}$$

Solución:

Según la ecuación 2-25:

$$f_a = 49,35 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-26:

$$Fa = 204 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-29:

$$\frac{fa}{Fa} = 0,24$$

Según la ecuación 2-27:

$$f_b = 158,24 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-28:

$$F_b = 224,4 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-30:

$$\frac{f_b}{F_b} = 0,71$$

Según la ecuación 2-23:

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_b}{F_b} = 0,95 < 1$$

Respuesta: Las columnas resisten la carga aplicada.

➤ Material: JIS G-3103 SS41 M.

Datos:

Según el anexo A1 el límite de fluencia para este acero es:  $F_y = 250 \text{ MPa}$

$$P = 2032,57 \text{ KN}$$

$$A = 41,184 \text{ E} - 3 \text{ m}^2$$

$$M_2 = M_3 = 1158,195 \text{ KNm}$$

Solución:

Según la ecuación 2-25:

$$f_a = 49,35 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-26:

$$F_a = 150 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-29:

$$\frac{fa}{Fa} = 0,33$$

Según la ecuación 2-27:

$$fb = 158,24 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-28:

$$Fb = 165 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-30:

$$\frac{fb}{Fb} = 96$$

Según la ecuación 2-23:

$$\frac{fa}{Fa} + \frac{fb}{Fb} = 1,29 > 1$$

Respuesta: Las columnas no resisten la carga aplicada.

➤ Material: ASTM A 36.

Datos:

Según el anexo A1 el límite de fluencia para este acero es:  $F_y = 250 \text{ MPa}$

$$P = 2032,57 \text{ KN}$$

$$A = 41,184 \text{ E} - 3 \text{ m}^2$$

$$M_2 = M_3 = 1158,195 \text{ KNm}$$

Solución:

Según la ecuación 2-25:

$$fa = 49,35 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-26:

$$F_a = 150 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-29:

$$\frac{f_a}{F_a} = 0,33$$

Según la ecuación 2-27:

$$f_b = 158,24 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-28:

$$F_b = 165 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-30:

$$\frac{f_b}{F_b} = 96$$

Según la ecuación 2-23:

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_b}{F_b} = 1,29 > 1$$

Respuesta: Las columnas no resisten la carga aplicada.

➤ Material: ASTM A 283 grado C.

Datos:

Según el anexo A1 el límite de fluencia para este acero es:  $F_y = 205 \text{ MPa}$

$$P = 2032,57 \text{ KN}$$

$$A = 41,184 \text{ E} - 3 \text{ m}^2$$

$$M_2 = M_3 = 1158,195 \text{ KNm}$$

Solución:

Según la ecuación 2-25:

$$f_a = 49,35 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-26:

$$F_a = 123 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-29:

$$\frac{f_a}{F_a} = 0,40$$

Según la ecuación 2-27:

$$f_b = 158,24 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-28:

$$F_b = 135,3 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-30:

$$\frac{f_b}{F_b} = 1,17$$

Según la ecuación 2-23:

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_b}{F_b} = 1,57 > 1$$

Respuesta: Las columnas no resisten la carga aplicada.

#### **4.2.12 DEFORMACIÓN CALCULADA DE LA MESA**

En la tabla 4-14 se muestran los valores teóricos de la deformación de la mesa obtenidos en centímetros de acuerdo a la ecuación dada en la figura 2-26.

$$(Y_{max} = \frac{PL^3}{48EI})$$

Donde:

$Y_{max}$  = deformación

P = carga aplicada

De acuerdo al anexo A5 el módulo de elasticidad es:  $E = 2,2 E6 \text{ Kg}f / \text{cm}^2$

El momento de inercia de la mesa es:  $I_x = 48180 \text{ cm}^4$

**Tabla 4-14 Deformación teórica de la mesa [cm]**

L [cm] \ P [Kgf]	458	452	444	434	424	414
9420	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13
37681	0,71	0,68	0,65	0,61	0,56	0,53
65955	1,25	1,20	1,13	1,06	0,99	0,92
94215	1,78	1,71	1,62	1,51	1,41	1,31
122476	2,31	2,22	2,11	1,97	1,83	1,71
131896	2,49	2,39	2,27	2,12	1,98	1,84

*Fuente: Ciro I. Ortiz H.*

#### 4.2.13 DEFORMACIÓN ADMISIBLE DE LA MESA

Para obtener la deformación máxima admisible de la mesa lo primero que se debe calcular es el momento flector máximo de la mesa que luego servirá para obtener la tensión máxima. El momento flector máximo se obtiene cuando se aplica la carga mayor que este caso es P = 131896 Kg.

**Tabla 4-15 Momentos flectores máximos de la mesa**

Ítem	Luz entre columnas L [cm]	Momento flector máximo $M = \frac{PL}{4}$ [Kgf cm]
1	458	15102092
2	452	14904248
3	444	14640456
4	434	14310716
5	424	13980976
6	414	13651236

*Fuente: Ciro I. Ortiz H.*

Para calcular la tensión máxima es necesario saber el valor del módulo resistente de la sección de la mesa. En el anexo A3 se da el módulo de resistencia del perfil UPN 300 como  $W_x = 535 \text{ cm}^3$ .

El módulo de resistencia de la mesa es:  $535 \text{ cm}^3 * 6 = 3210 \text{ cm}^3$ .

La tensión máxima se calcula mediante la ecuación 2-33.

**Tabla 4-16 Tensión máxima**

Ítem	Momento flector máximo [Kgfcm]	Tensión máxima [Kgf/mm <sup>2</sup> ]
1	15102092	47,05
2	14904248	46,43
3	14640456	45,61
4	14310716	44,58
5	13980976	43,55
6	13651236	42,53

*Fuente: Ciro I. Ortiz H.*

La flecha máxima permisible de la mesa se muestra en la tabla 4-17, ésta se ha calculado mediante la ecuación 2-32.

**Tabla 4-17 Flecha máxima permisible de la mesa**

Ítem	Tensión máxima [Kgf/mm <sup>2</sup> ]	Luz entre columnas [m]	Canto de la mesa [cm]	Flecha máxima permisible [ mm] $f = \frac{\sigma L^2}{h}$
1	47,05	4,58	30	32,89
2	46,43	4,52	30	31,62
3	45,61	4,44	30	29,97
4	44,58	4,34	30	27,99
5	43,55	4,24	30	26,10
6	42,53	4,14	30	24,30

*Fuente: Ciro I. Ortiz H.*

#### **4.2.14 DEFORMACIÓN ADMISIBLE PARA LOS VALORES MEDIDOS DE LA MESA**

Para obtener la deformación máxima admisible lo primero que se debe calcular es el momento flector que luego servirá para obtener la tensión máxima. El valor del momento flector se obtiene para cada valor de fuerza aplicada tomados de la tabla 4-13. La luz entre columnas es  $L = 454\text{cm}$

**Tabla 4-18 Momentos flectores máximos de la mesa actual**

Ítem	fuerza P [Kgf]	Momento flector máximo $M = \frac{PL}{4}$ [Kgf cm]
1	9420	1069170
2	37681	4276793.5
3	65955	7485892.5
4	94215	10693402.5
5	122476	13901026
6	131896	14970196

*Fuente: Ciro I. Ortiz H.*

Para calcular la tensión máxima es necesario saber el valor del modulo resistente de la sección de la mesa. En el anexo A3 se da el modulo de resistencia del perfil UPN 300 como  $W_x = 535 \text{ cm}^3$ .

El modulo de resistencia de la mesa es:  $535 \text{ cm}^3 * 6 = 3210 \text{ cm}^3$ .

La tensión máxima se calcula mediante la ecuación 2-33.

**Tabla 4-19 Tensión máxima de la mesa actual**

Ítem	Momento flector máximo [Kgf cm]	Tensión máxima [Kgf/mm <sup>2</sup> ]
1	1069170	3,33
2	4276793.5	13,32
3	7485892.5	23,32
4	10693402.5	33,31
5	13901026	43,31
6	14970196	46,64

*Fuente: Ciro I. Ortiz H.*

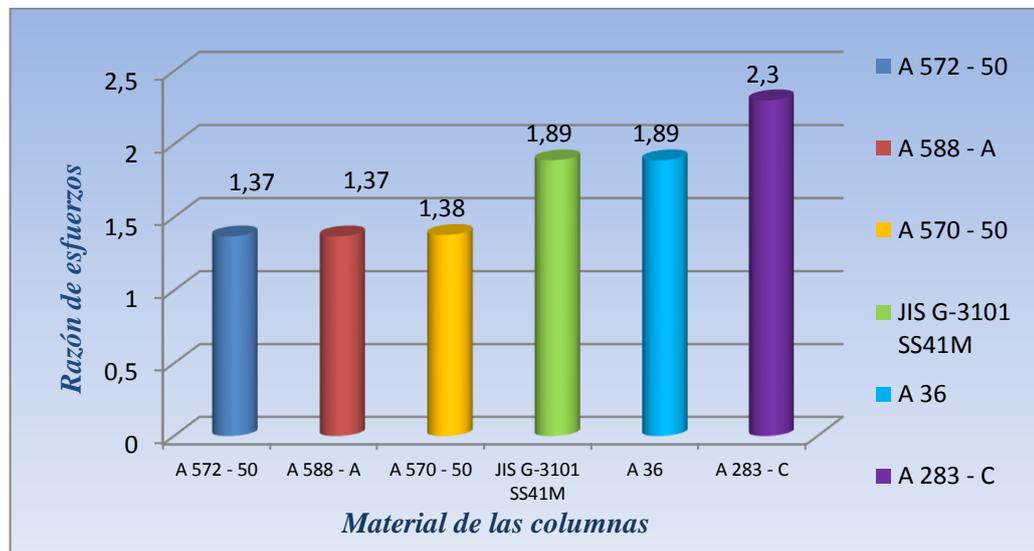
La flecha máxima permisible de la mesa se muestra en la tabla 4-17, ésta se ha calculado mediante la ecuación 2-32.

**Tabla 4-20 Flecha máxima permisible de la mesa actual**

Ítem	Tensión máxima [Kgf/mm <sup>2</sup> ]	Luz entre columnas [m]	Canto de la mesa [cm]	Flecha máxima permisible [ mm] $f = \frac{\sigma L^2}{h}$
1	3,33	4,54	30	2,29
2	13,32	4,54	30	9,15
3	23,32	4,54	30	16,02
4	33,31	4,54	30	22,89
5	43,31	4,54	30	29,75
6	46,64	4,54	30	32,04

Fuente: *Ciro I. Ortiz H.*

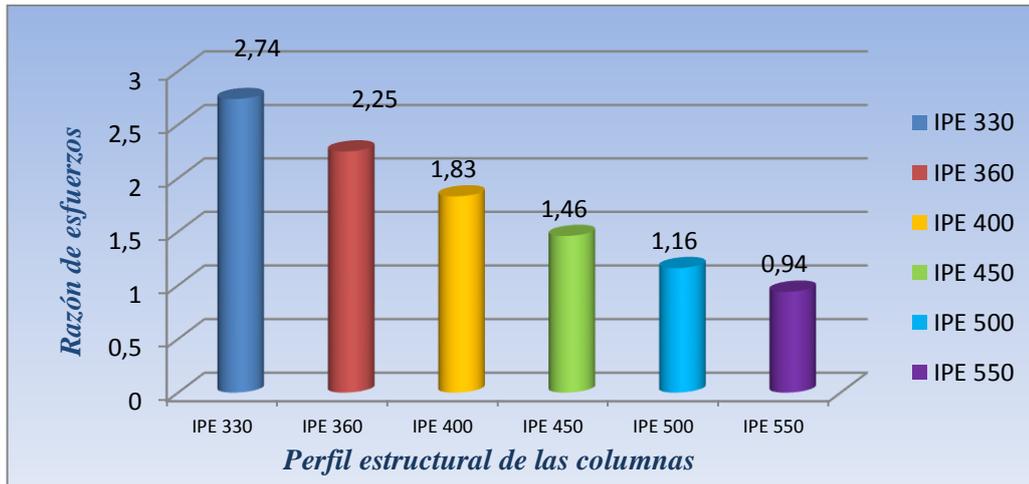
### 4.3 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS



**Figura 4-19 Resistencia de las columnas originales de la estructura verificado por el método de diseño por esfuerzos permisibles.**

Fuente: *Ciro I. Ortiz H.*

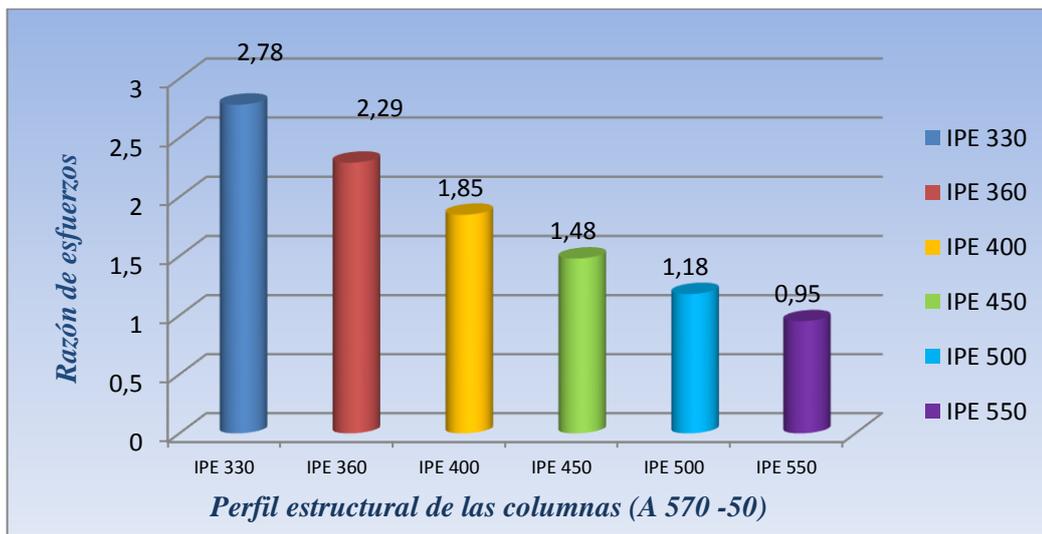
En la figura 4-19 se observa que las columnas actualmente utilizadas en la prensa hidráulica no resisten la carga aplicada debido a que su sección transversales demasiado pequeña, además se observa que no hay un material en el mercado que pueda resistir bajo estas condiciones.



**Figura 4-20 Resistencia de las columnas ensayando diferentes perfiles IPE para formar las columnas con los aceros ASTM A588-A y A572-50 mediante el método de diseño por esfuerzos permisibles.**

**Fuente: Ciro I. Ortiz H.**

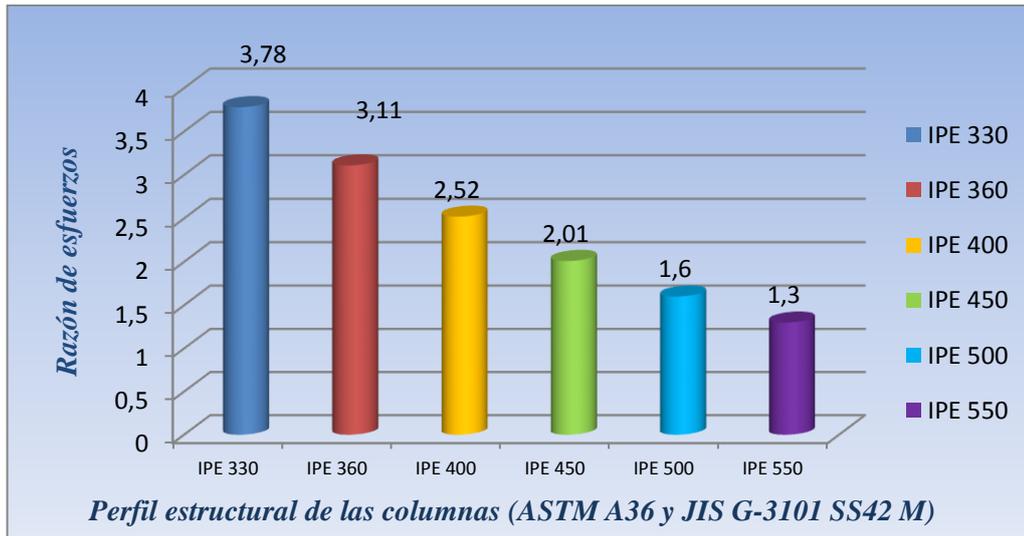
En la figura 4-20 se observa que las columnas resistirían la carga aplicada si se utiliza perfiles IPE 550 y acero ASTM A588-A ó A572-50 para su elaboración, mientras que con perfiles de menor dimensión no resistirían.



**Figura 4-21 Resistencia de las columnas ensayando diferentes perfiles IPE para formar las columnas con el acero ASTM A570-50 mediante el método de diseño por esfuerzos permisibles**

**Fuente: Ciro I. Ortiz H.**

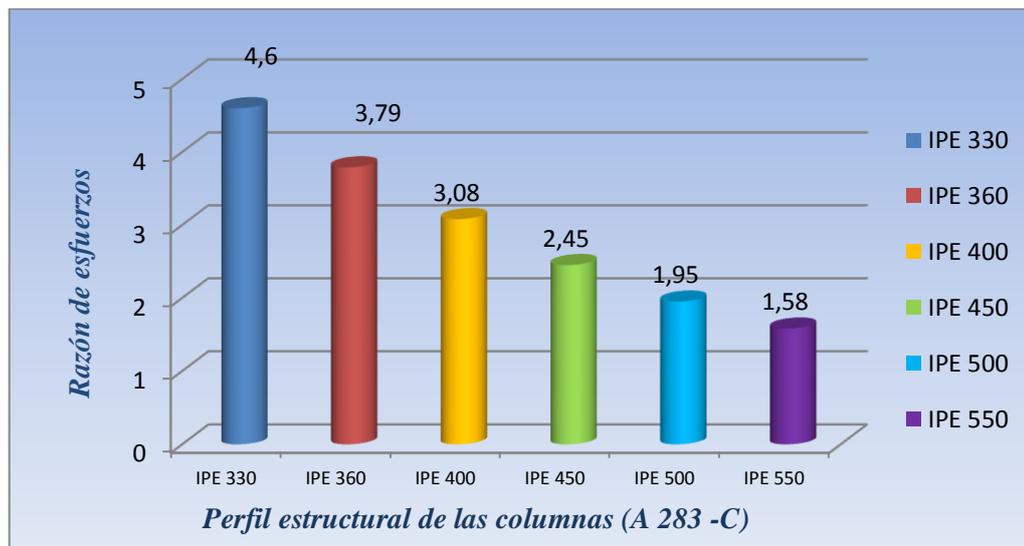
En la figura 4-2 se observa que las columnas resistirían la carga aplicada si se utiliza perfiles IPE 550 y acero ASTM A570-50 para su elaboración, mientras que con perfiles de menor dimensión no resistirían.



**Figura 4-22 Resistencia de las columnas ensayando diferentes perfiles IPE para formar las columnas con los aceros ASTM A36 y JIS G-3101 SS41 M mediante el método de diseño por esfuerzos permisibles.**

*Fuente: Ciro I. Ortiz H.*

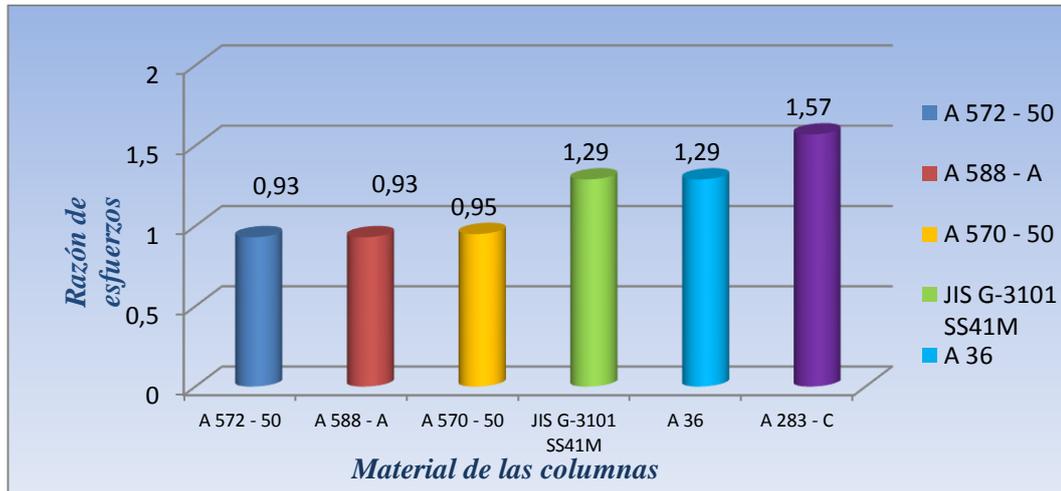
En la figura 4-22 se observa que las columnas no resistirían la carga aplicada si se utiliza alguno de los perfiles dados y acero ASTM A36 ó Jis G-3101 SS41 para su construcción.



**Figura 4-23 Resistencia de las columnas ensayando diferentes perfiles IPE para formar las columnas con el acero ASTM A283-C mediante el método de diseño por esfuerzos permisibles.**

*Fuente: Ciro I. Ortiz H.*

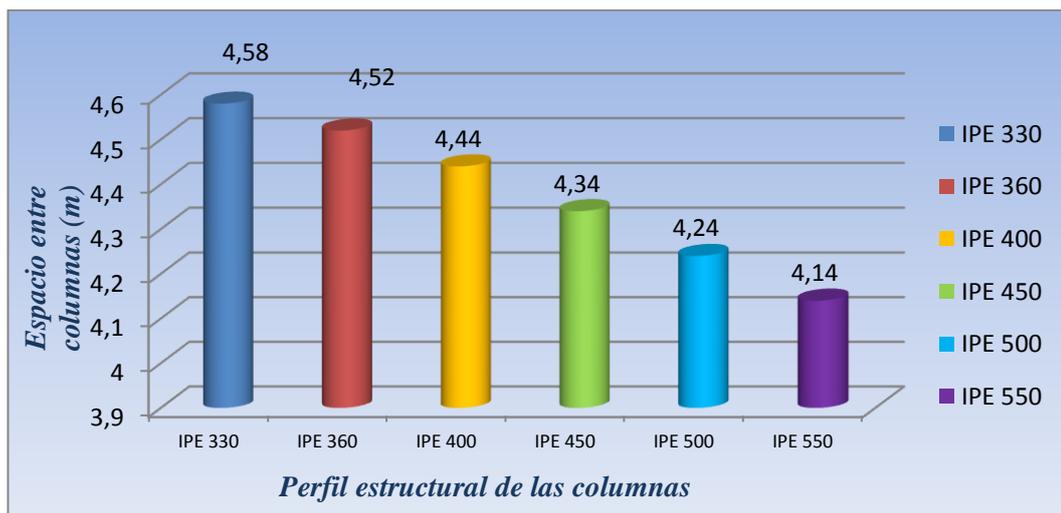
En la figura 4-23 se observa que las columnas no resistirían la carga aplicada si se utiliza alguno de los perfiles dados y acero ASTM A283-C para su construcción.



**Figura 4-24 Resistencia de las columnas ensayando la sección transversal de la figura 4-16 verificado por el método de diseño por esfuerzos permisibles.**

**Fuente: Ciro I. Ortiz H.**

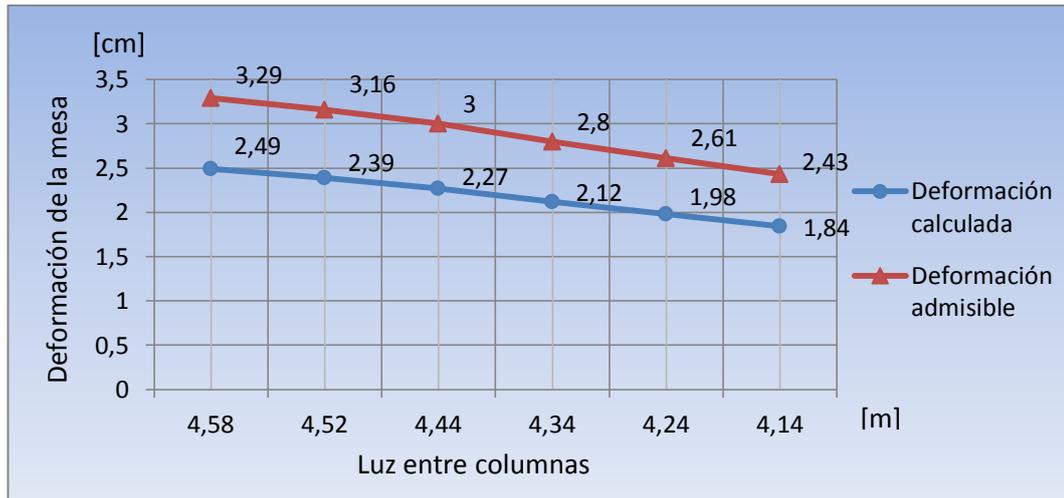
En la figura 4-24 se observa que las columnas resistirían la carga aplicada si se utiliza la sección transversal de la figura 4-16y acero ASTM A572-50, A588-A ó A570-50para su elaboración, siendo los más satisfactorios los dos primeros aceros.



**Figura 4-25 Luz entre columnas con las diferentes secciones transversales ensayadas.**

**Fuente: Ciro I. Ortiz H.**

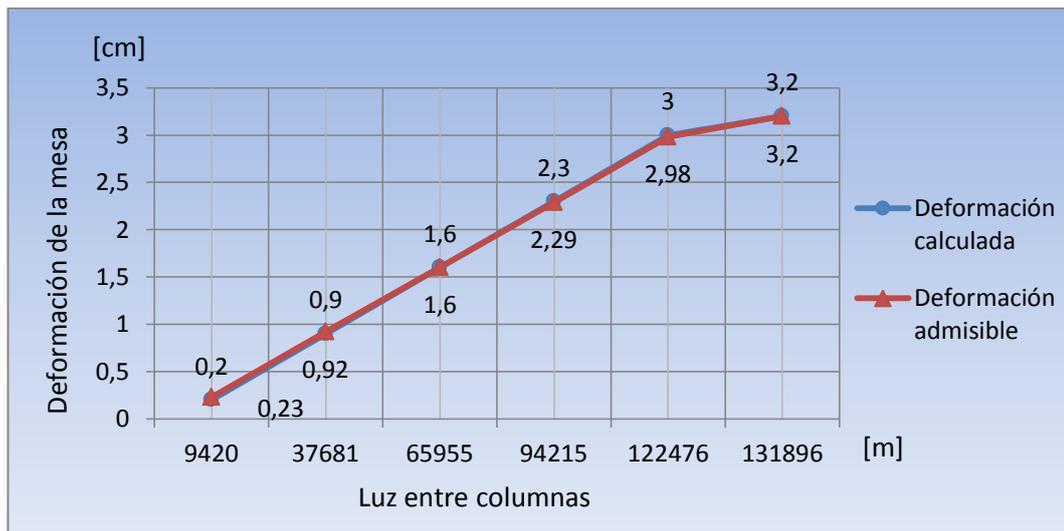
En la figura 4-25 se observa que la luz entre columnas mayor se consigue utilizando perfiles IPE 330 para le elaboración de las columnas, mientras que la luz entre columnas menor se consigue utilizando perfiles IPE 550 para la elaboración de las columnas.



**Figura 4-26 Deformación calculada Vs. Deformación admisible**

*Fuente: Ciro I. Ortiz H.*

En la figura 4-26 se observan los valores tanto de la deformación calculada como de la deformación admisible, donde se muestra que la deformación calculada es menor a la deformación admisible, esto indica que la deformación calculada es idónea para el diseño.



**Figura 4-27 Deformación medida de la mesa por la acción de la fuerza de trabajo Vs Deformación admisible.**

*Fuente: Ciro I. Ortiz H.*

En la figura 4-27 se observa que la deformación medida de la mesa de la estructura esta justamente en el límite de la deformación admisible, lo cual indica que la mesa está a punto de llegar a la falla.

## 4.4 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

### 4.4.1 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS PARA LAS FISURAS

#### **Modelo lógico:**

Los parámetros de diseño utilizados en la prensa hidráulica para la elaboración de tapas bombeadas es la causa de los problemas de funcionamiento que actualmente presenta en la empresa INDUACERO de la ciudad de Latacunga.

#### **Hipótesis nula ( $H_0$ ):**

Los esfuerzos generados en los extremos de las columnas debidos a la carga aplicada NO son la causa de las fisuras en estos lugares.

#### **Hipótesis aceptable ( $H_a$ ):**

Los esfuerzos generados en los extremos de las columnas debidos a la carga aplicada SI son la causa de las fisuras en estos lugares.

$$H_0: O = E \rightarrow O - E = 0$$

$$H_a: O > E \rightarrow O - E > 0$$

#### **Nivel de significancia ( $\alpha$ ):**

El nivel de significancia seleccionado es del 5% (0.05) para la comprobación de la hipótesis.

Modelo estadístico: el modelo estadístico a utilizarse es el chi cuadrado ( $\chi^2$ ).

#### **Selección del estadístico:**

La información recolectada en las tablas 4-14 y 4-15 será la utilizada para el cálculo estadístico del chi cuadrado para la verificación de la hipótesis, en estas tablas se encuentran los valores calculados del factor de diseño por esfuerzos permisibles para los extremos de las columnas, estos están calculados para diferentes aceros estructurales. En la primera tabla se muestra el cálculo para las

columnas utilizadas actualmente en la estructura mientras que en la segunda para columnas con una sección transversal como se muestra en la figura 4-16.

**Tabla 4-21** Razón de esfuerzos permisibles para las columnas de la estructura.

Ítem	Material (acero estructural)	Razón de esfuerzos
1	ASTM A 572-50	1,37
2	ASTM A 588-A	1,37
3	ASTM A 570-50	1,38
4	JIS G-3101 SS41M	1,89
5	ASTM A 36	1,89
6	ASTM A 283-C	2,3

*Fuente: Ciro I. Ortiz H.*

**Tabla 4-22** Razón de esfuerzos permisibles para las columnas de la estructura con la sección transversal de la figura 4-16.

Ítem	Material (acero estructural)	Razón de esfuerzos
1	ASTM A 572-50	0,93
2	ASTM A 588-A	0,93
3	ASTM A 570-50	0,95
4	JIS G-3101 SS41M	1,29
5	ASTM A 36	1,29
6	ASTM A 283-C	1,57

*Fuente: Ciro I. Ortiz H.*

$$X^2 = \sum \left[ \frac{O-E}{E} \right] \quad \text{Ecuación 4-1}$$

X<sup>2</sup>: Valor a calcularse del chi cuadrado.

∑: Sumatoria.

O: Frecuencia observada o calculada, datos de la investigación.

E: Frecuencia teórica o esperada.

### Región de aceptación y rechazo:

Para determinar la región de aceptación y rechazo, se calculan los grados de libertad, y se determina el valor del chi cuadrado en la tabla estadística.

Especificación de las regiones de aceptación y rechazo:

Para esto se calcula los grados de libertad (gl) con la ecuación 4-2.

$$gl = (c - 1)(f - 1) \quad \text{Ecuación 4-2}$$

gl: Grados de libertad

c: Columnas de la tabla

f: Filas de la tabla

*Tabla 4-23 Frecuencia observada y esperada*

O	E
0,93	0,95
0,93	0,95
0,95	0,95
1,29	0,95
1,29	0,95
1,57	0,95
1,37	0,95
1,37	0,95
1,38	0,95
1,89	0,95
1,89	0,95
2,3	0,95

*Fuente: Ciro I. Ortiz H*

$$gl = (2 - 1)(12 - 1) = 1 * 11 = 11$$

Para un nivel de significancia  $\alpha = 0,05$  y un grado de libertad  $gl = 11$  el valor del chi cuadrado de tablas es:

$$X^2_t = -19,6752 ; 196752$$

Determinación del chi cuadrado calculado (X2T):

En la tabla 4-17 la frecuencia esperada está dada por un valor de 0,95 para la razón de esfuerzos ideal para el diseño.

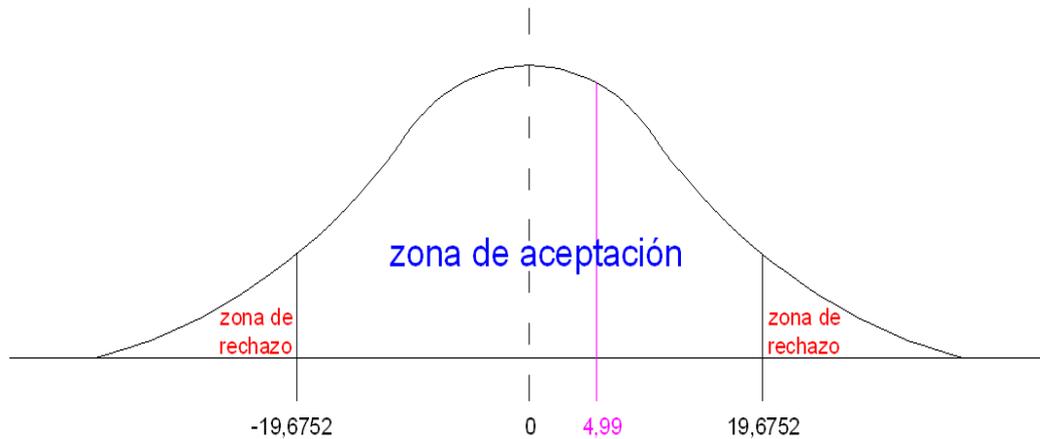
**Tabla 4-24 Cálculo del chi cuadrado**

O	E	(O-E) <sup>2</sup> /E
0,93	0,95	0,42 E-3
0,93	0,95	0,42 E-3
0,95	0,95	0
1,29	0,95	0,122
1,29	0,95	0,122
1,57	0,95	0,4
1,37	0,95	0,19
1,37	0,95	0,19
1,38	0,95	0,19
1,89	0,95	0,93
1,89	0,95	0,93
2,3	0,95	1,92
Total		4,99

*Fuente: Ciro I. Ortiz H*

$$X^2T = 4,99$$

Decisión:



**Figura 4-28 Verificación de la hipótesis para las fisuras en las columnas**

*Fuente: Ciro I. Ortiz H.*

Para un contraste bilateral el valor de chi cuadrado con 11 grados de libertad y por 5% de significancia el valor es de 19,6752, siendo el valor calculado de 4,99 SE RECHAZA la hipótesis nula y se considera la hipótesis aceptable como

verdadera: “Los esfuerzos generados en los extremo de las columnas debidos a la carga aplicada SI son la causa de las fisuras en estos lugares”.

#### **4.4.2 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS PARA LA DEFORMACIÓN DE LA MESA**

##### **Modelo lógico:**

Los parámetros de diseño utilizados en la estructura metálica de la prensa hidráulica para la elaboración de tapas bombeadas es la causa de los problemas de funcionamiento que presenta en la empresa INDUACERO S.A. de la ciudad de Latacunga.

##### **Hipótesis nula ( $H_0$ ):**

Los esfuerzos generados en el centro de la mesa de la estructura NO son la causa de su deformación.

##### **Hipótesis aceptable ( $H_a$ ):**

Los esfuerzos generados en el centro de la mesa de la estructura SI son la causa de su deformación.

$$H_0: O = E \rightarrow O - E = 0$$

$$H_a: O > E \rightarrow O - E > 0$$

##### **Nivel de significancia ( $\alpha$ ):**

El nivel de significancia seleccionado es del 5% (0.05) para la comprobación de la hipótesis.

Modelo estadístico: el modelo estadístico a utilizarse es el chi cuadrado ( $X^2$ ).

##### **Selección del estadístico:**

La información recolectada en la tabla 4-13 será la utilizada para el cálculo estadístico del chi cuadrado para la verificación de la hipótesis, en esta tabla se

encuentra los valores obtenidos de la deformación de la mesa cuando se aplica la carga de trabajo.

(Tabla 4-13)

Fuerza vs. Deformación de la mesa					
Ítem	$P_i$ Presión del émbolo principal		$F_i = P_i * A_{\text{émbolo}}$ Fuerza	Deformación de la mesa	
	Psi	Kgf/cm <sup>2</sup>		mm	cm
1	100	7,03	9420	2	0,2
2	400	28,12	37681	9	0,9
3	700	49,22	65955	16	1,6
4	1000	70,31	94215	23	2,3
5	1300	91,4	122476	30	3
6	1400	98,43	131896	32	3,2

*Fuente: Ciro I. Ortiz H.*

$$\chi^2 = \sum \left[ \frac{O-E}{E} \right] \quad \text{Ecuación 4-3}$$

$\chi^2$ : Valor a calcularse del chi cuadrado.

$\sum$ : Sumatoria.

O: Frecuencia observada o calculada, datos de la investigación.

E: Frecuencia teórica o esperada.

La frecuencia esperada se calcula de la siguiente forma:

### **Región de aceptación y rechazo:**

Para determinar la región de aceptación y rechazo, se calculan los grados de libertad, y se determina el valor del chi cuadrado en la tabla estadística.

### **Especificación de las regiones de aceptación y rechazo:**

Para esto se calcula los grados de libertad (gl) con la ecuación 4-2.

La deformación esperada se obtiene utilizando la ecuación para la deformación dada en la figura 2-26 ( $f = \frac{PL^3}{48 EI}$ ).

La luz entre columnas es: L = 454 cm

El momento de inercia de la sección transversal de la mesa es:  $I_x = 48180\text{cm}^4$

El Módulo de elasticidad es:  $E = 2,2 E6 \text{ Kg}f / \text{cm}^2$

**Tabla 4-25 Deformación esperada de la mesa de la estructura**

Ítem	Fuerza de trabajo [Kgf]	Deformación esperada [cm]
1	9420	0,17
2	37681	0,69
3	65955	1,21
4	94215	1,73
5	122476	2,25
6	131896	2,43

*Fuente: Ciro I. Ortiz H.*

**Tabla 4-26 Frecuencia observada y esperada**

O	E
0,2	0,17
0,9	0,69
1,6	1,21
2,3	1,73
3	2,25
3,2	2,43

*Fuente: Ciro I. Ortiz H.*

$$gl = (2 - 1)(6 - 1) = 1 * 5 = 5$$

Para un nivel de significancia  $\alpha = 0,05$  y un grado de libertad  $gl = 5$  el valor del chi cuadrado de tablas es:

$$X^2_t = -11,0705 ; 11,0705$$

Determinación del chi cuadrado calculado (X2T):

**Tabla 4-27 Cálculo del chi cuadrado**

O	E	(O-E) <sup>2</sup> /E
0,2	0,17	5,29 E-3
0,9	0,69	63,91 E-3
1,6	1,21	0,126
2,3	1,73	0,188
3	2,25	0,25
3,2	2,43	0,24
Total		0,87

*Fuente: Ciro I. Ortiz H.*

$$X^2T = 0,87$$

Decisión:



**Figura 4-29 Verificación de la hipótesis para la deformación de la mesa**

**Fuente: Ciro I. Ortiz H.**

Para un contraste bilateral el valor de chi cuadrado con 5 grados de libertad y por 5% de significancia el valor es de 11,0705, siendo el valor calculado de 0,87 SE RECHAZA la hipótesis nula y se considera la hipótesis aceptable como verdadera: “Los esfuerzos generados en el centro de la mesa de la estructura SI son la causa de su deformación”.

## CAPÍTULO V

### 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

- La prensa trabaja con una presión alrededor de los 1000 Psi con la cual se dan forma los diferentes tipos de tapas que se producen.
- De acuerdo a lo obtenido mediante investigación realizada los cortes realizados para aumentar la luz entre columnas han afectado la rigidez de la estructura y debilitado las columnas hasta el punto de su falla.
- De lo obtenido en el estudio las columnas no resisten a las condiciones de esfuerzo a las que están sometidas, el estudio indica que bajo una fuerza de 955,213 KN, que es la utilizada para embutir la tapa que mayor fuerza requiere, el factor de diseño por esfuerzos permisibles tiene un valor de 1,37 revelando que están sobreesforzadas dando lugar a la formación de fisuras.
- De lo obtenido experimentalmente la presión máxima entregada en el émbolo principal es de 2200 Psi.
- Mediante investigación de campo se obtuvo que la mesa ha sufrido una deformación de 3,2 mm estando en el límite admisible de ésta.
- De lo obtenido en el estudio la deformación de la mesa no superaría el límite admisible si se utiliza la configuración dada en la figura 4-3.
- Mediante investigación de campo se obtuvo que las columnas tienen fisuras con las dimensiones dadas en la tabla 4-9.
- De lo obtenido en el estudio se observa que mientras aumenta el tamaño de los perfiles IPE usados para formar las secciones compuestas de las

columnas disminuye el valor de la razón de esfuerzos permisibles, es decir aumenta la resistencia de las columnas.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

- De lo obtenido en el estudio el acero estructural ASTM A572-50, A588-A y A570-50 son los materiales recomendados para ser usados en las columnas debido a su elevado punto de fluencia y la resistencia satisfactoria que estos han dado en comparación con los demás aceros ensayados en el estudio.
- La luz entre columnas debe tener como mínimo un espacio de 4 metros para poder elaborar tapas de gran tamaño.
- Para que las columnas resistan deben construirse con perfiles IPE 550 o con la sección transversal dada en la figura 4-16 de este documento.
- La configuración idónea para el diseño de la mesa de la estructura está dada en la figura 4-3.
- La presión de trabajo en el émbolo principal debe estar por encima de los 1000 Psi y por debajo de los 1200 Psi para conseguir dar forma a los distintos tipos de tapas y sin la necesidad de recalibrarla cuando se vaya a trabajar en los diferentes tipos de tapas.
- Se recomienda realizar un rediseño de la estructura de la prensa hidráulica.

## **CAPÍTULO VI**

### **6 PROPUESTA**

REDISEÑO DE LA ESTRUCTURA METÁLICA DE LA PRENSA HIDRÁULICA PARA EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE TAPAS BOMBEADAS EN LA EMPRESA INDUACERO S. A. UBICADA EN LA CIUDAD DE LATACUNGA.

#### **6.1 DATOS INFORMATIVOS**

Los datos para el rediseño de la estructura metálica de la prensa hidráulica son los siguientes:

- Luz entre columnas: 4 metros (mínimo).
- Material de las columnas: ASTM A 572 grado 50.
- Sección transversal para las columnas: Figura 4-16.
- Presión máxima entregada por el émbolo principal de la prensa hidráulica: 2200 Psi.
- Tipo de unión entre materiales: Soldadura.

#### **6.2 ANTECEDENTES DE LA PROPUESTA**

En pos del adelanto y desarrollo de la empresa IDUACERO S. A. en la provincia de Cotopaxi y a nivel nacional, es notoria la necesidad de que las tapas que produce tengan una alta calidad.

En la provincia de Cotopaxi y una vez revisados los proyectos en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato se ha determinado que no existen proyectos destinados al mejoramiento de una prensa hidráulica para el bombeado de tapas, por lo que es necesario realizar un

análisis y rediseño de la de la estructura metálica de la prensa hidráulica para el bombeado de tapas.

### **6.3 JUSTIFICACIÓN**

Es importante que el equipo usado en la elaboración de tapas bombeadas sea capaz de cumplir eficientemente con su propósito, tomando en cuenta las dimensiones de tapas que se van a producir, el espesor de chapa usado en las tapas, la forma indicada bajo normas para tapas bombeadas y la fuerza de trabajo de la máquina para así conseguir producir tapas de mayor calidad y productividad.

Esto permitirá que la empresa INDUACERO S. A. siga alcanzando niveles de calidad y que sea un ejemplo para las empresas tanto a nivel local como provincial.

### **6.4 OBJETIVOS**

#### **6.4.1 OBJETIVO GENERAL**

Rediseñar la estructura metálica de la prensa hidráulica con las dimensiones apropiadas para el bombeado de tapas.

#### **6.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Diseñar la estructura con una luz entre columnas igual o poco mayor que 4 metros para poder elaborar tapas de gran dimensión.
- Diseñar las columnas con el perfil transversal adecuado para esta estructura.
- Diseñar la estructura de manera que se reutilice la mayor cantidad de miembros existentes en la misma.
- Diseñar la estructura de manera que soporte la carga máxima entregada por el sistema hidráulico.
- Elaborar los planos.

## **6.5 ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD**

El rediseño de la estructura metálica de la prensa hidráulica para el mejoramiento de su funcionamiento en el proceso de elaboración de tapas bombeadas en la empresa INDUACERO S. A. ubicada en la ciudad de Latacunga es factible ya que esto será la guía para en un futuro reconstruir la estructura. Los elementos a reemplazar se encuentran fácilmente en nuestro medio, además los materiales utilizados en el diseño son los encontrados en el mercado, el desmontaje de las partes innecesarias y las que se van a reemplazar así como la implementación de los nuevos elementos implica procedimientos sencillos y que pueden ser realizados por el personal de la misma empresa y sin el requerimiento de equipo extraño a la empresa, motivo por el cual el costo de estos procedimientos resultaría bajo.

## **6.6 FUNDAMENTACIÓN**

La presente propuesta se basa en la información recolectada en el capítulo II que se relaciona con el marco teórico y en los resultados obtenidos del estudio de los parámetros de diseño de la estructura en el capítulo IV. La propuesta se ha realizado bajo los siguientes parámetros fundamentales de diseño para la estructura.

### **6.6.1 MATERIAL DE LAS COLUMNAS**

De acuerdo a lo obtenido en los resultados del estudio el material idóneo para las columnas es el acero ASTM A572 grado 50 debido a su alto límite de fluencia y a su facilidad de conseguirlo en el mercado.

$$F_y = 345 \text{ MPa}$$

### **6.6.2 LUZ ENTRE COLUMNAS**

De acuerdo a lo obtenido en el estudio y la investigación la luz entre columnas debe ser igual o mayor que 4 metros para así conseguir dar forma tapas de gran tamaño en la prensa.

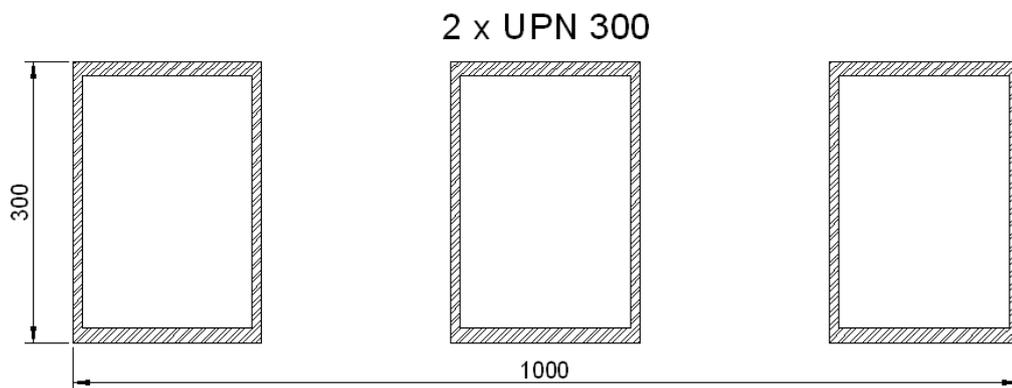
### 6.6.3 FUERZA A LA QUE SE SOMETE LA ESTRUCTURA

La presión máxima entregada por el sistema hidráulico en el émbolo principal es de 2200 Psi, el área del émbolo principal es  $41,184 E - 3 m^2$ ; sabiendo esto se la fuerza determinada es:

$$P = 2032,57 KN$$

### 6.6.4 SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA MESA

Como se observa en el plano 04 de 06 del anexo A7 la mesa está conformada por los elementos 7 y 8, siendo su sección transversal la figura siguiente:

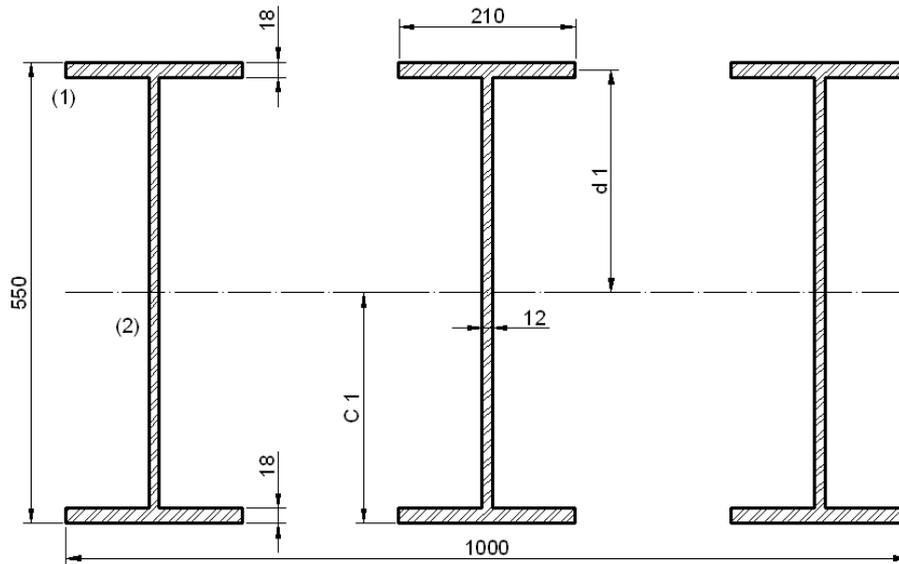


*Figura 6-1 Sección transversal de la mesa*

*Fuente: Ciro I. Ortiz H.*

### 6.6.5 SECCIÓN TRANSVERSAL DE LAS COLUMNAS

De lo obtenido en el estudio la sección transversal adecuada para usarse en las columnas de la estructura está compuesta por tres perfiles de sección aproximada a la de los UPN 550 como se muestra en el siguiente gráfico. Las columnas se muestran en el plano 04 de 06 del anexo A7 y están representadas por los elementos 9.



*Figura 6-2 Sección transversal de las columnas*

*Fuente: Ciro I. Ortiz H.*

## 6.7 METODOLOGÍA

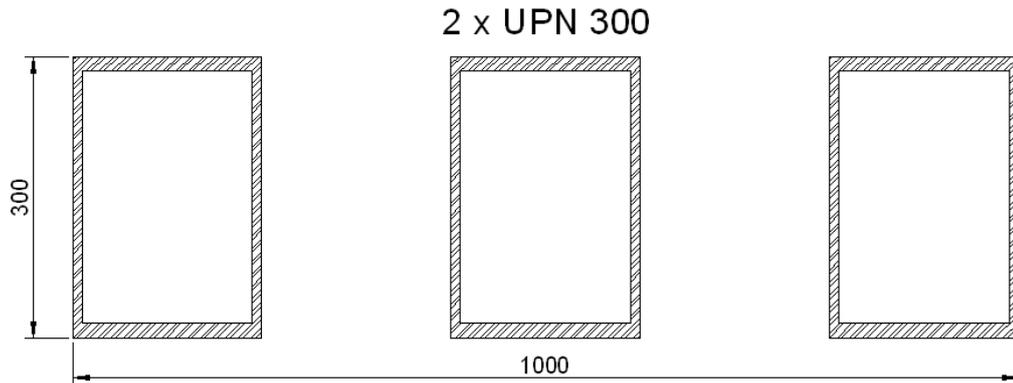
Para el desarrollo del diseño de la estructura se seguirá los siguientes pasos:

- Determinación del momento de inercia de la mesa.
- Diseño de la mesa de la estructura.
- Determinación del momento de inercia y módulo de sección de las columnas.
- Determinación de los momentos flectores del pórtico formado por las columnas y la mesa de la estructura.
- Comprobación de la resistencia de la estructura por el método de diseño por esfuerzos permisibles.
- Elaboración de un presupuesto para la reparación de la estructura.
- Elaboración de los planos de la estructura.

### 6.7.1 DETERMINACIÓN DEL MOMENTO DE INERCIA DE LA MESA

Según el anexo A1 el límite fluencia del acero ASTM A572 grado 50 es:

$$F_y = 345 \text{ MPa}$$



(Figura 6-1)

Según el anexo A3 el momento de inercia de un perfil UPN 300 es:

$$I_{xi} = 8030 \text{ cm}^4$$

$$I_x = 6 * I_{xi} = 6 * 8030 \text{ cm}^4 = 48180 \text{ cm}^4 = 481,8 \text{ E} - 6 \text{ m}^4$$

### 6.7.2 DISEÑO DE LA MESA DE LA ESTRUCTURA

Para comprobar que la mesa propuesta para la estructura es adecuada se verificará que la deformación no supere su límite admisible.

La deformación calculada se obtiene con la ecuación dada en la figura 2-26.

$$Y_{max} = \frac{PL^3}{48EI}$$

La carga máxima aplicada es:  $P = 131896 \text{ Kg}$

La luz entre columnas es:  $L = 414 \text{ cm}$

De acuerdo al anexo A5 el módulo de elasticidad es:  $E = 2,2 \text{ E}6 \text{ Kg}f / \text{cm}^2$

El momento de inercia de la mesa es:  $I_x = 48180 \text{ cm}^4$

De donde se obtiene una deformación calculada:  $Y_{max} = 1,84 \text{ cm}$

Para el cálculo de la flecha de deformación admisible lo primero que se calcula es el momento flector máximo con la ecuación dada en la figura 2-26.

$$M_{max} = \frac{PL}{4}$$

De donde se obtiene:  $M_{max} = 13,65 \times 10^6 \text{Kgf cm}$

En el anexo A3 el módulo de resistencia del perfil UPN 300 es  $W_x = 535 \text{ cm}^3$ .

El módulo de resistencia de la mesa es:  $535 \text{ cm}^3 * 6 = 3210 \text{ cm}^3$ .

La tensión máxima se calcula con la ecuación 2-33.

$$\sigma = \frac{M_{max}}{W_x}$$

De donde se obtiene:  $\sigma = 4252,72 \frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2} = 42,53 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2}$

La flecha de deformación admisible se obtiene con la ecuación 2-32.

$$f = \frac{\sigma L^2}{h}$$

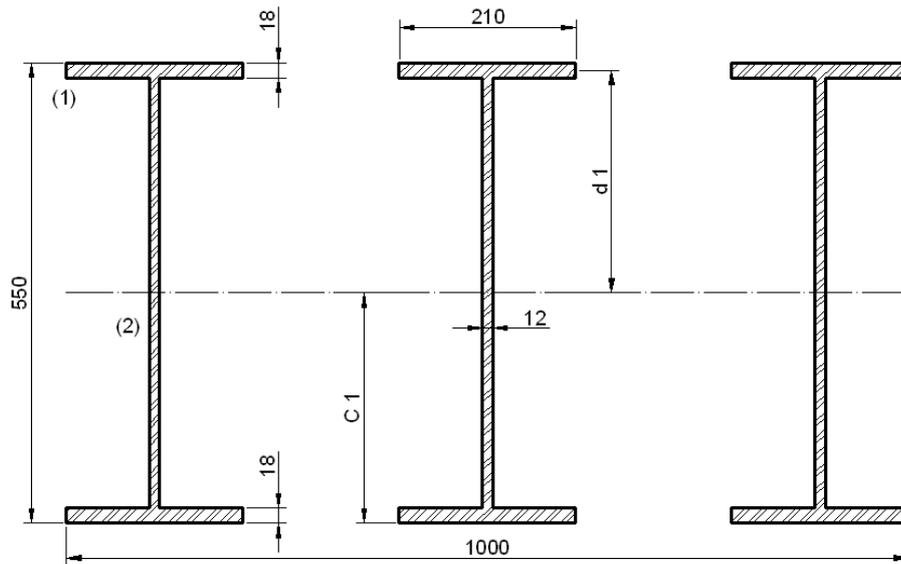
De donde se obtiene:  $f = 24,3 \text{ mm} = 2,43 \text{ cm}$

Comparando la deformación calculada de la mesa con la flecha de deformación admisible se tiene:

$$f = 2,43 \text{ cm} > Y_{max} = 1,84 \text{ cm}$$

Respuesta: La configuración utilizada en el diseño de la mesa es la adecuada.

### 6.7.3 DETERMINACIÓN DEL MOMENTO DE INERCIA Y MÓDULO DE SECCIÓN DE LAS COLUMNAS



(Figura 6-2)

Fuente: *Ciro I. Ortiz H.*

Según la ecuación 2-11  $A_1$  y  $A_2$  son:

$$A_1 = 3,78 E - 3 m^2$$

$$A_2 = 6,17 E - 3 m^2$$

Según la ecuación 2-14 el área de la sección es:

$$A = 41,184 E - 3 m^2$$

Según la ecuación 2-12 las inercias parciales son:

$$I_1 = 1,0206 E - 7 m^4$$

$$I_2 = 1,358 E - 5 m^4$$

De acuerdo al procedimiento descrito en la sección 2.2.12 la distancia al centro de gravedad de la sección compuesta desde su base es:

$$C_1 = 0,275 m$$

Y la distancia desde el centro de gravedad de la sección compuesta al centro de gravedad de la sección (1) es:

$$d1 = 0.266 \text{ m}$$

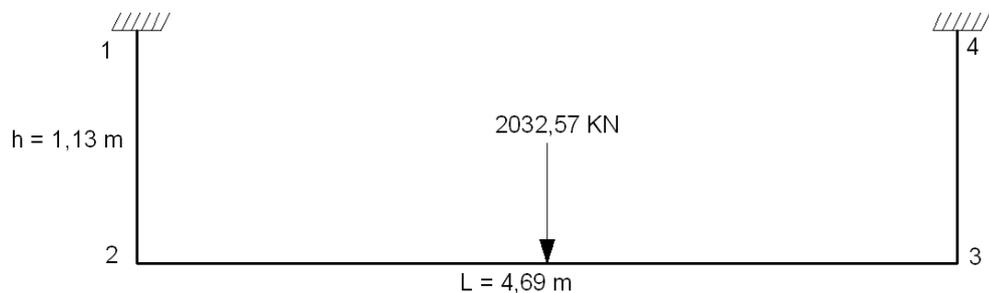
De acuerdo a la ecuación 2-13 el momento de inercia  $I_x$  es:

$$I_x = 2,01275 E - 3 \text{ m}^4$$

De acuerdo a la ecuación 2-31 el módulo de sección  $S_x$  es:

$$S_x = 7,319 E - 3 \text{ m}^3$$

#### 6.7.4 DETERMINACIÓN DE LOS MOMENTOS FLECTORES DEL PÓRTICO FORMADO POR LAS COLUMNAS Y LA MESA DE LA ESTRUCTURA



**Figura 6-3 Pórtico (figura 6-2)**

**Fuente: Ciro I. Ortiz H.**

$$I_{1-2} = 2,01275 E - 3 \text{ m}^4$$

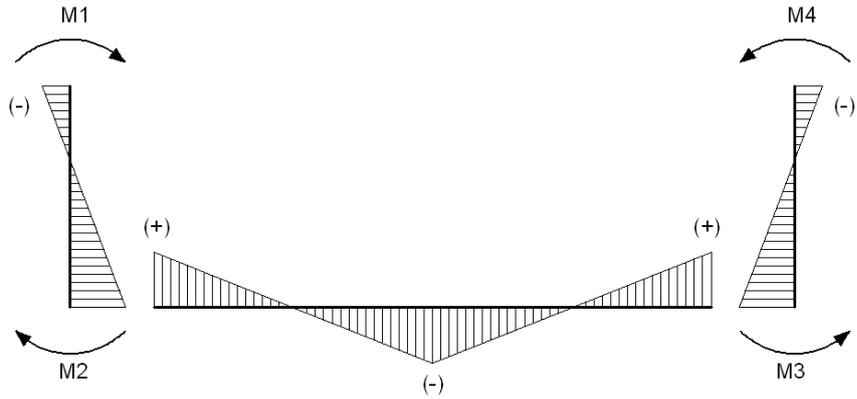
$$I_{2-3} = 481,8 E - 6 \text{ m}^4$$

Según la ecuación 2-15:

$$\phi = 17,34$$

Según la ecuación 2-17:

$$F = 12,346$$



**Figura 6-4 Diagrama de momentos (pórtico figura 6-3)**

*Fuente: Ciro I. Ortiz H.*

Según la ecuación 2-18 los momentos en los puntos 1 y 4 son:

$$M_1 = M_4 = -579,098 \text{ KNm}$$

Según la ecuación 2-19 los momentos en los puntos 2 y 3son:

$$M_2 = M_3 = 1158,195 \text{ KNm}$$

### **6.7.5 COMPROBACIÓN DE LA RESISTENCIA DE LA ESTRUCTURA POR EL MÉTODO DE DISEÑO POR ESFUERZOS PERMISIBLES**

Según la ecuación 2-25:

$$f_a = 49,35 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-26:

$$F_a = 207 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-29:

$$\frac{f_a}{F_a} = 0,24$$

Según la ecuación 2-27:

$$f_b = 158,24 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-28:

$$Fb = 227,7 \text{ MPa}$$

Según la ecuación 2-30:

$$\frac{fb}{Fb} = 0,69$$

Según la ecuación 2-23:

$$\frac{fa}{Fa} + \frac{fb}{Fb} = 0,93 < 1$$

### 6.7.6 ELABORACIÓN DE LOS PLANOS DE LA ESTRUCTURA

Los planos de la estructura rediseñada se presentan el anexo A7.

### 6.7.7 ELABORACIÓN DEL PRESUPUESTO PARA LA REPARACIÓN DE LA ESTRUCTURA

En el siguiente cuadro se muestra el costo de elaboración y entrega en el lugar de destino de una viga de longitud 2.2 m prefabricada por la empresa Kubiec.

RUBRO COSTO DE PERFIL		
CANT.	DETALLE	PRECIO UNIT. (USD)
1	Vigas soldadas tipo "I" 550x210x12x18 mm, longitud = 2200 mm.	2560.50

Con base en el cuadro anterior se obtiene el costo de una viga de similares características pero con una longitud de 1.9 m.

Costo por cada metro:

$$C_m = \frac{2560.50 \text{ USD}}{2.2 \text{ m}} = 1163.864 \frac{\text{USD}}{\text{m}}$$

Costo de una viga prefabricada de 1.9 m:

$$C_{1,9} = 1.9\text{m} \left( 1163.864 \frac{\text{USD}}{\text{m}} \right) = 2211.34 \text{ USD}$$

*Tabla 6-1 Presupuesto para recursos materiales y de proceso*

<b>RUBRO DE GASTOS (RECURSOS MATERIALES Y DE PROCESO)</b>			
<b>CANT.</b>	<b>DETALLE</b>	<b>PRECIO UNIIT. (USD)</b>	<b>VALOR (USD)</b>
6	Vigas soldadas tipo "P" 550x210x12x18 mm, longitud = 1900 mm.	2211.34	13268.05
8	Perfil UPN 300, longitud 6 m	563.18	4505.44
N/A	Electrodos	100	100
2	Alquiler soldadora	100	200
2	Alquiler amoladora	50	100
N/A	Alquiler herramientas de taller	120	120
6	Disco de corte	7	42
10	Disco de pulir	7	70
		<b>Total</b>	18405.49

*Fuente: Ciro I. Ortiz H.*

*Tabla 6-2 Presupuesto para recursos materiales*

<b>RUBRO DE GASTOS (RECURSOS HUMANOS)</b>				
<b>CANT.</b>	<b>CARGO</b>	<b>HORAS TRABAJO</b>	<b>COSTO HORA</b>	<b>VALOR (USD)</b>
2	Maestro (Soldador)	120	2.80	672
2	Maestro (Esmeril)	120	2.80	672
4	Ayudantes	120	1.35	648
1	Ingeniero	120	4.6	552
			<b>Total</b>	2544

*Fuente: Ciro I. Ortiz H.*

*Tabla 6-3 Presupuesto reparación de la estructura de la prensa hidráulica*

<b>PRESUPUESTO REPARACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE LA PRENSA HIDRÁULICA</b>		
<b>ÍTEM</b>	<b>DETALLE</b>	<b>VALOR (USD)</b>
1	Recursos materiales y de proceso	18405.49
2	Recursos humanos	2544
		<b>Total</b>
		20949.49

*Fuente: Ciro I. Ortiz H.*

## **6.8 ADMINISTRACIÓN**

A continuación se presentan los gastos que se hicieron en el estudio.

Tabla 6-4 Administración de la tesis

<b>RUBRO DE GASTOS</b>			
<b>CANT.</b>	<b>DETALLE</b>	<b>PRECIO UNIT. (USD)</b>	<b>VALOR (USD)</b>
2	Resmas de hojas	5	10
1200	Impresiones	0.15	180
18	Impresión de planos formato A0	10	180
12	Impresión de planos formato A2	4	48
300	Copias	0.05	15
3	Anillados	3.5	10.5
3	Empastados	15	45
250	Horas de internet	1	250
N/A	Transporte	200	200
1	Recolector de la información	50	50
<b>Subtotal</b>			988.5
Imprevistos (10%)			98.85
<b>Total</b>			1087.35

Fuente: *Ciro I. Ortiz H.*

## 6.9 PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN

La presente propuesta debe estar sujeta a un plan de monitoreo y evaluación con el fin de mejorar los resultados obtenidos.

El rediseño de la estructura de la prensa hidráulica debe estar en constante monitoreo debido a los posibles cambios en los parámetros de funcionamiento, para lo cual deberá identificarse el parámetro modificado y verificando si este afecta al diseño de la estructura. Deberá monitorearse que la luz entre columnas dada en el diseño sea siempre la requerida por la prensa hidráulica debido a que en algún momento se puede requerir la fabricación de tapas de mayor tamaño que las que se pueden dar forma en la prensa, para cuyo efecto deberá buscarse una solución práctica que no afecte sobremanera el diseño.

Se debe monitorear si en un futuro la prensa hidráulica cumpliría otra función que no sea la de dar forma a las tapas, para lo cual deberá identificarse los nuevos factores para el diseño y verificar si estos no afectan al diseño.

## 6.10 BIBLIOGRAFÍA

- ASM HANDBOOK COMMITTEE. (1972). *Atlas of microstructures of industrial alloys* (Octava ed., Vol. 7). ciudad: American Society for Metals.

- Bassegoda, A. B. (1982). *Cálculos y ensayos estudio de los proyectos II*. Barcelona: ROMAGRAF, S. A.
- Castiller, W. (1998). *Introducción a la CIENCIA E INGENIERÍA DE LOS MATERIALES* (Primera ed.). Bogotá: REVERTE S.A.
- DIPAC productos de acero. (2012). *Perfiles*. Ambato: Sin editorial.
- DIPAC productos de acero. (2012). *Planchas*. Ambato: Sin editorial.
- Estrada, I. J. (2001). *DISEÑO Y CÁLCULO DE RECIPIENTES APRESIÓN*. México D. F.: Inglesa.
- Fratelli, M. G. (2003). *DISEÑO DE ESTRUCTURAS METÁLICAS estados límites LRFD* (Primera ed.). Caracas, Venezuela: UNIVE.
- Groover, M. (1997). *FUNDAMENTOS DE MANUFACTURA MODERNA Materiales Procesos y Sistemas*. México: PEARSON educación.
- Leontovich, V. (1981). *Pórticos y Arcos* (Decimasegunda ed.). México D. F.: COMPAÑIA EDITORIAL CONTINENTAL S. A.
- McCormac. (2006). *DISEÑO DE ESTRUCTURAS METÁLICAS* (Cuarta ed.). Colombia: Alfaomega.
- Stiopin, P. A. (1968). *RESISTENCIA DE MATERIALES*. MOSCU: MIR.
- Veas, A. V. (2000). *Deformación en vigas*. Chile: Universidad de Chile.

# **ANEXOS**

## **ANEXO A1**

# **Propiedades mecánicas de aceros estructurales**



**PLANCHAS  
LAMINADAS AL CALIENTE**

**Especificaciones Generales**

- Norma:** Ver tabla
- Espesores:** 1,20mm a 100,00mm
- Ancho:** 1000mm, 1220mm, 1500mm, 1800mm
- Planchas:** 4 x 8 pies y a medida



**Calidad Comercial**

NORMA	COMPOSICION QUIMICA							PROPIEDADES MECANICAS			NORMA EQUIVALENTE
	% C	%Mn	%P	%S	%SI	%AL	%CU	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Alargamiento %	Doblado 180°	
JIS G3131 SPHC	0,08 0,13	0,3 0,6	0,02 max	0,025 max	0,05 max	0,02 max	0,2 max	270 min	29 min	0= 0e	SAE 1010 ASTM A-569
SAE 1008	0,03 0,1	0,25 0,5	0,02 max	0,025 max	0,04 max	0,02 max	0,2 max				JIS G3132 SPHT1
SAE 1012	0,1 0,15	0,3 0,6	0,02 max	0,025 max	0,03 max	0,02 max	0,2 max				ASTM A-635 ASTM A-570 GRADO 33

**Calidad Estructural**

NORMA	COMPOSICION QUIMICA							PROPIEDADES MECANICAS					NORMA EQUIVALENTE
	% C	%Mn	%P	%S	%SI	%CU	OTROS	Fuercia (Mpa)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Alarga- miento %	Doblado 180°		
ASTM A-588M GRADO A	0,19 max	0,8 1,25	0,04 max	0,05 max	0,3 0,6	0,25 0,40	Ni 0,15-0,35 Cr 0,40-0,65 V 0,02-0,10	345 min	485 min	18 min			
ASTM A-283 GRADO C	0,12 0,18	0,3 0,6	0,025 max	0,03 max	0,04 max	0,2 max		285 min	380 515 max	25 min	0=1,5e	SAE 1015	
JIS G-3101 SS41 M	0,17 0,23	0,3 0,6	0,025 max	0,025 max	0,04 max	0,25 max		290 min	400 min 550 max	21 min		SAE 1020 ASTM A-36 ASTM A-570 GRADO 36	
A 36	0,25 0,29	0,80 1,2	0,04 max	0,05 max	0,4 max	0,20 max		250 min	400 min 550 max	20 min			
A570-GR50	0,25	1,35 max	0,038 max	0,04 max				340 min	450 min 550 max	17 min	1-12e		

(Anexo A1 continuación)

**Acero estructural ASTM A572**

	<b>Grado 42 [290]</b>	<b>Grado 50 [345]</b>	<b>Grado 60 [415]</b>
<b>Resistencia a la tracción:</b>	60,000 psi [415 MPa]	65,000 psi [450 MPa]	75,000 psi [520 MPa]
<b>Min. Punto de fluencia:</b>	42,000psi [290 MPa]	50,000psi [345 MPa]	60,000psi [415 MPa]
<b>Elongación en 8":</b>	20% min	18% min	16% min
<b>Elongación en 2":</b>	24% min	21% min	18% min

*Fuente: ASTM*

# **Anexo A2**

## **Perfiles IPE**



**PERFILES LAMINADOS**  
**IPE**

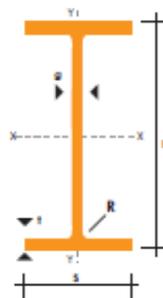
**Especificaciones Generales**

<b>Calidad</b>	ASTM A 36
<b>Otras calidades</b>	Previa Consulta
<b>Largo normal</b>	6,00m y 12,00m
<b>Otros largos</b>	Previa Consulta
<b>Acabado</b>	Natural
<b>Otro acabado</b>	Previa Consulta



**IPE**

DENOMINACION	DIMENSIONES					SECCION	PESOS	TIPOS			
	h	s	g	t	R			cm <sup>2</sup>	kg/mt	I <sub>x</sub>	I <sub>y</sub>
	mm	mm	mm	mm	mm			cm <sup>4</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>
IPE 80	80	46	3.80	5.20	5	7.64	6.00	80	8.49	20.00	3.69
IPE 100	100	55	4.10	5.70	5	10.30	8.10	171	15.90	34.20	5.79
IPE 120	120	64	4.40	6.30	5	13.20	10.40	318	27.70	53.00	8.65
IPE 140	140	73	4.70	6.90	7	16.40	12.90	541	44.90	77.30	12.30
IPE 160	160	82	5.00	7.40	7	20.10	15.80	869	68.30	109.00	16.70
IPE 180	180	91	5.30	8.00	7	23.90	18.80	1320	101.00	140.00	22.20
IPE 200	200	100	5.60	8.50	9	28.50	22.40	1940	142.00	194.00	28.50
IPE 220	220	110	5.90	9.20	9	33.40	26.20	2770	205.00	252.00	37.30
IPE 240	240	120	6.20	9.80	12	39.10	30.70	3890	284.00	324.00	47.30
IPE 270	270	135	6.60	10.20	12	45.90	36.10	5790	420.00	429.00	62.20
IPE 300	300	150	7.10	10.70	15	53.80	42.20	8360	604.00	557.00	80.50
IPE 330	330	160	7.50	11.50	15	62.60	49.10	11770	788.00	713.00	98.50
IPE 360	360	170	8.00	12.70	118	72.70	57.10	16270	1040.00	904.00	123.00
IPE 400	400	180	8.60	13.50	118	84.50	63.30	23130	1320.00	1160.00	146.00
IPE 450	450	190	9.40	14.60	21	98.80	77.70	33740	1680.00	1500.00	176.00
IPE 500	500	200	10.20	16.00	21	116.00	90.70	48200	2140.00	1930.00	214.00
IPE 550	550	210	11.10	17.20	24	134.00	106.00	67120	2670.00	2440.00	254.00



**Anexo A3**  
**Perfiles UPN**



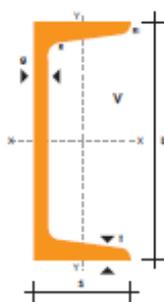
**PERFILES LAMINADOS  
UPN**

**Especificaciones Generales**

<b>Calidad</b>	ASTM A 36
<b>Otras calidades</b>	Previa Consulta
<b>Largo normal</b>	6,00 mts. Y 12,00 mts
<b>Otros largos</b>	Previa Consulta
<b>Acabado</b>	Natural
<b>Otro acabado</b>	Previa Consulta



DENOMINACION	DIMENSIONES						TIPOS					
	h mm	s mm	g mm	t mm	R mm	R1 cm4	SECCION cm2	PESOS kg/mt	Ix cm4	Iy cm4	Wx cm3	Wy cm3
UPN 50	50	38	5.00	7.00	7.00	3.50	7.12	5.59	26.40	9.12	10.60	3.75
UPN 65	65	42	5.50	7.50	7.50	4.00	9.03	7.09	57.50	14.10	17.70	5.07
UPN 80	80	45	6.00	8.00	8.00	4.00	1.10	8.64	106.00	19.40	26.50	6.36
UPN 100	100	50	6.00	8.50	8.50	4.50	13.50	10.60	206.00	29.30	41.20	8.49
UPN 120	120	55	7.00	9.00	9.00	4.50	17.00	13.40	364.00	43.20	60.70	11.10
UPN 140	140	60	7.00	10.00	10.00	5.00	20.40	16.00	605.00	62.70	86.40	14.80
UPN 160	160	65	7.50	10.50	10.50	5.50	24.00	18.80	905.00	85.30	116.00	18.30
UPN 180	180	70	8.00	11.00	11.00	5.50	28.00	22.00	1350.00	114.00	150.00	22.40
UPN 200	200	75	8.50	11.50	11.50	6.00	32.20	25.30	1910.00	148.00	191.00	27.00
UPN 220	220	80	9.00	12.50	12.50	6.50	37.40	29.40	2690.00	197.00	245.00	33.60
UPN 240	240	85	9.50	13.00	13.00	6.50	42.30	33.20	3600.00	248.00	300.00	39.60
UPN 260	260	90	10.00	14.00	14.00	7.00	48.30	37.90	4820.00	317.00	371.00	47.70
UPN 300	300	100	10.00	16.00	16.00	8.00	58.80	46.20	8030.00	495.00	535.00	67.80



## **Anexo A4**

## **Formatos**

**1. Ficha de recolección de información: entrevistas, observación de campo y ensayo de campo.**

<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
(Título)			
<b>Datos informativos</b>			
<b>Tipo de estudio:</b>		<b>Ensayo N°:</b>	
<b>Identificación del componente de estudio:</b>		Estructura metálica	
<b>Solicitado por:</b>		<b>Fecha:</b>	
<b>Centro de estudio y análisis:</b>			
<b>Realizado por:</b>		<b>Supervisado por:</b>	
<b>Resultado</b>			
(Resultados obtenidos)			
Observaciones:			

*Fuente: Ciro I. Ortiz H.*

## 2. Ficha ensayo metalográfico y de dureza.

<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
<b>ENSAYO METALOGRAFICO</b>			
<b>Datos informativos</b>			
<b>Tipo de estudio:</b>		<b>Ensayo N°:</b>	
<b>Identificación del componente de estudio:</b>			
<b>Solicitado por:</b>		<b>Fecha:</b>	
<b>Centro de estudio y análisis:</b>			
<b>Realizado por:</b>		<b>Supervisado por:</b>	
<b>Parámetros del lugar durante el ensayo</b>			
<b>Lugar:</b>			
Temperatura ambiente		<b>Radiación:</b>	
Velocidad del aire circundante:		<b>Otros:</b>	
<b>Parámetros del ensayo metalográfico</b>			
<b>Acondicionamiento de la superficie:</b>			
Temperatura durante el pulido:		<b>Superficie preparada en:</b>	
<b>Ataque químico de la superficie con:</b>		<b>Durante:</b>	
<b>Resultado</b>			
(Fotografía)			
<b>Parámetros del ensayo de dureza</b>			
<b>Método:</b>		<b>Ensayo N°:</b>	
<b>Tipo de penetrador:</b>			
<b>Carga aplicada:</b>		<b>Tiempo de ensayo</b>	
<b>Resultado</b>			
N°	Diámetro de la huella	Dureza HB	
1			
2			
3			
4			
<b>DUREZA HB</b>			
<b>Método:</b>		<b>Tipo:</b>	
<b>Ensayo N°:</b>			
<b>Tipo de penetrador:</b>			
<b>Carga aplicada:</b>		<b>Tiempo de ensayo:</b>	
<b>Resultado</b>			
N°	Dureza Rockwell		

*Fuente: Ciro I. Ortiz H.*

## **Anexo A5**

### **Módulo de elasticidad**

### Módulo de elasticidad longitudinal

Material	E, kgf/cm <sup>2</sup>
Acero	$2 \cdot 10^8 \div 2,2 \cdot 10^8$
Cobre	$1 \cdot 10^8$
Madera	$1 \cdot 10^5$
Aluminio	$0,675 \cdot 10^8$
Hierro fundido	$0,75 \cdot 10^8 \div 1,6 \cdot 10^8$
Plástico de fibra de vidrio	$0,18 \cdot 10^8 \div 0,40 \cdot 10^8$

## **Anexo A6**

### **Presupuesto de vigas armadas**

**PROFORMA: No. VIG-TI-20120702**

Quito, a 2 de Julio de 2012

Señor  
Ciro Ortiz  
Presente

**REFERENCIA: VIGAS SOLDADAS**

En atención a su invitación a cotizar nuestros productos y servicios para el proyecto en referencia, nos complace presentar la siguiente propuesta para la provisión de vigas tipo I soldadas en acero ASTM grado 36 o superior de acuerdo a nuestro inventario.

**1. PROMESA DE SERVICIO:**

KUBIEC S.A. pone a su disposición la primera planta en el país con tecnología de punta para este tipo de productos que son procesados bajo normas internacionales, con lo cual aseguramos calidad y oportunidad de entrega de los proyectos de nuestros clientes.

Nuestra ventaja competitiva es el moderno equipamiento que es operado bajo sistemas de control numérico, compatibles con software de diseño como Tekla y Autocad para:

- Alisado de bobinas (hasta 15mm)
- Corte con cizalla (hasta 15 mm)
- Pantógrafo con oxícorde y plasma (hasta 70 mm)
- Doblado con plegadora de perfiles hasta 15 mm de espesor.
- Pantógrafo de Soldadura para el proceso de Arco Sumergido, provisto de dos (2) antorchas, abastecido por doble alambre de alimentación continua.
- Soldadoras para cubrir procesos SMAW de electrodo revestido, GMAW para alambre con protección gaseosa y FCAW para alambre tubular autoprotegido.
- Baroladora para curvar planchas de hasta 4.0 metros de longitud y 12mm de espesor.
- Perforadoras y marcadoras automáticas de planchones, flejes, placas (hasta 80mm), perfiles y vigas (hasta 75mm).

## 2. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS:

- **MATERIA PRIMA:** La provisión del acero se regirá a la norma ASTM A635M y el material a utilizarse será acero ASTM grado 36 o superior de acuerdo a nuestro inventario.
- **FABRICACIÓN Y SOLDADURA:** Los elementos serán elaborados bajo las normativas del código de soldadura estructural AWS (American Welding Society) D1.1. Dependiendo del elemento a ser fabricado, utilizaremos procesos de soldadura de: arco sumergido (SAW), de electrodo revestido (SMAW), alambre con protección gaseosa (GMAW) y para alambre tubular autoprottegido (FCAW), Tanto almas como patines de las vigas podrán ser conformados mediante uniones con juntas precalificadas.
- **DIMENSIONES:** De conformidad con el diseño aprobado por el Cliente, en el cual se especifiquen las dimensiones para la fabricación. Las tolerancias básicas con las que trabajará KUBIEC constan en el anexo a esta oferta.
- **LIMPIEZA SUPERFICIAL Y REVESTIMIENTO BASE:** Se utilizará un proceso de Limpieza A Mano, según especificación americana SSPC-SP2 o alternativamente SSPC-SP3 (con grata metálica) y base de pintura a aplicarse en planta, se optaría por un Fondo Anticorrosivo Comercial con un espesor mínimo de película de 30 micras (en seco). Color Verde.

## 3. PRECIO DE PROVISIÓN DE ELEMENTOS EN ACERO:

CUADRO 1: PRECIOS

ITEM	KG	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO US\$/KG	PRECIO TOTAL US\$
1	1,422.50	Vigas soldadas tipo "I" 550x210x12x18 mm, longitud = 2200 mm	1.80	2,560.50
			<b>TOTAL</b>	<b>2,560.50</b>

- Precios No Incluyen IVA

La forma de pago para estos ítems es:

- o 70% de anticipo
- o 30% antes de la entrega. Pago a documentarse al momento de aceptar esta oferta.

#### **4. CONDICIONES DE LA OFERTA:**

- **LUGAR DE ENTREGA DE PRODUCTOS:** Obra.
- **TIEMPO DE ENTREGA:** El rendimiento de producción será confirmado al momento de aceptación de la oferta en función de capacidad de planta y cronograma de entregas parciales acordado con el cliente. Se estima la entrega en **15 días laborables** a partir de la entrega del anticipo, planos aprobados por el cliente y disponibilidad de materia prima.
- **FORMA DE PAGO:** Indicadas
- **VALIDEZ DE LA OFERTA:** Para decisión inmediata.
- **TRABAJOS COMPLEMENTARIOS:** El ensamble de los elementos finales y trabajos de montaje no serán realizados por KUBIEC.

#### **5. CONSIDERACIONES:**

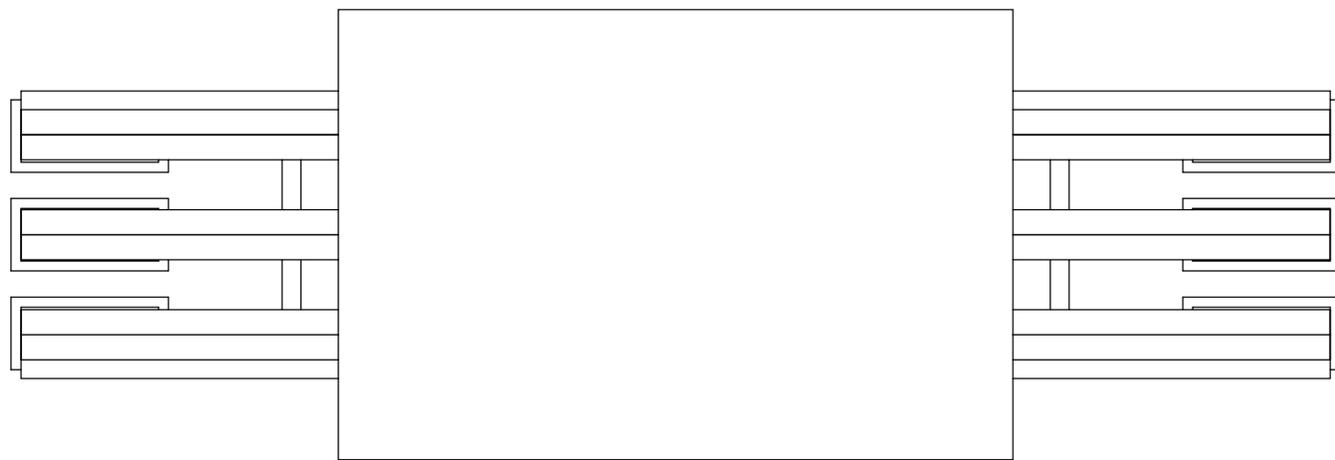
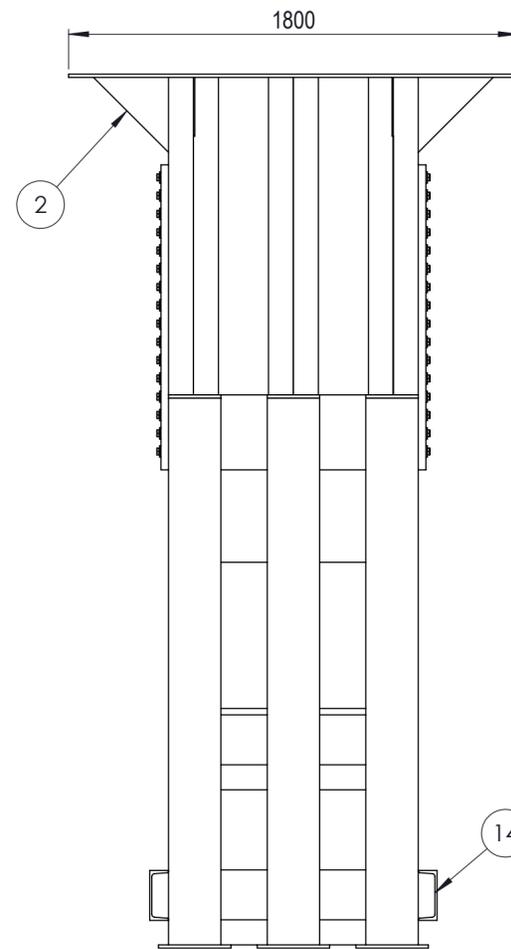
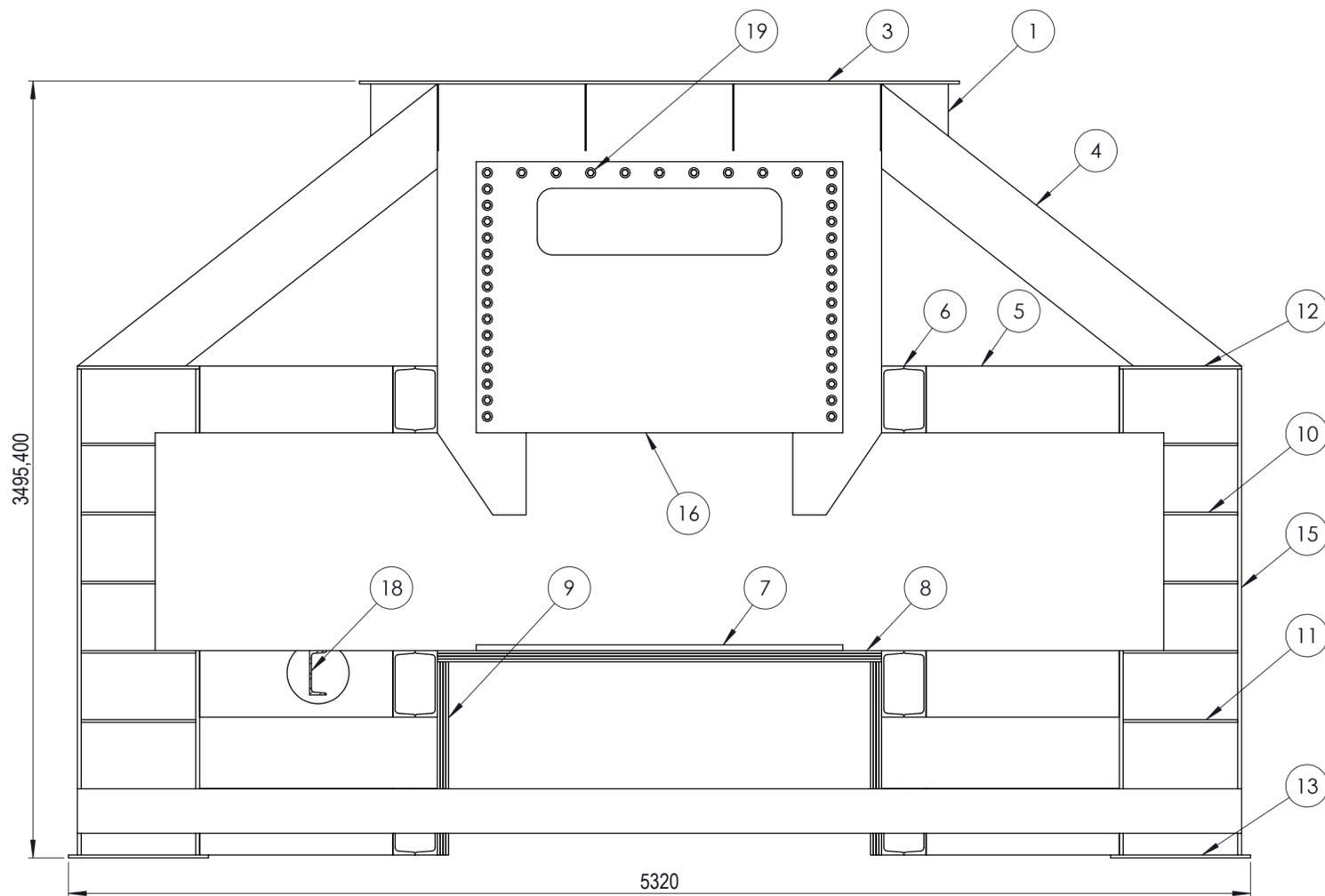
1. Ratificamos que los precios indicados no incluyen IVA.
2. No se incluye perforaciones ni biselados de ningún tipo.
3. El peso indicado es del material necesario para obtener los elementos descritos en el cuadro 1. Con el diseño definitivo, los planos finales y la fabricación real, se procederá a la liquidación final del material utilizado respetando el precio unitario.
4. Los ensayos de suelda, de ser requeridos, correrán por cuenta del cliente. KUBIEC realiza en la planta inspección visual en el 100% de la soldadura.
5. Por limitaciones del transporte, los elementos se transportarán en un largo máximo de 8.0 metros.
6. KUBIEC no se responsabiliza por el diseño de la estructura, ni el correcto montaje de los elementos a proveer, el cliente debe contratar estos rubros con profesionales capacitados.
7. Es responsabilidad del cliente tener la mano de obra, equipos y espacio necesario para la descarga del producto desde el camión.

Atentamente,

**Ing. Iván Tinillo C.**  
**Asesor Técnico**  
**Infraestructura y Servicios**  
**KUBIEC S.A.**

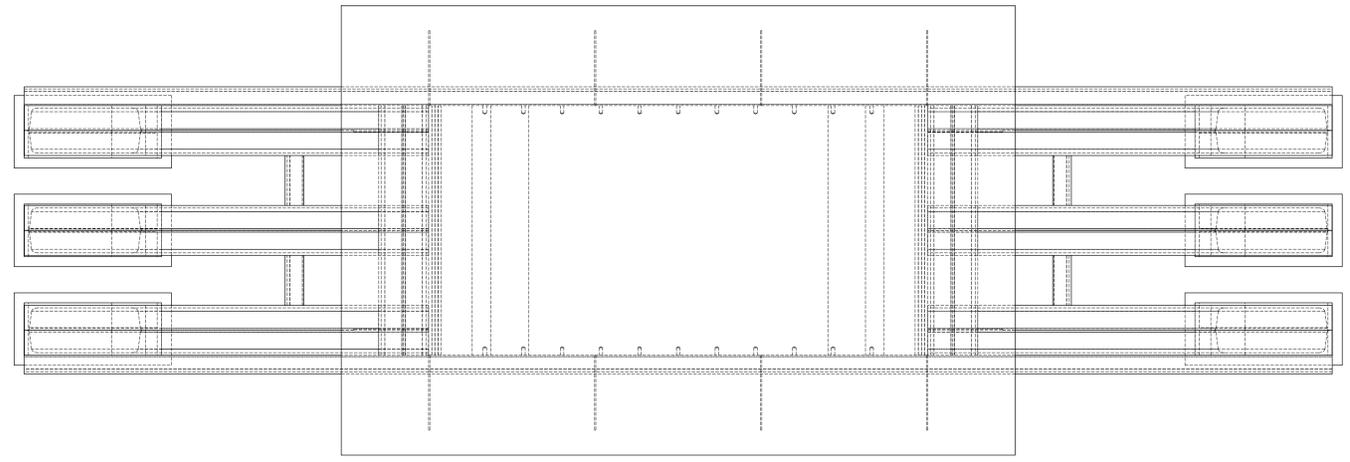
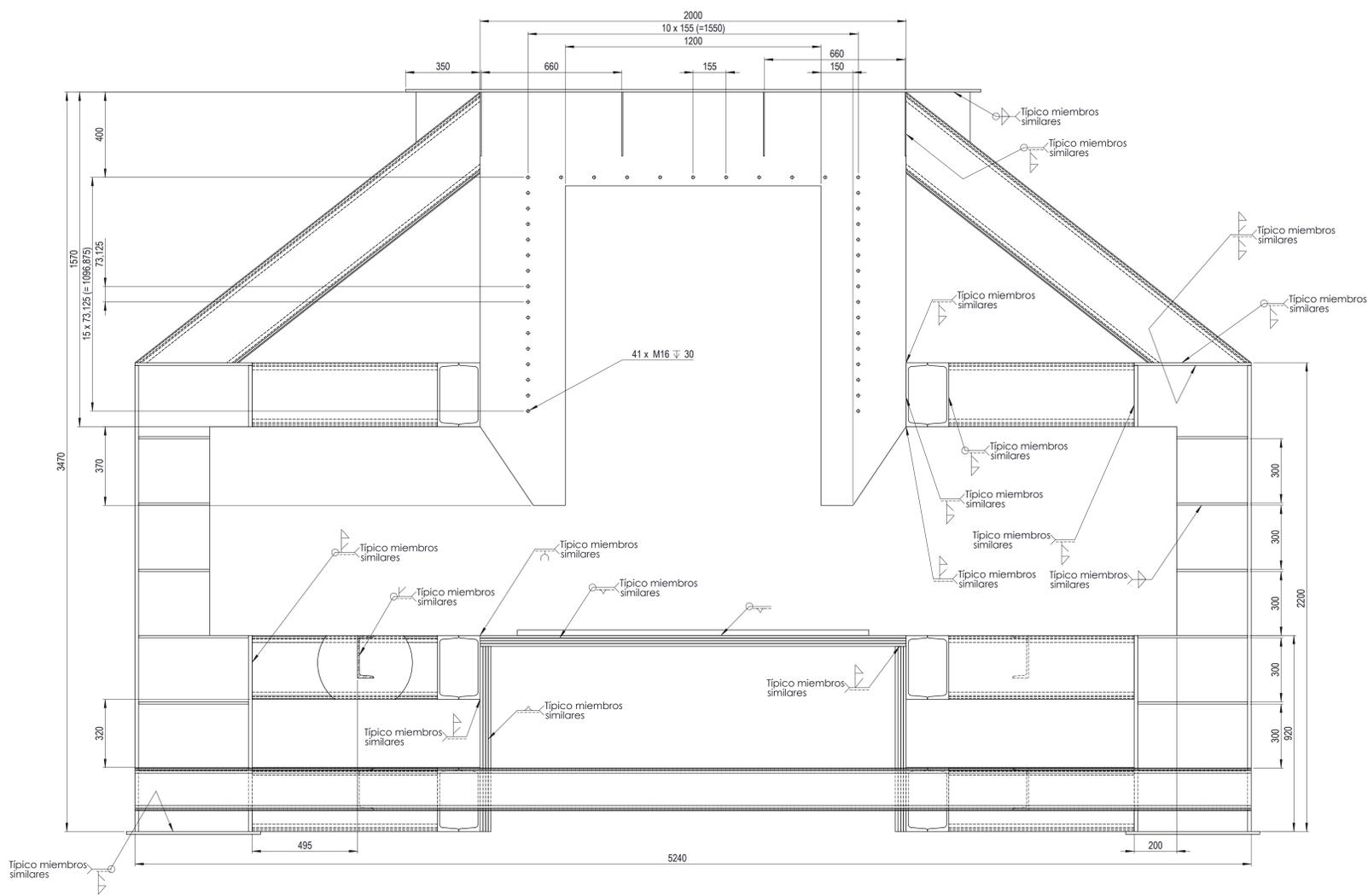
## **Anexo A7**

### **Planos**



82	Pernos M16 x 60 con arandela			19			
2	UPN 200 x 200		ASTM A36	18		5.04	
2	Soporte central		ASTM A36	17		15598.76	
2	Tapa frontal/posterior	03 de 06	ASTM A36	16		395.01	
8	IPE 550 x 2200mm		ASTM A572-50	15		178.91	
2	UPN 200 x 5240mm		ASTM A36	14		132.11	
6	Placa 630 x 285mm x 1/2 in		ASTM A36	13		18.21	
6	Placa 550 x 210mm x 1/2 in		ASTM A36	12		11.51	
24	Atiezador 515,6 x 99,45mm x 7/16 in		ASTM A36	11		4.47	
36	Atiezador 332,8 x 99,45mm x 7/16 in		ASTM A36	10		2.89	
8	Plancha 869 x 1000mm x 1/2 in		ASTM A36	9		86.65	
4	Plancha 2000 x 1000mm x 1/2 in		ASTM A36	8		199.39	
1	Plancha 1650 x 1000mm x 1in		ASTM A36	7		328.99	
6	2 UPN 300 en caja x 1000mm		ASTM A36	6		92.06	
18	2 UPN 300 en caja x 870mm		ASTM A36	5		400.47	
6	2 UPN 300 en caja x 1750mm		ASTM A36	4		161.06	
1	Base sist. hidráulico 2700 x 1800mm x 1/2in		ASTM A36	3		484.52	
8	Cartela 300 x 300 x 5mm		ASTM A36	2		1.77	
4	Cartela 235 x 300 x 5mm		ASTM A36	1		1.38	

Nº de pieza	Denominación	Nº de Norma/Dibujo	Material	Nº de orden	Nº del Modelo/Semiproducto	Peso Kg/Pieza	Observaciones		
	Tolerancias	(Peso)	Materiales:						
		23496.4 Kg	ASTM A36 Y ASTM A572-50						
	Fecha	Nombre	<b>CONJUNTO ESTRUCTURA PRENSA HIDRÁULICA</b>  <b>Nº 01 de 06</b> (Sustitución)						
	Dib.	14/01/2013						Ciro Ortiz	Escala:
	Rev.	14/01/2013						Ing. J. Guamanquispe	1:20
	Apro.	14/01/2013						Ing. J. Guamanquispe	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	UTA Ingeniería Mecánica					

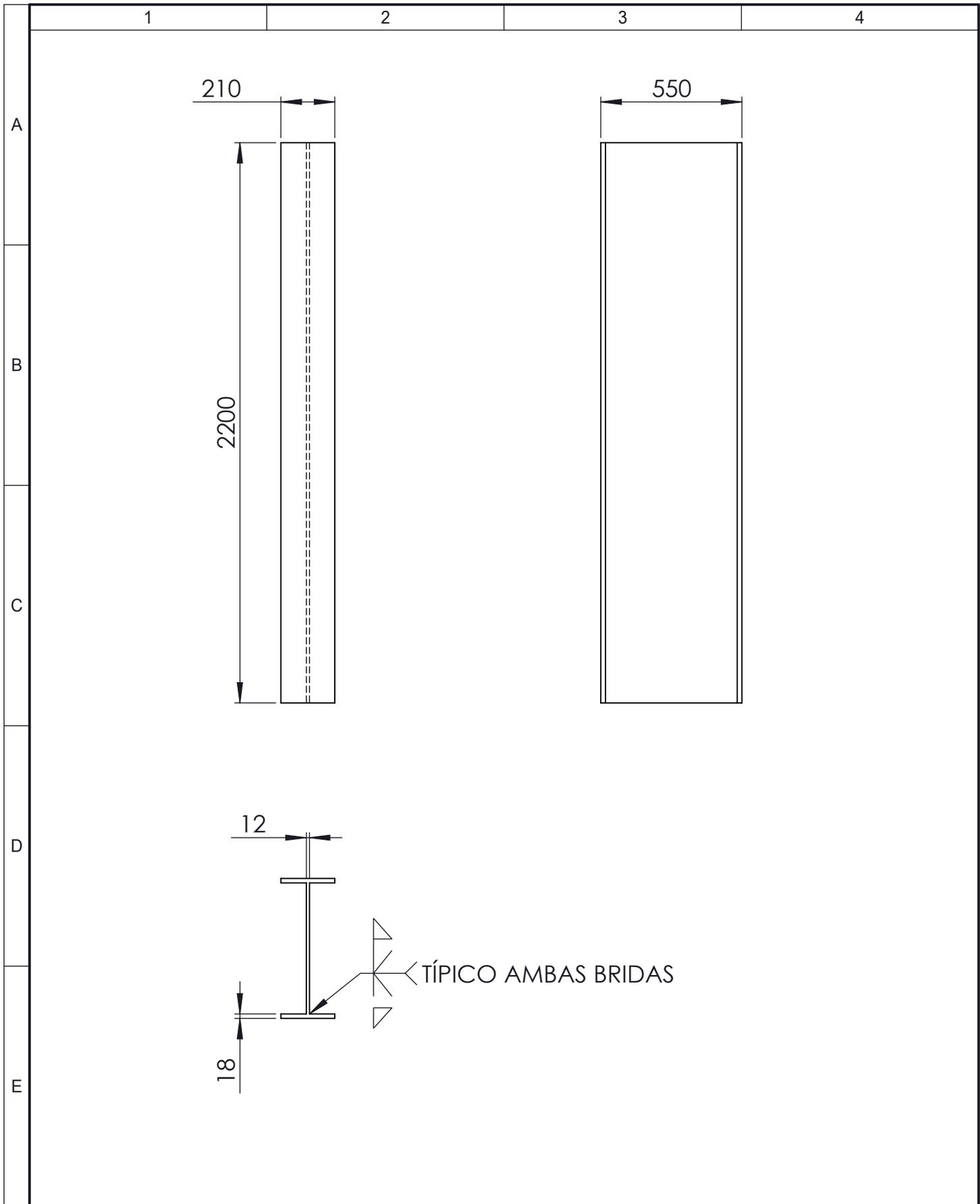


Tolerancias	(Peso)	Materiales:	
	22704.53 Kg	ASTM A36 Y ASTM A572-50	
Fecha	Nombre	ESTRUCTURA PRENSA HIDRAULICA	Escala: 1:10
Dib.	14/01/2011		
Rev.	14/01/2011		
Apro.	14/01/2011		
UTA		Nº 02 de 06	
Ingeniería Mecánica		(Sustitución)	









				Tolerancias	(Peso)	Materiales:	
					237.08 Kg	ASTM A572-50	
				Fecha	Nombre	IPE 550x 2200 ARMADO	Escala: 1:10
				Dib. 14/01/2013	Ciro Ortiz		
				Rev. 14/01/2013	Ing. J. Guamanquispe		
				Apro. 14/01/2013	Ing. J. Guamanquispe		
				UTA		N° 06 de 06	
				Ingeniería Mecánica		(Sustitución)	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				