



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE UNA VIGA CELULAR
PARA USO COMO VIGA SECUNDARIA EN ENTREPISOS**

Nelsón Geovanni Medrano Aguirre

Asesorado por el Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila

Guatemala, junio de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE UNA VIGA CELULAR
PARA USO COMO VIGA SECUNDARIA EN ENTREPISOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

NELSÓN GEOVANNI MEDRANO AGUIRRE

ASESORADO POR EL ING. MARIO RODOLFO CORZO ÁVILA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, JUNIO DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL I	
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Ronald Estuardo Galindo Cabrera
EXAMINADOR	Ing. Luis Manuel Sandoval Mendoza
EXAMINADOR	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE UNA VIGA CELULAR PARA USO COMO VIGA SECUNDARIA EN ENTREPISOS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 24 de febrero 2014.

f. _____


Nelson Giovanni Medrano Aguirre

Guatemala, 21 de abril de 2015.

Ingeniero

Hugo Leonel Montenegro Franco

Director de la Escuela de Ingeniería Civil

Escuela de Ingeniería Civil

Facultad de Ingeniería

Universidad de San Carlos de Guatemala.

Presente

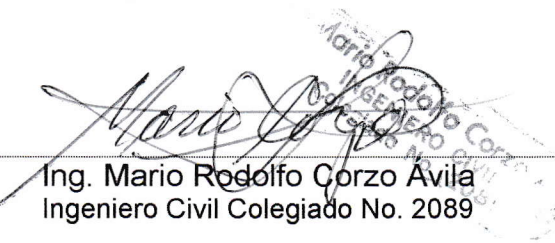
Estimado Ingeniero:

Cumpliendo con lo resuelto con la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, se procedió a la asesoría y revisión del trabajo de graduación: **ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE UNA VIGA CELULAR PARA USO COMO VIGA SECUNDARIA EN ENTREPISOS**, presentado por el estudiante: Nelsón Geovanni Medrano Aguirre.

Considero que el trabajo de graduación se ha desarrollado satisfactoriamente y cumple con los objetivos que motivaron la selección de dicho tema, por lo que recomiendo su aprobación.

Agradezco a usted la atención que se sirva presentar a la presente.

Atentamente,



Ing. Mario Rodolfo Corzo Avila
Ingeniero Civil Colegiado No. 2089



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala,
25 de mayo de 2015

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE UNA VIGA CELULAR PARA USO COMO VIGA SECUNDARIA EN ENTREPISOS**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Nelsón Giovanni Medrano Aguirre, quien contó con la asesoría del Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

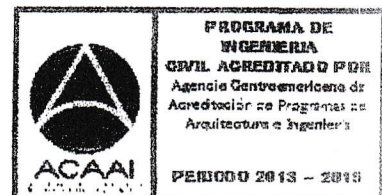
Ing. Civil Guillermo Francisco Melini Salguero
Coordinador del Área de Materiales y
Construcciones Civiles



FACULTAD DE INGENIERIA
AREA DE MATERIALES Y
CONSTRUCCIONES CIVILES
USAC

/bbdeb.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero, al trabajo de graduación del estudiante Nelsón Geovanni Medrano Aguirre, titulado **ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE UNA VIGA CELULAR PARA USO COMO VIGA SECUNDARIA EN ENTREPISOS**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

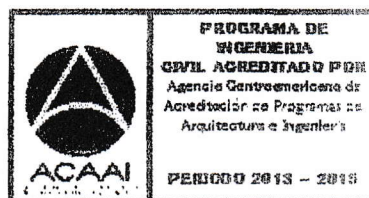
Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, junio 2015

/bbdeb.

Mas de **134** años de Trabajo Académico y Mejora Continua





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DE UNA VIGA CELULAR PARA USO COMO VIGA SECUNDARIA EN ENTREPISOS**, presentado por el estudiante universitario: **Nelsón Giovanni Medrano Aguirre** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Angel Roberto Sicora
Decano



Guatemala, junio de 2015

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por ser el centro de mi fe, y permitirme culminar una meta más de las que me he trazado.
Mi padre	Mario Antonio Medrano Castillo (q. e. p. d.), por ser un hombre ejemplar y por sus enseñanzas.
Mi madre	Aracely Aguirre Gálvez, por su amor y apoyo incondicional.
Mis hermanos	Mario, Melvin, Glendy, Jonatan Medrano; por estar siempre que los he necesitado.
Mis abuelitas	Por sus consejos e historias de antaño.
Mi novia	María Alejandra Taracena, por compartir este éxito en mi vida.
Mis amigos	Que en una forma u otra estuvieron dándome ánimo en seguir adelante y culminar esta meta.

AGRADECIMIENTOS A:

Ing. Mario Corzo	Por su valioso aporte, en la asesoría, revisión y corrección del presente documento.
Facultad de Ingeniería	Por mi formación académica.
Mis catedráticos	Por compartir sus conocimientos y experiencias.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por haberme albergado todos estos años en tan gloriosa casa de estudio.
Mis amigos	Por hacer amena la convivencia en estos años de formación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. GENERALIDADES.....	1
1.1. Referencias históricas	1
1.2. Desarrollo siderúrgico.....	2
1.3. Producción de acero.....	3
1.3.1. El alto horno.....	4
1.3.1.1. Material de carga	5
1.3.1.2. Combustibles	6
1.3.1.3. Materiales refractarios	6
1.3.1.4. Inyección de aire caliente	7
1.3.1.5. Materiales de descarga	7
1.3.1.6. Procesos de reducción	7
1.3.2. Refinación del arrabio	8
1.3.3. La tercera reducción	9
1.3.4. Reducción directa con hornos eléctricos	9
1.4. Clasificación de los aceros	10
1.4.1. Composición química de los aceros	10
1.4.2. Contenido de óxidos	11
1.4.2.1. Aceros efervescentes	11

	1.4.2.2.	Aceros semicalmados	12
	1.4.2.3.	Aceros calmados.....	12
1.4.3.		Propiedades mecánicas	12
	1.4.3.1.	Esfuerzo de cedencia F_y	18
	1.4.3.2.	Límite de proporcionalidad F_p	19
	1.4.3.3.	Esfuerzo de agotamiento F_u	19
	1.4.3.4.	Ductilidad.....	20
	1.4.3.5.	Módulo de elasticidad longitudinal E	21
	1.4.3.6.	Módulo de endurecimiento E_m	21
	1.4.3.7.	Coeficiente de Poisson ν	21
	1.4.3.8.	Módulo de elasticidad transversal G	22
	1.4.3.9.	Tenacidad.....	22
	1.4.3.10.	Dureza.....	23
	1.4.3.11.	Soldabilidad.....	23
	1.4.3.12.	Resistencia a la corrosión	23
	1.4.3.13.	Resistencia al impacto	24
	1.4.3.14.	Fresabilidad y trabajabilidad.....	24
	1.4.3.15.	Resistencia a fatiga	25
	1.4.3.16.	Fractura frágil	26
	1.4.3.17.	Sensibilidad a entalladura	26
	1.4.3.18.	<i>Creep</i> o escurrimiento	27
	1.4.3.19.	Relajación.....	27
1.5.		Productos comerciales del acero estructural.....	28
2.		VENTAJAS, DESVENTAJAS Y USOS DEL ACERO ESTRUCTURAL	29
2.1.		Ventajas del acero como material estructural	29
	2.1.1.	Alta resistencia.....	29
	2.1.2.	Uniformidad.....	30

2.1.3.	Elasticidad	30
2.1.4.	Durabilidad.....	30
2.1.5.	Ductilidad	30
2.1.6.	Tenacidad	31
2.1.7.	Ampliación de estructuras existentes	32
2.1.8.	Propiedades diversas	32
2.2.	Desventajas del acero como material estructural	32
2.2.1.	Alto costo del material	32
2.2.2.	Bajo <i>stock</i> de perfiles estructurales	33
2.2.3.	Costo de mantenimiento	33
2.2.4.	Costo de la protección contra el fuego	33
2.2.5.	Susceptibilidad al pandeo	34
2.2.6.	Fatiga.....	34
2.2.7.	Fractura frágil.....	34
2.2.8.	Equipo especializado	34
2.3.	Primeros usos del hierro y el acero	35
2.4.	Perfiles de acero.....	37
2.5.	Aceros estructurales modernos	38
2.5.1.	Aceros de carbono.....	40
2.5.2.	Acero de alta resistencia y baja aleación.....	40
2.5.3.	Aceros estructurales de alta resistencia, baja aleación y resistentes a la corrosión atmosférica ...	41
2.5.4.	Aceros templados y revenidos.....	41
3.	SELECCIÓN DE ELEMENTO ESTRUCTURAL.....	43
3.1.	Expansión de perfil W200X15	44
3.1.1.	Selección de configuración en alma	44
3.1.2.	Trazo en alma para corte.....	46
3.1.3.	Corte del perfil	48

3.1.4.	Perfil expandido W200X15	48
4.	MÉTODO DE ENSAYO	53
4.1.	Descripción del ensayo	53
4.2.	Detalle de las muestras	54
4.3.	Los ensayos	56
4.3.1.	Datos viga “a”	59
4.3.2.	Datos viga “b”	60
4.3.3.	Datos viga “c”	62
4.3.4.	Datos viga “d”	63
4.4.	Análisis de resultados	64
4.4.1.	Perfiles equivalentes al perfil expandido	72
	CONCLUSIONES	75
	RECOMENDACIONES	77
	BIBLIOGRAFÍA.....	79
	APÉNDICES.....	81
	ANEXOS.....	83

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Curva parcial esfuerzo-deformación para el acero común.	16
2.	Gráfica esfuerzo-deformación para acero de alta resistencia	16
3.	Curva esfuerzo-deformación	18
4.	Variación cíclica de esfuerzos	25
5.	Puente Las Vacas	36
6.	Puente Belice	37
7.	Esquema de pasos en perfil expandido	45
8.	Determinación de trazo de perfil.	47
9.	Trazo de perfil con cuatro pasos	47
10.	Sobre posición de cortes de perfil W200X15.	48
11.	Armado de muestra de cuatro pasos.	49
12.	Viga “a” muestra con cuatro pasos	50
13.	Viga “b” muestra con tres pasos	51
14.	Viga “c” muestra con dos pasos	51
15.	Viga “d” muestra sin pasos	52
16.	Colocación de deformómetros en muestra	53
17.	Muestra “a”	54
18.	Muestra “b”	55
19.	Muestra “c”	55
20.	Muestra “d”	56
21.	Ubicación de deformómetros en muestra “a”.	56
22.	Ubicación de deformómetros en muestra “b”.	57
23.	Ubicación de deformómetros en muestra “c”.	57

24.	Ubicación de deformómetros en muestra “c”	58
25.	Gráfica deflexión B viga “a”	60
26.	Gráfica deflexión B viga “b”	61
27.	Gráfica deflexión A viga “c”	62
28.	Gráfica deflexión B viga “d”	64
29.	Gráfica de deflexión de muestras	66
30.	Gráfica de las cargas para una deflexión de 2,75 mm.....	67
31.	Carga para una deflexión de 2,75 mm.....	68
32.	Aumento de resistencia con base en muestra inalterada.	68
33.	Círculo suscrito en paso de muestra “a”	69
34.	Círculo suscrito en paso de muestra “b”	70
35.	Círculo suscrito en paso de muestra “c”	70
36.	Gráfica de relación ancho/alto de pasos <i>versus</i> carga	71

TABLAS

I.	Propiedades del acero estructural	13
II.	Tensiones sedentes y de agotamiento de los aceros	15
III.	Propiedades perfil W200X15	44
IV.	Características de los pasos de muestras	49
V.	Propiedades de perfil W200X15 expandido	50
VI.	Datos deflexión B viga “a”	59
VII.	Datos deflexión B viga “b”	61
VIII.	Datos deflexión A viga “c”	62
IX.	Datos deflexión B viga “d”	63
X.	Unificación de deflexiones de muestras.....	65
XI.	Carga para una deflexión de 2,75 mm.....	67
XII.	Comparación inercia de perfil expandido <i>versus</i> perfil laminado	72
XIII.	Comparativo de costo y peso de perfiles laminados.....	73

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cm	Centímetros
°C	Grados centígrados
kg	Kilogramos (masa)
kgf	Kilogramos fuerza (1 kgf = 9,8 N)
MPa	Mega Pascal
m	Metros
mils	Milésimas de pulgada
mm	Milímetro
Em	Módulo de Endurecimiento
N	Newton
%	Porcentaje
T	Toneladas Métricas

GLOSARIO

AISI	American Iron and Steel Institute es el Instituto Americano de Hierro y Acero por sus siglas en inglés.
Arrabio	Producto compuesto de hierro y gran abundancia de carbono que se obtiene en un alto horno.
ASTM	American Society for Testing and Materials es la Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales por sus siglas en inglés.
Charpy	Prueba de impacto dinámica realizada para valorar la capacidad de resistencia de los materiales metálicos a las cargas de impacto (tenacidad) y determinar su tendencia a la destrucción frágil.
Coke	Producto de carbono casi puro, de estructura porosa y elevada resistencia mecánica, que se obtiene a partir de carbones naturales de piedra de óptima calidad.
Compresión	Es la resultante de las tensiones o presiones que existe dentro de un sólido deformable o medio continuo, caracterizada porque tiende a una reducción de volumen del cuerpo, y a un acortamiento del cuerpo en determinada dirección.

Deformómetro	Instrumento utilizado para la cuantificación de la variación de las características físicas de un elemento, como su longitud, peralte, y linealidad de su eje.
Desagote	Extraer todo el líquido contenido en un recipiente, drenar.
DIN	Deutsches Institut für Normung es el Instituto Alemán de Normalización por sus siglas en alemán.
Ductilidad	Característica del acero que le permite soportar grandes deformaciones plásticas sin presentar fractura. Generalmente se expresa como el porcentaje máximo de elongación que alcanza una barra de acero elástica al ser sometida a una fuerza de tensión axial.
Elasticidad	Capacidad del acero que le permite regresar a su forma y dimensiones originales, una vez removida la carga que se le aplica.
Elongaciones	Alargamiento que sufre un cuerpo que se somete a esfuerzo de tracción.
Esfuerzo de fluencia	Característica mecánica del acero estructural que sirve de base para determinar la capacidad permisible de un miembro estructural en el diseño estructural.

Esfuerzo de ruptura en tensión	Máximo esfuerzo que el acero estructural es capaz de soportar.
Extensiómetro	Instrumento para medir cambios en dimensiones lineales.
Fatiga	Falla de un elemento de acero estructural por la repetición de un gran número de ciclos de carga de una amplitud que aplicada una sola vez no produciría daño alguno.
Fragilidad	Característica del acero contraria a la ductilidad, que denota la forma de falla brusca o repentina una vez alcanzada su capacidad de carga y para deformaciones relativamente pequeñas.
Hidrocorde	Corte con agua a alta presión.
Homogeneidad	Aleación cuyos elementos son de la misma índole o se encuentran íntimamente mezclados o igualmente distribuidos.
Isotropía	Característica del acero cuyas propiedades físicas son idénticas en cualquier dirección.
Izod	Es un tipo de ensayo destructivo dinámico de resistencia al choque que utiliza un péndulo de Charpy como herramienta. Este procedimiento se lleva a cabo para averiguar la tenacidad de un material, ya que al realizarlo se obtiene su resiliencia

(El ensayo Izod difiere del Charpy en la configuración de la probeta).

LRFD

Load and Resistance Factor Design es la Carga & diseño de Factor de resistencia por sus siglas en inglés.

Módulo de elasticidad

Pendiente de la gráfica esfuerzo deformación del acero estructural denotado por el símbolo E.

Paso

Hueco o perforación en el alma del perfil expandido.

Peletización

Proceso que consiste en la aglomeración del mineral finamente molido.

Plasticidad

Comportamiento del acero estructural caracterizado por deformaciones permanentes sin fractura brusca.

Resiliencia

Capacidad del acero para absorber energía. Número que expresa la resistencia del acero a choques o a impactos.

Resistencia

Capacidad del acero para soportar las cargas que obran en él. Se determina cuantificando la fuerza máxima por unidad de área de sección transversal que soporta el acero antes de fracturarse.

Rigidez

Resistencia a la deformación de un miembro o estructura, medida por la relación de la fuerza aplicada entre el desplazamiento correspondiente.

SIDETUR	Siderúrgica del Turbio S. A. (siderúrgica Venezolana).
Soldabilidad	Conjunto de propiedades que debe tener un acero para permitir fabricar juntas, uniones o conexiones que presenten características adecuadas de continuidad metalúrgica, seguridad e integridad.
<i>Strain gages</i>	Galga extensiométrica.
Tenacidad	Capacidad del acero para absorber grandes energía de golpes o deformación. Generalmente se mide cuantificando el trabajo necesario para deformarlo hasta provocar su fractura y dividiéndolo entre el volumen del material deformado.
Tracción	Esfuerzo interno al que está sometido un cuerpo por la aplicación de dos fuerzas que actúan en sentido opuesto, y tienden a estirarlo.

RESUMEN

Para mejorar la eficiencia en construcción con acero se puede buscar diversas formas, entre las cuales es el uso de losa-acero (*metal deck*), apoyadas sobre vigas de acero.

Las vigas de acero secundarias se pueden hacer más eficientes a flexión, para esto se realiza un procedimiento que consisten en expandir el alma de las vigas laminadas normadas. La expansión del alma aumenta la inercia de la sección y el peralte de la misma hasta un 50 %, lo cual por ende aumenta su resistencia a flexión.

Se pueden realizar diversas figuras en el alma al momento de expandir el perfil, según la forma que se realice influirá en cuanto aumenta la resistencia a flexión de la viga.

OBJETIVOS

General

Determinar el aumento de la resistencia flexionante de una viga laminar al expandir su alma.

Específicos

1. Conocer cuáles son las configuraciones de corte en el alma de una viga que se pueden utilizar.
2. Saber cómo se deben trazar el alma de una viga para expandirla.
3. Determinar cuál es la configuración más eficiente de los cortes en el alma de una viga celular.
4. Comparar el costo de expandir el alma con un perfil sin alterar que proporcione la misma resistencia a flexión.

INTRODUCCIÓN

El acero es uno de los materiales más utilizados en la construcción debido a que Guatemala no es un país productor de perfiles de acero normados, la construcciones que utilizan estos perfiles suelen ser de costos muy elevados. La ventaja más relevante es el tiempo en que se ejecutan los proyectos.

Uno de los métodos de construcción con acero son los entrepisos de *metal deck*, los cuales consisten en columnas de acero y concreto, vigas principales de acero (se apoyan entre columnas) y vigas secundarias de acero (se apoyan entre vigas).

Para hacer eficientes las vigas secundarias se puede expandir el alma de estas aumentando el peralte y la inercial del perfil. Por ende también aumenta la resistencia a flexión, permitiendo utilizar perfiles más livianos en los entrepisos.

En este documento se pretende determinar cuánto aumenta la resistencia a flexión de un perfil laminado normado, al expandir el alma del perfil. Para esto se realizaron diversas configuraciones en el alma al momento de expandirla, con el objeto de evaluar el aumento de la resistencia a flexión de cada una de estas configuraciones y cuál es la más eficiente.

1. GENERALIDADES

“Para su bien o para su mal el material acero es uno de los materiales que más ha influido en la vida del hombre; es agente de adelanto y civilización, de destrucción y miseria, de bienestar y libertad, de poder y opresión. El arado y la espada, que caracterizan a la humanidad, son de acero”¹.

1.1. Referencias históricas²

El origen de la obtención del hierro, en forma similar a la del vidrio o la cerámica, se remonta a la Edad de Piedra, cuando entre cenizas de una fogata casualmente encendida sobre piedras conteniendo minerales de hierro, apareció el metal en bruto.

No se conoce a ciencia cierta, cual fue el primer pueblo que inició la obtención deliberada del hierro, dando lugar a la llamada Edad de Hierro alrededor del año 1000 a.C. en la Gran Pirámide de Egipto.

Usado con diversos fines ornamentales o bélicos, el hierro jugó un importante papel en la historia de la humanidad marcando el progreso de la civilización desde los tiempos más remotos.

¹ ZAPATA BAGLIETTO, Luis F. *Diseño estructural en acero*. p. 2-1.

²FRATELLI, María Graciela. *Diseño de estructuras metálicas, estado de límites LRFD*. p. 15-48

Al comienzo, el proceso de obtención del hierro era sumamente precario, con elementales hornos de carbón similares a los usados para la elaboración del cobre. Estos primeros hornos se ubicaban antiguamente en pozos, utilizando fosas naturales del terreno, o bien construyéndolos en arcilla o piedra, donde el combustible era el carbón de leña. En Siegerman, Alemania fue descubierto recientemente un antiguo horno del 500 a.C., el cual, a pesar de sus reducidas dimensiones, da testimonio de los comienzos de la producción de hierro en la antigüedad.

La siderurgia fue desarrollándose lentamente basada en descubrimientos casuales, observaciones y experiencias, en especial en aquellas regiones ricas en mineral de hierro y con suficientes bosques para obtener la leña necesaria que aportara el carbón vegetal para el tratamiento del metal. Estos son los llamados hornos bajos, con tiraje natural. Sucesivamente, para aumentar la eficiencia del tiraje, se emplearon fuelles manuales, obteniéndose en producto de esponja ferrosa mezclada con escoria, la cual se eliminaba luego de sucesivos calentamientos.

La producción industrial de hierro fundido apareció simultáneamente en el siglo XIV en Alemania y en Italia, utilizándola en la fabricación de balas de cañón.

1.2. Desarrollo siderúrgico

La fabricación de los materiales ferrosos en la Edad Moderna fue impulsada por el avance tecnológico que permitió instalación de los altos hornos, logrando con ello un notable incremento en la capacidad productiva del hierro forjado y la fundición.

Asimismo, el hierro fue utilizado inicialmente para construir cubiertas y naves de edificios industriales, y solo más tarde, cuando se perfeccionó el funcionamiento de los elevadores, se lo usó en edificaciones de varias plantas.

La revolución industrial del siglo XIX en Europa permitió el avance masivo en la producción de los materiales ferrosos y con ello se propició la construcción de numerosos puentes, pabellones, almacenes comerciales, depósitos y estaciones de ferrocarril. La fabricación de perfiles *standard* y seriados de hierro, aunada al planeamiento racional de los procesos de transporte y montaje, permitió la construcción de grandes edificios en tiempo cada vez más breve.

Desde 1880 el acero se transformó en el primer material estructural en los Estados Unidos de América, estimulado por los precios competitivos que favorecían el nuevo proceso de fabricación con hogar abierto. Esto dio lugar a un nuevo esplendor constructivo de numerosos puentes colgantes, y comienza la época de oro de los rascacielos entre 1904 y 1912, hasta el inicio de la Primera Guerra Mundial.

1.3. Producción de acero

La producción del acero y fundiciones de hierro en la actualidad se basa en la aplicación de dos procesos siderúrgicos diferentes, que son:

- El alto horno, con reducción en el convertidor al oxígeno.
- La reducción directa, con hornos eléctricos.

Ambos procesos son de colada continua. La diferencia básica entre ellos consiste en que en el alto horno el tratamiento se lleva a cabo utilizando *coke* como combustible y agente reductor, mientras que en la reducción directa, los

minerales de hierro se llevan al estado líquido mediante el uso de la energía eléctrica, la cual permite elevar la temperatura en el horno hasta alcanzar el punto de fusión. De esta forma se reduce el mineral de hierro en una sola operación al estado final de lingotes, productos semielaborados o piezas en bruto.

1.3.1. El alto horno

Es en esencia una gran cuba con forma tubular de hasta 40 m de altura y unos 7 m de diámetro interno máximo, según la capacidad de las instalaciones construidas en acero y revestido interiormente con material refractario.

La parte superior o boca del alto horno se conoce por tragante. Por allí se introducen los minerales de aporte y el combustible.

La cuba va aumentando progresivamente su diámetro hacia la parte inferior, la cual se designa por vientre. Con ello se facilita el descenso de los materiales, que cumplen así su recorrido vertical hacia la base, dentro del alto horno llenando totalmente el interior de la cuba.

A medida que se va descendiendo dentro de la cuba, la temperatura aumenta considerablemente, y se fusiona el material. De esta manera, pasa del estado sólido con espacios llenos de aire, al de una masa pastosa donde se ha eliminado el aire y los gases de la combustión. Penetra entonces en la zona llamada atalaje, en la cual la disminución progresiva del diámetro del tubo disminuye la velocidad de descenso de la carga.

En la base del atalaje, el metal alcanza su punto de fusión, y es allí donde se producen las escorias finales. Del atalaje, el metal pasa al último tramo del alto horno, conocido por crisol, el cual cumple dos funciones básicas. La primera

de ellas es la de permitir, al comienzo del proceso, la entrada del aire caliente, a través de tuberías llamadas toberas que se conectan a la parte superior del crisol.

La segunda función del crisol es la de contener, al final del proceso, el arrabio líquido a altas temperaturas, sobre la cual flota la escoria, de menor peso específico. La escoria es utilizada en diferentes ramas de la industria de la construcción, como por ejemplo la ejecución de paneles aislantes, la producción de cemento liviano o de balastro para vías férreas, entre otros.

Las etapas de producción de acero en alto horno son las siguientes:

- Materiales de carga
- Combustibles
- Materiales refractarios
- Inyección de aire caliente
- Materiales de descarga
- Proceso de reducción

1.3.1.1. Material de carga

Los materiales de carga para el alto horno son:

- Minerales de hierro
- Chatarra
- Piedra caliza
- Dolomita, sulfuros
- Carbonatos, silicatos, entre otros.

Los minerales de hierro son los que contienen hierro en forma de óxido, silicatos o carbonatos, y excepcionalmente en forma de sulfuros. El porcentaje del contenido de hierro en estos minerales se conoce por riqueza y de ella depende el rendimiento de la carga. Los minerales con base en óxidos de hierro se conocen como hematitas, magnetitas y limonitas, según el óxido que predomine en su composición.

A los minerales de hierro mencionados se adiciona chatarra, que es el sobrante de piezas de hierro previamente manufacturados y ya en desuso o inutilizadas. La piedra caliza cumple la función de fundente permitiendo una combustión más homogénea en la reducción del hierro, y disminuyendo el punto de fusión de la ganga, con lo cual se logra una escoria más fluida y más fácil de retirar.

1.3.1.2. Combustibles

El combustible de más alta calidad usado para la primera reducción de los minerales de hierro en el alto horno es el *coke*, que se obtiene por la combustión controlada del carbón de piedra. El *coke* es un producto de carbono casi puro, de estructura porosa y elevada resistencia mecánica, que se obtiene a partir de carbones naturales de piedra de óptima calidad y elevado precio.

1.3.1.3. Materiales refractarios

La pared interior del alto horno se reviste con ladrillos refractarios para asegurar que el proceso de reducción no deteriore las instalaciones. Las mismas deben soportar no solo las elevadas temperaturas, sino también los esfuerzos mecánicos a que son sometidos durante la producción del acero.

1.3.1.4. Inyección de aire caliente

El aire calentado a 900 °C que se inyecta en el alto horno a través de las toberas conectadas en la parte inferior del crisol, proviene de las calderas ubicadas en instalaciones complementarias. Para activar la combustión, es necesario un gran volumen de aire caliente, usualmente 5 kg de aire por cada kilogramo de *coke*. Al entrar en contacto con el combustible sólido se produce la ignición con reacciones paralelas, cuando el oxígeno del aire forma anhídrido carbónico y monóxido de carbono en presencia del carbono libre.

1.3.1.5. Materiales de descarga

Luego que los minerales ferrosos de la carga han entrado en contacto con el *coke* ardiendo a temperaturas de 2000 °C, comienza la fase pastosa del proceso hasta alcanzar la fase líquida cuando el metal va escurriendo hacia el crisol, a unos 1 600 °C, y es colado por el orificio de salida ubicado en la parte inferior del horno. El desagote se lleva a cabo cada 6 horas aproximadamente, para retirar de 100 a 300 T de arrabio líquido, y la operación se repite con regularidad.

El metal en estado de fusión es recogido por los cucharones de colada y se lo conoce por arrabio, hierro crudo o fundición líquida, llamado así por el alto contenido de carbono, que oscila entre un 2,5 y un 6 % del volumen, y lo vuelve en material frágil.

1.3.1.6. Procesos de reducción

Para obtener acero con fines estructurales se deben realizar tres reducciones sucesivas del material inicial de carga que son:

- Primera reducción: en el alto horno. A partir de los minerales ferrosos de la carga se obtiene arrabio, hierro crudo o fundición de hierro. Este material es poco apto para fines estructurales por su elevado contenido de carbono (del 2,5 al 6 % en volumen) el cual le otorga características de fragilidad y dificultad de soldar.
- Segunda reducción: En el convertidor o los hornos de reverbero. Por ventilación forzada se oxida el carbono en exceso que contiene el arrabio, dando por resultado un metal con demasiado porcentaje de oxígeno. Este proceso se conoce por refinación del arrabio. Los métodos más usados para esta segunda reducción son los hornos Siemens-Martin y los convertidores tipo Bessemer o Thomas.
- Tercera reducción: en los cucharones de colada. Este proceso elimina el exceso de oxígeno, para lo cual el metal fundido se asocia con agregados. También en esta etapa se realizan las aleaciones con otros metales que dan finalmente al acero las características mecánicas exigidas.

1.3.2. Refinación del arrabio

Constituye la segunda reducción en la producción de acero, y se puede llevar a cabo según diferentes procesos, entre los cuales los más comunes en la actualidad son los hornos de reverbero y los convertidores. Básicamente, en ambos métodos, el tratamiento consiste en cargar con arrabio líquido un horno de acero revestido con material refractario y ponerlo en contacto con corrientes de aire o gases de combustión, de modo que el oxígeno aportado refine por oxidación la masa metálica en estado de fusión.

1.3.3. La tercera reducción

Consiste en menguar el contenido superfluo de oxígeno, empleando ferroaleaciones de silicio y manganeso u otros elementos ávidos de oxígeno.

Este último proceso de desoxidación, así como la adición de ciertos agregados y aleaciones, da por resultado un acero refinado, apto para los fines estructurales y con características mecánicas especiales de dureza, resistencia, ductilidad, entre otros, así como resistencia a la abrasión, a la corrosión, al impacto y a la fatiga.

Esta tercera reducción se lleva a cabo al vaciar el arrabio ya refinado en los cucharones de colada que luego lo distribuyen en los moldes y lingoteras, para transportarlo a los diferentes trenes de laminación y obtener los productos comerciales para la industria. La desoxidación también permite reducir la mayor parte de las inclusiones de aire y elementos gaseosos disueltos en la masa metálica en estado atómico, que se forman como consecuencia del tratamiento al cual se somete el metal en la segunda reducción.

1.3.4. Reducción directa con hornos eléctricos

El segundo proceso de producción siderúrgica de aplicación más reciente es el de la combinación de la peletización, la reducción directa y los hornos eléctricos de arco, con sistema de colada continua. El proceso comienza en forma similar al anterior, con la selección de material de hierro fino mezclado con cal hidratada y aglomerados. Por acción del calor se obtienen pequeñas esferas metálicas conocidas por *pellas* o *pelts*, las cuales luego son transportadas a los reactores de las unidades de Reducción Directa. Allí, por acción del gas natural

reformado, como agente reductor, las pellas son sometidas a un proceso de calentamiento que libera los óxidos del mineral.

Los hornos eléctricos tienen la ventaja de que la carga no se halla en contacto directo con los productos de combustión, lo cual permite obtener aceros de mejor calidad. Prácticamente todos los aceros inoxidable y los que se destinan a la fabricación de herramientas de alta aleación son obtenidos mediante hornos eléctricos. Entre los cuales se mencionan: el de arco directo trifásico (tipo Heroult), y el de inducción.

1.4. Clasificación de los aceros

Los aceros pueden clasificarse según:

- Su composición química
- Su contenido de óxido
- Sus propiedades mecánicas
- Su calidad

1.4.1. Composición química de los aceros

De acuerdo con su composición química, los aceros pueden ser:

- Aceros sin alear
- Aceros semialeados
- Aceros aleados

Las aleaciones influyen en las propiedades del acero. Entre los metales de aleación se pueden citar el cobre (Cu), níquel (Ni), aluminio (Al), silicio (Si),

manganeso (Mn) y cromo (Cr). El fósforo y azufre generalmente se segregan, ya que constituyen impurezas difíciles de eliminar.

El cromo mejora notablemente la resistencia a la corrosión y al desgaste, así como el cobre incrementa su ductilidad y también mejora la resistencia a la corrosión. El manganeso facilita la soldabilidad y el molibdeno permite una mejor deformación en frío; el níquel incrementa la resistencia a la tracción y el aluminio le confiere al material características de no envejecimiento y una estructura de grado fino, con buenas propiedades de soldabilidad.

1.4.2. Contenido de óxidos

Según su contenido de óxidos, el grado de desoxidación de los aceros permite clasificarlos en:

- Aceros efervescentes
- Aceros semicalmados
- Aceros calmados

1.4.2.1. Aceros efervescentes

La primera reducción del acero en el alto horno provoca la fusión de los óxidos contenidos en el mineral. Para activar el proceso se agregan generalmente elementos ávidos de oxígeno, tales como el carbono y el manganeso, propiciando la formación de monóxido y dióxido de carbono.

Cuando la desoxidación del acero líquido resulta débil y se obtienen metales con alto grado de segregación y concentración de elementos. Evidencia de ello es la formación en el lingote de una piel exterior relativamente pura durante su

solidificación y enfriamiento, mientras que en el interior de la masa su composición química se ve alterada por impurezas tales como el azufre y el fósforo, que debilitan el acero, disminuyendo su calidad y haciéndolo poco apto para soldar.

1.4.2.2. Aceros semicalmados

Son los aceros parcialmente desoxidados con propiedades intermedias entre los aceros efervescentes y los calmados. Se usan preferentemente en la fabricación de perfiles estructurales, barras y planchas.

1.4.2.3. Aceros calmados

Son los aceros completamente desoxidados, en los cuales no existen reacciones posteriores del carbono con el oxígeno, durante la solidificación de lingotes. Estos aceros presentan una estructura cristalina homogénea de composición química uniforme, apta para la fabricación de tubos sin costura, rieles y piezas forjadas.

Los aceros calmados ofrecen excelentes características mecánicas, buenas posibilidades de ser soldados y gran ductilidad. Con fines estructurales, se los emplea en perfiles de espesor considerable, que deban soportar fuertes solicitaciones.

1.4.3. Propiedades mecánicas

Según sus propiedades mecánicas, los aceros se clasifican en:

- Acero común (acero dulce)

- Aceros de alta resistencia
- Aceros especiales

Las propiedades mecánicas de los aceros dependen de su composición química, de sus aleaciones, de su proceso de laminación, forma de enfriamiento, tratamiento térmico posterior y el tipo de solicitaciones a que sean sometidos.

Sin embargo las siguientes propiedades son comunes en los aceros:

Tabla I. **Propiedades del acero estructural**

Peso específico	$7\,850\text{ kg/m}^3$
Módulo de elasticidad longitudinal (Módulo de Young)	$2,1 \times 10^6\text{ kg/cm}^2$
Módulo de elasticidad trasversal (Módulo de corte)	$G = \frac{E}{2(1 + \nu)}$
Coeficiente de Poisson	$\nu = 0,3\text{ (en rango elástico)}$ $\nu = 0,5\text{ (en rango plástico)}$
Coeficiente de dilatación térmica	$\alpha = 11,7 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$
Nota: Las unidades de fuerza expresadas aquí en <i>kg</i> corresponden a <i>kgf</i> del sistema técnico MKS (metro-kilogramos fuerza-segundos). Igualmente para momentos, <i>kgm</i> corresponde a <i>mkgf</i> .	

Fuente: FRATELLI, María. *Diseño de estructuras metálicas estados de limites LRFD*. p. 35.

El acero común, también conocido por acero dulce o acero al carbón, fue por muchos años el material más usado en la construcción de puentes y edificios. Es un acero con bajo contenido de carbono (entre el 0,12 y 0,6 % en peso). Entre estos aceros están el Sidetur AE25, el ASTM A36 y el Din ST37. La variación en el contenido de carbono resulta decisiva en las propiedades mecánicas de los diferentes aceros. Por otra parte las aleaciones también contribuyen a mejorar la resistencia.

Los aceros de alta resistencia son aquellos que han incrementado notablemente su punto de cedencia, por contenidos elevados de carbono (entre el 1,4 y el 1.7 % en peso) o por aleaciones adecuadas, si bien su ductilidad se ve drásticamente disminuida. En algunos casos, las elevadas resistencias se logran mediante tratamiento térmico y templado, o por trabajo en frío.

Los aceros especiales se fabrican con sofisticadas aleaciones, para cubrir necesidades específicas, y no todos son adecuados para su aplicación estructural. Por ejemplo, los aceros de los cascos de submarinos, naves espaciales o los usados para la construcción de máquinas de alta presión.

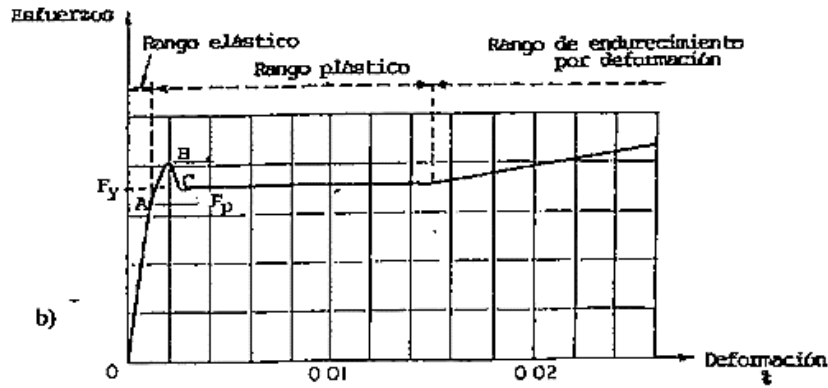
Tabla II. Tensiones sedentes y de agotamiento de los aceros

DESIGNACIÓN	TIPO	F_v (kg/cm ²)	F_u (kg/cm ²)
SIDETUR	AE 25	2 500	3 700
	AE 35	3 500	5 500
ASTM	A 36	2 500	4 100
	A 242	2 750	4 150
	A 440	2 900	4 350
	A 441	3 150	4 600
	A 514	7 030	8 100
	A 572 grado 42	2 900	4 150
	A 572 grado 45	3 100	4 150
	A 572 grado 50	3 450	4 500
	A 572 grado 60	3 800	4 850
	A 572 grado 65	4 150	5 200
	A 588 grado 42	2 900	4 350
	A 588 grado 46	3 150	4 600
	A 588 grado 50	3 450	4 850
DIN	ST 37	2 400	3 700
	ST 42	2 600	4 200
	ST 52	3 600	5 200

Fuente: FRATELLI, María. *Diseño de estructuras metálicas estados de limites LRFD*. p. 36.

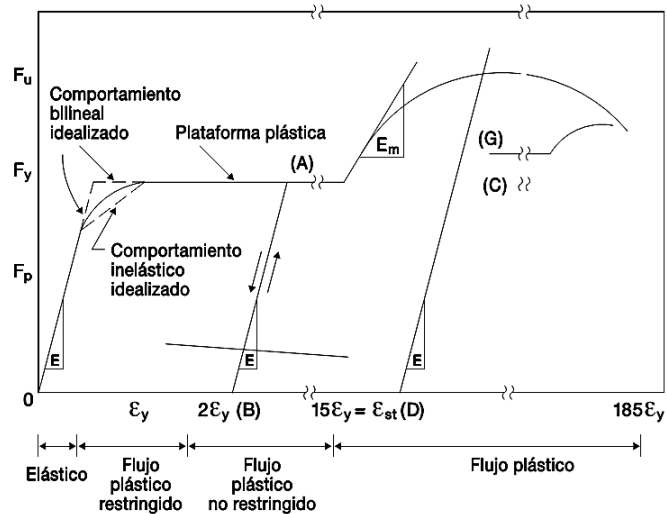
Las propiedades mecánicas representan la resistencia de un miembro estructural de acero bajo sollicitaciones estáticamente aplicadas y se obtienen del diagrama de esfuerzos *versus* deformación de la figura 1, para un acero de bajo contenido de carbono, conocido por acero dulce o acero común, y otro de alta resistencia, con alto contenido de carbono (figura 2).

Figura 1. Curva parcial esfuerzo-deformación para el acero común



Fuente: FRATELLI, María. *Diseño de estructuras metálicas estados de límites LRFD*. p. 37.

Figura 2. Gráfica esfuerzo-deformación para acero de alta resistencia



Fuente: AHMSA. *Manual de diseño para la construcción con acero*. p. 14.

Estos diagramas grafican el comportamiento de un espécimen de acero, o probeta, sometido en laboratorio a esfuerzos gradualmente crecientes hasta la rotura, en tracción o compresión en ausencia de pandeo. En cada caso las

elongaciones producidas se miden, para las diferentes fuerzas aplicadas, con straingages o extensiómetro conectados al elemento que se analiza.

Entre las propiedades mecánicas del acero se pueden enumerar:

- El esfuerzo de cedencia F_y
- El límite de proporcionalidad F_p
- El esfuerzo límite o de agotamiento F_u
- La ductilidad
- El módulo de elasticidad E
- El módulo de endurecimiento E_m
- El coeficiente de Poisson ν
- El módulo de corte G

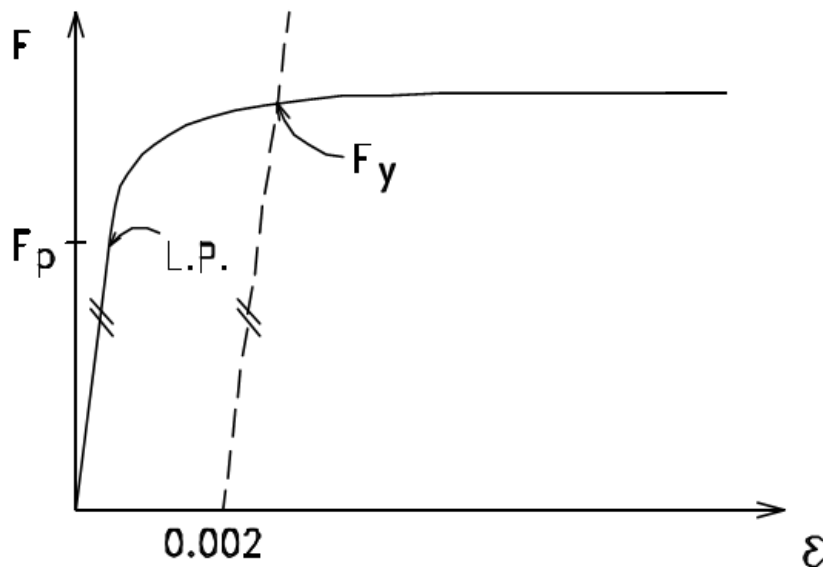
Otras propiedades mecánicas de los aceros son:

- La tenacidad
- La dureza
- La soldabilidad
- La durabilidad y resistencia a la corrosión
- La resistencia al impacto
- La fresabilidad y trabajabilidad
- La resistencia a la fatiga
- La resistencia a la fractura frágil
- La sensibilidad a entalladura
- El *creep*
- La relajación

1.4.3.1. Esfuerzo de cedencia F_y

En los aceros de alta resistencia (aceros tratados, templados y aleados) no se evidencia un escalón de cedencia definido. Por ello en estos casos, el esfuerzo de cedencia se define como el punto específico de la curva que resulta de trazar una paralela, desde el comienzo del diagrama, desfasada un valor del 0,2 % en las abscisas, correspondiente a la deformación unitaria.

Figura 3. Curva esfuerzo-deformación



Fuente: ZAPATA BAGLIETTO, F. Luis. *Diseño estructural en acero*. p. 2-3.

El punto de intersección de esta recta con la curva esfuerzos-deformaciones se adopta como el valor representativo del F_y del acero. En general, el valor de F_y está asociado en forma inversamente proporcional, a la ductilidad del acero.

1.4.3.2. Límite de proporcionalidad F_p

Es el esfuerzo máximo para el cual es válida la ley de Hooke, referente a los esfuerzos directamente proporcionales a las deformaciones. En la figura 1 el límite de proporcionalidad corresponde al punto A. F_p indica el rango de esfuerzos donde rige la suposición de acción elástica.

Su determinación no es exacta, sino que depende la precisión del equipo de medición del ensayo. En general se acepta:

$$F_p \cong 0.87F_y$$

El límite de proporcionalidad también puede determinarse de la siguiente manera:³

Para perfiles laminados en caliente:

$$F_p = F_y - 705 \text{ kgf/cm}^2$$

Para perfiles soldados:

$$F_p = F_y - 1130 \text{ kgf/cm}^2$$

1.4.3.3. Esfuerzo de agotamiento F_u

Es el esfuerzo correspondiente a la carga máxima en la prueba de tracción monoaxial. La relación F_u/F_y mide la reserva de resistencia bajo determinadas

³ Fuente: ZAPATA BAGLIETTO, F. Luis. *Diseño estructural en acero*. p. 2-4.

condiciones de carga. F_u es el valor correspondiente al punto de tangencia de una horizontal trazada a la curva representativa del rango endurecimiento por deformación del diagrama esfuerzos-deformaciones (figura 2). Es el esfuerzo de falla.

1.4.3.4. Ductilidad

Es la capacidad de deformación una vez rebasado el límite de proporcionalidad, y mide la posibilidad de incursionar en el dominio inelástico sin pérdida apreciable de la capacidad resistente del elemento estructural solicitado.

Es el índice de la deformación inelástica, medida según el porcentaje de alargamiento. Esta propiedad resulta fundamental en el diseño estructural, en especial en edificios en zona sísmica, ya que permite grandes deformaciones bajo carga imprevistas, cuando aún está lejano su punto de rotura.

El factor de ductilidad se designa por la relación:

$$\frac{\varepsilon_u}{\varepsilon_y} \quad \text{en sollicitaciones axiales}$$

$$\frac{\theta_u}{\theta_y} \quad \text{en flexión}$$

Donde el subíndice “u” es indicativo de la condición de agotamiento, y el “y” de cedencia. Bajo ciertas condiciones, la ductilidad del material puede verse afectada como por ejemplo, variación de temperatura o fatiga.

1.4.3.5. Módulo de elasticidad longitudinal E

Este módulo, conocido como Módulo de Young, resulta de la relación entre el esfuerzo que se aplica y la deformación elástica resultante. En el diagrama esfuerzo-deformación de la figura 2, E corresponde a la pendiente de la curva en el rango elástico.

Para todos los aceros, E tiene un valor prácticamente constante en el rango elástico:

$$E = 2,1 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$$

1.4.3.6. Módulo de endurecimiento E_m

Es la pendiente a la curva esfuerzo-deformación en el rango de endurecimiento por deformación y varía dependiendo de la deformación alcanzada.

Este endurecimiento final explica la resistencia encontrada en elementos de acero que han sobrepasado, la plataforma plástica⁴.

1.4.3.7. Coeficiente de Poisson ν

En un elemento solicitado por carga axial, el Módulo de Poisson es la relación entre la deformación transversal y la longitudinal. Los ensayos demuestran que el alargamiento de una barra en la dirección longitudinal Δ_L , va

⁴ ZAPATA BAGLIETTO, F. Luis. *Diseño estructural en acero*. p. 2-4.

acompañado de un estrechamiento transversal Δ_s proporcional. “L” es la longitud del miembro y “a” su dimensión transversal.

$$\varepsilon_{long} = \Delta_L/L$$

$$\varepsilon_{transv} = \Delta_s/a$$

Resulta:

$$\varepsilon_{transv} = \nu \varepsilon_{long}$$

Para:

$$\nu = 0,3$$

El módulo de Poisson es la inversa del coeficiente:

$$m = l/\nu$$

1.4.3.8. Módulo de elasticidad transversal G

También conocido como módulo al corte, G representa la relación del esfuerzo cortante, a la deformación unitaria por corte, dentro del rango elástico. Para los aceros estructurales puede determinarse mediante la expresión:

$$G = E/2,6 = 808\,000 \text{ kgf/cm}^2$$

1.4.3.9. Tenacidad

Es la capacidad de un material de absorber una gran cantidad de energía, antes que sobrevenga la rotura. El área encerrada por la curva del diagrama esfuerzo-deformación del acero, mide el grado de tenacidad del material.

Por lo tanto, la tenacidad depende de la resistencia y la ductilidad. Para medir la tenacidad se realizan las pruebas de impacto sobre especímenes con entalladura de geometría normalizada, como las de Charpy y de Izos. Sus dimensionales son kgf/cm^4

1.4.3.10. Dureza

Se define como la resistencia de un material a la penetración de su superficie. El número de dureza Brinell es un índice de dureza calculado a partir del área de penetración de una gran masa con una esfera muy dura de acero o carburo de tungsteno, bajo una carga standard.

La dureza Rockwell es otro de varios índices comunes de dureza usados en ingeniería, que mide la penetración de un pequeño y estandarizado penetrador.

1.4.3.11. Soldabilidad

Es la propiedad de permitir la ejecución y perfecto funcionamiento de una unión mediante soldadura, bajo determinadas condiciones, sin que afecten las propiedades mecánicas del acero. Las normas y reglamentos que rigen los procesos de soldadura indican las posibilidades de selección de los electrodos recomendados para cada tipo de acero estructural.

1.4.3.12. Resistencia a la corrosión

La capacidad de resistencia al deterioro en la intemperie o medio ambiente agresivo define la durabilidad y resistencia a la corrosión. La corrosión es el

resultado de una compleja acción electroquímica por efecto de la humedad y se mide por el espesor del material perdido, en *mills*.

La presencia de oxígeno, vapor de agua, sulfatos y otros agentes corrosivos en la atmosfera disminuye la resistencia a fatiga de un elemento estructural de acero. La falla del metal causada por la acción simultánea de cargas cíclicas y agentes corrosivos se conoce como fatiga corrosiva.

La forma más usual de protección es el uso de pintura anticorrosiva sobre capas protectoras, a las cuales se debe dar un eficaz y continuo mantenimiento. Las aleaciones de cobre y plomo mejoran notablemente la resistencia a la corrosión de los aceros, favoreciendo la formación de una capa transparente auto protectora que no deja pasar el oxígeno. Un buen acabado superficial incrementa la eficacia del proceso.

1.4.3.13. Resistencia al impacto

Impacto es la aplicación súbita de una carga viva, o acción dinámica. La capacidad de absorber la energía provocada por este tipo de carga es la resistencia al impacto, y resulta siempre un valor comparativo. Estructuralmente, este efecto se toma en consideración como un esfuerzo adicional al de las cargas vivas aplicadas, mediante el incremento de la magnitud de las fuerzas estáticas entre 30 % a un 100 % de su valor, este depende del uso de la estructura. La resistencia al impacto se reduce al disminuir la temperatura.

1.4.3.14. Fresabilidad y trabajabilidad

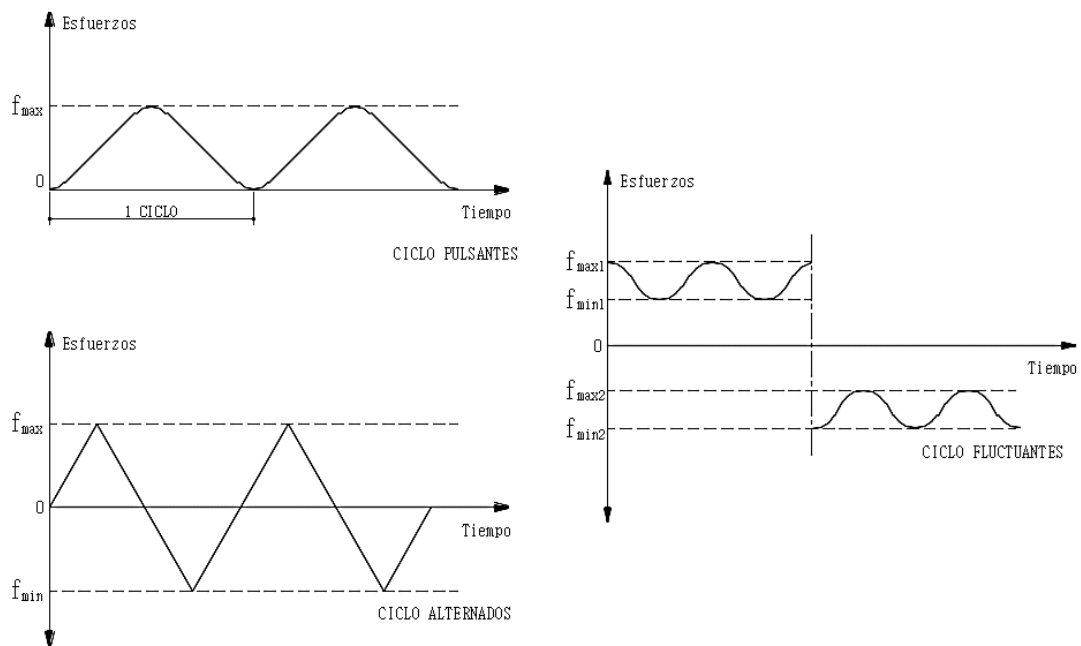
La facilidad con que un acero permite ser taladrado, fresado, labrado o trabajado sin que se vean afectadas sus propiedades mecánicas, define su

fresabilidad y trabajabilidad. Esta propiedad es de fundamental importancia en ingeniería mecánica.

1.4.3.15. Resistencia a fatiga

Cuando un miembro estructural o una conexión soportan cargas de variación cíclica, con elevado número de repeticiones durante su vida útil pueden fallar por fatiga, con esfuerzos muy inferiores a los correspondientes a la falla bajo cargas estáticas.

Figura 4. Variación cíclica de esfuerzos



Fuente: FRATELLI, María. *Diseño de estructuras metálicas estados de limites LRFD*. p. 43.

La fatiga está siempre asociada a fuerzas de tracción y la falla por fatiga comienza donde existe una fisura inicial en el metal, por defectos en el acabado de los bordes cizallados o donde se producen muescas o cambios bruscos de sección.

La figura 4 muestra algunos tipos de solicitaciones repetidas que pueden producir fatiga. La resistencia a fatiga se define como el esfuerzo máximo que puede ser soportado durante un determinado número de ciclos, sin fractura del elemento estructural. La vida en fatiga es el número de ciclos que tarda en romperse.

1.4.3.16. Fractura frágil

En general, el acero se comporta en forma plástica, y cede, cuando más allá de su punto de cedencia, ocurre un deslizamiento por reorientación de cristales a lo largo de cientos planos de fractura con elevados esfuerzos cortantes.

El máximo esfuerzo de tracción correspondiente al instante en que se produce la fractura se designa por resistencia a la fractura frágil, y el esfuerzo constante máximo que actúa al ocurrir el deslizamiento es el esfuerzo de cedencia por corte. Sin embargo, el comportamiento de un mismo material puede ser plástico o frágil dependiendo del tipo de sollicitación y de la temperatura, así como también influye la presencia de esfuerzos residuales.

1.4.3.17. Sensibilidad a entalladura

Es la tendencia a la fractura frágil en presencia de muescas o entalladuras. La prueba de Charpy de la muesca en “V” es una forma de medir

cuantitativamente la capacidad de un acero para soportar cargas de impacto, en función de la calidad del acero y de la temperatura.

La prueba evalúa la tenacidad del acero, o resistencia a la fractura en presencia de una muesca y se realiza con una pequeña barra rectangular con una muesca en “V” en su sección media, de dimensiones específicas y simplemente apoyada en sus extremos, la cual es fracturada mediante golpes de impacto de un péndulo que se deja caer libremente sobre la muesca.

La cantidad de energía requerida para romper la muestra se calcula en función de la altura necesaria alcanzada por el péndulo para partirla, y varía con la temperatura.

1.4.3.18. Creep o escurrimiento

Se define por *creep* la cedencia gradual, o la variación en las dimensiones, bajo carga sostenida constante. En el acero el *creep* no reviste importancia a temperatura normal. Si por el contrario, la temperatura es elevada y los esfuerzos altos, la velocidad del escurrimiento se incrementa.

1.4.3.19. Relajación

Relajación en la disminución de las cargas o esfuerzos bajo una deformación sostenida constante adquiere importancia bajo condiciones similares a las descritas para el *creep*.

1.5. Productos comerciales del acero estructural

Las secciones de acero se obtienen generalmente de los lingotes de las coladas continuas, que son posteriormente tratadas y conformadas mediante laminadoras hasta darle la forma y dimensiones finales. Para esto los lingotes en caliente deben pasar a través de rodillos que comprimen el material, dándole la forma transversal deseada. El laminado en caliente permite mantener la ductilidad del acero. Luego los productos comerciales son cortados según las longitudes requeridas para cada estructura en particular.

2. VENTAJAS, DESVENTAJAS Y USOS DEL ACERO ESTRUCTURAL

2.1. Ventajas del acero como material estructural

En las ventajas del acero se pueden considerar, tal vez, el más versátil de todos los materiales estructurales, pero parece más razonable cuando se considera su gran resistencia, poco peso, facilidad de fabricación y otras propiedades convenientes. A continuación se describen otras ventajas del acero estructural.

2.1.1. Alta resistencia

El acero estructural es un material homogéneo e isótropo de calidad uniforme que permite soportar grandes esfuerzos, por lo que en la mayoría de los casos se obtienen miembros con espesores relativamente pequeños en comparación con sus otras dimensiones.⁵

La alta resistencia del acero por unidad de masa implica que será relativamente bajo el peso de las estructuras; esto es la gran importancia en puentes de grandes claros, en edificios altos y en estructuras con condiciones deficientes en la cimentación.

⁵ AHMSA. *Manual de diseño para la construcción con acero*. p. 13.

2.1.2. Uniformidad

Las propiedades del acero no cambian apreciablemente en el tiempo debido a que es homogéneo e isótropo, como es el caso de las estructuras de concreto reforzado. Esto es gracias a la homogeneidad del acero y que en la fabricación del acero se tiene un mejor control de calidad que en la elaboración del concreto.

2.1.3. Elasticidad

El acero se acerca más en su comportamiento a las hipótesis de diseño que la mayoría de los materiales, gracias a que sigue la ley de Hooke hasta esfuerzos bastante altos. Los momentos de inercia de una estructura de acero pueden calcularse exactamente (son mejor controlados), en tanto que los valores obtenidos para una estructura de concreto reforzado son relativamente imprecisos.

2.1.4. Durabilidad

Si el mantenimiento de las estructuras de acero es adecuado su vida útil será prolongada.

2.1.5. Ductilidad

Es la propiedad que tiene un material de soportar grandes deformaciones sin fallar bajo altos esfuerzos de tensión. Cuando se prueba a tensión un acero con bajo contenido de carbono, ocurre una reducción considerable de la sección transversal y un gran alargamiento en el punto de falla, antes de que se presente la fractura. Un material que no tenga esta propiedad probablemente será duro y frágil y se romperá al someterlo a un golpe repentino.

En miembros estructurales sometidos a cargas normales se desarrollan altas concentraciones de esfuerzos en varios puntos. La naturaleza dúctil de los aceros estructurales comunes les permite fluir localmente en esos puntos, evitándose así fallas prematuras. Una ventaja adicional de las estructuras dúctiles es que, al sobrecargarlas, sus grandes deflexiones ofrecen evidencia visible de la inminencia de la falla.

2.1.6. Tenacidad

Es la propiedad de un material para absorber energía en grandes cantidades. Esta es una característica muy importante porque implica que los miembros de acero pueden someterse a grandes deformaciones durante su formación y montaje, sin fracturarse, siendo posible doblarlos, martillarlos, cortarlos y taladrarlos.

Los aceros estructurales son tenaces, es decir, poseen resistencia y ductilidad. Un miembro de acero cargado hasta que se presentan grandes deformaciones será aún capaz de resistir grandes fuerzas. Comparado con el concreto que al cargarlo y llevarlo a la falla se presenta una fractura frágil, luego de este punto ya no soporta cargas.

Es la medida de energía por unidad de volumen necesaria para deformar un cuerpo hasta el momento de la fractura.⁶

⁶ AHMSA. *Manual de diseño para la construcción con acero*. p. 17.

2.1.7. Ampliación de estructuras existentes

Las estructuras de acero se adaptan muy bien a posibles adiciones. Se pueden añadir nuevas crujías e incluso alas enteras a estructuras de acero ya existentes y puentes de acero con frecuencia pueden ampliarse.

2.1.8. Propiedades diversas

Otras ventajas importantes del acero estructural son:

- Gran facilidad para unir diversos miembros por medio de varios tipos de conexión como son la soldadura, los tornillos.
- Posibilidad de prefabricar los miembros.
- Rapidez de montaje
- Gran capacidad para laminarse en una gran cantidad de tamaños y formas.
- Resistencia a la fatiga.
- Reúso posible después de desmontar una estructura.
- El acero es 100 % reciclable.

2.2. Desventajas del acero como material estructural

En general se pueden enumerar las siguientes desventajas:

2.2.1. Alto costo del material

Debido a que el país no es un productor de perfiles estructurales de acero, estos se deben importar de los países productores, esto incrementa el costo del material, lo cual no lo hace muy atractiva para el uso en construcciones con acero.

2.2.2. Bajo stock de perfiles estructurales

Debido a que todos los perfiles estructurales se deben importar se cuenta con un bajo *stock* en la diversidad de perfiles en el mercado nacional. Aunque no hay limitante en importar cualquier perfil estructural se debe considerar el tiempo que se requiere para el transporte y trámites aduaneros y el costo de la importación.

2.2.3. Costo de mantenimiento

La mayor parte de los aceros son susceptibles a la corrosión al estar expuestos al aire y al agua y por consiguiente, deben pintarse periódicamente.

2.2.4. Costo de la protección contra el fuego

Aunque algunos miembros estructurales son incombustibles, sus resistencias se reducen considerablemente durante los incendios, cuando los otros materiales de un edificio se queman. El acero es un excelente conductor de calor, de manera que los miembros de acero sin protección pueden transmitir suficiente calor de una sección o compartimiento incendiado de un edificio a secciones adyacentes del mismo edificio e incendiar el material presente. En consecuencia, la estructura de acero de una construcción debe protegerse mediante materiales con ciertas características aislantes o el edificio deberá acondicionarse con un sistema de rociadores para que cumplan con los requisitos de seguridad del código de construcción de la localidad en que se encuentre ubicada la construcción.

2.2.5. Susceptibilidad al pandeo

Cuando más largo y esbelto sean los miembros a compresión, tanto mayor es el peligro de pandeo. Como se indicó previamente, el acero tiene una alta resistencia por unidad de peso, pero al usarse como columnas no resulta muy económico ya que debe usarse bastante material, solo para hacer más rígidas las columnas contra el posible pandeo.

2.2.6. Fatiga

Otra característica inconveniente del acero es que su resistencia puede reducirse si se somete a un gran número de inversiones del sentido del esfuerzo de tensión. Se tiene problemas de fatiga solo cuando se presentan tensiones. En la práctica actual se reducen las resistencias estimadas de tales miembros, si se sabe de antemano que estarán sometidos a un número mayor de ciclos de esfuerzo variable, que cierto número de límites.

2.2.7. Fractura frágil

Bajo ciertas condiciones el acero puede perder su ductilidad y la falla frágil puede ocurrir en lugares de concentración de esfuerzos. Las cargas que producen fatiga y muy bajas temperaturas empeoran la situación.

2.2.8. Equipo especializado

Tanto para la fabricación como para el montaje de estructuras metálicas se necesita equipo y mano de obra especializada. Debido a esta situación los costos de fabricación y montaje son elevados.

2.3. Primeros usos del hierro y el acero

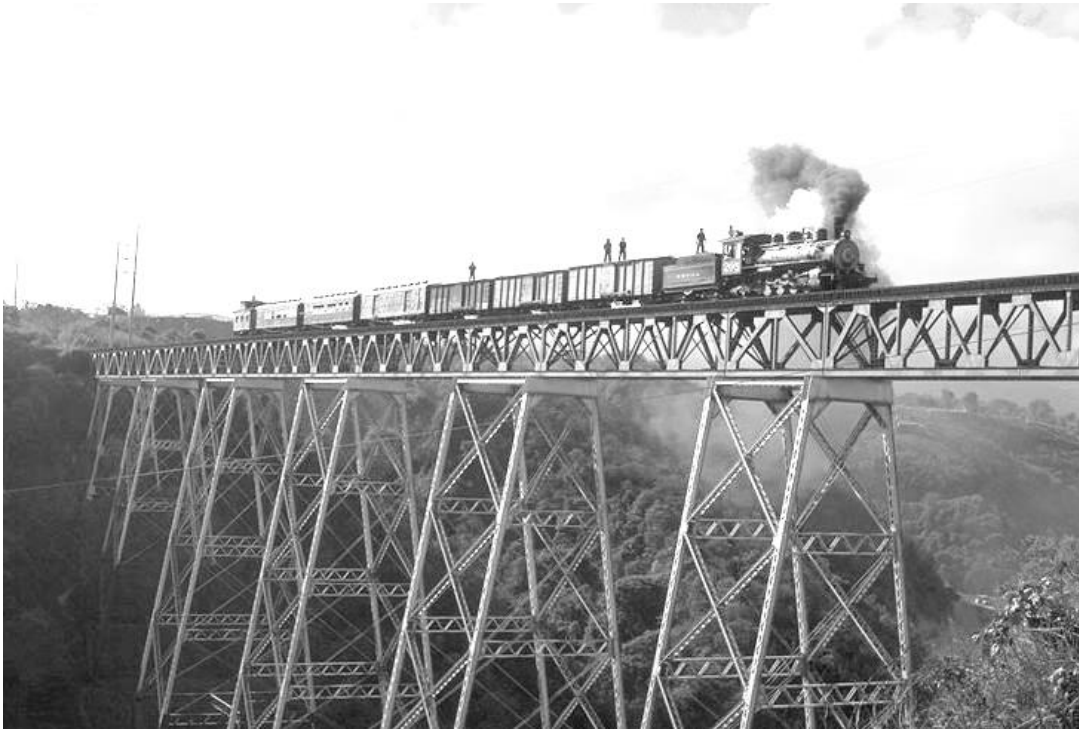
Los avances más importantes en el desarrollo de los metales han ocurrido en la fabricación y uso del hierro y del acero. Actualmente el hierro y el acero comprenden el 95 % en peso de todos los metales producidos en el mundo. El uso del hierro ha tenido una gran influencia en el avance de la civilización desde los tiempos más remotos y probablemente la seguirá teniendo en los siglos venideros.

El primer uso del metal para una estructura tuvo considerable lugar en Shropshire, Inglaterra (225 km al noroeste de Londres) en 1779, ahí fue construido con hierro fundido el puente Coalbrookdale en forma de arco de 100 pies de luz sobre el río Seven.

La primera construcción en acero que se llevó a cabo en Guatemala, se trata del puente para el ferrocarril Las Vacas (llamado así por estar ubicado sobre el río del mismo nombre) ubicado en la zona 6, construido durante el gobierno de Manuel Estrada Cabrera, la obra duro dos años de 1906 a 1908⁷.

⁷Guateantaño [en línea]. Blogspot ed. 1.0. Guatemala: Juan M.Solis Z., septiembre 2011 [ref. 20 de mayo de 2014]. Disponible en Web: <http://guatepalabras.blogspot.com/search/label/Edificios%20Antiguos%20de%20Guatemala>

Figura 5. **Puente Las Vacas**



Fuente: puente Las Vacas, zona 6, Guatemala.

Entre las primeras construcciones en acero hechas en Guatemala también está el puente Belice, del cual la construcción fue iniciada en el año de 1951, este fue diseñado en Alemania y fabricado en Los Estados Unidos de América. Su inauguración se llevó a cabo en 1958 por el presidente Miguel Ydigoras Fuentes. El puente consta de 240 metros de largo por 18,28 metros de ancho y tiene una capacidad de 27 T.⁸

⁸Historia de la Ciudad de Guatemala [en línea]. Blogspot ed. 1.0. Guatemala: Cesar U., Junio de 2 011 [ref. 27 de Junio de 2 014]. Disponible en Web: <http://guatemaladeayer.blogspot.com/2011/06/historia-del-puente-belice.html>

Figura 6. **Puente Belice**



Fuente: puente Belice, zona 6, Guatemala.

2.4. Perfiles de acero

Los primeros perfiles estructurales hechos de acero en Estados Unidos, en 1819, fueron ángulos de hierro laminados. Las vigas I de acero se laminaron por primera vez en ese país en 1884 y la primera estructura reticular (el edificio de Home Insurance Company de Chicago) fue montada ese mismo año. El crédito por inventar el rascacielo se le otorga generalmente al ingeniero William Le Baron Jenny que ideó esta estructura, aparentemente durante una huelga de albañiles. El primer edificio totalmente de acero fue el segundo edificio de la Tand-McNally terminado en 1890 en Chicago.

Durante esos primeros años diversas laminadoras fabricaron sus primeros perfiles y publicaron catálogos con las dimensiones, pesos y otras propiedades de esas secciones. En 1896, la Association of American Steel Manufacturers (Asociación Americana de Fabricantes de Acero; actualmente llamada Instituto Americano del Hierro y el Acero, AISI por sus siglas en inglés) hizo los primeros esfuerzos para estandarizar los perfiles. En la actualidad casi todos los perfiles estructurales se encuentran estandarizados, aunque sus dimensiones exactas pueden variar un poco de laminadora a laminadora.⁹

Generalmente los miembros estructurales más convenientes son aquellos con grandes momentos de inercia en relación con sus áreas. Los perfiles I, T y C tienen esta propiedad. Por lo general los perfiles de acero se designan por la forma de sus secciones transversales.

2.5. Aceros estructurales modernos

Las propiedades del acero pueden cambiarse en gran medida variando las cantidades presentes de carbono y añadiendo otros elementos como silicio, níquel, manganeso y cobre. Un acero que tenga cantidades considerables de estos últimos elementos se denominará acero aleado. Aunque esos elementos tienen un gran efecto en las propiedades del acero, las cantidades de carbono y otros elementos de aleación son muy pequeñas.

La composición química del acero es de suma importancia en sus efectos sobre sus propiedades tales como la soldabilidad, la resistencia a la corrosión, la resistencia a la fractura, entre otros. La ASTM especifica los porcentajes exactos máximos de carbono, manganeso, silicio, entre otros, que se permiten en los aceros estructurales. Aunque las propiedades físicas y mecánicas de los perfiles

⁹ MCGUIRE, W. *Steel Structures*. p. 19-21.

de acero las determina principalmente su composición química, también influye en ellas, hasta cierto punto, el proceso de laminado, la historia de sus esfuerzos y el tratamiento térmico aplicado.

Un acero al carbón designado como A36 y con esfuerzo de fluencia $F_y = 2\,520\text{ kgf/cm}^2$ (36 ksi), era el acero estructural comúnmente usado. Sin embargo (1995), la mayoría del acero estructural usado en los Estados Unidos se fabrica fundiendo acero chatarra en hornos eléctricos. Con este proceso puede producirse un acero de $3\,500\text{ kgf/cm}^2$ y venderse casi al mismo precio que el acero A36.

Las investigaciones realizadas por la industria acerera, durante este periodo, han proporcionado varios grupos de nuevos aceros que satisfacen muchas de las demandas, de manera que actualmente existe una gran cantidad de aceros clasificados por la ASTM e incluidos en las especificaciones LRFD.

Los aceros estructurales se agrupan generalmente según varias clasificaciones principales de la ASTM: los aceros de propósitos generales (A36), los aceros estructurales de carbono (A529), los aceros estructurales de alta resistencia y baja aleación (A572), los aceros estructurales de alta resistencia, baja aleación y resistentes a la corrosión atmosférica (A242 y A588) y la placa de acero templado y revenida (A514 y A852).

Los aceros estructurales modernos más utilizados en Guatemala son los regidos por la Norma A36¹⁰, y la Norma A529¹¹ que corresponden a una resistencia a tensión de $2\,520\text{ kgf/cm}^2$ y $3\,500\text{ kgf/cm}^2$ respectivamente.

¹⁰ Norma A36

¹¹ Norma A529

2.5.1. Aceros de carbono

Estos aceros tienen como principal elemento de resistencia al carbono y al manganeso en cantidades cuidadosamente dosificadas. Los aceros al carbón son aquellos que tienen los siguientes elementos con cantidades máximas de: 1,7 % de carbono, 1,65 % de manganeso, 0,60 % de silicio y 0,60 % de cobre. Estos aceros se dividen en cuatro categorías dependiendo del porcentaje de carbono.

- Acero de bajo contenido de carbono < 0,15 %.
- Acero dulce al carbono 0,15 a 0,29 % (el acero estructural al carbono queda dentro de esta categoría.)
- Acero medio al carbono 0,30 a 0,59 %
- Acero con alto contenido de carbono 0,60 a 1,70 %.

2.5.2. Acero de alta resistencia y baja aleación

Existe un gran número de aceros de este tipo clasificados por la ASTM. Estos aceros obtienen sus altas resistencia y otras propiedades por la adición, aparte del carbono y manganeso, de uno a más agentes aleantes como columbio, vanadio, cromo, silicio, cobre, níquel y otros. Se incluyen aceros con esfuerzos de fluencia comprendidos ente $2\,800\text{ kgf/cm}^2$ y $4\,900\text{ kgf/cm}^2$. Estos aceros generalmente tienen mucha mayor resistencia a la corrosión atmosférica que los aceros al carbono.

El término baja aleación se usa para describir arbitrariamente aceros en los que el total de elementos aleantes no excede el 5 % de la composición total.

2.5.3. Aceros estructurales de alta resistencia, baja aleación y resistentes a la corrosión atmosférica

Cuando los aceros se alean con pequeños porcentajes de cobre se vuelven más resistentes a la corrosión. Cuando se exponen a la atmósfera, las superficies de esos aceros se oxidan y se le forma una película adhesiva muy comprimida conocida también como pátina que impide una mayor oxidación y se elimina así la necesidad de pintarlos. Después que ocurre este fenómeno, en un periodo de 18 meses a tres años depende del tipo exposición, por ejemplo, rural, industrial, luz solar directa o indirecta, entre otros, el acero adquiere un color que va del rojo oscuro al café y al negro.

Estos aceros tienen gran aplicación en estructuras con miembros expuestos y difíciles de pintar como puentes, torres de transmisión, entre otros; sin embargo, no son apropiados para usarse en lugares donde queden expuestos a brisas marinas, niebla o a humos industriales corrosivos; tampoco son adecuados para usarse en condición sumergida (agua dulce o salada) o en áreas muy secas. Para que estos aceros se les forme la película adhesiva comprimida (pátina) deben estar sujetos a ciclos de humedad y sequedad, de otra manera seguirán teniendo la apariencia de acero sin pintar.

2.5.4. Aceros templados y revenidos

Estos aceros tienen agentes aleantes en exceso, en comparación con las cantidades usadas en los aceros al carbono, y son tratados térmicamente (templados y revenidos) para darles dureza y resistencia con fluencias comprendidas entre $4\,900\text{ kgf/cm}^2$ y $7\,700\text{ kgf/cm}^2$. El revenido consiste en un enfriamiento rápido del acero con agua o aceite, cambiando la temperatura de

por lo menos $898,89^{\circ}\text{C}$ a $148,89$ a $204,44^{\circ}\text{C}$. En el templado el acero se recalienta por lo menos $621,11^{\circ}\text{C}$ y luego se deja enfriar.

Los aceros templados y revenidos no muestran puntos bien marcados de fluencia como lo hacen los aceros al carbono y los aceros de alta resistencia y baja aleación. En vista de ello su resistencia a la fluencia se define en función del esfuerzo asociado a una deformación del 0,2 %. Los aceros templados y revenidos para placas y barras son designados A852 con esfuerzo de fluencia de $4\,900\text{ kgf/cm}^2$ y A514 con esfuerzos de fluencia de $6\,300\text{ kgf/cm}^2$ a $7\,000\text{ kgf/cm}^2$, según el espesor.

3. SELECCIÓN DE ELEMENTO ESTRUCTURAL

Para los fines de este documento se analizará un perfil estructural de sección W-Sharp que cumpla con los requerimientos de la AISC. El fin principal que se analizará es su comportamiento a flexión, como viga secundaria o vigueta de entresijos de *metal deck*, al expandir su altura, utilizando diversas configuraciones hexagonales como pasos en su alma. Para lo cual se prepararan cuatro muestras, una muestra inalterada que servirá como margen de comparación, las otras tres muestras se expandirán la misma longitud en su peralte cada una, la variante entre estas muestras será la dimensión de los pasos o agujeros en el alma.

Al expandir estos elementos estructurales se busca utilizar una sección de menor peso, ya que esto contribuirá a la economía del proyecto. Dado que en la construcción con acero el factor que contribuye directamente en los costos es el peso de los elementos estructurales utilizados, su alto costo se hace notar pues son importados, porque Guatemala no es un país productor de los mismos.

El proceso de expansión consiste en dar mayor altura a una viga W efectuando un corte a través del alma, y posteriormente traslapando ambas piezas, con lo que se obtiene una viga expandida con perforaciones hexagonales (en nuestro análisis), y soldadura longitudinal en la zona de contacto en el centro del alma.

El perfil que se seleccionó para realizar las muestras es un W200X15¹² grado 345, este cumple con la Norma ASTM A 529 / A 529M, su resistencia a la tensión es de 345 MPa. En la siguiente tabla se enlistan sus propiedades físicas.

Tabla III. **Propiedades perfil W200X15**

	Nomenclatura: W200X15
	d: 200mm
	t_w : 4,76mm
	b_f : 100mm
	t_f : 4,76mm
	Peso: 15 kg/m
	Área: 1910 mm ²
	I_x : 12,8X10 ⁶ mm ⁴
	I_y : 0,87X10 ⁶ mm ⁴

Fuente: American Institute Of Steel Construction. *AISC Shapes Database v14.1*. p. 1-42.

3.1. Expansión de perfil W200X15

En la siguiente sección se detalla el procedimiento utilizado para la expansión del perfil laminado W200X15.

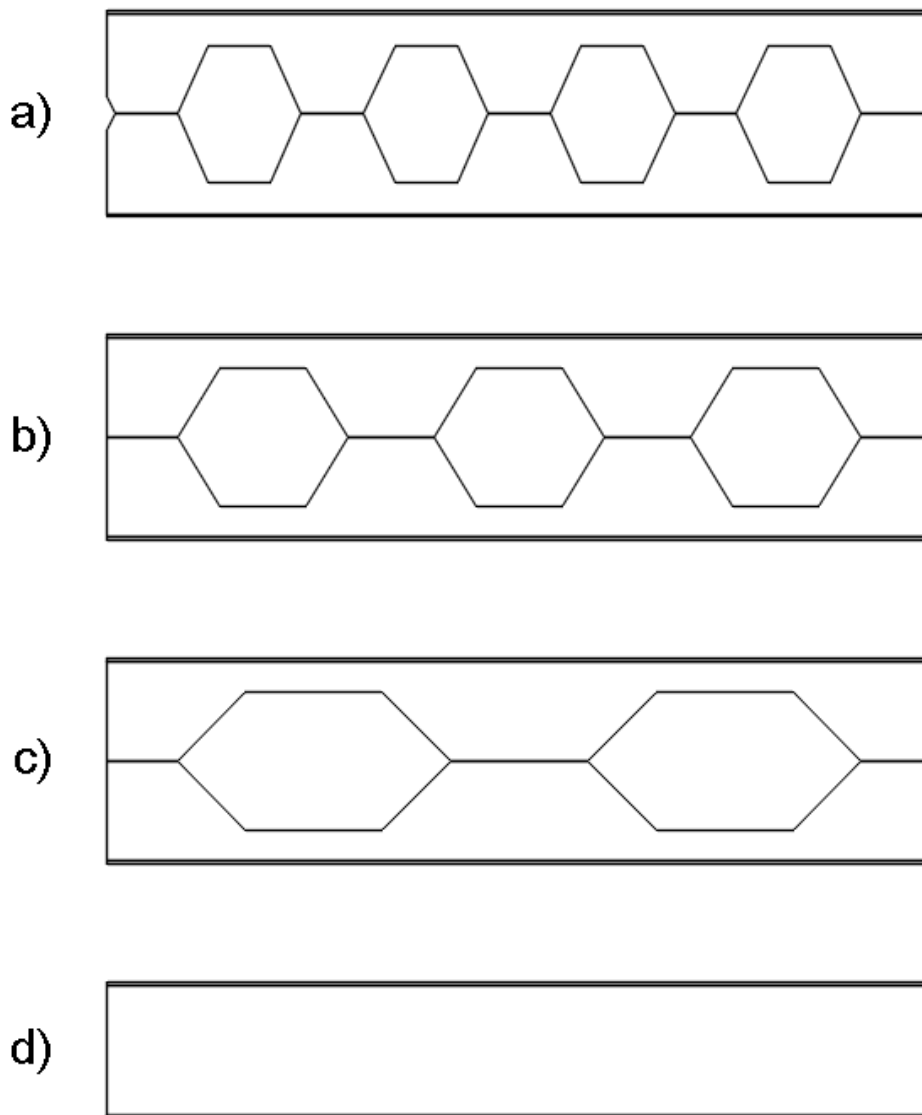
3.1.1. Selección de configuración en alma

Previo a realizar los cortes en el alma del perfil laminado se seleccionan las configuraciones que se utilizarán para realizar los ensayos, de lo cual se determinó que el perfil se expandirá un 50 % de su peralte total, a) una de las muestras contará con cuatro pasos en una longitud de un metro, b) la segunda

¹² En apéndice se explica cómo leer la nomenclatura de identificación del perfil.

muestra tendrá tres pasos en su alma en la longitud de un metro, c) la tercera muestra tendrá dos pasos en el alma en la longitud de un metro, d) se contará con una muestra inalterada, en las siguiente imagen se esquematizan las muestras.

Figura 7. **Esquema de pasos en perfil expandido**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2015.

3.1.2. Trazo en alma para corte

Para realizar el trazo en el alma, ya determinados cuantos pasos se utilizarían en una longitud, se desarrolló una ecuación que ayudará a realizar el trazo:

$$n = \frac{L}{p * 6 - 2}$$

donde:

n = longitud para realización de cuadrícula para trazo.

L = longitud en la que se desean los pasos.

p = número de pasos que se desean

Ejemplo:

Para realizar el trazo en la muestra se desean cuatro pasos, y se realizó de la siguiente manera:

$$L = 1\,000\,mm$$

$$P = 4\,pasos$$

Entonces:

$$n = \frac{1\,000}{4 * 6 - 2}$$

$$n = 45\,mm$$

Determinada esta dimensión se centró 50 % del peralte quedando un 25 % del mismo en cada lateral, esto con la finalidad que al sobrepones las secciones

cortadas, tanto la T superior e inferior sean de iguales dimensiones, a continuación se ilustra el trazo.

Figura 8. Determinación de trazo de perfil

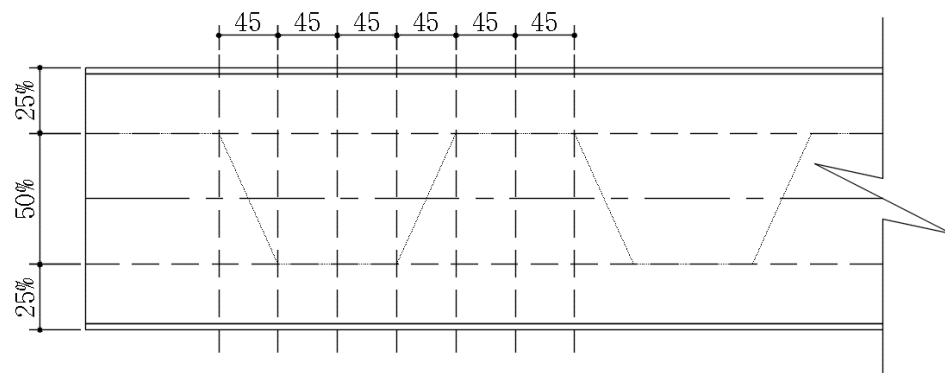
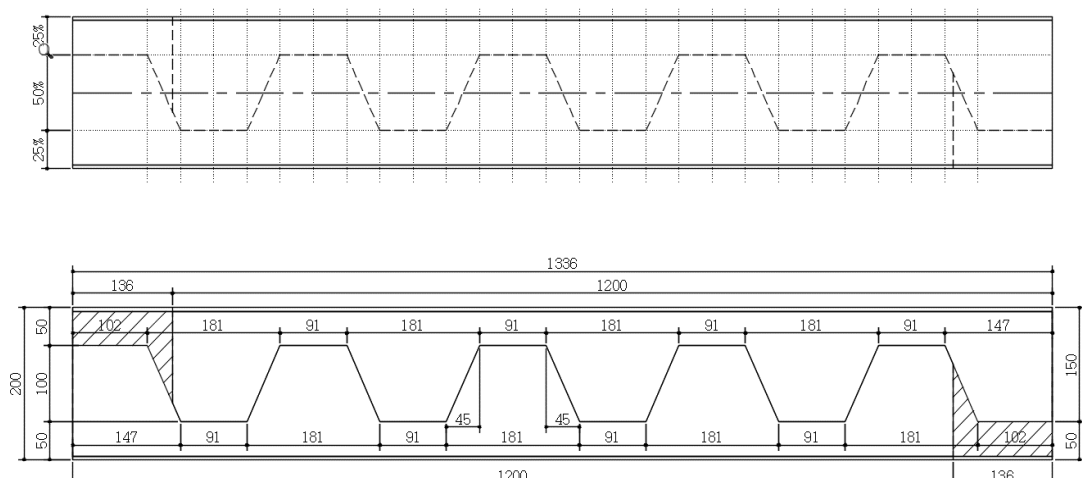


Figura 9. Trazo de perfil con cuatro pasos



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2015.

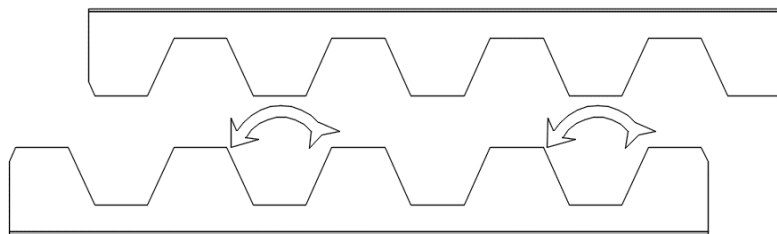
3.1.3. Corte del perfil

El corte en el perfil se realizó en frío utilizando un sistema de hidrocorte. Se utilizó este sistema con el objetivo de no alterar las propiedades mecánicas del perfil a utilizar para los ensayos. Debido a que si se realiza el corte con oxicorte, este sobrecalentaría el material y lo deformaría, por el espesor de las alas y alma del perfil W200X15.

3.1.4. Perfil expandido W200X15

Realizados los cortes en el perfil se sobreponen las piezas y se unen utilizando soldadura eléctrica con electrodo revestido. La soldadura utilizada debe ser precalificada¹³.

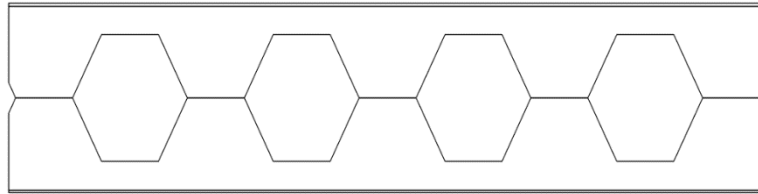
Figura 10. Sobre posición de cortes de perfil W200X15



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2015.

¹³ Ver en anexo, soldadura de canal cuadrada, junta a tope.

Figura 11. **Armado de muestra de cuatro pasos**



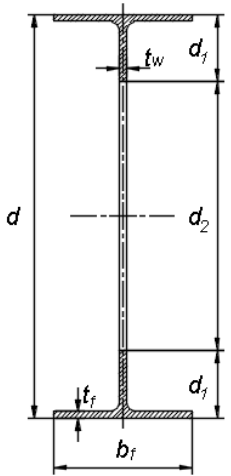
Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2015.

Tabla IV. **Características de los pasos de muestras**

a)		Núm. de pasos: 4 a = 200mm b = 181mm c = 90mm $b/a = 0,905$
b)		Núm. de pasos: 3 a = 200mm b = 249mm c = 125mm $b/a = 1,245$
c)		Núm. de pasos: 2 a = 200mm b = 399mm c = 199mm $b/a = 1,995$
d)		Núm. de pasos: 0 a = 0 b = 0 c = 1200mm $b/a = 0$

Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2015.

Tabla V. **Propiedades de perfil W200X15 expandido**

	Perfil: W200X15
	d: 300 mm
	d ₁ : 50 mm
	d ₂ : 200 mm
	t _w : 4,76 mm
	b _f : 100 mm
	t _f : 4,76 mm
	Peso: 15 kg/m
	Área acero: 1 392 mm ²
	Área paso: 938 mm ²
	Relación áreas acero/paso: 1,484
	I _x : 27,3X10 ⁶ mm ⁴
	I _y : 0,79X10 ⁶ mm ⁴

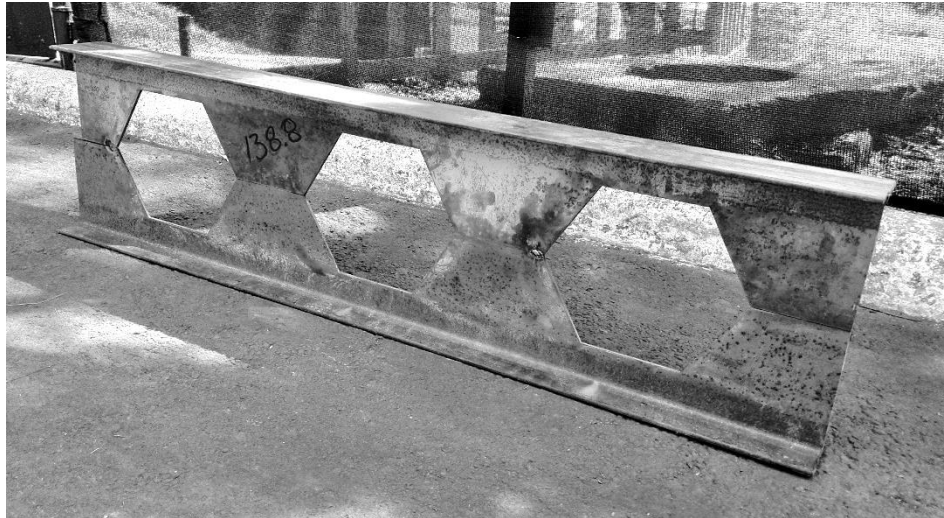
Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2015.

Figura 12. **Viga “a” muestra con cuatro pasos**



Fuente: San Cristobal, zona 8 de Mixco, Guatemala.

Figura 13. **Viga “b” muestra con tres pasos**



Fuente: San Cristobal, zona 8 de Mixco, Guatemala.

Figura 14. **Viga “c” muestra con dos pasos**



Fuente: San Cristobal, zona 8 de Mixco, Guatemala.

Figura 15. **Viga “d” muestra sin pasos**



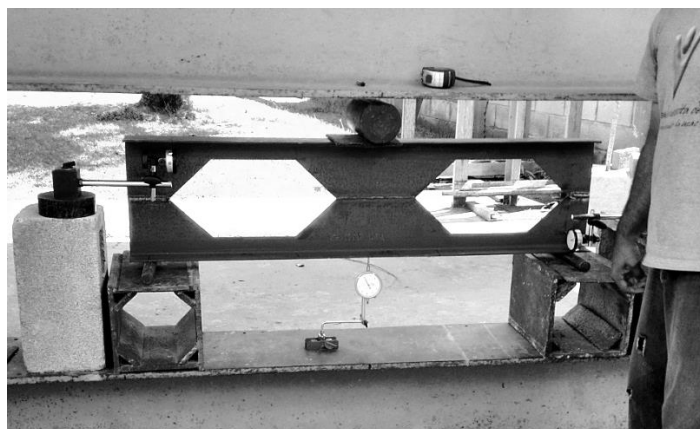
Fuente: San Cristobal, zona 8 de Mixco, Guatemala.

4. MÉTODO DE ENSAYO

4.1. Descripción del ensayo

El ensayo fue utilizado la prensa hidráulica con una capacidad de 68 181 kg (150 000 lb). Se aplica carga en forma sostenida basado en lecturas de la flexión provocada en la muestra, tomando como referencia de carga de diseño la que provoca la deflexión correspondiente a la luz libre dividido 400. Se buscó alcanzar la carga última con el factor de 2; se colocaron tres deformómetros, dos en el extremo, un posterior y el otro inferior, y el último en la parte inferior en el centro. Con el procedimiento anterior es para medir la deflexión máxima de las vigas y sus comportamientos a flexión y el efecto de torsión inducido por la esbeltez del perfil.¹⁴

Figura 16. Colocación de deformómetros en muestra



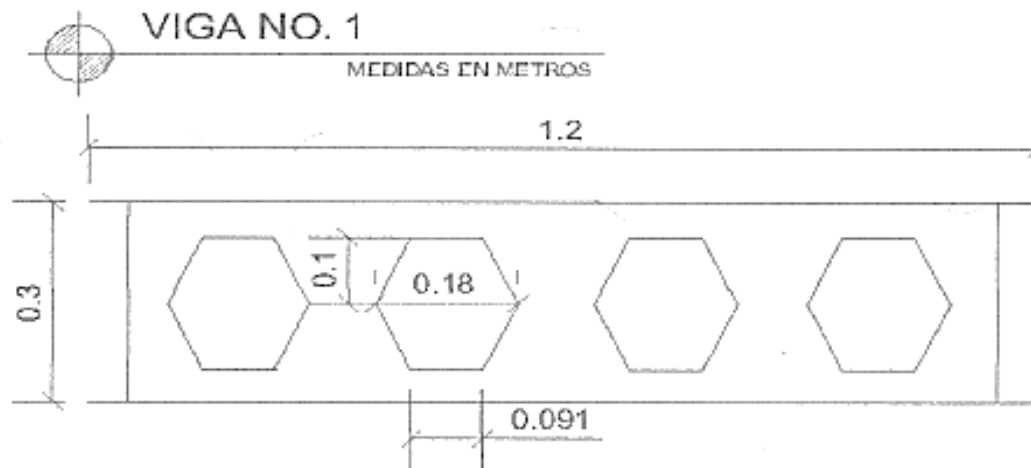
Fuente: CCI, Sección de estructuras, USAC.

¹⁴ CII, *Informe Núm. Ensayo flexión 012015*, p. 1.

4.2. Detalle de las muestras

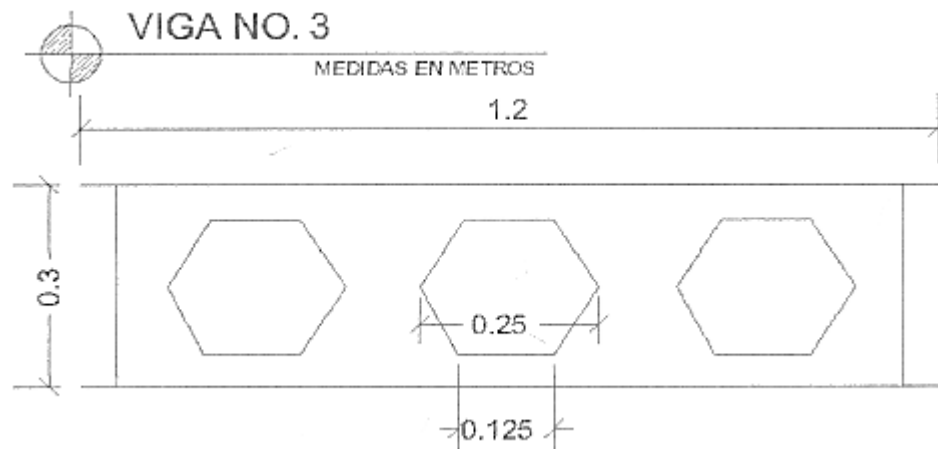
A continuación se presentan las dimensiones de cada una de las muestras que se utilizaron en el laboratorio para realizar el ensayo a flexión y determinar la deformación flexionante.

Figura 17. Muestra “a”



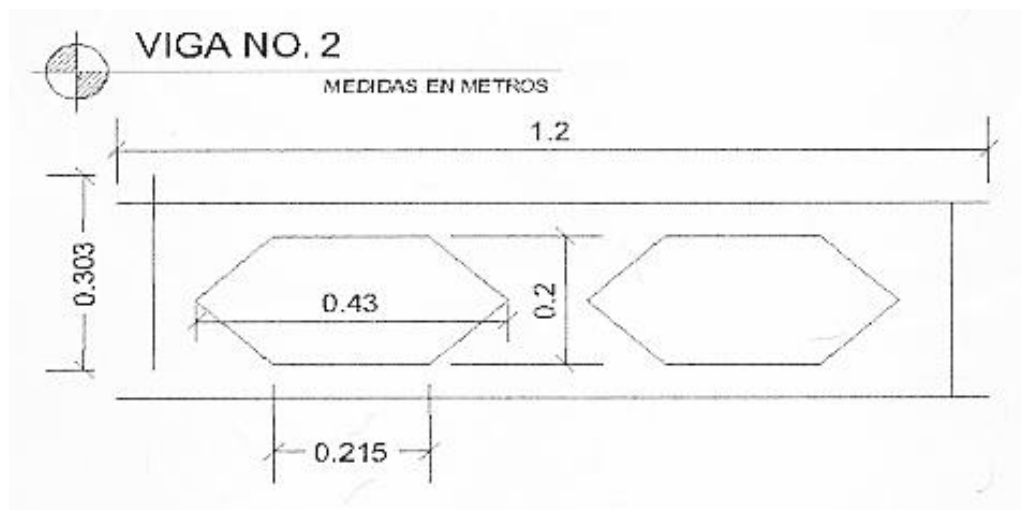
Fuente: CII, *Informe núm. Ensayo flexión 012015*. p. 1.

Figura 18. **Muestra “b”**



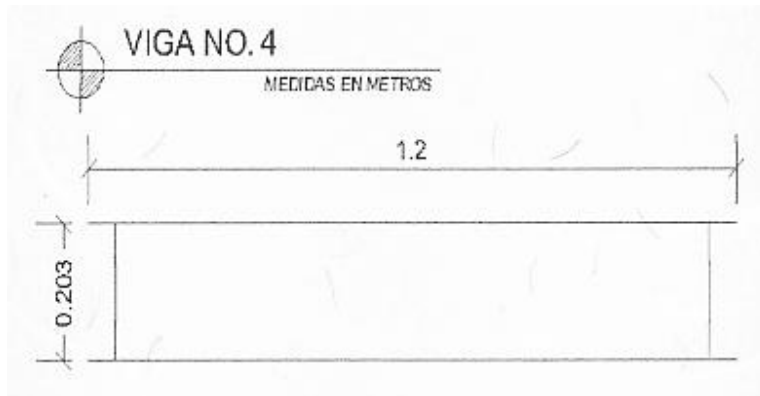
Fuente: CII, *Informe núm. Ensayo flexión 012015.* p. 2.

Figura 19. **Muestra “c”**



Fuente: CII, *Informe núm. Ensayo flexión 012015.* p. 2.

Figura 20. **Muestra “d”**

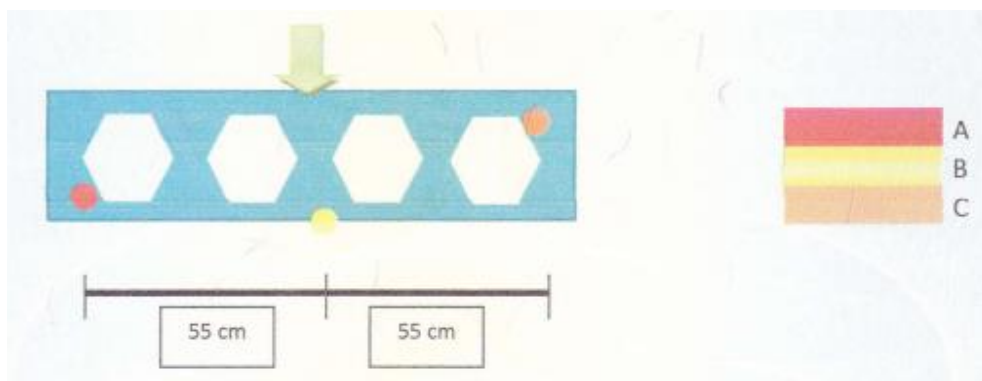


Fuente: CII, *Informe núm. Ensayo flexión 012015.* p. 3.

4.3. Los ensayos

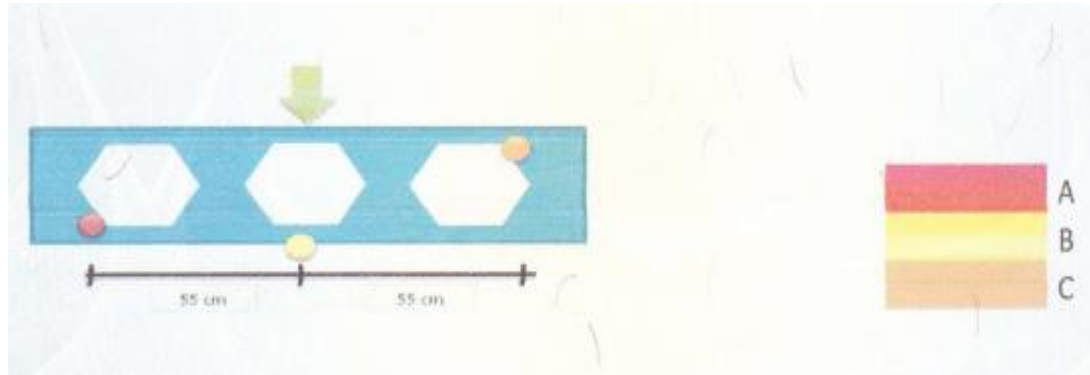
En las siguientes imágenes se muestran las posiciones de los deformómetros. Los puntos de colores son los deformómetros.

Figura 21. **Ubicación de deformómetros en muestra “a”.**



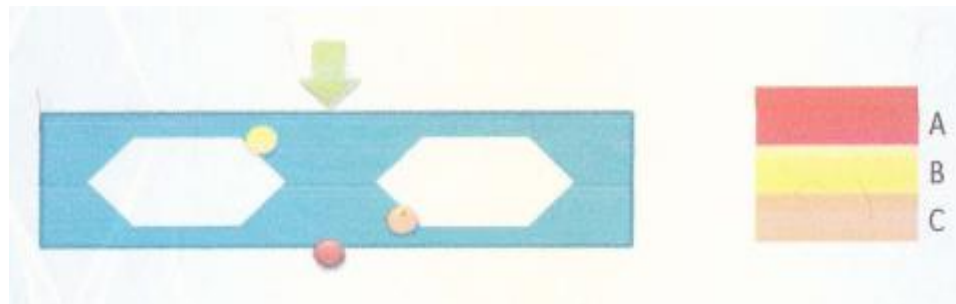
Fuente: CII, *Informe núm. Ensayo flexión 012015.* p. 4.

Figura 22. **Ubicación de deformómetros en muestra “b”**



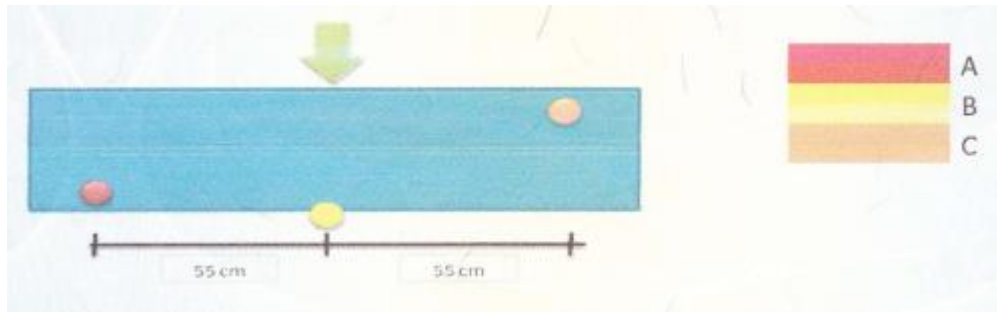
Fuente: CII, *Informe núm. Ensayo flexión 012015*. p. 4.

Figura 23. **Ubicación de deformómetros en muestra “c”**



Fuente: CII, *Informe núm. Ensayo flexión 012015*. p. 3.

Figura 24. **Ubicación de deformómetros en muestra “c”**



Fuente: CII, *Informe núm. Ensayo flexión 012015*. p. 25.

Para los fines de este documento únicamente se analizarán los datos de los deformómetros en el centro de las muestras, ya que se busca analizar la flexión de los elementos.

Dado que en unas muestras se aplicó más de una vez la carga, únicamente se consideran los datos de la primera aplicación, esto con el objetivo de evaluar las cuatro muestras en las mismas condiciones.

Al cargar y descargar las muestras esto pudo alterar las propiedades mecánicas de las mismas, y provocar que la tenacidad del material aumentara. Por lo cual como se mencionó anteriormente, no se evaluarán los datos de las cargas posteriores y no se incluyen en la siguiente sección, más si estarán disponibles en anexos, en donde se encuentra el informe del Centro de Investigación de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

4.3.1. Datos viga “a”

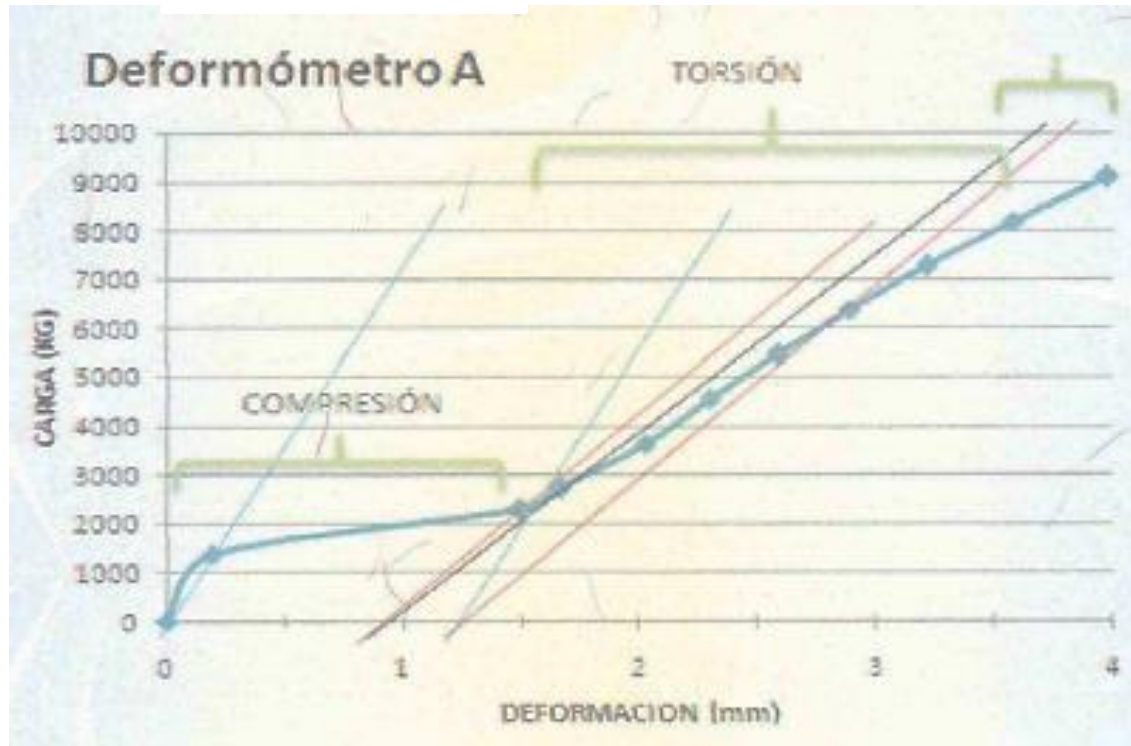
A continuación se presentan los datos obtenidos de la deflexión de la muestra “a” al aplicar carga proporcional a la misma.

Tabla VI. Datos deflexión B viga “a”

Deflexión (mm)	Carga (kg)
0,00	2,73
0,186	1 363,64
1,495	2 272,73
1,66	2 727,27
2,02	3 636,36
2,29	4 545,45
2,58	5 454,55
2,88	6 363,64
3,21	7 272,73
3,57	8 181,82
3,98	9 090,91

Fuente: CII, *Informe núm. Ensayo flexión 012015.* p. 5.

Figura 25. Gráfica deflexión B viga “a”



Fuente: CII, Informe núm. Ensayo flexión 012015. p. 5.

4.3.2. Datos viga “b”

A continuación se presentan los datos obtenidos de la deflexión de la muestra “b” al aplicar carga proporcional a la misma.

Tabla VII. **Datos deflexión B viga “b”**

Deflexión (mm)	Carga (kgf)
0,00	0,00
0,925	1 818
1,710	2 727
2,020	3 636
2,300	4 545
2,520	5 455
2,770	6 364
3,060	7 273
3,350	8 182

Fuente: CII, *Informe núm. Ensayo flexión 012015.* p. 23.

Figura 26. **Gráfica deflexión B viga “b”**



Fuente: CII, *Informe núm. Ensayo flexión 012015.* p. 23.

4.3.3. Datos viga “c”

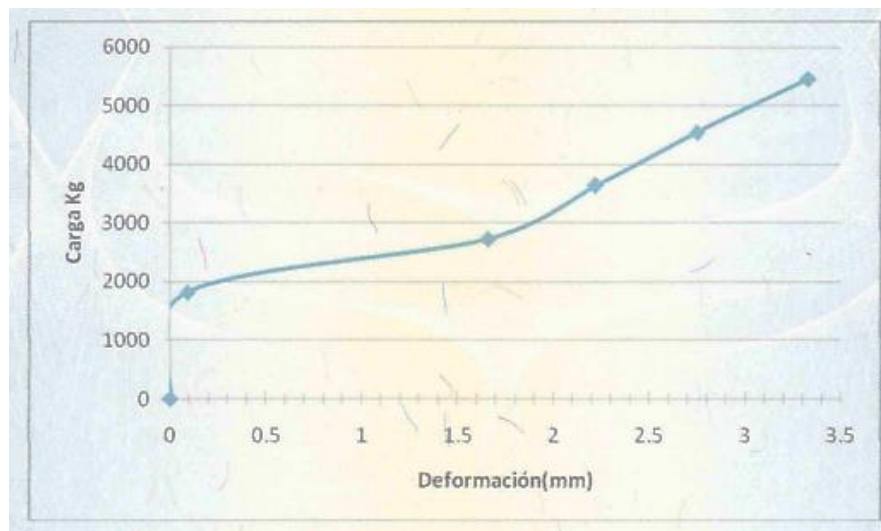
A continuación se presentan los datos obtenidos de la deflexión de la muestra “c” al aplicar carga proporcional a la misma.

Tabla VIII. Datos deflexión A viga “c”

Deflexión (mm)	Carga (kgf)
0,00	0,00
0,99	1 818
1,66	2 727
2,22	3 636
2,75	4 545
3,33	5 455

Fuente: CII, Informe núm. Ensayo flexión 012015. p. 8.

Figura 27. Gráfica deflexión A viga “c”



Fuente: CII, Informe núm. Ensayo flexión 012015. p. 9.

4.3.4. Datos viga “d”

A continuación se presentan los datos obtenidos de la deflexión de la muestra “d” al aplicar carga proporcional a la misma.

Tabla IX. Datos deflexión B viga “d”

Deflexión (mm)	Carga (kgf)
0,00	0,00
1,52	1 818
2,75	2 727
3,015	3 636
3,26	4 545
3,47	5 455
3,69	6 364
3,91	7 273
4,16	8 182
4,40	9 091
4,61	10 000
4,82	10 909
5,06	11 818

Fuente: CII, *Informe núm. Ensayo flexión 012015.* p. 26.

Figura 28. Gráfica deflexión B viga “d”



Fuente: CII, Informe núm. Ensayo flexión 012015, p. 27.

4.4. Análisis de resultados

En la siguiente sección se analizarán los datos obtenidos del informe de laboratorio¹⁵, para lo cual se generarán nuevas tablas, gráficas, con base en estos datos para facilitar el análisis de los mismos. Únicamente se consideran los datos de la primera carga, se unificarán en una sola tabla para facilitar su comparación, así mismo los valores que no se encuentran en el informe serán interpolados si así lo permiten los datos.

¹⁵ Ver en anexo.

Se analizará la deflexión correspondiente a la luz libre dividido 400.

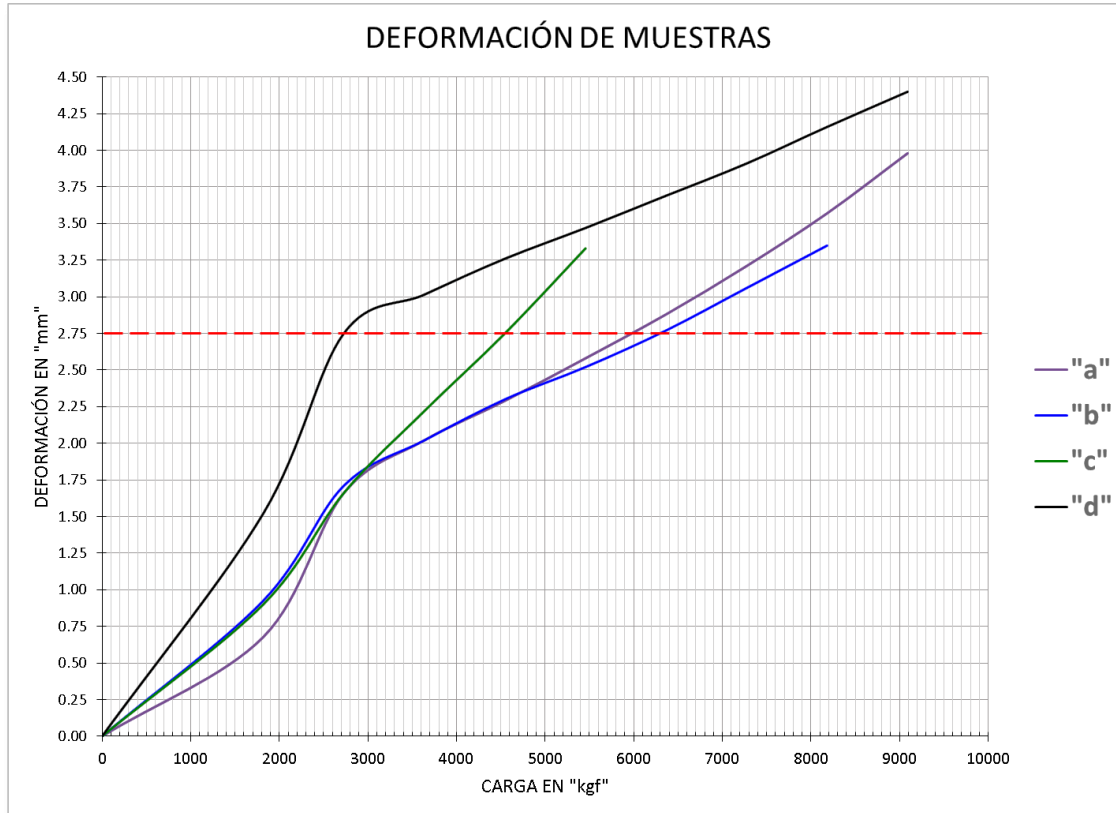
$$def = \frac{1\ 100mm}{400} = 2,75mm$$

Tabla X. **Unificación de deflexiones de muestras**

Carga (kgf)	Deflexión en “mm” de Muestra			
	"a"	"b"	"c"	"d"
0	0,00	0,00	0,00	0,00
1818	0,68	0,93	0,90	1,52
2727	1,66	1,71	1,66	2,75
3636	2,02	2,02	2,22	3,02
4545	2,29	2,30	2,75	3,26
5455	2,58	2,52	3,33	3,47
6364	2,88	2,77		3,69
7273	3,21	3,06		3,91
8182	3,57	3,35		4,16
9091	3,98			4,40

Fuente: elaboración propia.

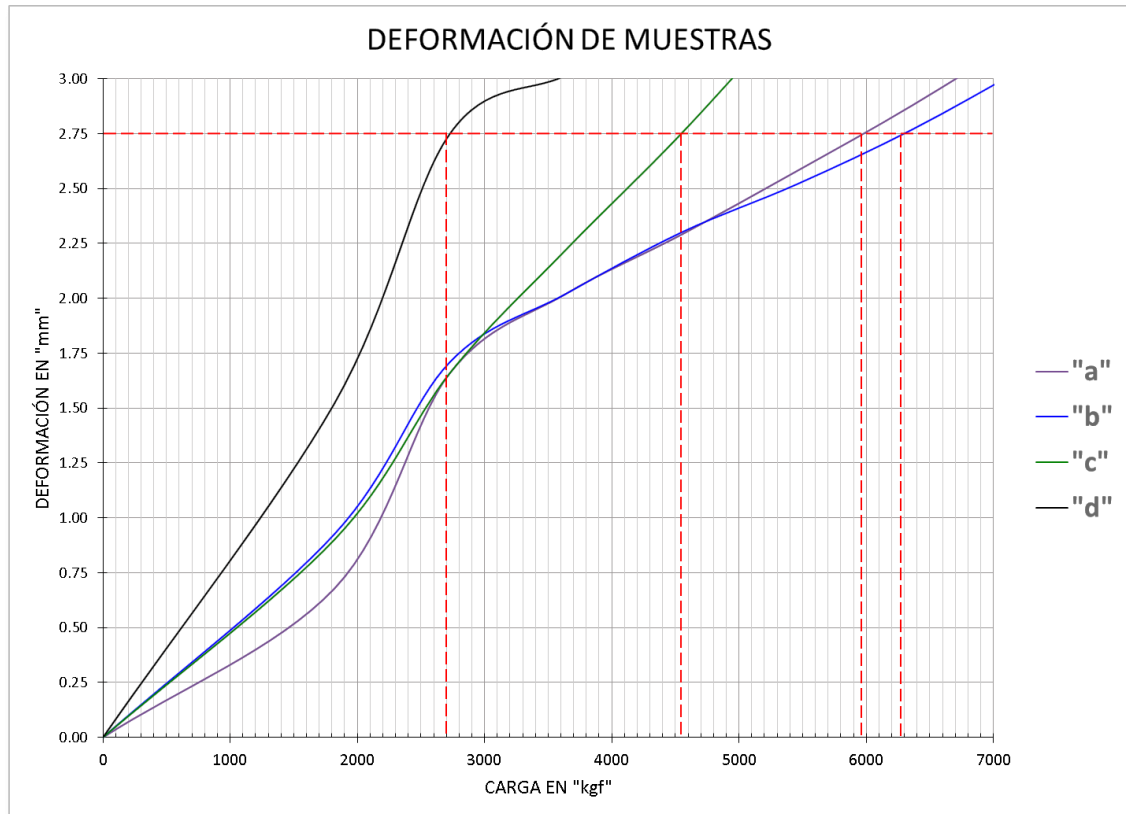
Figura 29. Gráfica de deflexión de muestras



Fuente: elaboración propia, con el programa Excel 2013.

En la figura 29, se grafica la deflexión de cada una de las muestras, en el eje de las ordenadas se muestra la deflexión y en el eje de las abscisas la carga aplicada, la línea roja punteada indica la deflexión de 2,75 mm. En la figura 30, se amplía el área de intersección de las deformaciones de las muestras y se marcan los puntos de intersección para determinar la carga para la deflexión examinada. Para determinar la carga para la deflexión de 2,75 mm para las muestras "a" y "b", se realizó por medio de una interpolación lineal.

Figura 30. Gráfica de las cargas para una deflexión de 2,75 mm



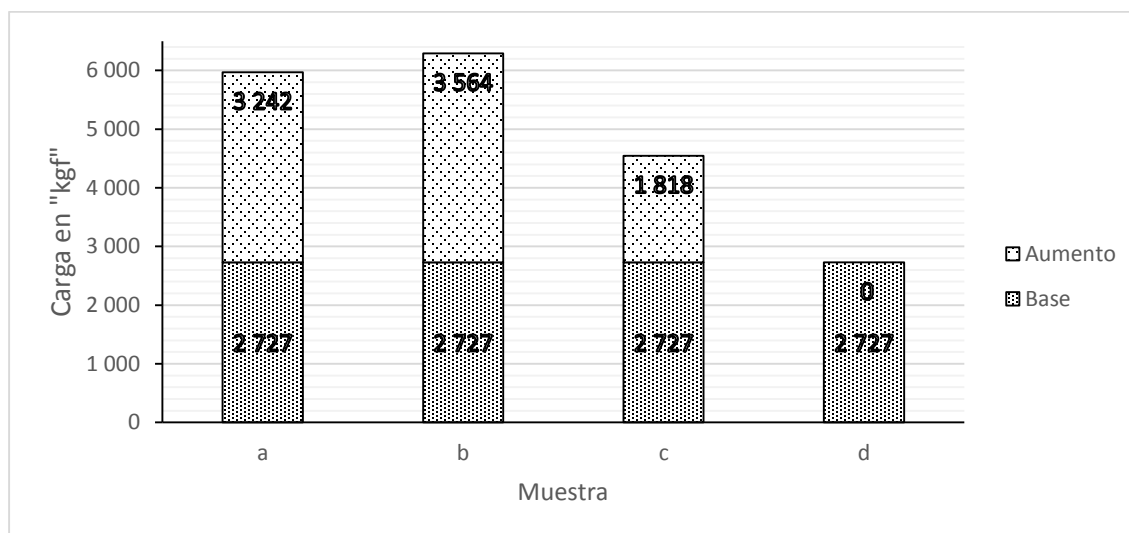
Fuente: elaboración propia, con el programa Excel 2013.

Tabla XI. Carga para una deflexión de 2,75 mm

Muestra	Carga en "kgf"
a	5 970
b	6 291
c	4 545
d	2 727

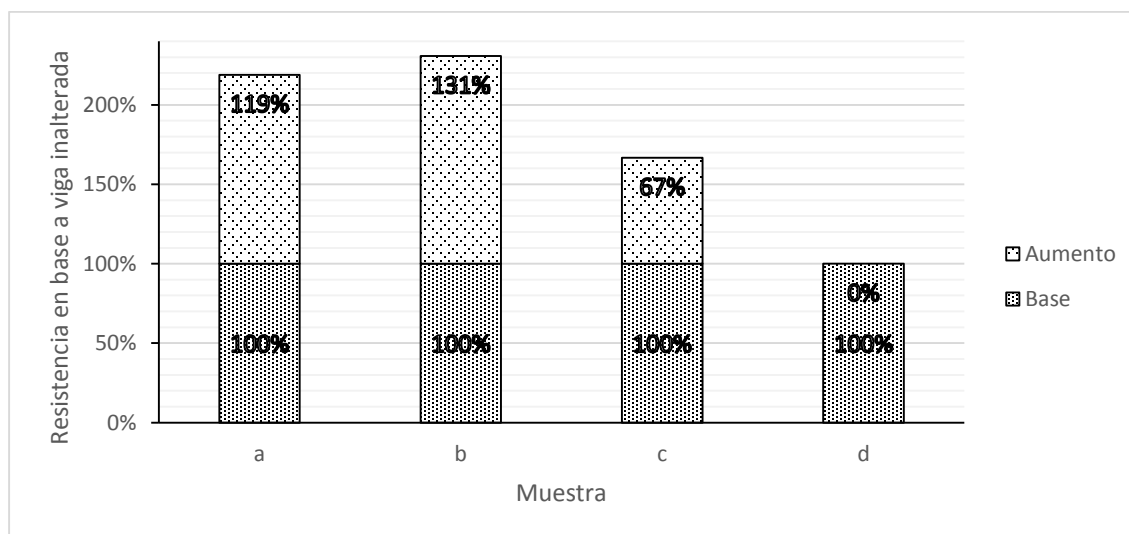
Fuente: elaboración propia.

Figura 31. **Carga para una deflexión de 2,75 mm**



Fuente: elaboración propia, con el programa Excel 2013.

Figura 32. **Aumento de resistencia con base en muestra inalterada**



Fuente: elaboración propia, con el programa Excel 2013.

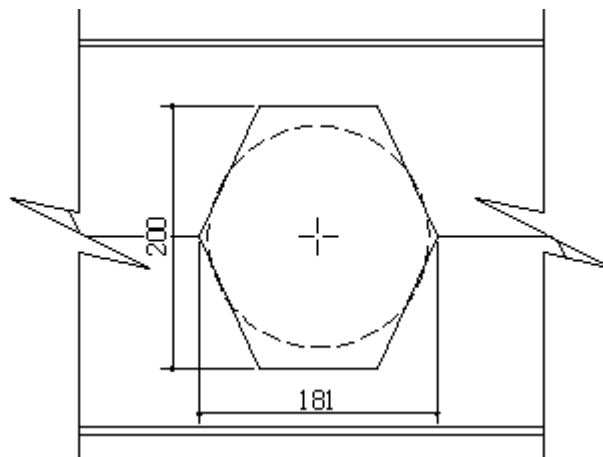
En la figura 31, se grafican las cargas que llevaron a una deflexión de 2,75 mm cada una de las muestras. El color azul corresponde a la carga necesaria para que la muestra “d” (perfil original, sin pasos), alcance la deflexión de 2,75 mm. El color rojo indica el aumento de resistencia de las muestras “a”, “b” y “c”, las cuales fueron expandidas en su peralte en un 50 %.

En la figura 32, corresponde al aumento de resistencia a flexión, comparando las muestras expandidas con la inalterada (no expandida). El color azul corresponde al 100 % de carga para la muestra inalterada con la cual alcanzar la deflexión de 2,75 mm. El color rojo indica el porcentaje que aumento la resistencia a flexión de las muestras que fueron expandidas.

Observando las gráficas se determina que la muestra “b” es la que obtuvo el mayor aumento en su resistencia a flexión, seguida por la muestra “a”, la muestra “c” solo aumentó la mitad comparada con las muestras “a” y “b”.

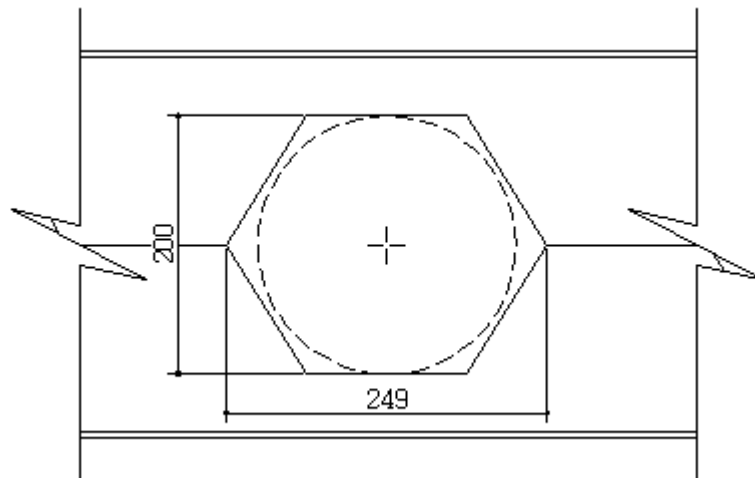
Si se observa la figura 33, figura 34 y figura 35, vemos que la muestra “b” su paso se aproxima a un círculo.

Figura 33. **Círculo suscrito en paso de muestra “a”**



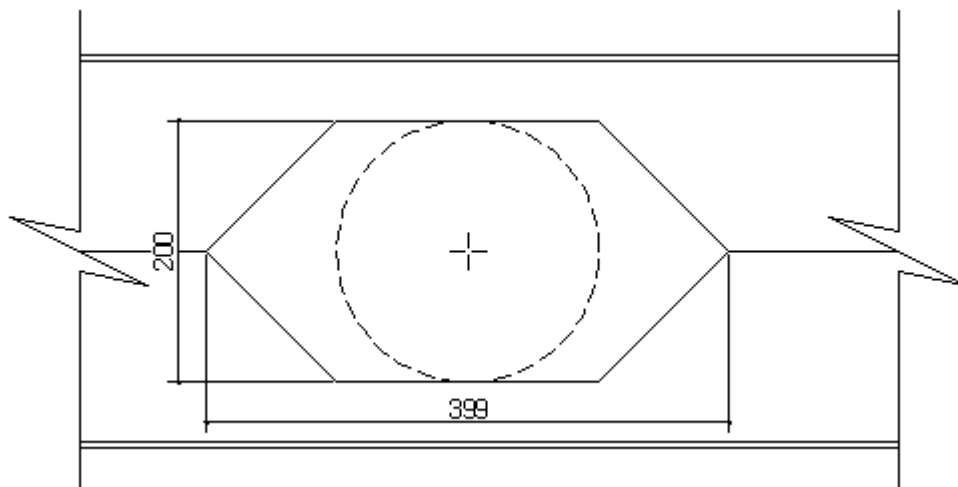
Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2015.

Figura 34. **Círculo suscrito en paso de muestra “b”**



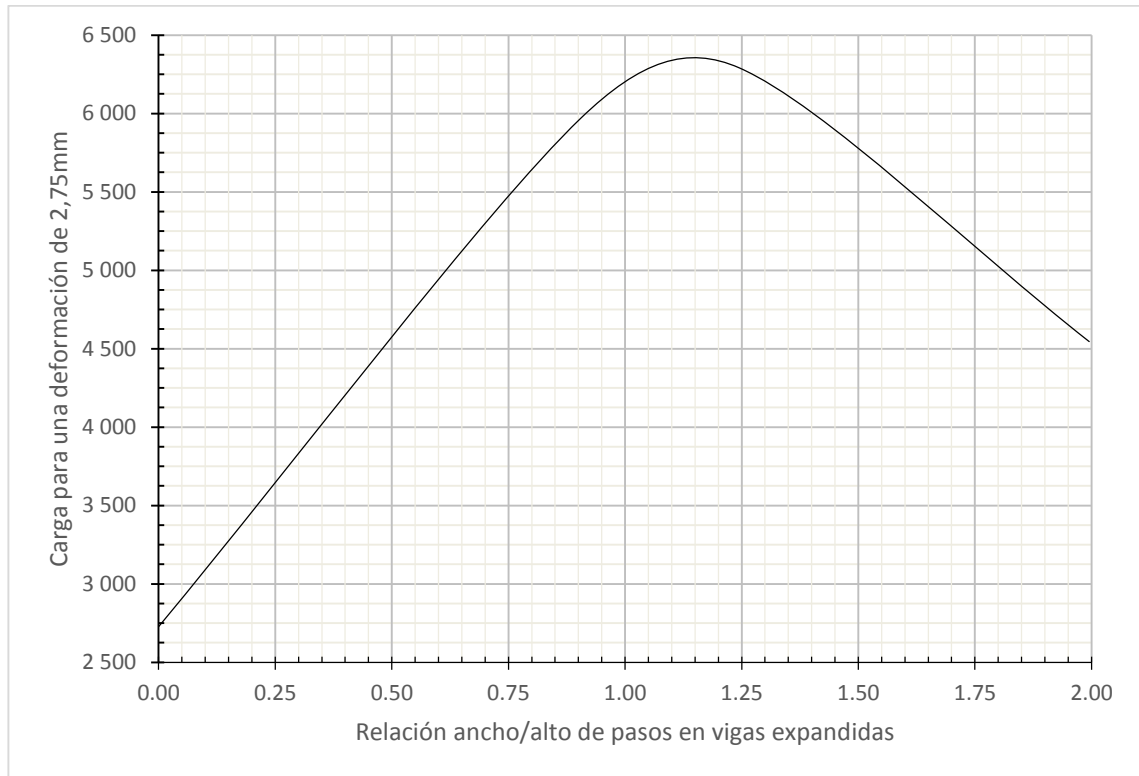
Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2015.

Figura 35. **Círculo suscrito en paso de muestra “c”**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2015.

Figura 36. **Gráfica de relación ancho/alto de pasos *versus* carga**



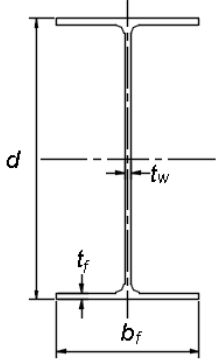
Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2013.

La figura 36, muestra la gráfica que relaciona la relación entre el ancho y el alto de los pasos en las vigas expandidas *versus* la carga requerida para una flexión de 2,75 mm. Como se ve en la gráfica, la mayor carga se presenta cuando la relación de ancho/alto del paso se encuentra en un rango de 1,00 a 1,25. Por lo cual es muy conveniente que al momento de diseñar los pasos para expandir el alma de un perfil la relación del ancho/alto se mantenga en este rango, esto con el fin de mantener la viga en la máxima eficiencia posible.

4.4.1. Perfiles equivalentes al perfil expandido

Para determinar los perfiles equivalentes al perfil expandido W200X15 se comparan las inercias de los perfiles normados sin alterar, sin considerar previamente las dimensiones de los perfiles.

Tabla XII. **Comparación inercia de perfil expandido versus perfil laminado**

	<i>Perfil:</i>	W200X15 (expandido)	W200X26.60	W250X22.30
	<i>d:</i>	300 mm	207 mm	254 mm
	<i>t_w:</i>	4,76 mm	5,84 mm	5,84 mm
	<i>b_f:</i>	100 mm	133 mm	102 mm
	<i>t_f:</i>	4,76 mm	8,38 mm	6,86 mm
	<i>Peso:</i>	15 kg/m	26,6 kg/m	22,3 kg/m
	<i>Área:</i>	1 392 mm ²	3 390 mm ²	2850 mm ²
	<i>I_x:</i>	27,3X10 ⁶ mm ⁴	25,8 X10 ⁶ mm ⁴	28,7 X10 ⁶ mm ⁴
	<i>I_y:</i>	0,79X10 ⁶ mm ⁴	3,32 X10 ⁶ mm ⁴	1,20 X10 ⁶ mm ⁴

Fuente: American Institute Of Steel Construction. *AISC Shapes Database v14.1.*

En la tabla XII se describen los perfiles laminados que más se acercan a la inercia del perfil expandido, estos perfiles se utilizarán para determinar la diferencia en costo, para lo cual se compara el precio del perfil expandido¹⁶ con el precio de los perfiles laminados. El precio por kilogramo es de Q. 9,30¹⁷.

¹⁶ Ver en apendice, Cedula unitaria de expansión de perfil W200X15

¹⁷ GRUPO A.P.,S.A. Factura serie F No. 55455 (ver en anexo)

Tabla XIII. **Comparativo de costo y peso de perfiles laminados**

Perfil	W200X15 (expandido)	W200X26.60	W250X22.30
Peso en kg	91,35	161,99	135,81
Precio Q.	1 033,90 ¹⁶	1 507,33	1 263.67
Aumento en Costo	-	46 %	22 %

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. Comparando las muestras alteradas a las cuales se les expandió el alma con la muestra inalterada concluimos que se tuvo un aumento considerable en la resistencia flexionaste. El aumento de la resistencia a flexión de la muestra “a” que corresponde a cuatro pasos está en un margen de 119 %, la muestra “b” que corresponde a tres pasos está en un margen de 131 %, la muestra “c” que corresponde a dos pasos está en un margen de 67 %, esto según los datos de la tabla XI, por lo cual se puede observar que las muestras con tres y cuatro pasos son las muestras que más aumentaron su resistencia a flexión, en más del doble que la resistencia de la viga inalterada.
2. La configuración que se pueden realizar en el alma pueden ser circulares o con una figura geométrica, la más práctica es la de un hexágono.
3. Para realizar el trazo en el alma de una viga a expandir se debe delimitar el área donde se realizará el corte, se determina la longitud en la que se realizarán los pasos, se divide la longitud dentro del número de pasos que se desean, luego el paso se divide dentro de seis y se dibuja el patrón (ver la figura 8).
4. La configuración más adecuada para la expansión del alma en una viga, corresponde a la muestra “b” que es la que tiene tres pasos, donde los pasos muestran una figura más circular (esto al suscribir un círculo en el hexágono, ver la figura 34) en comparación con las muestras “a” y “c”.

5. Como se ve en la tabla XIII es más económico el perfil expandido que sus equivalentes en inercia.
6. Un problema adverso que se presenta al expandir un perfil es la decadencia en la resistencia a torsión, esto debido al aumento en la altura de la sección, que vuelve esbelta la viga.

RECOMENDACIONES

1. Previamente a expandir el alma de un perfil se debe determinar cuál será la inercia que se requiere, para seleccionar el perfil más apropiado y económico.
2. Utilizar una configuración hexagonal en el alma, ya que esta es una figura fácil de trazar y cortar.
3. Previamente a realizar el trazo se debe realizar un plano en el cual se detallen las dimensiones para el trazo y los pasos que se requieren.
4. Se debe realizar un hexágono lo más próximo a un círculo.
5. Para expandir el perfil se debe de contar con el equipo apropiado, ya que el subcontrato de expandirlo puede aumentar significativamente el costo.
6. Debido a la decadencia en la resistencia a torsión de las vigas expandidas, estas se deben reforzar arriostrándolas, para aumentar su resistencia a la torsión. El arriostramiento consiste en conectar las vigas a un tercio de su luz, mediante una sección L de acero.

BIBLIOGRAFÍA

1. Altos hornos de México. *Manual de diseño para la construcción con acero*. México: AHMSA, 2013. 413 p.
2. AMERICAN WELDING SOCIETY, AWS D1.1/D1.1M:2010, comité D1. *Código de Soldadura Estructural*. 22a ed. Estados Unidos de América, 2010. 502 p.
3. FRATELLI, María Graciela. *Diseño de estructuras metálicas, estado de límites LRFD*. Venezuela: EDICIONES UNIVE, 2003. 590 p.
4. GUATEANTAÑO [en línea].
<<http://guatepalabras.blogspot.com/search/label/Edificios%20Antiguos%20de%20Guatemala>>. [Consultado: 20 de mayo de 2014].
5. Historia de la Ciudad de Guatemala [en línea].
<<http://guatemaladeayer.blogspot.com//2011/06/historia-del-puente-belice>>. [Consultado: 27 de junio de 2014].
6. McGuire, William. *Steel Structures*. Eanglewood Cliffs USA: Prentice Hall, 1968. 1112 p.
7. VINNAKOTA, Sriramulu. *Estructuras de acero: comportamiento y LRFD*. Mexico: McGraw-Hill Interameticana, 2006. 926 p.

8. Zapata Baglietto, Luis F. *Diseño estructural en acero*. Lima. UNI, 1997.
400 p.

APÉNDICES

Lectura de nomenclatura de la identificación de perfiles laminados normados por AISC.

Tipo del perfil Peso en kg/m

W200X15

 Peralte del perfil en *mm*

Cédula unitaria de expansión de perfil W200X15

Renglon: EXPANCIÓN DE ALMA DE PERFIL W200X15 **Item**

Cantidad: 1.00 **1**

Unidad: un

Materiales						
No.	Descripción	Cant.	Un	P/U	Total	
1	Perfil W200X15 de 6.09mt (20')	1.00	un	Q 758.93	Q	758.93
2	Insumos	5	%	Q 758.93	Q	37.95
					Q	-
Total Materiales					Q	796.88

Mano de Obra						
No.	Descripción	Cant.	Un	P/U	Total	
1	Trazo y corte	2	hr	Q 15.63	Q	31.25
2	Limpieza y pulido	0.25	hr	Q 10.00	Q	2.50
3	Armado de piezas cortadas	0.5	hr	Q 18.75	Q	9.38
4	Soldado de pierza Armada	1	hr	Q 18.75	Q	18.75
					Q	-
5	Prestaciones de ley	33	%	Q 61.88	Q	20.42
Total Mano de Obra					Q	82.29

Maquinaria y sub contrato						
No.	Descripción	Cant.	Un	P/U	Total	
1	Depreciación de equipo	5	%	Q 879.17	Q	43.96
					Q	-
Total Maquinaria y sub contrato					Q	43.96

Total Costo Directo:					Q	923.13
Iva					Q	110.78
Costo del renglon:					Q	1,033.90

Fuente: elaboración propia, con programa Excel 2013.

ANEXOS

Norma ASTM A36



Designation: A 36/A 36M – 04

Standard Specification for Carbon Structural Steel¹

This standard is issued under the fixed designation A 36/A 36M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reappraisal. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope*

1.1 This specification² covers carbon steel shapes, plates, and bars of structural quality for use in riveted, bolted, or welded construction of bridges and buildings, and for general structural purposes.

1.2 Supplementary requirements are provided for use where additional testing or additional restrictions are required by the purchaser. Such requirements apply only when specified in the purchase order.

1.3 When the steel is to be welded, a welding procedure suitable for the grade of steel and intended use or service is to be utilized. See Appendix X3 of Specification A 6/A 6M for information on weldability.

1.4 The values stated in either inch-pound units or SI units are to be regarded separately as standard. Within the text, the SI units are shown in brackets. The values stated in each system are not exact equivalents; therefore, each system is to be used independently of the other, without combining values in any way.

1.5 The text of this specification contains notes or footnotes, or both, that provide explanatory material. Such notes and footnotes, excluding those in tables and figures, do not contain any mandatory requirements.

1.6 For structural products produced from coil and furnished without heat treatment or with stress relieving only, the additional requirements, including additional testing requirements and the reporting of additional test results, of A 6/A 6M apply.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:³

¹ This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee A01 on Steel, Stainless Steel, and Related Alloys, and is the direct responsibility of Subcommittee A01.02 on Structural Steel for Bridges, Buildings, Rolling Stock, and Ships.

Current edition approved April 1, 2004. Published May 2004. Originally approved in 1960. Last previous edition approved in 2003 as A 36/A 36M – 03a.

² For ASME Boiler and Pressure Vessel Code Applications, see related Specifications SA-36 in Section II of that Code.

³ For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

A 6/A 6M Specification for General Requirements for Rolled Structural Steel Bars, Plates, Shapes, and Sheet Piling

A 27/A 27M Specification for Steel Castings, Carbon, for General Application

A 307 Specification for Carbon Steel Bolts and Studs, 60 000 psi Tensile Strength

A 325 Specification for High-Strength Bolts for Structural Steel Joints

A 325M Specification for High-Strength Bolts for Structural Steel Joints [Metric]

A 500 Specification for Cold-Formed Welded and Seamless Carbon Steel Structural Tubing in Rounds and Shapes

A 501 Specification for Hot-Formed Welded and Seamless Carbon Steel Structural Tubing

A 502 Specification for Steel Structural Rivets

A 563 Specification for Carbon and Alloy Steel Nuts

A 563M Specification for Carbon and Alloy Steel Nuts [Metric]

A 1011/A 1011M Specification for Steel, Sheet and Strip, Carbon, Hot-Rolled, High Strength Low Alloy, and High Strength Low Alloy with Improved Formability

A 668/A 668M Specification for Steel Forgings, Carbon and Alloy, for General Industrial Use

F 568M Specification for Carbon and Alloy Steel Externally Threaded Metric Fasteners

3. Appurtenant Materials

3.1 When components of a steel structure are identified with this ASTM designation but the product form is not listed in the scope of this specification, the material shall conform to one of the standards listed in Table 1 unless otherwise specified by the purchaser.

4. General Requirements for Delivery

4.1 Structural products furnished under this specification shall conform to the requirements of the current edition of Specification A 6/A 6M, for the specific structural product ordered, unless a conflict exists in which case this specification shall prevail.

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.



A 36/A 36M – 04

TABLE 1 Appurtenant Material Specifications

NOTE 1—The specifier should be satisfied of the suitability of these materials for the intended application. Chemical composition and/or mechanical properties may be different than specified in A 36/A 36M.

Material	ASTM Designation
Steel rivets	A 502, Grade 1
Bolts	A 307, Grade A or F 568M, Class 4.6
High-strength bolts	A 325 or A 325M
Steel nuts	A 563 or A 563M
Cast steel	A 27/A 27M, Grade 65–35 [450–240]
Forgings (carbon steel)	A 668, Class D
Hot-rolled sheets and strip	A 1011/A 1011M, SS Grade 36[250] Type 1 or Type 2 or A 1018/A 1018M SS Grade 36[250]
Cold-formed tubing	A 500, Grade B
Hot-formed tubing	A 501
Anchor bolts	F 1554

4.2 Coils are excluded from qualification to this specification until they are processed into a finished structural product. Structural products produced from coil means structural products that have been cut to individual lengths from a coil. The processor directly controls, or is responsible for, the operations involved in the processing of a coil into a finished structural product. Such operations include decoiling, leveling or straightening, hot-forming or cold-forming (if applicable), cutting to length, testing, inspection, conditioning, heat treatment (if applicable), packaging, marking, loading for shipment, and certification.

NOTE 1—For structural products produced from coil and furnished without heat treatment or with stress relieving only, two test results are to be reported for each qualifying coil. Additional requirements regarding structural products produced from coil are described in Specification A 6/A 6M.

5. Bearing Plates

5.1 Unless otherwise specified, plates used as bearing plates for bridges shall be subjected to mechanical tests and shall conform to the tensile requirements of Section 8.

5.2 Unless otherwise specified, mechanical tests shall not be required for plates over 1½ in. [40 mm] in thickness used as bearing plates in structures other than bridges, subject to the requirement that they shall contain 0.20 to 0.33 % carbon by heat analysis, that the chemical composition shall conform to the requirements of Table 2 in phosphorus and sulfur content, and that a sufficient discard shall be made to secure sound plates.

6. Materials and Manufacture

6.1 The steel for plates and bars over ½ in. [12.5 mm] in thickness and shapes other than Group 1 shall be semi-killed or killed.

7. Chemical Composition

7.1 The heat analysis shall conform to the requirements prescribed in Table 2, except as specified in 5.2.

7.2 The steel shall conform on product analysis to the requirements prescribed in Table 2, subject to the product analysis tolerances in Specification A 6/A 6M.

8. Tension Test

8.1 The material as represented by the test specimen, except as specified in 5.2 and 8.2, shall conform to the requirements as to the tensile properties prescribed in Table 3.

8.2 Shapes less than 1 in.² [645 mm²] in cross section and bars, other than flats, less than ½ in. [12.5 mm] in thickness or diameter need not be subjected to tension tests by the manufacturer, provided that the chemical composition used is appropriate for obtaining the tensile properties in Table 3.

9. Keywords

9.1 bars; bolted construction; bridges; buildings; carbon; plates; riveted construction; shapes; steel; structural steel; welded construction

TABLE 2 Chemical Requirements

NOTE 1—Where “...” appears in this table, there is no requirement. The heat analysis for manganese shall be determined and reported as described in the heat analysis section of Specification A 6/A 6M.

Product	Shapes ^A	Plates ^B					Bars ^B			
		To ¾ [20], incl	Over ¾ to 1½ [20 to 40], incl	Over 1½ to 2½ [40 to 65], incl	Over 2½ to 4 [65 to 100], incl	Over 4 [100]	To ¾ [20], incl	Over ¾ to 1½ [20 to 40], incl	Over 1½ to 4 [100], incl	Over 4 [100]
Carbon, max, %	0.26	0.25	0.25	0.26	0.27	0.29	0.26	0.27	0.28	0.29
Manganese, %	...	...	0.80–1.20	0.80–1.20	0.85–1.20	0.85–1.20	...	0.60–0.90	0.60–0.90	0.60–0.90
Phosphorus, max, %	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Sulfur, max, %	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Silicon, %	0.40 max	0.40 max	0.40 max	0.15–0.40	0.15–0.40	0.15–0.40	0.40 max	0.40 max	0.40 max	0.40 max
Copper, min, % when copper steel is specified	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

^AManganese content of 0.85–1.35 % and silicon content of 0.15–0.40 % is required for shapes with flange thickness over 3 in. [75 mm].

^BFor each reduction of 0.01 percentage point below the specified carbon maximum, an increase of 0.06 percentage point manganese above the specified maximum will be permitted, up to the maximum of 1.35 %.

TABLE 3 Tensile Requirements^A

Plates, Shapes, ^B and Bars:	
Tensile strength, ksi [MPa]	58–80 [400–550]
Yield point, min, ksi [MPa]	36 [250] ^C
Plates and Bars ^{D,E} :	
Elongation in 8 in. [200 mm], min, %	20
Elongation in 2 in. [50 mm], min, %	23
Shapes:	
Elongation in 8 in. [200 mm], min, %	20
Elongation in 2 in. [50 mm], min, %	21 ^B

^ASee the Orientation subsection in the Tension Tests section of Specification A 6/A 6M.

^BFor wide flange shapes with flange thickness over 3 in. [75 mm], the 80 ksi [550 MPa] maximum tensile strength does not apply and a minimum elongation in 2 in. [50 mm] of 19 % applies.

^CYield point 32 ksi [220 MPa] for plates over 8 in. [200 mm] in thickness.

^DElongation not required to be determined for floor plate.

^EFor plates wider than 24 in. [600 mm], the elongation requirement is reduced two percentage points. See the Elongation Requirement Adjustments subsection under the Tension Tests section of Specification A 6/A 6M.

SUPPLEMENTARY REQUIREMENTS

These requirements shall not apply unless specified in the order.

Standardized supplementary requirements for use at the option of the purchaser are listed in Specification A 6/A 6M. Those that are considered suitable for use with this specification are listed by title:

S5. Charpy V-Notch Impact Test.

In addition, the following optional supplementary requirement is also suitable for use with this specification:

S30. Charpy V-Notch Impact Test for Structural Shapes: Alternate Core Location

S97. Limitation on Rimmed or Capped Steel

S32. Single Heat Bundles

S97.1 The steel shall be other than rimmed or capped.

S32.1 Bundles containing shapes or bars shall be from a single heat of steel.

SUMMARY OF CHANGES

Committee A01 has identified the location of the following changes to this standard since A 36/A 36M-03a that may impact the use of this standard. (Approved April 1, 2004.)

- (1) Table 2 has been revised to make Footnote B also apply to bars. (2) Supplementary Requirement S32 was added.

 A 36/A 36M – 04

Committee A01 has identified the location of the following changes to this standard since A 36/A 36M-03 that may impact the use of this standard. (Approved May 10, 2003.)

- (1) 1.4 has been deleted. (2) Tables 2 and 3 have been revised.

Committee A01 has identified the location of the following changes to this standard since A 36/A 36M-02 that may impact the use of this standard. (Approved April 10, 2003.)

- (1) 1.7, 4.1, 4.1.1 (renumbered as 4.2), and Note 1 have been revised to be consistent with the terminology and requirements of A 6/A 6M.

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).

Norma ASTM A529



Designation: A 529/A 529M – 04

Standard Specification for High-Strength Carbon-Manganese Steel of Structural Quality¹

This standard is issued under the fixed designation A 529/A 529M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope*

1.1 This specification covers carbon-manganese steel shapes, plates, and bars of structural quality for use in riveted, bolted, or welded construction of buildings and for general structural purposes.

1.2 Material under this specification is available in two grades:

Grade	Yield Strength, ksi [MPa]	Thickness
50 [345]	50 [345]	Plates to 1 in. [25 mm] thick to 14 in. [355 mm] wide Bars to 3½ in. [90 mm] Shapes with flange or leg thickness to 1½ in. [40 mm] inclusive
55 [380]	55 [380]	Plates to 1 in. [25 mm] thick to 14 in. [355 mm] wide Bars to 3 in. [75 mm] Shapes with flange or leg thickness to 1½ in. [40 mm] inclusive

1.3 When the steel is to be welded, it is presupposed that a welding procedure suitable for the grade of steel and intended use or service will be utilized. See Appendix X3 of Specification A 6/A 6M for information on weldability.

1.4 The values stated in either inch-pound units or SI units are to be regarded as standard. Within the text, the SI units are shown in brackets. The values stated in each system are not exact equivalents; therefore, each system must be used independently of the other.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:²

A 6/A 6M Specification for General Requirements for Rolled Structural Steel Bars, Plates, Shapes, and Sheet Piling

¹ This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee A01 on Steel, Stainless Steel, and Related Alloys, and is the direct responsibility of Subcommittee A01.02 on Structural Steel for Bridges, Buildings, Rolling Stock, and Ships.

Current edition approved April 1, 2004. Published May 2004. Originally approved in 1964. Last previous edition approved in 2003 as A 529 – 03.

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

3. General Requirements for Delivery

3.1 Material furnished under this specification shall conform to the requirements of the current edition of Specification A 6/A 6M, for the ordered material, unless a conflict exists in which case this specification shall prevail.

4. Materials and Manufacture

4.1 The steel shall be killed, and such shall be affirmed in the test report by the inclusion of a statement of *killed steel*, a value of 0.10 % or more for silicon content, or a value of 0.015 % or more for total aluminum content.

5. Chemical Composition

5.1 Heat Analysis:

5.1.1 The heat analysis shall conform to the requirements prescribed in Table 1.

5.1.2 In addition to the elements specified in Table 1, test reports shall include for information the chemical analysis for copper, columbium, chromium, nickel, molybdenum, and vanadium. When the amount of copper, chromium, nickel, molybdenum, or silicon is less than 0.02 %, the analysis may be reported as “<0.02 %.” When the amount of columbium or vanadium is less than 0.008 %, the analysis may be reported as “<0.008 %.”

5.2 Product Analysis:

5.2.1 The steel shall conform on product analysis to the requirements of Table 1, subject to the product analysis tolerances in Specification A 6/A 6M.

6. Tension Test

6.1 The material as represented by the test specimen shall conform to the requirements as to the tensile properties prescribed in Table 2.

7. Keywords

7.1 bars; bolted construction; carbon; frames; metal building systems; plates; riveted construction; shapes; steel; structural steel; trusses; welded construction

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.

 A 529/A 529M – 04

TABLE 1 Chemical Requirements (Heat Analysis)

NOTE—A maximum of 1.50 % manganese is permissible, with an associated reduction of the carbon maximum of 0.01 percentage point for each 0.05 percentage point increase in manganese.

Element	Composition, %
	Grades 50 [345] and 55 [380]
Carbon, max	0.27
Manganese, max	1.35
Phosphorus, max	0.04
Sulfur, max	0.05
Silicon, max	0.40
Copper, min, when copper is specified	0.20

TABLE 2 Tensile Requirements^A

	Grade 50 [345]		Grade 55 [380]	
	ksi	[MPa]	ksi	[MPa]
Tensile strength, min	70 ^B	[485]	70	[485]
Tensile strength, max	100	[690]	100	[690]
Yield strength, min	50	[345]	55	[380]
Elongation in 8 in. [200 mm], min, %	18		17	
Elongation in 2 in. [50 mm], min, %	21		20	

^A See the Orientation subsection in the Tension Tests section of Specification A 6/A 6M.

^B Minimum tensile strength for Grade 50 shapes with flange or leg thickness to 1 ½ in. [40 mm] inclusive, shall be 65 ksi [450 MPa].

SUPPLEMENTARY REQUIREMENTS

Standardized supplementary requirements for use at the option of the purchaser are listed in Specification A 6/A 6M. Those that are considered suitable for use with this specification are listed by title:

S5. Charpy V-Notch Impact Test.

In addition, the following optional supplementary requirements are also suitable for use with this specification.

S32. Single Heat Bundles.

S32.1 Bundles containing shapes or bars shall be from a single heat of steel.

S78. Maximum Carbon Equivalent.

S78.1 This material shall be supplied with a maximum carbon equivalent value of 0.55 % or to a lower value specified

in the purchase documents. This value will be based on heat analysis. The required chemical analysis as well as the carbon equivalent shall be reported.

S78.2 The carbon equivalent shall be calculated using the following formula:

$$CE = C + (Mn + Si)/6 + (Cu + Ni)/15 + (Cr + Mo + V + Nb)/5$$

S79. Maximum Tensile Strength.

S79.1 The maximum tensile strength shall be 90 ksi [620 MPa].

 A 529/A 529M – 04

SUMMARY OF CHANGES

Committee A01 has identified the location of selected changes to this standard since the last issue (A 529/A 529M – 03) that may impact the use of this standard. (Approved April 1, 2004.)

(1) Added Supplementary Requirement S32.

Committee A01 has identified the location of selected changes to this standard since the last issue (A 529/A 529M – 02) that may impact the use of this standard. (Approved May 10, 2003.)

(1) Paragraph 1.2 and Table 2 were revised.

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).

Soldadura de canal cuadrada, junta a tope.

Ver Notas de la Página 80

Soldadura de canal cuadrada (1)
Junta a tope (B)

The diagram illustrates a square channel butt joint (B). It shows two channels being joined. The thickness of the base metal is denoted as T_1 and T_2 . The radius of the fillet is R . The reinforcement (E) is shown on the top surface. A note specifies: REFUERZO DE 1/32 A 1/8 SIN TOLERANCIA.

Proceso de Soldadura	Designación de Junta	Espesor de Base de Metal (U = Ilimitado)		Preparación de Canal			Posiciones de Soldar Permisibles	Tamaño de Soldadura (E)	Notas			
		T_1	T_2	Abertura de Raíz	Tolerancias							
					Como Detallado (ver 3.12.3)	Como Ajustado (ver 3.12.3)						
SMAW	B-P1a	1/8	—	$R = 0 \text{ a } 1/16$	+1/16, -0	$\pm 1/16$	Todas	$T_1 - 1/32$	b, e			
	B-P1c	1/4 max.	—	$R = \frac{T_1}{2} \text{ min.}$	+1/16, -0	$\pm 1/16$	Todas	$\frac{T_1}{2}$	b, e			
GMAW FCAW	B-P1a-GF	1/8	—	$R = 0 \text{ a } 1/16$	+1/16, -0	$\pm 1/16$	Todas	$T_1 - 1/32$	b, e			
	B-P1c-GF	1/4 max.	—	$R = \frac{T_1}{2} \text{ min.}$	+1/16, -0	$\pm 1/16$	Todas	$\frac{T_1}{2}$	b, e			

Soldadura de canal cuadrada (1)
 Junta a tope (B)

The diagram illustrates a square channel butt joint (B). It shows two channel sections being joined. Key dimensions and features include:

- T_1 : The thickness of the channel wall.
- T_2 : The thickness of the base metal.
- R : The radius of the fillet weld.
- E_1 and E_2 : The reinforcement on either side of the joint.
- A note indicates that $E_1 + E_2$ must not exceed $\frac{3T_1}{4}$.

$$E_1 + E_2 \text{ NO DEBE EXCEDER } \frac{3T_1}{4}$$

Proceso de Soldadura	Designación de Junta	Espesor de Base de Metal (U = Ilimitado)		Preparación de Canal			Posiciones de Soldar Permisibles	Tamaño de Soldadura (E ₁ + E ₂)	Notas			
		T ₁	T ₂	Abertura de Raíz	Tolerancias							
					Como Detallado (ver 3.12.3)	Como Ajustado (ver 3.12.3)						
SMAW	B-P1b	1/4 max.	—	$R = \frac{T_1}{2}$	+1/16, -0	±1/16	Todas	$\frac{3T_1}{4}$	e			
GMAW FCAW	B-P1b-GF	1/4 max.	—	$R = \frac{T_1}{2}$	+1/16, -0	±1/16	Todas	$\frac{3T_1}{4}$	e			

Figura 3.3—Detalles de Juntas de Canal Soldadas Precalificadas como PJP (ver 3.12) (Dimensiones en Pulgadas)

Fuente: AWS D1.1/D1.1M:2010. p. 81

Notas para soldadura de canal cuadrada, junta a tope.

Notas para Figuras 3.3 y 3.4

- ^a No precalificas para GMAW-S ni GTAW.
- ^b La junta debe ser soldada de un lado solamente.
- ^c La aplicación de carga cíclica limita el uso de este detalle para juntas a tope en posición plana (ver 2.18.2).
- ^d Sanear la raíz con el metal sano antes de soldar el segundo lado.
- ^e Juntas detalladas SMAW pueden ser usadas para GMAW precalificadas (excepto GMAW-S) y FCAW.
- ^f Los tamaños mínimos de soldaduras (E) se muestran en la tabla 3.4. S como se especifica en los dibujos.
- ^g Si se usan soldaduras de filete en estructuras cargadas estáticamente para reforzar soldaduras de canal en juntas T- o de esquina, estas deben ser iguales a $T/4$, pero no pueden exceder 3.8 pulg. [10 mm]. Las soldaduras de canal y juntas T- de estructuras cíclicamente cargadas deben ser reforzadas con soldaduras de filete iguales a $T/4$, pero no pueden exceder 3.8 pulg. [10 mm].
- ^h Las soldaduras de canal doble pueden tener soldaduras de profundidades desiguales, pero la profundidad del canal más corto no debe ser menor que un cuarto del espesor de la parte de la junta más delgada.
- ⁱ Las soldaduras de canal doble pueden tener soldaduras de profundidades desiguales, siempre que ellas estén conformes con las limitaciones de la Nota f. También se aplica el tamaño de soldadura (E) para cada canal.
- ^j La orientación de los dos miembros en la junta pueden variar desde 135° a 180° para juntas de tope, 45° a 135° para juntas de esquina, o 45° a 90° para juntas T-.
- ^k Para juntas de esquina, la penetración exterior de la canal puede ser en uno o en ambos miembros, siempre que la configuración básica del canal no sea cambiada y que la distancia adecuada del borde se mantenga para soportar las operación de soldar sin excesiva fusión del borde.
- ^l Tamaño de soldadura (E) debe ser basado en juntas soldadas a ras.
- ^m Para soldaduras de canal curvo en V y de canal con bisel curvo a secciones rectangulares tubulares, r debe ser dos veces el espesor de la pared.
- ⁿ Para soldaduras de canal curvo en V a superficies con un radio diferente a r, se usara el r mas pequeño.

Fuente: AWS D1.1/D1.1M:2010. p. 80

Factura de compra de perfil W200X15 (W8X10)

		GRUPO A. P., S. A. 15 AVENIDA 31-87 ZONA 5, GUATEMALA, C.A. PBX: 2386-3434 FAX: 2386-3400, 2386-3401 www.grupoap.com.gt gapsa@grupoap.com.gt		FACTURA SERIE F No. 55455 FECHA DE RESOLUCION: 2012-01-16 DEL: 1 AL: 1000000 FACE-63-F-001 140000055455		
EN HIERRO Y PARA HIERRO LO QUE NECESITE		PATENTE DE COMERCIO No.: 51095-730-144		NIT: 2915631-9		
COD. CLIENTE 5239	NIT 3850076-0	FORMA DE PAGO 1 - Contado	VENDEDOR 70 SALA VENTA	PEDIDO FA(1)silvias	FACTURA 55455	
NOMBRE NELSON MEDRANO				TELS. 0	O/COMPRA	
DIRECCION CIUDAD			DIRECCION DE ENTREGA RECOGEN			
CODIGO	UNIDAD MEDIDA	DESCRIPCION	PESO LBS.	CANT.	PRECIO NETO UNITARIO	TOTAL
031103	UNIDAD	VIGA W.F. 8 X 10 LBS/PIE X 20'	200.00	1.00	850.0000	850.00
						
SUJETOS A PAGOS TRIMESTRALES			TOTAL PESO	200.00		
TOTAL EN LETRAS: *** OCHOCIENTOS CINCUENTA CON 00/100***				GTQ	850.00	
OBSERVACIONES:				TOTAL Q.		
NOTA: NO SE ACEPTAN DEVOLUCIONES. (*) EN VENTAS AL CREDITO ESTA FACTURA NO SE CONSIDERA CANCELADA, SIN SU RESPECTIVO RECIBO DE CAJA. CAE: EKCIYwspJWz0y3zpnYciXJG3epy1kodg/s wge42Fic7U8Fm3Dg==						
https://www.docutec.com.gt OFACE INFORM CONSULTING S.A. NIT: 43430775						

Informe No. Ensayo a flexión 012015 O.T. 34089



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



No. **5021**

INFORME No. ENSAYO FLEXION 012015 O.T. 34089
INTERESADO: Nelson Geovanni Medrano Aguirre
ASUNTO: ENSAYO FLEXION VIGAS ACERO. FECHA: 07/02/2015

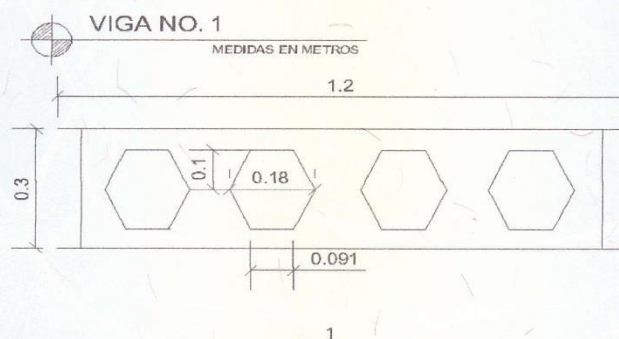
GENERALIDADES

El estudiante solicitó los servicios de la sección de estructuras del CII para realizar el ensayo de flexión de una separación, a cuatro vigas de acero, de las cuales tres son modificadas en su altura y con diferentes aberturas en el alma, y la otra con su perfil estandarizado. Se procedió al ensayo con el que se determina la capacidad de la carga y el comportamiento al mismo de cada una de las muestras

DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

El ensayo fue utilizado la prensa hidráulica con una capacidad de 150 000 lb. Se aplica carga en forma sostenida tomando lecturas de la flexión provocada en la muestra, tomando como referencia de carga de diseño la que provoca la deflexión correspondiente a la Luz libre dividido 400. Se buscó alcanzar la carga última con el factor de 2, posteriormente se descargó para verificar la capacidad de recuperación de la muestra; se colocaron tres deformómetros, dos en el extremo, uno superior y el otro inferior, y el último en la parte inferior en el centro. Con el procedimiento anterior es para medir la deformación máxima de las vigas y su comportamiento a flexión y el efecto de torsión inducido por la esbeltez del perfil.

DETALLE DE LAS MUESTRAS



FACULTAD DE INGENIERÍA —USAC—
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>



No. 5022

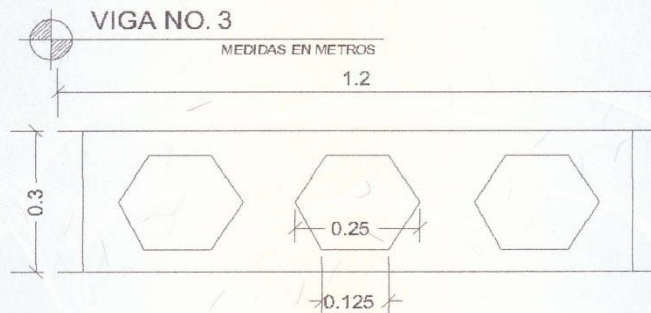
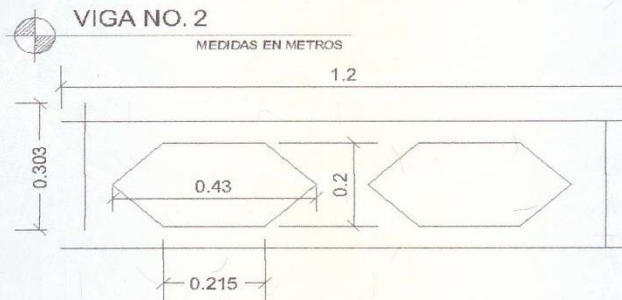
INFORME No. ENSAYO FLEXION 012015

O.T. 34089

INTERESADO: Nelson Geovanni Medrano Aguirre

ASUNTO: ENSAYO FLEXION VIGAS ACERO.

FECHA: 07/02/2015





No. **5023**

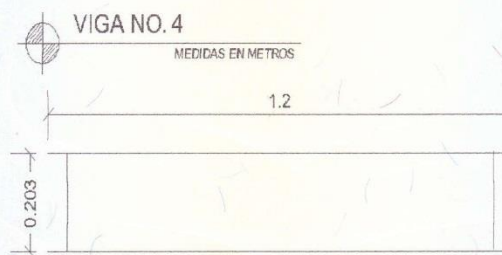
INFORME No. ENSAYO FLEXION 012015

O.T. 34089

INTERESADO: Nelson Geovanni Medrano Aguirre

ASUNTO: ENSAYO FLEXION VIGAS ACERO.

FECHA: 07/02/2015



LOS ENSAYOS

La posición de los deformómetros se muestra en las figuras siguientes
Los puntos de colores son los deformómetros:

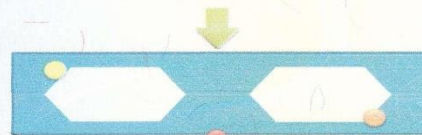


Figura No. 1a. Viga No.2

Ubicación de deformómetros segunda variación



Figura No. 1b. Viga No.2



No. **5024**

INFORME No. ENSAYO FLEXION 012015

O.T. 34089

INTERESADO: Nelson Geovanni Medrano Aguirre

ASUNTO: ENSAYO FLEXION VIGAS ACERO.

FECHA: 07/02/2015

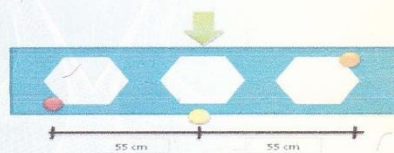
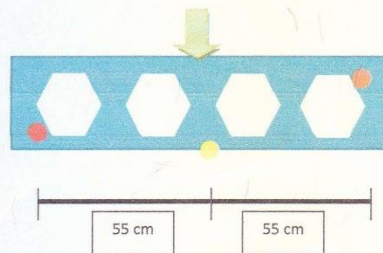
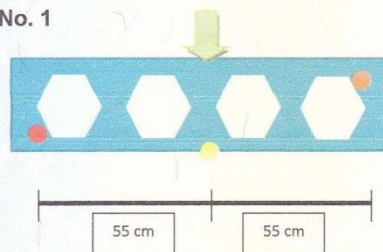


Figura no. 2. Viga no. 3



Datos Viga No. 1





CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



No. **5025**

INFORME No. ENSAYO FLEXION 012015

O.T. 34089

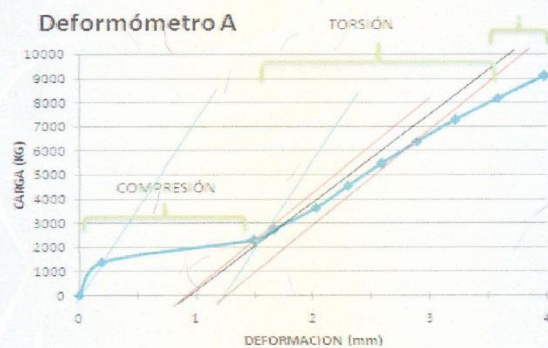
INTERESADO: Nelson Giovanni Medrano Aguirre

ASUNTO: ENSAYO FLEXION VIGAS ACERO.

FECHA: 07/02/2015

Datos del Ensayo
- Deformómetro A

Carga (kg)	Deformación mm)
2.73	0
1363.64	0.186
2272.73	1.495
2727.27	1.66
3636.36	2.02
4545.45	2.29
5454.55	2.58
6363.64	2.88
7272.73	3.21
8181.82	3.57
9090.91	3.98





CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

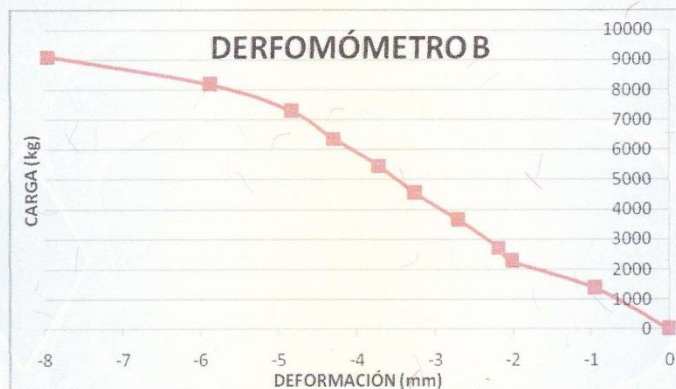


No. 5026

INFORME No. ENSAYO FLEXION 012015 / O.T. 34089
INTERESADO: Nelson Giovanni Medrano Aguirre
ASUNTO: ENSAYO FLEXION VIGAS ACERO. / FECHA: 07/02/2015

- Deformación B

Carga (kg)	Deformación (mm)
2.73	0
1363.64	-0.9398
2272.73	-2.0066
2727.27	-2.1844
3636.36	-2.6924
4545.45	-3.2512
5454.55	-3.7084
6363.64	-4.2926
7272.73	-4.826
8181.82	-5.8674
9090.91	-7.9502





CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



No. **5027**

INFORME No. ENSAYO FLEXION 012015

O.T. 34089

INTERESADO: Nelson Giovanni Medrano Aguirre

ASUNTO: ENSAYO FLEXION VIGAS ACERO.

FECHA: 07/02/2015

- Deformómetro C

Carga (kg)	Deformación mm
2.73	0
1363.64	-3.0988
2272.73	-3.2258
2727.27	-3.6068
3636.36	-3.8862
4545.45	-4.0132
5454.55	-4.191
6363.64	-4.4958
7272.73	-4.826
8181.82	-5.3848
9090.91	-6.4516



7



No. 5028

INFORME No. ENSAYO FLEXION 012015

O.T. 34089

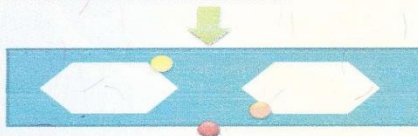
INTERESADO: Nelson Geovanni Medrano Aguirre

ASUNTO: ENSAYO FLEXION VIGAS ACERO.

FECHA: 07/02/2015

Datos Viga No. 2

- Primera aplicación de carga
- Ubicación de deformómetros



- o Deformómetro A

DEF A	CARGA Kg
0	0
0.09	1818
1.66	2727
2.22	3636
2.75	4545
3.33	5455



No. **5029**

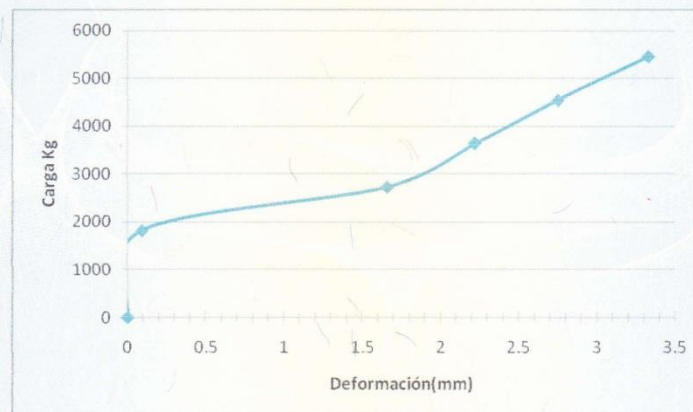
INFORME No. ENSAYO FLEXION 012015

O.T. 34089

INTERESADO: Nelson Giovanni Medrano Aguirre

ASUNTO: ENSAYO FLEXION VIGAS ACERO.

FECHA: 07/02/2015



○ Deformómetro B

Def B mm	CARGA KG
0	0
1.4986	1818
1.6764	2727
2.1082	3636
2.3114	4545
2.4384	5455



No. **5030**

INFORME No. ENSAYO FLEXION 012015

O.T. 34089

INTERESADO: Nelson Geovanni Medrano Aguirre

ASUNTO: ENSAYO FLEXION VIGAS ACERO.

FECHA: 07/02/2015



○ Deformómetro C

DEF C (mm)	CARGA (Kg)
0	0
1.7399	1818
1.8415	2727
1.9939	3636
2.1717	4545
2.4765	5455



No. **5031**

INFORME No. ENSAYO FLEXION 012015

O.T. 34089

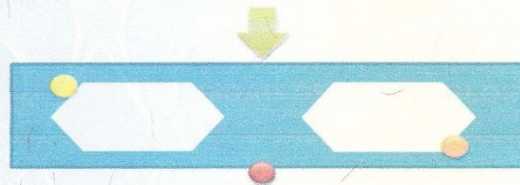
INTERESADO: Nelson Giovanni Medrano Aguirre

ASUNTO: ENSAYO FLEXION VIGAS ACERO.

FECHA: 07/02/2015



- Segunda Aplicación





No. 5032

INFORME No. ENSAYO FLEXION 012015

O.T. 34089

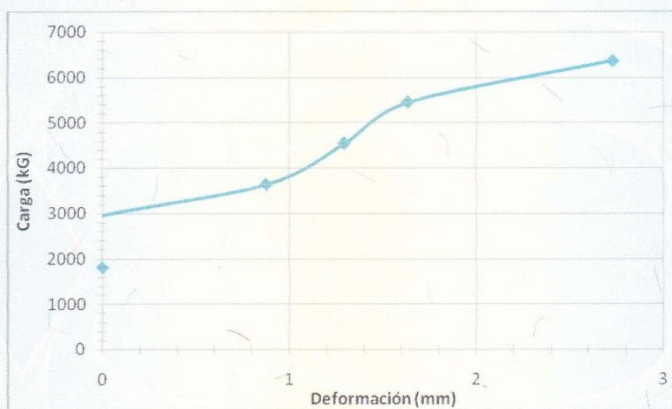
INTERESADO: Nelson Giovanni Medrano Aguirre

ASUNTO: ENSAYO FLEXION VIGAS ACERO.

FECHA: 07/02/2015

o Deformación A

DEF A (mm)	CARGA (kg)
0	1818
-0.205	2727
0.875	3636
1.295	4545
1.635	5455
2.73	6364





No. **5033**

INFORME No. ENSAYO FLEXION 012015

O.T. 34089

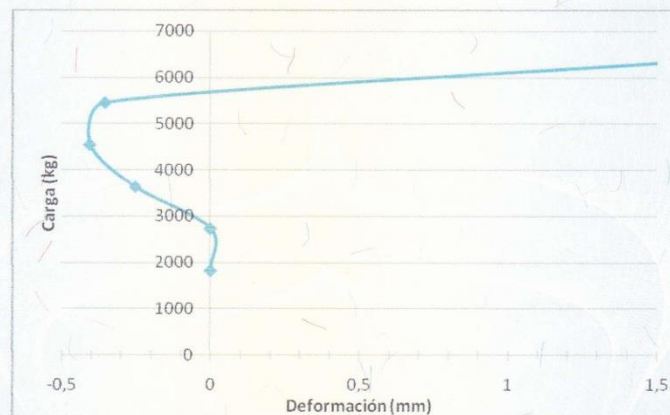
INTERESADO: Nelson Giovanni Medrano Aguirre

ASUNTO: ENSAYO FLEXION VIGAS ACERO.

FECHA: 07/02/2015

○ Deformómetro B

DEF B (mm)	CARGA (Kg)
0	1818
0	2727
-0,254	3636
-0,4064	4545
-0,3556	5455
1,6256	6364



El cambio de la curvatura en relación al eje vertical indica la acción de la torsión



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



No. **5034**

INFORME No. ENSAYO FLEXION 012015

O.T. 34089

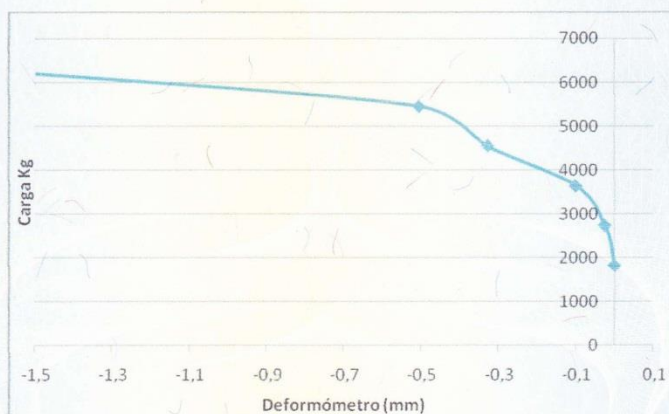
INTERESADO: Nelson Giovanni Medrano Aguirre

ASUNTO: ENSAYO FLEXION VIGAS ACERO.

FECHA: 07/02/2015

o Deformómetro C

DEF C (mm)	CARGA (Kg)
0	1818
-0,0254	2727
-0,1016	3636
-0,3302	4545
-0,508	5455
-1,7272	6364





No. **5035**

INFORME No. ENSAYO FLEXION 012015

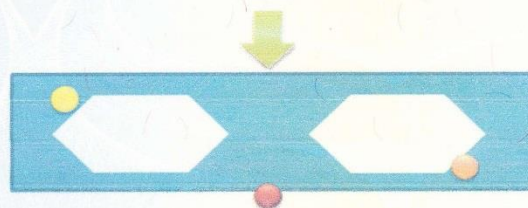
O.T. 34089

INTERESADO: Nelson Giovanni Medrano Aguirre

ASUNTO: ENSAYO FLEXION VIGAS ACERO.

FECHA: 07/02/2015

- Tercera Aplicación



o Deformómetro A

DEF A (mm)	CARGA (Kg)
0	0
0,39	1818
0,51	2727
2	3636
2,02	4545
2,925	5455
2,605	6364



No. **5036**

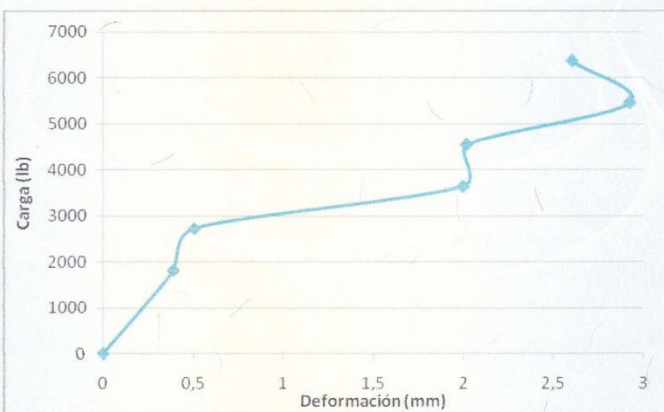
INFORME No. ENSAYO FLEXION 012015

O.T. 34089

INTERESADO: Nelson Giovanni Medrano Aguirre

ASUNTO: ENSAYO FLEXION VIGAS ACERO.

FECHA: 07/02/2015



o Deformómetro B

DEF B (mm)	CARGA (Kg)
0	0
-0,0381	1818
-0,2667	2727
-0,1651	3636
0,6731	4545
2,3622	5455
5,6515	6364



No. **5037**

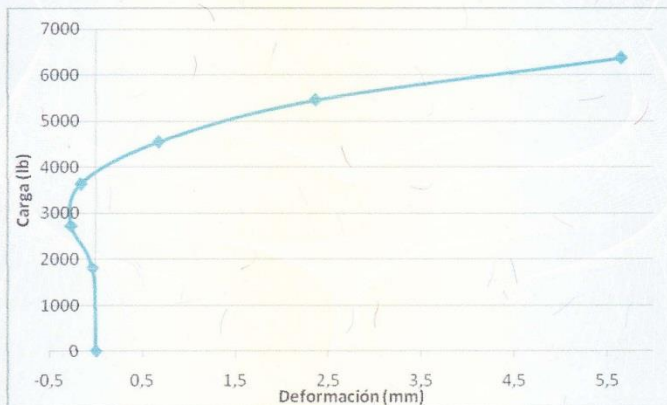
INFORME No. ENSAYO FLEXION 012015

O.T. 34089

INTERESADO: Nelson Giovanni Medrano Aguirre

ASUNTO: ENSAYO FLEXION VIGAS ACERO.

FECHA: 07/02/2015



La que sufrió mayor deformación

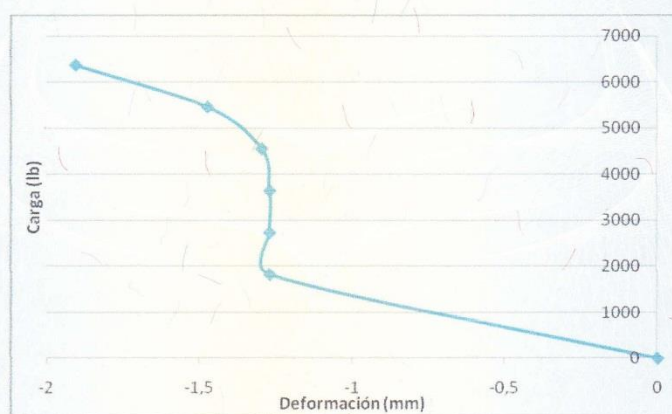
o Deformómetro C

DEF C (mm)	CARGA (Kg)
0	0
-1,27	1818
-1,27	2727
-1,27	3636
-1,2954	4545
-1,4732	5455
-1,905	6364



No. **5038**

INFORME No. ENSAYO FLEXION 012015 O.T. 34089
INTERESADO: Nelson Geovanni Medrano Aguirre
ASUNTO: ENSAYO FLEXION VIGAS ACERO. FECHA: 07/02/2015



- Cuarta Aplicación
o Deformómetro A

DEF A (mm)	CARGA (Kg)
0	0
1,44	1818
1,94	2727
2,46	3636
2,86	4545
3,305	5455
2,75	6364



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



No. **5039**

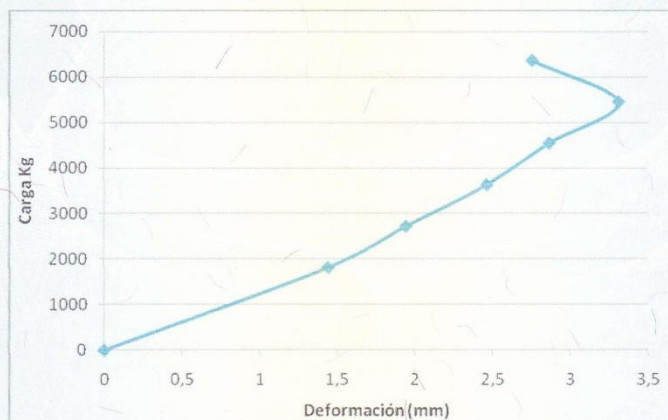
INFORME No. ENSAYO FLEXION 012015

O.T. 34089

INTERESADO: Nelson Giovanni Medrano Aguirre

ASUNTO: ENSAYO FLEXION VIGAS ACERO.

FECHA: 07/02/2015



○ Deformómetro B

DEF B (mm)	CARGA (Kg)
0	0
0,0254	1818
0,0127	2727
0,0635	3636
0,1651	4545
0,3937	5455
0,5715	6364



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



No. 5040

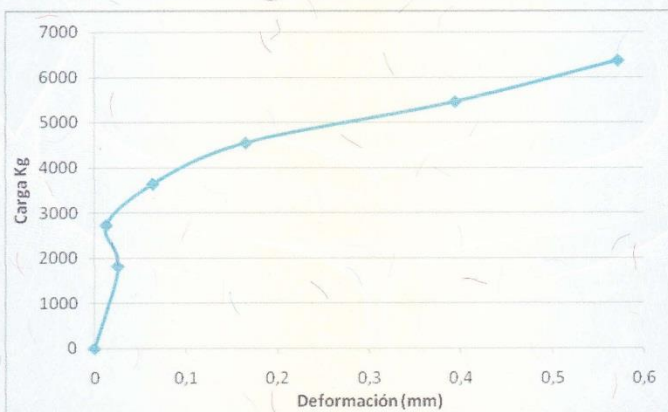
INFORME No. ENSAYO FLEXION 012015

O.T. 34089

INTERESADO: Nelson Geovanni Medrano Aguirre

ASUNTO: ENSAYO FLEXION VIGAS ACERO.

FECHA: 07/02/2015



o Deformómetro C

DEF C (mm)	CARGA (kg)
0	0
-1,5494	1818
-3,0988	2727
-5,1054	3636
-7,366	4545
-8,9408	5455
-11,7348	6364



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



No. **5041**

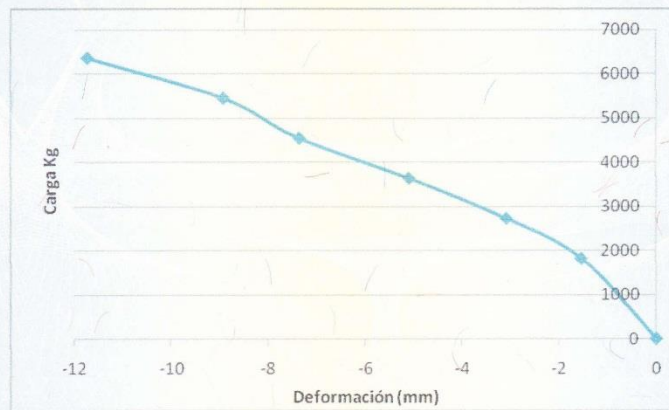
INFORME No. ENSAYO FLEXION 012015

O.T. 34089

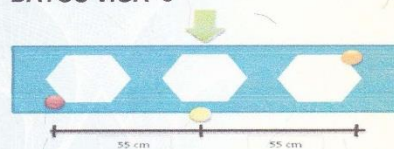
INTERESADO: Nelson Giovanni Medrano Aguirre

ASUNTO: ENSAYO FLEXION VIGAS ACERO.

FECHA: 07/02/2015



DATOS VIGA 3





No. **5042**

INFORME No. ENSAYO FLEXION 012015

O.T. 34089

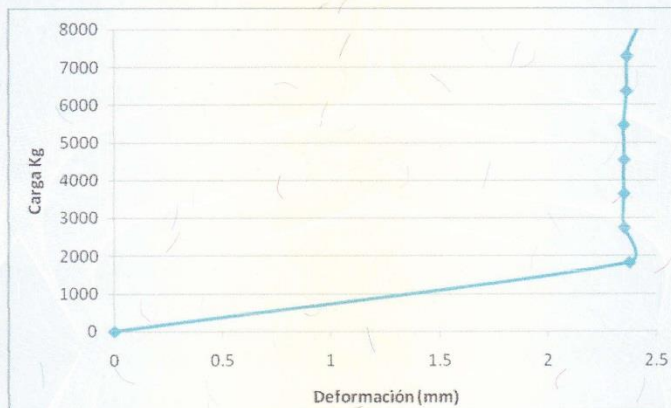
INTERESADO: Nelson Geovanni Medrano Aguirre

ASUNTO: ENSAYO FLEXION VIGAS ACERO.

FECHA: 07/02/2015

○ Deformómetro A

DEF A (mm)	CARGA (Kg)
0	0
2.3749	1818
2.3495	2727
2.3495	3636
2.3495	4545
2.3495	5455
2.3622	6364
2.3622	7273
2.4257	8182





No. **5043**

INFORME No. ENSAYO FLEXION 012015

O.T. 34089

INTERESADO: Nelson Giovanni Medrano Aguirre

ASUNTO: ENSAYO FLEXION VIGAS ACERO.

FECHA: 07/02/2015

○ Deformómetro B

DEF B	CARGA (Kg)
0	0
0.925	1818
1.71	2727
2.02	3636
2.3	4545
2.52	5455
2.77	6364
3.06	7273
3.35	8182





No. **5044**

INFORME No. ENSAYO FLEXION 012015

O.T. 34089

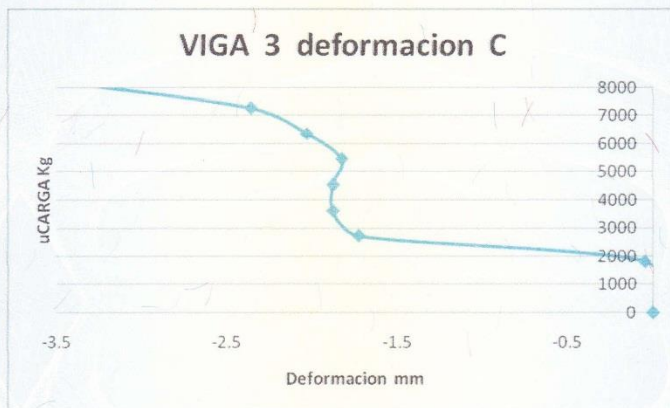
INTERESADO: Nelson Geovanni Medrano Aguirre

ASUNTO: ENSAYO FLEXION VIGAS ACERO.

FECHA: 07/02/2015

○ Deformómetro C

DEF C	CARGA (Kg)
0	0
-0.0508	1818
-1.7272	2727
-1.8796	3636
-1.8796	4545
-1.8288	5455
-2.032	6364
-2.3622	7273
-3.429	8182





No. **5045**

INFORME No. ENSAYO FLEXION 012015

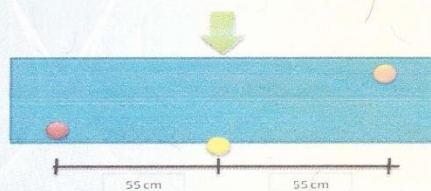
O.T. 34089

INTERESADO: Nelson Giovanni Medrano Aguirre

ASUNTO: ENSAYO FLEXION VIGAS ACERO.

FECHA: 07/02/2015

DATOS VIGA 4



PRIMERA CARGA

Deformometro A

DEF A	CARGA (kg)
0	0
0,2667	1818
0,2667	2727
0,2794	3636
0,2921	4545
0,3048	5455
0,3048	6364
0,3048	7273
0,3556	8182
0,4064	9091
0,4699	10000
0,5334	10909
0,6477	11818



No. **5046**

INFORME No. ENSAYO FLEXION 012015

O.T. 34089

INTERESADO: Nelson Giovanni Medrano Aguirre

ASUNTO: ENSAYO FLEXION VIGAS ACERO.

FECHA: 07/02/2015



Deformometro B

DEF B	CARGA (kg)
0	0
1,52	1818
2,75	2727
3,015	3636
3,26	4545
3,47	5455
3,69	6364
3,91	7273
4,16	8182
4,405	9091
4,61	10000
4,82	10909
5,06	11818



No. **5047**

INFORME No. ENSAYO FLEXION 012015 O.T. 34089
INTERESADO: Nelson Giovanni Medrano Aguirre
ASUNTO: ENSAYO FLEXION VIGAS ACERO. FECHA: 07/02/2015



Deformometro C

DEF C	CARGA (kg)
0	0
16,3068	1818
16,2306	2727
16,1036	3636
16,002	4545
15,8242	5455
15,6464	6364
15,494	7273
15,3162	8182
15,0876	9091
14,7828	10000
14,2494	10909
13,208	11818



No. **5048**

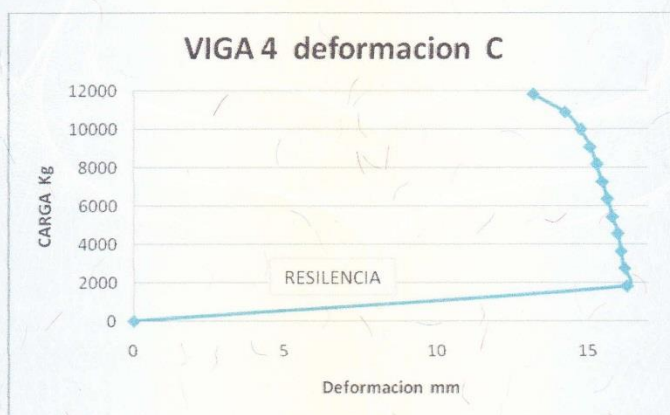
INFORME No. ENSAYO FLEXION 012015

O.T. 34089

INTERESADO: Nelson Geovanni Medrano Aguirre

ASUNTO: ENSAYO FLEXION VIGAS ACERO.

FECHA: 07/02/2015



SEGUNDA CARGA

Deformación A

DEF A	CARGA (Kg)
0	1818
-0,0127	3636
0,0254	5455
0,1016	7273
0,1651	9091
0,2032	10909
0,381	12727
0,7112	13636
0,6858	13636
2,8956	13909



No. **5049**

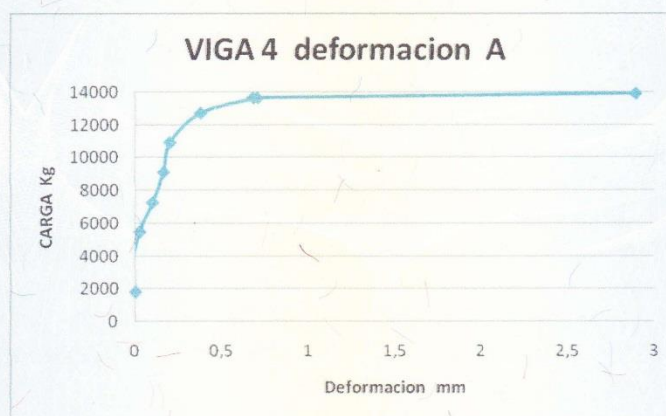
INFORME No. ENSAYO FLEXION 012015

O.T. 34089

INTERESADO: Nelson Giovanni Medrano Aguirre

ASUNTO: ENSAYO FLEXION VIGAS ACERO.

FECHA: 07/02/2015



Deformación B

DEF B	CARGA (Kg)
0	1818
0,55	3636
0,9	5455
1,3	7273
1,71	9091
2,04	10909
2,4	12727
2,67	13636
2,685	13636



No. **5050**

INFORME No. ENSAYO FLEXION 012015 O.T. 34089
INTERESADO: Nelson Geovanni Medrano Aguirre
ASUNTO: ENSAYO FLEXION VIGAS ACERO. FECHA: 07/02/2015



Deformación C

DEF C	CARGA (Kg)
0	1818
-0,2286	3636
-0,381	5455
-0,7112	7273
-1,27	9091
-1,4986	10909
-4,2926	12727
-7,5438	13636
-7,7724	13636



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



No. **5051**

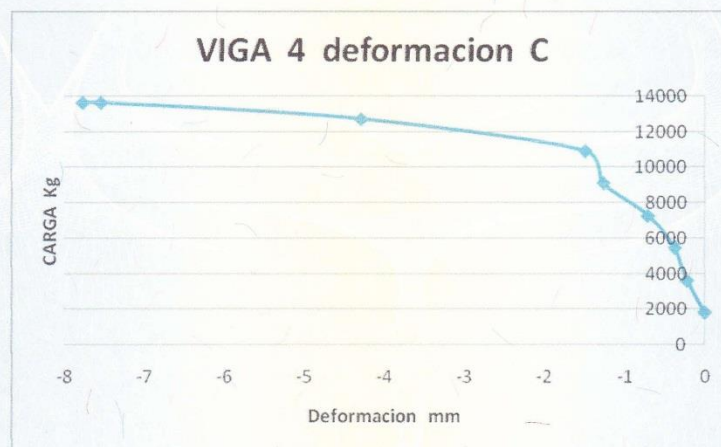
INFORME No. ENSAYO FLEXION 012015

O.T. 34089

INTERESADO: Nelson Giovanni Medrano Aguirre

ASUNTO: ENSAYO FLEXION VIGAS ACERO.

FECHA: 07/02/2015



POR LA FORMA DE REALIZAR EL ENSAYO, AL DESCARGAR Y APLICAR NUEVAMENTE LA CARGA SE AUMENTO LA TENASIDAD DEL ELEMENTO.



No. **5052**

INFORME No. ENSAYO FLEXION 012015

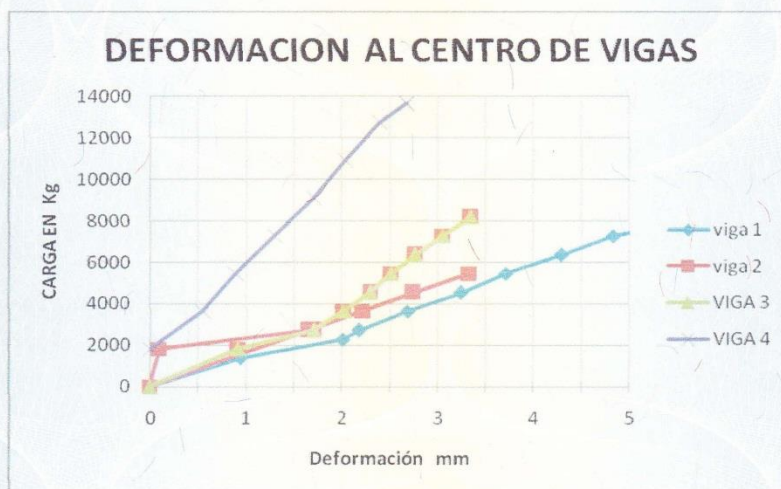
O.T. 34089

INTERESADO: Nelson Giovanni Medrano Aguirre

ASUNTO: ENSAYO FLEXION VIGAS ACERO.

FECHA: 07/02/2015

RESUMEN



OBSERVACIONES

Por la forma de aplicación de las cargas, como consecuencia de la evaluación que las muestras fueron ensayadas, la direccionalidad de la carga, provoca:

- 1- Que el efecto de esbeltez en las vigas, hace que las mismas aumenten su deformación por flexión por la torsión.
- 2- Las aberturas, tanto en sus dimensiones como en su cantidad influye en el comportamiento a flexión de las mismas.



No. **5053**

INFORME No. ENSAYO FLEXION 012015 O.T. 34089
INTERESADO: Nelson Geovanni Medrano Aguirre
ASUNTO: ENSAYO FLEXION VIGAS ACERO. FECHA: 07/02/2015

- 3- La relación de aberturas en cuanto a la altura y longitud de cada una de ellas (espacios), mejoran cuando su relación se encuentra en un rango de 0.85 a 1.15.
- 4- La ubicación de la abertura en la zona central de la longitud de la viga entre apoyos, contribuye a la disminución de su resistencia tanto por la acción de la flexión directa como por efecto de torsión.

VIGA 3

- Las diferentes ubicaciones de los deformómetros se realizó con la idea de confirmar la posición más crítica de la muestra a evaluar.
- La resiliencia del sistema se considera, estar en el rango de los 1800 kilogramos
- Con el tercer cambio drástico se llega al límite del colapso
- La deflexión máxima aceptable se encuentra en el orden de los 7000 kg, para una deflexión del orden de los 2.77 mm
- Cuando se excede su deflexión máxima permisible (teórica) se alcanza el límite de falla

VIGA 2

- En los 1800 kg se considera que encuentra la resiliencia del sistema.
- Entre las cargas de 1800 kg a 2700 kg la muestra muestra un acomodamiento.
- A partir de los 2700 kg a los 5000 kg se evidencia el efecto de la torsión, posterior a esto se inicia la zona de colapso



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



No. 5054

INFORME No. ENSAYO FLEXION 012015 O.T. 34089
INTERESADO: Nelson Geovanni Medrano Aguirre
ASUNTO: ENSAYO FLEXION VIGAS ACERO. FECHA: 07/02/2015

VIGA 1

- La resiliencia para esta muestra se encuentra a la altura de los 1300 kg.
- Cuando el sistema sobre los 1300 Kg pierde estabilidad.
- Pasado los 2700 kg la torsión se desarrolla a tal punto que hace la muestra inestable

CONCLUSIONES

Las muestras 1,2, 3 evidencia debilidad torsional, tanto por esbeltez como por las condiciones de las dimensiones y ubicación de las aberturas
Existe la posibilidad de la debilidad del sistema por acción del manipuleo, transporte y al proceso de corte y soldadura.

RECOMENDACIONES

Evitar la ubicación de aberturas en la zona central a una distancia mayor de 2 veces su peralte en ambos sentidos de la mitad de la luz entre apoyos, a si también a 2 veces el peralte de la viga medido desde la distancia entre la cara de apoyo hacia el centro.

Atentamente,


Ing. Mario Rodolfo Corzo
JEFE SECCIÓN ESTRUCTURAS, C.A.


Ing. Telma Maricela Cano Morales
DIRECTORA
CENTRO DE INVESTIGACIONES

Equipo de Centro de Investigación de Ingeniería – Unidad de Prefabricados



Fuente: Unidad de Prefabricados, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, Septiembre 2014.

