

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

**ESTUDIO EXPERIMENTAL DE COLUMNAS TUBULARES EN
LÁMINA DELGADA DE ACERO RELLENAS DE HORMIGÓN,
SOMETIDAS A FLEXIÓN.**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL
MENCIÓN ESTRUCTURAS.**

EDISON OSWALDO MEJÍA VILLEGAS

huedo666@hotmail.com

RAFAEL EDUARDO PADILLA SOSAPANTA

edu-320@live.com

DIRECTOR: ING. JORGE RICARDO VINTIMILLA JARAMILLO MSc.

jvintimilla@gmail.com

Quito, marzo 2017

DECLARACIÓN

Nosotros, EDISON OSWALDO MEJÍA VILLEGAS y RAFAEL EDUARDO PADILLA SOSAPANTA, declaramos que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado por ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Edison Oswaldo
Mejía Villegas

Rafael Eduardo
Padilla Sosapanta

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por EDISON OSWALDO MEJÍA VILLEGAS y RAFAEL EDUARDO PADILLA SOSAPANTA. Bajo mi supervisión.

Ing. Jorge Vintimilla MSc.
DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer de manera muy cordial, a la Escuela Politécnica Nacional por acogernos en sus aulas, facilitar su infraestructura para nuestro crecimiento profesional, a su personal docente y administrativo por su colaboración.

Al cuerpo docente por compartirnos todos sus conocimientos, por su ayuda en nuestro crecimiento tanto personal como técnico.

A nuestros compañeros y amigos por compartir todas las vivencias universitarias y la ayuda brindada para mejorar todos los días como persona.

Al Ingeniero Jorge Vintimilla por toda la colaboración y tiempo brindado, para la elaboración de este estudio, por la experiencia y conocimiento compartido en todo este tiempo como estudiantes universitarios.

DEDICATORIA

A las personas que sacrificaron sus zapatos para que yo pudiera caminar de forma cómoda por este sendero intelectual, a mis abuelos Teresa y Oswaldo, y a mi madre María del Carmen, mis ejemplos de vida.

A mis hermanos que me acompañaron durante esta etapa Paúl y Verónica, y mi casi hermano Andrés mi mejor amigo, ellos me empujaron a salir adelante en los momentos más difíciles.

EDISON OSWALDO MEJÍA VILLEGAS

DEDICATORIA

A mis padres, que aunque ya no estén conmigo, se sacrificaron y apoyaron, dándome fuerza para siempre seguir adelante y nunca darme por vencido en los momentos más difíciles.

A mi familia y amigos que han estado a mi lado en el camino para lograr esta meta.

A mis profesores que con cada enseñanza han ido aportando un granito de arena para forjar la base para mi futuro.

RAFAEL EDUARDO PADILLA SOSAPANTA

CONTENIDO

DECLARACIÓN	II
CERTIFICACIÓN	III
AGRADECIMIENTOS	IV
DEDICATORIA	V
CONTENIDO	VII
LISTA DE CUADROS	XI
LISTA DE FOTOGRAFÍAS	XII
RESUMEN	XIII
ABSTRACT	XIV
PRESENTACIÓN	XV
CAPITULO 1	1
GENERALIDADES	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 OBJETIVOS	1
1.2.1 OBJETIVO GENERAL	1
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	1
1.3 JUSTIFICACIÓN	2
1.4 GENERALIDADES DE LOS MATERIALES	2
1.4.1 ACERO ESTRUCTURAL	2
1.8.1.1 FORMULAS EURO CÓDIGO	16
CAPITULO 2	19
ANÁLISIS TEORICO MATEMÁTICO	19
2.1 PROBETAS A ENSAYAR	19
2.2 CARGA AXIAL EN COLUMNAS	21
2.3 DISEÑO AXIAL DE MIEMBROS COMPUESTOS RELLENOS	23
2.3.1 DISEÑO DE MIEMBROS COMPUESTOS RELLENOS SUJETOS A CARGA AXIAL SEGÚN EL CÓDIGO AISC 360-16.	23
2.3.1.1 Miembros compuestos rellenos de hormigón	23
CAPITULO 3	35
FLEXIÓN	35
3.1 DISEÑO A FLEXIÓN DE MIEMBROS COMPUESTOS RELLENOS	36
3.1.1 Diseño de miembros compuestos rellenos sujetos a flexión según el código AISC 360-16.	36
3.1.1.1 Miembros Compuestos Rellenos de Hormigón	36
3.1.2 Cálculos de Miembros Compuestos HSS Rellenos sujetos a Flexión según el CÓDIGO AISC 360-16.	36
3.2 DISEÑO A FLEXIÓN METODO AISI MODIFICADO.	42
3.2.1 Patín y alma compactos.	42
3.2.2 Patín compacto y alma no compacto.	43

3.2.3 Patín no compacto y alma compacto.	44
3.2.4 Patín no compacto y alma no compacto.	45
3.2.5 Patines esbeltos.	46
CAPITULO 4	47
ENSAYOS DE LABORATORIO	47
4.1 CONSTRUCCIÓN DE MUESTRAS.....	47
4.2 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO.....	49
CAPITULO 5	53
RESULTADOS EXPERIMENTALES	53
5.1 CALCULO DEL MOMENTO FLECTOR	53
5.1.1 CONSTANTE EI.....	54
5.2 ENSAYO 1. COLUMNA RELLENA DE HORMIGÓN 2C 200X200X3.....	55
5.2.2 RESULTADO	56
5.3 ENSAYO 2. COLUMNA RELLENA DE HORMIGÓN 2C 200X200X2.....	58
5.3.2 RESULTADOS	59
5.4 ENSAYO 3. COLUMNA RELLENA DE HORMIGÓN 2C 200X50X2, 2C 200X100X2.	62
5.4.2 RESULTADOS	63
5.5 ENSAYO 4. COLUMNA RELLENA DE HORMIGÓN 2C 200X50X3, 2C 200X100X3.	66
5.5.2 RESULTADOS	68
5.6 ENSAYO 5. COLUMNA RELLENA DE HORMIGÓN 2C 300X300X2.....	70
5.6.2 RESULTADOS	71
5.7 ENSAYO 6. COLUMNA RELLENA DE HORMIGÓN 2C 200X50X3, 4C 150X50X3.	74
5.7.2 RESULTADOS	75
5.8 ENSAYO 7. COLUMNA RELLENA DE HORMIGÓN 2C 200X50X2, 4C 150X50X2.	77
5.8.2 RESULTADOS	78
5.9 ENSAYO 8. COLUMNA RELLENA DE HORMIGÓN 2C 300X300X3.....	80
5.9.2 RESULTADOS	82
CAPITULO 6	85
MODELOS COMPUTACIONALES	85
6.2 MODELACIÓN DE COLUMNAS	85
6.2.1 RESULTADOS OBTENIDOS PARA LA COLUMNA 200X200X2	88
6.2.2 RESULTADOS OBTENIDOS PARA LA COLUMNA 200X200X3	89
6.2.3 RESULTADOS OBTENIDOS PARA LA COLUMNA 300X300X2	91
6.2.4 RESULTADOS OBTENIDOS PARA LA COLUMNA 300X300X3	92
CAPITULO 7	95
ANÁLISIS DE RESULTADOS	95
7.1 COMPARACIÓN DE ANÁLISIS DE CARGA AXIAL	95
7.2 COMPARACIÓN DE ANÁLISIS A FLEXIÓN	98
CAPITULO 8	108
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	108

8.1 CONCLUSIONES	108
8.2 RECOMENDACIONES	110
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	111
ANEXOS	113

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Diagrama esfuerzo-deformación unitario.....	3
Figura 1.2 Diagrama esfuerzo-deformación unitario del acero	4
Figura 1.3 Diagrama de relación tensión por deformación del acero A36 y A50.....	7
Figura 1.4 Laminado en caliente	7
Figura 1.5 Curva esfuerzo-deformación unitario del hormigón	11
Figura 1.6 Miembros compuestos embebidos	13
Figura 1.7 Miembros compuestos rellenos.....	13
Figura 1.8 Vigas compuestas de corte	14
Figura 1.9 Losa compuesta.....	14
Figura 1.10 Strain Gages adherido al acero	18
Figura 2.1 Carga Axial Concéntrica.....	21
Figura 2.2 Carga Axial Excéntrica	22
Figura 3.1 Flexión en vigas	35
Figura 3.2 Flexión en columnas	35
Figura 3.3 Distribución de fuerzas y momento plástico.	37
Figura 3.4 Distribución de fuerzas y momento de fluencia	38
Figura 3.5 Distribución de fuerzas y momento de fluencia	39
Figura 5.1 Esquema de cálculo experimental.....	53
Figura 5.2 Curva de carga vs desplazamiento	56
Figura 5.3 Curva de momento vs deflexión	57
Figura 5.4 Curva de carga vs desplazamiento unitario.....	57
Figura 5.26 Curva de carga vs desplazamiento	78
Figura 6.1 Modelación de columnas.....	86
Figura 6.2 Aplicación de fuerzas en el modelo	86
Figura 6.3 Diseño de columnas según AISC 360-10.....	87
Figura 7.1 Capacidad de la columna 200x200x2.....	96
Figura 7.2 Capacidad de la columna 200x200x3.....	96
Figura 7.3 Capacidad de la columna 300x300x2.....	97
Figura 7.4 Capacidad de la columna 300x300x3.....	97
Figura 7.5 Capacidad de la columna 200x200x2.....	99
Figura 7.6 Capacidad de la columna 200x200x3.....	99
Figura 7.7 Capacidad de la columna 300x300x2.....	100
Figura 7.8 Capacidad de la columna 300x300x3.....	100
Figura 7.9 Capacidad de la columna 200x200x2.....	101
Figura 7.10 Capacidad de la columna 200x200x3.....	102
Figura 7.11 Capacidad de la columna 300x300x2.....	102
Figura 7.12 Capacidad de la columna 300x300x3.....	103
Figura 7.13 Capacidad de la columna 200x200x2.....	104
Figura 7.14 Capacidad de la columna 200x200x3.....	104
Figura 7.15 Capacidad de la columna 300x300x2.....	105
Figura 7.16 Capacidad de la columna 300x300x3.....	105
Figura 7.17 Capacidades axiales de las columnas según su espesor.....	106
Figura 7.18 Capacidades a flexión de las columnas según su espesor.....	106
Figura 7.19 Capacidades de fluencia de las columnas según su espesor.....	107

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1.1 Norma ASTM para acero A36, propiedades químicas	5
Cuadro 1.2 Norma ASTM para acero A36, propiedades mecánicas	6
Cuadro 1.3 norma ASTM para acero A50, propiedades químicas.....	6
Cuadro 1.4 Norma ASTM Para acero A50, propiedades mecánicas	6
Cuadro 1.5 Ficha técnica de ELECRO E-6011.....	12
Cuadro 2.1 Tipos de probetas para ensayo	19
Cuadro 2.2 Relación ancho-espesor límites para carga axial.....	23
Cuadro 2.3 Propiedades de la sección compuesta 200x200x2	26
Cuadro 2.4 Propiedades de la sección compuesta 200x200x3	27
Cuadro 2.5 Propiedades de la sección compuesta 300x300x2	28
Cuadro 2.6 Propiedades de la sección compuesta 300x300x3	29
Cuadro 2.7 Clasificación de las secciones compuestas sin atiesadores.....	30
Cuadro 2.8 Resistencia axial nominal	30
Cuadro 2.9 Propiedades de la sección compuesta 200x200x2	30
Cuadro 2.10 Propiedades de la sección compuesta 200x200x3	31
Cuadro 2.11 Propiedades de la sección compuesta 300x300x2	32
Cuadro 2.12 Propiedades de la sección compuesta 300x300x3	33
Cuadro 2.13 Clasificación de la sección compuesta para AX.....	34
Cuadro 2.14 Resistencia axial nominal	34
Cuadro 3.1 Relación ancho-espesor límites para flexión.....	36
Cuadro 3.2 Clasificación de la sección compuesta sin atiesadores.....	41
Cuadro 3.3 Ubicación del eje neutro y brazos de palanca.....	41
Cuadro 3.4 Fuerzas de compresión y tracción	41
Cuadro 3.5 Momentos resistentes.....	41
Cuadro 3.6 Clasificación de la sección compuesta con atiesadores.....	41
Cuadro 3.7 Ubicación del eje neutro y brazos de palanca.....	42
Cuadro 3.8 fuerzas de compresión y tracción	42
Cuadro 3.9 Momentos resistentes.....	42
Cuadro 6.1 Capacidad de las columnas según ETABS.....	94
Cuadro 7.1 Esbeltez de las secciones compuestas	95
Cuadro 7.2 Capacidades de carga axial.....	95
Cuadro 7.3 Esbeltez de las secciones compuestas para flexión	98
Cuadro 7.4 Esbeltez de las secciones compuestas para flexión	98
Cuadro 7.5 Momento de fluencia teórico y experimental.....	101
Cuadro 7.6 Momento de plastificación teórico y experimental.....	103

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1.1 Perfil G laminado en frío	8
Fotografía 1.2 Perfil Soldado.....	9
Fotografía 4.1 Soldado de perfiles	47
Fotografía 4.2 Apuntalado de columnas.....	48
Fotografía 4.3 Columnas rellenas de hormigón.....	49
Fotografía 4.4 Marco de carga en laboratorio	50
Fotografía 4.5 Cilindros.....	50
Fotografía 4.6 Colocación de cilindros en el ensayo	51
Fotografía 4.7 Instalación de strain gages.....	51
Fotografía 4.8 Probeta lista para ser ensayada.....	52
Fotografía 5.1 Aplicación de cargas para las diferentes probetas	54
Fotografía 5.2 Ensayo y fallas resultantes del ensayo 1.....	55
Fotografía 5.3 Ensayo y fallas resultantes del ensayo 2.....	58
Fotografía 5.4 Ensayo y fallas resultantes del ensayo 3.....	62
Fotografía 5.5 Ensayo y fallas resultantes del ensayo 4.....	67
Fotografía 5.6 Ensayo y fallas resultantes del ensayo 5.....	70
Fotografía 5.7 Ensayo y fallas resultantes del ensayo 6.....	74
Fotografía 5.8 Ensayo y fallas resultantes del ensayo 7.....	77
Fotografía 5.9 Ensayo y fallas resultantes del ensayo 8.....	81

RESUMEN

En la actualidad de la construcción en el país, se ha aumentado el uso del acero, especialmente en estructuras de magnitudes significativas. Por esta razón el estudio del acero gana importancia, y en este documento se pretende generar información experimental de secciones compuestas, llamadas así a las secciones tubulares de acero estructural rellenas de hormigón.

Las secciones compuestas respecto a otro sistema constructivo tiene la ventaja de una más alta capacidad de resistencia, colaborando con menos peso a la estructura. La normativa donde se toma en cuenta las secciones compuestas son los códigos AISC americanos y el Euro código. En la sección correspondiente al "Pandeo" se contemplan las relaciones ancho-espesor que deben cumplirse para evitar las fallas por dicha condición.

Para este estudio se procedió a la construcción de 8 probetas, de una altura estándar, y geometría cuadrada, en acero A50. Se diseñaron las secciones para que sobrepasen los límites establecidos por los códigos, para poder obtener elementos esbeltos y ser ensayados a flexión.

ABSTRACT

At the moment in the country, use of the steel has been increased on construction, especially in structures of significant magnitudes. For this reason, the study of steel gained importance, and in this document is intended to generate experimental information of composite sections, so called to tubular sections of structural steel filled with concrete.

The composite sections with respect to another constructive system have the advantage of a higher capacity of resistance, collaborating with less weight to the structure. The rules in which the composite sections are taken into account are the American AISC codes and the Euro code. In the section corresponding to the "Buckling ", the broad-thickness relationships that must be fulfilled are contemplated to avoid failures due to this condition.

For this study, we proceeded to the construction of 8 specimens, of a standard height, and square geometry, in steel A50. The sections were designed to exceed the limits established by the codes, in order to obtain slender elements and be tested in flexion.

PRESENTACIÓN

Los capítulos del presente proyecto se dividen de la siguiente manera:

El primer Capítulo, presenta una introducción de manera breve sobre lo que va a tratar el proyecto, los objetivos y generalidades así también un sencillo resumen de los materiales y códigos de referencia, y finaliza con los instrumentos de laboratorio necesarios para realizar los ensayos.

El segundo Capítulo, especifica dimensiones de las probetas a ensayar y las propiedades de los materiales, un cálculo teórico del comportamiento de los elementos ensayados basados en la carga axial.

El tercer capítulo, abarca el cálculo teórico del comportamiento de los elementos ensayados en base a la flexión.

El cuarto Capítulo, describe la elaboración de los elementos compuestos, y la preparación para los ensayos de los instrumentos necesarios de laboratorio.

El quinto Capítulo, contiene la información facilitada por los instrumentos de medición del laboratorio luego de haber terminado los ensayos de las probetas.

El sexto Capítulo, contiene la modelación computacional en el programa ETABS 2015, se menciona el programa SAP 2000, pero este programa no nos permite la modelación de elementos compuestos.

El séptimo Capítulo, analiza los resultados obtenidos a través de los diferentes métodos de cálculo, modelación y los ensayos de laboratorio de las probetas ensayadas.

El octavo Capítulo, en base a los resultados obtenidos contiene las conclusiones a las que se llega a través de todo el proceso realizado en este documento, además de recomendaciones para futuros proyectos de este tipo.

CAPITULO 1

GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

En estructuras de edificios, las columnas son los elementos más importantes, por medio de estos miembros verticales se logra transmitir las cargas hacia la cimentación. Comúnmente diseñadas en hormigón armado y acero, pero también por requerimientos extras de sollicitación que no satisfacen los diseños anteriores existe la opción de las secciones compuestas; por la ventaja de su alta resistencia, su relación Peso-Resistencia y su capacidad de cubrir grandes luces mejora el resultado para un diseño eficiente y económico.

Para diseño de secciones compuestas se integra dos materiales cotidianos usados en la construcción a los que estamos familiarizados al realizar diseños estructurales. A través de este estudio experimental y los resultados obtenidos, vamos a ayudar a comprender el comportamiento de las columnas tubulares compuestas sometidas a carga axial, así como también el fenómeno del pandeo local.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar por medio de estudios experimentales el comportamiento de las columnas tubulares compuestas frente al pandeo local.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar los resultados obtenidos de los estudios experimentales de compresión.
- Determinar la ductilidad a curvatura del elemento compuesto sujeto a pandeo local.

- Comparar experimentalmente los planteamientos modernos que analizan el problema.
- Plantear soluciones y recomendaciones, con el fin de proporcionar información para futuros diseños.

1.3 JUSTIFICACIÓN

La construcción en acero dentro del país está siendo cada vez más utilizada, por sus cortos periodos de ejecución, peso y resistencia de este material; ya es normal ver estructuras mixtas conformadas por perfiles metálicos y losas de hormigón, por lo que es de gran importancia saber los límites de resistencia de estas estructuras compuestas.

Los elementos de acero tubulares al estar sometidos a cargas dinámicas o estáticas, puede producirse el fenómeno de pandeo local, capaz de causar pérdida de resistencia y rigidez del elemento y en el caso extremo el colapso del mismo. Al no haber suficientes estudios experimentales que contribuyan a resolver el problema de diseño de estructuras compuestas, en esta tesis nos proponemos contribuir con información válida sobre el comportamiento de columnas tubulares compuestas sometidas a carga axial para el correcto diseño y construcción.

1.4 GENERALIDADES DE LOS MATERIALES

1.4.1 ACERO ESTRUCTURAL

El acero estructural es uno de los materiales básicos más usados en la construcción de estructuras, como puentes, edificaciones, muelles, túneles, estadios, etc. Es un material que se obtiene de la naturaleza con su principal componente el hierro, es una aleación de elementos sometidos a grandes temperaturas y porcentajes de carbón que crean sus características de resistencia y flexibilidad.

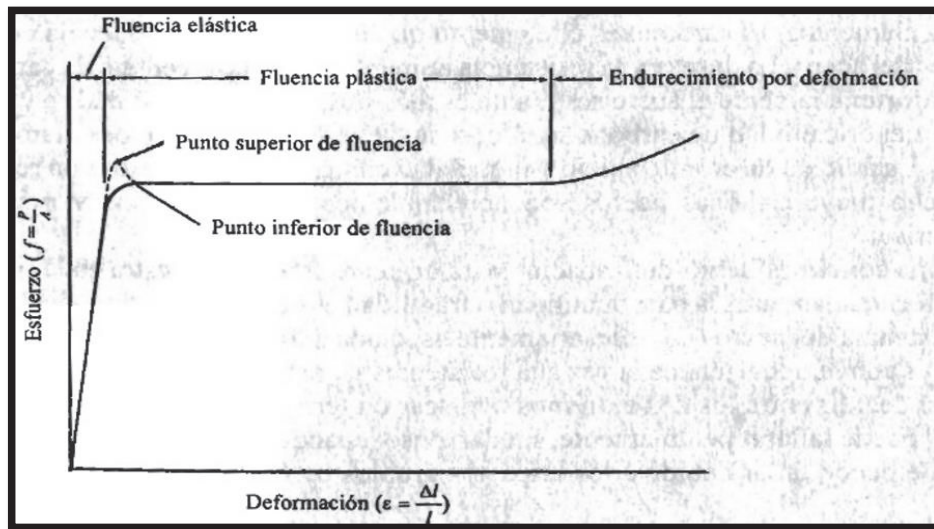
Las propiedades mecánicas del acero estructural son:

- Esfuerzo de fluencia (F_y)
- Resistencia Última (F_u)
- Módulo de elasticidad (E) $29000[\text{ksi}]=2043000[\text{kg}/\text{cm}^2]$
- Deformación unitaria en la rotula

- Módulo de elasticidad por corte $11200[\text{ksi}]=789100[\text{kg/cm}^2]$
- Relación de Poisson 0.30
- Módulo de rigidez (G)

En la figura 1.1 se representa el esfuerzo unitario y las deformaciones unitarias del acero estructural. El diagrama esfuerzo-deformación representa la conducta del acero sometido a fuerzas externas e internas.

Figura 1.1 Diagrama esfuerzo-deformación unitario

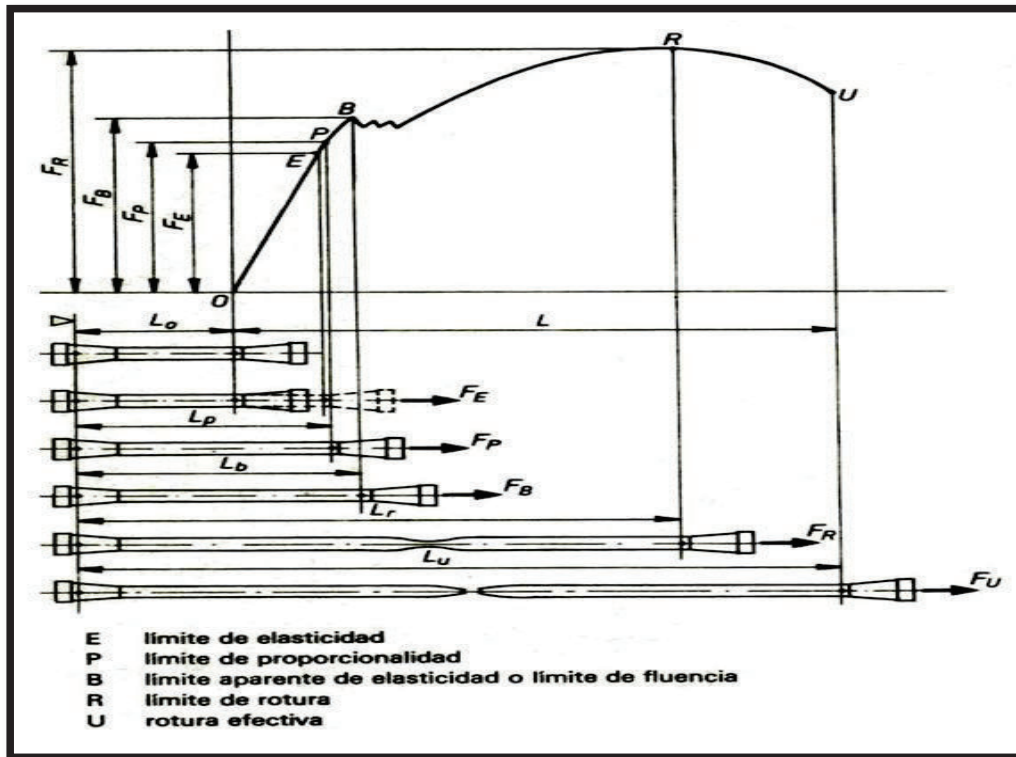


Fuente: Jack C. McCormac, Diseño de Estructuras de Acero, segunda edición 2002

La pendiente de la gráfica Esfuerzo - Deformación en el rango elástico, representa el Módulo de Elasticidad (E). La fluencia plástica que se observa en la **Figura 1.1** es un incremento violento en la deformación sin su proporcional incremento en el esfuerzo.

En la Figura 1.2 se observa el esfuerzo de fluencia F_y representado por F_b , y el límite de rotura F_u representado por F_r .

Figura 1.2 Diagrama esfuerzo-deformación unitario del acero



Fuente: Diagrama esfuerzo-deformación. Recuperado de <http://www.monografias.com/trabajos72/diagrama-esfuerzo-deformacion/diagrama-esfuerzo-deformacion2.shtml>

1.4.1.1 Ventajas y desventajas del acero estructural

Como principales ventajas tenemos:

Alta resistencia: su uso estructural implica que el peso será relativamente bajo en comparación al uso de otros materiales, y es importante disminuir el peso de la estructura.

Uniformidad: el acero y sus propiedades no cambian en función del tiempo.

Elasticidad: el comportamiento del acero se acerca más a las hipótesis de diseño, en comparación al comportamiento de otros materiales como el hormigón armado.

Ductilidad: como propiedad de un material a soportar grandes deformaciones sin fallar bajo altos esfuerzos de tensión, el acero tiene una gran ventaja por su deformación última y de rotura observada en la Figura 1.2, su sección transversal va disminuyendo y se alarga en el punto de falla antes de producirse la fractura.

Tenacidad: como capacidad de un material para absorber grandes cantidades de energía, el acero tiene la ventaja de ser dúctil y resistente, capaz de tomar formas y

ser modelado a las formas que la estructura necesite con mínimo cambio en estas propiedades.

Reutilización: por su facilidad de desmontaje y al ser un material fundible es reusable después de un proceso.

Desventajas como material estructural:

Costo de mantenimiento: al ser un material susceptible a la corrosión, por estar expuesto al aire y agua se debe pintar periódicamente.

Susceptibilidad al pandeo: mientras más altos y esbeltos sean los elementos a compresión, más aumenta el peligro de pandeo.

Fractura frágil: en caso de soldaduras mal hechas o en ciertas condiciones, el acero puede perder su ductilidad y en lugares de concentración de esfuerzos se puede producir este tipo de falla.

1.4.1.2 Acero ASTM A36 (American Society for Testing and Materials)

El A36 es la aleación más común de acero, que se usa en la mayoría de obras en construcción sea en vigas, columnas, y otros elementos estructurales.

El esfuerzo de fluencia mínimo (F_y) que proporciona el A36 es de 36 [ksi=klb/pulg²].

$F_y=36$ [ksi=klb/pulg²]

Las propiedades del acero ASTM A36 son:

Cuadro 1.1 Norma ASTM para acero A36, propiedades químicas

Composición Química	
Carbono (C)	0.26 % máx.
Manganeso (Mn)	Sin requisito
Fósforo (P)	0.04 % máx.
Azufre (S)	0.05 % máx.
Silicio (Si)	0.40 % máx.
Cobre (Cu)*	0.20 % máx.
* cuando se especifique	

Fuente: NORMA ASTM ACERO A36
Elaborado: Mejía Edison, Padilla Rafael

Cuadro 1.2 Norma ASTM para acero A36, propiedades mecánicas

Propiedades Mecánicas					
Límite de fluencia mínimo		Resistencia a la Tracción			
[Mpa]	[Psi]	[Psi]		[Mpa]	
		Min	Max	Min	Max
251	36000	58000	80000	400	550

Fuente: NORMA ASTM ACERO A36
Elaborado: Mejía Edison, Padilla Rafael

1.4.1.3 Acero ASTM A50 (American Society for Testing and Materials)

El A572 GR50 es un acero de alta Resistencia y baja aleación de Columbio-Vanadio, tiene una mayor resistencia que el acero más comúnmente usado al carbón, posee gran ductibilidad, mayor facilidad a la soldadura, dureza y resistencia a la fatiga.

Esta especificación de acero es usada en las estructuras metálicas electro soldadas, por su alta resistencia y disminución de peso.

Cuadro 1.3 norma ASTM para acero A50, propiedades químicas

Composición Química	
Carbono (C)	0.23 % máx.
Manganeso (Mn)	1.23% máx.
Fósforo (P)	0.04 % máx.
Azufre (S)	0.05 % máx.
Silicio (Si)	0.40 % máx.
Cobre (Cu)*	No especificado
* cuando se especifique	

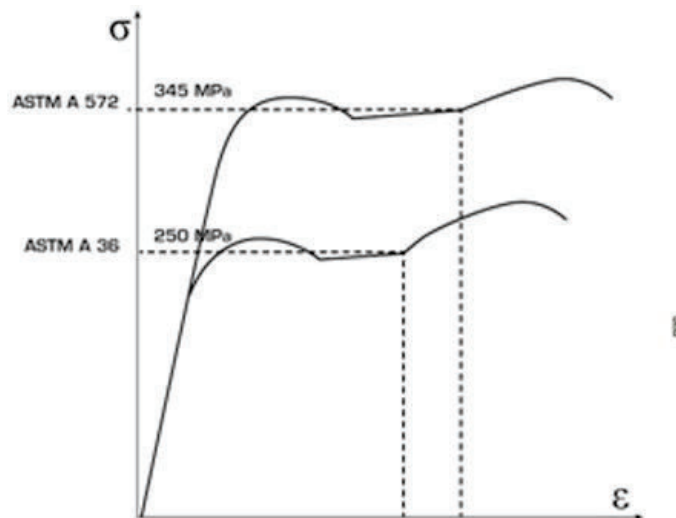
Fuente: NORMA ASTM ACERO A572 GR50
Elaborado: Mejía Edison, Padilla Rafael

Cuadro 1.4 Norma ASTM Para acero A50, propiedades mecánicas

Propiedades Mecánicas					
Límite de fluencia mínimo		Resistencia a la Tracción			
Mpa	Psi	Psi		Mpa	
		Min	Max	Min	Max
345	50000	65000	xx	450	xx

Fuente: NORMA ASTM ACERO A572 GR50
Elaborado: Mejía Edison, Padilla Rafael

Figura 1.3 Diagrama de relación tensión por deformación del acero A36 y A50



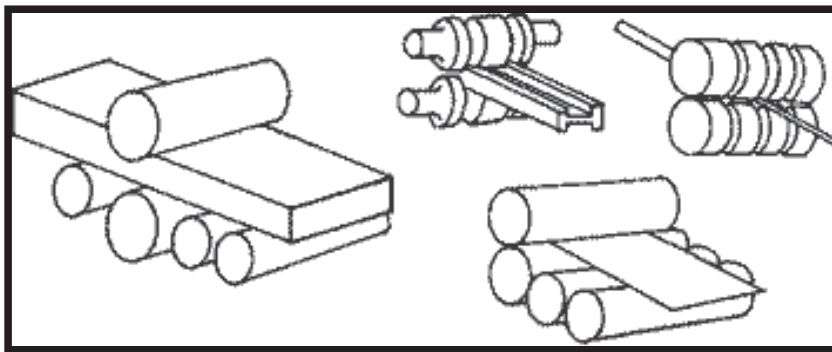
Fuente: Catalogo Ferrocortes.

1.4.1.4 Miembros estructurales en acero

- *Perfiles laminados*

La laminación de los perfiles se obtiene a partir de palanquillas, barras de sección cuadrada de acero de gran longitud, para ser transformadas en barras corrugadas o de un perfil seleccionado de menos tamaño y mayor longitud; el proceso se puede realizar en caliente o frío.

Figura 1.4 Laminado en caliente



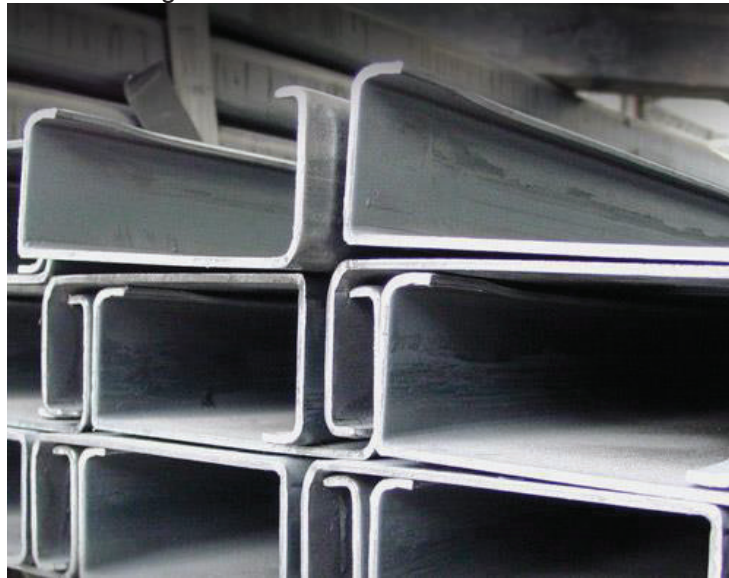
Fuente: laminación en caliente. Recuperado de Metales y Aleaciones <https://materialescf12.wordpress.com/category/acero/>

- ***Perfiles conformados en frío***

El laminado en frío es un proceso para secciones especiales y formas estructurales específicas, que obtienen la rigidez máxima de la sección.

Se realiza mediante un doblado de láminas delgadas, con maquinaria especializada para el acabado en frío.

Fotografía 1.1 Perfil G laminado en frío



Fuente: Catalogo DOPA Manta.

- ***Perfiles soldados***

Son aquellos perfiles formados por planchas planas de acero de gran longitud, cortados, armados y soldados. Permite el uso de varios tipos de espesores y dar variados tipos de formas al perfil.

Fotografía 1.2 Perfil Soldado



Fuente: Tesis Mejía-Padilla, EPN, 2017.

1.5 HORMIGÓN

El Hormigón es un conglomerante similar a la piedra, que al ser mezclado cuidadosamente con el agua, cemento, arena y grava u otros agregados, fragua y se endurece expuesto al aire o incluso al agua en las formas y dimensiones deseadas. El cuerpo del material consiste en agregados finos y gruesos. El cemento y el agua interactúan químicamente para unir las partículas de agregado y conformar una masa sólida.¹

1.5.1 Composición del Hormigón

1.5.1.1 Cemento

Es un conglomerado hidráulico, llamado así porque al contacto con el agua crea una reacción de fraguado y endurecido, tanto al contacto del aire como sumergido en el agua.

Componentes del cemento:

- Clinkeres Portland
- Clinkeres aluminosos
- Escorias siderúrgicas
- Puzolanas naturales
- Cenizas volantes
- Humo de sílice
- Fílleres calizos

¹ Arthur H. Nilson, Diseño de Estructuras en Concreto, 2001

- Reguladores de fraguado

1.5.1.2 Agregados

Ocupando la mayor parte del concreto los polvos, arenas, gravas son los agregados que se utilizan para ocupar los espacios vacíos que van quedando, aportan resistencia. Las arenas (menores a 4mm), las gravas (mayores a 4mm), es de mucha importancia su gradación y que los agregados no tengan impurezas, se recomienda el uso de los agregados de clase silíceos para contribuir con resistencia al hormigón.

1.5.1.3 Agua

La importancia del agua en el hormigón, es la de darle trabajabilidad en obra y participa en la reacción de hidratación del cemento. El agua utilizada debe ser la mínima requerida por la relación agua-cemento, ya que al evaporarse el agua en exceso deja vacíos en el hormigón que disminuyen su resistencia.

1.5.1.4 Aditivos

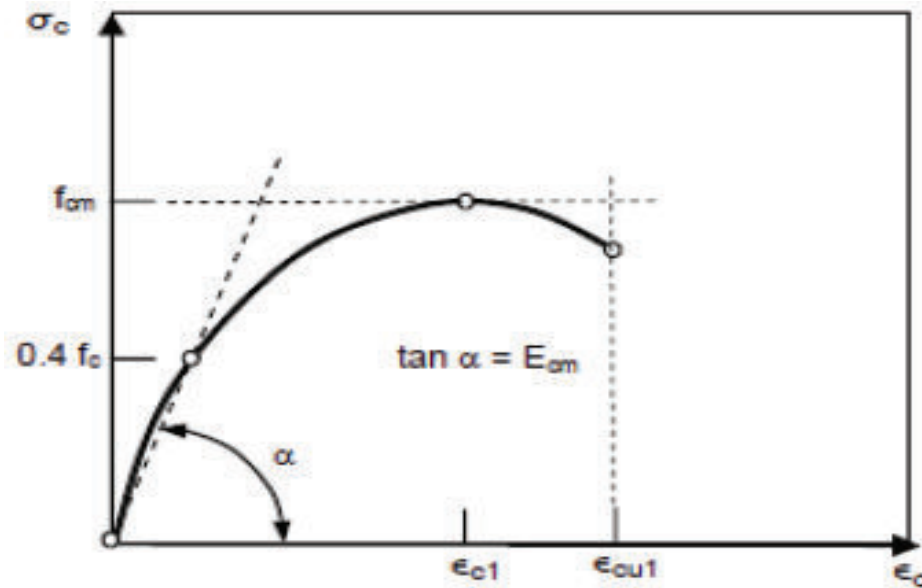
El uso de aditivos en el hormigón fresco, sirve para ayudar a mejor una característica del mismo. Existen en el mercado: retardadores, aceleradores, plastificantes, impermeabilizantes, etc. Estos aditivos químicos se rigen a la norma ASTM C494 “Standard Especificación for Quimical Admixtures for Concrete”

1.5.2 Resistencia a la Comprensión del hormigón

La resistencia a la compresión es la capacidad de un material para resistir una carga por unidad de área, medida en las siguientes unidades [Kg/cm²].

La relación esfuerzo-deformación de un material es de importancia, es un dato importante para comprender el comportamiento de la estructura sujeta a cargas de diseño. En este caso las cargas a las que está sometido el hormigón son especialmente de compresión, por lo que es de interés el análisis de la curva esfuerzo-deformación unitaria a la compresión.

Figura 1.5 Curva esfuerzo-deformación unitario del hormigón



FUENTE: Hernández-gil, Hormigón Armado Pretensado, 2007.

1.6 SOLDADURA

Es el proceso de unión de piezas por medio de un material que se funde sea este plástico o metal, y forma un enlace entre las partes a soldar, constituyendo así una sola pieza con unión fija.

La soldadura que se usara en la unión de perfiles, para formar las columnas tubulares que se van a ensayar en este proyecto:

AWS: E-6011: Es un electrodo positivo que posee un revestimiento de tipo celulósico potásico, diseñado para uso con corriente alterna, pero también se puede usar en corriente continua. La rápida solidificación del metal depositado ayuda a una soldadura en posición vertical y sobrecabeza. Puede ser dirigido en cualquier posición, permitiendo la rapidez de la soldadura. Es apto para soldar aceros dulces y al carbón.²

² www.indura.net :Catalogo INDURA 6011

Cuadro 1.5 Ficha técnica de ELECRO E-6011

Composición Química del metal depositado							
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo
0.11%	0.41%	0.23%	0.010%	0.017%	0.02%	0.02%	0.01%
Propiedades metálicas del metal depositado							
Tratamiento Térmico	Esf. Fluencia en 0.2%, Mpa	Esf. Max. de Tracción, Mpa	Elongación L=4d, %	E. absorbida Ch-v			
S/T.T	424	495	27	34J a -30°C			
Parámetros de Soldadura y datos							
Diámetro, mm	2.4	3.2	4.0	4.8			
Longitud, mm	300	350	350	350			
Int. de corr. A	50-90	80-120	120-160	160-220			
N° elect/kg	74	34	24	17			

Fuente: Catalogo INDURA 6011

1.7 ELEMENTOS COMPUESTOS

En la Ingeniería Civil el término “construcción Compuesta” se emplea, en general para indicar el uso de dos o más materiales diferentes, los que se combinan de tal forma que el material resultante se comporta de mejor forma que cada componente individual. El mismo término se usa particularmente en el caso de miembros construidos con hormigón y acero estructural.³

En el caso de perfiles tubulares rellenos de hormigón, se tiene las siguientes ventajas:

- El aporte del hormigón a las fuerzas compresión mientras en complemento el acero aporta resistencia a las fuerzas de tracción y corte.
- Mejor confinamiento del hormigón, lo que aumenta su capacidad a las fuerzas de compresión evitando su disgregación.
- Una mayor resistencia al pandeo local en el perfil de acero gracias a la presencia confinada del hormigón.
- Aumento de la resistencia a cambios de temperatura en caso de incendios y a la corrosión.

El uso de secciones compuestas también trae desventajas como:

- Mayor complejidad al determinar desplazamientos y rigidez del sistema.

³ Crisafulli Francisco, Diseño Sismoresistente de Construcciones en Acero (4ta Edición) 2014

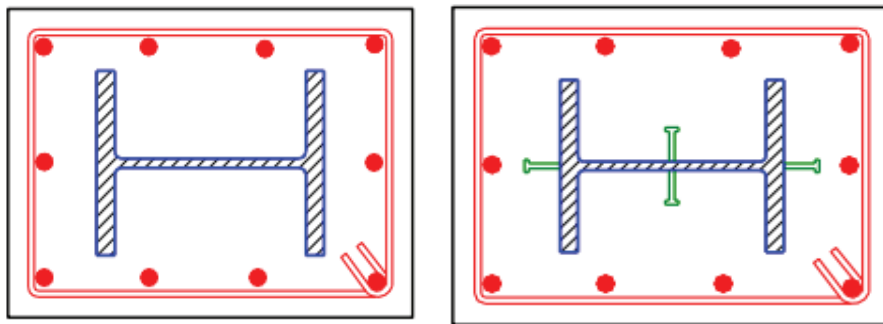
- Puede existir problemas de compatibilidad por adherencia del hormigón a las paredes del perfil tubular de acero.

1.7.1 Tipos de elementos compuestos

Los principales miembros compuestos son los siguientes:

- Miembros compuestos embebidos, donde uno o más perfiles de acero se rodean de hormigón.

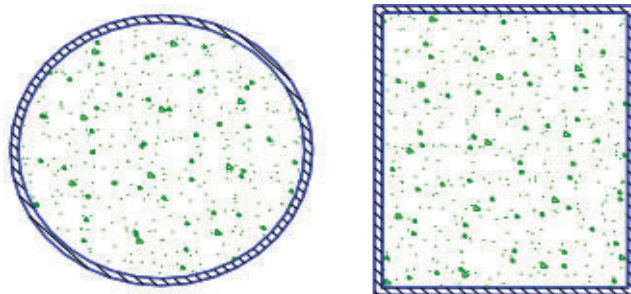
Figura 1.6 Miembros compuestos embebidos



Fuente: Crisafulli Francisco, Diseño Sismoresistente de Construcciones en Acero (4ta Edición) 2014

- Miembros compuestos rellenos, formados por un elemento tubular de acero estructural, relleno de hormigón. Usado generalmente en columnas, para aprovechar el confinamiento del hormigón y disminuir el efecto de pandeo local.

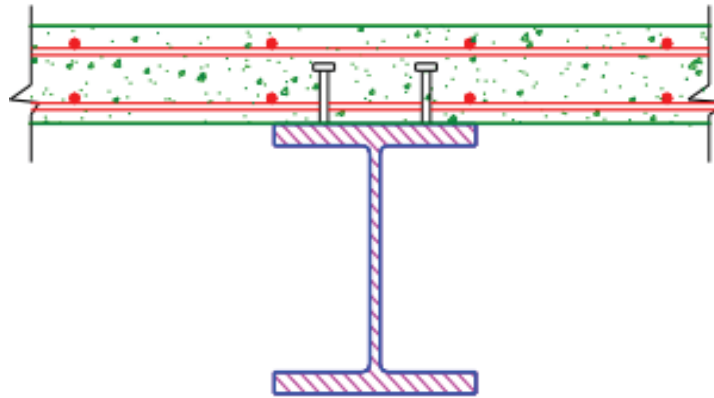
Figura 1.7 Miembros compuestos rellenos



Fuente: Crisafulli Francisco, Diseño Sismoresistente de Construcciones en Acero (4ta Edición) 2014

- Vigas compuestas con conectores de corte, la labor compuesta entre la losa y la viga se obtiene mediante pernos de acero soldados al ala superior.

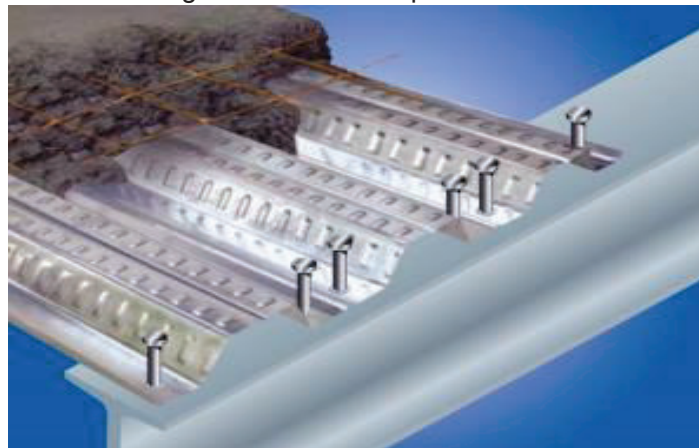
Figura 1.8 Vigas compuestas de corte



Fuente: Crisafulli Francisco, Diseño Sismoresistente de Construcciones en Acero (4ta Edición) 2014

- Losas compuestas, estas formadas por una capa de hormigón de grosor variable colocado sobre una chapa plegada de acero.

Figura 1.9 Losa compuesta



Fuente: <http://www.alcor.com.ar>

1.8 PANDEO LOCAL

El pandeo local de un elemento comprimido o sometido a flexo compresión se presenta cuando existe un desplazamiento transversal a la aplicación de la carga axial.

La magnitud de la carga crítica para pandeo elástico, dada por el AISC 2016 establece las siguientes ecuaciones:

$$F_{cr} = 0.877 F_e \quad (1.1)$$

$$F_e = \frac{\pi E^2}{\left(\frac{L_c}{r}\right)^2} \quad (1.2)$$

$$L_c = KL \quad (1.3)$$

Dónde:

- E = módulo de elasticidad del acero
- L = longitud no arriostrada del elemento
- K = factor de longitud efectiva para pandeo por flexión
- r = radio de giro en torno al centro de corte
- L_c = longitud efectiva del elemento

1.8.1 PANDEO LOCAL SEGÚN EL EURO CÓDIGO 4

El Euro código en la sección 4.3 divide a las secciones en cuatro tipos de clases:

Clase 1: Secciones que pueden formar rotulas plásticas

Clase 2: Secciones que pueden alcanzar la resistencia del momento plástico.

Clase 3: Secciones en que la tensión calculada en la fibra extrema en compresión del elemento de acero puede alcanzar su límite elástico.

Clase 4: Secciones en las que se debe considerar los efectos del pandeo local para determinar su resistencia.

El Euro código 4 en la sección 4.8.2.4 se refiere al pandeo local de los elementos de acero y dice que:

Para secciones de acero circulares huecas, $d/t \leq 90\varepsilon^2$.

Para secciones de acero rectangulares huecas, $h/t \leq 52\varepsilon$

Para secciones en I parcialmente embebidas, $b/t_f \leq 44\varepsilon$

Dónde:

$$\varepsilon = \sqrt{235/F_y}$$

- d =Diámetro exterior de la sección circular hueca.
 h =La dimensión mayor de la sección rectangular hueca.
 t =Espesor de la sección hueca rellena de hormigón.
 t_f y b =Espesor y ancho total del ala de la sección I.
 F_y =Limite elástico del acero.

1.8.1.1 FORMULAS EURO CÓDIGO

$$a) \quad \bar{\lambda} \leq 0.2 \text{ ó } N_{Sd}/N_{Cr} \leq 0.1 \quad (1.4)$$

$$\gamma_{Ma} = \gamma_a = 1.00 \quad (1.5)$$

b) En los demás casos

$$\gamma_{Ma} = \gamma_{Rd} = 1.00 \quad (1.6)$$

Dónde:

$$N_{pl.Rd} = \frac{A_a F_y}{\gamma_{Ma}} + A_c \left(\frac{0.85 f_{ck}}{\gamma_c} \right) + \frac{A_s f_{sk}}{\gamma_s} \quad (1.7)$$

$$\gamma_c = 1.00$$

$$(EI)_e = E_a I_a + 0.8 E_{cd} I_c + E_s I_s \quad (1.8)$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI_e}{L^2} \quad (1.9)$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{N_{pl.Rd} / N_{cr}} \quad (1.10)$$

N_{cr} =Carga critica.

$\bar{\lambda}$ =Esbeltez.

N_{Sd} =Axial de cálculo.

A_a =Area del acero estructural.

A_c =Area del hormigón.

A_s =Area de la armadura de refuerzo.

F_y =Limite elástico del acero.

f_{ck} =Resistencia del hormigón.

f_{sk} =Resistencia del acero de refuerzo.

$\gamma_{Ma}, \gamma_c, \gamma_s$ =Coeficientes de seguridad.

I_a, I_c, I_s =Momentos de inercial del acero estructural, hormigón y acero

de refuerzo.

E_a y E_s = Modulos de elasticidad del acero estructural y acero de refuerzo.

$0.85E_{cd}$ = Rigidez eficaz del hormigón.

L = Longitud de pandeo.

1.9 DUCTILIDAD

Es la propiedad mecánica de soportar cargas mediante las deformaciones sin alcanzar la rotura del material, al presentarse una sobrecarga se observara una gran deformación antes de la falla del elemento.

La Falla frágil en el caso de los hormigones se presenta con poca deformaciones, mínimas fisuras, a diferencia de un material dúctil como el acero que va a presentar deformaciones más pronunciadas antes de la falla del material.

Los tipos de ductilidad usados para caracterizar las vigas son los a continuación mencionados:

- Ductilidad de curvatura o de la sección transversal.
Considera el comportamiento independiente de cada parte de la sección, refiriéndose a la deformación plástica de la sección transversal.
- Ductilidad de rotación o ductilidad del miembro.
Considera las propiedades de los miembros, la interacción transversal, la influencia de la luz y el sistema de carga sobre la viga.⁴

Los miembros estructurales según su ductilidad se clasifican en:

- Altamente dúctiles (HD), garantiza el desarrollo de grandes rotaciones plásticas, gracias al diseño de sus dimensiones.
- Moderadamente dúctiles (MD), corresponde a miembros diseñados para garantizar moderadas rotaciones plásticas.
- Baja ductilidad (LD), corresponde a miembros diseñados de tal manera que sus dimensiones garantizan bajas rotaciones plásticas.

Los límites de capacidad para la rotación se definen de la siguiente manera:

HD, $R > 7.5$

MD, $4.5 < R < 7.5$

⁴ Tesis Columba y Crespo, (2016), Estudio de elementos compuestos por una losa de hormigón sobre una viga de acero de alma no compacta y patines compactos, sometidos a flexión con momentos negativos.

LD, $1.5 < R < 4.5$

Para los miembros que poseen un $R < 1.5$, se les considera como no dúctiles⁵.

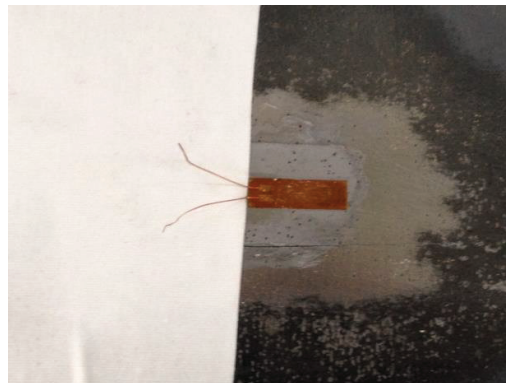
1.10 EQUIPOS DE LABORATORIO

Este ensayo se va a realizar en el Centro de Investigación de la Vivienda de la Escuela Politécnica Nacional, el mismo que provee todos los implementos necesarios para realizarlo.

Los equipos necesarios para los ensayos son:

- Gato Hidráulico: es la maquina usada para aplicar la carga a los elementos de ensayo con una capacidad máxima de carga de 100 toneladas.
- Viga de carga: es el elemento que transmite la carga distribuida del gato hidráulico en los puntos deseados como cargas puntuales.
- Placas de apoyo: estas placas nos ayudan a alinear la columna a la viga de carga, para colocar los ejes de carga en los puntos donde se desea aplicar la carga puntual.
- Strain gages: son dispositivos de alta precisión de donde se obtienen los datos de deformación unitaria producida en el lugar donde son adheridos en los elementos de ensayo.

Figura 1.10 Strain Gages adherido al acero



Fuente: Tesis Mejia-Padilla, EPN, 2017

⁵ Gioncu y Mozoarca, (2012), Acta Technia napoencis: civil engineering and architecture Vol. 55, No 1, pp, 2-4.

CAPITULO 2

ANÁLISIS TEORICO MATEMÁTICO

2.1 PROBETAS A ENSAYAR

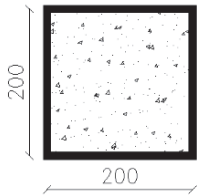
Se tomó la decisión de ensayar probetas que son utilizadas comúnmente en la industria de la construcción, las cuales van a ser conformadas en perfiles estructurales C, comerciales de lámina delgada, unidas mediante suelda, respetando la norma AWS, comúnmente utilizada en el país.

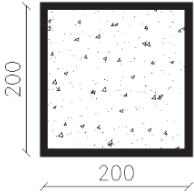
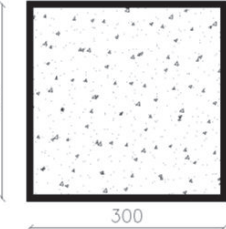
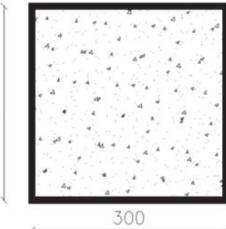
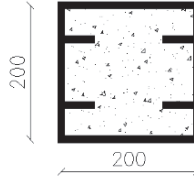
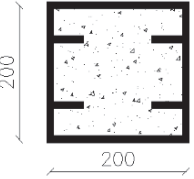
Se van a ensayar ocho probetas, todas rellenas de hormigón, cuatro armadas con dos perfiles estructurales C y cuatro más armadas con más de dos perfiles estructurales C, en este caso la ubicación de los perfiles C nos ayuda a tener columnas con atiesadores.

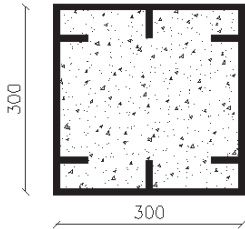
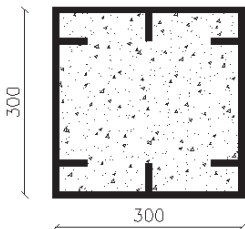
El ensayar estos tipos de columnas nos ayudaran a tener una idea de la ventaja de utilizar atiesadores al momento de la conformación de las columnas metálicas.

En el siguiente cuadro 2.1 se observa con más detalles la conformación de las probetas a ensayar y los tipos de secciones estructurales utilizadas para su conformación.

Cuadro 2.1 Tipos de probetas para ensayo

N°	Tipo de Probeta	Perfiles Utilizados	Cantidad	Especificaciones
1		2C 200X100X2	1	Columna cuadrada compuesta armada con perfiles tipo C soldados y rellena con hormigón $f'c=210\text{kg/cm}^2$

2		2C 200X100X3	1	Columna cuadrada compuesta armada con perfiles tipo C soldados y rellena con hormigón $f'c=210\text{kg/cm}^2$
3		2C 300X150X2	1	Columna cuadrada compuesta armada con perfiles tipo C soldados y rellena con hormigón $f'c=210\text{kg/cm}^2$
4		2C 300X150X3	1	Columna cuadrada compuesta armada con perfiles tipo C soldados y rellena con hormigón $f'c=210\text{kg/cm}^2$
5		2C 200X50X2 2C 100X50X2	1	Columna cuadrada compuesta armada con perfiles tipo C soldados y rellena con hormigón $f'c=210\text{kg/cm}^2$
6		2C 200X50X3 2C 100X50X3	1	Columna cuadrada compuesta armada con perfiles tipo C soldados y rellena con hormigón $f'c=210\text{kg/cm}^2$

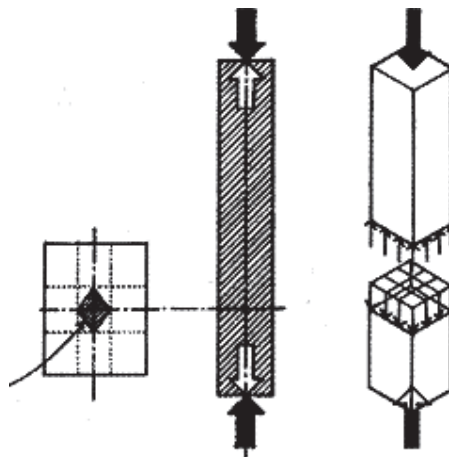
7		4C 150X50X2 2C 200X50X2	1	Columna cuadrada compuesta armada con perfiles tipo C soldados y rellena con hormigón $f'c=210\text{kg/cm}^2$
8		4C 150X50X3 2C 200X50X3	1	Columna cuadrada compuesta armada con perfiles tipo C soldados y rellena con hormigón $f'c=210\text{kg/cm}^2$

Fuente y Elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael

2.2 CARGA AXIAL EN COLUMNAS

Las columnas son elementos esbeltos y rígidos diseñados principalmente para soportar carga axial de compresión en sus extremos. Estos elementos fallan cuando la resistencia del material del cual están constituidos es sobrepasada por la carga que están soportando.

Figura 2.1 Carga Axial Concéntrica

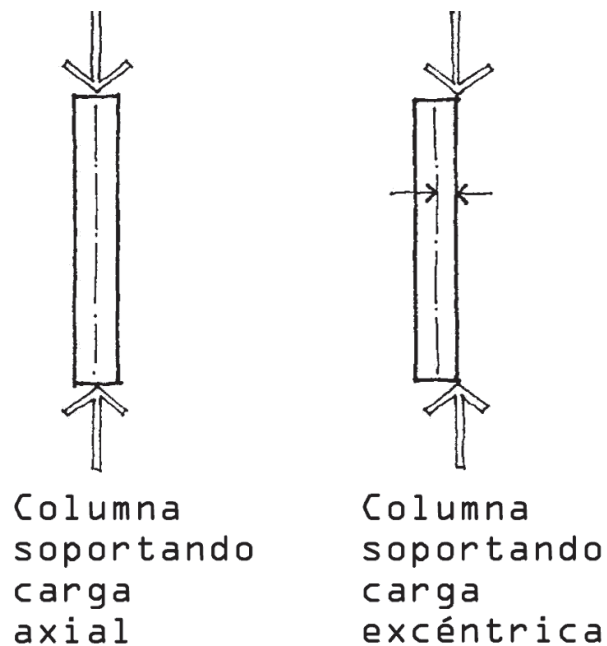


Fuente: <http://www.elconstructorcivil.com/2013/07/columnas-construccion-de-edificios.html>

Cuando la carga axial aplicada sobre una columna es excéntrica también se produce en la misma flexión produciendo una distribución desigual de esfuerzos en la misma.

Las columnas esbeltas están sujetas a falla por pandeo. El pandeo es la inestabilidad lateral de un miembro estructural sometido a carga axial antes de alcanzar el esfuerzo de fluencia del material. A mayor relación de esbeltez, el esfuerzo crítico que puede soportar una columna es menor.

Figura 2.2 Carga Axial Excéntrica



Fuente: https://www.google.com.ec/search?q=CARGA+AXIAL+EN+COLUMNAS&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ved=0ahUKEwjV6feajL7MAhVKFh4KHZ_7CUMQsAQIGg#imgsrc=a5PgVdLc2EiAUM%3a

La esbeltez de una columna está dada por la relación entre su longitud efectiva (L) y el menor radio de vuelco (r) siendo esta relación L/r , razón por la cual el pandeo siempre ocurre en el eje más débil o en la dirección de la menor dimensión.

2.3 DISEÑO AXIAL DE MIEMBROS COMPUESTOS RELLENOS

Para el diseño por axial de miembros compuestos rellenos nos basaremos en las normas estipuladas en los códigos AISC 360-16 y el Euro código 4.

2.3.1 DISEÑO DE MIEMBROS COMPUESTOS RELLENOS SUJETOS A CARGA AXIAL SEGÚN EL CÓDIGO AISC 360-16.

El capítulo I del código AISC 360-16, se refiere al diseño de miembros compuestos, para el caso de diseño a axial utilizaremos la parte I2 del capítulo I.

2.3.1.1 Miembros compuestos rellenos de hormigón

Para miembros compuestos el código AISC 360-16 los clasifica mediante su relación ancho espesor λ en: compactos, no compactos y esbeltos según el Cuadro 2.2 para miembros compuestos sujetos a carga axial.

Cuadro 2.2 Relación ancho-espesor límites para carga axial

Limiting Width-to-Thickness Ratios for Compression Steel Elements in Composite Members Subject to Axial Compression for Use with Section I2.2				
Description of Element	Width-to- Thickness Ratio	λ_p Compact/ Noncompact	λ_r Noncompact/ Slender	Maximum Permitted
Walls of Rectangular HSS and Box Sections of Uniform Thickness	b/t	$2.26\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$3.00\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.00\sqrt{\frac{E}{F_y}}$
Round HSS	D/t	$\frac{0.15E}{F_y}$	$\frac{0.19E}{F_y}$	$\frac{0.31E}{F_y}$

Fuente: American Institute of Steel Construction, Especificaciones ANSI/AISC 360-16, 2016

2.3.2 CÁLCULOS DE MIEMBROS COMPUESTOS HSS RELLENOS SUJETOS A FLEXIÓN SEGÚN EL CÓDIGO AISC 360-16.

Para el cálculo de la fuerza axial que puede resistir una columna compuesta rellena de hormigón, el código AISC360-16 exige cumplir con el siguiente requerimiento:

El área transversal de la sección de acero debe ser como mínimo el 1% del área total de la sección compuesta.

Los coeficientes de reducción para el cálculo de la resistencia a carga axial son:

$$\phi_c = 0.75(LRFD) \quad (2.1)$$

$$\Omega_c = 2.00(ASD) \quad (2.2)$$

Cuando

$$\frac{P_{no}}{P_e} \leq 2.25 \quad (2.3)$$

$$P_n = P_{no} \left(0.658^{\frac{P_{no}}{P_e}}\right) \quad (2.4)$$

Cuando

$$\frac{P_{no}}{P_e} \geq 2.25 \quad (2.5)$$

$$P_n = 0.877P_e \quad (2.6)$$

Dónde:

$$P_e = \frac{\pi^2 E I_{eff}}{L_c^2} \quad (2.7)$$

$$L_c = KL \quad (2.8)$$

$$E I_{eff} = E_s I_s + E_s I_{sr} + C_3 E_c I_c \quad (2.9)$$

$$C_3 = 0.45 + 3 \left(\frac{A_s + A_{sr}}{A_g} \right) \leq 0.9 \quad (2.10)$$

Para secciones compactas:

$$P_{no} = P_p \quad (2.11)$$

$$P_p = F_y A_s + C_2 f'_c \left(A_c + A_{sr} \frac{E_s}{E_c} \right) \quad (2.12)$$

Para secciones no compactas:

$$P_{no} = P_p - \frac{P_p - P_y}{(\lambda_r - \lambda_p)^2} (\lambda - \lambda_p) \quad (2.13)$$

$$P_y = F_y A_s + 0.7 f'_c \left(A_c + A_{sr} \frac{E_s}{E_c} \right) \quad (2.14)$$

Para secciones esbeltas:

$$P_{no} = F_{cr}A_s + 0.7f'_c(A_c + A_{sr}\frac{E_s}{E_c}) \quad (2.15)$$

$$F_{cr} = \frac{9.0E_s}{(b_i/t_f)^2} \quad (2.16)$$

$$b_i = B - t_w t_f \quad (2.17)$$

Dónde: ϕ_c = Factor de resistencia por carga axial método LRFD.

Ω_c = Factor de resistencia por carga axial método ASD.

P_n = Resistencia axial nominal.

P_{no} = Resistencia nominal a compresión para miembros compuestos.

P_e = Carga critica de pandeo elástico.

P_p = Resistencia por aplastamiento nominal.

P_y = Resistencia de un elemento en fluencia.

A_g = Área bruta del miembro compuesto

A_c = Área de hormigón

A_s = Área de la sección de acero.

A_{sr} = Área de las barras de refuerzo continuo.

E_c = Módulo de elasticidad del hormigón.

EI_{eff} = Rigidez efectiva de la sección compuesta.

C_2 = 0.85 Para secciones rectangulares.

C_3 = Coeficiente de cálculo de la rigidez efectiva de miembros compuestos rellenos en compresión.

E_s = Módulo de elasticidad del acero.

F_y = Tensión de fluencia mínima especificada de la sección de acero.

I_c = Momento de inercia de la sección de hormigón sobre el eje neutro elástico de la sección compuesta.

I_s = Momento de inercia del perfil de acero sobre el eje neutro elástico de la sección compuesta.

I_{sr} = Momento de inercia de las barras de refuerzo sobre el eje neutro elástico de la sección compuesta.

K = Factor de longitud efectiva.

L = Longitud no arriostrada lateralmente del miembro.

f'_c = Resistencia a la compresión especificada del hormigón.

w_c = Peso del hormigón por unidad de volumen.

F_{cr} = Tensión crítica.

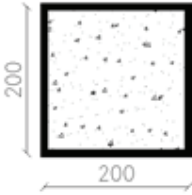
B = Base de la columna.

t_f = Espesor de la pared de acero de la base de la columna.

t_w = Espesor de la pared de acero de la altura de la columna.

$\lambda, \lambda_p, \lambda_r$ = Razones de esbeltez determinadas con el cuadro 2.2

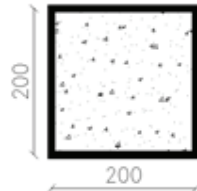
Cuadro 2.3 Propiedades de la sección compuesta 200x200x2

Tipo de Probeta	Perfiles Utilizados
	2C 200X100X2

PROPIEDADES GEOMÉTRICAS		
Bf=	20	[cm]
tf=	0.2	[cm]
Hw=	20	[cm]
tw=	0.2	[cm]
bi=	19.6	[cm]
hi=	19.6	[cm]
PROPIEDADES MECÁNICAS		
Fy=	3520	[kg/cm ²]
f'c=	273	[kg/cm ²]
Es=	2043000	[kg/cm ²]
Ec=	217504	[kg/cm ²]
As=	15.84	[cm ²]
Ac=	384.1	[cm ²]
Ag=	399.9	[cm ²]
W=	12.43	[kg/m]
Ixs=	1035.1	[cm ⁴]
Iys=	1035.1	[cm ⁴]
Ixc=	12298.2	[cm ⁴]
Iyc=	12298.2	[cm ⁴]
Cw=	0	
rx=	8.01	[cm]
ry=	8.01	[cm]
ro=	11.43	[cm]

Elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael

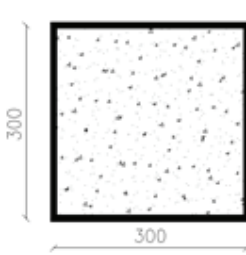
Cuadro 2.4 Propiedades de la sección compuesta 200x200x3

Tipo de Probeta	Perfiles Utilizados
	2C 200X100X3

PROPIEDADES GEOMÉTRICAS		
Bf=	20	[cm]
tf=	0.3	[cm]
Hw=	20	[cm]
tw=	0.3	[cm]
bi=	19.4	[cm]
hi=	19.4	[cm]
PROPIEDADES MECÁNICAS		
Fy=	3520	[kg/cm ²]
f'c=	273	[kg/cm ²]
Es=	2043000	[kg/cm ²]
Ec=	217504	[kg/cm ²]
As=	23.64	[cm ²]
Ac=	376.28	[cm ²]
Ag=	399.9	[cm ²]
W=	18.56	[kg/m]
Ixs=	1529.4	[cm ⁴]
Iys=	1529.4	[cm ⁴]
Ixc=	11803.9	[cm ⁴]
Iyc=	11803.9	[cm ⁴]
Cw=	0	
rx=	8.04	[cm]
ry=	8.04	[cm]
ro=	11.38	[cm]

Elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael

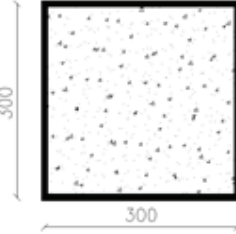
Cuadro 2.5 Propiedades de la sección compuesta 300x300x2

Tipo de Probeta	Perfiles Utilizados
	2C 300X150X2

PROPIEDADES GEOMÉTRICAS		
Bf=	30	[cm]
tf=	0.2	[cm]
Hw=	30	[cm]
tw=	0.2	[cm]
bi=	29.6	[cm]
hi=	29.6	[cm]
PROPIEDADES MECÁNICAS		
Fy=	3520	[kg/cm ²]
f'c=	273	[kg/cm ²]
Es=	2043000	[kg/cm ²]
Ec=	217504	[kg/cm ²]
As=	23.84	[cm ²]
Ac=	876.13	[cm ²]
Ag=	900.0	[cm ²]
W=	18.71	[kg/m]
Ixs=	3528.6	[cm ⁴]
Iys=	3528.6	[cm ⁴]
Ixc=	63971.4	[cm ⁴]
Iyc=	63971.4	[cm ⁴]
Cw=	0	
rx=	12.17	[cm]
ry=	12.17	[cm]
ro=	17.21	[cm]

Elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael

Cuadro 2.6 Propiedades de la sección compuesta 300x300x3

Tipo de Probeta	Perfiles Utilizados
	2C 300X150X3

PROPIEDADES GEOMÉTRICAS		
Bf=	30	[cm]
tf=	0.3	[cm]
Hw=	30	[cm]
tw=	0.3	[cm]
bi=	29.4	[cm]
hi=	29.4	[cm]
PROPIEDADES MECÁNICAS		
Fy=	3520	[kg/cm ²]
f'c=	273	[kg/cm ²]
Es=	2043000	[kg/cm ²]
Ec=	217504	[kg/cm ²]
As=	35.64	[cm ²]
Ac=	864.28	[cm ²]
Ag=	899.9	[cm ²]
W=	27.98	[kg/m]
Ixs=	5240.15	[cm ⁴]
Iys=	5240.15	[cm ⁴]
Ixc=	62259.9	[cm ⁴]
Iyc=	62259.9	[cm ⁴]
Cw=	0	
rx=	12.13	[cm]
ry=	12.13	[cm]
ro=	17.15	[cm]

Elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael

Cuadro 2.7 Clasificación de las secciones compuestas sin atiesadores

SECCIÓN	λ ALMA	λ PATÍN	CLASIFICACIÓN
20X200X2	98	98	ESBELTO
200X200X3	64.67	64.67	NO COMPACTO
300X300X2	148	148	EXCEDENCIA DEL MÁXIMO PERMITIDO
300X300X3	98	98	ESBELTO

Elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael

Cuadro 2.8 Resistencia axial nominal

SECCIÓN	Fcr	Py [ton]	Pno [ton]	Eleff [kg-cm ²]	Pe [ton]	Pn[ton]	ASD	LRFD
							Pn/ Ω [ton]	ϕ Pn [ton]
20X200X2	1.92	129.16	103.73	3.93E+09	620.84	96.73	48.36	72.54
200X200X3	3.52	155.12	165.47	4.97E+09	784.61	151.49	75.74	113.61
300X300X2	0.84	251.34	187.44	1.63E+10	2051.29	180.41	90.20	135.30
300X300X3	1.91	290.61	233.40	1.99E+10	2505.59	224.47	112.24	168.35

Elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael

Cuadro 2.9 Propiedades de la sección compuesta 200x200x2

Tipo de Probeta	Perfiles Utilizados	
	2C 200X50X2 2C 100X50X2	
PROPIEDADES GEOMÉTRICAS		
Bf=	20	[cm]
tf=	0.2	[cm]
Hw=	20	[cm]
tw=	0.2	[cm]
bi=	19.6	[cm]
hi=	19.6	[cm]
PROPIEDADES MECÁNICAS		
Fy=	3520	[kg/cm ²]
f'c=	273	[kg/cm ²]
Es=	2043000	[kg/cm ²]
Ec=	217504	[kg/cm ²]
As=	17.76	[cm ²]
Ac=	382.21	[cm ²]
Ag=	400.0	[cm ²]
W=	13.94	[kg/m]
Ixs=	1038.2	[cm ⁴]

lys=	1035.1	[cm ⁴]
lxc=	12294.6	[cm ⁴]
lyc=	12298.2	[cm ⁴]
Cw=	0	
rx=	7.65	[cm]
ry=	7.63	[cm]
ro=	10.81	[cm]

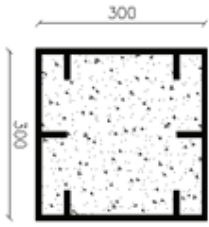
Elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael

Cuadro 2.10 Propiedades de la sección compuesta 200x200x3

Tipo de Probeta	Perfiles Utilizados	
	2C 200X50X3 2C 100X50X3	
PROPIEDADES GEOMÉTRICAS		
Bf=	20	[cm]
tf=	0.3	[cm]
Hw=	20	[cm]
tw=	0.3	[cm]
bi=	19.4	[cm]
hi=	19.4	[cm]
PROPIEDADES MECÁNICAS		
Fy=	3520	[kg/cm ²]
f'c=	273	[kg/cm ²]
Es=	2043000	[kg/cm ²]
Ec=	217504	[kg/cm ²]
As=	26.46	[cm ²]
Ac=	373.46	[cm ²]
Ag=	399.9	[cm ²]
W=	20.77	[kg/m]
lxs=	1534.62	[cm ⁴]
lys=	1529.4	[cm ⁴]
lxc=	11798.7	[cm ⁴]
lyc=	11803.9	[cm ⁴]
Cw=	0	
rx=	7.62	[cm]
ry=	7.60	[cm]
ro=	10.76	[cm]

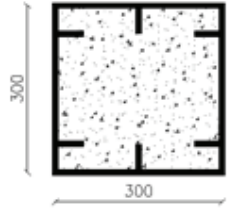
Elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael

Cuadro 2.11 Propiedades de la sección compuesta 300x300x2

Tipo de Probeta		Perfiles Utilizados
		4C 150X50X2 2C 200X50X2
PROPIEDADES GEOMÉTRICAS		
Bf=	30	[cm]
tf=	0.2	[cm]
Hw=	30	[cm]
tw=	0.2	[cm]
bi=	29.6	[cm]
hi=	29.6	[cm]
PROPIEDADES MECÁNICAS		
Fy=	3520	[kg/cm ²]
f'c=	273	[kg/cm ²]
Es=	2043000	[kg/cm ²]
Ec=	217504	[kg/cm ²]
As=	26.72	[cm ²]
Ac=	873.25	[cm ²]
Ag=	900.0	[cm ²]
W=	20.98	[kg/m]
Ixs=	3532.3	[cm ⁴]
Iys=	3530.49	[cm ⁴]
Ixc=	63967.7	[cm ⁴]
Iyc=	63969.5	[cm ⁴]
Cw=	0	
rx=	11.5	[cm]
ry=	11.5	[cm]
ro=	16.26	[cm]

Elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael

Cuadro 2.12 Propiedades de la sección compuesta 300x300x3

Tipo de Probeta	Perfiles Utilizados
	4C 150X50X3 2C 200X50X3

PROPIEDADES GEOMÉTRICAS		
Bf=	30	[cm]
tf=	0.3	[cm]
Hw=	30	[cm]
tw=	0.3	[cm]
bi=	29.4	[cm]
hi=	29.4	[cm]
PROPIEDADES MECÁNICAS		
Fy=	3520	[kg/cm ²]
f'c=	273	[kg/cm ²]
Es=	2043000	[kg/cm ²]
Ec=	217504	[kg/cm ²]
As=	39.87	[cm ²]
Ac=	860.05	[cm ²]
Ag=	899.9	[cm ²]
W=	31.30	[kg/m]
Ixs=	5242.77	[cm ⁴]
Iys=	5245.35	[cm ⁴]
Ixc=	62257.2	[cm ⁴]
Iyc=	62254.7	[cm ⁴]
Cw=	0	
rx=	11.47	[cm]
ry=	11.47	[cm]
ro=	16.22	[cm]

Elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael

Cuadro 2.13 Clasificación de la sección compuesta para AX

SECCIÓN	λ PATÍN	λ ALMA	CLASIFICACIÓN
20X200X2	50	98	PATÍN COMPACTO - ALMA ESBELTA→ESBELTO
200X200X3	33.33	64.67	PATÍN COMPACTO - ALMA NO COMPACTA→NO COMPACTA
300X300X2	100	74	PATÍN COMPACTO - ALMA NO COMPACTA→NO COMPACTA
300X300X3	49.33	66.67	PATÍN COMPACTO - ALMA NO COMPACTA→NO COMPACTA

Elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael

Cuadro 2.14 Resistencia axial nominal

EN DIRECCIÓN XX							ASD	LRFD
SECCIÓN	Fcr	Py [ton]	Pno [ton]	Eleff [kg-cm ²]	Pe [ton]	Pn[ton]	Pn/ Ω [ton]	ϕ Pn [ton]
20X200X2	3.52	135.55	135.55	3.96E+09	626	123.81	61.90	92.86
200X200X3	3.52	164.51	158.35	5.01E+09	791.87	145.64	72.82	109.23
300X300X2	3.52	260.93	246.52	1.64E+10	2063.39	234.50	117.25	175.87
300X300X3	3.52	304.70	337.02	2.00E+10	2522.24	318.69	159.34	239.01

EN DIRECCIÓN YY							ASD	LRFD
SECCIÓN	Fcr	Py [ton]	Pno [ton]	Eleff [kg-cm ²]	Pe [ton]	Pn[ton]	Pn/ Ω [ton]	ϕ Pn [ton]
20X200X2	1.92	117.97	107.04	3.96E+09	624.9	99.24	49.82	74.73
200X200X3	3.52	164.51	174.78	5.01E+09	790.33	159.32	79.66	119.49
300X300X2	3.52	260.93	284.93	1.64E+10	2062.95	268.93	134.46	201.70
300X300X3	3.52	304.70	323.36	2.00E+10	2522.85	306.47	153.24	229.85

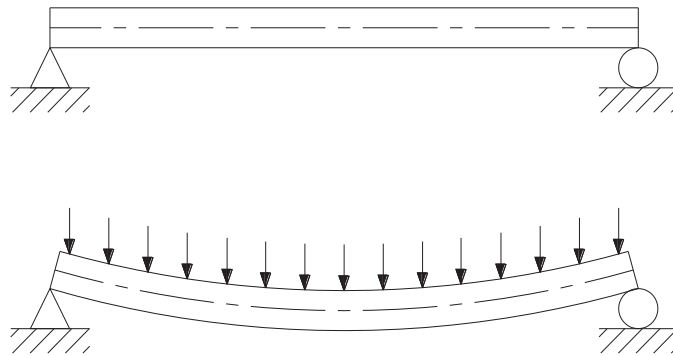
Elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael

CAPITULO 3

FLEXIÓN

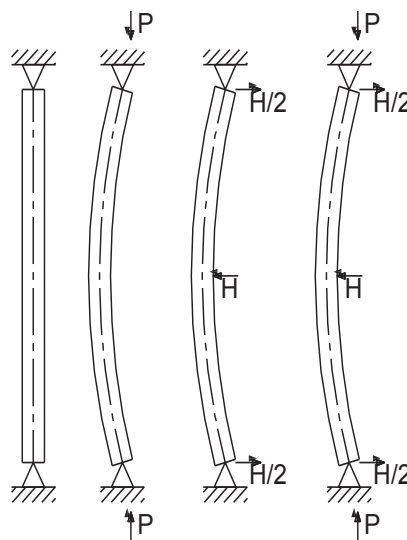
Se denomina flexión a la deformación que sufre un elemento en dirección perpendicular a su eje longitudinal, por efecto de cargas aplicadas en esta dirección. Para que exista flexión debemos tener una longitud dominante frente a sus otras dimensiones, así tenemos el caso de vigas y columnas como podemos ver en las siguientes figuras.

Figura 3.1 Flexión en vigas



Elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael

Figura 3.2 Flexión en columnas



Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael

3.1 DISEÑO A FLEXIÓN DE MIEMBROS COMPUESTOS RELLENOS

Para el diseño por flexión de miembros compuestos rellenos nos basaremos en las normas estipuladas en los códigos AISC 360-16 y el Euro código 4.

3.1.1 Diseño de miembros compuestos rellenos sujetos a flexión según el código AISC 360-16.

El capítulo I del código AISC 360-16, se refiere al diseño de miembros compuestos, para el caso de diseño a flexión utilizaremos la parte I3 del capítulo I.

3.1.1.1 Miembros Compuestos Rellenos de Hormigón

Para miembros compuestos el código AISC 360-16 los clasifica mediante su relación ancho espesor λ en: compactos, no compactos y esbeltos según el cuadro 2.2.2 para miembros compuestos sujetos a flexión.

Cuadro 3.1 Relación ancho-espesor límites para flexión

Limiting Width-to-Thickness Ratios for Compression Steel Elements in Composite Members Subject to Flexure for Use with Section I3.4				
Description of Element	Width-to- Thickness Ratio	λ_p Compact/ Noncompact	λ_r Noncompact/ Slender	Maximum Permitted
Flanges of Rectangular HSS and Box Sections of Uniform Thickness	b/t	$2.26\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$3.00\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.00\sqrt{\frac{E}{F_y}}$
Webs of Rectangular HSS and Box Sections of Uniform Thickness	h/t	$3.00\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.70\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.70\sqrt{\frac{E}{F_y}}$
Round HSS	D/t	$\frac{0.09E}{F_y}$	$\frac{0.31E}{F_y}$	$\frac{0.31E}{F_y}$

Fuente: American Institute of Steel Construction, Especificaciones ANSI/AISC 360-16, 2016

3.1.2 Cálculos de Miembros Compuestos HSS Rellenos sujetos a Flexión según el CÓDIGO AISC 360-16.

Los coeficientes de reducción para el cálculo de la resistencia flexión son:

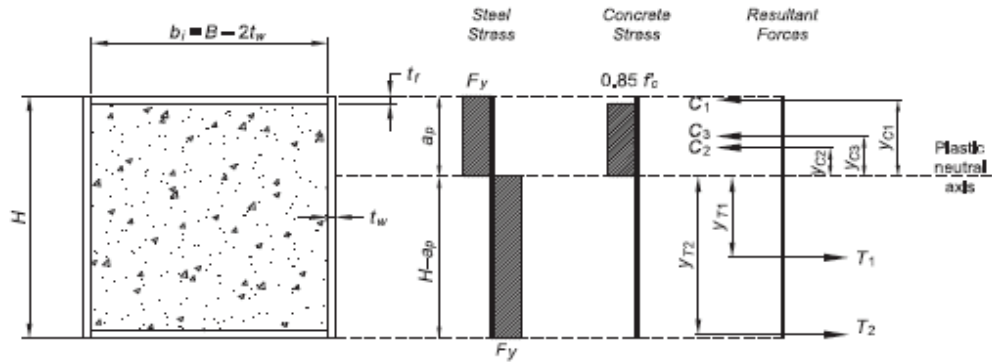
$$\phi_b = 0.90(LRFD) \quad (3.1)$$

$$\Omega_b = 1.67(ASD) \quad (3.2)$$

Para secciones compactas:

$$M_n = M_p \quad (3.3)$$

Figura 3.3 Distribución de fuerzas y momento plástico.



Fuentes: American Institute of Steel Construction, Design Examples V14.1, 2013

$$M_p = \sum(\text{fuerzas})(\text{distancia al eje neutro})$$

$$a_p = \frac{2F_y H t_w + 0.85 f'_c b_i t_f}{4F_y t_f + 0.85 f'_c b_i} \quad (3.4)$$

$$C_1 = b_i t_f F_y \quad (3.5)$$

$$y_{C1} = a_p - \frac{t_f}{2} \quad (3.6)$$

$$C_2 = 0.85 f'_c (a_p - t_f) b_i \quad (3.7)$$

$$y_{C2} = \frac{a_p - t_f}{2} \quad (3.8)$$

$$C_3 = a_p 2t_w F_y \quad (3.9)$$

$$y_{C3} = \frac{a_p}{2} \quad (3.10)$$

$$T_1 = (H - a_p) 2t_w F_y \quad (3.11)$$

$$y_{T1} = \frac{H - a_p}{2} \quad (3.12)$$

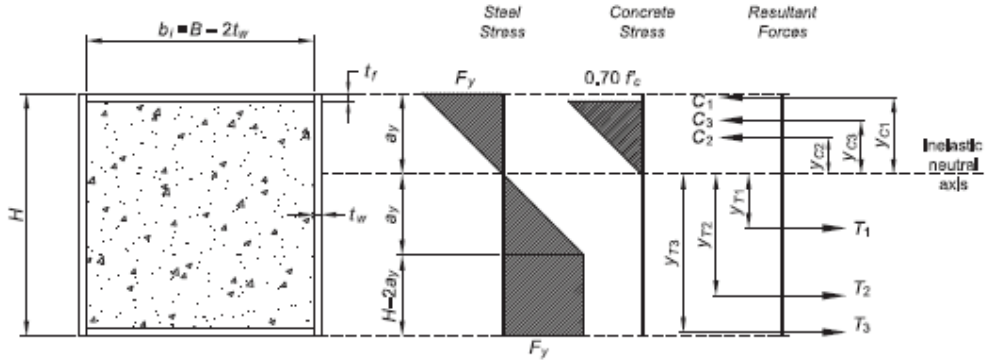
$$T_2 = b_i t_f F_y \quad (3.13)$$

$$y_{T2} = H - a_p - \frac{t_f}{2} \quad (3.14)$$

Para secciones no compactas:

$$M_n = M_p - [M_p - M_y](\lambda - \lambda_p)(\lambda_r - \lambda_p) \quad (3.15)$$

Figura 3.4 Distribución de fuerzas y momento de fluencia



Fuente: American Institute of Steel Construction, Desing Examples V14.1, 2013

$$M_y = \sum(\text{fuerzas})(\text{distancia al eje neutro})$$

$$a_y = \frac{2F_y H t_w + 0.35 f'_c b_i t_f}{4F_y t_f + 0.35 f'_c b_i} \quad (3.16)$$

$$C_1 = b_i t_f F_y$$

$$y_{C1} = a_y - \frac{t_f}{2}$$

$$C_2 = 0.35 f'_c (a_y - t_f) b_i \quad (3.17)$$

$$y_{C2} = \frac{2(a_y - t_f)}{3} \quad (3.18)$$

$$C_3 = a_y 2 t_w 0.5 F_y \quad (3.19)$$

$$y_{C3} = \frac{2 a_y}{3} \quad (3.20)$$

$$T_1 = a_y 2 t_w 0.5 F_y \quad (3.21)$$

$$y_{T1} = \frac{2 a_y}{3} \quad (3.22)$$

$$T_2 = (H - a_y) 2 t_w F_y \quad (3.23)$$

$$y_{T2} = \frac{H}{2} \quad (3.24)$$

$$T_3 = b_i t_f F_y \quad (3.25)$$

$$y_{T3} = H - a_y - \frac{t_f}{2} \quad (3.26)$$

Para secciones esbeltas: M_n debe ser determinada como el momento de primera fluencia. Las tensiones en el ala comprimida deberán estar limitadas a la tensión de pandeo local F_{cr} , la que se determina empleando la ecuación 2.5. La distribución de tensiones en el concreto deberá ser lineal elástica con la tensión limitada a un máximo de $0.7f'_c$.

$$F_{cr} = \frac{9.0E_s}{(b_i/t_f)^2} \quad (3.27)$$

Figura 3.5 Distribución de fuerzas y momento de fluencia

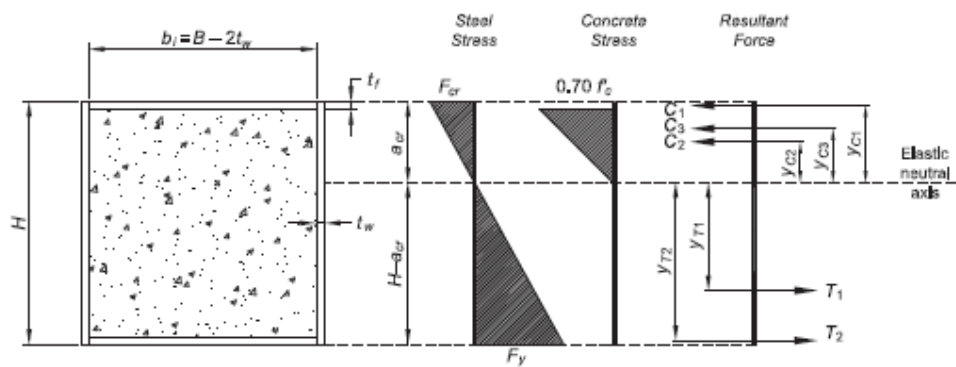


Figure I.7-4. First yield moment stress blocks and force distribution.

Fuente: American Institute of Steel Construction, Desing Examples V14.1, 2013

$$M_{cr} = \sum(\text{fuerzas})(\text{distancia al eje neutro})$$

$$a_{cr} = \frac{F_y H t_w + (0.35 f'_c + F_y - F_{cr}) b_i t_f}{t_w (F_{cr} + F_y) + 0.35 f'_c b_i} \quad (3.28)$$

$$C_1 = b_i t_f F_{cr} \quad (3.29)$$

$$y_{C1} = a_{cr} - \frac{t_f}{2} \quad (3.30)$$

$$C_2 = 0.35 f'_c (a_{cr} - t_f) b_i \quad (3.31)$$

$$y_{C2} = \frac{2(a_{cr} - t_f)}{3} \quad (3.32)$$

$$C_3 = a_{cr} 2 t_w 0.5 F_y \quad (3.33)$$

$$y_{C3} = \frac{2 a_{cr}}{3} \quad (3.34)$$

$$T_1 = (H - a_{cr}) 2 t_w F_y \quad (3.35)$$

$$y_{T1} = \frac{2(H - a_{cr})}{3} \quad (3.36)$$

$$T_2 = b_i t_f F_y \quad (3.37)$$

$$y_{T2} = H - a_{cr} - \frac{t_f}{2} \quad (3.38)$$

- Dónde: ϕ_b = Factor de resistencia por flexión método LRFD.
 Ω_b = Factor de resistencia por flexión método ASD.
 M_n = Momento correspondiente a la distribución de tensiones plásticas en la sección transversal del miembro compuesto.
 M_p = Momento de flexión plástico.
 a_p = Ubicación del eje neutro para momento plástico.
 F_y = Tensión de fluencia mínima especificada del tipo de acero.
 H = Altura de la columna.
 B = Base de la columna.
 t_f = Espesor de la pared de acero de la base de la columna.
 t_w = Espesor de la pared de acero de la altura de la columna.
 f'_c = Resistencia a la compresión especificada del hormigón.
 C_1 = Compresión en el ala de acero.
 C_2 = Compresión en el hormigón.
 C_3 = Compresión en el alma de acero.
 T_1 = Tensión en el alma de acero.
 T_2 = Tensión en el ala de acero (momento plástico).
 T_2 = Tensión en el alma de acero (momento de fluencia).
 T_3 = Tensión en el ala de acero (momento de fluencia).
 $\lambda, \lambda_p, \lambda_r$ = Razones de esbeltez determinadas con el cuadro 2.2.1
 M_y = Momento de fluencia correspondiente a la fluencia del ala en Tensión y en la primera fluencia del ala en compresión.
 a_y = Ubicación del eje neutro para momento de fluencia.
 F_{cr} = Tensión crítica.
 E_s = Módulo de elasticidad del acero.
 M_{cr} = Momento crítico.
 a_{cr} = Ubicación del eje neutro para momento crítico.

Cuadro 3.2 Clasificación de la sección compuesta sin atiesadores

SECCIÓN	λ PATÍN	λ ALMA	CLASIFICACIÓN
20X200X2	98	98	PATÍN ESBELTO - ALMA NO COMPACTA→ESBELTO
200X200X3	64.67	64.67	PATÍN NO COMPACTO - ALMA COMPACTA→NO COMPACTO
300X300X2	148	148	PATÍN EXCEDE LIMITE - ALMA NO COMPACTA→ESBELTO
300X300X3	98	98	PATÍN ESBELTO - ALMA NO COMPACTA→ESBELTO

Fuente y Elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael

Cuadro 3.3 Ubicación del eje neutro y brazos de palanca

SECCIÓN		a [cm]	YC1[cm]	YC2 [cm]	YC3 [cm]	YT1 [cm]	YT2 [cm]	YT3 [cm]
20X200X2	crítico	7.01	6.91	4.67	4.67	8.66	12.89	-
200X200X3	plástico	5.00	4.85	2.35	2.50	7.50	14.85	-
	fluencia	7.04	6.89	4.49	4.69	4.69	10.00	12.81
300X300X2	crítico	10.15	10.05	6.77	6.77	13.23	19.75	-
300X300X3	crítico	8.26	10.37	7.01	7.01	12.99	19.34	-

Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael

Cuadro 3.4 Fuerzas de compresión y tracción

SECCIÓN		CP[ton]	C2 [ton]	C3 [ton]	T1 [ton]	T2 [ton]	T3 [ton]
20X200X2	crítico	7.5	12.75	2.68	9.14	13.80	-
200X200X3	plástico	20.49	21.14	10.55	31.69	20.49	-
	fluencia	20.49	12.50	7.44	7.44	12.50	20.49
300X300X2	crítico	4.97	28.14	1.70	13.97	20.84	-
300X300X3	crítico	16.89	28.70	6.04	20.58	31.05	-

Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael

Cuadro 3.5 Momentos resistentes

SECCIÓN	Mp[ton-m]	My[ton-m]	Mcr [ton-m]	Mn [ton-m]	ASD	LRFD
					Mn/ Ω [ton-m]	ϕ Mn [ton-m]
20X200X2	4.98	4.61	3.81	3.81	2.28	3.43
200X200X3	7.17	6.55	6.082	6.81	4.08	6.13
300X300X2	11.57	10.91	8.48	8.48	5.08	7.64
300X300X3	16.79	15.57	12.86	12.86	7.70	11.58

Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael

Cuadro 3.6 Clasificación de la sección compuesta con atiesadores

SECCIÓN	λ PATÍN	λ ALMA	CLASIFICACIÓN
20X200X2	50	98	PATÍN COMPACTO - ALMA NO COMPACTA→NO COMPACTO
200X200X3	33.33	64.67	PATÍN COMPACTO - ALMA COMPACTA→COMPACTO
300X300X2	100	74	PATÍN ESBELTO - ALMA NO COMPACTA→ESBELTO
300X300X3	49.33	66.67	PATÍN COMPACTO - ALMA COMPACTA→COMPACTA

Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael

Cuadro 3.7 Ubicación del eje neutro y brazos de palanca

SECCIÓN		a [cm]	YC1[cm]	YC2 [cm]	YC3 [cm]	YT1 [cm]	YT2 [cm]	YT3 [cm]
20X200X2	plástico	3.95	3.84	1.87	1.97	8.03	15.95	-
	fluencia	6.09	5.99	3.9	4.05	4.05	10.00	13.81
200X200X3	plástico	5.00	4.85	2.35	2.50	7.50	14.85	-
300X300X2	crítico	8.11	8.01	5.4	5.4	14.59	21.79	-
300X300X3	plástico	5.92	5.77	2.81	2.96	12.04	12.93	-

Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael

Cuadro 3.8 fuerzas de compresión y tracción

SECCIÓN		CP[ton]	C2 [ton]	C3 [ton]	T1 [ton]	T2 [ton]	T3 [ton]
20X200X2	plástico	13.80	17.04	5.56	22.60	13.80	-
	fluencia	13.80	11.02	4.28	4.28	11.02	13.80
200X200X3	plástico	20.49	21.14	10.55	31.69	20.49	-
300X300X2	crítico	10.89	22.38	2.98	15.41	20.84	-
300X300X3	plástico	31.01	38.35	12.51	50.85	31.05	-

Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael

Cuadro 3.9 Momentos resistentes

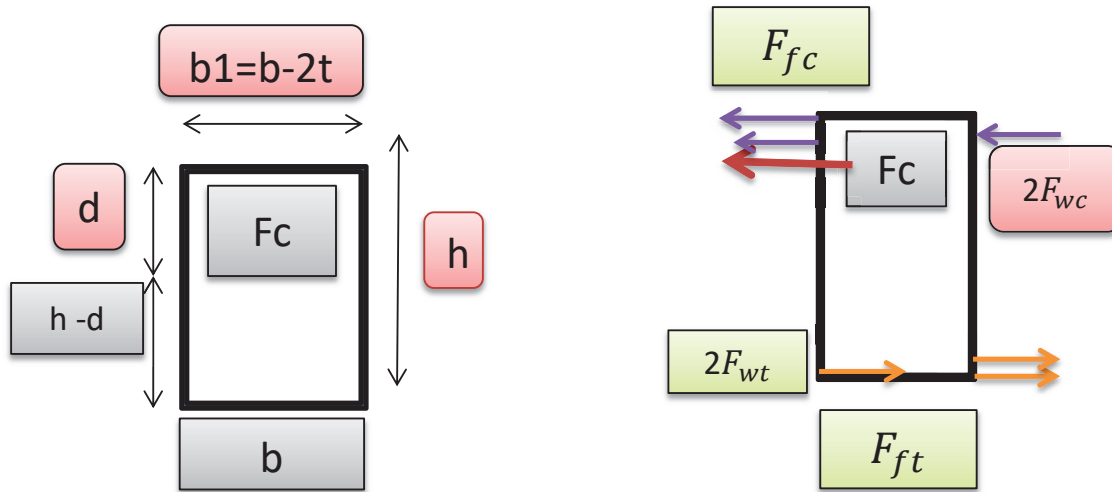
SECCIÓN	Mp[ton-m]	My[ton-m]	Mcr [ton-m]	Mn [ton-m]	ASD	
					Mn/ Ω [ton-m]	ϕ Mn [ton-m]
20X200X2	4.98	4.62	4.20	4.83	2.89	4.35
200X200X3	7.17	6.55	6.08	7.17	4.30	6.46
300X300X2	11.57	10.91	9.03	9.03	5.41	8.13
300X300X3	16.79	15.57	14.16	16.79	10.06	15.11

Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael

3.2 DISEÑO A FLEXIÓN METODO AISI MODIFICADO.

3.2.1 Patín y alma compactos.

Figura 3.6 Distribución de fuerzas y momento plástico.



Fuente: Momento Plástico RCFT a flexión, Ing. Jorge Vintimilla

$$d = \frac{t(2hf_y + 0.85b_1f'_c)}{4tf_y + 0.85b_1f'_c} \quad (3.39)$$

$$M_p = f_y (t(h^2 - 2hd + 2d^2 + b_1(h - t)) + 0.85b_1(d - t)^2f'_c/2) \quad (3.40)$$

Dónde: d = Ubicación del eje neutro para momento plástico.

M_p = Momento de flexión plástico.

h = Altura de la columna.

b = Base de la columna.

t = Espesor de la columna.

f_y = Tensión de fluencia mínima especificada del tipo de acero.

f'_c = Resistencia a la compresión especificada del hormigón.

F_{fc} = Compresión en el ala de acero.

F_{ft} = Tensión en el ala de acero.

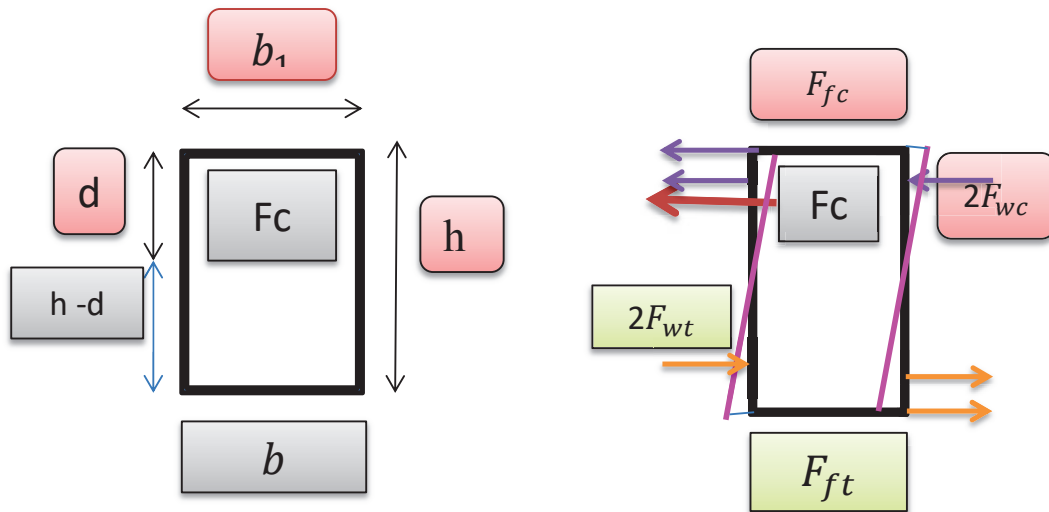
F_{wt} = Tensión en el alma de acero.

F_{wc} = Compresión en el alma de acero.

F_c = Compresión en el hormigón.

3.2.2 Patín compacto y alma no compacto.

Figura 3.7 Distribución de fuerzas y momento fluencia.



Fuente: Momento Plástico RCFT a flexión, Ing. Jorge Vintimilla

$$d = \frac{t(hf_y + b_1 f'_c / 2)}{2tf_y + b_1 f'_c / 2} \quad (3.41)$$

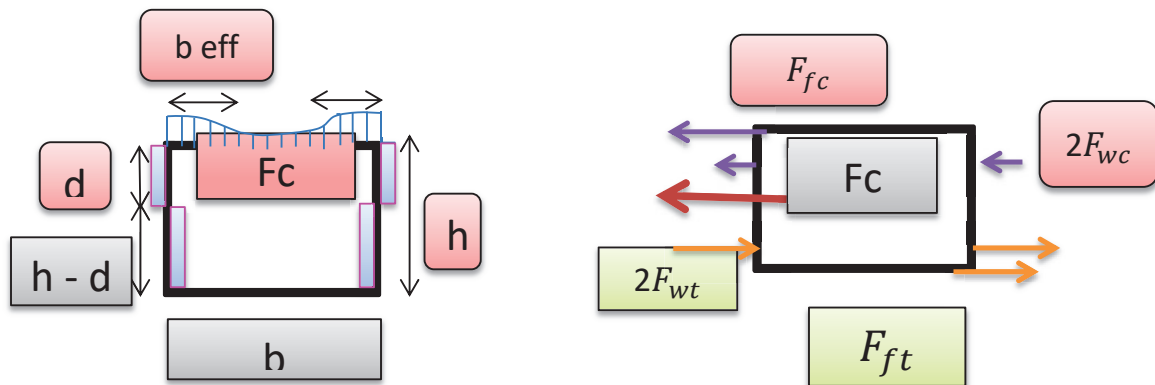
$$M_y = f_y \cdot t \cdot (0.67h^2 - 1.33hd + 1.33d^2 + b_1(h-t)) + 0.33 b_1(d-t)^2 f'_c \quad (3.42)$$

Dónde: d = Ubicación del eje neutro para momento de fluencia.

M_y = Momento de fluencia correspondiente a la fluencia del ala en Tensión y en la primera fluencia del ala en compresión.

3.2.3 Patín no compacto y alma compacto.

Figura 3.8 Distribución de fuerzas y momento plástico.



Fuente: Momento Plástico RCFT a flexión, Ing. Jorge Vintimilla

$$b_{eff} = \frac{1}{\lambda_b} \left(1 - \frac{0.22}{\lambda_b} \right) b_1 + 2t_w \quad (3.43)$$

$$\lambda_b = 1.052 \sqrt{\frac{f_y}{E}} * \frac{b_1}{t_f} * \frac{1}{\sqrt{10}} > 0.673 \quad (3.44)$$

Si $\lambda_b < 0.673$ entonces b plastifica.

$$\alpha = \frac{b_{eff}}{b_1} = \frac{F_{cr}}{f_y} < 1 \quad (3.45)$$

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 E k}{12(1-\mu^2)(b/t)^2} \quad (3.46)$$

$$d = \frac{f_y(2h+(1-\alpha)b_1)+0.85b_1f'_c}{4f_y+0.85(\frac{b_1}{t})f'_c} \quad (3.47)$$

$$Mp = f_y \cdot t(h^2 - 2hd + 2d^2 + b_1(h - (1 - \alpha)d - (1 + \alpha)t/2)) + 0.425 b_1(d - t)^2 f'_c \quad (3.48)$$

Dónde: b_{eff} = Base efectiva de la columna.

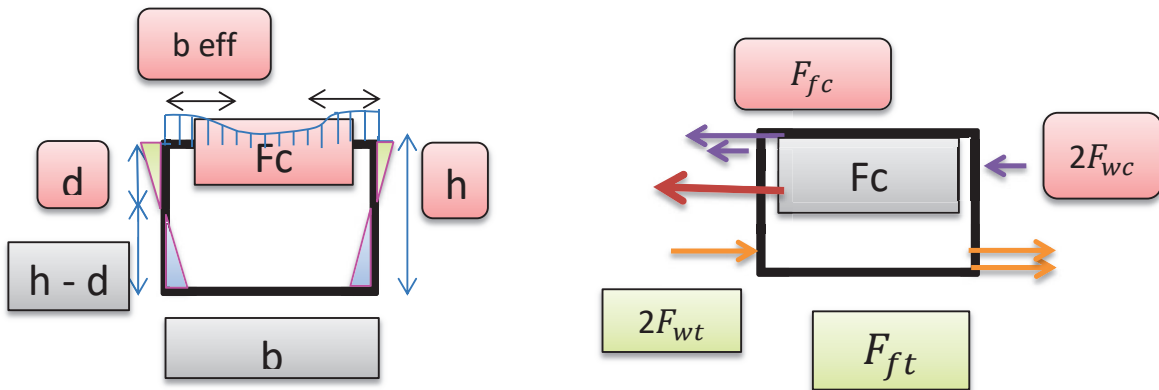
F_{cr} = Tensión crítica.

$\mu = 0.3$

$k = 10$ Von Karman.

3.2.4 Patín no compacto y alma no compacto.

Figura 3.9 Distribución de fuerzas y momento de fluencia.



Fuente: Momento Plástico RCFT a flexión, Ing. Jorge Vintimilla

$$d = \frac{f_y(h+(1-\alpha)b_1)+0.85b_1f'_c}{2f_y+0.85(\frac{b_1}{t})f'_c} \quad (3.49)$$

$$Mp = f_y \cdot t(0.5h^2 - hd + d^2 + b_1(h - (1 - \alpha)d - (1 + \alpha)t/2)) + 0.425 b_1(d - t)^2 f'_c \quad (3.50)$$

3.2.5 Patines esbeltos.

Para secciones con patines esbeltos se usaran las formulas dadas para secciones con patín compacto – alma compacta y patín no compacto - alma no compacta.

Cuadro 3.10 Momentos resistentes

SECCION	dy[cm]	dp[cm]	My[ton-m]	Mp[ton-m]
20X200X2	3.35	4.62	3.81	4.77
200X200X3	3.79	5.29	5.68	7.05
300X300X2	4.1	5.69	8.69	10.99
300X300X3	5.03	6.94	12.86	16.09

Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael

CAPITULO 4

ENSAYOS DE LABORATORIO

4.1 CONSTRUCCIÓN DE MUESTRAS

Para la elaboración de los elementos compuestos, primero se procedió a armar un perfil tubular de aceros a partir de perfiles “C” comerciales ASTM A36 soldados y pintados, en un espacio con todo lo necesario para garantizar la calidad de las probetas. Terminado el proceso se procedió al transporte hacia las afueras del Centro de Investigación de la Vivienda de la Escuela Politécnica Nacional.

Fotografía 4.1 Soldado de perfiles



Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

El almacenamiento en la parte posterior del Centro de Investigación de la Vivienda, se realiza con las medidas necesarias para evitar el contacto de las probetas con el agua, el sol y el viento para evitar de este modo la corrosión.

Al ser elementos compuestos es necesario el relleno de los perfiles con hormigón, se realiza un apuntalado para que se encuentren en equilibrio mientras se vierte el hormigón.

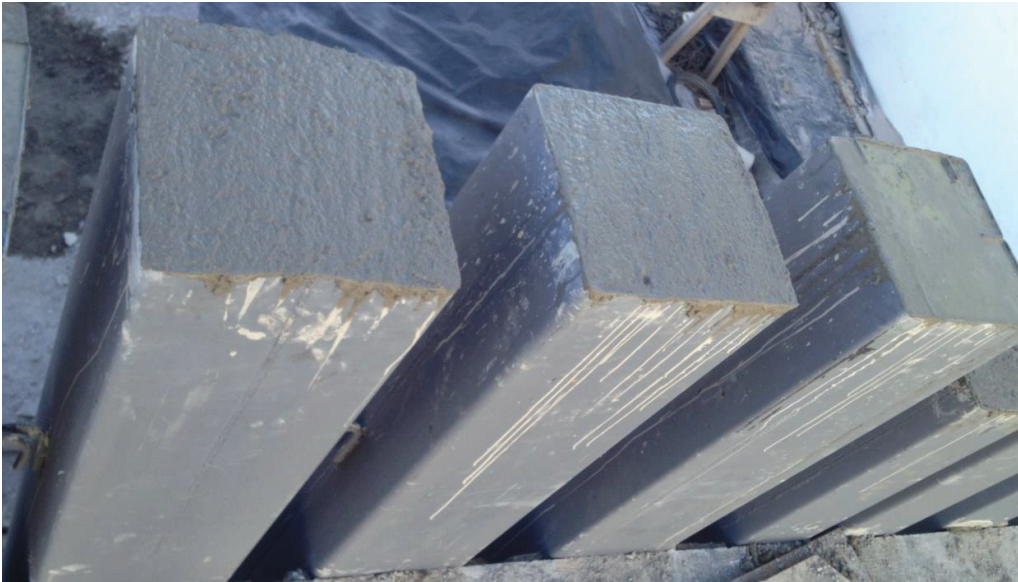
Fotografía 4.2 Apuntalado de columnas



Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

El hormigón usado para el relleno de las columnas de acero es fabricado y proporcionado por HORMEN, fue trasladado al lugar de fundición por un Mixer facilitado por la propia empresa. Se tomaron muestras de cilindros en el lugar para realizar las pruebas de laboratorio de resistencia del hormigón a los 7, 14, 28 días desde el día de la fundición, además se efectuó una prueba de resistencia al hormigón un día antes de realizarse los ensayos en el Centro de Investigación de la Vivienda.

Fotografía 4.3 Columnas rellenas de hormigón



Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

4.2 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Previo a los ensayos en el laboratorio, se debe preparar los instrumentos necesarios. Por lo que se empezó por el marco de carga, siendo la parte más importante que soporta al gato hidráulico y la celda de carga, que va a transferir la carga a cada probeta, se preparó según la Fotografía 4.4.

Para transmitir la carga de forma puntual se utilizó un cilindro de acero, el cual se dividió en dos partes, como se observa en la Fotografía 4.5

Fotografía 4.4 Marco de carga en laboratorio



Fuente: Flores Javier, Estudio experimental de vigas compuestas a flexión, 2014.

Fotografía 4.5 Cilindros



Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

El distribuidor de cargas se coloca en el centro geométrico de la probeta, sobre los cilindros ilustrados en la Fotografía 4.5, los cuales se colocan en los tercios medios de cada probeta.

Fotografía 4.6 Colocación de cilindros en el ensayo



Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

Para la medición de las deformaciones unitarias es necesario la colocación de Strain gages, que enviarán los datos de los ensayos a un computador.

Fotografía 4.7 Instalación de strain gages



Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

Al finalizar con todo el proceso de colocación de los instrumentos de medición, se procede a colocar la probeta sobre los apoyos para empezar el ensayo correspondiente.

Fotografía 4.8 Probeta lista para ser ensayada



Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

CAPITULO 5

RESULTADOS EXPERIMENTALES

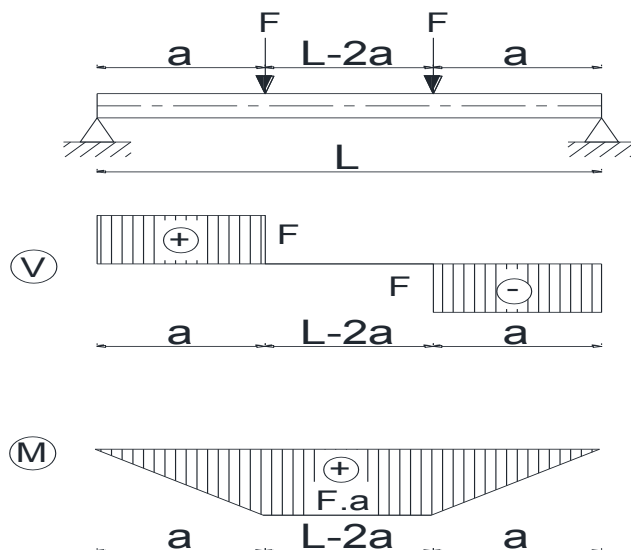
En el caso de la flexión simple, los datos que nos proporcionan los instrumentos de laboratorio son:

- P; Es la carga aplicada gradualmente al elemento de ensayo por un sistema hidráulico hasta conseguir la falla de los materiales.
- T; Es el registro del tiempo empleado desde la aplicación de la primera carga hasta la falla del elemento.
- f; Es el registro de deformación del elemento compuesto al ser aplicada la carga en aumento, se mide gracias a la instalación de Strain gages.

5.1 CALCULO DEL MOMENTO FLECTOR

El esquema del experimento para el cálculo de momento flector se especifica a continuación:

Figura 5.1 Esquema de cálculo experimental



Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

Dónde:

F; Carga puntual aplicada en los puntos requeridos.

L; Distancia entre los apoyos.

a; Distancia desde el apoyo a la carga aplicada.

V; Diagrama de Esfuerzo Cortante.

M; Diagrama de Momento Flector.

En la Figura 5.1 se observa que para el momento flector, el tercio medio es la parte más solicitada en el ensayo, traduciendo esta grafica a la Formula 5.1 expresada a continuación:

$$M = F * a \quad (5.1)$$

5.1.1 CONSTANTE EI

La flecha para un elemento simplemente apoyado sujeta a la aplicación de dos fuerzas F se encuentra determinado a través de la Fórmula 5.2, para elementos compuestos se puede determinar la constante EI.

$$f = \frac{F*a}{24EI} (3L^2 - 4a^2) \quad (5.2)$$

Dónde:

f: Flecha del elemento.

F: Carga aplicada.

a: Distancia desde el apoyo a la carga más cercana.

L: Distancia entre apoyos.

EI: Constante del material combinado hormigón acero.

Fotografía 5.1 Aplicación de cargas para las diferentes probetas



FUENTE Y ELABORACIÓN: Mejía Edison, Padilla Rafael.

5.2 ENSAYO 1. COLUMNA RELLENA DE HORMIGÓN 2C 200X200X3

5.2.1 DESCRIPCIÓN

- Columna esbelta conformada por dos perfiles C de acero A50 soldados.
- El hormigón de relleno tiene una resistencia $f'c=273 \text{ kg/cm}^2$.

Fotografía 5.2 Ensayo y fallas resultantes del ensayo 1.



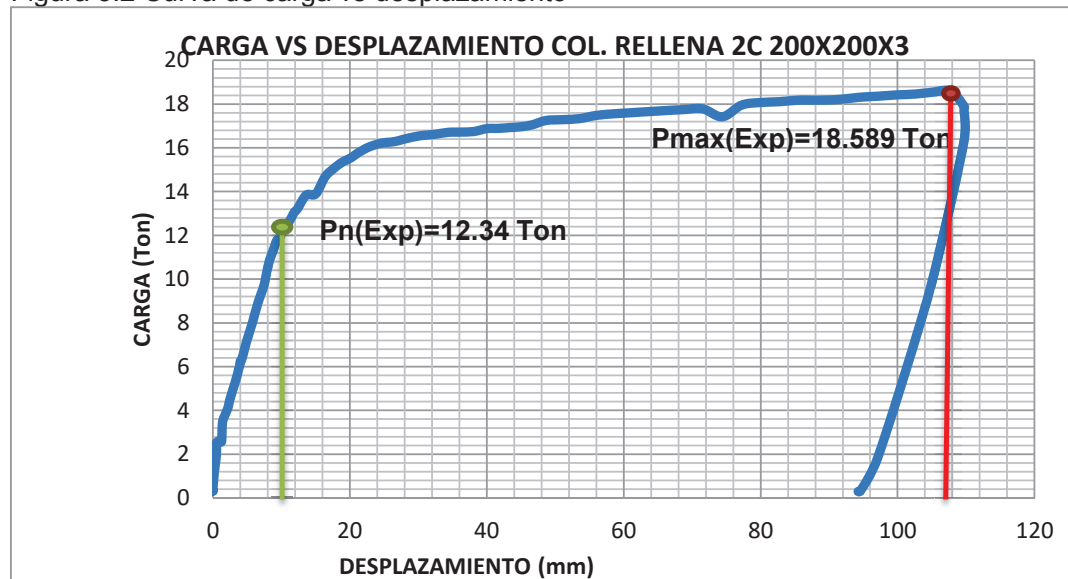
Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

Se puede observar en la fotografía las deformaciones que sufrió la columna por efecto de la aplicación de la cargas de ensayo, a estas deformaciones se las llama “Paso”, el cual para esta sección es en promedio 20cm, datos tomado y medidos durante el ensayo de laboratorio.

5.2.2 RESULTADO

En la figura 5.2 podemos observar que para la columna de 200x200x3 armada con 2C 200x100x3, la carga a la cual la sección comienza a fluir es $P_{n \text{ exp}} = 12.34 \text{ Ton}$, mientras que la carga máxima o de plastificación es $P_{\text{max exp}} = 18.589 \text{ Ton}$.

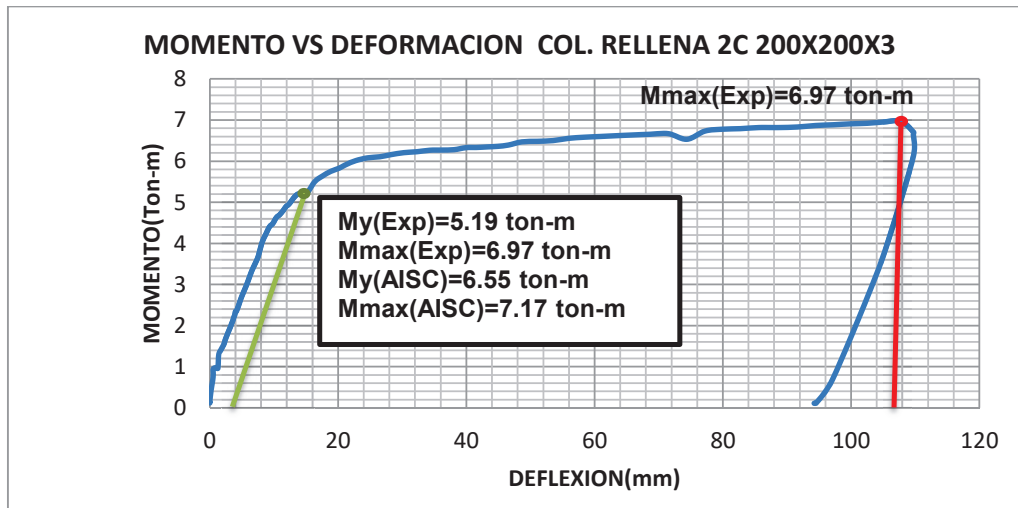
Figura 5.2 Curva de carga vs desplazamiento



Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

En la figura 5.3 podemos observar que para la columna de 200x200x3 armada con 2C 200x200x3, el momento al cual la sección comienza a fluir es $M_{y \text{ exp}} = 5.19 \text{ ton-m}$, mientras que el momento máximo o de plastificación es $M_{\text{max exp}} = 6.55 \text{ ton-m}$. Además en esta figura hemos añadido los valores de cálculo teórico para esta sección con el fin de poder comparar los valores teóricos y experimentales.

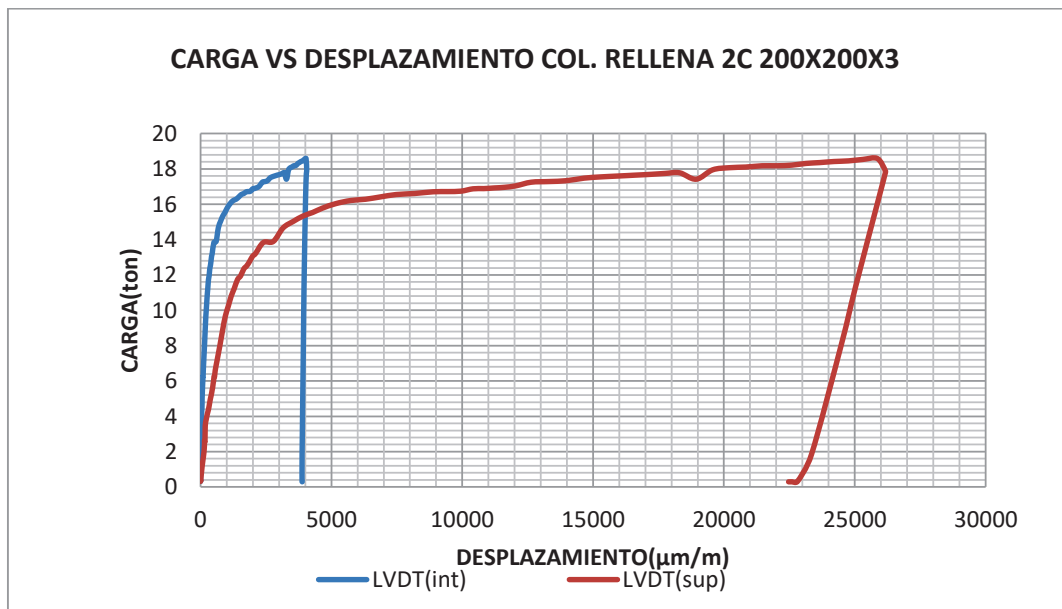
Figura 5.3 Curva de momento vs deflexión



Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

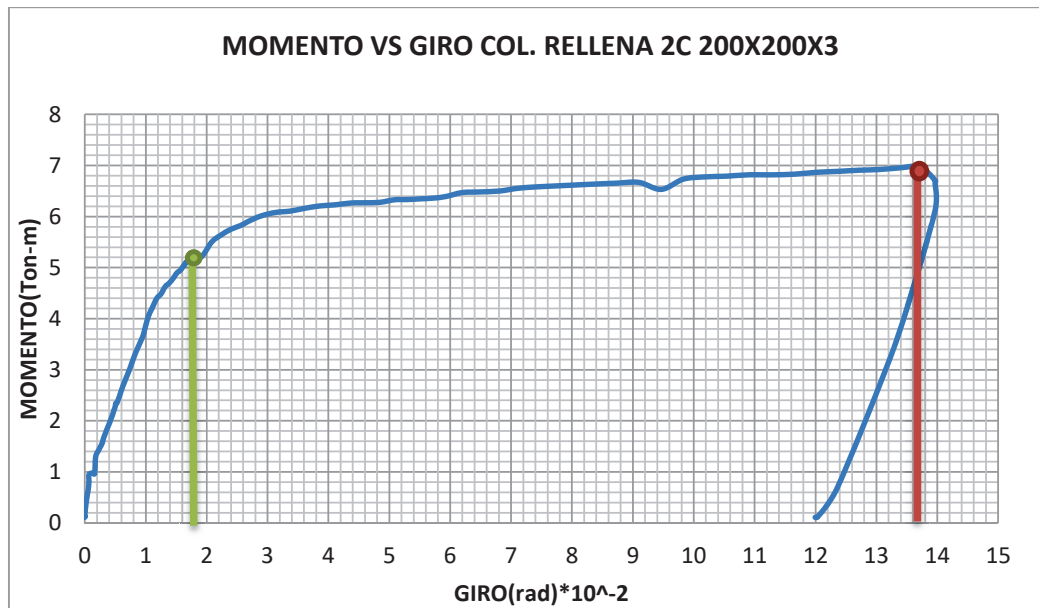
En la figura 5.4 observamos la diferencia de las lecturas, dadas por los strain gages ubicados en sitios estratégicos de la columna para lograr el objetivo del ensayo experimental.

Figura 5.4 Curva de carga vs desplazamiento unitario



Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

Figura 5.5 Curva de momento vs giro.



Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

$$Ductilidad = \frac{\theta_{Ultimo}}{\theta_{fluencia}}$$

$$Ductilidad = \frac{0.137}{0.018}$$

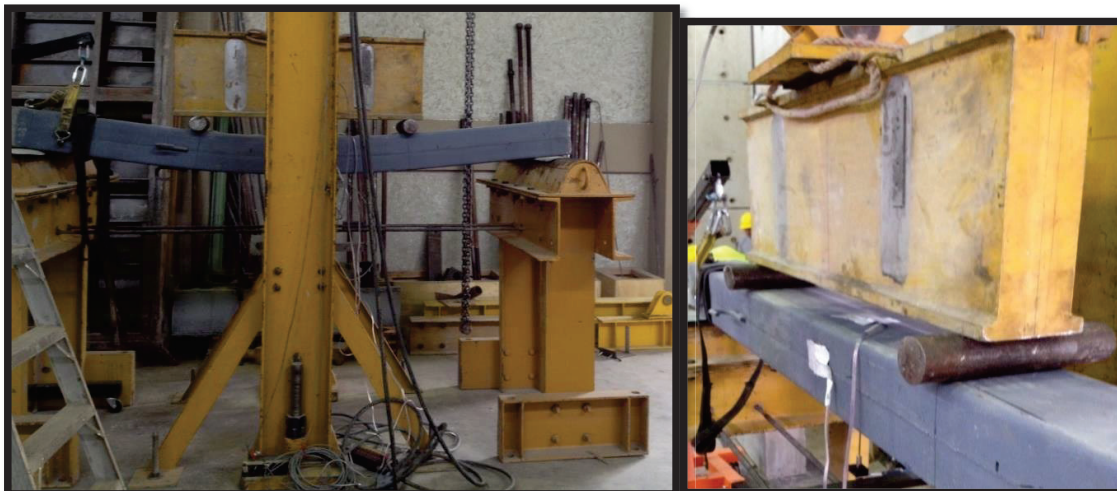
$Ductilidad = 7.6$ Corresponde a una clasificación altamente dúctil.

5.3 ENSAYO 2. COLUMNA RELLENA DE HORMIGÓN 2C 200X200X2

5.3.1 DESCRIPCIÓN

- Columna esbelta conformada por dos perfiles C de acero A50 soldados.
- El hormigón de relleno tiene una resistencia $f'c=273 \text{ kg/cm}^2$.

Fotografía 5.3 Ensayo y fallas resultantes del ensayo 2.





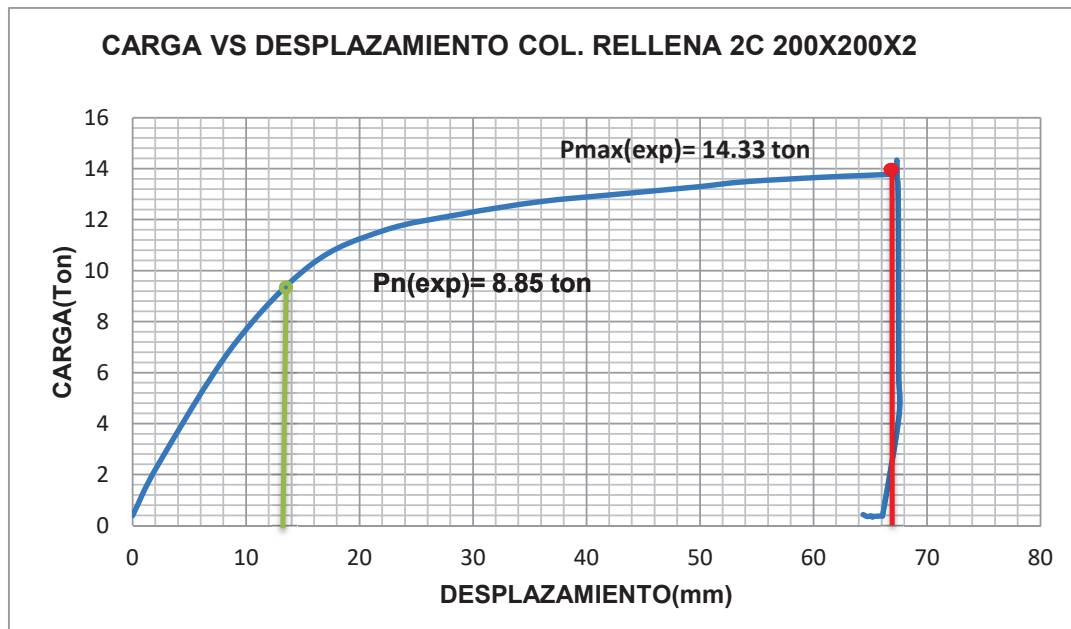
Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

Se puede observar en la fotografía las deformaciones que sufrió la columna por efecto de la aplicación de la cargas de ensayo, a estas deformaciones se las llama “Paso”, el cual para esta sección es en promedio 20cm, datos tomado y medidos durante el ensayo de laboratorio.

5.3.2 RESULTADOS

En la figura 5.6 podemos observar que para la columna de 200x200x2 armada con 2C 200x100x2, la carga a la cual la sección comienza a fluir es $P_{n\ exp} = 8.85\ \text{Ton}$, mientras que la carga máxima o de plastificación es $P_{max\ exp} = 14.33\ \text{Ton}$.

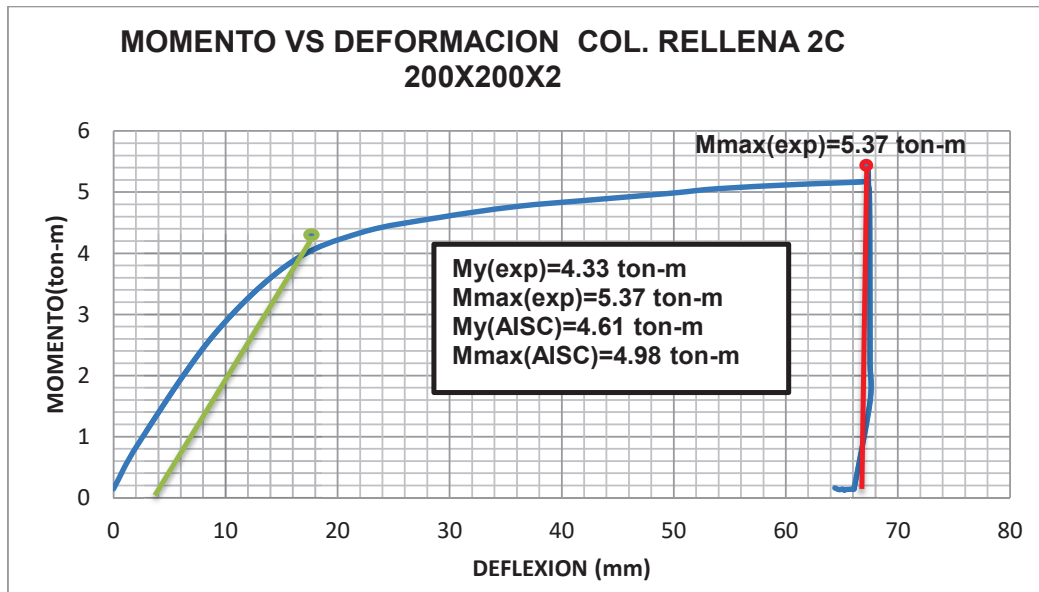
Figura 5.6 Curva de carga vs desplazamiento.



Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

En la figura 5.7 podemos observar que para la columna de 200x200x2 armada con 2C 200x100x2, el momento al cual la sección comienza a fluir es $M_{yexp} = 4.33 \text{ ton-m}$, mientras que el momento máximo o de plastificación es $M_{max\ exp} = 5.37 \text{ ton-m}$. Además en esta figura hemos añadido los valores de cálculo teórico para esta sección con el fin de poder comparar los valores teóricos y experimentales.

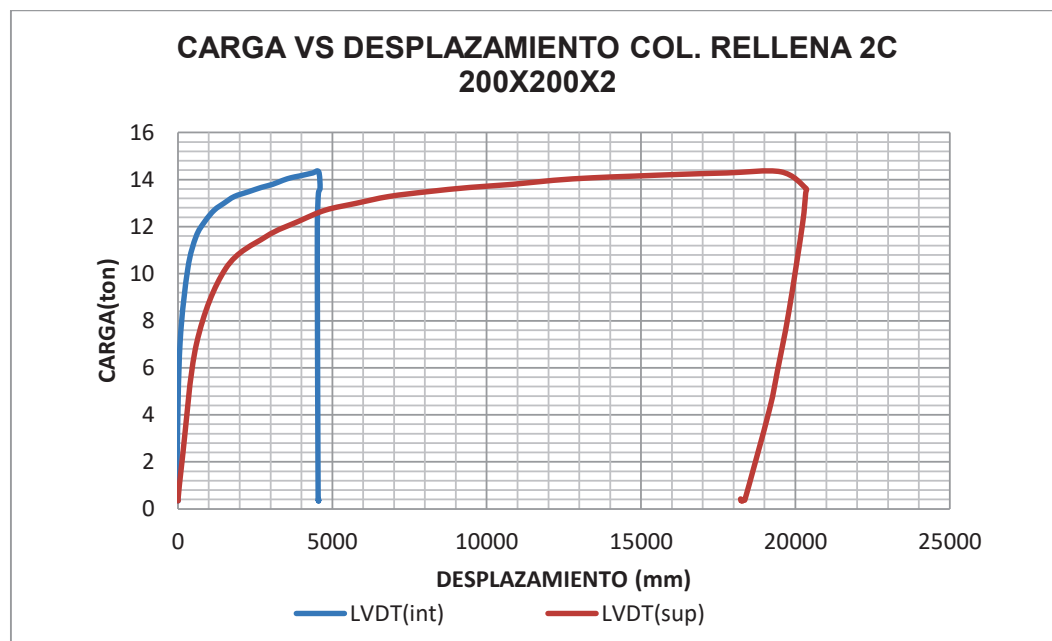
Figura 5.7 Curva de momento vs deflexión



Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

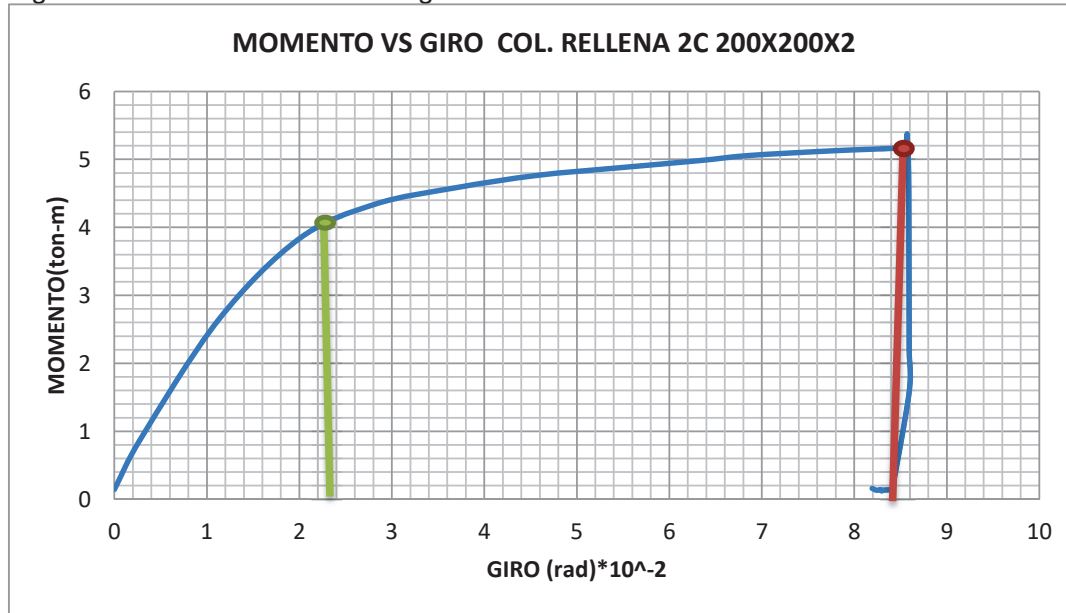
En la figura 5.8 observamos la diferencia de las lecturas, dadas por los strain gages ubicados en sitios estratégicos de la columna para lograr el objetivo del ensayo experimental.

Figura 5.8 Curva de carga vs desplazamiento unitario



Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael

Figura 5.9 Curva de momento vs giro.



Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael

$$Ductilidad = \frac{\theta_{Ultimo}}{\theta_{fluencia}}$$

$$Ductilidad = \frac{0.084}{0.024}$$

$Ductilidad = 3.5$ Corresponde a una clasificación de baja ductilidad.

5.4 ENSAYO 3. COLUMNA RELLENA DE HORMIGÓN 2C 200X50X2, 2C 200X100X2.

5.4.1 DESCRIPCIÓN

- Columna esbelta conformada por perfiles C de acero A50 soldados.
- El hormigón de relleno tiene una resistencia $f'c=273 \text{ kg/cm}^2$.

Fotografía 5.4 Ensayo y fallas resultantes del ensayo 3





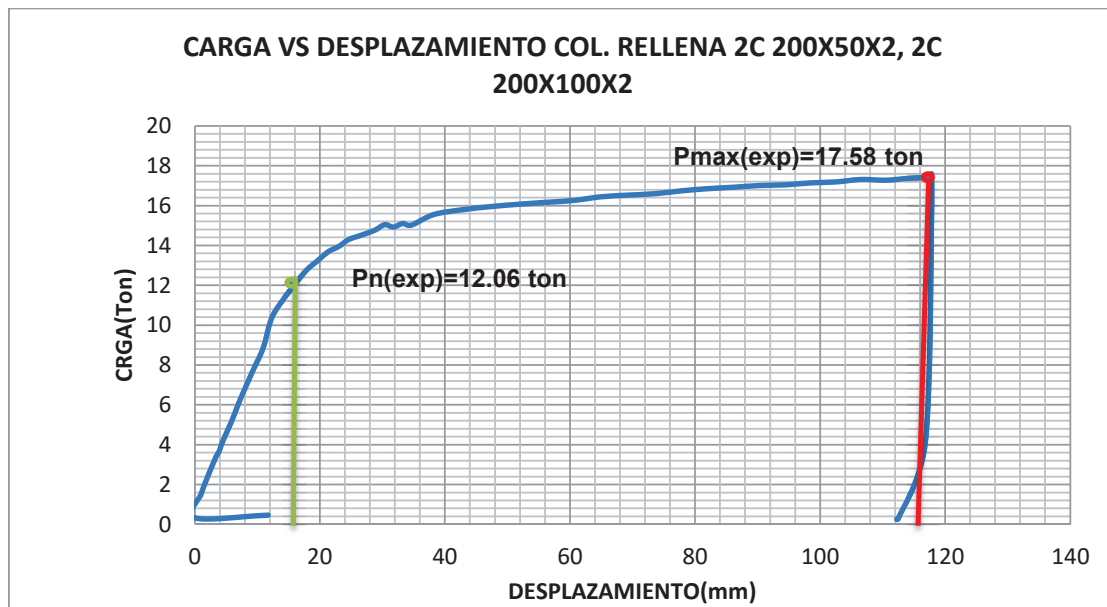
Fuente y Elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

Se puede observar en la fotografía las deformaciones que sufrió la columna por efecto de la aplicación de la cargas de ensayo, a estas deformaciones se las llama “Paso”, el cual para esta sección es en promedio 13cm, datos tomado y medidos durante el ensayo de laboratorio.

5.4.2 RESULTADOS

En la figura 5.10 podemos observar que para la columna de 200x200x2 armada con 2C 200x100x2 y 2C 200x50x2, la carga a la cual la sección comienza a fluir es $P_{n \text{ exp}} = 12.06 \text{ Ton}$, mientras que la carga máxima o de plastificación es $P_{\text{max exp}} = 17.58 \text{ Ton}$.

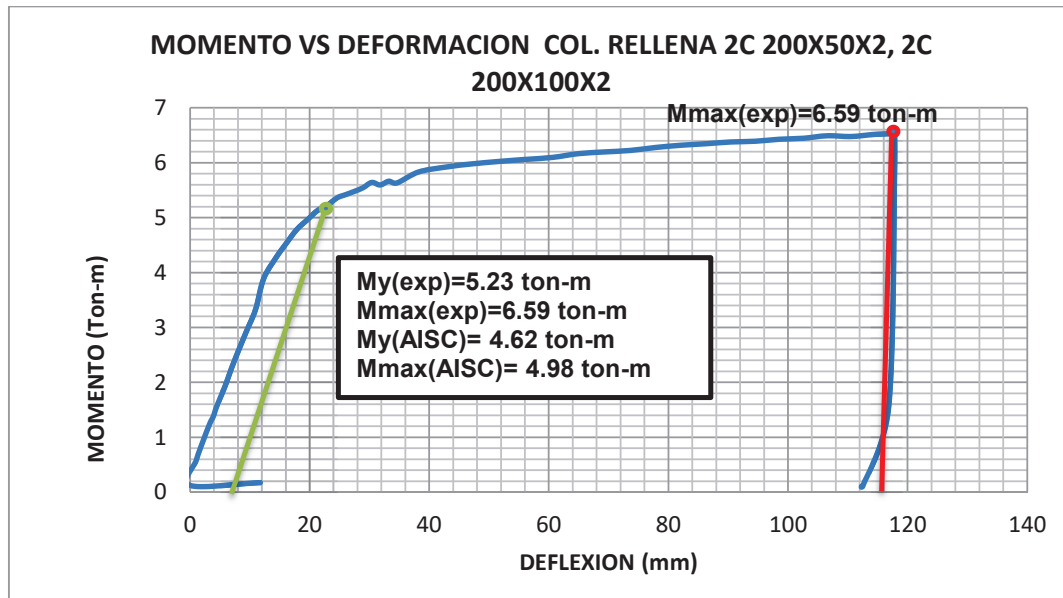
Figura 5.10 Curva de carga vs desplazamiento



Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

En la figura 5.11 podemos observar que para la columna de 200x200x2 armada con 2C 200x100x2 y 2C 200x50x2, el momento al cual la sección comienza a fluir es $M_{y_{exp}} = 5.23 \text{ ton-m}$, mientras que el momento máximo o de plastificación es $M_{max_{exp}} = 6.59 \text{ ton-m}$. Además en esta figura hemos añadido los valores de cálculo teórico para esta sección con el fin de poder comparar los valores teóricos y experimentales.

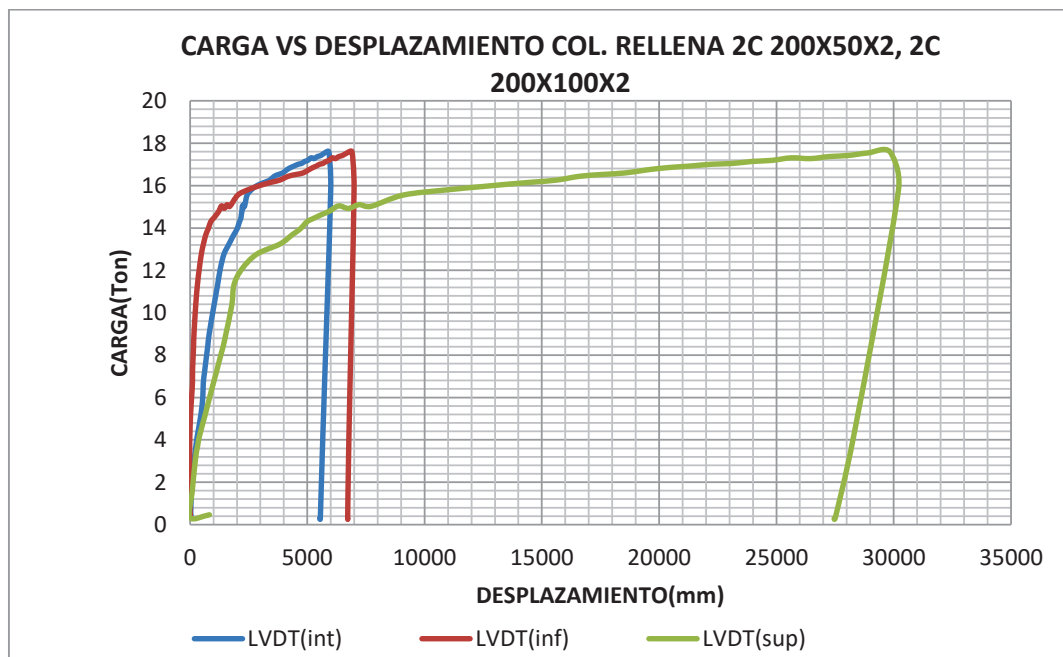
Figura 5.11 Curva de momento vs deflexión



Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

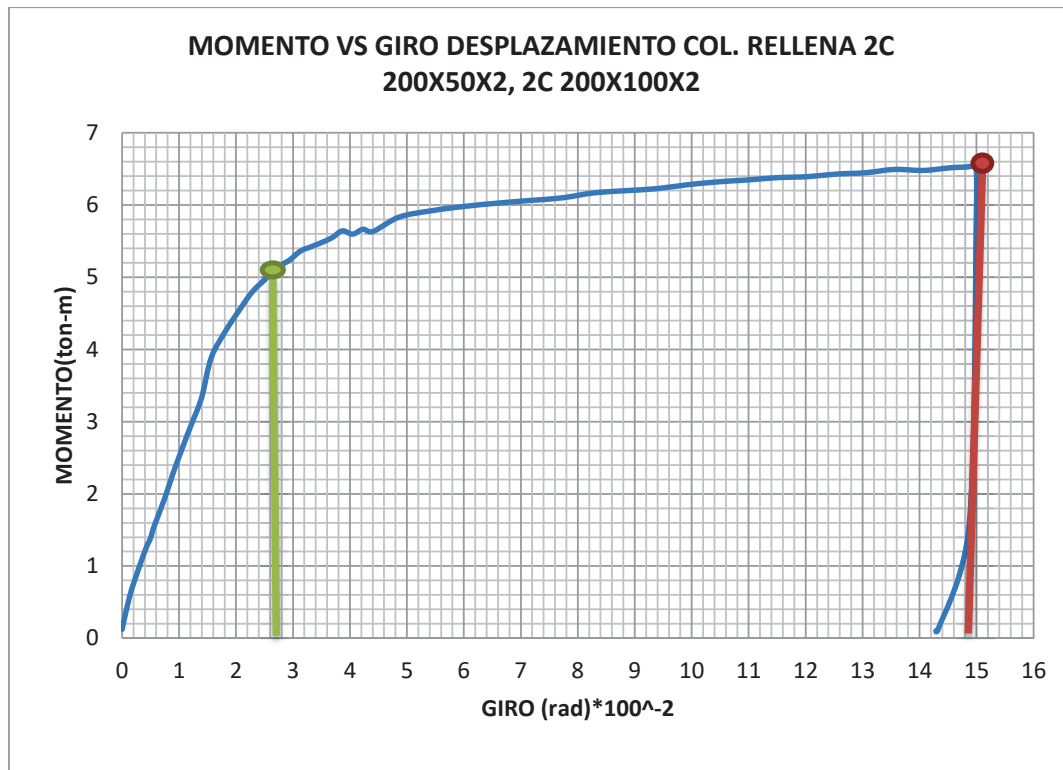
En la figura 5.12 observamos la diferencia de las lecturas, dadas por los strain gages ubicados en sitios estratégicos de la columna para lograr el objetivo del ensayo experimental.

Figura 5.12 Curva de carga vs desplazamiento unitario



Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

Figura 5.13 Curva de momento vs giro.



Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

$$Ductilidad = \frac{\theta_{Ultimo}}{\theta_{fluencia}}$$

$$Ductilidad = \frac{0.149}{0.029}$$

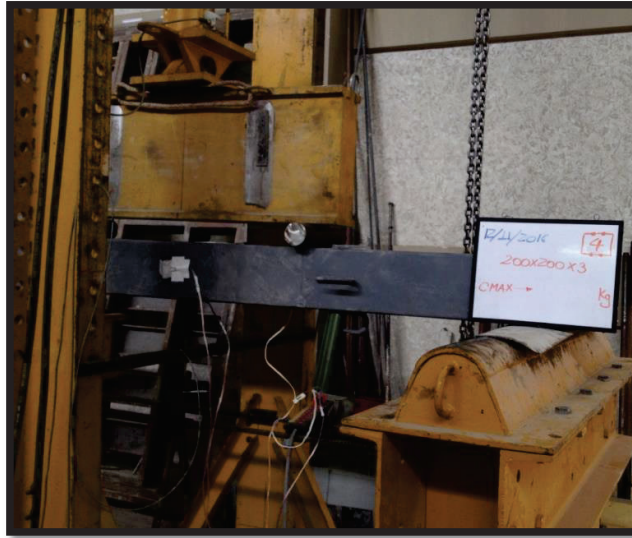
$Ductilidad = 5.13$ Corresponde a una clasificación de moderada ductilidad.

5.5 ENSAYO 4. COLUMNA RELLENA DE HORMIGÓN 2C 200X50X3, 2C 200X100X3.

5.5.1 DESCRIPCIÓN

- Columna esbelta conformada por perfiles C de acero A50 soldados.
- El hormigón de relleno tiene una resistencia $f'c=273 \text{ kg/cm}^2$.

Fotografía 5.5 Ensayo y fallas resultantes del ensayo 4



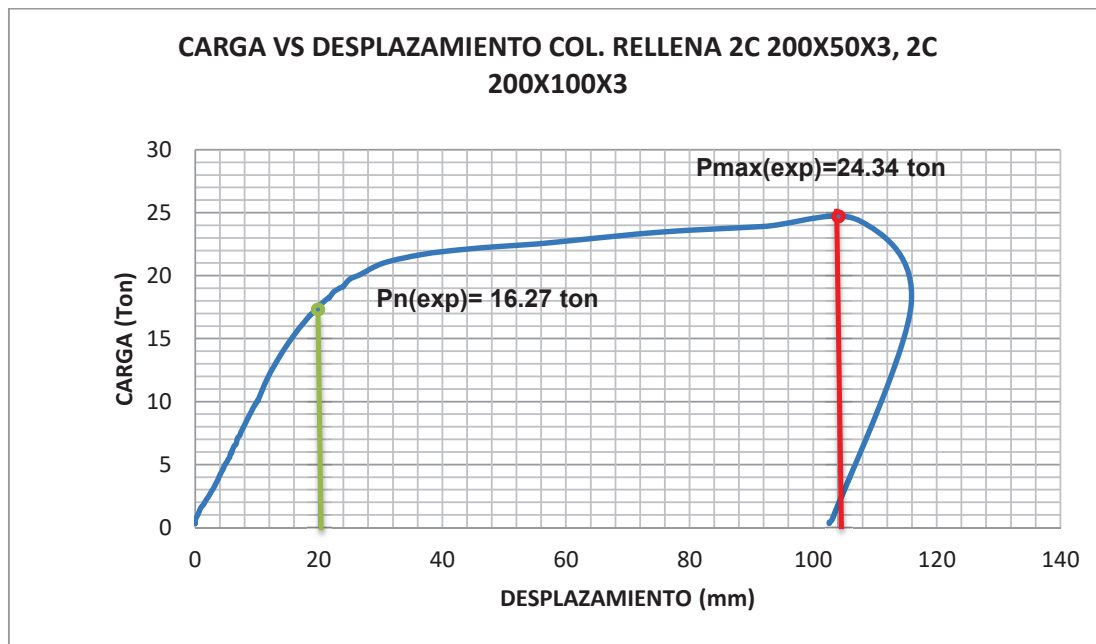
Fuente y Elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

Se puede observar en la fotografía las deformaciones que sufrió la columna por efecto de la aplicación de la cargas de ensayo, a estas deformaciones se las llama "Paso", el cual para esta sección es en promedio 30 cm, datos tomado y medidos durante el ensayo de laboratorio.

5.5.2 RESULTADOS

En la figura 5.14 podemos observar que para la columna de 200x200x3 armada con 2C 200x100x3 y 2C 200x50x3, la carga a la cual la sección comienza a fluir es $P_{n \text{ exp}} = 16.27 \text{ Ton}$, mientras que la carga máxima o de plastificación es $P_{\text{max exp}} = 24.34 \text{ Ton}$.

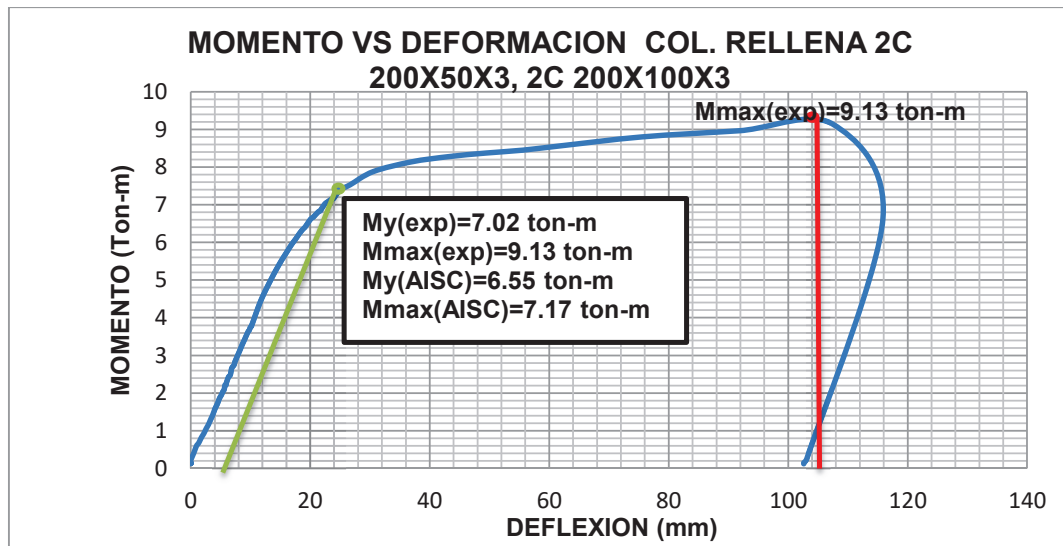
Figura 5.14 Curva de carga vs desplazamiento



Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

En la figura 5.15 podemos observar que para la columna de 200x200x3 armada con 2C 200x100x3 y 2C 200x50x3, el momento al cual la sección comienza a fluir es $M_{y \text{ exp}} = 7.02 \text{ ton-m}$, mientras que el momento máximo o de plastificación es $M_{\text{max exp}} = 9.13 \text{ ton-m}$. Además en esta figura hemos añadido los valores de cálculo teórico para esta sección con el fin de poder comparar los valores teóricos y experimentales.

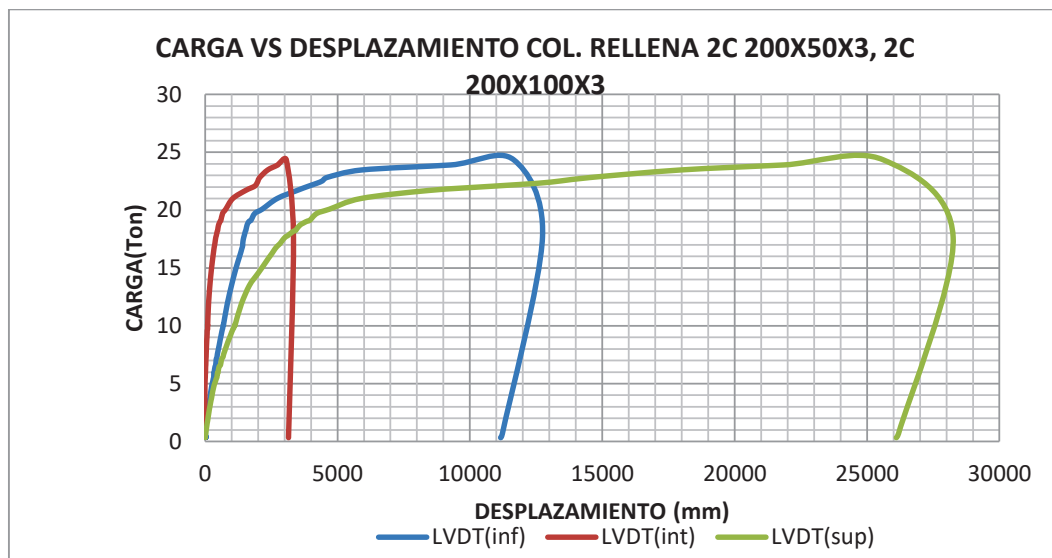
Figura 5.15 Curva de momento vs deflexión



Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

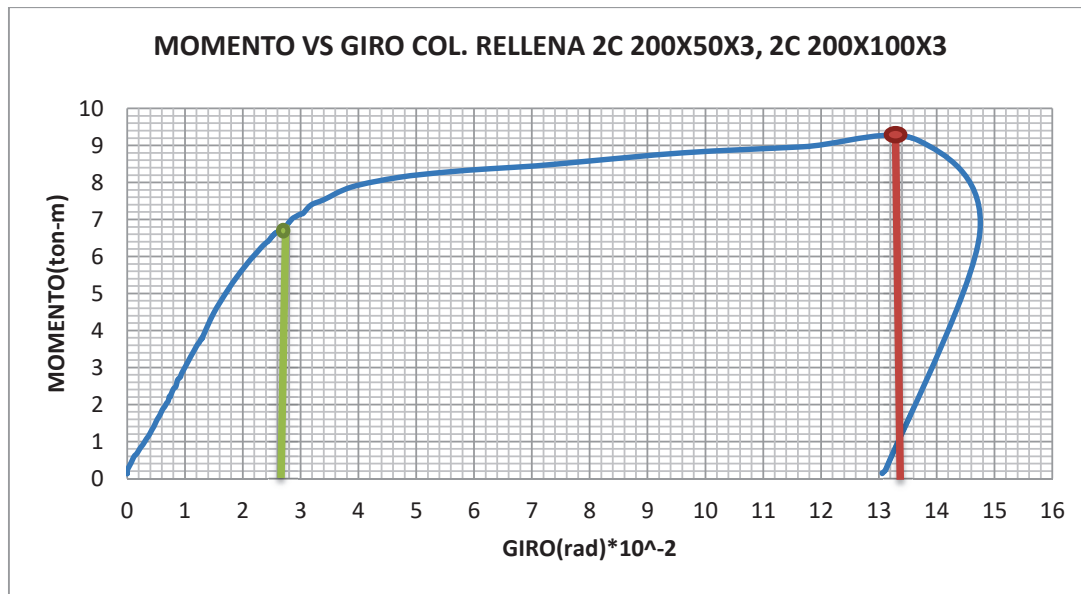
En la figura 5.16 observamos la diferencia de las lecturas, dadas por los strain gages ubicados en sitios estratégicos de la columna para lograr el objetivo del ensayo experimental.

Figura 5.16 Curva de carga vs desplazamiento unitario



Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

Figura 5.17 Curva de momento vs giro.



Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

$$Ductilidad = \frac{\theta_{Ultimo}}{\theta_{fluencia}}$$

$$Ductilidad = \frac{0.133}{0.028}$$

$Ductilidad = 4.75$ Corresponde a una clasificación de moderada ductilidad.

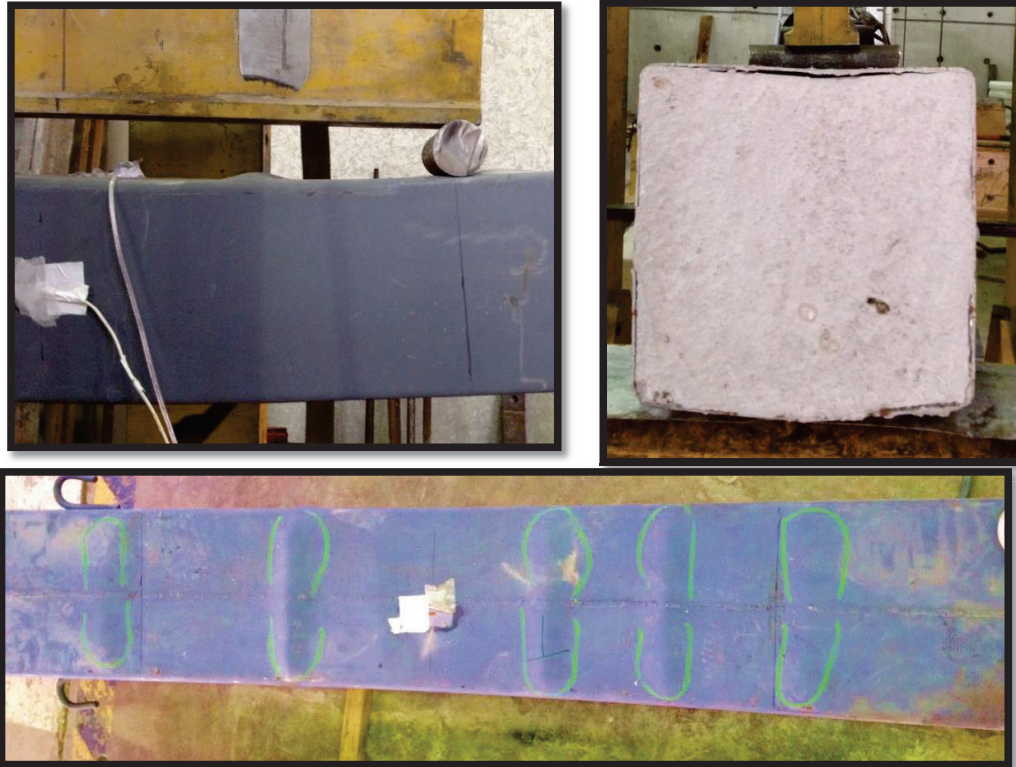
5.6 ENSAYO 5. COLUMNA RELLENA DE HORMIGÓN 2C 300X300X2.

5.6.1 DESCRIPCIÓN

- Columna esbelta conformada por dos perfiles C de acero A50 soldados.
- El hormigón de relleno tiene una resistencia $f'c=273 \text{ kg/cm}^2$.

Fotografía 5.6 Ensayo y fallas resultantes del ensayo 5.





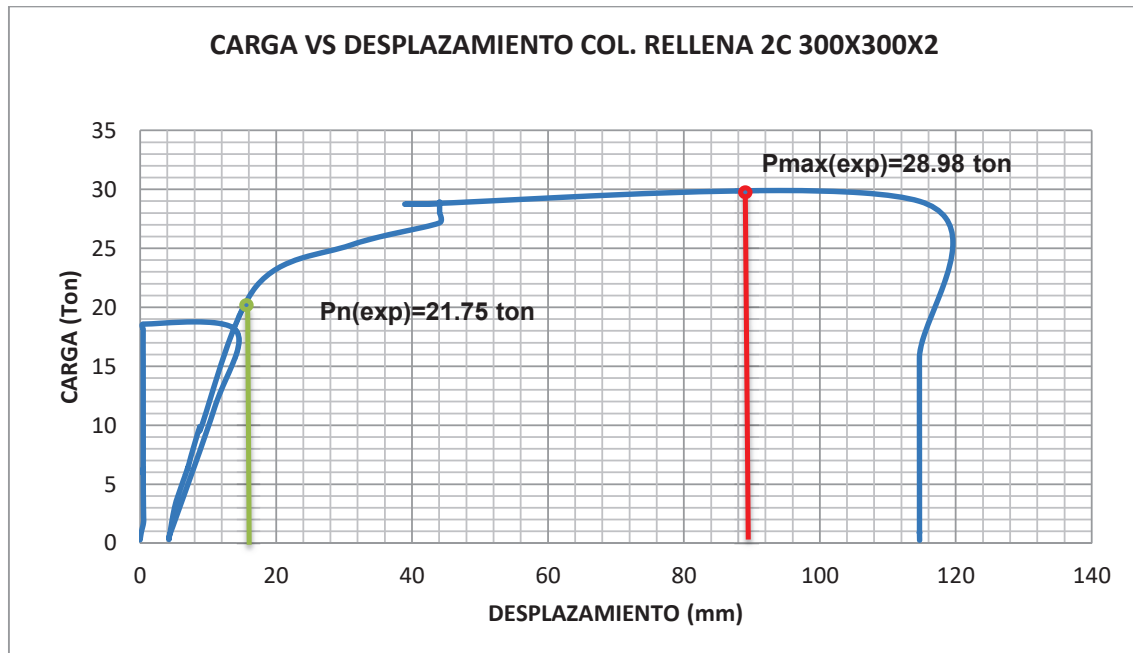
Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael

Se puede observar en la fotografía las deformaciones que sufrió la columna por efecto de la aplicación de la cargas de ensayo, a estas deformaciones se las llama “Paso”, el cual para esta sección es en promedio 25 cm, datos tomado y medidos durante el ensayo de laboratorio.

5.6.2 RESULTADOS

En la figura 5.18 podemos observar que para la columna de 300x300x2 armada con 2C 300x150x2, la carga a la cual la sección comienza a fluir es $P_{n\ exp} = 21.75$ Ton, mientras que la carga máxima o de plastificación es $P_{max\ exp} = 28.98$ Ton.

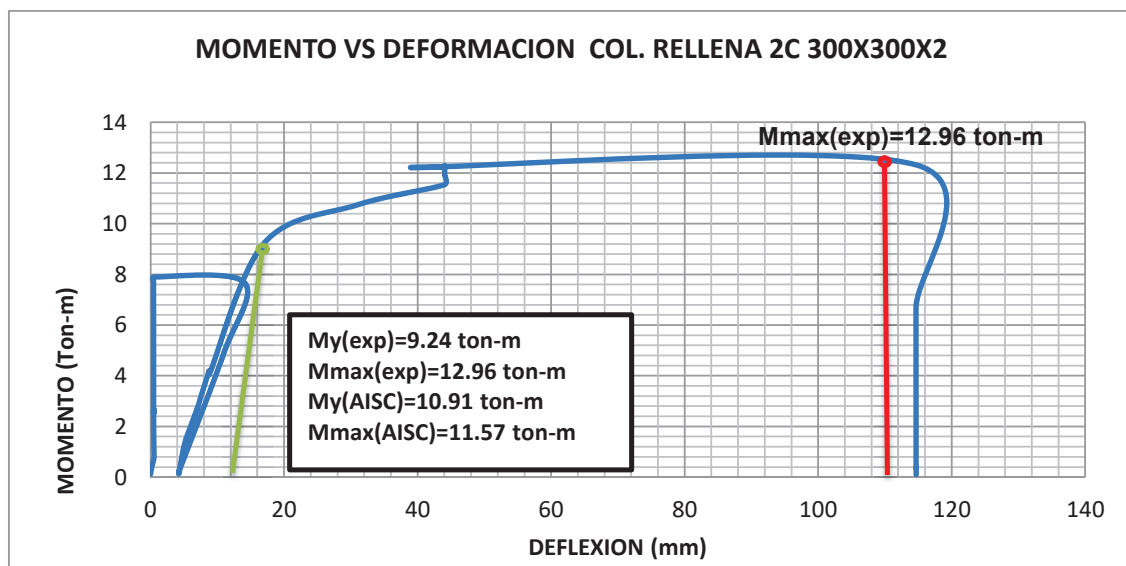
Figura 5.18 Curva de carga vs desplazamiento



Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

En la figura 5.19 podemos observar que para la columna de 300x300x2 armada con 2C 300x150x2, el momento al cual la sección comienza a fluir es $M_{y_{\text{exp}}} = 9.24 \text{ ton-m}$, mientras que el momento máximo o de plastificación es $M_{\text{max exp}} = 12.96 \text{ ton-m}$. Además en esta figura hemos añadido los valores de cálculo teórico para esta sección con el fin de poder comparar los valores teóricos y experimentales.

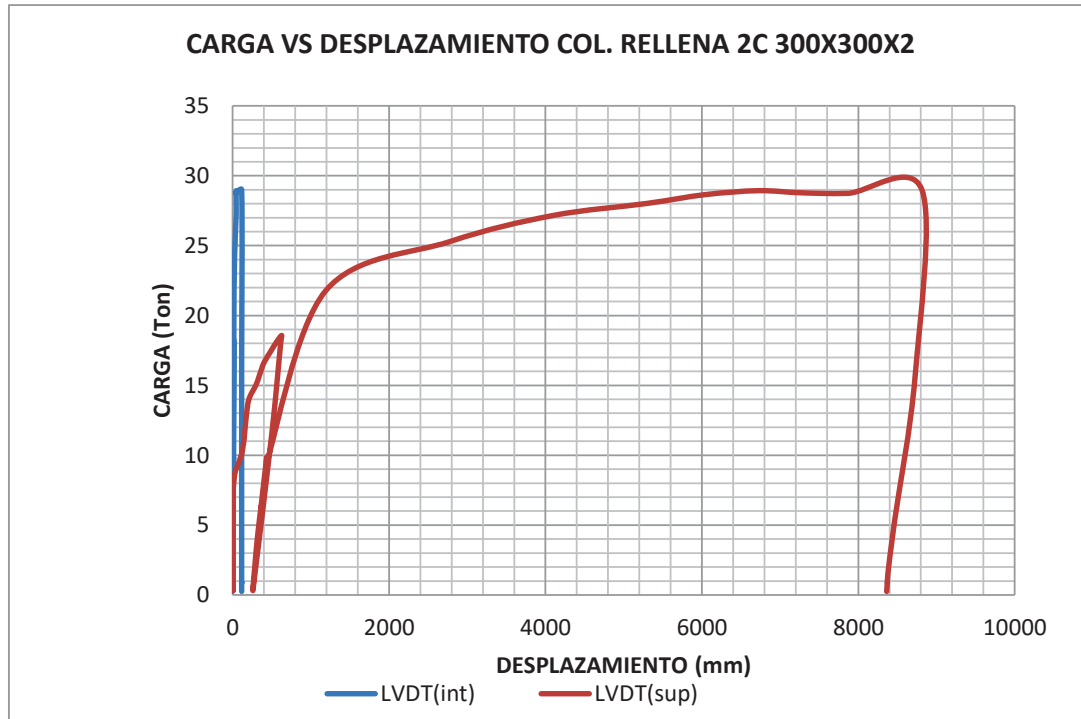
Figura 5.19 Curva de momento vs deflexión



Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

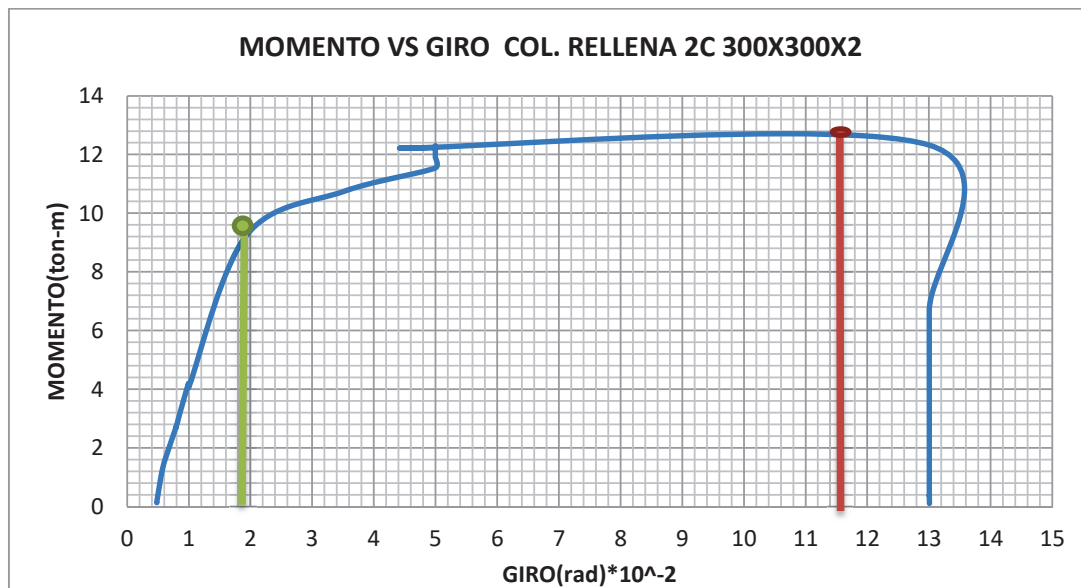
En la figura 5.20 observamos la diferencia de las lecturas, dadas por los strain gages ubicados en sitios estratégicos de la columna para lograr el objetivo del ensayo experimental.

Figura 5.20 Curva de carga vs desplazamiento unitario



Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

Figura 5.21 Curva de momento vs giro.



Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

$$Ductilidad = \frac{\theta_{Ultimo}}{\theta_{fluencia}}$$

$$Ductilidad = \frac{0.117}{0.019}$$

Ductilidad = 6.16 Corresponde una clasificación de moderada ductilidad.

5.7 ENSAYO 6. COLUMNA RELLENA DE HORMIGÓN 2C 200X50X3, 4C 150X50X3.

5.7.1 DESCRIPCION

- Columna esbelta conformada por dos perfiles C de acero A50 soldados.
- El hormigón de relleno tiene una resistencia $f'c=273 \text{ kg/cm}^2$.

Fotografía 5.7 Ensayo y fallas resultantes del ensayo 6.



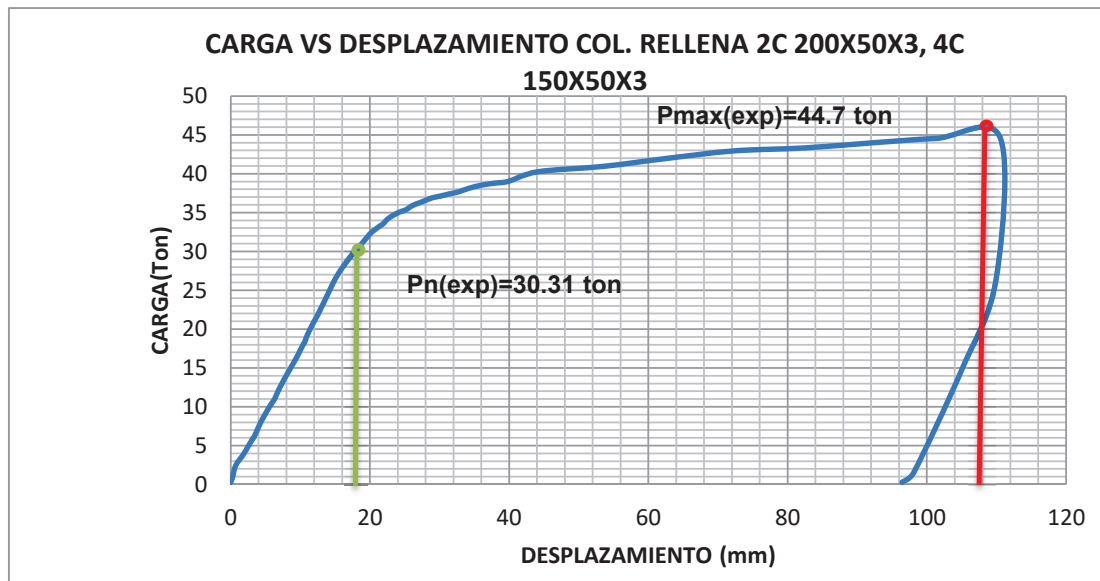
Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

Se puede observar en la fotografía las deformaciones que sufrió la columna por efecto de la aplicación de la cargas de ensayo, a estas deformaciones se las llama “Paso”, el cual para esta sección es en promedio 15 cm, datos tomado y medidos durante el ensayo de laboratorio.

5.7.2 RESULTADOS

En la figura 5.17 podemos observar que para la columna de 300x300x3 armada con 2C 200x50x3 y 4C 150x50x3, la carga a la cual la sección comienza a fluir es $P_{n \text{ exp}} = 30.31 \text{ Ton}$, mientras que la carga máxima o de plastificación es $P_{\text{max exp}} = 44.70 \text{ Ton}$.

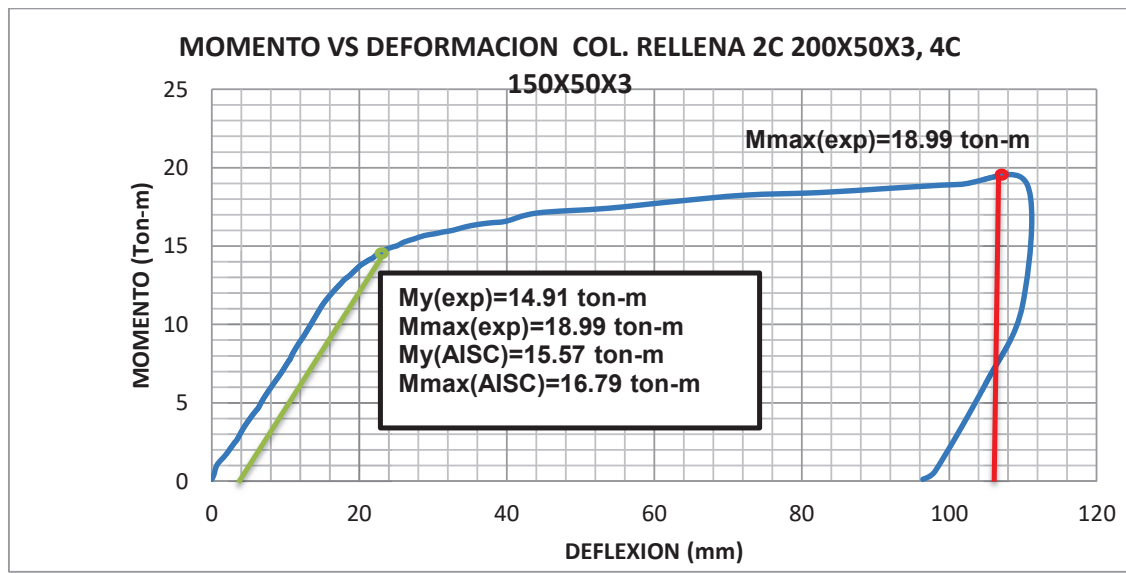
Figura 5.22 Curva de carga vs desplazamiento



Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

En la figura 5.23 podemos observar que para la columna de 300x300x3 armada con 2C 200x50x3 y 4C 150x50x3, el momento al cual la sección comienza a fluir es $M_{y \text{ exp}} = 14.91 \text{ ton-m}$, mientras que el momento máximo o de plastificación es $M_{\text{max exp}} = 18.99 \text{ ton-m}$. Además en esta figura hemos añadido los valores de cálculo teórico para esta sección con el fin de poder comparar los valores teóricos y experimentales.

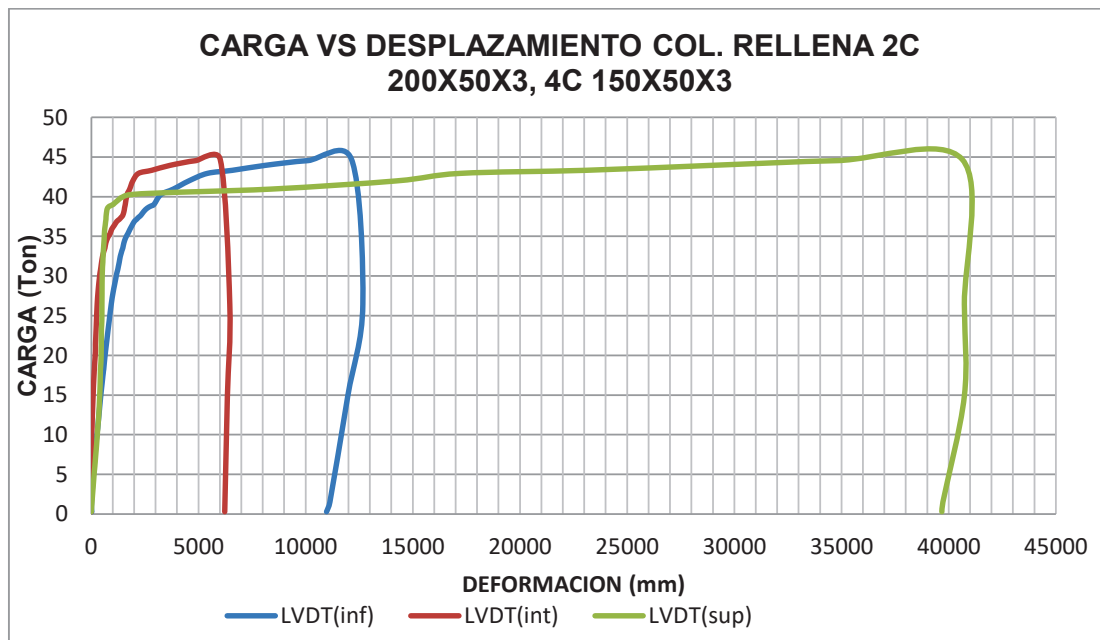
Figura 5.23 Curva de momento vs deflexión



Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

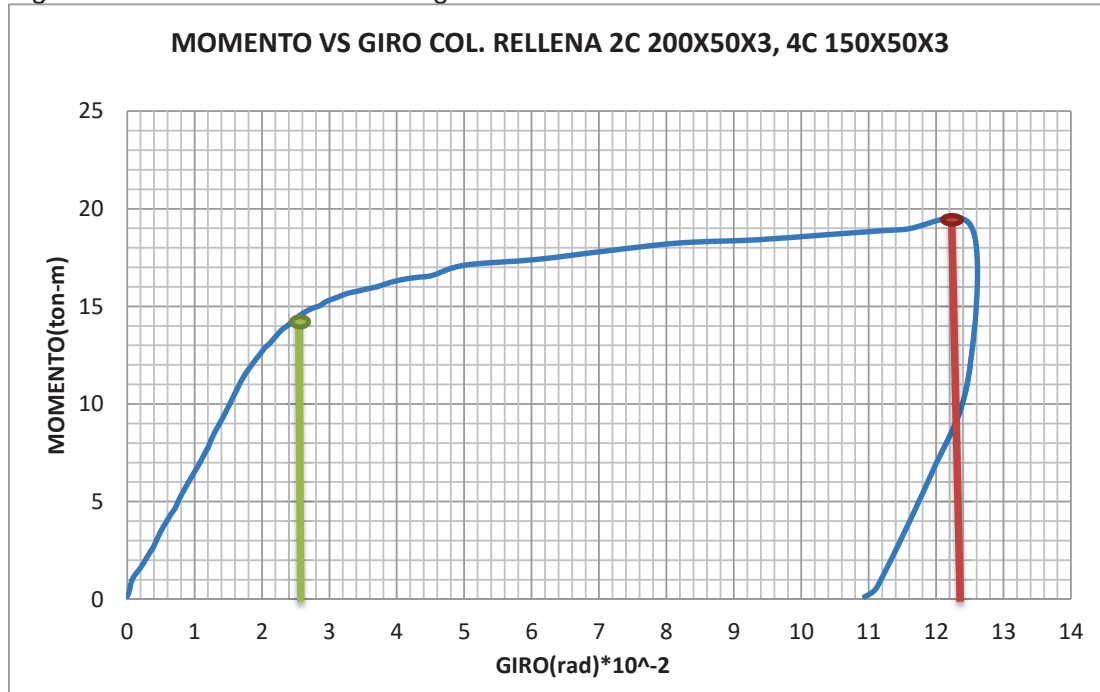
En la figura 5.24 observamos la diferencia de las lecturas, dadas por los strain gages ubicados en sitios estratégicos de la columna para lograr el objetivo del ensayo experimental.

Figura 5.24 Curva de carga vs desplazamiento unitario



Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

Figura 5.25 Curva de momento vs giro.



Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

$$Ductilidad = \frac{\theta_{Ultimo}}{\theta_{fluencia}}$$

$$Ductilidad = \frac{0.123}{0.026}$$

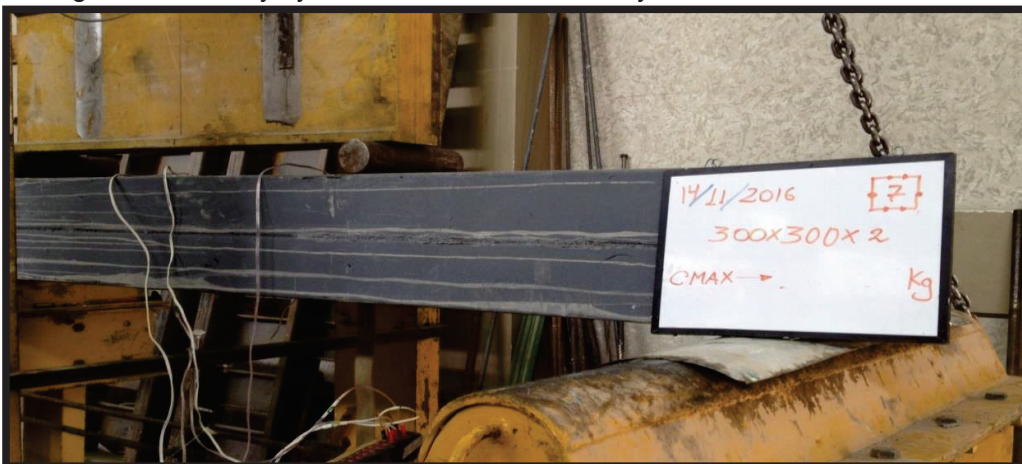
$Ductilidad = 4.73$ Corresponde a una clasificación de moderada ductilidad.

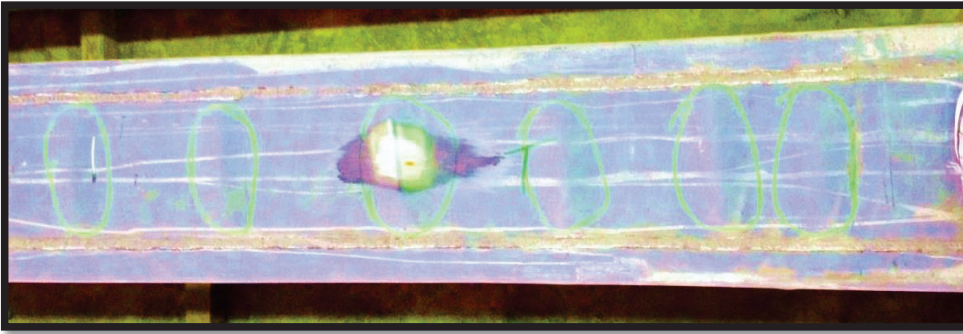
5.8 ENSAYO 7. COLUMNA RELLENA DE HORMIGÓN 2C 200X50X2, 4C 150X50X2.

5.8.1 DESCRIPCION

- Columna esbelta conformada por perfiles C de acero A50 soldados.
- El hormigón de relleno tiene una resistencia $f'c=73 \text{ kg/cm}^2$

Fotografía 5.8 Ensayo y fallas resultantes del ensayo 7





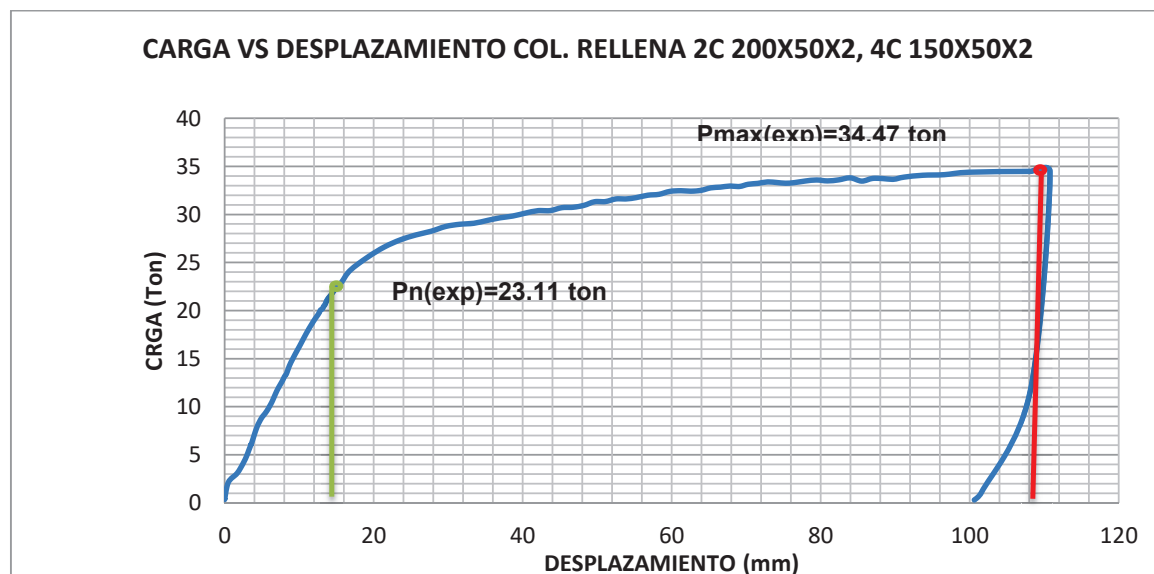
Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

Se puede observar en la fotografía las deformaciones que sufrió la columna por efecto de la aplicación de la cargas de ensayo, a estas deformaciones se las llama “Paso”, el cual para esta sección es en promedio 25 cm, datos tomado y medidos durante el ensayo de laboratorio.

5.8.2 RESULTADOS

En la figura 5.26 podemos observar que para la columna de 300x300x2 armada con 2C 200x50x2 y 4C 150x50x2, la carga a la cual la sección comienza a fluir es $P_{n \text{ exp}} = 23.11 \text{ Ton}$, mientras que la carga máxima o de plastificación es $P_{\text{max exp}} = 34.47 \text{ Ton}$.

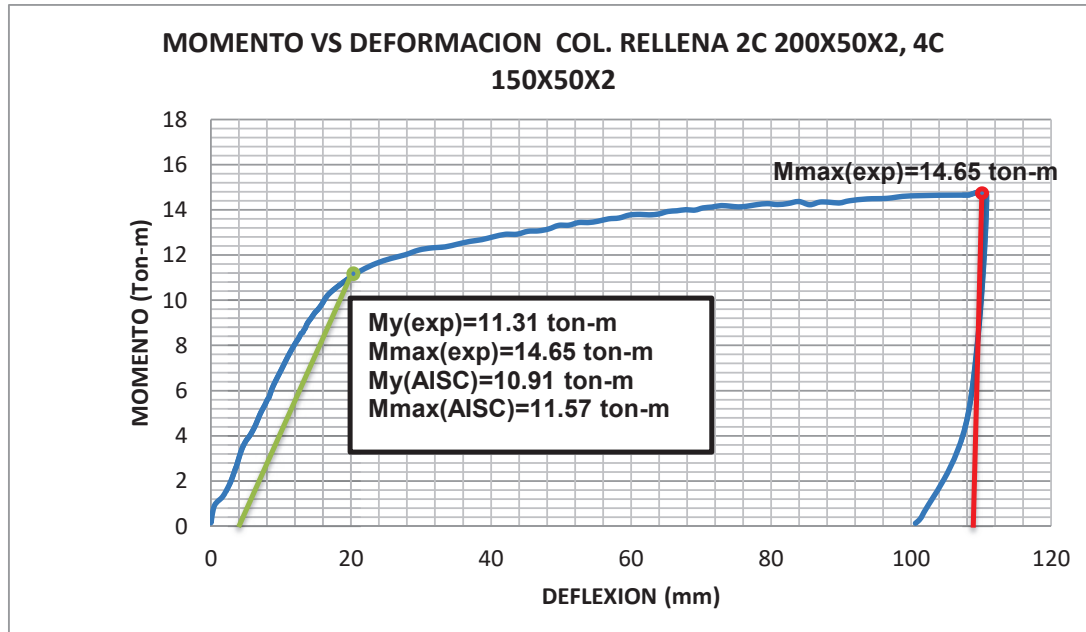
Figura 5.26 Curva de carga vs desplazamiento



Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

En la figura 5.27 podemos observar que para la columna de 300x300x2 armada con 2C 200x50x2 y 4C 150x50x2, el momento al cual la sección comienza a fluir es $M_{y_{exp}} = 11.31$ ton-m, mientras que el momento máximo o de plastificación es $M_{max_{exp}} = 14.65$ ton-m. Además en esta figura hemos añadido los valores de cálculo teórico para esta sección con el fin de poder comparar los valores teóricos y experimentales.

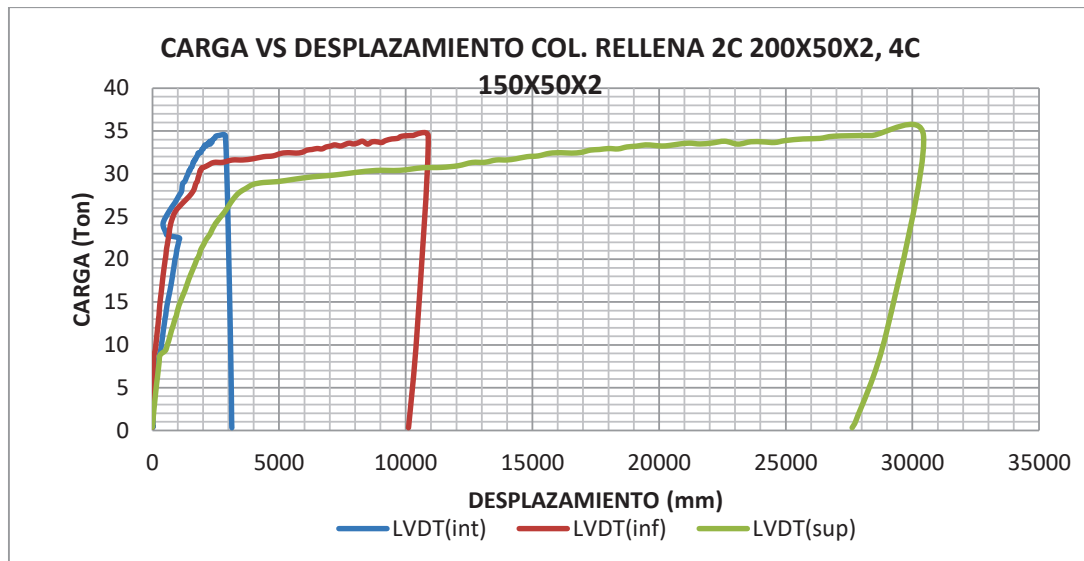
Figura 5.27 Curva de momento vs deflexión



Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

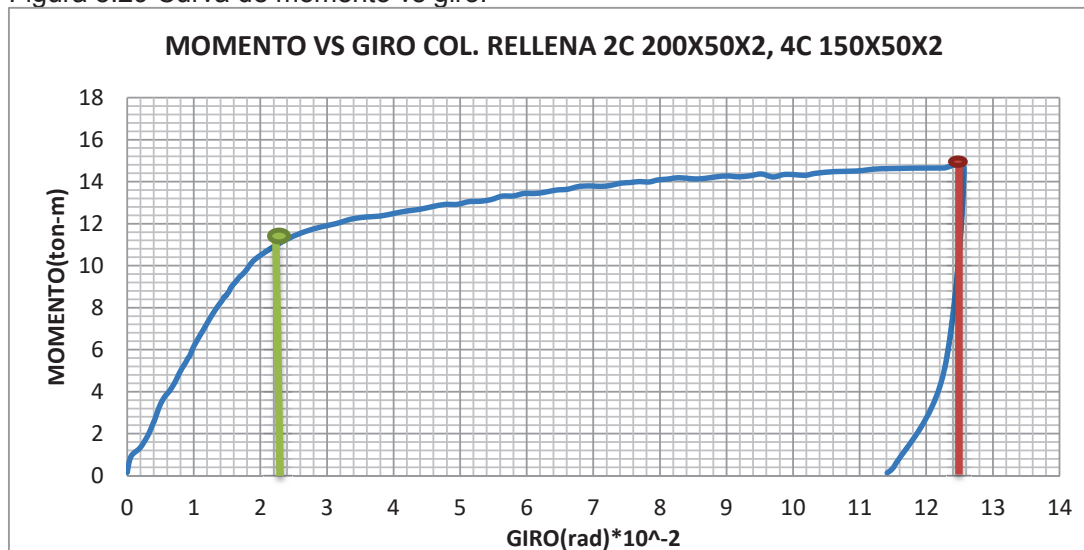
En la figura 5.28 observamos la diferencia de las lecturas, dadas por los strain gages ubicados en sitios estratégicos de la columna para lograr el objetivo del ensayo experimental.

Figura 5.28 Curva de carga vs desplazamiento unitario



Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

Figura 5.29 Curva de momento vs giro.



Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

$$Ductilidad = \frac{\theta_{Ultimo}}{\theta_{fluencia}}$$

$$Ductilidad = \frac{0.127}{0.023}$$

Ductilidad = 5.52 Corresponde una clasificación de moderada ductilidad.

5.9 ENSAYO 8. COLUMNA RELLENA DE HORMIGÓN 2C 300X300X3

5.9.1 DESCRIPCION

- Columna esbelta conformada por dos perfiles C de acero A50 soldados.
- El hormigón de relleno tiene una resistencia $f'c=273 \text{ kg/cm}^2$.

Fotografía 5.9 Ensayo y fallas resultantes del ensayo 8



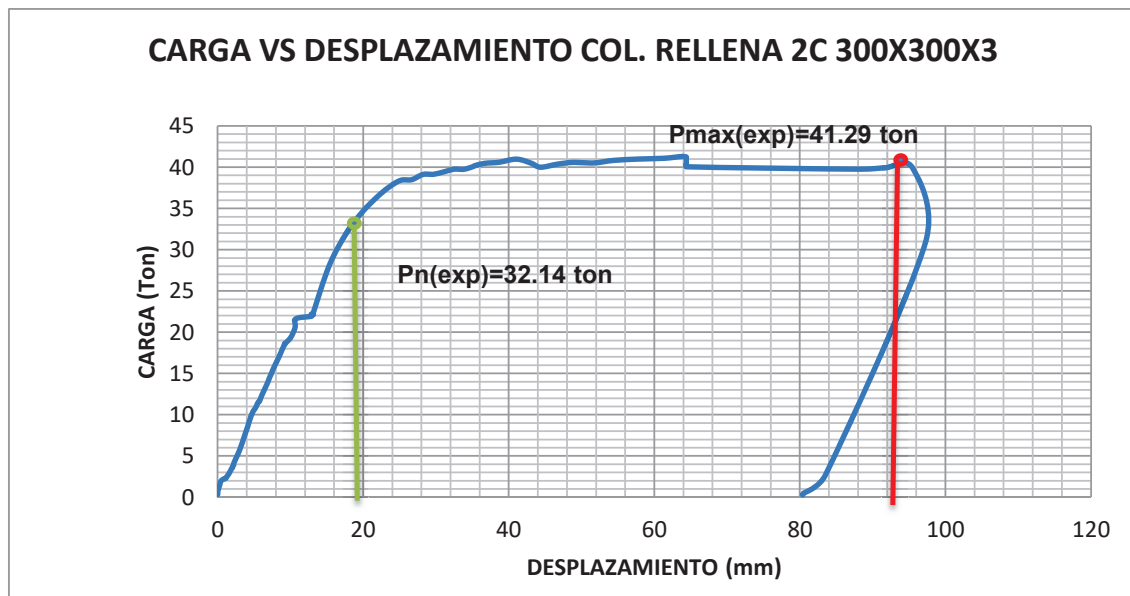
Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

Se puede observar en la fotografía las deformaciones que sufrió la columna por efecto de la aplicación de la cargas de ensayo, a estas deformaciones se las llama “Paso”, el cual para esta sección es en promedio 30 cm, datos tomado y medidos durante el ensayo de laboratorio.

5.9.2 RESULTADOS

En la figura 5.30 podemos observar que para la columna de 300x300x3 armada con 2C 300x150x3, la carga a la cual la sección comienza a fluir es $P_{n\text{ exp}} = 32.14$ Ton, mientras que la carga máxima o de plastificación es $P_{\text{max exp}} = 41.29$ Ton.

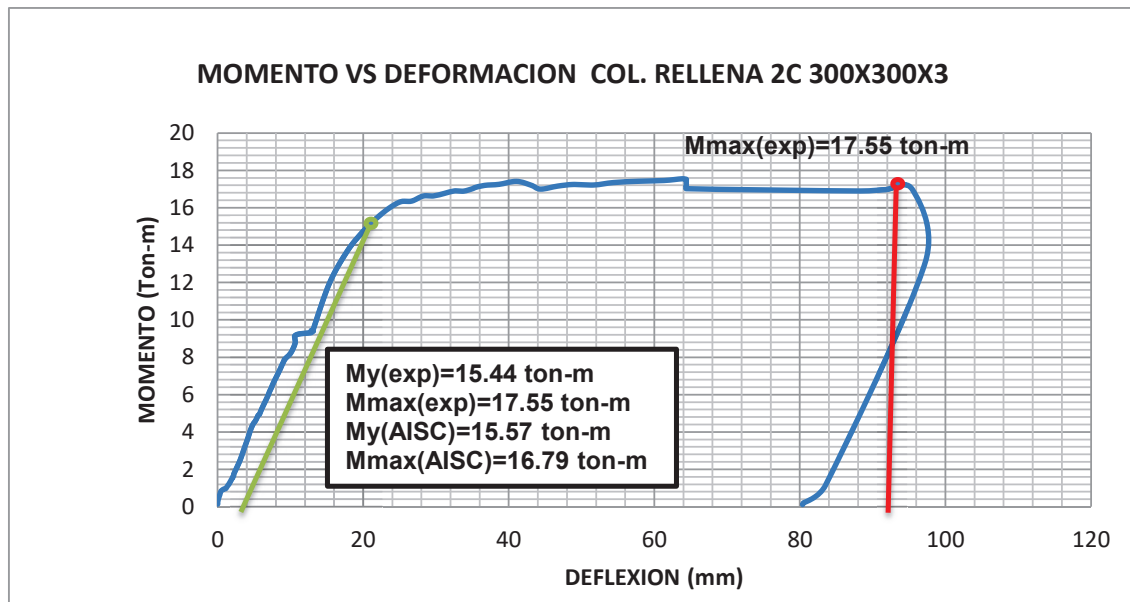
Figura 5.30 Curva de carga vs desplazamiento



Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

En la figura 5.31 podemos observar que para la columna de 300x300x3 armada con 2C 300x150x3, el momento al cual la sección comienza a fluir es $M_{y\text{ exp}} = 15.44$ ton-m, mientras que el momento máximo o de plastificación es $M_{\text{max exp}} = 17.55$ ton-m. Además en esta figura hemos añadido los valores de cálculo teórico para esta sección con el fin de poder comparar los valores teóricos y experimentales.

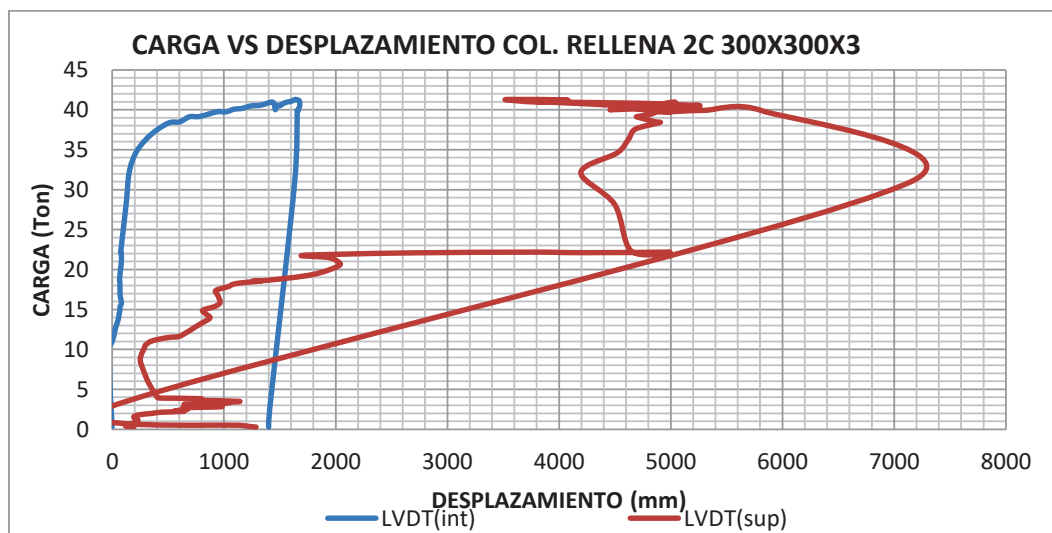
Figura 5.31 Curva de momento vs deflexión



Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

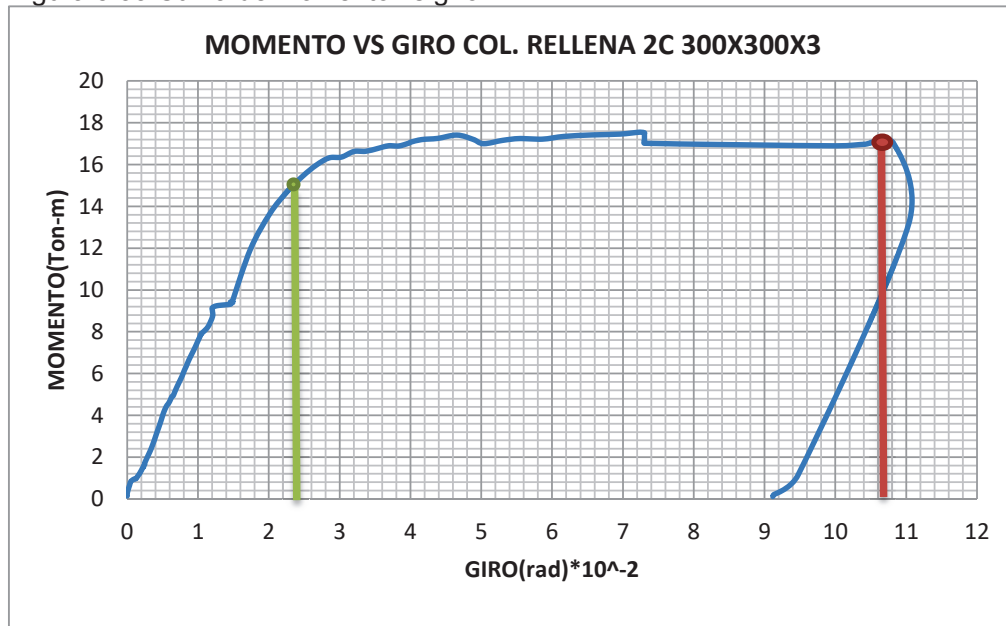
En la figura 5.32 observamos la diferencia de las lecturas, dadas por los strain gages ubicados en sitios estratégicos de la columna para lograr el objetivo del ensayo experimental. Podemos ver también que en este caso la lectura de uno de los strain gage falló durante el ensayo.

Figura 5.32 Curva de carga vs desplazamiento unitario



Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

Figura 5.33 Curva de momento vs giro.



Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

$$Ductilidad = \frac{\theta_{Ultimo}}{\theta_{fluencia}}$$

$$Ductilidad = \frac{0.108}{0.023}$$

$Ductilidad = 4.7$ Corresponde a una clasificación de moderada ductilidad.

CAPITULO 6

MODELOS COMPUTACIONALES

6.1 INTRODUCCIÓN

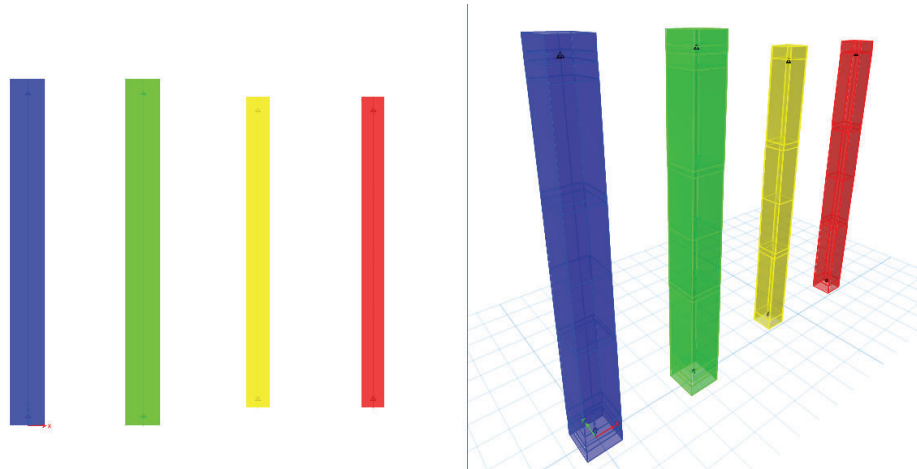
Para efecto de evaluar mediante software computacionales las probetas utilizadas para el estudio de esta tesis se ponen a consideración los programas computacionales SAP-2000 V16 y Etabs 2015 V2.

El programa SAP-2000 se descarta porque no puede analizar secciones compuestas, así que se procede a realizar la modelación con el programa Etabs 2015, el cual es uno de los más usados para diseño en el medio.

6.2 MODELACIÓN DE COLUMNAS

Para la modelación tenemos las siguientes dimensiones de columnas 200x200x2, 200x200x3, 300x300x2 y 300x300x3 las cuales van a estar rellenas de un hormigón $f'c=273 \text{ kg/cm}^2$ y el acero estructural es grado A 50 con un $Fy=3520 \text{ kg/cm}^2$ Siendo así el módulo de elasticidad del hormigón de $E_c= 217504 \text{ kg/cm}^2$ y el del acero $E_s=2043000 \text{ kg/cm}^2$. Se toman estos valores para el hormigón ya que son los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio del mismo.

Figura 6.1 Modelación de columnas

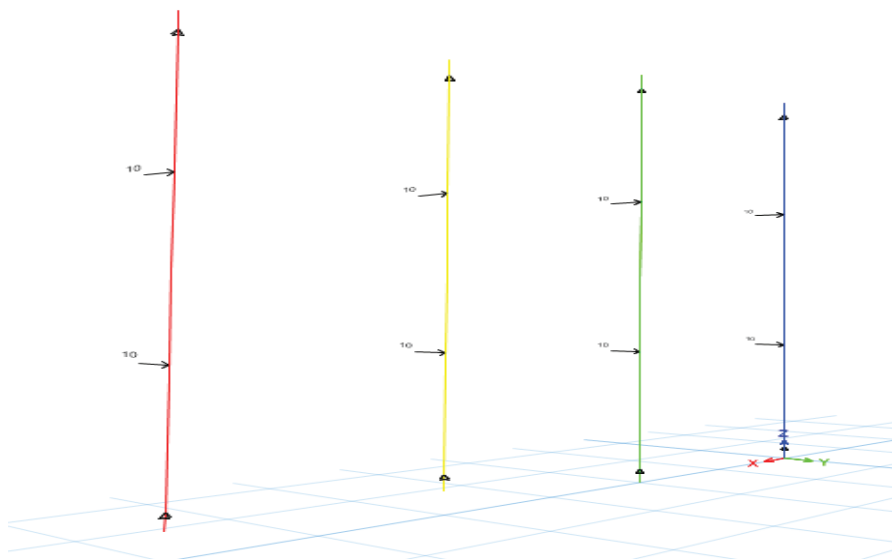


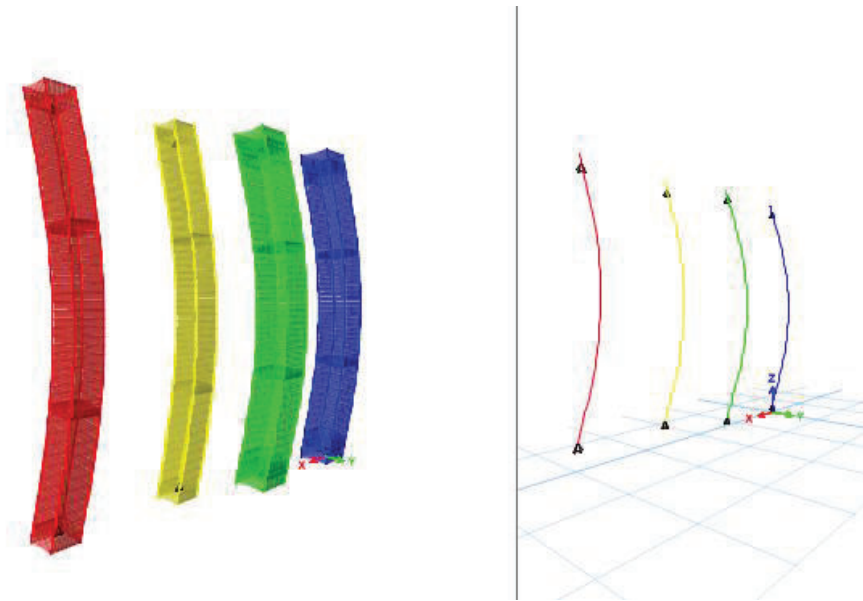
Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

Donde podemos ver en color azul la columna 300x300x3, en color verde la columna 300x300x2, en color amarillo la columna 200x200x3 y en color rojo las columnas 200x200x2.

En el modelo se trata de emular el ensayo de laboratorio aplicando cargas perpendiculares al eje longitudinal de las columnas y diseñando con el código AISC 360-10 que es el más actualizado que posee el programa.

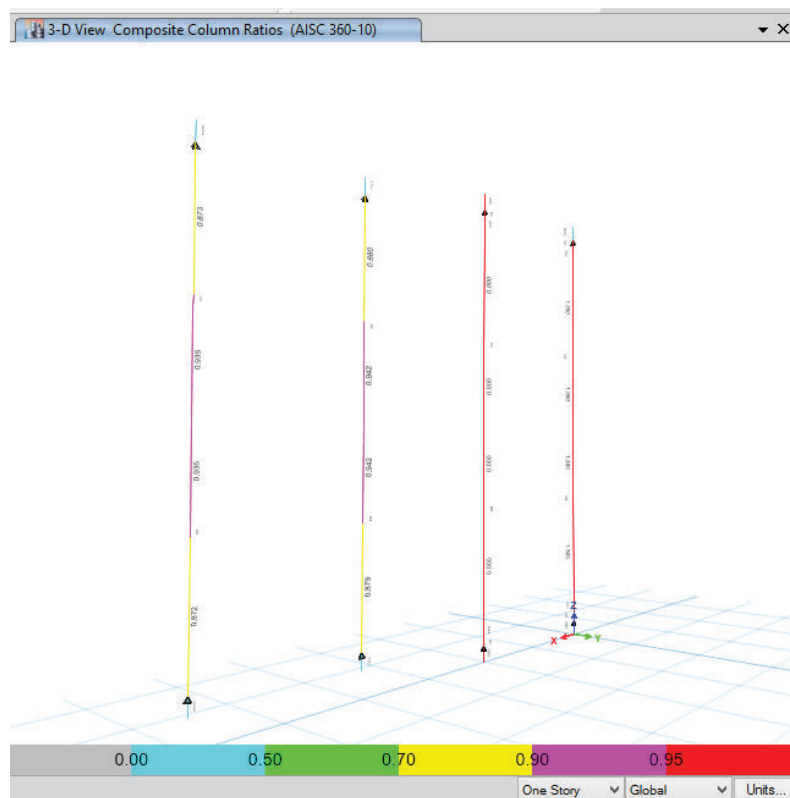
Figura 6.2 Aplicación de fuerzas en el modelo





Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

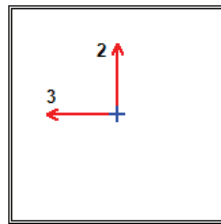
Figura 6.3 Diseño de columnas según AISC 360-10



Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

6.2.1 RESULTADOS OBTENIDOS PARA LA COLUMNA 200X200X2

ETABS 2015 Composite Column Design



Element Details

Level	Element	Unique Name	Location (cm)	Combo	Section	Classification
Story7	C4	72	0	DCon1	200X200X2	Slender

LLRF and Demand/Capacity Ratio

L (cm)	LLRF	Stress Ratio Limit
50.000	1	0.95

Analysis and Design Parameters

Provision	Analysis	2nd Order	Reduction
LRFD	Direct Analysis	General 2nd Order	Tau-b Fixed

Stiffness Reduction Factors

$\alpha P_r / P_y$	$\alpha P_r / P_e$
-0.001	-2.196E-04

Design Code Parameters

Φ_b	Φ_c	Φ_{TY}	Φ_{TF}	Φ_V	Φ_{V-RI}	Φ_{VT}
0.9	0.75	0.9	0.75	0.9	1	1

Design Properties of Steel Section

A (cm ²)	J (cm ⁴)	I ₃₃ (cm ⁴)	I ₂₂ (cm ⁴)	A _{v3} (cm ²)	A _{v2} (cm ²)
15.8	1552.5	1035.1	1035.1	8	8

Material Properties

E _s (tonf/cm ²)	f _c (tonf/cm ²)	F _y (tonf/cm ²)
2043	0.273	3.52

Demand/Capacity (D/C) Ratio Eqn. (H1.2, H1-1b)

D/C Ratio =	$(P_r / 2P_c) + (M_{r33} / M_{c33}) + (M_{r22} / M_{c22})$
0.935 =	0.001 + 0 + 0.934

Stress Check forces and Moments

Location (cm)	P _u (tonf)	M _{u33} (tonf-cm)	M _{u22} (tonf-cm)	V _{u2} (tonf)	V _{u3} (tonf)	T _u (tonf-cm)
0	0.0733	0	-315	0	0	0

Axial Force & Biaxial Moment Design Factors (H1.2, H1-1b)

	L Factor	K ₁	K ₂	B ₁	B ₂	C _m
Major Bending	5	1	1	1	1	1
Minor Bending	5	1	1	1	1	1

Parameters for Lateral Torsion Buckling

L_{ltb}	K_{ltb}	C_b
1	0	1

Axial Force and Capacities

P_u Force (tonf)	ϕP_{nc} Capacity (tonf)	ϕP_{nt} Capacity (tonf)
0.0733	68.9157	50.1811

Moments and Capacities

	M_u Moment (tonf-cm)	ϕM_n Capacity (tonf-cm)	ϕM_n (No LTB) (tonf-cm)
Major Bending	0	337.19	337.19
Minor Bending	315	337.19	

Torsion Moment and Capacities

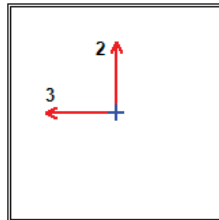
T_u Moment (tonf-cm)	T_n Capacity (tonf-cm)	ϕT_n Capacity (tonf-cm)
0	150.76	135.684

Shear Design

	V_u Force (tonf)	ϕV_n Capacity (tonf)
Major Shear	0	6.8695
Minor Shear	0	6.8695

6.2.2 RESULTADOS OBTENIDOS PARA LA COLUMNA 200X200X3

ETABS 2015 Composite Column Design



Element Details

Level	Element	Unique Name	Location (cm)	Combo	Section	Classification
Story7	C3	62	0	DCon1	200X200X3	Non-Compact

LLRF and Demand/Capacity Ratio

L (cm)	LLRF	Stress Ratio Limit
50.000	1	0.95

Analysis and Design Parameters

Provision	Analysis	2nd Order	Reduction
LRFD	Direct Analysis	General 2nd Order	Tau-b Fixed

Stiffness Reduction Factors

$\alpha P_r / P_y$	$\alpha P_r / P_e$

$\alpha P_r / P_y$	$\alpha P_r / P_e$
-0.001	-1.546E-04

Design Code Parameters

Φ_b	Φ_c	Φ_{TY}	Φ_{TF}	Φ_V	Φ_{V-RI}	Φ_{VT}
0.9	0.75	0.9	0.75	0.9	1	1

Design Properties of Steel Section

A (cm ²)	J (cm ⁴)	I ₃₃ (cm ⁴)	I ₂₂ (cm ⁴)	A _{v3} (cm ²)	A _{v2} (cm ²)
23.6	2293.6	1529.4	1529.4	11.8	11.8

Material Properties

E _s (tonf/cm ²)	f' _c (tonf/cm ²)	F _y (tonf/cm ²)
2043	0.273	3.52

Demand/Capacity (D/C) Ratio Eqn. (H1.2, H1-1b)

D/C Ratio =	$(P_r / 2P_c) + (M_{r33} / M_{c33}) + (M_{r22} / M_{c22})$
0.942 =	0.001 + 0 + 0.942

Stress Check forces and Moments

Location (cm)	P _u (tonf)	M _{u33} (tonf-cm)	M _{u22} (tonf-cm)	V _{u2} (tonf)	V _{u3} (tonf)	T _u (tonf-cm)
0	0.0763	0	-577.5	0	0	0

Axial Force & Biaxial Moment Design Factors (H1.2, H1-1b)

	L Factor	K ₁	K ₂	B ₁	B ₂	C _m
Major Bending	5	1	1	1	1	1
Minor Bending	5	1	1	1	1	1

Parameters for Lateral Torsion Buckling

L _{ltb}	K _{ltb}	C _b
1	0	1

Axial Force and Capacities

P _u Force (tonf)	ϕP_{nc} Capacity (tonf)	ϕP_{nt} Capacity (tonf)
0.0763	108.9285	74.8915

Moments and Capacities

	M _u Moment (tonf-cm)	ϕM_n Capacity (tonf-cm)	ϕM_n (No LTB) (tonf-cm)
Major Bending	0	613.201	613.201
Minor Bending	577.5	613.201	

Torsion Moment and Capacities

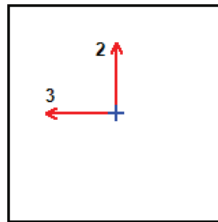
T _u Moment (tonf-cm)	T _n Capacity (tonf-cm)	ϕT_n Capacity (tonf-cm)
0	448.675	403.807

Shear Design

	V _u Force (tonf)	ϕV_n Capacity (tonf)
Major Shear	0	20.2745
Minor Shear	0	20.2745

6.2.3 RESULTADOS OBTENIDOS PARA LA COLUMNA 300X300X2

ETABS 2015 Composite Column Design



Element Details						
Level	Element	Unique Name	Location (cm)	Combo	Section	Classification
Story7	C2	51	0	DCon1	300X300X2	Too Slender
LLRF and Demand/Capacity Ratio						
L (cm)	LLRF	Stress Ratio Limit				
50.000	1	0.95				
Analysis and Design Parameters						
Provision	Analysis	2nd Order		Reduction		
LRFD	Direct Analysis	General 2nd Order		Tau-b Fixed		
Stiffness Reduction Factors						
$\alpha P_r / P_y$			$\alpha P_r / P_e$			
-0.001			-1.546E-04			
Design Code Parameters						
Φ_b	Φ_c	Φ_{TY}	Φ_{TF}	Φ_V	Φ_{V-RI}	Φ_{VT}
0.9	0.75	0.9	0.75	0.9	1	1
Design Properties of Steel Section						
A (cm ²)	J (cm ⁴)	I ₃₃ (cm ⁴)	I ₂₂ (cm ⁴)	A _{v3} (cm ²)	A _{v2} (cm ²)	
23.8	5292.7	3528.6	3528.6	12	12	
Material Properties						
E _s (tonf/cm ²)		f _c (tonf/cm ²)		F _y (tonf/cm ²)		
2043		0.273		3.52		
Demand/Capacity (D/C) Ratio Eqn. (H1.2, H1-1b)						
D/C Ratio = $(P_r / 2P_c) + (M_{r33} / M_{c33}) + (M_{r22} / M_{c22})$						
-1 = 0 + 0 + 0						
Stress Check forces and Moments						
Location (cm)	P _u (tonf)	M _{u33} (tonf-cm)	M _{u22} (tonf-cm)	V _{u2} (tonf)	V _{u3} (tonf)	T _u (tonf-cm)
0	0.1605	0	-952	0	0	0
Axial Force & Biaxial Moment Design Factors (H1.2, H1-1b)						
	L Factor	K ₁	K ₂	B ₁	B ₂	C _m
Major Bending	5.6	1	1	1	1	1
Minor Bending	5.6	1	1	1	1	1

Parameters for Lateral Torsion Buckling

L_{ltb}	K_{ltb}	C_b
1	0	1

Axial Force and Capacities

P_u Force (tonf)	ϕP_{nc} Capacity (tonf)	ϕP_{nt} Capacity (tonf)
0.1605	108.9285	74.8915

Moments and Capacities

	M_u Moment (tonf-cm)	ϕM_n Capacity (tonf-cm)	ϕM_n (No LTB) (tonf-cm)
Major Bending	0	613.201	613.201
Minor Bending	952	613.201	

Torsion Moment and Capacities

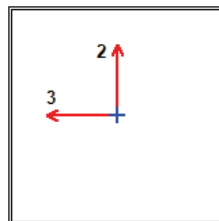
T_u Moment (tonf-cm)	T_n Capacity (tonf-cm)	ϕT_n Capacity (tonf-cm)
0	448.675	403.807

Shear Design

	V_u Force (tonf)	ϕV_n Capacity (tonf)
Major Shear	0	20.2745
Minor Shear	0	20.2745

6.2.4 RESULTADOS OBTENIDOS PARA LA COLUMNA 300X300X3

ETABS 2015 Composite Column Design



Element Details

Level	Element	Unique Name	Location (cm)	Combo	Section	Classification
Story10	CP	29	0	DCon1	300X300X3	Slender

LLRF and Demand/Capacity Ratio

L (cm)	LLRF	Stress Ratio Limit
10.000	1	0.95

Analysis and Design Parameters

Provision	Analysis	2nd Order	Reduction
LRFD	Direct Analysis	General 2nd Order	Tau-b Fixed

Stiffness Reduction Factors

$\alpha P_r / P_y$	$\alpha P_r / P_e$
-0.004	-3.305E-04

Design Code Parameters

Φ_b	Φ_c	Φ_{TY}	Φ_{TF}	Φ_V	Φ_{V-RI}	Φ_{VT}
0.9	0.75	0.9	0.75	0.9	1	1

Design Properties of Steel Section

A (cm ²)	J (cm ⁴)	I_{33} (cm ⁴)	I_{22} (cm ⁴)	A_{v3} (cm ²)	A_{v2} (cm ²)
35.6	7859.4	5240.1	5240.1	17.9	17.9

Material Properties

E_s (tonf/cm ²)	f'_c (tonf/cm ²)	F_y (tonf/cm ²)
2043	0.273	3.52

Demand/Capacity (D/C) Ratio Eqn. (H1.2, H1-1b)

$$D/C \text{ Ratio} = (P_r / 2P_c) + (M_{r33} / M_{c33}) + (M_{r22} / M_{c22})$$

$$0.082 = 0.002 + 0 + 0.08$$

Stress Check forces and Moments

Location (cm)	P_u (tonf)	M_{u33} (tonf-cm)	M_{u22} (tonf-cm)	V_{u2} (tonf)	V_{u3} (tonf)	T_u (tonf-cm)
0	0.4454	0	-91	0	-18.2	0

Axial Force & Biaxial Moment Design Factors (H1.2, H1-1b)

	L Factor	K_1	K_2	B_1	B_2	C_m
Major Bending	28	1	1	1	1	1
Minor Bending	28	1	1	1	1	1

Parameters for Lateral Torsion Buckling

L_{ltb}	K_{ltb}	C_b
1	0	1

Axial Force and Capacities

P_u Force (tonf)	ϕP_{nc} Capacity (tonf)	ϕP_{nt} Capacity (tonf)
0.4454	163.6066	112.9075

Moments and Capacities

	M_u Moment (tonf-cm)	ϕM_n Capacity (tonf-cm)	ϕM_n (No LTB) (tonf-cm)
Major Bending	0	1138.015	1138.015
Minor Bending	91	1138.015	

Torsion Moment and Capacities

T_u Moment (tonf-cm)	T_n Capacity (tonf-cm)	ϕT_n Capacity (tonf-cm)
0	508.815	457.934

Shear Design

	V_u Force (tonf)	ϕV_n Capacity (tonf)
Major Shear	0	15.4565
Minor Shear	18.2	15.4565

A continuación se presenta un resumen de las capacidades de las columnas según la modelación computacional.

Cuadro 6.1 Capacidad de las columnas según ETABS.

SECCIÓN	LRFD	
	ϕP_n [ton]	ϕM_n [ton-m]
20X200X2	68.91	3.37
200X200X3	108.92	6.13
300X300X2	108.93	6.13
300X300X3	163.6	11.38

Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

CAPITULO 7

ANÁLISIS DE RESULTADOS

7.1 COMPARACIÓN DE ANÁLISIS DE CARGA AXIAL

El primer análisis que realizaremos es la comparación de la clasificación de las columnas dependiendo de su parámetro de esbeltez λ (relación ancho/espesor) para carga axial dependiendo si las secciones tienen atiesadores (CON AT.) o no tienen atiesadores (SIN AT.) atiesadores, tal como podemos ver en la cuadro 7.1.

Cuadro 7.1 Esbeltez de las secciones compuestas

SECCIÓN	SIN AT.	CON AT.
20X200X2	ESBELTA	ESBELTO
200X200X3	NO COMPACTA	NO COMPACTA
300X300X2	ESBELTO	NO COMPACTA
300X300X3	ESBELTO	NO COMPACTA

Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

En el cuadro 7.2 realizamos la comparación entre la capacidad de las columnas por el método LRFD, del cálculo teórico de las secciones sin atiesadores, con atiesadores y el programa computacional Etabs.

Cuadro 7.2 Capacidades de carga axial

SECCIÓN	TEÓRICO SIN AT.	TEÓRICO CON AT.	ETABS
	ϕP_n [ton-m]	ϕP_n [ton-m]	ϕP_n [ton-m]
20X200X2	72.54	92.86	68.91
200X200X3	113.61	119.49	108.93
300X300X2	135.3	201.7	108.93
300X300X3	168.35	239.01	163.6

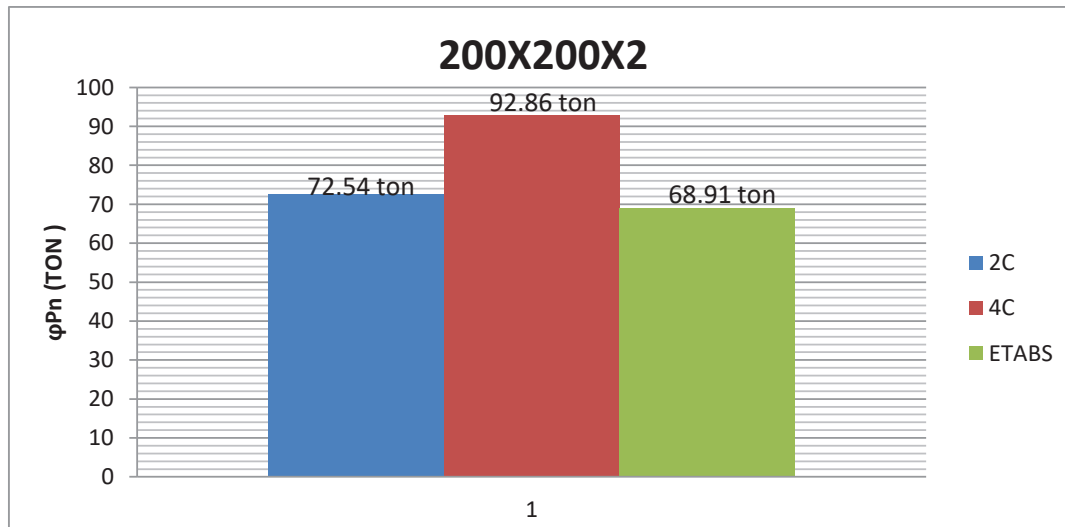
Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

Para una mejor comprensión del cuadro 7.2 se realizan las siguiente graficas donde se puede observar que el cálculo teórico para carga axialde las secciones sin atiesadores se asemeja al resultado obtenido mediante el modelo computacional del programa ETABS, mientras que para el cálculo teórico de las secciones con

atiesadores se evidencia la contribución de los mismos dando un incremento en la capacidad de resistencia carga axial.

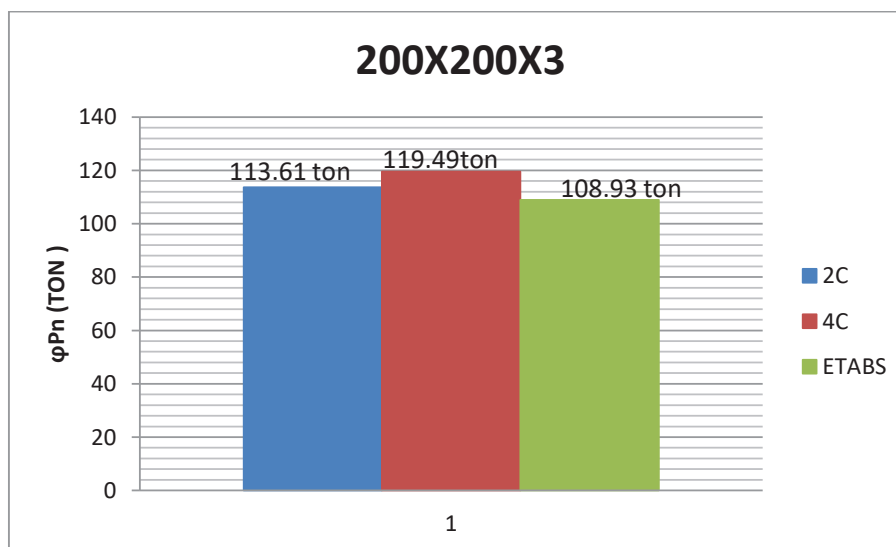
En las siguientes figuras las gráficas referenciadas con 2C representan a las secciones sin atiesadores y las gráficas con 4C y 6C representan a las secciones con atiesadores.

Figura 7.1 Capacidad de la columna 200x200x2



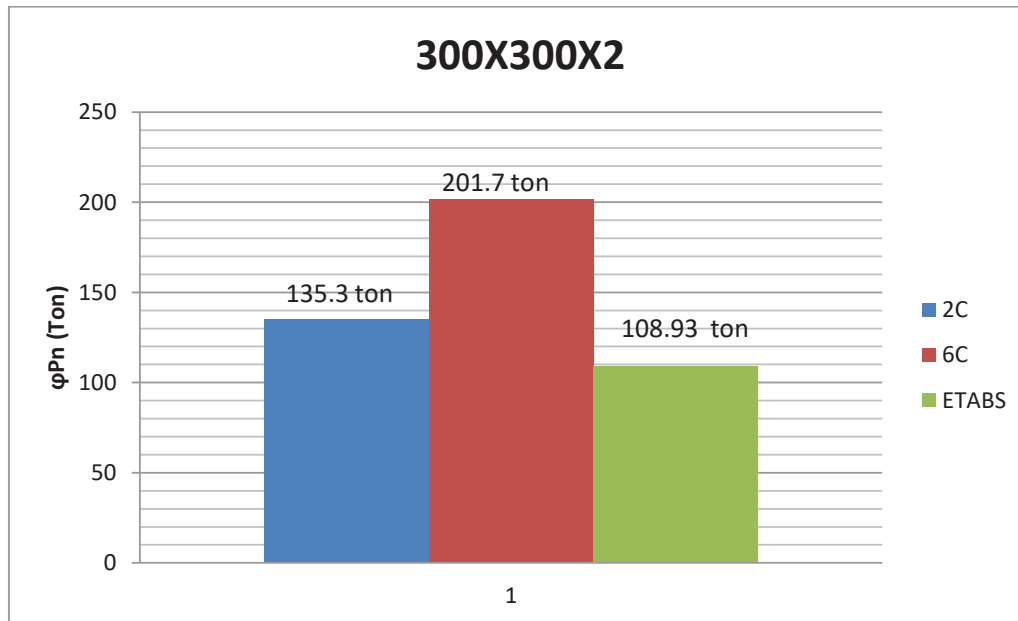
Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

Figura 7.2 Capacidad de la columna 200x200x3



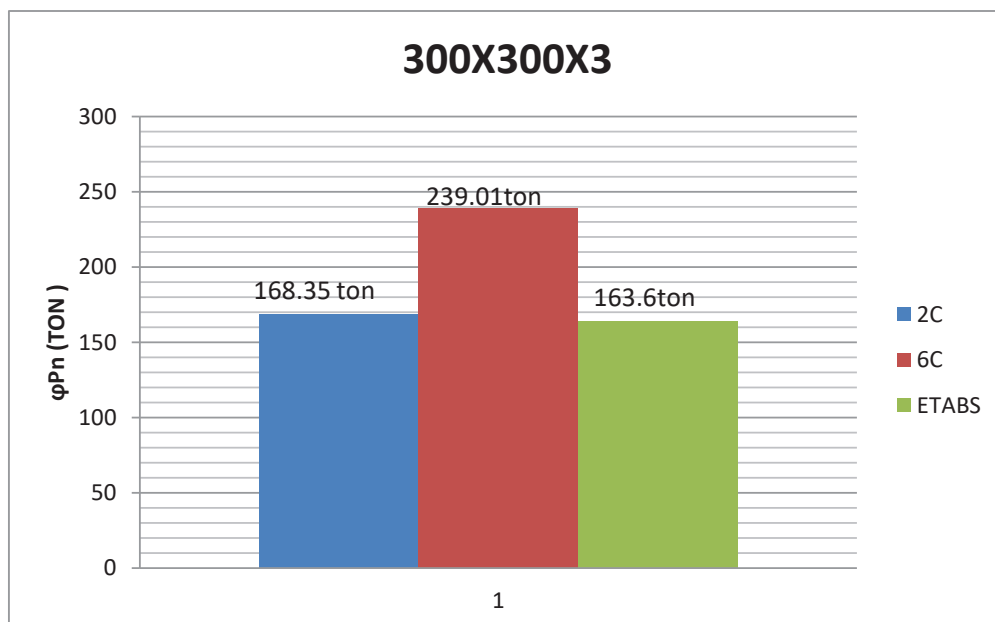
Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

Figura 7.3 Capacidad de la columna 300x300x2



Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

Figura 7.4 Capacidad de la columna 300x300x3



Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

7.2 COMPARACIÓN DE ANÁLISIS A FLEXIÓN

El segundo análisis que realizaremos es la comparación de la clasificación de las columnas dependiendo de su parámetro de esbeltez λ (relación ancho/espesor) para flexión, dependiendo si las secciones tienen atiesadores (CON AT.), o no tienen atiesadores (SIN AT.) atiesadores, tal como podemos ver en la cuadro 7.3.

Cuadro 7.3 Esbeltez de las secciones compuestas para flexión

SECCIÓN	SIN AT.	CON AT.
20X200X2	ESBELTA	NO COMPACTA
200X200X3	NO COMPACTA	COMPACTA
300X300X2	ESBELTO	ESBELTO
300X300X3	ESBELTO	COMPACTA

Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

En el cuadro 7.4 se realiza la comparación entre la capacidad deflexión de las columnas por el método LRFD, del cálculo teórico de las secciones sin atiesadores, con atiesadores y el programa computacional Etabs.

Cuadro 7.4 Esbeltez de las secciones compuestas para flexión

SECCIÓN	TEÓRICO SIN	TEÓRICO CON	ETABS
	AT.	AT.	
	$\phi Mn[\text{ton-m}]$	$\phi Mn[\text{ton-m}]$	$\phi Mn[\text{ton-m}]$
20X200X2	3.43	4.35	3.37
200X200X3	6.13	6.46	6.13
300X300X2	7.64	8.13	6.13
300X300X3	11.58	15.11	11.38

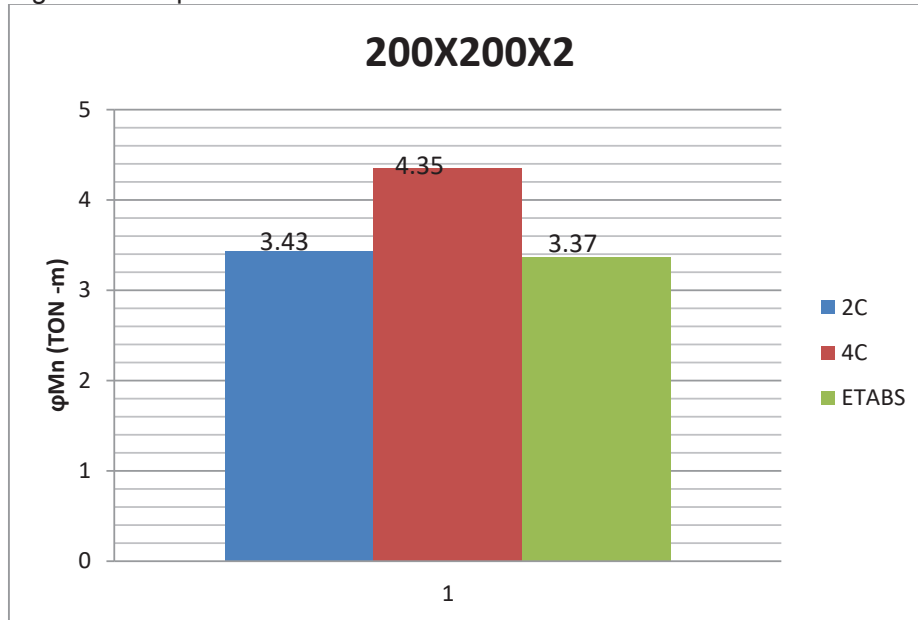
Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

Para una mejor comprensión del cuadro 7.4 se realizan las siguiente graficas donde se puede observar que el cálculo teórico delas secciones sin atiesadores se asemeja al resultado obtenido mediante el modelo computacional del programa ETABS, mientras que para el cálculo teórico de las secciones con atiesadores se

evidencia la contribución de los mismos dando un incremento en la capacidad de resistencia a flexión.

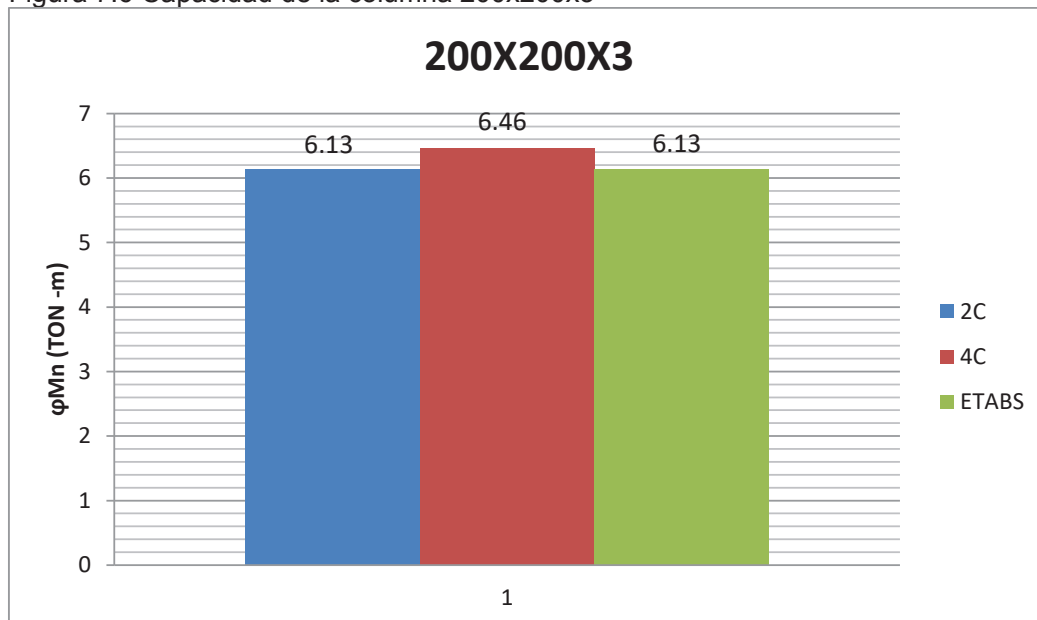
En las siguientes figuras las gráficas referenciadas con 2C representan a las secciones sin atiesadores y las gráficas con 4C y 6C representan a las secciones con atiesadores.

Figura 7.5 Capacidad de la columna 200x200x2



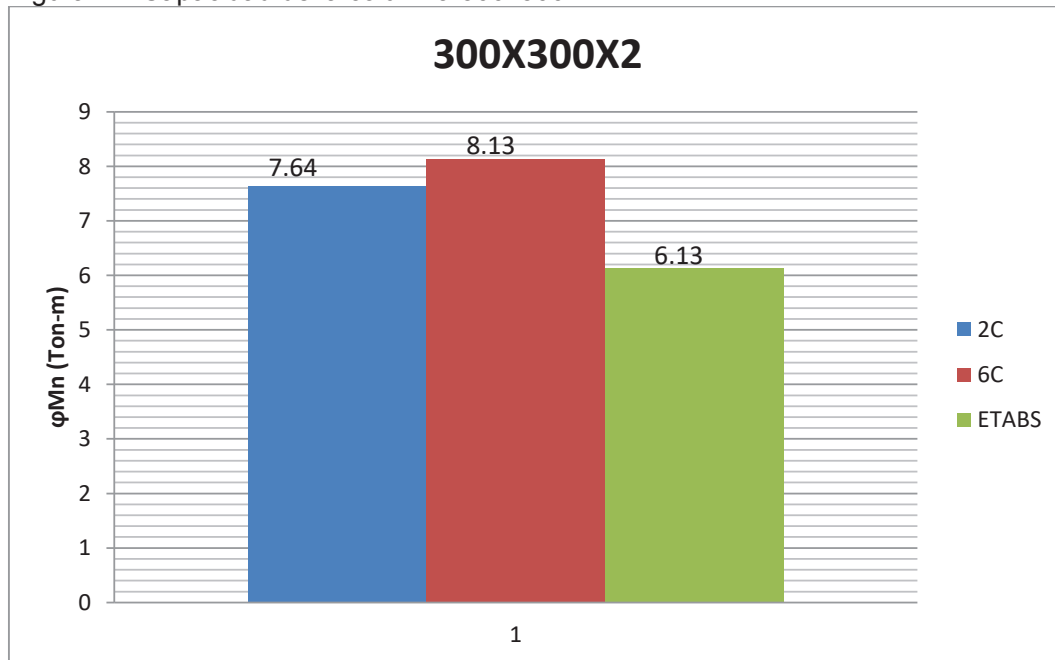
Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

Figura 7.6 Capacidad de la columna 200x200x3



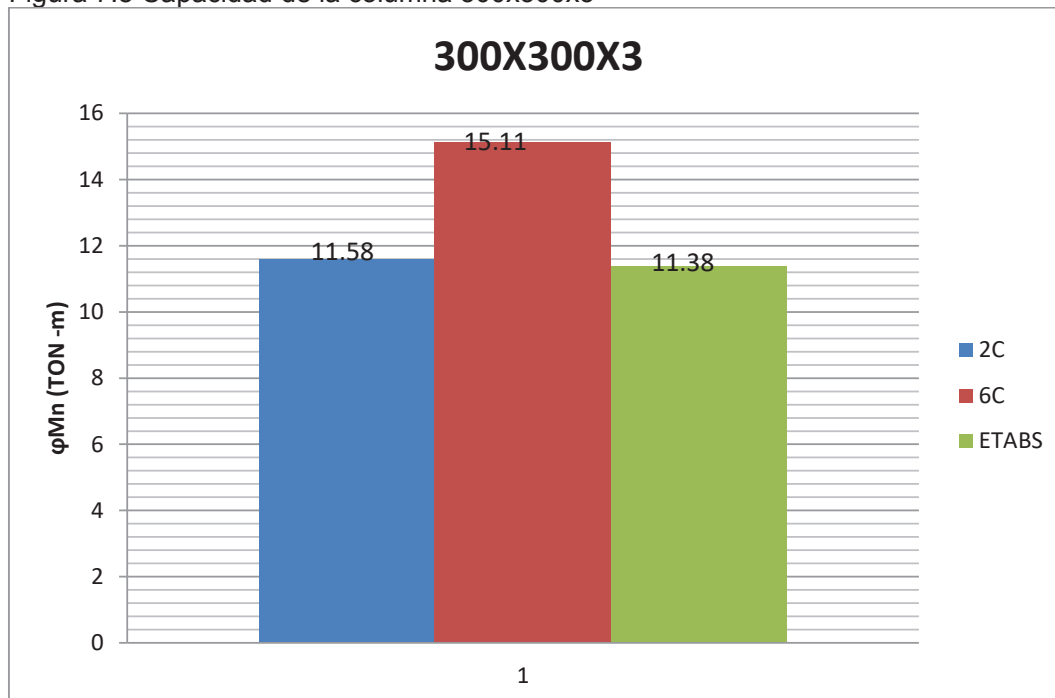
Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

Figura 7.7 Capacidad de la columna 300x300x2



Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

Figura 7.8 Capacidad de la columna 300x300x3



Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

El cuadro 7.5 hace referencia a los momentos de fluencia tanto experimental como teórico de las secciones compuestas con atiesadores y sin atiesadores.

Cuadro 7.5 Momento de fluencia teórico y experimental

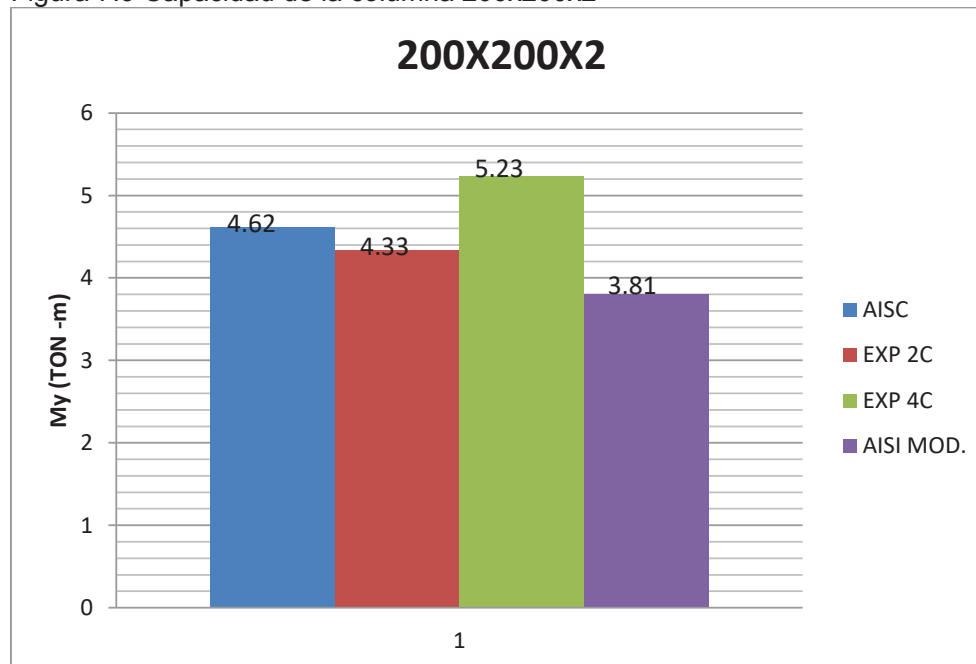
	AISC	EXP 2C	EXP > 2C	AISI MOD.
SECCION	My[ton-m]	My[ton-m]	My[ton-m]	My[ton-m]
20X200X2	4.62	4.33	5.23	3.81
200X200X3	6.55	5.19	7.02	5.68
300X300X2	10.91	9.24	11.31	8.69
300X300X3	15.57	15.44	14.91	12.86

Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

Para evaluar los resultados de momentos de fluencia se realizan las gráficas comparativas de cada una de las secciones en donde las gráficas referenciadas con 2C representan a las secciones sin atiesadores y las gráficas con 4C y 6C representan a las secciones con atiesadores.

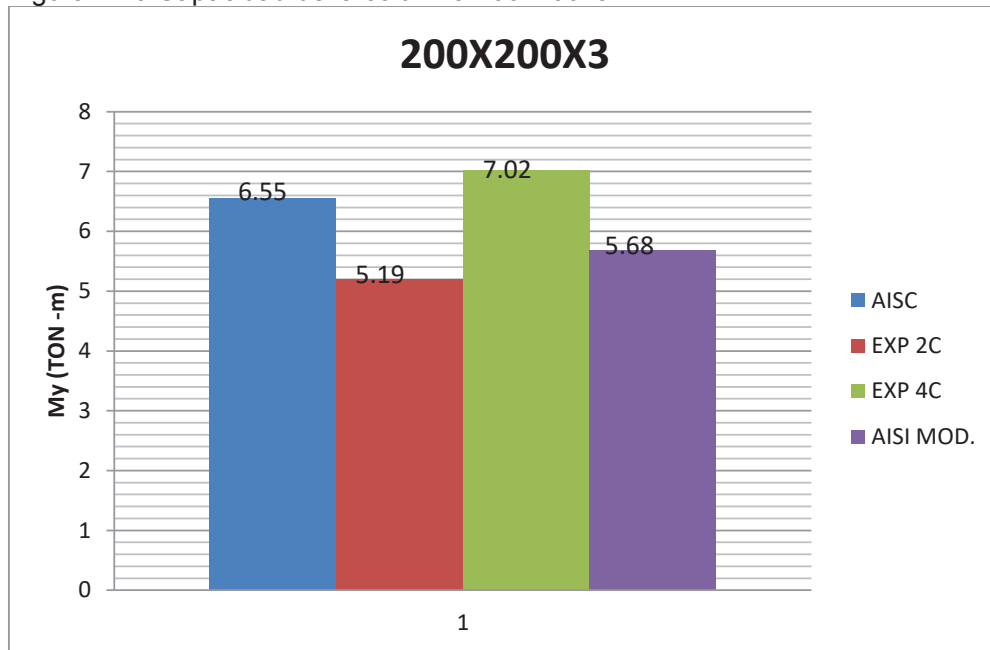
De las figuras se observa que el momento de fluencia experimental para las secciones sin atiesadores es menor que el momento de fluencia teórico, mientras que el momento de fluencia de las secciones con atiesadores ligeramente superior al teórico.

Figura 7.9 Capacidad de la columna 200x200x2



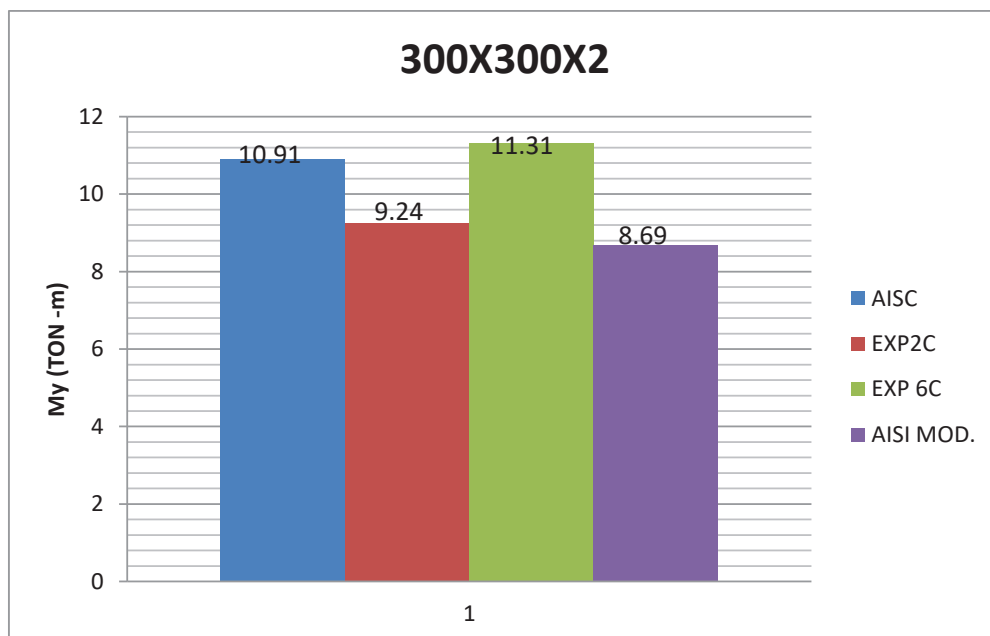
Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

Figura 7.10 Capacidad de la columna 200x200x3



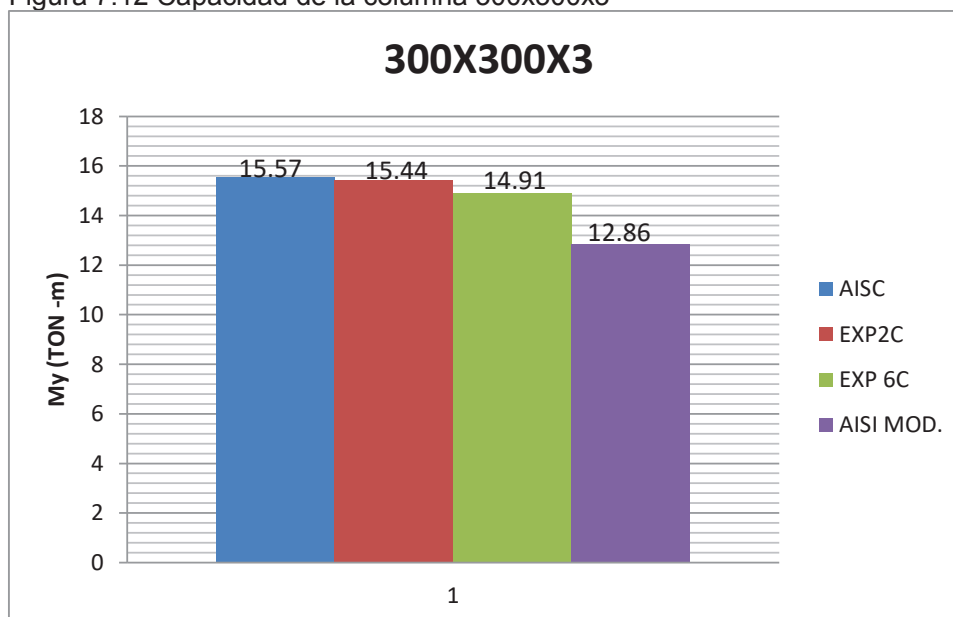
Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

Figura 7.11 Capacidad de la columna 300x300x2



Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

Figura 7.12 Capacidad de la columna 300x300x3



Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

El cuadro 7.6 hace referencia a los momentos de plastificación tanto experimental como teórico de las secciones compuestas con atiesadores y sin atiesadores.

Cuadro 7.6 Momento de plastificación teórico y experimental

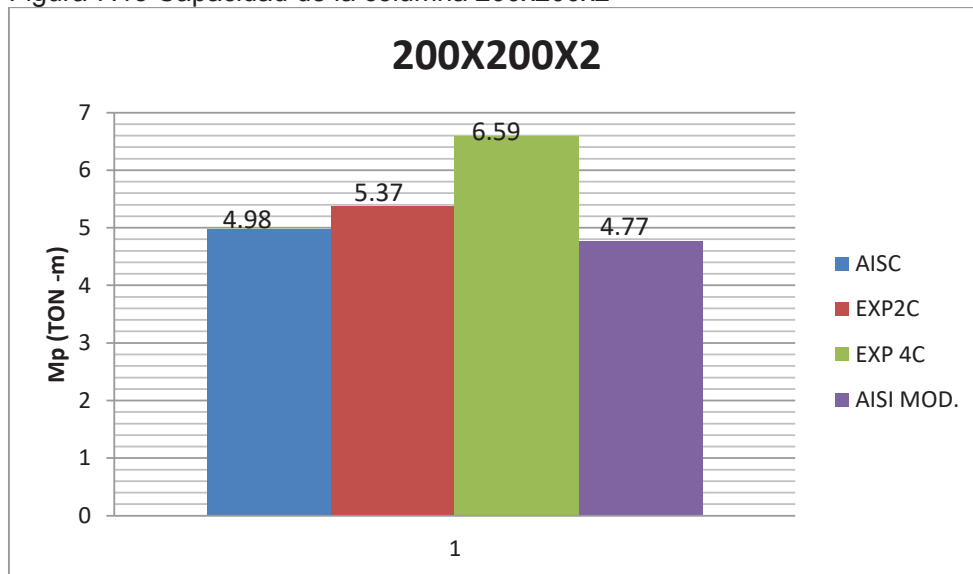
SECCION	AISC	EXP 2C	EXP > 2C	AISI MOD
	Mp[ton-m]	Mp[ton-m]	Mp[ton-m]	My[ton-m]
20X200X2	4.98	5.37	6.59	4.77
200X200X3	7.17	6.97	9.13	7.05
300X300X2	11.57	12.96	14.65	10.99
300X300X3	16.79	17.55	18.99	16.09

Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

Para evaluar los resultados de momento de plastificación se realizan las gráficas comparativas de cada una de las secciones en donde las gráficas referenciadas con 2C representan a las secciones sin atiesadores y las gráficas con 4C y 6C representan a las secciones con atiesadores.

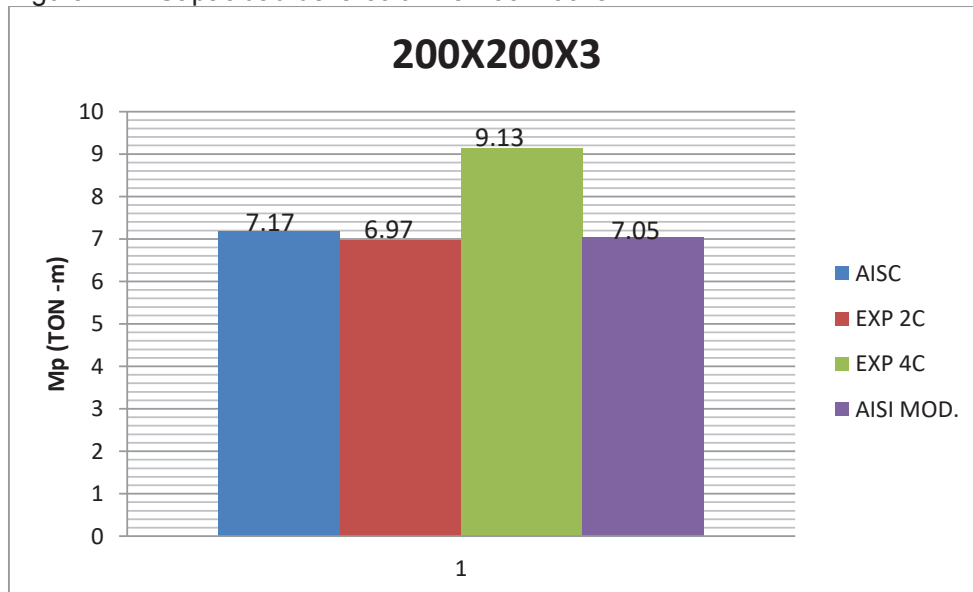
De las figuras se observa que el momento de plastificación experimental de las secciones sin atiesadores es ligeramente superior al momento teórico, mientras que el momento de plastificación de las secciones con atiesadores es significativamente mayor al teórico.

Figura 7.13 Capacidad de la columna 200x200x2



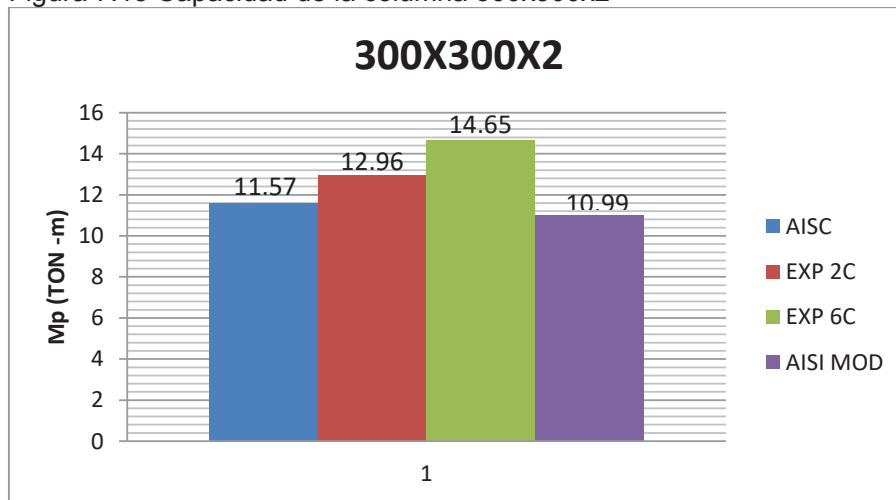
Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

Figura 7.14 Capacidad de la columna 200x200x3



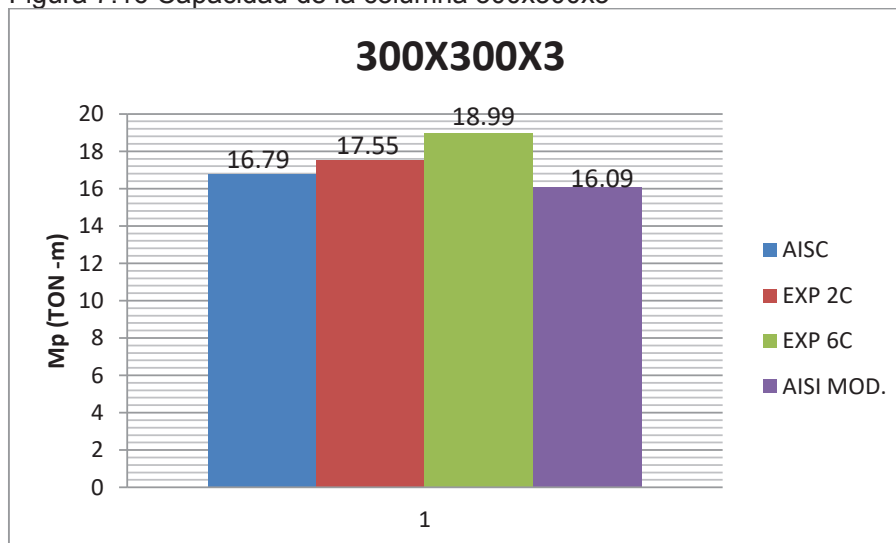
Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

Figura 7.15 Capacidad de la columna 300x300x2



Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

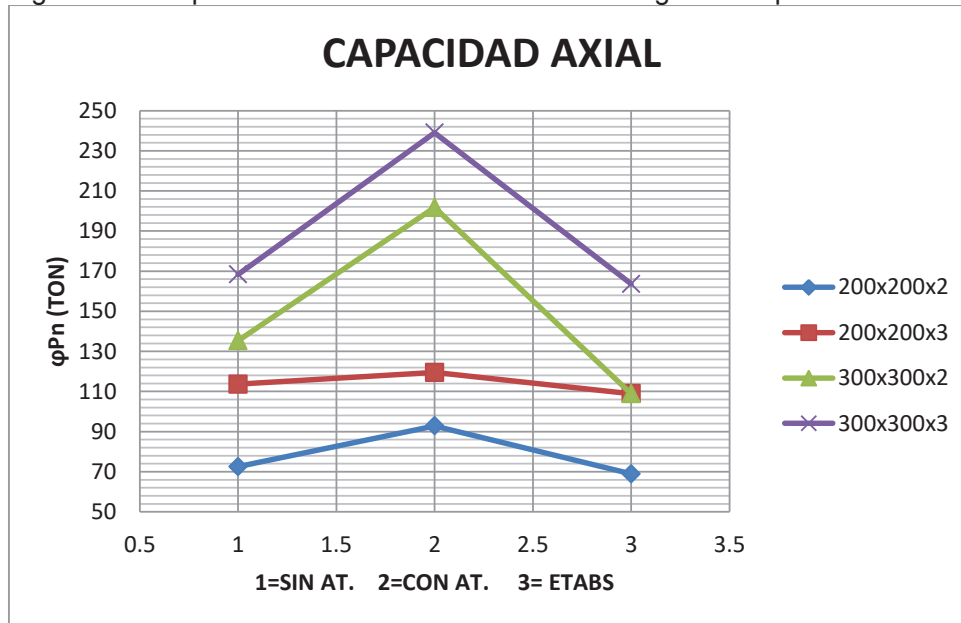
Figura 7.16 Capacidad de la columna 300x300x3



Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

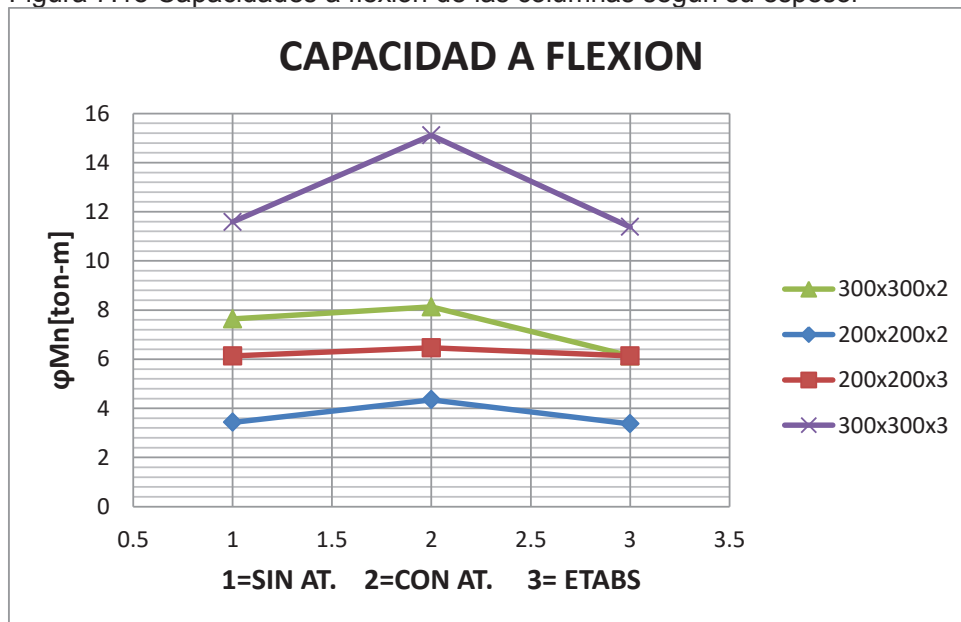
Para la mejor comprensión de los resultados se presentan en las siguientes graficas comparativas generales en las cuales podemos observar la diferencia entre las capacidades que tienen las columnas según su espesor.

Figura 7.17 Capacidades axiales de las columnas según su espesor



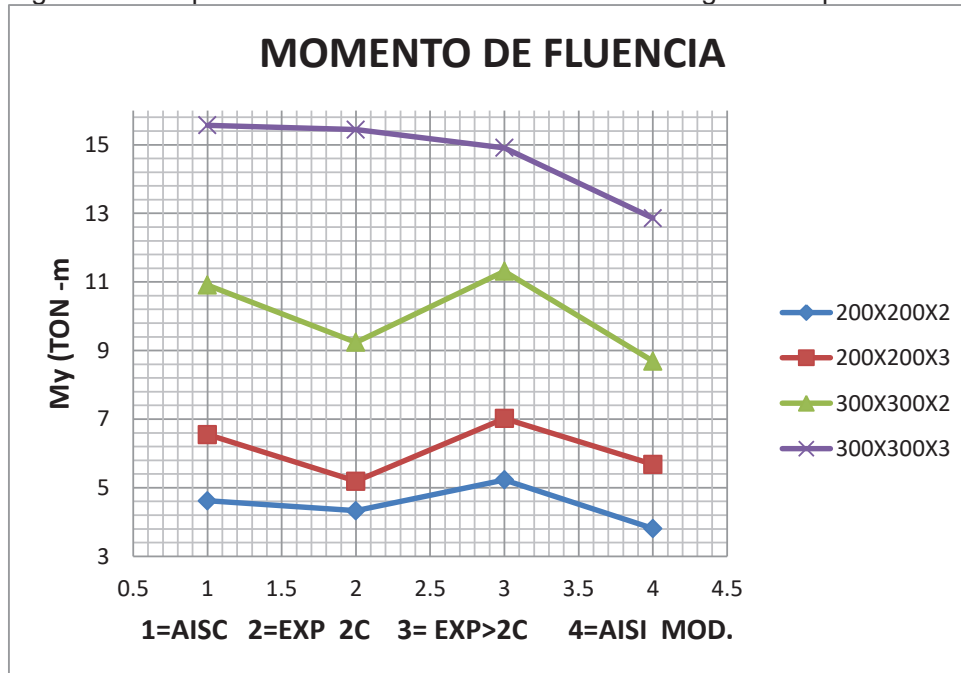
Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

Figura 7.18 Capacidades a flexión de las columnas según su espesor



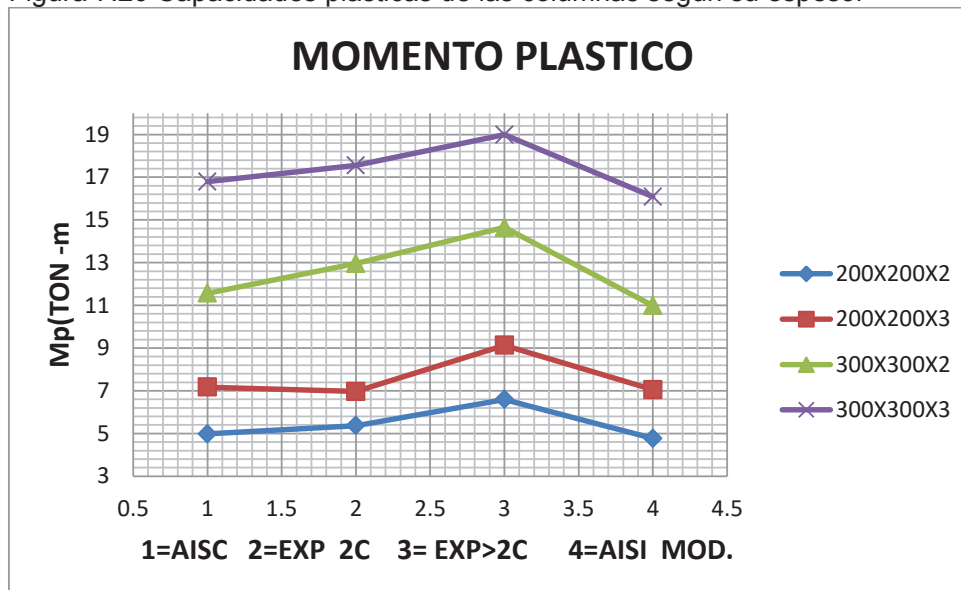
Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

Figura 7.19 Capacidades de fluencia de las columnas según su espesor



Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

Figura 7.20 Capacidades plásticas de las columnas según su espesor



Fuente y elaboración: Mejía Edison, Padilla Rafael.

CAPITULO 8

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 CONCLUSIONES

- La capacidad nominal de las columnas compuestas, no está establecida por la suma de las capacidades de los materiales por separado, sino por la acción conjunta de los materiales, el hormigón del núcleo contribuyendo a evitar el pandeo de la sección de acero, y este contribuyendo con el confinamiento del hormigón.
- La adherencia entre los materiales de los elementos compuestos es importante para incrementar la resistencia conjunta, los atiesadores contribuyen a que el hormigón confinado tenga un desplazamiento menor y mayor ductilidad.
- El pandeo local de las secciones está directamente ligado con su relación ancho/espesor y su clasificación como compacta, no compacta o esbelta, relación que puede ser modificada con la presencia de atiesadores que modifiquen esta relación.
- Colocar atiesadores en las secciones compuestas cambian la relación de esbeltez de las mismas, haciendo que los elementos estructurales incrementen notablemente las capacidades de resistencia tanto para axial como para flexión.
- La probeta de 300x300x2 sin atiesadores excede la relación máxima de esbeltez tanto para axial como para flexión, razón por la cual tenemos una diferencia notable entre los cálculos teóricos y los resultados de la modelación computacional en el ETABS, mientras que podemos ver que en las otras probetas los cálculos teóricos y del ETABS son bastante similares.

- La presencia de atiesadores en las secciones compuestas incrementan resistencia para carga axial y flexión en un 30% promedio, en base al cálculo teórico.
- El momento de fluencia experimental de las secciones sin atiesadores es menor en un 10% promedio con respecto al momento de fluencia teórico, mientras que el momento de fluencia de las secciones con atiesadores se lo puede tomar como un 5% mayor al teórico calculado.
- El momento de plastificación experimental de las secciones sin atiesadores es mayor en un 5% promedio con respecto al momento de fluencia teórico, mientras que el momento de fluencia de las secciones con atiesadores se lo puede tomar como un 20% mayor al teórico calculado.
- Las probetas con atiesadores ensayadas en esta tesis se las armo con perfiles estructurales tipo C con dimensiones definidas y comerciales, por lo cual al armar las secciones de columnas la posición delos atiesadores quedaban sujetos a las dimensiones delos perfiles tipo C, esto implica que las secciones no hayan podido clasificar como compactas.

8.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar mano de obra calificada para la fabricación de las columnas o cualquier elemento estructural que este sujeto a soldadura y seguir las especificaciones de código AWS.
- Se debe tener en cuenta que al trabajar con perfiles de lámina delgada rellenos de hormigón, estos pueden sufrir deformaciones por efectos de la presión hidrostática al momento de la fundición, así que se recomienda arriostrar las secciones durante la fundición.
- Para futuros ensayos se debe tomar en cuenta primero la capacidad de los equipos de laboratorio para fabricar probetas de acuerdo a estas capacidades.
- Se recomienda realizar nuevos ensayos donde se puedan colocar atiesadores que hagan que todas las secciones cambien su clasificación a compactas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

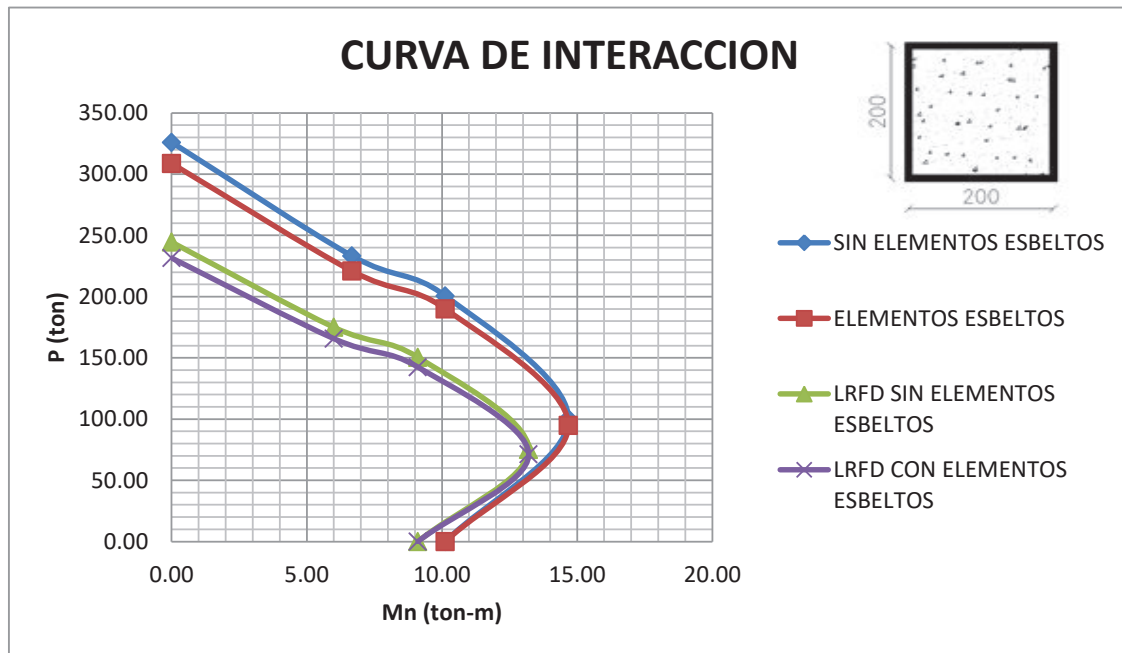
- American Institute of Steel Construction,(2013), Design Examples V14.1, Chicago, Illinois, USA
- American Institute of Steel Construction, (2016), Specification for Structural Steel Buildings, Chicago, Illinois, USA.
- ASTM A36/ A572 GR50 (2014), Standard Specification for Carbon Structural Steel, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Askeland D, Fulay P, Wright W, Ciencia e Ingeniería de Materiales, (2011), Seta Edición.
- AWS D1.1/D1.1 (2008), Structural Welding Code-Steel, American Welding Society, LeJeune Roads, Miami 21st Edition.
- Crisafulli F, Diseño Sismoresistente de Construcciones de Acero, (2014), 4ta Edición.
- Euro código 4 (2011), Proyectos de Estructuras Mixtas de Acero y Hormigón, España, Asociación Española de Normalización y Certificación - AENOR
- Hernandez – Gil, (2007), Hormigón Armado y Pretensado, Grupo de Investigación TEP-190 Ingeniería e Infraestructuras, Graficas Alhambra.
- Jimenez- Garcia –Moran, (2001), Hormigón Armado, México, Naucalpan, Grupo de Investigación del Instituto Torroja, del CSIC.
- McCormac J y Csernak S, (1996), Diseño de Estructuras de Acero, 5ta Edición.

- Tesis Escudero E, Carapaz D, (2015), *Estudio Experimental de Columnas Tubulares de Acero Rellenas de Hormigón, sometidas a Carga Axial.*
- Tesis Flores E, (2014), *Estudio Experimental de Vigas Compuestas Tubulares Sujetas a Flexión.*
- Vintimilla J, (2013), *Ingeniería Sismoresistente de Edificios de Acero,* Quito.

ANEXOS

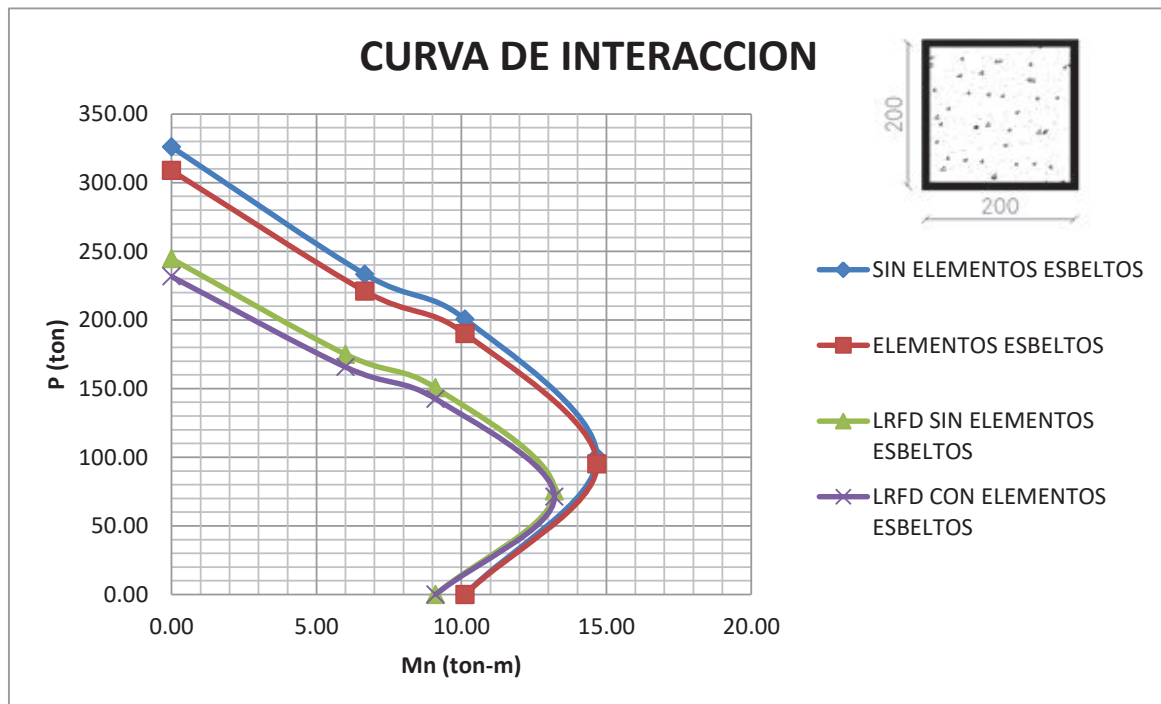
ANEXO N° 1
CURVA DE INTERACCIÓN CARVA VS MOMENTO

SECCIÓN 2C 200X50X2, 2C 200X100X2.



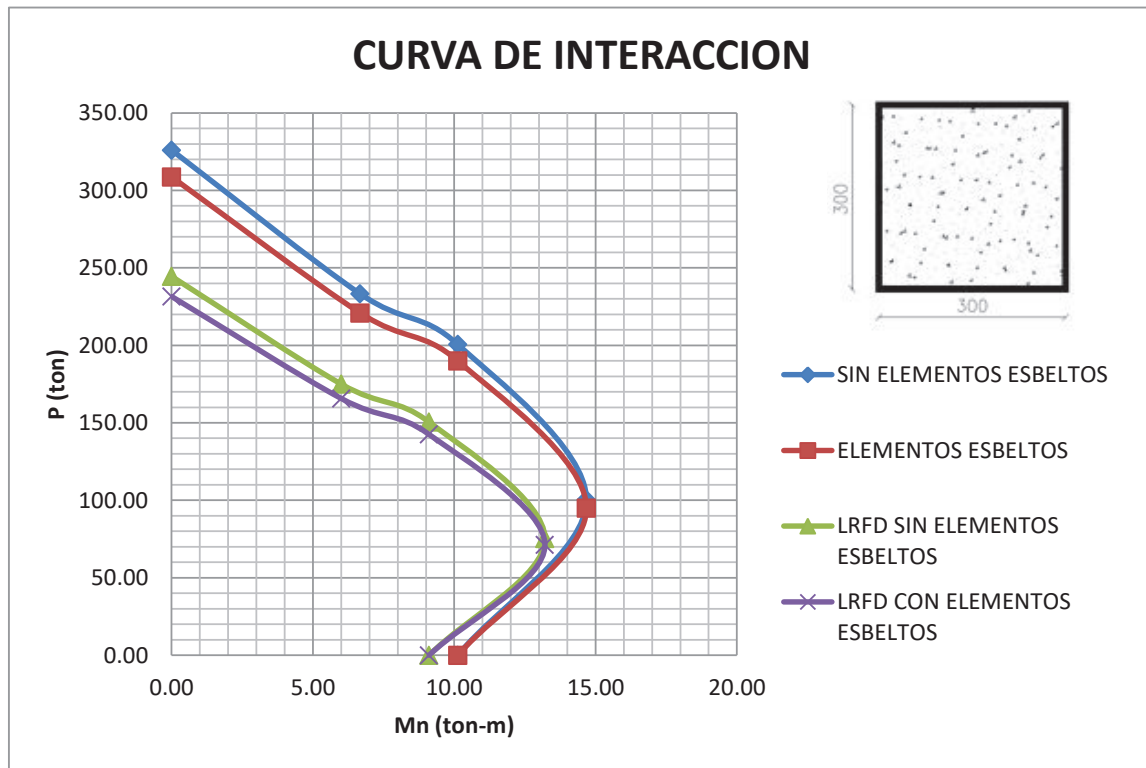
FUENTE Y ELABORACIÓN: Mejía Edison, Padilla Rafael

SECCIÓN 2C 200X50X3, 2C 200X100X3.



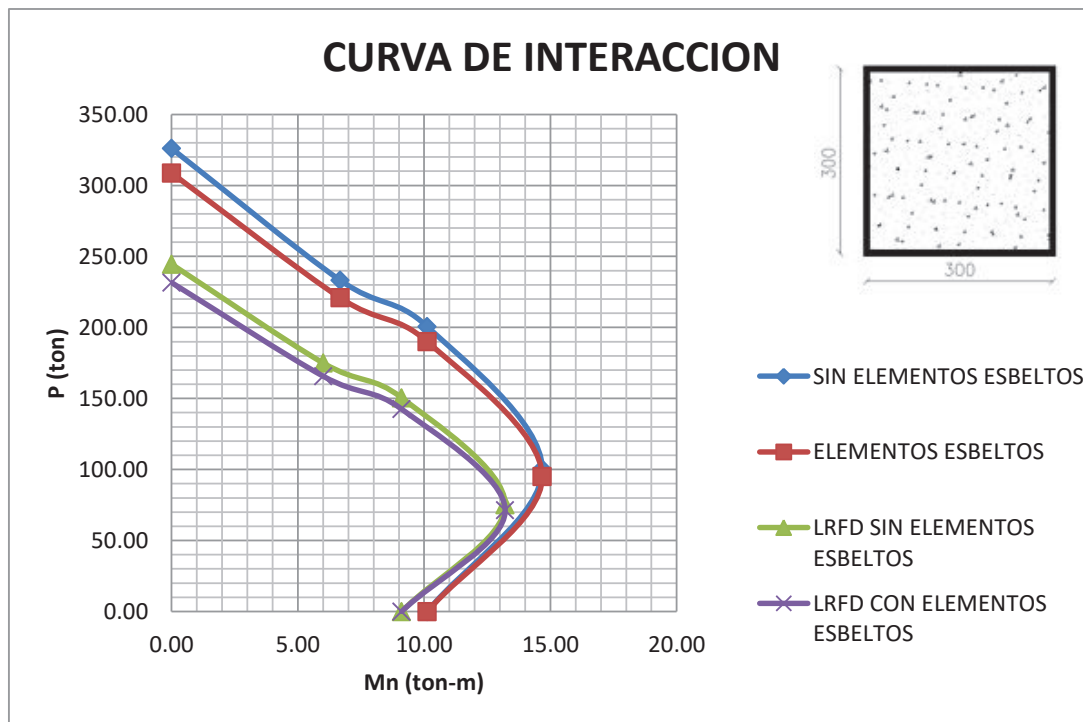
FUENTE Y ELABORACIÓN: Mejía Edison, Padilla Rafael

SECCIÓN 2C 200X50X2, 4C 150X50X2.



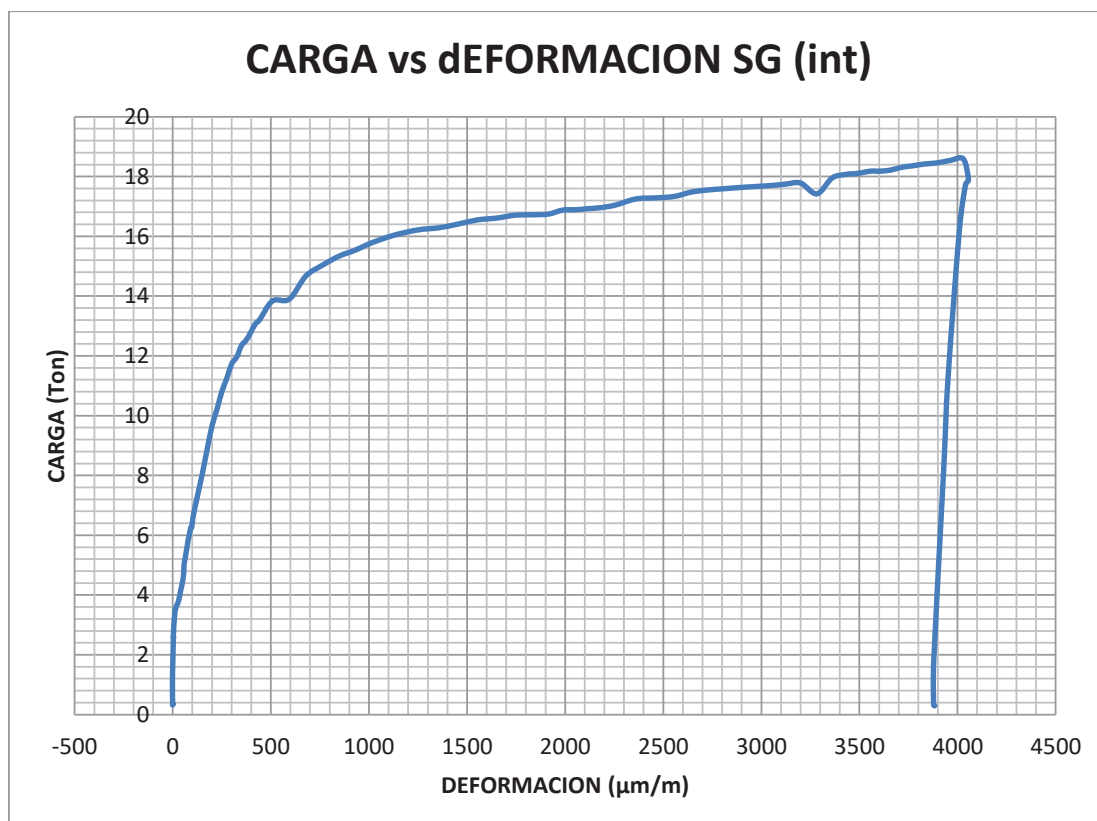
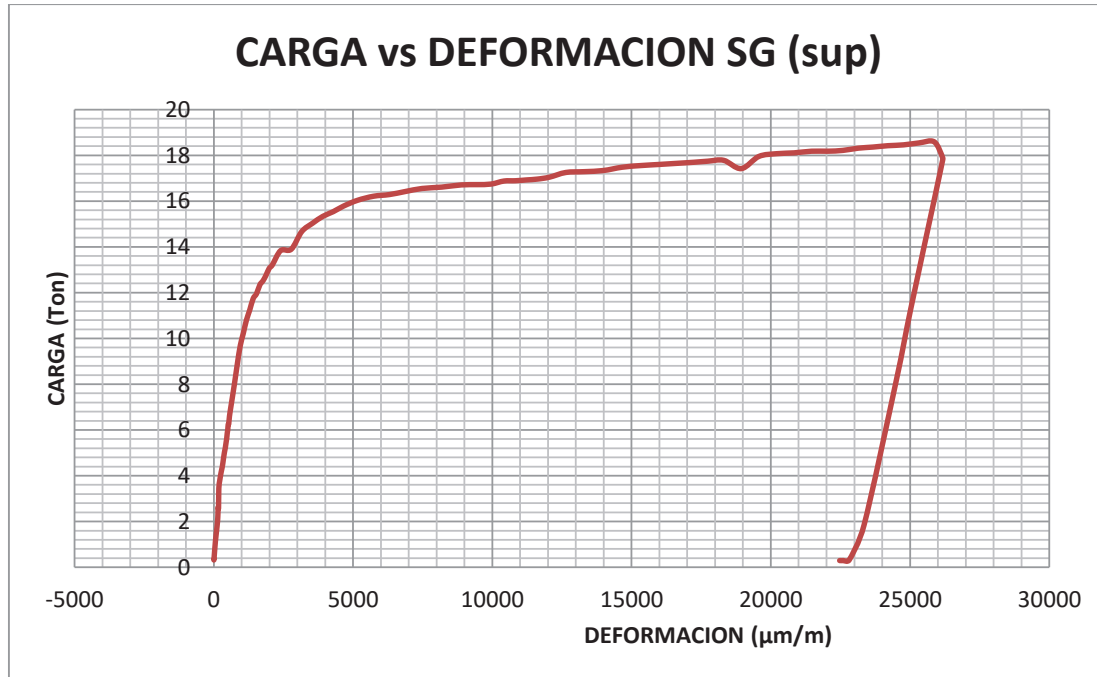
FUENTE Y ELABORACIÓN: Mejía Edison, Padilla Rafael

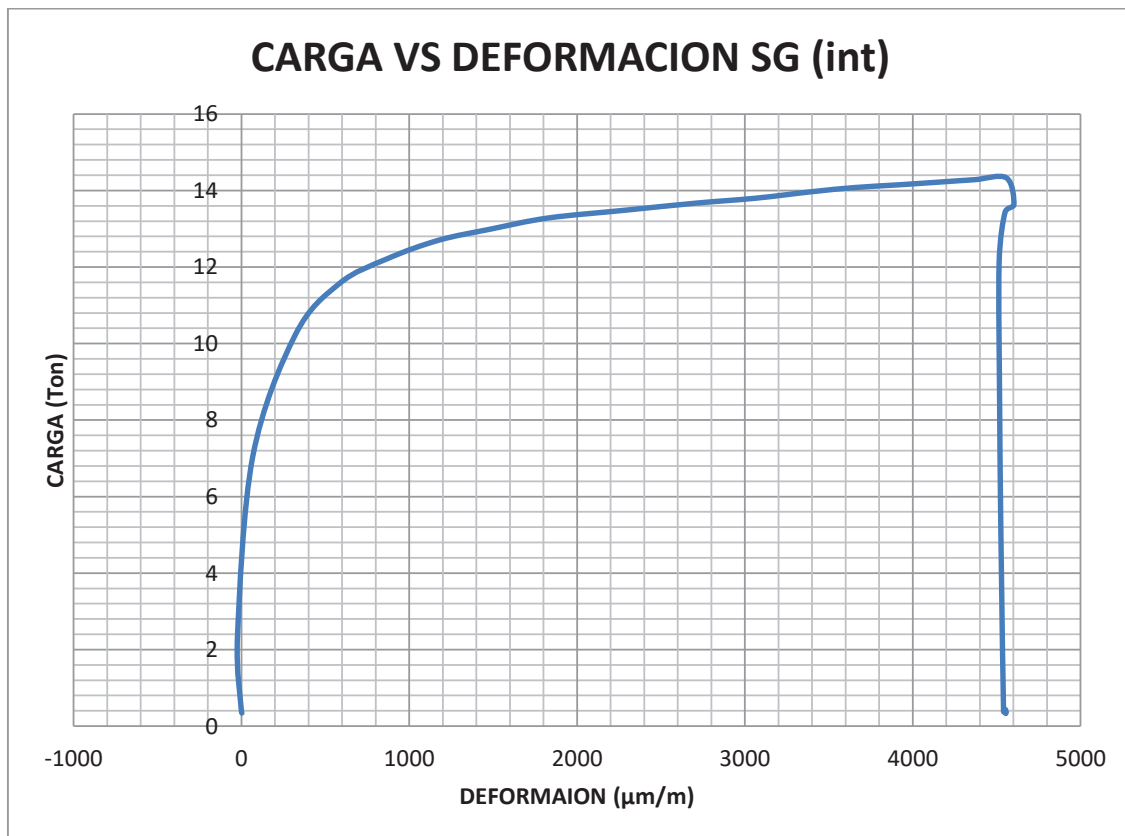
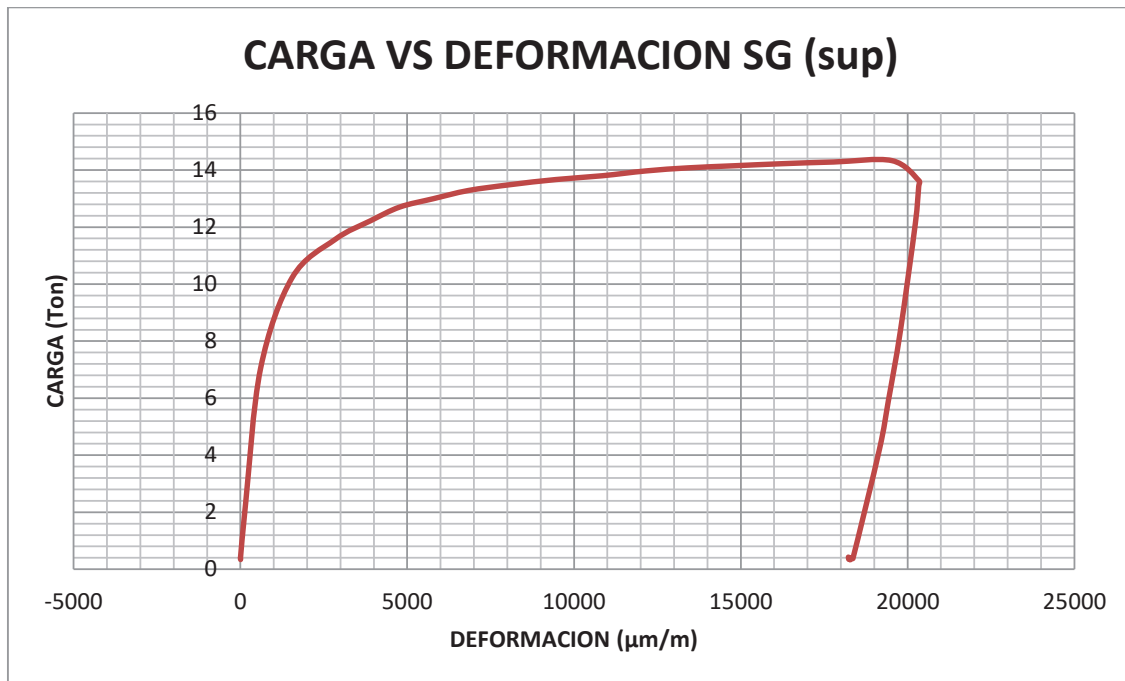
SECCIÓN 2C 200X50X3, 4C 150X50X3.



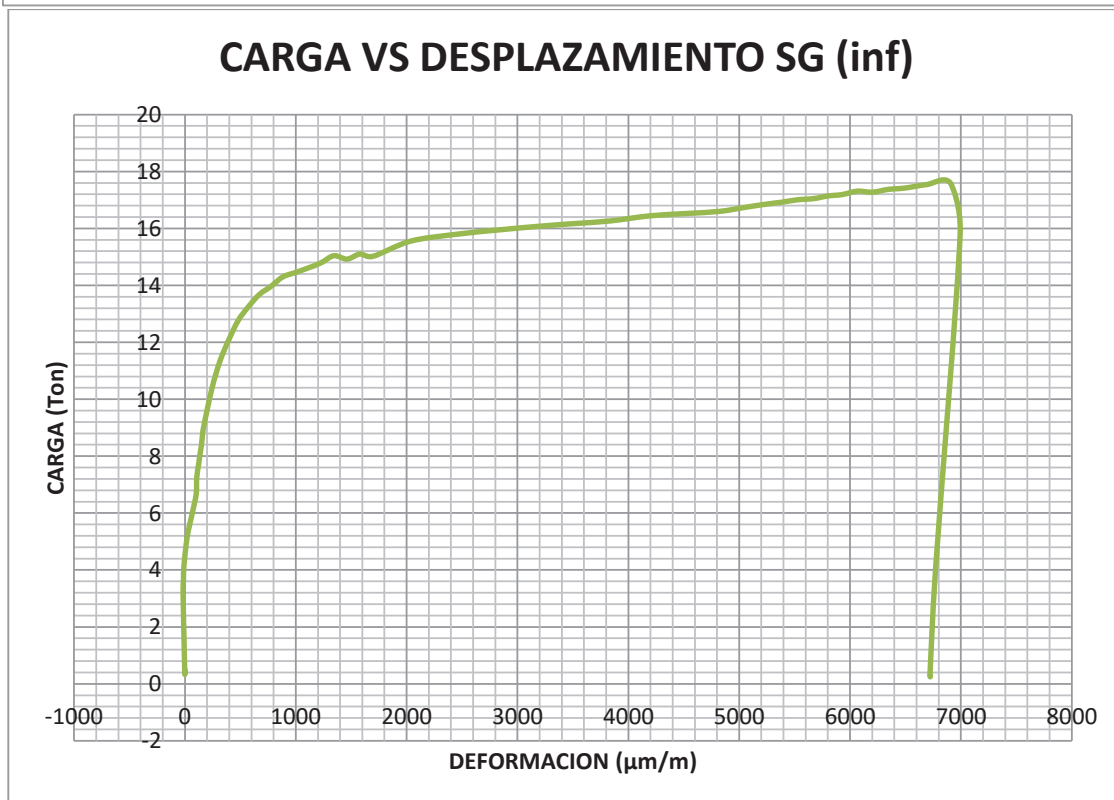
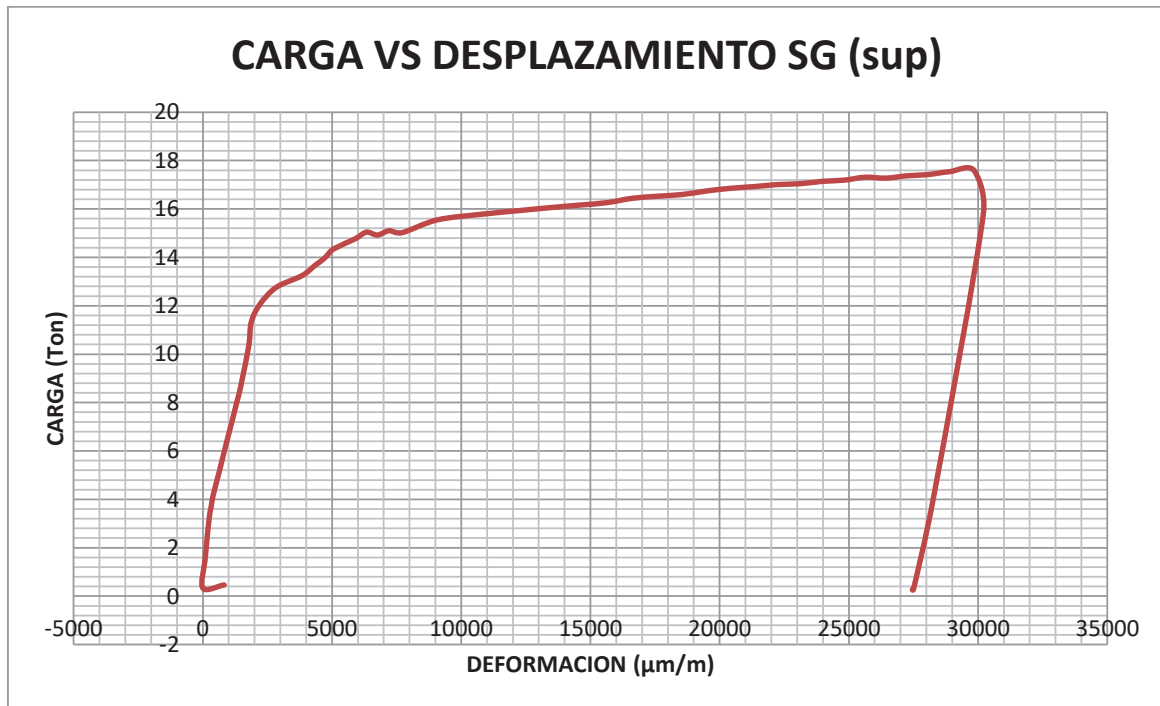
FUENTE Y ELABORACIÓN: Mejía Edison, Padilla Rafael

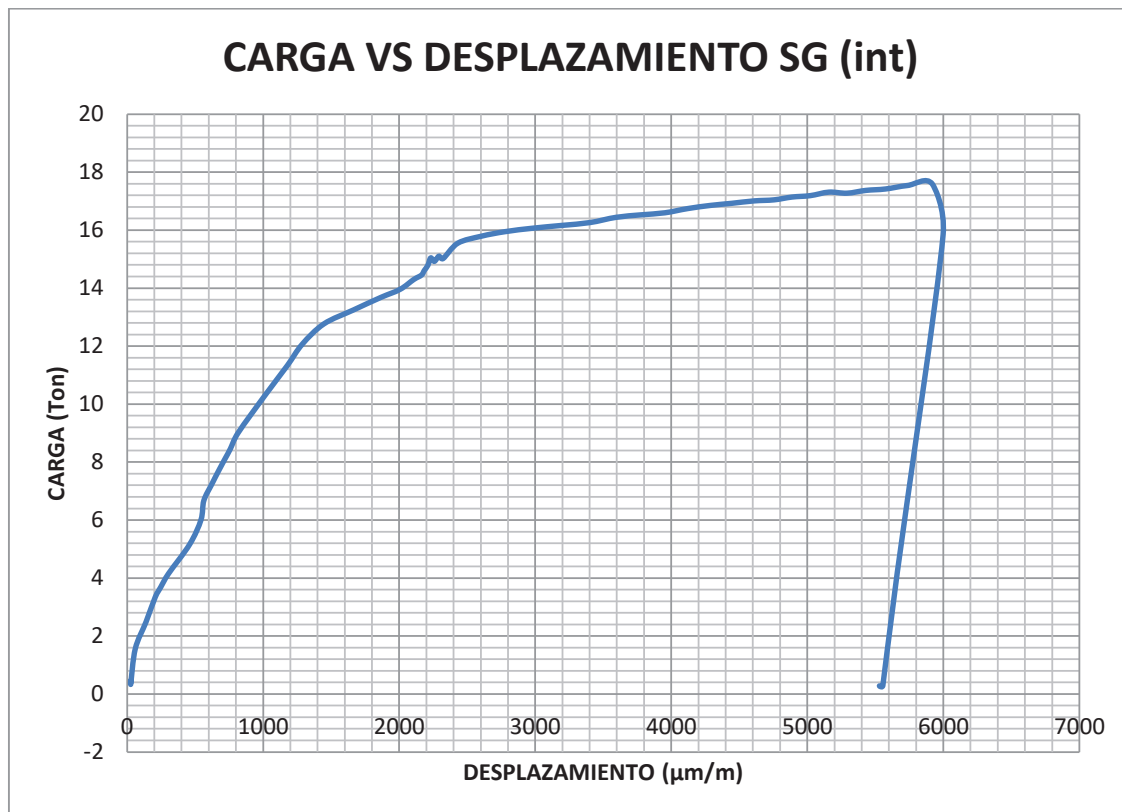
ANEXO N° 2
GRAFICAS DE LAS CURVAS CARGA vs DEFORMACIÓN DE
LOS STRAIN GAGES

ENSAYO 1. COLUMNA RELLENA DE HORMIGÓN 2C 200X200X3

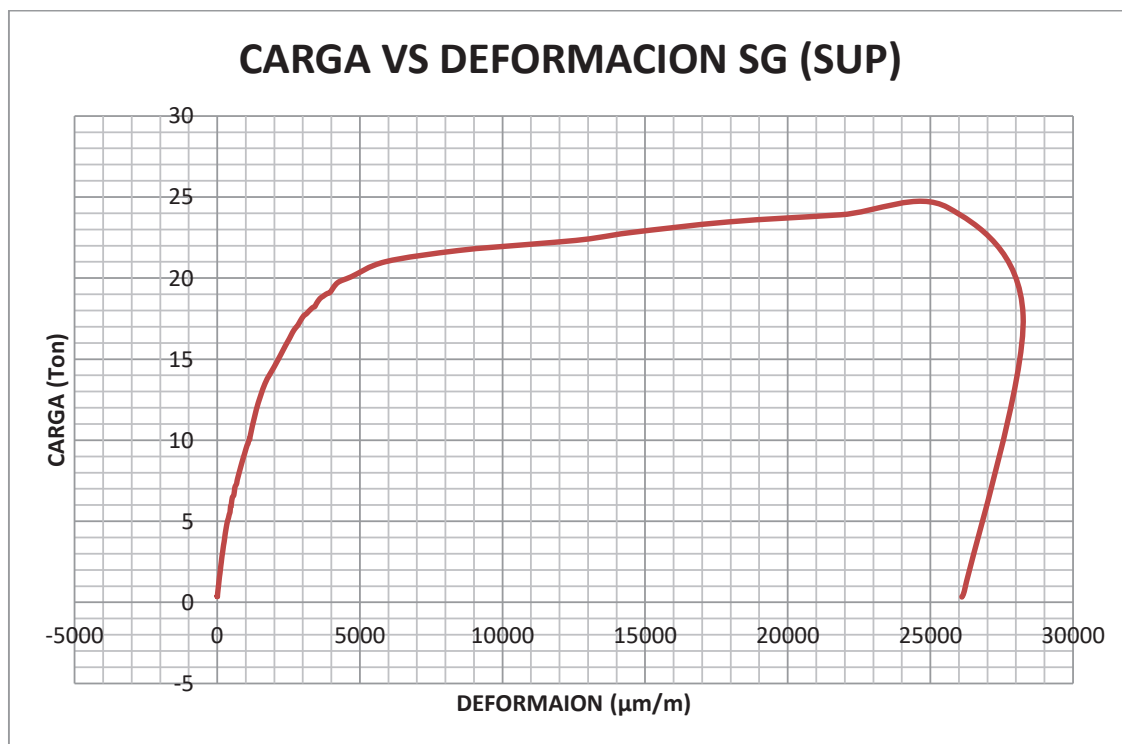
ENSAYO 2. COLUMNA RELLENA DE HORMIGÓN 2C 200X200X2

ENSAYO 3. COLUMNA RELLENA DE HORMIGÓN 2C 200X50X2, 2C 200X100X2.

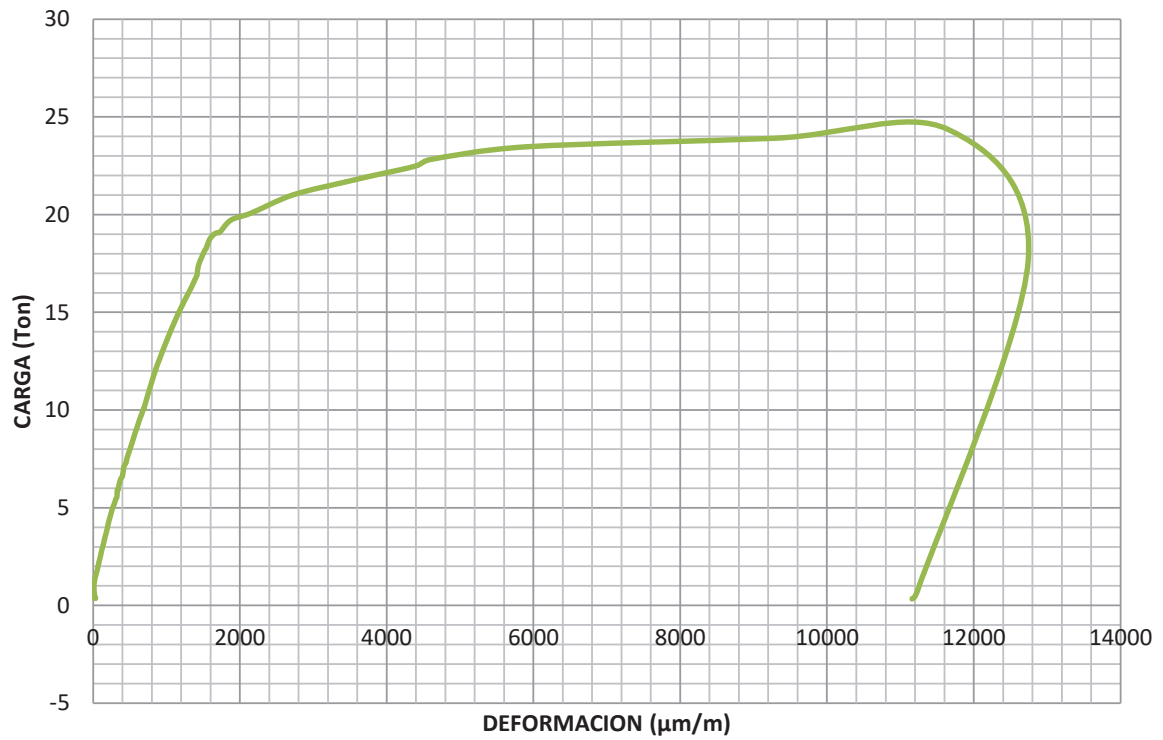




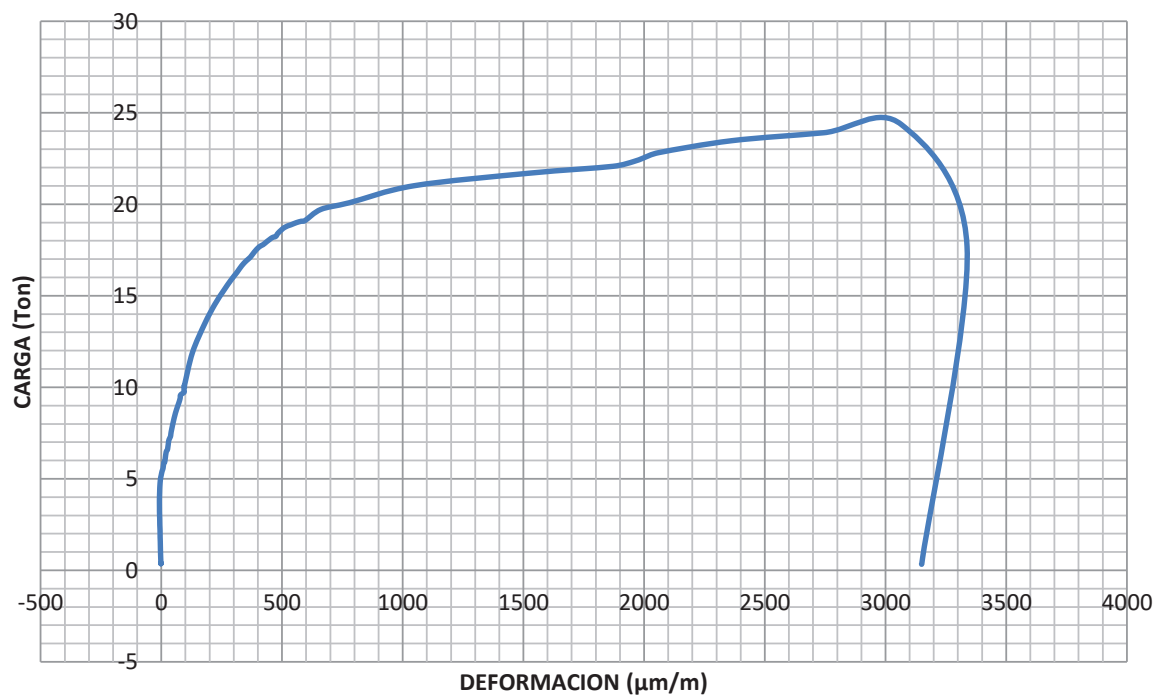
ENSAYO 4. COLUMNA RELLENA DE HORMIGÓN 2C 200X50X3, 2C 200X100X3.

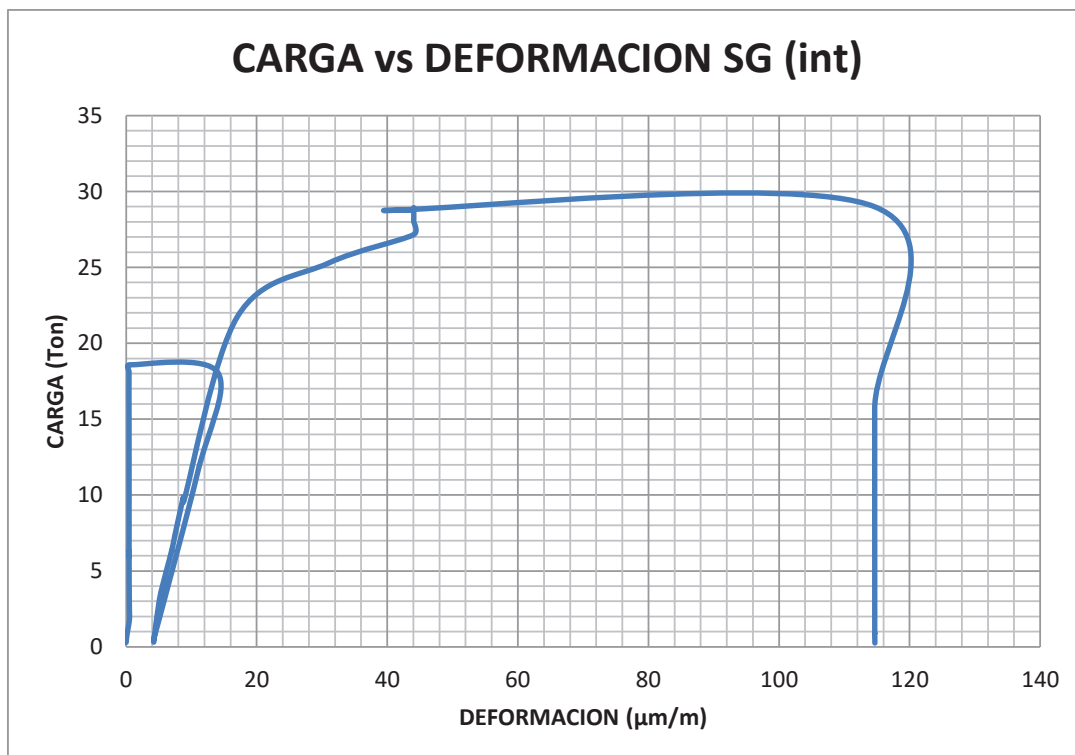
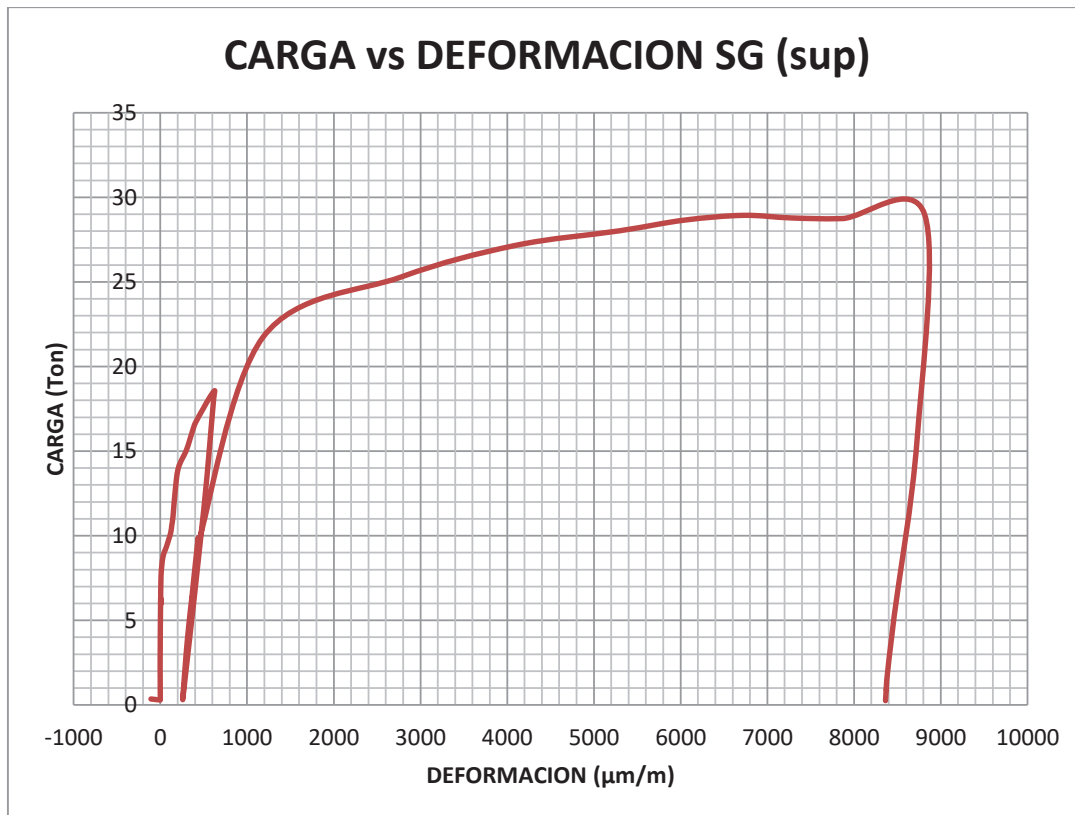


CARGA vs DEFORMACION SG (inf)

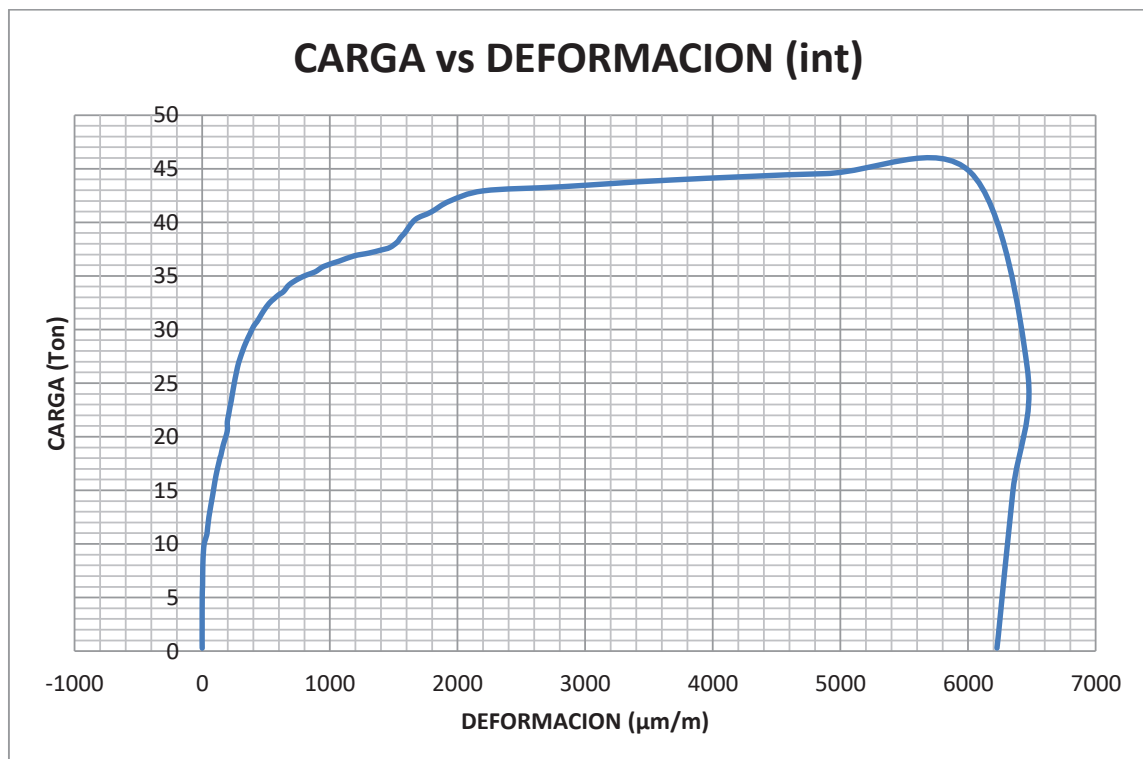
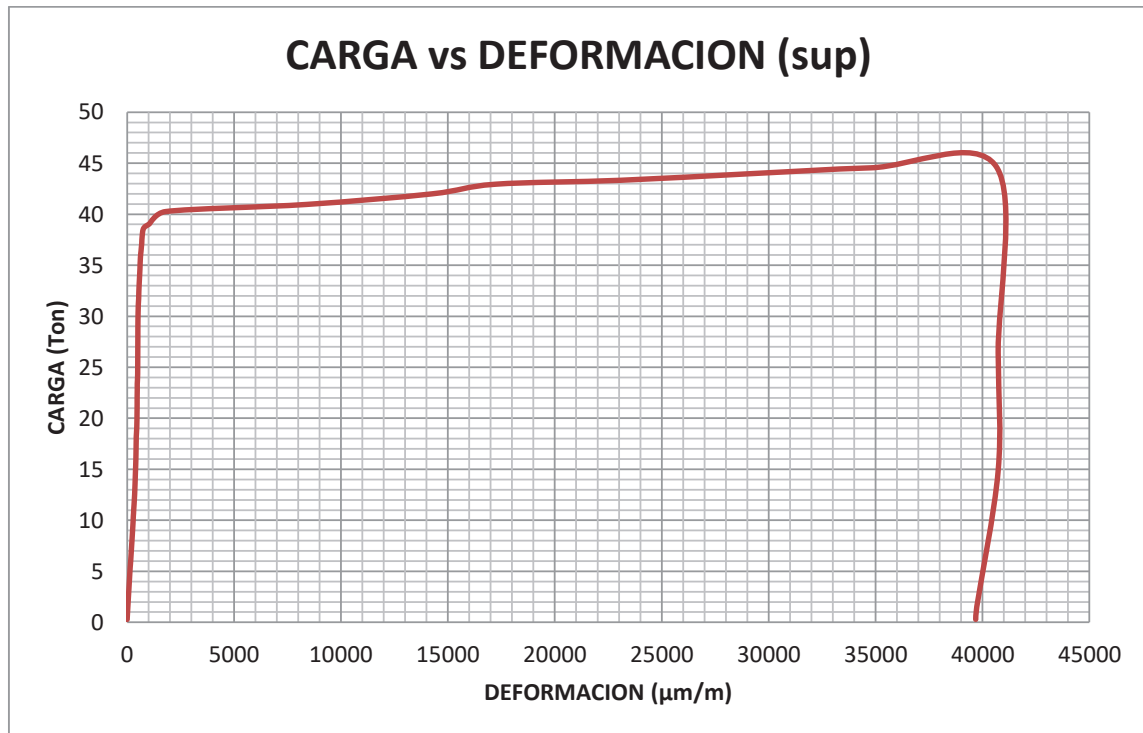


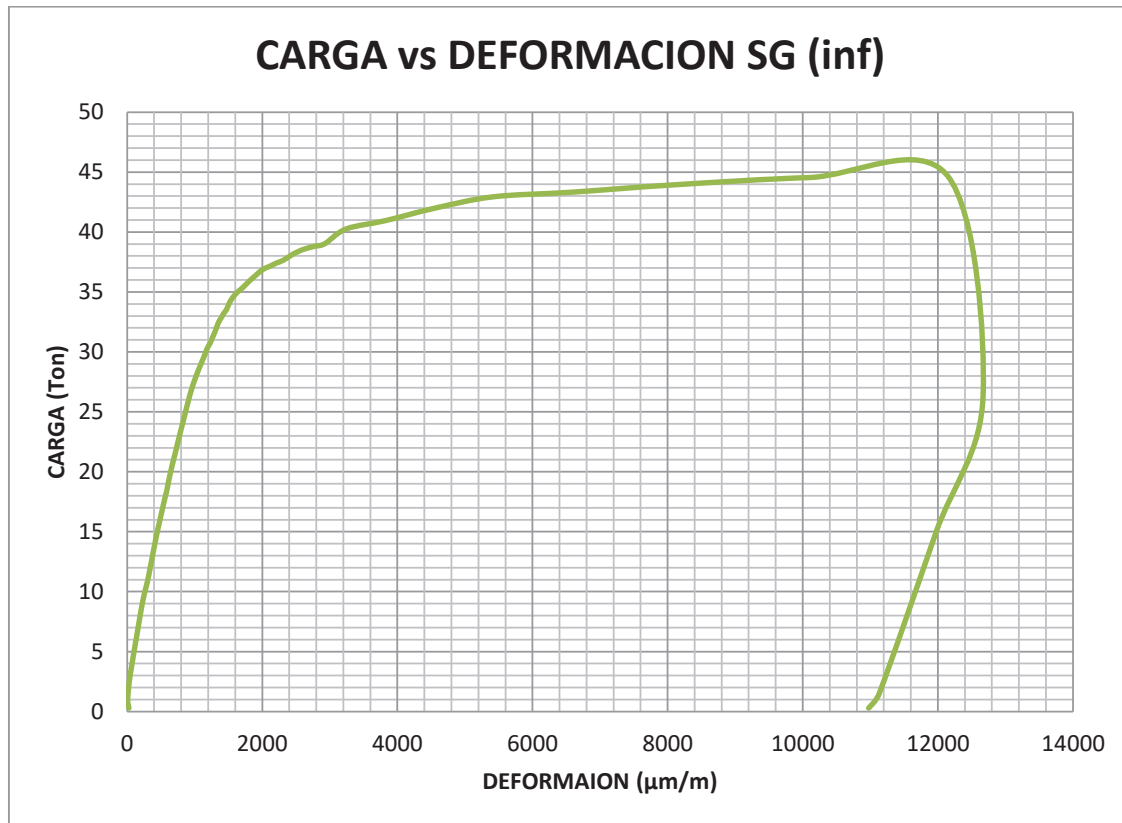
CARGA vs DEFORMACION SG (int)



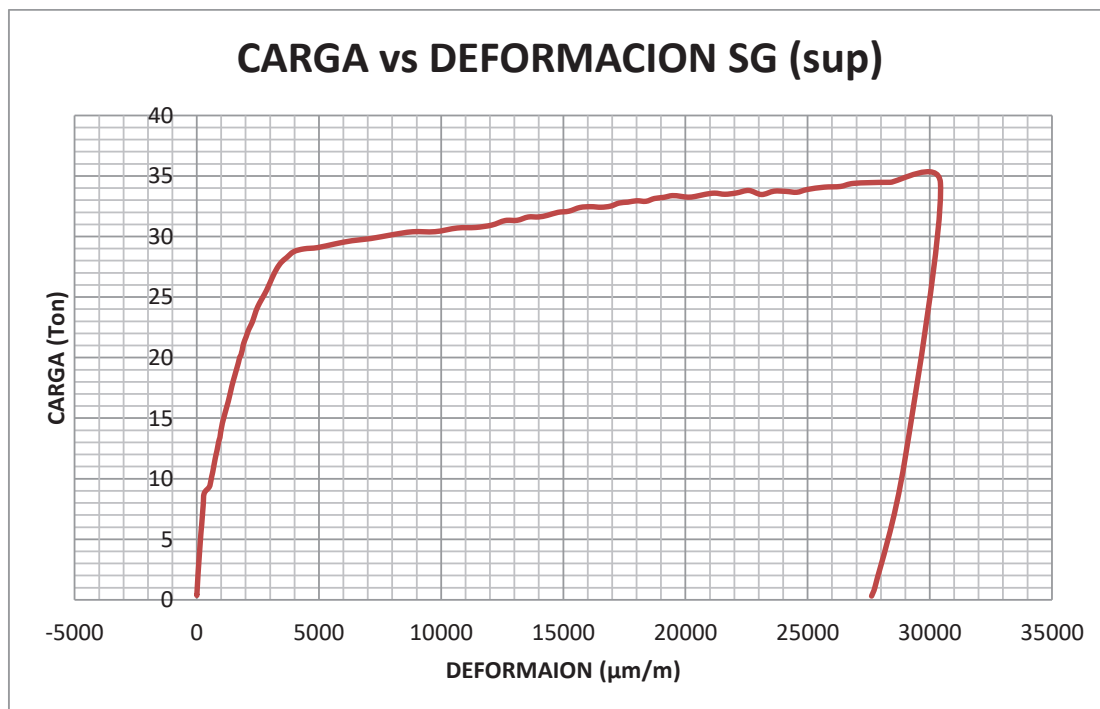
ENSAYO 5. COLUMNA RELLENA DE HORMIGÓN 2C 300X300X2.

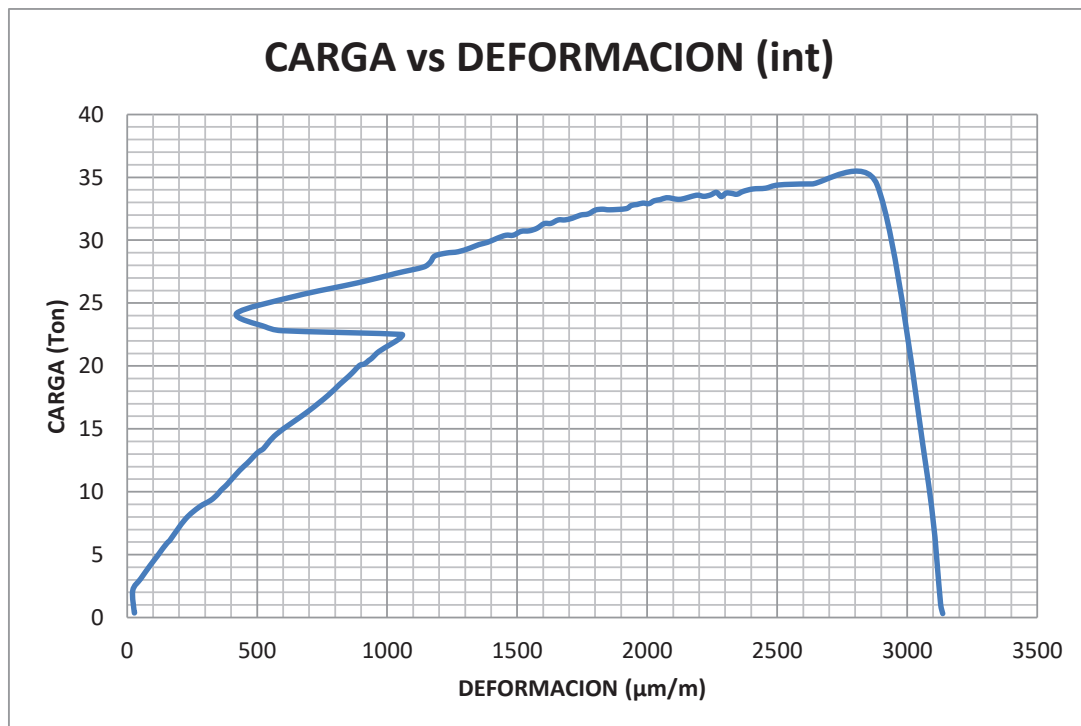
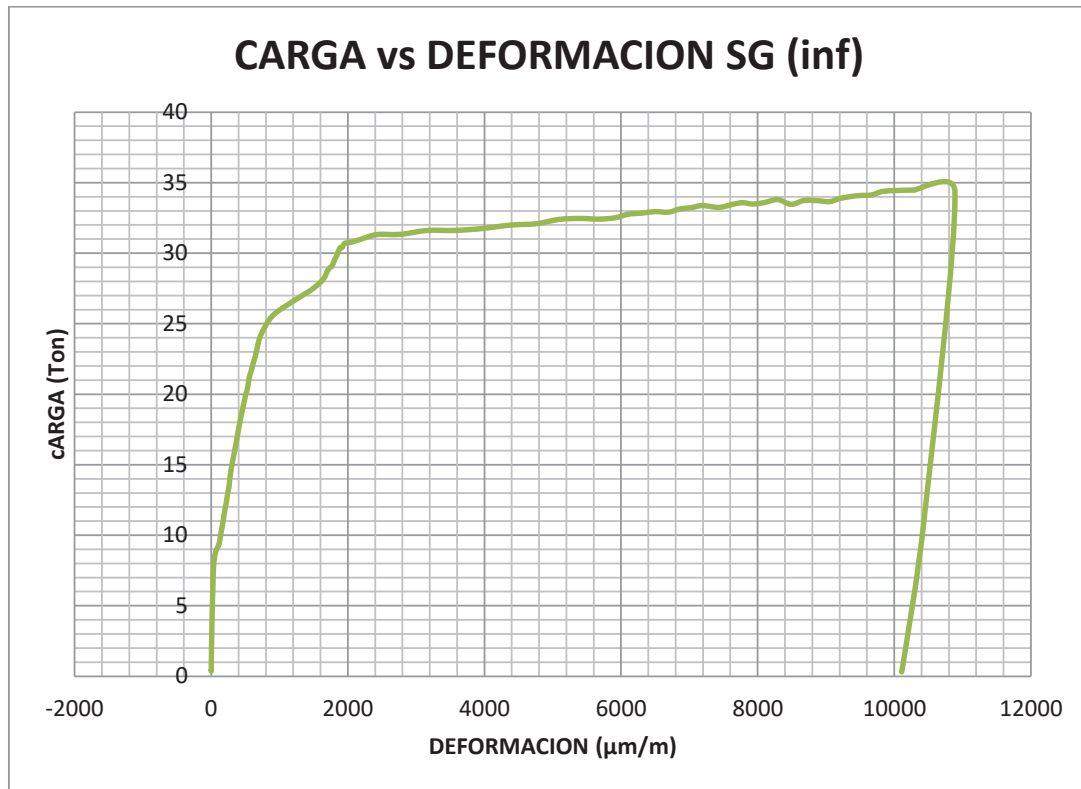
ENSAYO 6. COLUMNA RELLENA DE HORMIGÓN 2C 200X50X3, 4C 150X50X3.

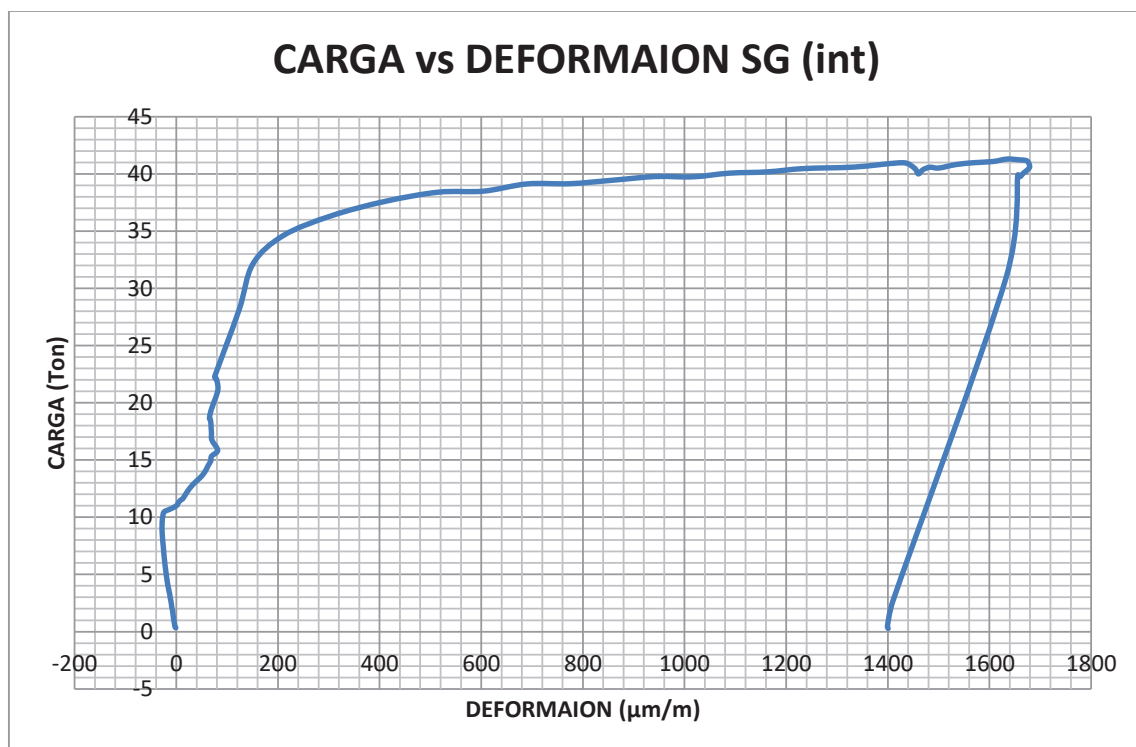
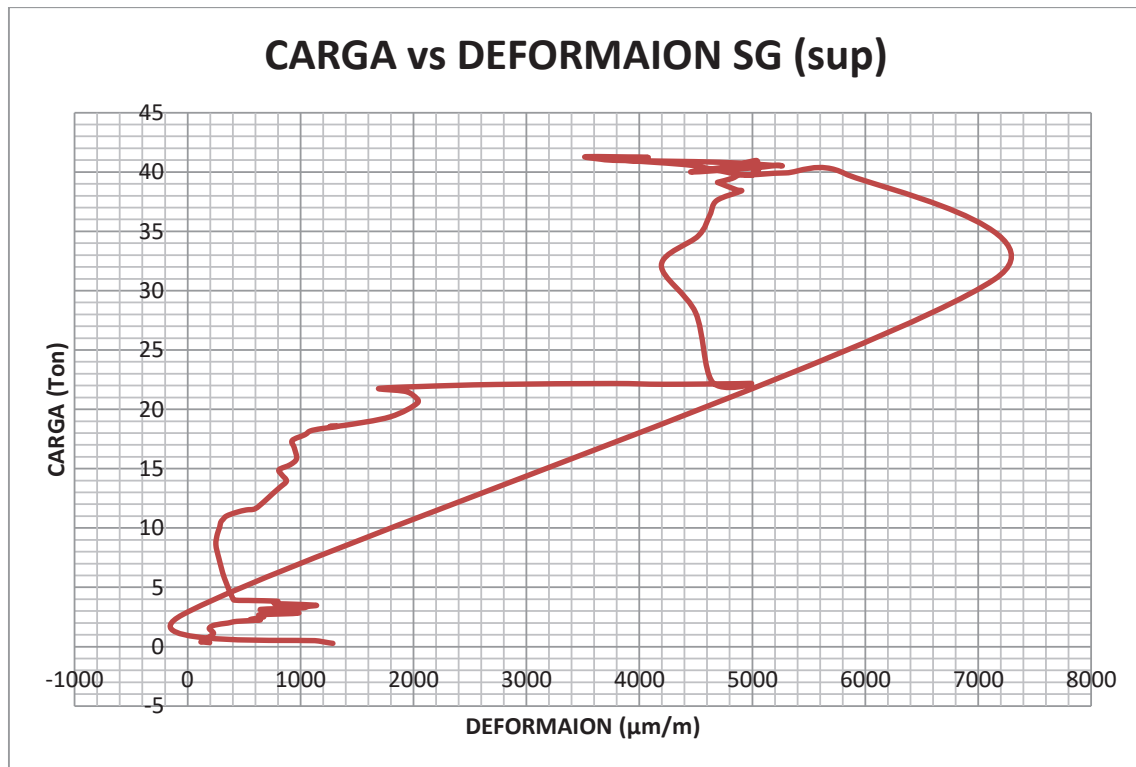




ENSAYO 7. COLUMNA RELLENA DE HORMIGÓN 2C 200X50X2, 4C 150X50X2.





ENSAYO 8. COLUMNA RELLENA DE HORMIGÓN 2C 300X300X3.

ANEXO N° 3
INFORME DE ENSAYOS DE RESISTENCIA DEL
HORMIGÓN Y MÓDULO DE ELASTICIDAD.



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

COMPRESIÓN EN CILINDROS DE HORMIGÓN

INF. No.16 - 0791
Hoja 01 de 01

Quito, 26 de septiembre de 2016

SOLICITA: SR. EDISON MEJÍA / SR. RAFAEL PADILLA
Atención: Sr. Edison Mejía
Dirección: Beethoven E3-20 Y Mozart
PROYECTO: TESIS ESTUDIO EXPERIMENTAL DE COLUMNAS TUBULARES EN LÁMINA DELGADA DE ACERO RELLENAS DE HORMIGÓN, SOMETIDAS A CARGA AXIAL.
CONTRATISTA: ***
FISCALIZADOR: ***
ELEMENTO: COLUMNAS
NORMA: ASTM C39/C39M - 14a

No.	FECHA FABRICACIÓN	DESCRIPCIÓN	FECHA ROTURA	EDAD (días)	D (mm)	ÁREA TRANSV. (mm ²)	P. ESPEC. (kg/m ²)	CARGA		RESISTENCIA	
								(KN)	(ton)	(MPa)	(Kg/cm ²)
1	28-jul-16	CILINDRO #1	04-ago-16	7	151	17987	2316	289.82	29.55	16.2	165
2	28-jul-16	CILINDRO #2	04-ago-16	7	153	18385	2324	325.27	33.17	17.9	183
3	28-jul-16	CILINDRO #3	25-ago-16	28	153	18305	2195	383.19	39.08	20.8	213
4	28-jul-16	CILINDRO #4	25-ago-16	28	153	18466	2210	452.60	46.15	24.3	248
5	28-jul-16	CILINDRO #5	12-sep-16	46	153	18305	2250	489.91	49.96	27.0	275
6	28-jul-16	CILINDRO #6	12-sep-16	46	153	18305	2209	497.81	50.76	26.7	273

Observación: La procedencia y fechas de fabricación han sido tomadas de las muestras y es responsabilidad del cliente.

ING. MERCEDES VILLACÍS
 JEFE DEL LABORATORIO



C16-0144

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía / Edif. Ing. Civil, Mezanine, Ofic. M15 **email:** laboratoriocivilepn@yahoo.com / **Telf.:** (02) 2976 300 ext.: 1609



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

COMPRESIÓN MONOAXIAL DE HORMIGÓN

INF. No. 16-0780
01 de 02

Quito, 26 de septiembre de 2016

SOLICITA: SR. EDISON MEJÍA / SR. RAFAEL PADILLA
Atención: Sr. Edison Mejía
Dirección: Beethoven E3-20 y Mozart
PROYECTO: TESIS ESTUDIO EXPERIMENTAL DE COLUMNAS TUBULARES EN LÁMINA DELGADA DE ACERO RELLENAS DE HORMIGÓN, SOMETIDAS A CARGA AXIAL.
CONTRATISTA: ***
FISCALIZADOR: ***
ELEMENTO: COLUMNA
MUESTRA: CILINDRO # 8
NORMA REFERENCIA: ASTM C469-14
FECHA DE ENSAYO: 12/09/2016

CARGA (Kg)	DEF. AXIAL (µm)	ESFUERZO (Kg/cm ²)
0	0	0.00
1000	10	5.58
2000	20	11.17
3000	35	16.75
4000	50	22.34
5000	65	27.92
6000	85	33.50
7000	110	39.09
8000	140	44.67
9000	170	50.26
10000	210	55.84
0	0	0.00
2000	30	11.17
4000	65	22.34
6000	100	33.50
8000	140	44.67
10000	180	55.84
12000	225	67.01
14000	280	78.18
16000	340	89.35
18000	405	100.51
20000	475	111.68
0	0	0.00
4000	85	22.34
8000	180	44.67
12000	280	67.01
16000	390	89.35
20000	505	111.68
24000	615	134.02
28000	755	156.36
32000	910	178.69
36000	1090	201.03
40000	1290	223.37
44000	1525	245.70
48000	1850	268.04

CARACTERÍSTICAS DE LA PROBETA	
DIAMETRO (D) (cm) :	15.10
ALTURA (L) (cm) :	30.40
VOLUMEN (cm ³) :	5443.99
PESO (N) :	11952.90
PESO UNITARIO (KN/m ³) :	2.20

MUESTRA ANTES DEL ENSAYO



MUESTRA LUEGO DEL ENSAYO



RESUMEN DE RESULTADOS	
AREA (cm ²) :	179.08
RELACIÓN L/D :	2.01
Carga máxima (Kg) :	50425.00
Módulo de Elasticidad (Kg/cm ²) :	221154
Resistencia a la compresión uniaxial (Kg/cm ²) :	281.58
Resistencia a la compresión uniaxial corregida (Kg/cm ²) :	281.58


ING. MERCEDES VILLACIS
 JEFE DEL LABORATORIO



Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía / Edif. Ing. Civil, Mezanine, Ofic. M15 **email:** laboratoriocivilepn@yahoo.com / **Telf.:** (02) 2976 300 ext.: 1609



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

COMPRESIÓN MONOAXIAL DE HORMIGÓN

INF. No. 16-0789
01 de 02

Quito, 26 de septiembre de 2016

SOLICITA: SR. EDISON MEJÍA / SR. RAFAEL PADILLA
Atención: Sr. Edison Mejía
Dirección: Beethoven E3-20 y Mozart
PROYECTO: TESIS ESTUDIO EXPERIMENTAL DE COLUMNAS TUBULARES EN LÁMINA DELGADA DE ACERO RELLENAS DE HORMIGÓN, SOMETIDAS A CARGA AXIAL.
CONTRATISTA: ***
FISCALIZADOR: ***
ELEMENTO: COLUMNA
MUESTRA: CILINDRO # 7
NORMA REFERENCIA: ASTM C469-14
FECHA DE ENSAYO: 12/09/2016

CARGA (Kg)	DEF. AXIAL (µm)	ESFUERZO (Kg/cm ²)
0	0	0.00
1000	10	5.71
2000	20	11.42
3000	30	17.13
4000	45	22.84
5000	85	28.55
6000	85	34.26
7000	105	39.97
8000	125	45.68
9000	150	51.39
10000	175	57.09
12000	225	68.51
14000	280	79.93
0	0	0.00
2000	40	11.42
4000	85	22.84
6000	125	34.26
8000	170	45.68
10000	210	57.09
12000	250	68.51
14000	295	79.93
16000	350	91.35
18000	415	102.77
20000	475	114.19
22000	530	125.61
24000	590	137.03
26000	660	148.45
28000	740	159.87
0	0	0.00
4000	85	22.84
8000	180	45.68
12000	280	68.51
16000	390	91.35
20000	505	114.19
24000	615	137.03
28000	755	159.87
32000	910	182.70
36000	1090	205.54
40000	1290	228.38
44000	1625	251.22
48000	1850	274.06
52000	2295	296.89

CARACTERÍSTICAS DE LA PROBETA	
DIAMETRO (D) (cm) :	14.93
ALTURA (L) (cm) :	30.00
VOLUMEN (cm ³) :	5254.42
PESO (N) :	11644.60
PESO UNITARIO (KN/m ³) :	2.22

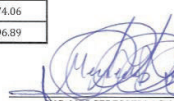
MUESTRA ANTES DEL ENSAYO



MUESTRA LUEGO DEL ENSAYO



RESUMEN DE RESULTADOS	
ÁREA (cm ²) :	175.15
RELACIÓN L/D :	2.01
Carga máxima (Kg) :	52908.00
Módulo de Elasticidad (Kg/cm ²) :	217504
Resistencia a la compresión uniaxial (Kg/cm ²) :	302.08
Resistencia a la compresión uniaxial corregida (Kg/cm ²) :	302.08


 ING. MERCEDES VILLACIS
 JEFE DEL LABORATORIO

Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía / Edif. Ing. Civil, Mezzanine, Ofic. M15 email: laboratorio_mepn@yahoo.com / Telf.: (02) 2976 300 ext.: 1609
 COMMONCILINDRO-16-016