



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”
Multidisciplinario
10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México
ISBN: 978-607-95635

Análisis estructural del edificio Lonja del Comercio de la Habana



1 | “Congreso Internacional de Investigación e Innovación 2014” Multidisciplinario
Autora: Ing. Lisbet Díaz García



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

INTRODUCCIÓN.

Las estructuras metálicas fueron las pioneras en la solución de edificios de mediana y gran altura. Desde la construcción de la torre Eiffel en 1889 en París hasta nuestros días, el acero ha representado un material de primer uso en muchos países del mundo. La facilidad de montaje así como la solución cada vez más depurada de los diferentes tipos de conexiones han contribuido a la extensión de las estructuras porticadas de acero.

Se han elaborado variadas formas de conexión empleando remaches, soldadura y pernos. Algunas conexiones han sido consideradas articuladas y otras como semi-rígidas o completamente rígidas.

Este tipo de estructura, por las ventajas que nos aporta en la construcción, se ha extendido con gran rapidez por el mundo. En el caso de Cuba, existen edificaciones metálicas elaboradas en los siglos XIX y XX por compañías estadounidenses, como el edificio Lonja del Comercio de la Habana inaugurado en el año 1909 construido por la Compañía Purdy and Henderson.

Fundamentación teórica.

El edificio ubicado en Lamparilla N° 2, conocido como Lonja del Comercio de la Habana se comenzó a construir el 26 de abril de 1907, culminó el 10 de febrero de 1909 y se inauguró el 28 de marzo de 1909, contando con cuatro niveles; la primera planta destinada a almacenes - bolsa y el resto de las plantas a oficinas. Con el paso de los años este inmueble ha sufrido diversas modificaciones en cuanto a uso de los locales y ampliación del mismo. Entre estas modificaciones se pueden mencionar: la construcción de un entresuelo, tabiques para crear nuevas oficinas, adición de un sexto nivel y sobre este, la construcción de un ático de estructura metálica, retirado de la fachada.



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

Hasta estos momentos, el edificio, sujeto a las nuevas reestructuraciones no se le ha realizado una revisión estructural de sus elementos en cuanto a su capacidad de carga y nivel de respuesta por lo que es preciso realizar un análisis estructural del inmueble con la finalidad de rediseñar la estructura para verificar las secciones de los elementos componentes e identificar la carga de reserva que posee el mismo en caso de futuras modificaciones.

Problema científico de investigación.

Con las nuevas cargas impuestas por las modificaciones efectuadas en el edificio ¿cuál será su comportamiento estructural actual? ¿Tendrá capacidad de reserva?

Objetivo general.

Analizar y revisar estructuralmente al edificio Lonja del Comercio de la Habana.

Objetivos específicos.

- ✓ Modelar y analizar la estructura de la edificación Lonja del Comercio de la Habana frente a cargas tanto horizontales como verticales, en el programa de cálculo SAP2000 (Versión14).
- ✓ Comparar tensiones actuantes con resistentes para las diferentes etapas.
- ✓ Evaluar la capacidad de carga de reserva.

Estructura de la ponencia.

Este trabajo se compone de dos partes: en la primera se modela la estructura del inmueble a través del programa de cálculo estructural “SAP2000 Versión 14” y se analiza su comportamiento estructural. En la segunda parte se analizarán cada uno de los elementos estructurales del inmueble para confrontar y/o ratificar la resistencia de cada uno.



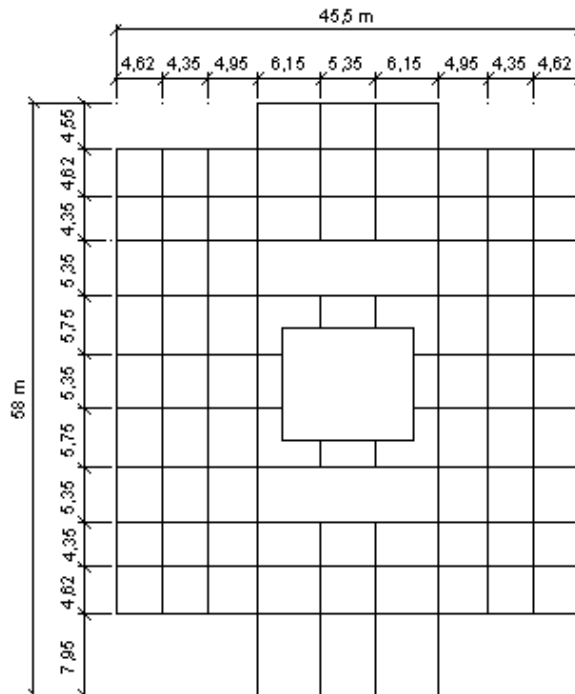
“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”
 Multidisciplinario
 10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México
 ISBN: 978-607-95635

Parte 1: Modelación y análisis de la estructura.

A continuación se muestra la detallada secuencia seguida para la modelación del edificio Lonja del Comercio de la Habana. Para ello se utilizó el software de cálculo estructural SAP2000 v14, donde se precisa de las invariantes del proceso para la modelación que estas son: geometría, material, condiciones de borde, y las cargas a las que está sometida la estructura, además de considerar los entrepisos rígidos.

1.1 Geometría.

A partir de los planos y documentos realizados del inmueble, para su última modificación en 1995, se pudo obtener la geometría de los elementos que componen la edificación en cuestión.





“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”
 Multidisciplinario
 10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México
 ISBN: 978-607-95635

Figura 1 Cotas en planta del inmueble

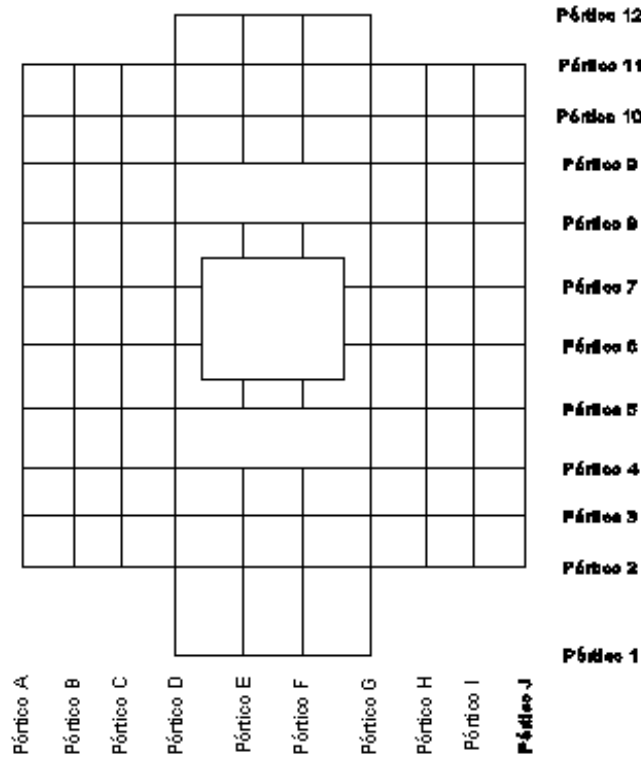


Figura 2 Nomenclatura de los pórticos

1.1.1 Losas.

Las losas son planas de 20 cm de espesor, a estas se les calculó su peso y se añadió como una carga permanente tributando a las vigas ya que no fueron modeladas como “elements” (nomenclatura utilizada por el software de cálculo SAP2000 v14 para definir miembros lineales).

1.1.2 Vigas.



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

Las vigas están compuestas por perfiles I excepto las del quinto nivel que son de hormigón armado, dichas vigas se encuentran ubicadas bajo las losas y todas fueron modeladas como “elements”: las de la quinta planta de hormigón de 2400 kg/m3 con una sección de 40x45 cm y el resto de acero con una sección I W18x119 (figura 3).

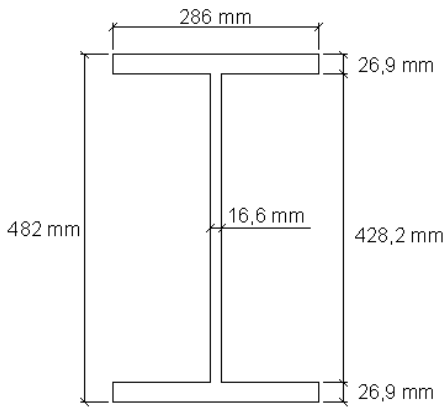


Figura 3 Perfil metálico (vigas)

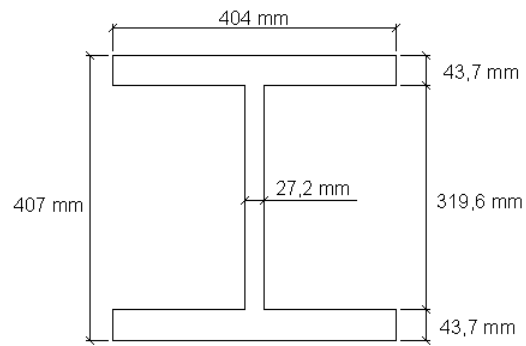


Figura 4 Perfil metálico (columnas)

1.1.3 Columnas.

Todas las columnas fueron modeladas como “elements” compuestos por perfiles HW14x233 (figura 4) de acero exceptuando las del quinto nivel que están elaboradas de hormigón armado de 2400 kg/m3 con una sección de 30x30 cm. Las luces de pórticos e intercolumnios varían entre cuatro y seis metros y presentan las siguientes alturas según cada nivel:

<u>Nivel</u>	<u>Puntal (m)</u>
Planta baja	4,50
1ro	2,90
2do	4,85
3ro	4,02
4to	3,35



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

5to 3,40

Ático 3,00

1.1.4 Cúpula.

La cúpula representa la mitad de una esfera con un diámetro exterior de 12 m, espesor de 0,25 m y se sustenta sobre las columnas centrales de la edificación. Su geometría no se consideró en el modelo, se determinaron las cargas que tributan sobre la edificación. Se le adicionó un peso de 30 kN de la estatua del Dios Mercurio que se encuentra sobre dicha cúpula para un peso total de 664,5 kN.

1.2 Materiales.

Las vigas y columnas se consideraron compuestas de acero, exceptuando el quinto nivel que es de hormigón armado al igual que las losas de entrepiso y cubierta. Para la fabricación de las vigas y columnas se utilizaron perfiles I con una resistencia de $f_y=250$ MPa y un peso de $78,9$ kN/m³ en ambos casos. Los entrepisos están formados por paños de losas de hormigón armado con un peso de 2400 kg/m³, dichas losas trabajan independientes cada una y tienen un espesor de 20 cm. Todas las fachadas del edificio son de mampostería (ladrillos) con revestimiento de piedra artificial y los tabiques divisorios están formados por panelería ligera DEPANEL.

1.3 Condiciones de borde.

A consecuencia de la técnica constructiva utilizada en la edificación, las uniones columna-columna y viga-columna son sujetadas mediante remaches considerándose así continuas, mientras que la unión columna-cimiento se considera empotrada.

1.4 Cargas que actúan sobre la estructura.



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

La mayoría de los locales del edificio Lonja del Comercio de la Habana, están ocupados por oficinas de diferentes empresas además de una cafetería en la planta baja, dos baños y dos escaleras en cada nivel. Por este motivo las cargas actuantes en la edificación varían según el uso y dimensiones de cada área.

1.4.1 Cargas permanentes.

Para el cálculo de las cargas permanentes se utiliza la norma NC-283:2003, entre dichas cargas se hallan peso de relleno, piso y tabiquería además del peso propio de los elementos, este último es asumido por el programa de cálculo SAP2000 v14 cuando se le asignan los materiales a cada uno de los elementos que componen la estructura, por lo que no fue calculado. Estas cargas se asignan en kN/m ya que actúan perpendicular y linealmente distribuidas sobre las vigas.

✓ Peso Propio	Asumidas por el programa de cálculo SAP2000 v14
✓ Relleno + Mortero + Piso	2,0 kN/m ²
✓ Tabiquería	2,8 kN/m ² (paredes de ladrillos de 0,15m de espesor)
✓ Losa	6 kN/m ²

1.4.2 Cargas de uso.

Para hallar las cargas de uso se utiliza de la norma NC-284:2003 de la cual se obtuvieron cargas perpendicular y linealmente distribuidas sobre las vigas por lo que se asignan en kN/m. Dichas cargas varía según el uso de cada local donde la mayoría son oficinas, pero también se encuentran áreas comunes como son escaleras, baños y pasillos.



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

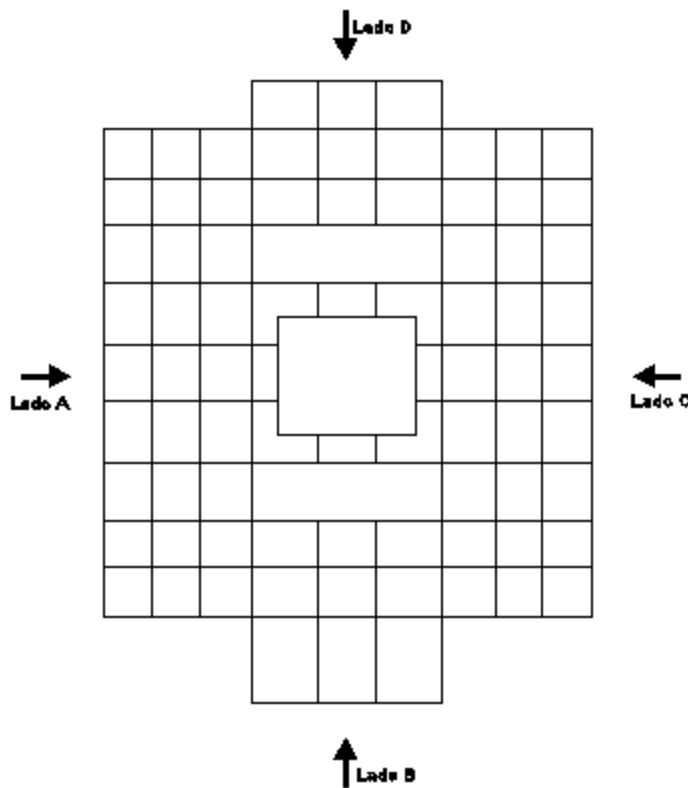
10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

- ✓ Oficina 2,0 kN/m²
- ✓ Escaleras, vestíbulos y accesos 4,0 kN/m²

1.4.3 Cargas de viento.

Las cargas de viento se consideraron actuando horizontal y linealmente distribuidas en las columnas de las fachadas del edificio y en cualquier dirección, según lo descrito en la norma NC-285:2003. Dicha carga se analizó actuando en las cuatro fachadas del edificio ya que dos de estas fachadas se afectan por el viento que sopla de la Bahía de la Habana y las otras dos por el viento que proviene de la ciudad donde las edificaciones superan los 10 m de altura (figura 5).





“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

Figura 5 Influencia de la carga de viento en las fachadas del edificio

- ✓ Coeficiente de recurrencia (CT).

Las presiones de base señaladas para una recurrencia de 50 años, serán afectadas por el coeficiente de recurrencia el cual para dicho período es de 1,00.

- ✓ Presión del viento por provincias o por regiones (q10).

El inmueble está situado en La Habana Vieja, La Habana por lo que se encuentra ubicado en la zona 1, donde q10 = 1,3kN/m2.

- ✓ Coeficiente de altura (Ch).

En dependencia de la categoría y del tipo de terreno, varía el coeficiente de altura. En caso del edificio en cuestión, el tipo de terreno es A ya que se considera corta a la distancia que está el inmueble de la línea del mar (tabla 1).

Tabla 1 Coeficientes de altura del inmueble

Altura (m)	C altura Terreno tipo B	C altura Terreno tipo A
0	0,48	0,80
6,32	0,53	0,85
10,22	0,65	1,00
16,22	0,79	1,16
21,32	0,90	1,27
25,62	0,98	1,35
30,02	1,05	1,42
34,02	1,11	1,48

- ✓ Coeficiente de topografía o de sitio (CS).



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

La presión mediante el coeficiente de topografía o sitio varía por la influencia de caracteres topográficos definidos, la Lonja del comercio de la Habana se construyó en un sitio, que por las características que presenta, es normal por lo que el valor de dicho coeficiente es 1.

✓ Coeficiente de ráfaga (Cr).

Para tener en cuenta la naturaleza oscilante de los vientos y su interacción con la edificación durante un período de 10 minutos, se utiliza el coeficiente de ráfaga el que para una altura del inmueble de 34,02m y tipo de terreno A, tiene un valor de 1,11.

✓ Coeficiente de reducción de área (CRa).

Las presiones del viento que actúan sobre los elementos constituyentes del inmueble (vigas y columnas) deben ser afectadas por el coeficiente de reducción de área en función de la mayor dimensión (horizontal o vertical) de la superficie o área que expuesta al viento transmite carga sobre el elemento considerado y la altura del punto más elevado de esta superficie o área.

<u>Lado</u>	<u>Dimensión (m)</u>	<u>Coeficiente de reducción de área (C_{Ra})</u>
A y C	.45,5	1
B y D	58	1

Se optó por un criterio conservador ya que la separación entre pórticos, a pesar de ser variada, no sobrepasa el valor de seis metros además de que la propia geometría del inmueble tiene un gran espacio libre en su interior.



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

✓ Coeficiente de forma (Cf).

Para tener en cuenta el carácter aerodinámico de la estructura, es decir, la forma, los volúmenes y el ángulo de las superficies expuestas de la edificación, se obtiene el coeficiente de forma o aerodinámico el cual afecta las presiones básicas del viento. Este coeficiente se determinó por el caso 11 de la norma NC-285:2003 que se utiliza para los edificios escalonados, como el que se analizó.

✓ □Carga de viento estática

Para determinar los valores de carga de viento estática se utilizó el programa Office Excel donde para cada uno de los lados del inmueble (A=58 m y B=45,5m), al aumentar la altura, varió el coeficiente de altura y por consiguiente el valor de q

q = CT * q10 * CS * CH * CR * CRa * CF

Tabla 2 Valores de “q” para cada nivel del edificio

Table with 11 columns: Altura (m), C altura Terreno tipo B, q (A) (kN/m2) (Delante del viento, Detrás del viento), q (B) (kN/m2) (Delante del viento, Detrás del viento), C altura Terreno tipo A, q (C) (kN/m2) (Delante del viento, Detrás del viento), q (D) (kN/m2) (Delante del viento, Detrás del viento). Rows show values for altitudes from 0 to 34.02m.

1.5 Combinaciones de cargas.

Se utilizó la NC 207:2013 para obtener las combinaciones de cargas, de las cuales se analizaron:



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

1) $1,2 \cdot D + 1,6 \cdot L$

2) $1,2 \cdot D + 1,4 \cdot WA + 0,5 \cdot L$

3) $1,2 \cdot D + 1,4 \cdot WB + 0,5 \cdot L$

4) $1,2 \cdot D + 1,4 \cdot WC + 0,5 \cdot L$

5) $1,2 \cdot D + 1,4 \cdot WD + 0,5 \cdot L$

6) $0,9 \cdot D + 1,4 \cdot WA$

7) $0,9 \cdot D + 1,4 \cdot WB$

8) $0,9 \cdot D + 1,4 \cdot WC$

9) $0,9 \cdot D + 1,4 \cdot WD$

Donde:

- ✓ D: carga muerta + permanente
- ✓ L: carga de uso
- ✓ WA: carga de viento en el sentido A
- ✓ □WB: carga de viento en el sentido B
- ✓ □WC: carga de viento en el sentido C
- ✓ □WD: carga de viento en el sentido D



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

1.6 Resultados obtenidos:

Analizadas cada una de las combinaciones de cargas aplicadas a la edificación, se obtuvo que la más desfavorable tanto para las vigas como para las columnas correspondía a la combinación 1 ($1,2 \cdot D + 1,6 \cdot L$), ofreciendo los mayores valores de momentos.

✓ Vigas.

Tabla 3 Resultados de las vigas.

	Combinaciones	N (kN)	V (kN)	M (kN*m)
V máx. =	COMB1	0	-365,163	-404,4307
M máx. =	COMB1	0	360,285	-406,3522

✓ Columnas

Tabla 4 Resultados de las columnas.

	Combinaciones	N (kN)	V (kN)	M (kN*m)
N máx. =	COMB1	-4169,729	4,707	9,4782
V máx. =	COMB1	-252,533	68,367	142,2062
M máx. =	COMB4	-1560,867	-46,603	-153,2186

1.6.1 Comparación de los resultados obtenidos.

✓ Vigas.

Para el caso de las vigas, se tomó aquella que representaba mayor momento, para la comparación ya que a esta fue a la que se le realizó los cálculos de resistencia por el método correspondiente al análisis (Tabla 5).

Tabla 5 Comparación de resultados aproximados obtenidos en vigas.



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

Consideraciones
Estructura de 6 niveles
Cargas actuales
Método de cálculo LRFD
Resistencia a flexión que posee el perfil
resistente = 850,5kN*m
actuante = 406,35 kN*m
Diferencia obtenida = 52%
Resistencia a esfuerzo cortante que posee el perfil
resistente = 15665 kN
actuante = 365,16 kN
Diferencia obtenida =98%

✓ Columnas.

Para la comparación de los resultados obtenidos de las columnas, se tomó aquel que presentaba mayor axial ya que fue a la que se le realizó los cálculos de resistencia por el método correspondiente al análisis (Tabla 6).

Tabla 6 Comparación de resultados aproximados obtenidos en columnas.

Consideraciones
Estructura de 6 niveles
Cargas actuales
Método de cálculo LRFD
Resistencia a compresión que posee el perfil
permisible = 9392,5 kN
actuante = 4169,73 kN
Diferencia obtenida = 56%



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”
Multidisciplinario
10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México
ISBN: 978-607-95635

Luego de comparar los resultados obtenidos en vigas y en columnas se puede observar que existe una diferencia notable entre carga actuante y resistente

Parte 2: Revisión de los elementos estructurales.

El diseño de los elementos estructurales del inmueble se realizó por el método de los estados límites últimos, el cual no trabaja con las cargas características reales sino que se mayoran las cargas y se le aplica a las resistencias un coeficiente de minoración en dependencia del estado tensional (compresión, tracción) pudiendo así garantizar un diseño seguro y lo más económico posible. Para el análisis de dichos elementos estructurales, se utilizó la norma NC-207:2013, las notas de clases de la asignatura “Diseño de Estructuras Metálicas”, el libro de Diseño de Estructuras de Acero de Jack McCornac y las especificaciones del AISC edición del 2005.

2.1 Vigas.

Para cada combinación con las cargas factorizadas, se obtuvo las solicitaciones actuantes sobre los elementos de la estructura de donde se determinó el mayor momento ejerciendo sobre una viga. Este se localizó en el pórtico 9 (figura 2) cuando fue aplicada la combinación de carga 1 ($1,2 \cdot D + 1,6 \cdot L$), obteniendo el valor de 406,3522 kN*m. Seguidamente se comprobó si el perfil resiste dicha carga aplicada, para poder demostrar si posee o no capacidad de reserva. En las vigas de la edificación se utilizaron perfiles I W18x119, los que poseen las siguientes características:



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

A = 22600 mm² I_x = 910x10⁶mm⁴ I_y = 105x10⁶mm⁴ J = 23000x10⁴ mm³

d = 482 mm Z_x = 4280x10³ mm³ Z_y = 1130x10³ mm³ E = 2,1x10⁵ MPa

t_w = 16,6 mm S_x = 3780x10³mm³ S_y = 734x10³mm³ f_y = 250 MPa

b_f = 286 mm r_x = 201 mm r_y = 68,2 mm

t_f = 26,9 mm

- Diseño a flexión de la viga.
✓ Definición de la zona de diseño de la viga.

L_b = 242 cm. luz total del elemento.

L_p = 1,76r_y√E/f_y = 1,76 * 6,82 cm * √(2,1 x 10⁵ MPa / 250 MPa) = 348 cm

L_r = 1,95r_{TS} * (E / 0,7f_y) * √(JC/S_xh₀) * √(1 + √(1 + 6,76((0,7f_y/E) x (S_xh₀/JC))²)

L_r = 1,95 * 8 * (2,1 x 10⁴ / 0,7 * 25) * √((23000 * 1) / (3780 * 46)) ->

← √(1 + √(1 + 6,76((0,7 * 25 / 2,1 x 10⁴) x (23000 * 1 / 3780 x 46))²) = 9620 cm

Como L_B ≤ L_p estamos en presencia de un diseño de viga en la zona I



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

Si los soportes están espaciados a tal modo que $L_B \leq L_p$, entonces caemos en la fase plástica definiéndose L_p como la luz plástica y estamos en presencia de un diseño de viga en la zona I.

- Cálculos adicionales para el diseño a flexión de la viga.

$$C_w = \frac{I_y * h_0^2}{4} = \frac{10500 * 46^2}{4} = 5436795 \text{ cm}^6$$

$$c = \frac{h_0}{2} * \sqrt{I_y / C_w} = \frac{46}{2} * \sqrt{10500 / 5436795} = 1$$

$$h_0 = d - 2 * t_f = 48,2 - 2 * 2,69 = 46 \text{ cm}$$

$$r_{TS} = \sqrt{\frac{I_y * C_w}{S_x}} = \sqrt{\frac{10500 * 5436795}{3780}} = 8 \text{ cm}$$

- ✓ Comprobación de que el perfil resiste la carga aplicada.

$$M_p = Z_x f_y = 4280 \text{ cm}^3 * 25 \text{ kN/cm}^2 = 107000 \text{ kN * cm}$$

$$M_{\text{máx.}} \leq M_p$$

$$40635,22 \text{ kN * cm} \leq 107000 \text{ kN * cm}$$

El momento máximo actuante en la viga es de 40635,22 kN*cm, este valor es menor al momento resistente del perfil de dicha viga que es de 107000 kN*cm por lo que el perfil resiste y su capacidad de reserva es de 62%.

- ✓ Comprobación de la esbeltez de los elementos del perfil.



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

Se hace necesario comprobar si los elementos del perfil son no esbeltos, o sea establecer si son compactos o no, para que los cálculos realizados anteriormente sean válidos.

- Patín o alas.

$$\lambda_{\text{patín}} = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{28,6 \text{ cm}}{2 \times 2,69 \text{ cm}} = 5,32$$

$$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,38 \times \sqrt{\frac{2,1 \times 10^4 \text{ kN/cm}^2}{25 \text{ kN/cm}^2}} = 11,01$$

Como $\lambda_{\text{patín}} < \lambda_p$ el patín es compacto

- Alma.

$$\lambda_{\text{alma}} = \frac{h_0}{t_w} = \frac{46 \text{ cm}}{1,66 \text{ cm}} = 27,42$$

$$\lambda_a = 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 3,76 \times \sqrt{\frac{2,1 \times 10^4 \text{ kN/cm}^2}{25 \text{ kN/cm}^2}} = 108,98$$

Como $\lambda_{\text{alma}} < \lambda_p$ el alma es compacta

- ✓ Comprobación de la deformación resistente del perfil.

$w = 0,3 \text{ kN/cm}$; carga que actúa linealmente sobre la viga .

$$\Delta = \frac{1wL^4}{384EI} = \frac{1 * 0,459 \text{ kN/cm}^2 * (242 \text{ cm})^4}{384 * (2,1 \times 10^4 \text{ kN/cm}^2) \times 91000 \text{ cm}^4} = 0,002 \text{ cm}$$



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

$$\Delta_{perm} = \frac{L}{360} = \frac{242}{360} = 0,67 \text{ cm}$$

El perfil resiste ya que la deformación máxima de la viga es de 0,002 cm y la permisible del perfil es de 0,67 cm, obteniendo un 99 % de capacidad de reserva.

✓ Comprobación del esfuerzo cortante del perfil.

$$\lambda_{alma} = \frac{h_0}{t_w} = \frac{46 \text{ cm}}{1,66 \text{ cm}} = 27,42$$

$$\lambda_a = 2,24 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 2,24 * \sqrt{\frac{2,1 \times 10^4 \text{ kN/cm}^2}{25 \text{ kN/cm}^2}} = 64,92$$

Como $\lambda_{alma} < \lambda_a$ entonces el cortante nominal se calcula por la siguiente expresión:

$$\phi V_n = 0,6 * f_y * A_w * C_v = 0,6 * 25 \text{ kN/cm}^2 * 80,01 \text{ cm}^2 = 1200 \text{ kN}$$

$$A_w = d * t_w = 48,2 \text{ cm} * 1,66 \text{ cm} = 80,01 \text{ cm}^2$$

$$\text{Como } \frac{h}{t_w} < 2,24 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \text{ entonces } \begin{cases} C_v = 1 \\ \phi_v = 1 \end{cases}$$

$$V_U \leq \phi_v V_n$$

$$306,285 \text{ kN} \leq 1200 \text{ kN}$$

El cortante obtenido de la viga es de 306,285 kN, el cual es menor al resistente del perfil 1200 kN por lo que el perfil resiste y tiene una capacidad de reserva de 75 %.



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

2.2 Columnas.

Mediante las solicitaciones actuantes obtenidas sobre los elementos de la estructura con las cargas factorizadas para cada combinación, se determinó que la columna más afectada por la carga axial se ubica en la intersección de los pórticos 8 y G (figura 2) para la combinación 1 (1,2*D + 1,6*L) y con un valor de 4169,73 kN. Seguidamente se comprobó si el perfil resistía o no dicha carga aplicada para probar si posee capacidad de reserva. El inmueble está constituido por columna de perfil H W14x233, el que presenta las siguientes características:

$$\begin{aligned}
 A &= 44200 \text{ mm}^2 & I_x &= 1250 \times 10^6 \text{ mm}^4 & I_y &= 481 \times 10^6 \text{ mm}^4 & J &= 2477 \times 10^4 \text{ mm}^3 \\
 d &= 407 \text{ mm} & Z_x &= 7140 \times 10^3 \text{ mm}^3 & Z_y &= 3630 \times 10^3 \text{ mm}^3 & E &= 2,1 \times 10^5 \text{ MPa} \\
 t_w &= 27,2 \text{ mm} & S_x &= 6140 \times 10^3 \text{ mm}^3 & S_y &= 2380 \times 10^3 \text{ mm}^3 & f_y &= 250 \text{ MPa} \\
 b_f &= 404 \text{ mm} & r_x &= 168 \text{ mm} & r_y &= 104 \text{ mm} \\
 t_f &= 43,7 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

➤ Diseño a compresión de las columnas.

$$\varphi * A_g * f_{CR} = 0,85 * 442 \text{ cm}^2 * 0,7 * 25 \text{ kN/cm}^2 = 6574,8 \text{ kN}$$

$$P_U \leq \varphi * A_g * f_{CR}$$

El valor de fuerza axial es 4169,73 kN, menor que 6574,8 kN valor que se obtuvo de multiplicar $\varphi * A_g * f_{CR}$, por lo que el perfil de la columna cumple y tiene una capacidad de reserva de 37 %.



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

- ✓ Comprobación de la limitación de esbeltez.
- Cálculo de K mediante la utilización de los nomogramas (ladeo no impedido).

$$G_{Ax} = \frac{\sum \frac{I_c}{L_c}}{\sum \frac{I_v}{L_v}} = \frac{\frac{125000 \text{ cm}^4}{450 \text{ cm}} + \frac{125000 \text{ cm}^4}{290 \text{ cm}}}{\left(\frac{91000 \text{ cm}^4}{615 \text{ cm}} + \frac{91000 \text{ cm}^4}{495 \text{ cm}}\right) * 0,67} = 3,19$$

$$G_{Ay} = \frac{\sum \frac{I_c}{L_c}}{\sum \frac{I_v}{L_v}} = \frac{\frac{48100 \text{ cm}^4}{450} + \frac{48100 \text{ cm}^4}{290}}{\left(\frac{91000 \text{ cm}^4}{535 \text{ cm}} + \frac{91000 \text{ cm}^4}{575 \text{ cm}}\right) * 0,67} = 1,24$$

$G_{Bx} = G_{By} = 1$ por estar empotrada en el extremo inferior de la columna.

$$K = \begin{cases} K_x = 1,6 \\ K_y = 1,38 \end{cases}$$

$$\lambda_x = \frac{K_x * L}{r_x} = \frac{1,6 * 450}{16,82} = 42,81$$

$$\lambda_y = \frac{K_y * L}{r_y} = \frac{1,38 * 450}{10,43} = 59,53$$

Los dos valores de λ son menores de 200 verificando de esta manera que el perfil cumple con la limitación de esbeltez.

- ✓ Determinación de la carga que produce pandeo en la columna.
- Comprobando que no hay elemento esbelto.



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

- Patín

$$\lambda_{\text{patín}} = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{40,4 \text{ cm}}{2 * 4,37 \text{ cm}} = 4,62$$

$$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,38 * \sqrt{\frac{2,1 \times 10^4 \text{ kN/cm}^2}{25 \text{ kN/cm}^2}} = 11,01$$

Como $\lambda_{\text{patín}} < \lambda_p$ entonces el patín es compacto

- Alma

$$\lambda_{\text{alma}} = \frac{h}{t_w} = \frac{36 \text{ cm}}{2,72 \text{ cm}} = 13,36$$

$$\lambda_p = 3,76 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 3,76 * \sqrt{\frac{2,1 \times 10^4 \text{ kN/cm}^2}{25 \text{ kN/cm}^2}} = 108,98$$

Como $\lambda_{\text{alma}} < \lambda_p$ entonces el alma es compacta

- ✓ Determinación de la carga que produce pandeo en:

- Eje x-x

$$\frac{K_x L_x}{r_x} = \lambda_x = 42,81$$

$$4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 4,71 * \sqrt{\frac{2,1 \times 10^4 \text{ kN/cm}^2}{25 \text{ kN/cm}^2}} = 136,51$$

$$\text{Como } \lambda_x < 4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

$$F_{crit} = (0,658^{(f_y/f_e)})f_y = (0,658^{(25/113)}) * 25 \text{ kN/cm}^2 = 22,79 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_e = \frac{\pi^2 E}{\lambda_x^2} = 113 \text{ kN/cm}^2$$

$$P_{ux} = \phi P_n = \phi A_g F_{crit} = 0,9 * 442 \text{ cm}^2 * 22,79 \text{ kN/cm}^2 = 9066 \text{ kN}$$

- Eje y-y

$$\frac{K_y L_y}{r_y} = \lambda_y = 59,53$$

$$4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 4,71 * \sqrt{\frac{2,1 * 10^4 \text{ kN/cm}^2}{25 \text{ kN/cm}^2}} = 136,51$$

$$\text{Como } \lambda_x < 4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$F_{crit} = (0,658^{(f_y/f_e)})f_y = (0,658^{(25/58)}) * 25 \text{ kN/cm}^2 = 20,9 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_e = \frac{\pi^2 E}{\lambda_y^2} = 58 \text{ kN/cm}^2$$

$$P_{uy} = \phi P_n = \phi A_g F_{crit} = 0,9 * 442 \text{ cm}^2 * 20,9 \text{ kN/cm}^2 = 8316 \text{ kN}$$

$$\text{Como } P_{ux} > P_{uy} ; P_{ux} = P_U = 9066 \text{ kN}$$

La carga actuante máxima que aparece en una columna es de 4169,73 kN, la cual es menor a la carga resistente del perfil que es de 9066 kN, por lo que el perfil resiste y posee una capacidad de reserva de 54 %.

- Diseño de las columnas con P_u y M_u .



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

✓ Mayor Pu y su correspondiente Mu:

$$P_n = f_y * A_g = 25 \text{ kN/cm}^2 * 442 \text{ cm}^2 = 11050 \text{ kN}$$

$$M_n = f_y * Z_x = 25 \text{ kN/cm}^2 * 7140 \text{ cm}^3 = 178500 \text{ kN/cm}$$

$$\frac{P_u}{\phi_t P_n} = \frac{4169,73 \text{ kN}}{0,9 * 11050 \text{ kN}} = 0,42$$

Como $0,42 > 0,2$

$$\frac{P_u}{2\phi_t P_n} + \frac{8}{9} * \frac{M_u}{\phi_b M_n} = \frac{4169,73 \text{ kN}}{2 * 0,9 * 11050 \text{ kN}} + \frac{8}{9} * \frac{948 \text{ kN/cm}^2}{0,9 * 178500 \text{ kN/cm}^2} = 0,22$$

$0,22 \leq 1,0 \therefore \text{ok}$

✓ Mayor Mu y su correspondiente Pu:

$$\frac{P_u}{\phi_t P_n} = \frac{1560,87 \text{ kN}}{0,9 * 11050 \text{ kN}} = 0,16$$

Como $0,16 < 0,2$

$$\frac{P_u}{2\phi_t P_n} + \frac{M_u}{\phi_b M_n} = \frac{1560,87 \text{ kN}}{2 * 0,9 * 11050 \text{ kN}} + \frac{15322 \text{ kN/cm}^2}{0,9 * 178500 \text{ kN/cm}^2} = 0,17$$

$0,17 \leq 1,0 \therefore \text{ok}$



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”
Multidisciplinario
10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México
ISBN: 978-607-95635

CONCLUSIONES.

Una vez concluida la modelación y revisión de la estructura del inmueble Lonja del Comercio de la Habana y basándonos en los objetivos trazados, se concluye lo siguiente:

1. La combinación más desfavorable resultó ser la 1 ($1,2 \cdot D + 1,6 \cdot L$) tanto en vigas como en columnas, a partir de los valores de momento flector y fuerza axial, alcanzados respectivamente.
2. Los elementos estructurales revisados por el método de diseño LRFD, resisten adecuadamente los esfuerzos impuestos para la disposición de cargas, brindando valores de capacidad de reserva superiores a 60 % en vigas y 35% en columnas.
3. A partir de los resultados obtenidos del análisis de vigas y columnas se obtuvo que, no es necesario ningún tipo de intervención en el inmueble.



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”
Multidisciplinario
10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México
ISBN: 978-607-95635

BIBLIOGRAFÍA

1. D.F., S. C. (1923). *Manual de Acero Estructural*. Ciudad México.
2. de las Cuevas Toraya, J. (2001). La Lonja del Comercio. En L. J. de las Cuevas Toraya, *500 Años de Construcciones en Cuba* (págs. 266 - 267). La Habana: Chavín.
3. del Castillo, O. (22 de Febrero de 2013). La Lonja del Comercio de la Habana. (L. Díaz García, Entrevistador)
4. *Especificaciones AISC*. (2005)..
5. Mc Cormac, J. C. (2002). *Diseño de Estructuras de Acero: Método LRFD (2da edición)*. México, D.F.: ALFAOMEGA GRUPO EDITOR, S.A. de C.V.
6. NC-175:2002. (2002). *Morteros de albañilería*. La Habana.
7. NC-207:2013. (2013). *Requisitos generales para el diseño y construcción de estructuras de hormigón*. La Habana.
8. NC-283:2003. (2003). *Densidad de materiales naturales, artificiales y de elementos de construcción como carga de diseño*. La Habana.
9. NC-284:2003. (2003). *Edificaciones. Cargas de uso*. La Habana.
10. NC-285:2003. (2003). *Caraga de viento. Método de cálculo*. La Habana.



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN 2014”

Multidisciplinario

10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México

ISBN: 978-607-95635

11. NC-450:2006. (2006). *Edificaciones. Factores de carga o ponderación. Combinaciones*. La Habana.