

ASPECTOS PARTICULARES EN EL DISEÑO ESTRUCTURAL DE ESCULTURAS URBANAS

Particular aspects in the structural design of
urban sculptures

MTRA. MARTHA BEATRÍZ CRUZ MEDINA

Maestría en Diseño.

Doctorante en Diseño.

Facultad de Arquitectura y Diseño

Universidad Autónoma del Estado de México. México.

c_marthita@hotmail.com

MTRO. OMAR APANGO VERA

Maestría en Ingeniería.

Doctorante en Diseño

Facultad de Arquitectura y Diseño

Universidad Autónoma del Estado de México. México.

mioav@yahoo.com.mx

Fecha de recibido: 11/Marzo/2011

Fecha de aceptado: 7/Agosto/2011

pp: 43-52

Legado
de Arquitectura y Diseño

FAD | UAEMéx | Año 6, No 10
Julio - Diciembre 2011

RESUMEN

Un reglamento o código de construcción proporciona los parámetros mínimos de seguridad que una estructura debe tener, específicamente de edificaciones destinadas a vivienda, oficinas, comercios e industrias. Sin embargo, pocas veces o ninguna, se consideran disposiciones para esculturas urbanas.

Existen diversas geometrias y materiales utilizados en las esculturas urbanas, por lo que su diseño desde el punto de vista estructural es muy particular, es decir, se requiere un estudio detallado de los elementos resistentes de la escultura para garantizar su permanencia como patrimonio social y cultural.

Aun cuando los actuales criterios de diseño estructural proporcionan seguridad a cualquier tipo de estructura, no se han realizado suficientes estudios específicos del comportamiento de esculturas urbanas, que permitan evaluar dichos criterios para este tipo de construcciones.

Bajo la anterior premisa, se propone atender puntos particulares inherentes a las esculturas urbanas, para incluirlos o considerarlos en la metodología básica de diseño estructural utilizada actualmente.

Palabras clave: Diseño estructural, escultura, metodología.

ABSTRACT

A building code provides minimum standards of structural safety, specifically targeted for buildings, offices, businesses and industries. However, these standards do not consider provisions for urban sculptures.

There are different geometries and materials used in urban sculptures, so its design from the structural point of view is very special, it requires a detailed study of the resistance elements of the sculpture to ensure its permanence as a social and cultural heritage.

Although the current structural design criteria provide security to any type of structure, not enough studies have been conducted to know specific behavior of urban sculptures, and evaluate them for this type of construction.

Under this premise, seeks to analyze particular issues inherent in urban sculptures, and include or consider these issues in the structural basic design methodology currently used.

Key words: Structural design, sculpture, methodology.

INTRODUCCIÓN

Desde una visión general, el proceso de diseño estructural puede dividirse en tres etapas (Meli, 2008): estructuración, análisis y dimensionamiento. El paso por cada una no es lineal y único, puede iniciarse en cualquiera de ellas y retroalimentar a las demás el número de veces que sea necesario.

La etapa de estructuración, ligada estrechamente al diseño arquitectónico y en este caso al escultórico, se refiere principalmente a la definición de la geometría global y los materiales resistentes. Durante esta etapa, es fundamental la creatividad y la experiencia para lograr un análisis congruente y obtener resultados confiables.

El análisis consiste en elaborar un modelo numérico de la estructura, someterlo a la acción de cargas y obtener su respuesta. El modelo es una idealización representativa de la estructura real, por lo que debe ser sencillo y confiable para el proceso de diseño. Las cargas que se le aplican al modelo son las que presentan mayor probabilidad de ocurrir durante la vida útil de la edificación; los reglamentos establecen el tipo y combinación de cargas que deben considerarse. Los principales resultados que se obtienen de esta etapa son las deformaciones y los esfuerzos actuantes en la estructura, originados por las cargas. Actualmente existen programas de computadora que realizan esta etapa con mayor rapidez, sin embargo, no hay que perder de vista que sólo son herramientas que utiliza el especialista, y las decisiones las toma él mismo.

Finalmente, y en base a los resultados de la etapa anterior, el dimensionamiento consiste en detallar la estructura y sus elementos resistentes, verificando que se cumplan los requerimientos mínimos de seguridad estructural. Los valores finales del proceso se plasman en planos y especificaciones para su futura construcción.

Puede notarse que cualquier estructura (de una vivienda, de algún edificio, incluso de una aeronave o embarcación, y por lo tanto de una escultura) sigue el proceso descrito. La diferencia radica en que cada estructura presenta aspectos propios que deben ser analizados minuciosamente. La mayoría de los códigos de diseño estructural son aplicables a edificaciones pequeñas y medianas destinadas a vivienda, oficinas, comercios e industria; en los últimos años se han realizado mayor cantidad de estudios a estructuras de puentes, túneles, presas, silos, chimeneas, tanques, depósitos, tuberías, torres de telecomunicaciones, entre otras (CFE, 2008).

Sin embargo, existe poca o nula información en lo referente a esculturas urbanas, motivo por el cual se presentan a continuación los aspectos propios de este tipo de construcción en el proceso básico de diseño estructural.

DISEÑO ESTRUCTURAL DE ESCULTURAS URBANAS

La finalidad del estudio es identificar e incorporar aspectos propios de las esculturas urbanas a la metodología típica de diseño estructural, por lo que se hará referencia a documentos o libros especializados en el tema y de mayor uso en México. A continuación se presentan y describen brevemente las principales condiciones escultóricas a considerar en las etapas generales del proceso de diseño estructural, ejemplificándolas con el estudio de una de las Torres de Satélite, ubicadas en Naucalpan, Estado de México (se seleccionó dicha torre debido a que actualmente se está realizando su revisión estructural como parte de diversos estudios de interés de los autores).

1. ESTRUCTURACIÓN

Precisar la geometría global y particular de la estructura de la escultura. La geometría global se refiere a las dimensiones en planta y elevación, mientras que la particular a la de los elementos que la constituyen (Figura 1).

Además, en este paso se establece el acomodo de los mismos, de tal manera que se obtiene un sistema capaz de resistir las cargas a que va estar sometido; en dicho sistema se incluye la cimentación de la estructura.

Una escultura urbana presenta pocos o nulos ejes de simetría, o requiere una cantidad limitada de puntos de apoyo, por lo que la estructuración debe realizarse cuidadosamente. En otras palabras, el diseño estructural debe considerar la forma, la disposición y la orientación de la escultura definidas por el escultor.

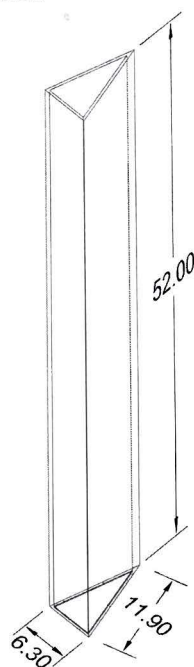


Figura 1. Estructuración y dimensiones generales de una torre del conjunto escultórico de las Torres de Satélite (dimensiones en metros).

2. MATERIALES

Seleccionar el material con el que se construirá la escultura y su cimentación. Es importante señalar que en este tipo de construcciones, no siempre se utilizan los materiales estructurales tradicionales. La innovación de geometría y los avances tecnológicos permiten la utilización de materiales novedosos (por ejemplo, los polímeros); entonces será indispensable contar con suficiente información técnica del material utilizado (curva esfuerzo-deformación, valores de esfuerzos o resistencias máximas, módulo de elasticidad, módulo de cortante, módulo de Poisson, coeficiente de expansión térmica, peso, densidad, ductilidad, coeficiente de amortiguamiento viscoso, entre otros). También es necesario identificar las características del sitio y del suelo donde se ubicará la escultura: tipo de suelo, zonificación sísmica y características eólicas (Tabla 1).

Tabla 1. Resumen de características y propiedades de la estructura de una de las Torres de Satélite y de la zona donde se ubica.

Parámetros	Valor o Descripción
I. Geométricos	
Forma en planta (sección transversal)	Sección constante: prisma triangular hueco (triángulo isósceles)
Dimensiones en planta	Lado menor = 6.30m Lado mayor = 11.90m
Espesor de los muros	32 cm
Área en planta	9 m ²
Altura	52 m
Momento de inercia mayor	113.67 m ⁴
Momento de inercia menor	24.50 m ⁴
II. Materiales	
Material	Concreto reforzado
Resistencia del material	$f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$
Módulo de elasticidad	113,137 kg/cm ²
Peso volumétrico	2,400 kg/m ³
Peso total de la torre	1,123.20 ton
III. Dinámicos	
Periodo natural	1.3142 seg
Frecuencia natural	4.7809 rad/seg
Coeficiente de amortiguamiento viscoso	5%
IV. Suelo	
Tipo de suelo	Firme
Zona	I
Reglamentación	Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (2004)
V. Eólicos	
Clasificación por importancia	Grupo B
Clasificación por respuesta al viento	Tipo 3
Reglamentación	Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (2004)

3. CARGAS

Las cargas de origen externo, provocan respuestas internas a la estructura; es por esta razón, que su aplicación y evaluación es fundamental para el diseño. Dependiendo del tipo de edificio y su uso, se determinan las cargas y sus combinaciones a actuar.

Las cargas presentes en esculturas, difieren de otro tipo de construcciones urbanas; las cargas que con mayor frecuencia se presentan en las esculturas son del tipo permanentes (peso propio) y accidentales (sismo o viento); de esta última, también será necesario conocer el sitio donde se ubicará la estructura, ya que su efecto depende de aspectos geológicos, geográficos y meteorológicos (Figura 2).

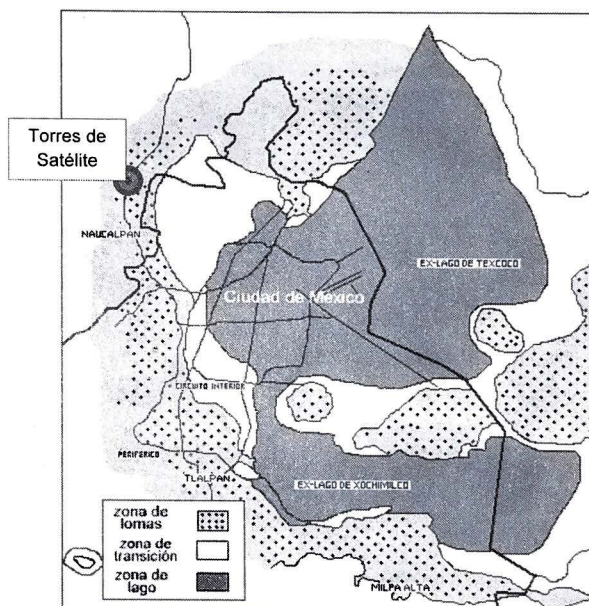


Figura 2. Zonificación sísmica del Valle de México (SSN, 2010) y ubicación de las Torres de Satélite.

Otro aspecto importante, es definir la manera en que se representa la carga, es decir, si es concentrada, distribuida, aplicada vertical u horizontalmente, etc.

4. MÉTODO DE ANÁLISIS

Existen diversos métodos para analizar la estructura. Todos inician con la modelación analítica de la estructura real y posteriormente, la aplicación de los conceptos propios del método. Los métodos se basan en el cumplimiento de dos tipos de requerimientos: equilibrio de fuerzas y compatibilidad de deformaciones. En la actualidad, las computadoras permiten realizar análisis estructurales rápidos y confiables de prácticamente, cualquier tipo de estructura.

Los aspectos a considerar en el análisis de una estructura (Meli, 2008), incluyendo a las esculturas, son:

- a. Geometría (Figura 3)
- b. Condiciones de continuidad en las fronteras (Figura 3)
- c. Comportamiento de los materiales
- d. Acciones impuestas (Figura 4)

Los resultados del análisis, se pueden clasificar básicamente en dos grupos: deformaciones y esfuerzos. Las deformaciones son desplazamientos de la estructura que se relacionan con la comodidad y apariencia de la construcción, es decir, evitar desplazamientos excesivos que provoquen sensaciones desagradables o dañen elementos no estructurales originando una percepción de inseguridad. Los esfuerzos se relacionan con la resistencia de la estructura y sus elementos, por lo que corresponden a niveles de seguridad para evitar la falla parcial o total de la construcción.

5. DIMENSIONAMIENTO

Una vez conocidos los desplazamientos y esfuerzos del análisis estructural, se comparan con los correspondientes requerimientos de la reglamentación. El reglamento de diseño es un documento legal que establece los niveles mínimos de seguridad estructural. Los reglamentos se enfocan a algún material, como concreto, acero, mampostería o madera (RCDF, 2004) (NTC, 2004); tipo de estructura, como puentes o túneles (CFE, 2008); o acción, como viento o sismo (Bazán E. y Meli R., 1999).

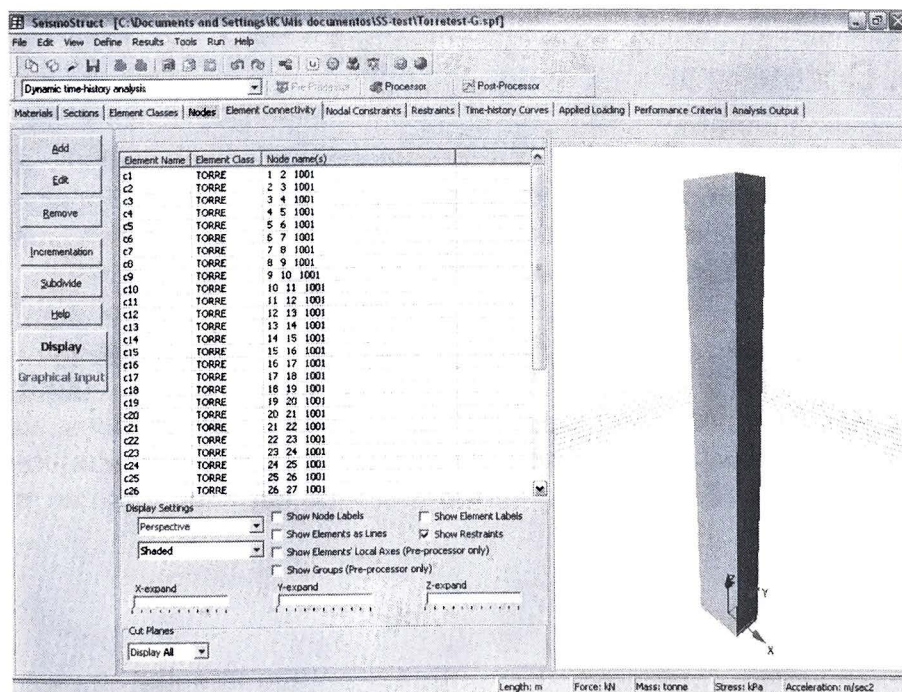


Figura 3. Programa de cómputo (SeismoSoft, 2010) y modelo utilizado para el análisis estructural de una torre del conjunto escultórico de las Torres de Satélite.

En el caso de esculturas, puede seleccionarse un reglamento para el material, dejando en segundo lugar el tipo de estructura; es decir, no se requeriría un reglamento exclusivo para esculturas, siempre y cuando exista una normatividad para el material estructural seleccionado.

En esta etapa se obtienen las dimensiones y características del material de los elementos resistentes de la estructura, así como de su cimentación, con lo cual se logran soportar las cargas a las que estará sometida la escultura. Es importante notar que estos valores deben encontrarse en rangos lógicos para su obtención durante la construcción, en caso contrario se estaría tratando de un objeto incosteable o irrealizable.

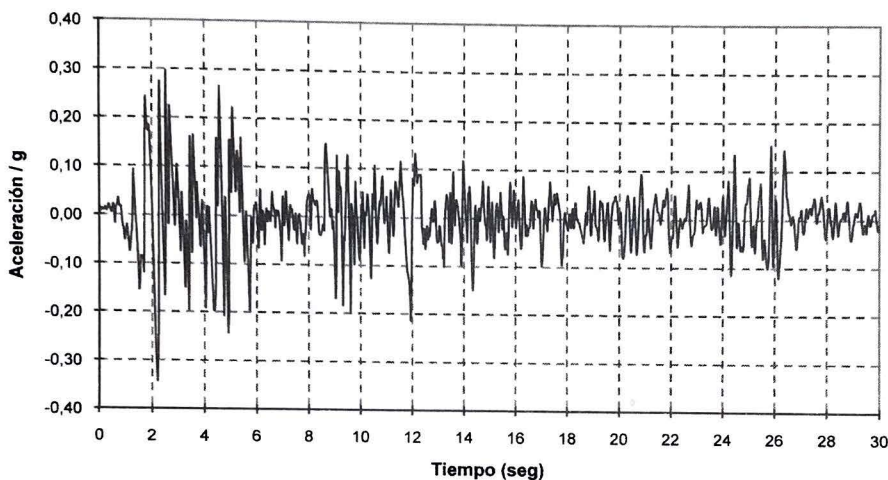


Figura 4. Acelerograma *El Centro*, Imperial Valley, USA, 1940, en su componente transversal. Ejemplo típico en la definición de la señal sísmica por medio de acelerogramas naturales para suelo firme.

6. DOCUMENTOS

De las etapas anteriores, y sus correspondientes resultados, se presentarán las memorias de cálculo, los planos estructurales y las especificaciones generales y particulares de la obra, tanto para su construcción como para futuras adecuaciones o revisiones.

Finalmente, se comenta que la metodología no es rígida y puede retroalimentarse en cualquier etapa, considerando que las dos primeras son fundamentales para el estudio. También se pretenden notar, los detalles relevantes del proceso de diseño estructural de esculturas y en determinado momento, motivar su aplicación y refinamiento en futuras obras.

CONCLUSIONES

Los criterios de diseño estructural proporcionan seguridad a cualquier tipo de estructura. Sin embargo, no se han realizado suficientes estudios del comportamiento de esculturas urbanas.

Por lo anterior, se presenta una propuesta metodológica que permita identificar los parámetros propios de las esculturas en el proceso de diseño estructural.

De las etapas de la propuesta metodológica, se considera que la estructuración y selección de los materiales son fundamentales para el resto del estudio.

Las cargas actuantes en esculturas difieren de otro tipo de construcciones urbanas, debido a que se presentan con mayor frecuencia las permanentes y las accidentales; mientras que las cargas variables, prácticamente es nula su acción.

Para la selección del código o reglamento de diseño estructural de una escultura se recomienda hacerlo en base al material, dejando en segundo lugar el tipo de estructura, con lo cual no se requeriría un reglamento exclusivo para esculturas, siempre y cuando exista una normatividad para el material estructural seleccionado.

FUENTES DE CONSULTA

BIBLIOGRAFÍA

1. Bazán E. y Meli R. (1999), *Diseño sísmico de edificios*, México, Limusa.
2. CFE (2008), *Manual de Diseño de Obras Civiles*, México.
3. Meli, R. (1998), *Ingeniería Estructural de los Edificios Históricos*, México, Fundación ICA.
4. Meli, R. (2008), *Diseño Estructural*, Mexico, D.F., Limusa.
5. NTC (2004), Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, *Gaceta Oficial del Distrito Federal*.
6. RCDF (2004), Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, *Gaceta Oficial del Distrito Federal*.
7. SeismoSoft. (2010), *SeismoStruct version 5.0.4*.
8. SSN (2010), *Servicio Sismológico Nacional*. Recuperado el 23 de abril de 2010, de www.ssn.unam.mx