

ESTRUCTURA TRIDILOSA PARA GRANDES CLAROS



- **Conceptos y antecedentes**
- **Propiedades del sistema**
- **Criterios de fabricación**
- **Casos de estudio:**
*World Trade Center, Centro de convenciones,
Torre Chapultepec*

Heberto Castillo Juárez



trillas 

Principios estructurales de la arquitectura mexicana

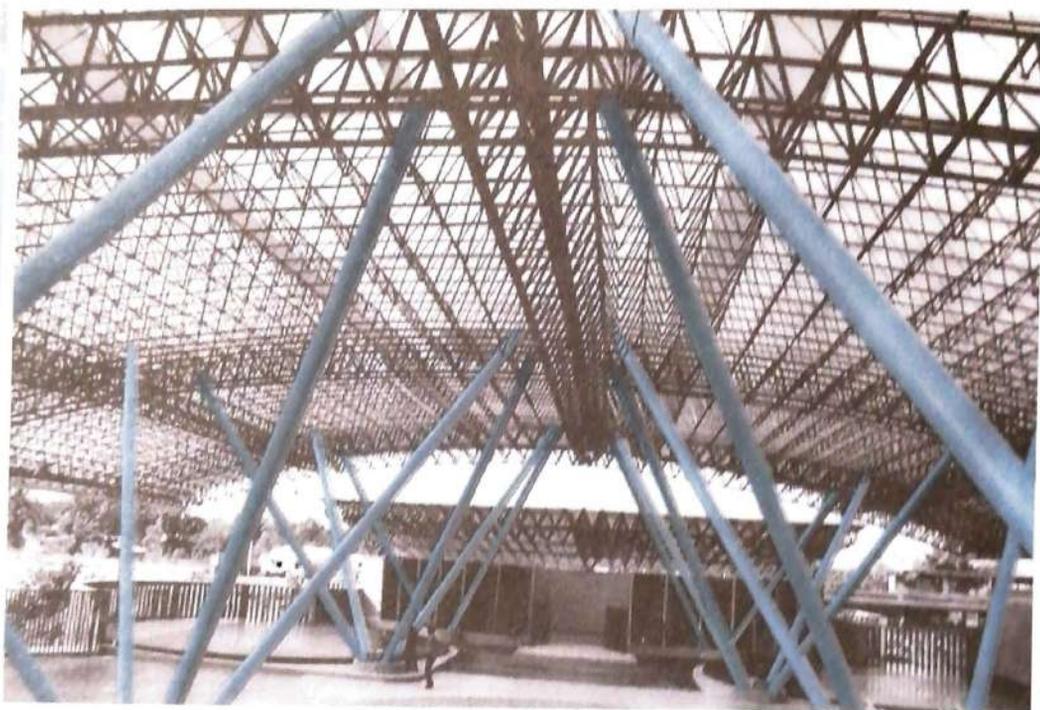
Luis Fernando Solís Ávila

Este libro analiza diversas estructuras de edificios representativos de la arquitectura mexicana. Por medio de un cuadro sinóptico, se muestra la clasificación de las estructuras en conjunto, de acuerdo con los esfuerzos que intervienen en las mismas; después se estudian de manera individual los 27 edificios.

Una vez clasificados, cada edificio se identifica con una ficha que contiene los datos del proyecto: proyectista, ubicación, tipo de inmueble y sistema estructural, entre otros. Posteriormente se describe la obra arquitectónica cualitativa y cuantitativamente y se expresan las condiciones geotécnicas del terreno en el cual se desplazó el edificio. El texto continúa con la explicación de cada tipo de estructura, primero a nivel geométrico y estructural, exponiendo los elementos que intervienen en éste, tales como tipo de columnas, muros, entrepisos, cubiertas, ejes de composición y módulos.

Uno de los aportes de la obra lo constituyen los modelos tridimensionales de las estructuras que muestran paso a paso. Ésta es una forma lúdica de enseñar los principios estructurales en la arquitectura mexicana. Para enriquecer el texto, se proporciona un mapa del Distrito Federal y el área metropolitana, donde se ubican los inmuebles que se detallan en este libro. Para finalizar, se anexa una bibliografía comentada muy completa.

Con todo mi amor, para mi esposa Claudia y mi pequeña hija Hebe,
por todo su apoyo y comprensión.



ESTRUCTURA TRIDILOSA PARA GRANDES CLAROS

Heberto Castillo Juárez



EDITORIAL
TRILLAS



México, Argentina, España.
Colombia, Puerto Rico, Venezuela

Catalogación en la fuente

Castillo Juárez, Antonio Heberto

Estructura tridilosa para grandes claros. -- 2a ed. --
México : Trillas, 2013 (reimp. 2016).

138 p. : Il. ; 24 cm.

Bibliografía: p. 135

Incluye índices

ISBN 978-607-17-2598-1

1. Losas. 2. Construcción - Contratos y especificaciones. I. t.

D- 695'C135e

LC- TA660.56'C3.4

5742

La presentación y
disposición en conjunto de
ESTRUCTURA TRIDILOSA PARA
GRANDES CLAROS
son propiedad del editor.

Ninguna parte de esta obra puede ser
reproducida o transmitida, mediante ningún
sistema o método, electrónico o mecánico
(incluyendo el fotocopiado, la grabación
o cualquier sistema de recuperación y
almacenamiento de información),
sin consentimiento por escrito del editor

Derechos reservados

© TI, 2016, Editorial Trillas, S. A. de C. V.

División Administrativa,
Av. Río Churubusco 385,
Col. Gral. Pedro María Anaya,
C. P. 03340, México, D. F.
Tel. 56884233, FAX 56041364
churubusco@trillas.mx

División Logística,
Calzada de la Viga 1132,
C. P. 09439, México, D. F.
Tel. 56330995
FAX 56330870
laviga@trillas.mx

 **Tienda en línea**
www.etrillas.mx

Miembro de la Cámara Nacional de
la Industria Editorial
Reg. núm. 158

Primera edición TI
ISBN 978-607-17-1431-2

Segunda edición, marzo 2016
ISBN 978-607-17-2598-1

Impreso en México
Printed in Mexico

Prefacio

A partir de 1997 el ingeniero Heberto Castillo Martínez dio a conocer sus teorías cuando impartió las cátedras de Estabilidad de las Construcciones, Estructuras de Madera y Metálicas y Estructuras Hiperestáticas en la Universidad Nacional Autónoma de México y en el Instituto Politécnico Nacional por más de 20 años, entre ellas destacaron temas como “Los Invariantes Estructurales”, que se basa, fundamentalmente, en la inversión de matrices de alto rango, “La Barra en el Espacio”, “El Método de Castillo” y el “Estudio de Geometría Matricial”, las cuales se presentaron en el simposio Científico de Pekín (hoy Beijing), China en 1964. Como resultado se editaron tres tomos de la serie *Análisis y diseño de estructuras*, que se apoyó en programas de cómputo elaborados por el autor para hacer más práctico su estudio y su aplicación.

El objetivo de esa serie fue servir como material de consulta para los profesionales de la construcción y para los estudiantes de ingeniería y arquitectura, acompañado por programas de cómputo para facilitar la comprensión de esas teorías.

Es importante mencionar que desde hace algunos años la *tridilosa* ha sido utilizada por proyectistas y contratistas sin tener la información adecuada, ya que es sencillo copiarla; sin embargo, pueden tener fallas que, la mayoría de las veces, terminan en el colapso de la estructura. Dado que el cálculo estructural no es una prioridad para la licenciatura en Arquitectura, es necesario que el arquitecto posea un criterio estructural básico que aplique en el proyecto arquitectónico que tenga en mente.

En este libro se presenta la información acerca del sistema constructivo que el ingeniero Heberto Castillo Martínez llamó *tridilosa*, y cuya intención es mostrar la manera en que se aplica este sistema, además de que se describe, de forma sencilla y práctica el comportamiento de esta estructura, así como las ventajas y beneficios que representa utilizar este sistema.

En este material se incluyen los antecedentes, las propiedades geométricas, los criterios de dimensionamiento, las consideraciones dentro de su proce-

so constructivo y sus aplicaciones en las obras más importantes edificadas en el país con el sistema tridilosa, proporcionando datos técnicos y fotografías del proceso y la conclusión de la obra.

Posteriormente, se presenta un análisis comparativo entre el sistema tridilosa y el sistema estructural de concreto y de acero tradicional que suele utilizarse para construir grandes claros a partir de nueve metros y en donde ya es necesario evaluar el peso de la estructura y el ahorro de materiales utilizados a medida que los claros son más grandes.

Considero importante mencionar que la primera obra relevante construida con este sistema fue la presa hidroeléctrica La Villita en Lázaro Cárdenas, Michoacán en 1961. Otra construcción en la que se aplicó la tridilosa fue el Hotel de México, hoy World Trade Center, en 1967, ubicado al Sur de la Ciudad de México y que actualmente es uno de los edificios más importantes de Latinoamérica y del mundo.

Como se observa, estas teorías han sido llevadas a la práctica para la construcción de edificios, cubiertas, puentes vehiculares y peatonales en diferentes estados de la República por el autor y sus hijos, los arquitectos Javier, Laura Itzel Castillo Juárez y un servidor.

El ingeniero Heberto Castillo patentó este sistema, sin embargo, debido a su encarcelamiento por el movimiento estudiantil de 1968, le fue cancelada y pasó a ser propiedad pública. El propio Gobierno de México se la adjudica en publicaciones oficiales negando incluso el nombre que le puso y llamando a los puentes que se hacen con su tecnología “una aportación de la ingeniería mexicana”, lo que implica que proviene de ingenieros anónimos.

A pesar de lo anterior, durante los años setenta y ochenta se construyeron diferentes tipos de edificios, cubiertas, puentes peatonales y vehiculares en diversos países como Venezuela, Colombia y Cuba con la asesoría del autor.

Un país que no tiene educación, no tiene futuro, por lo que considero necesario invertir en este rubro para desarrollar tecnologías propias dentro del campo científico como la tridilosa, que es reconocida a nivel nacional e internacional, pues revolucionó a la ingeniería y a la arquitectura, siendo tecnología mexicana que compite con cualquier otra con resultados positivos, por ello pienso que como profesionales del diseño y la construcción debemos apoyarla y difundirla.

Finalmente, considero pertinente mencionar que con esta obra se rinde un homenaje al Ing. Heberto Castillo por las aportaciones que hizo en vida como científico, ideólogo y político al país y cuyos restos descansan en la “Rotonda de las Personas Ilustres”, entendiendo que el arte, la ciencia y la política pueden ser instrumentos de lucha para la construcción de una sociedad más justa.

ARQUITECTO HEBERTO CASTILLO JUÁREZ

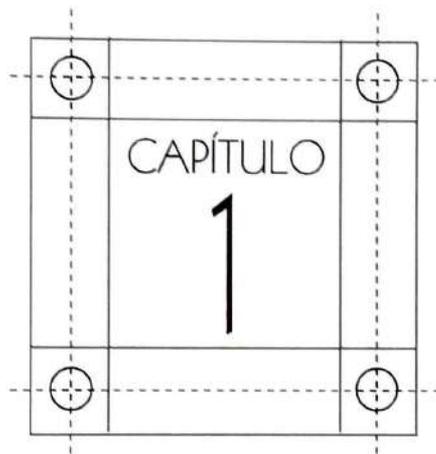
*Hubo una vez un principio, un compromiso que sólo terminará
con la muerte misma*

HEBERTO CASTILLO MARTÍNEZ

Índice de contenido

Prefacio	5
Cap. 1. Tridilosa	11
1.1. Antecedentes	13
1.2. Propiedades geométricas	16
1.3. Criterios de dimensionamiento	19
1.4. Consideraciones para la fabricación de la estructura llamada tridilosa	21
Cap. 2. Aplicaciones	23
2.1. Hotel de México	25
2.2. Gran Salón del centro de convenciones y comercial del desarrollo urbano "Tabasco 2000" en Villahermosa, Tabasco	35
2.3. Gimnasio y Salón de usos múltiples en Cunduacán, Tabasco, 1979	44
2.4. Centro social y de usos múltiples en Macuspana, Tabasco, 1979	50
2.5. Torre Chapultepec, Ciudad de México, 1990-1992	54
2.6. Puentes vehiculares	72
2.6.1. Puente San Miguel Totolapan, Guerrero	72
2.6.2. Puente "Las Flores", Chiapas, 1982	75
Cap. 3. Análisis comparativo con otros sistemas estructurales de concreto y acero. Tipologías	79
3.1. Estructura de concreto	83
3.1.1. Cálculo de trabe de concreto y losa de marco rígido de 9 m	83
	9

3.2. Estructuras de acero	88
3.2.1. Cálculo de viga de acero IR de marco rígido con losa de 9 m	88
3.2.2. Cálculo de la viga de acero IR y losa de marco rígido de 12 m	94
3.2.3. Cálculo de viga de acero IR y losa de marco rígido de 15 m	97
3.3. Estructura tridilosa	101
3.3.1. Cálculo de trabe tridilosa de 9, 12 y 15 m	101
3.3.2. Cálculo de tridilosa tapa central de 9, 12 y 15 m	116
Conclusiones	119
Anexo	125
Bibliografía	135
Índice analítico	137



Tridilosa

1.1. ANTECEDENTES

El ingeniero Heberto Castillo Martínez, desarrolló en 1962 un sistema estructural de entrepiso tridimensional mixto, compuesto de acero y concreto, al que llamó *Tridilosa*. Es una estructura versátil, lo cual permite que se utilice en la construcción no sólo de edificios, sino también de puentes vehiculares o peatonales, domos y, en algunas ocasiones, como astillero flotante.

En las cátedras que impartió durante más de 20 años en diferentes instituciones educativas demostró sus teorías. Tales estudios los plasmó en diversos libros de su autoría, que presentó en múltiples congresos de ingeniería llevados a cabo en Europa y Asia, a los que fue invitado. Desde 1965 los llevó a la práctica en diversas construcciones a nivel nacional, entre las que destacan el Hotel de México hoy llamado World Trade Center, el cual es un edificio de 55 niveles. Recientemente se utilizó la tridilosa en la Torre Chapultepec que cuenta con 24 pisos, en Polanco, y en el conjunto Teatro Alameda, todos en la Ciudad de México. A nivel internacional, en países como Venezuela y Perú, también se ha empleado esta estructura.

Dicho sistema es el resultado de muchos años de investigación, cuyo fin es optimizar y racionalizar el diseño y construcción de estructuras utilizando el concreto y el acero.

El principio de funcionamiento de la tridilosa es sencillo. Se considera la flexión (compresión y tensión), la torsión (sólo en forma secundaria) y el cortante. El concreto toma los esfuerzos de compresión ocasionados por la flexión que puede ir por arriba o por abajo si hubiere inversión de momentos; la tensión ocasionada por la misma flexión se toma con el acero; la torsión, con el armado transversal y el cortante con las diagonales espaciales (no contenidas en planos verticales) de diferentes perfiles estructurales de acero, las cuales trabajan a tensión y compresión puras.

La diferencia fundamental con las losas de concreto armado, en sus diversas variantes, es que la tridilosa no contiene concreto de relleno como las losas tradicionales. El concreto del cordón de compresión trabaja a un

esfuerzo constante en una sección rectangular, a diferencia del concreto en una losa o trabe donde varía linealmente, dependiendo esto de la profundidad del punto donde se mide el esfuerzo. Se ahorra así aproximadamente 66 % del concreto. Esto hace disminuir el peso propio de la losa o trabe en esa misma proporción y, consecuentemente, el del acero. En la tridilosa no ocurren esfuerzos distintos de los de tensión y compresión, a no ser en forma secundaria (esfuerzos secundarios en nudos soldados) como en la figura 1.1.

Diagrama de esfuerzos. Para que la fuerza de compresión "c" sea igual en ambas losas debe cumplirse que:

$$\frac{T_c \cdot K_d \cdot b}{2} = T_c \cdot e \cdot b; \text{ el espesor de la losa es: } e = \frac{kd1}{2}$$

En una viga de concreto armado sujeta a flexión, se tiene el comportamiento de su sección transversal, con una fuerza de compresión en su parte posterior y una de tensión en la parte inferior.

El área necesaria de la capa de compresión en la tridilosa es igual a la mitad del área necesaria en la losa o trabe de concreto armado. Además se elimina el concreto situado abajo del eje neutro. Si $k = 0.3$ el ahorro de concreto es:

$$1 - \frac{0.3}{2} = 0.85 = 85 \%$$

Las diagonales se colocan entre las dos capas formando pirámides. Éstas según las necesidades, pueden ser una, dos, tres o cuatro, pues ello va en función de las necesidades de carga así como de la magnitud de pandeo permisible para las mismas. La capa superior tiene un calibre adecuado para que la losa de concreto absorba los esfuerzos debidos a los cambios de temperatura.

El nudo se forma mediante una placa de acero que tiene como función conectar las diagonales entre sí, y para unir las a las barras que toman la tensión. La extensión y espesor de la placa, se diseñan de acuerdo con la fuerza que se necesita resistir.

La soldadura debe ser suficiente para transmitir la fuerza que soporta el perfil angular. El tipo de soldadura que se utiliza depende del tipo de acero empleado en el diseño.

Cabe mencionar que actualmente muchos constructores, ingenieros y arquitectos, se confunden y llaman tridilosa a cualquier estructura tridimensional que existe en el mercado, sin embargo, la mayoría de ellas sólo se pueden utilizar como cubiertas y no como entepiso, ya que están hechas con aceros tubulares no estructurales y con remaches o articulaciones en todos sus nudos.