

INTRODUCCIÓN AL CONOCIMIENTO Y DISEÑO DE LAS ESTRUCTURAS

Forma y técnica



Enrique Dante
Botto Tripodaro

nobuko **edü**[®]

Arquitectura

INTRODUCCIÓN AL CONOCIMIENTO Y DISEÑO DE LAS ESTRUCTURAS

Forma y técnica

Arq. **Enrique Dante Botto Tripodaro**

nobuko

edü[®]
Conocimiento a su alcance

Botto Tripodaro, Enrique Dante

Introducción al conocimiento y diseño de las estructuras: forma y técnica /
Enrique Dante Botto Tripodaro. 1a.edición. - Bogotá: Ediciones de la U, 2024
322 p.: il.: 21 x 28 cm.

ISBN 978-958-792-677-4 e-ISBN 978-958-792-678-1

1. Arquitectura 2. Diseño arquitectónico 3. Estructuras I. Título
720 - AM

Edición original publicada por © Editorial Nobuko S.A. (Argentina)
Edición autorizada a Ediciones de la U para América Latina y el Caribe

Área: Arquitectura

Primera edición: Bogotá, Colombia, Abril de 2024

ISBN. 978-958-792-677-4

- © Enrique Dante Botto Tripodaro
- © Editorial Nobuko S.A. - Florida 683, Local 18, Tel. 54 11 4314-6303
www.cp67.com - E-mail: guillermo@nobuko.com.ar
Buenos Aires, Argentina
- © Ediciones de la U - Carrera 27 #27-43 - Tel. (+57) 601 6455049
www.edicionesdelau.com - E-mail: editor@edicionesdelau.com
Bogotá, Colombia

Ediciones de la U es una empresa editorial que, con una visión moderna y estratégica de las tecnologías, desarrolla, promueve, distribuye y comercializa contenidos, herramientas de formación, libros técnicos y profesionales, e-books, e-learning o aprendizaje en línea, realizados por autores con amplia experiencia en las diferentes áreas profesionales e investigativas, para brindar a nuestros usuarios soluciones útiles y prácticas que contribuyan al dominio de sus campos de trabajo y a su mejor desempeño en un mundo global, cambiante y cada vez más competitivo.

Coordinación editorial: Adriana Gutiérrez M.

Carátula: Ediciones de la U

Impresión: DGP Editores SAS

Calle 63 #70D-34, Pbx. (57) 601 7217756, Bogotá

Impreso y hecho en Colombia

Printed and made in Colombia

No está permitida la reproducción total o parcial de este libro, ni su tratamiento informático, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, por fotocopia, por registro y otros medios, sin el permiso previo y por escrito de los titulares del Copyright.

PRÓLOGO

Si bien de modo natural podemos entender que la vida en nuestro planeta existe a partir de la existencia del sol, el estudiante de arquitectura debe comprender que no puede concebirse una construcción sin su estructura resistente; la estructura es para una obra como el aire para la vida de las personas; desde este lugar, resulta muy fácil percibir que la estructura es parte genéticamente integrante de todo diseño arquitectónico; motivo por el cual merece su consideración desde los primeros croquis que se esbozan; no es posible dibujar arquitectura sin haber concientizado morfológicamente al sistema estructural correspondiente; como todo producto arquitectónico, la estructura también es objeto de diseño; sabiendo que todo proyecto es un logro intelectual original, la resolución del mecanismo estructural también debe ser considerada como un sistema original, que satisfaga adecuadamente las necesidades estructurales de cada proyecto.

El presente tratado se encuentra dividido en dos partes; que si bien corren por cuerda separada, su conceptualización resulta indivisible; es decir, que internalizar los distintos conceptos vertidos durante la cursada, implica interrelacionar la parte científica con los procesos de creatividad; en todo proceso de diseño de una estructura, el conocimiento intelectual se encuentra íntimamente asociado al espíritu creativo; destacando que esta ligazón debe contemplar los parámetros emanados desde la sustentabilidad y la preservación ecológica del medio ambiente; si bien estas dos partes indican que el resultado obtenido es consecuencia de la consideración de una sobre la otra, no significa que su implementación implique un desarrollo secuencial de los temas; todo lo contrario, se va disponiendo de la transferencia de los contenidos científicos de modo alternado con los procesos de diseño, de modo tal que uno no anule al otro.

Una de las partes del dictado de la materia, se sostiene en el desarrollo de los conceptos impuestos científicamente por la Estática y la Resistencia de los Materiales; en este tramo se tratan todos aquellos que resulten necesarios para poder entender el comportamiento de un Sistema Estructural; cada sistema responde a las cargas a las cuales se encuentra solicitado de distinto modo, e inclusive, la respuesta dada también está condicionada al material con el cual se encuentra materializada la estructura; definimos a toda estructura como a una trama espacial compuesta de barras, placas, y/o cables; cada uno de los elementos que componen a esta trama responden de distinto modo ante la exigencia de las cargas que soportan, y que ineludiblemente sufrirán deformaciones; se estirarán, se comprimirán, se flexionarán, y/o sufrirán el efecto de otros esfuerzos o fenómenos como el corte y el pandeo, que pueden afectarlos de distinto modo y con diferente intensidad; su acabado conocimiento resulta imprescindible para el diseño de una estructura.

AJUSTADO A LAS DISPOSICIONES DE LA NUEVA SERIE DE REGLAMENTOS CIRSOC 2005

Para Adriana, mi compañera de ruta de toda la vida.

**ENRIQUE DANTE BOTTO TRIPODARO
ARQUITECTO**

SOBRE LAS TEORÍAS ESTRUCTURALES. . . SE HA DICHO:

La tecnología de la construcción es una ciencia, pero su práctica es un arte.

A. RODERICK MALES

El proceso de visualizar o concebir una estructura es un arte. Básicamente es motivado por una experiencia interna, por una intuición. Nunca es sólo resultado del razonamiento deductivo.

EDUARDO TORROJA

Una estructura no es otra cosa que un sistema de reacciones y fuerzas internas capaces de equilibrar un sistema de fuerzas externas; por lo tanto, se debe concebir como un organismo material dirigido a un fin determinado.

PIER LUIGI NERVI

A menudo veo un edificio como una lucha entre la pesadez y la ligereza: Una parte es la masa sólida unida al suelo, mientras que la otra se remonta hacia arriba.

RENZO PIANO

La sofisticación de un edificio varía de manera inversamente proporcional a su peso.

BUCKMINSTER FULLER

Cuando se coloca el dintel sobre dos pilares, la arquitectura empieza a ser.

LOUIS H. SULLIVAN

Si su estructura no hace más que soportar al edificio, no se está utilizando al máximo.

EDWARD ALLEN

Mi especial reconocimiento para la Arq. Alicia Bosi y para Adriana Robredo, importantes y eficientes colaboradoras de la Cátedra.

TÍTULO I

INTRODUCCIÓN A LA ESTÁTICA Y A LA RESISTENCIA DE MATERIALES



UNIDAD TEMÁTICA N° 1
CONCEPTOS FUNDAMENTALES

1. CONCEPTOS FUNDAMENTALES

1.1. MOVIMIENTO

Una partícula de materia o punto material que no cambia de lugar está en reposo; si el punto material se desplaza, está en movimiento.

1.2. FUERZA

Toda causa que tienda a producir el movimiento de un punto en reposo, a detener el movimiento o modificarlo, es una fuerza, según la definición de LaGrange; podríamos agregar que es un fenómeno físico que nuestros músculos pueden percibir.

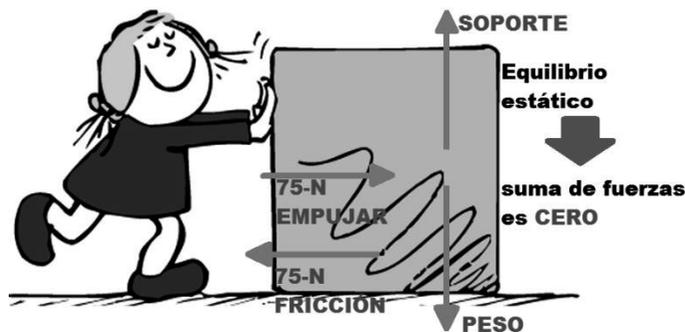


FIGURA 1

1.3. EQUILIBRIO ESTÁTICO

Una fuerza que actúa sobre un punto lo pondrá en movimiento; si durante el movimiento se desarrollan otras fuerzas que detengan el movimiento, el punto quedará en equilibrio bajo todas las fuerzas que actúan sobre él; estas fuerzas estarán también, en equilibrio.

1.4. ECUACIÓN DE EQUILIBRIO

Una relación matemática que exprese que una o varias fuerzas son iguales a otras, que la suma algebraica de varias fuerzas es nula, que una o varias fuerzas no producen movimientos, o que la suma algebraica de los movimientos producidos por fuerzas es nula, es una ecuación de equilibrio.

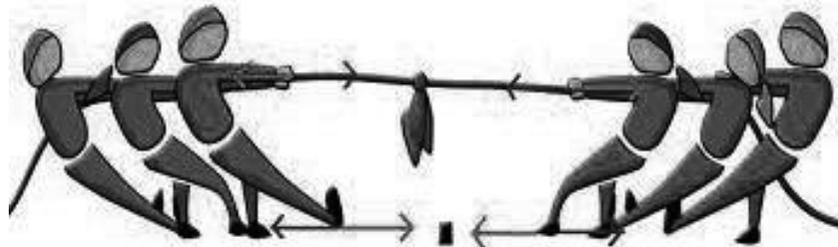


FIGURA 2

1.5. EQUILIBRIO ENTRE LAS FUERZAS EXTERIORES E INTERIORES

Llamamos fuerzas exteriores las que actúan sobre un cuerpo debidas a otros cuerpos que gravitan sobre el primero; la Estática nos enseña que si las fuerzas exteriores están en equilibrio, el cuerpo también lo estará; diremos que el cuerpo está en equilibrio estático o externo; bajo la acción de las fuerzas exteriores el cuerpo se deforma desarrollándose las tensiones que resisten a la deformación; si las tensiones logran anular la acción de las fuerzas exteriores deteniendo la deformación, habrán equilibrado a las fuerzas exteriores; diremos que el cuerpo está en equilibrio elástico o interno.

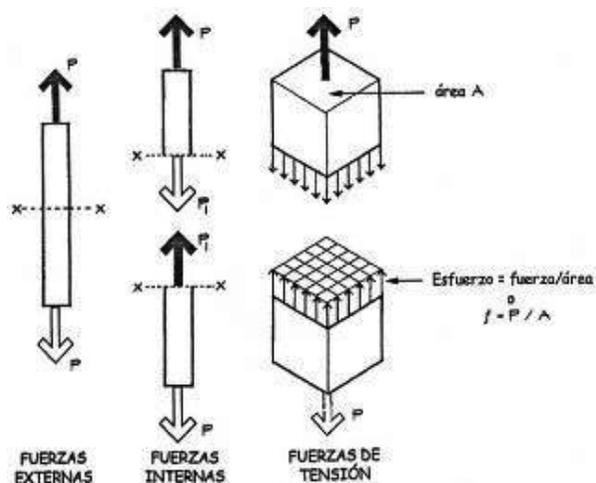


FIGURA 3

1.6. CUERPO

Se llama cuerpo una cantidad limitada de materia, cualquiera que sea su estado físico o su constitución química; bajo nuestro punto de vista sólo interesan los cuerpos sólidos y especialmente aquellos utilizados como materiales de elaboración o de construcción; prescindiendo de las investigaciones modernas, diremos que los cuerpos están constituidos por pequeñas partículas que llamaremos moléculas; si las moléculas se encuentran conglomeradas sin ninguna orientación, el cuerpo tiene una textura granular y si se encuentran orientadas en un sentido o dirección, la textura es fibrosa; un cuerpo que se rompe antes de cambiar aparentemente su forma, se dice que es rígido.

1.7. ELASTICIDAD / PLASTICIDAD

Cuando bajo la acción de una fuerza se deforma sin romperse quedando deformado si deja de actuar la fuerza, el cuerpo es plástico; si por la acción de fuerzas el cuerpo se deforma, pero recupera sus primitivas dimensiones cuando cesan aquéllas, el cuerpo es elástico.

Las rocas, los ladrillos, son cuerpos rígidos; la arcilla húmeda, el plomo son plásticos; el acero templado, el caucho, son elásticos; en la naturaleza no existen cuerpos absolutamente rígidos, plásticos ni elásticos, porque todos gozan de las tres propiedades en mayor o menor grado; no obstante, se consideran rígidos, plásticos o elásticos según la propiedad que predomine.

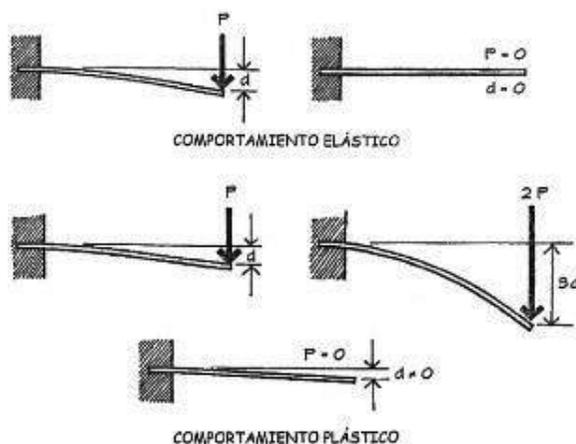


FIGURA 4

1.8. MATERIALES

Llamamos materiales de construcción a los elementos utilizados para construir obras y que constituyen la obra en sí; son materiales de elaboración la materia que emplea la industria para fabricar los artículos de uso corriente; Los materiales pueden ser: naturales, cuando se emplean como se encuentran en la naturaleza, como las rocas y maderas, elaborados, cuando antes se deben someter a procesos de transformación, como el hierro y el cemento; los materiales tienen diverso origen; son de origen mineral: la cal, los metales, las rocas; de origen vegetal: las maderas; y hasta de origen animal: las correas de cuero; para utilizar conscientemente estos cuerpos debemos conocer su origen en primer lugar y, luego, algunas de sus propiedades físicas que son fundamentales; el conocimiento del origen, constitución interna y propiedades físicas de los cuerpos permitirá el empleo racional del material.

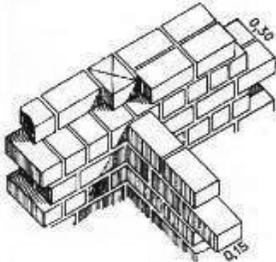


FIGURA 5: MAMPOSTERÍA

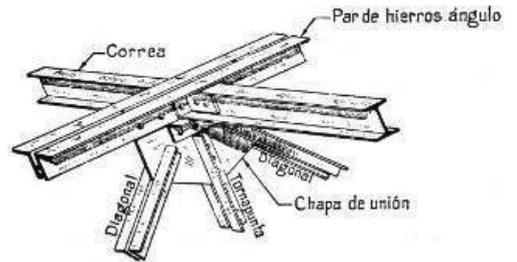


FIGURA 6: ACERO

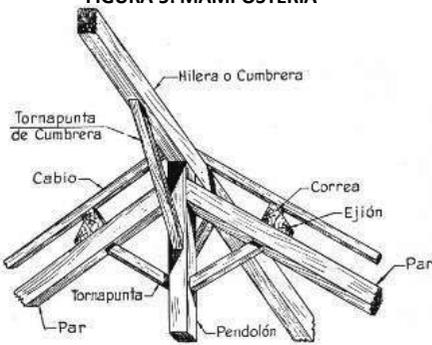


FIGURA 7: MADERA

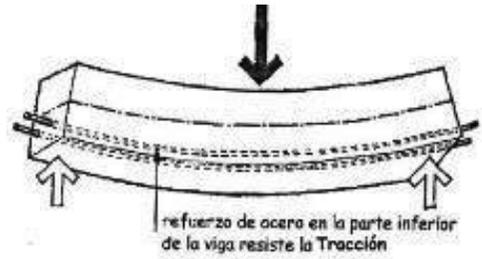
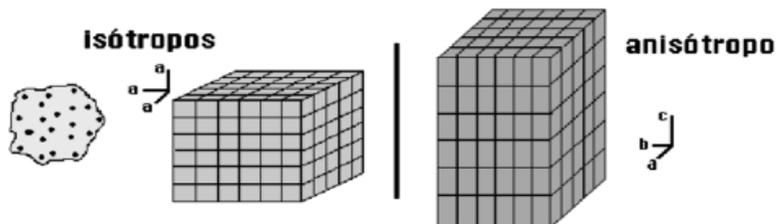
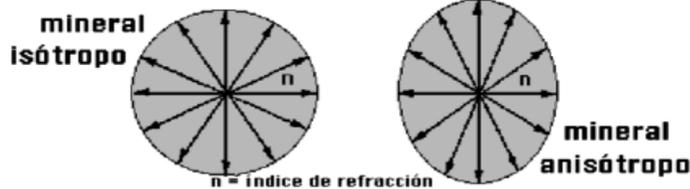


FIGURA 8: HORMIGÓN ARMADO

1.9. ISOTROPÍA Y ANISOTROPÍA

Cuando la estructura molecular de un determinado material presenta una organización regular, estamos en presencia de un material Isótropo; el cuál ante la sollicitación de una carga cualquiera, manifestará una respuesta tensional de igual magnitud en todas las direcciones; un exponente de esta tipología es el Acero.



FIGURAS 9 y 10

En cambio, cuando las moléculas se encuentran organizadas laminarmente, configurando fibras, estamos en presencia de un material Anisótropo; el cuál ante la sollicitación de una carga cualquiera, manifestará una respuesta tensional diferenciada en las direcciones; un exponente de esta tipología es la Madera.

- Los sólidos amorfos son **isotrópicos**, es decir tienen propiedades que no dependen de la dirección en que se miden. Por ejemplo la resistencia mecánica, el índice de refracción y la conductividad eléctrica son *iguales en todas direcciones*, como en los líquidos y gases.
- Los sólidos cristalinos son **anisotrópicos**, es decir, sus propiedades mecánicas y eléctricas dependen en general de la dirección en que se miden. La anisotropía de los cristales es una propiedad macroscópica muy importante porque proporciona una eficaz información de la existencia de una red atómica ordenada.

1.10. HOMOGENEIDAD

Un material homogéneo es aquél que posee igual composición química y propiedades físicas en cualquiera de las partículas de una porción de material cualquiera.

1.11. SÓLIDO PRISMÁTICO

Se designa así un cuerpo de eje geométrico rectilíneo y de sección poligonal, generalmente rectangular; supondremos al sólido constituido por moléculas alineadas paralelamente al eje; a las filas de moléculas las llamaremos fibras.

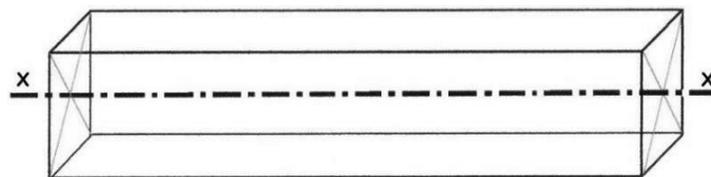


FIGURA 11

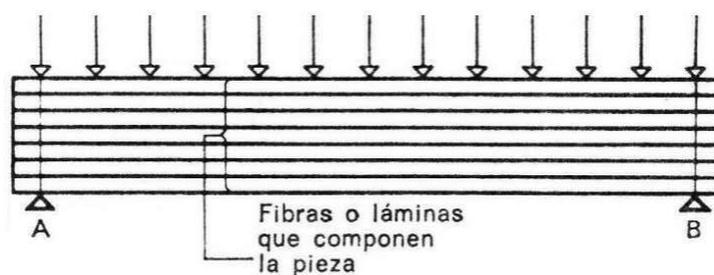


FIGURA 12

Para el cuerpo en estudio se determina, que debe cumplir con las siguientes condiciones geométricas:

La longitud debe prevalecer por sobre las dimensiones de la sección transversal.

El Eje Longitudinal debe ser recto.

La Sección Transversal debe ser constante.

La Sección puede aumentar o disminuir sus dimensiones de modo regular, sin brusquedad.

1.12. DEFORMACIONES

1.12.1. EFECTOS DE LAS CARGAS

Hemos visto que los esfuerzos producen deformaciones; si el cuerpo es plástico, las deformaciones subsisten aunque desaparezcan las fuerzas; si es elástico desaparecen cuando dejan de actuar las fuerzas; pero como no existen cuerpos absolutamente elásticos y, como veremos más adelante, los cuerpos elásticos dejan de serlo cuando el esfuerzo que actúa sobre ellos excede cierto límite, siempre queda una deformación más o menos importante según el grado de plasticidad o elasticidad; las deformaciones son permanentes cuando se mantienen, a pesar de cesar la causa que las produjo; son elásticas cuando desaparecen con la causa; un cuerpo que se deforma por la acción de las fuerzas sufre una deformación permanente y otra elástica, en los plásticos predomina la primera y la segunda en los elásticos.

1.12.2. INDEFORMABILIDAD GEOMÉTRICA

El marco triangular articulado es la única configuración geométrica estructural inherentemente indeformable.

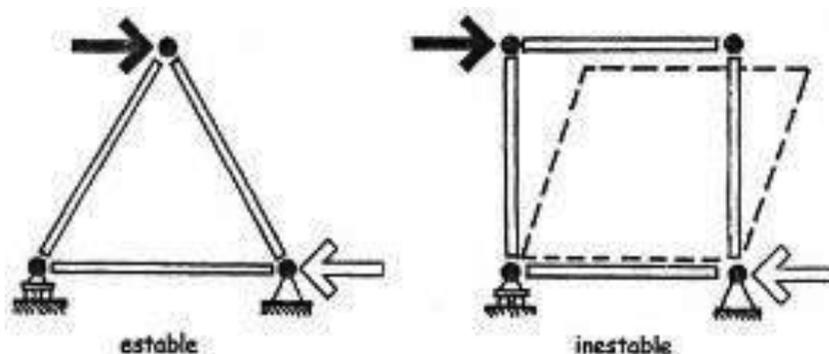


FIGURA 13

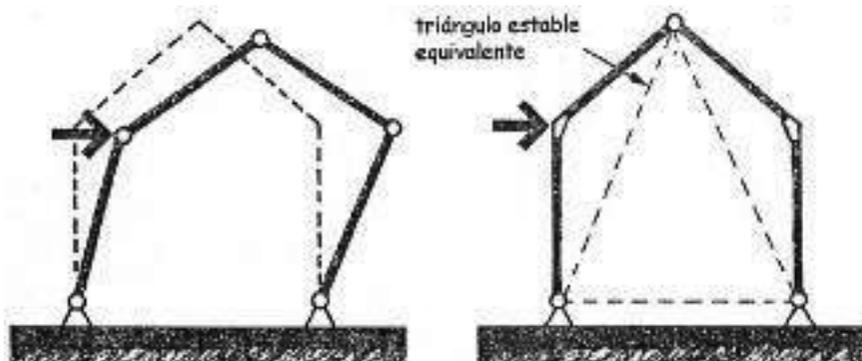


FIGURA 14

1.12.3. RIGIDIZACIÓN DE LOS NUDOS

Una solución para evitar las deformaciones en un mecanismo estructural básico, es la de rigidizar los nudos; este procedimiento anula toda posibilidad de que se produzcan rotaciones en los mismos, y ha dado lugar a los pórticos o estructuras aporticadas.

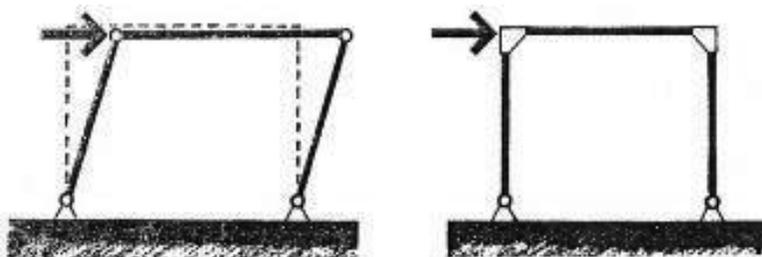


FIGURA 15

1.12.4. CONTINUIDAD ESTRUCTURAL

Cuando dos o más vigas se encuentran resueltas independientemente en sus apoyos sin solución de continuidad, sufren deformaciones de cierta magnitud y que en ciertos casos pueden ser de consideración.

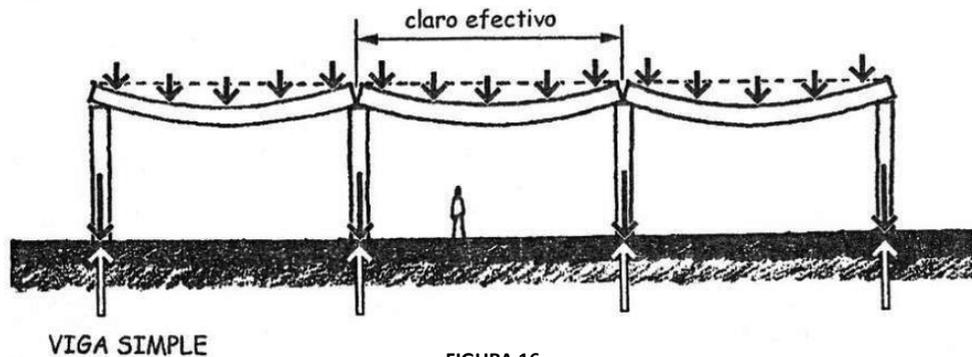


FIGURA 16

Mediante la aplicación de distintos procedimientos mecánicos (Diferentes para cada tipo de material) sobre los apoyos, se logra alcanzar la condición de continuidad transformando el sistema en una viga de dos o más tramos; lográndose el efecto de disminuir las deformaciones.

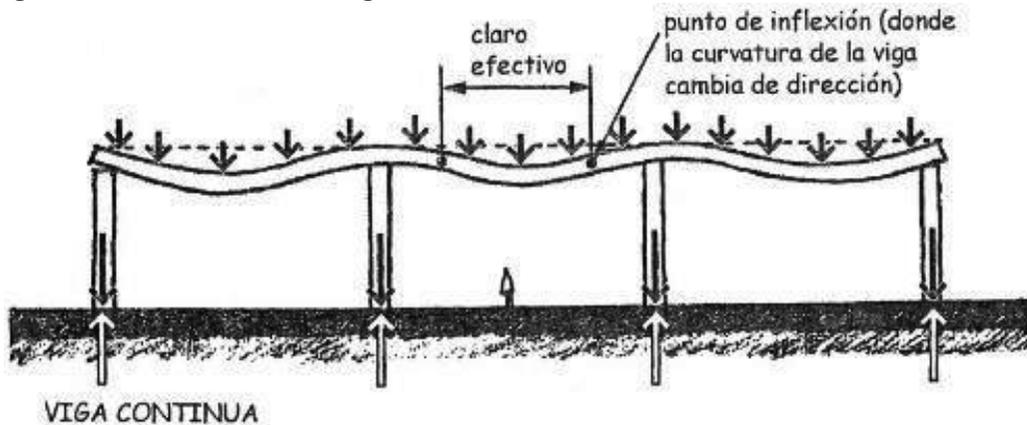


FIGURA 17

1.13. CARGAS

1.13.1. TIPOS DE CARGAS

Una carga en estado de reposo que gravita sobre un cuerpo es una carga estática; si la carga está en movimiento es dinámica o móvil; el peso del techo sobre el muro y el de éste sobre el terreno son cargas estáticas; un automóvil en marcha por la calle es una carga dinámica que actúa sobre el pavimento; el riel está solicitado por cargas dinámicas cuando transita el tranvía; consideremos un tanque para almacenar agua soportado por columnas, el peso propio del tanque vacío es, además de una carga estática; una carga permanente sobre las columnas porque actúa constantemente sobre ellas y no cambia de intensidad; una carga que no es permanente es una carga intermitente; el peso del agua que ocupa el tanque es una carga oscilante o variable porque varía de cero cuando el tanque está vacío, a un máximo cuando lleno y viceversa; esta carga es también intermitente porque deja de actuar a tanque vacío; un puente está solicitado por cargas estáticas y permanentes debido a su propio peso, por cargas dinámicas debido a los vehículos que lo transitan, cargas que son también variables porque no todos los vehículos pesan igual, e intermitentes porque dejan de pasar en algún momento.

Una carga que gravita sobre una pequeña superficie es una carga concentrada; generalmente se las considera concentradas en un punto; una columna que se apoya sobre una viga es una carga concentrada.

Se dice que una carga es uniformemente repartida cuando actúa con igual intensidad en una cierta superficie; el peso del agua es una carga uniformemente repartida sobre el fondo del tanque; el peso propio de una viga es también una carga uniformemente repartida si la viga es de sección constante; si ésta tuviera sección variable la carga sería continua.

1.13.2. CLASIFICACIÓN DE LAS CARGAS

Las diversas formas de actuar las cargas, tienen una influencia muy grande en la resistencia del material; las deformaciones varían según las condiciones de trabajo, y por consiguiente, también varían las tensiones.

1.13.2.1. Por su Origen

➤ Cargas Gravitacionales

Son cargas que actúan sobre las estructuras por acción de la fuerza de gravedad; estas son las correspondientes al peso propio de la construcción y a la sobrecarga de uso, actuando de modo vertical; el Reglamento CIRSOC 101 establece los valores correspondientes al peso de los distintos materiales de construcción y a las sobrecargas discriminadas por el destino de la construcción.

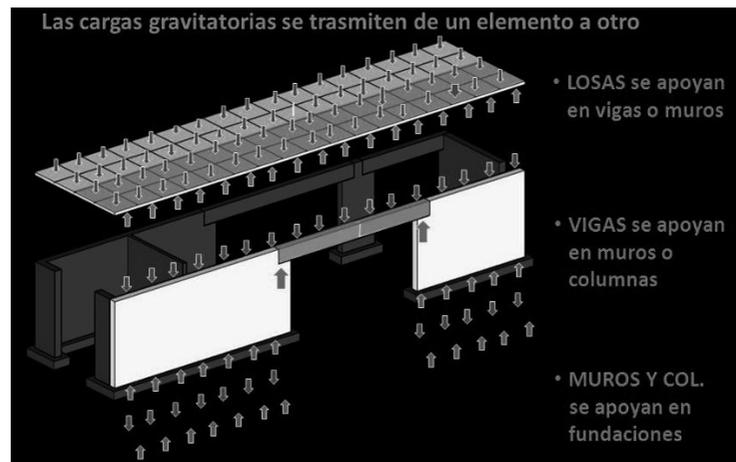


FIGURA 18

➤ Cargas De Empuje

Son aquellas cargas originadas por la presión de los líquidos sobre las paredes y fondo de los tanques de agua, o el caso del empuje del terreno sobre las paredes de excavaciones, terraplenes o sótanos.

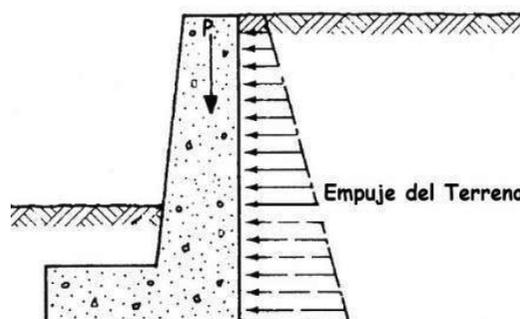


FIGURA 19

➤ Cargas de Viento

La acción del viento sobre una construcción, es una carga horizontal que actúa de modo accidental; los procedimientos para determinar su magnitud se encuentran establecidos en el Reglamento CIRSOC 102; en toda construcción, la cara expuesta a la masa de aire (A Barlovento) soporta una determinada presión, mientras que la cara opuesta (A Sotavento) se encuentra afectada por un efecto de succión; su principal consecuencia es la tendencia al volcamiento de la construcción.

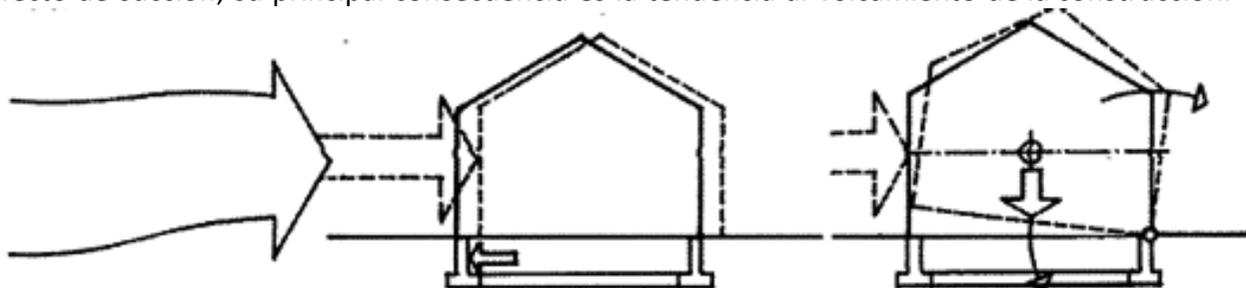


FIGURA 20-A

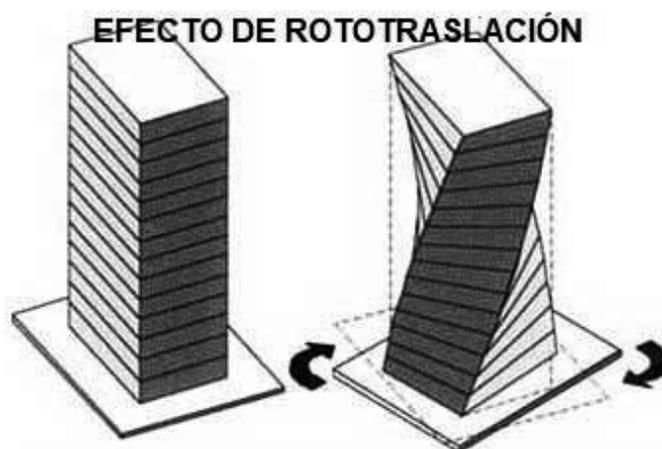


FIGURA 20-B

➤ Cargas Sísmicas

Un Sismo consiste en una serie de vibraciones de la superficie terrestre generadas por un movimiento brusco y repentino de las capas internas (corteza y manto); la acción sísmica es un hecho natural impredecible; la potente energía liberada por un sismo, es absorbida básicamente por las fundaciones y transmitidas al resto de la estructura; los procedimientos para determinar su magnitud se encuentran establecidos en el **Reglamento INPRES/CIRSOC 103**, y una de sus consecuencias es la tendencia al volcamiento de la construcción.

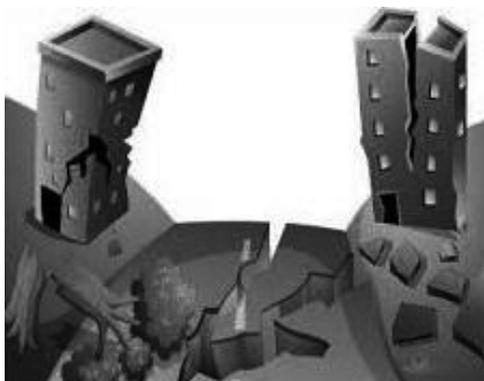


FIGURA 21

1.13.2.2. Por su Modo de Actuar

➤ Cargas Estáticas

Son aquellas que actúan en reposo sobre los elementos que componen una estructura y no varían de intensidad con el paso del tiempo.

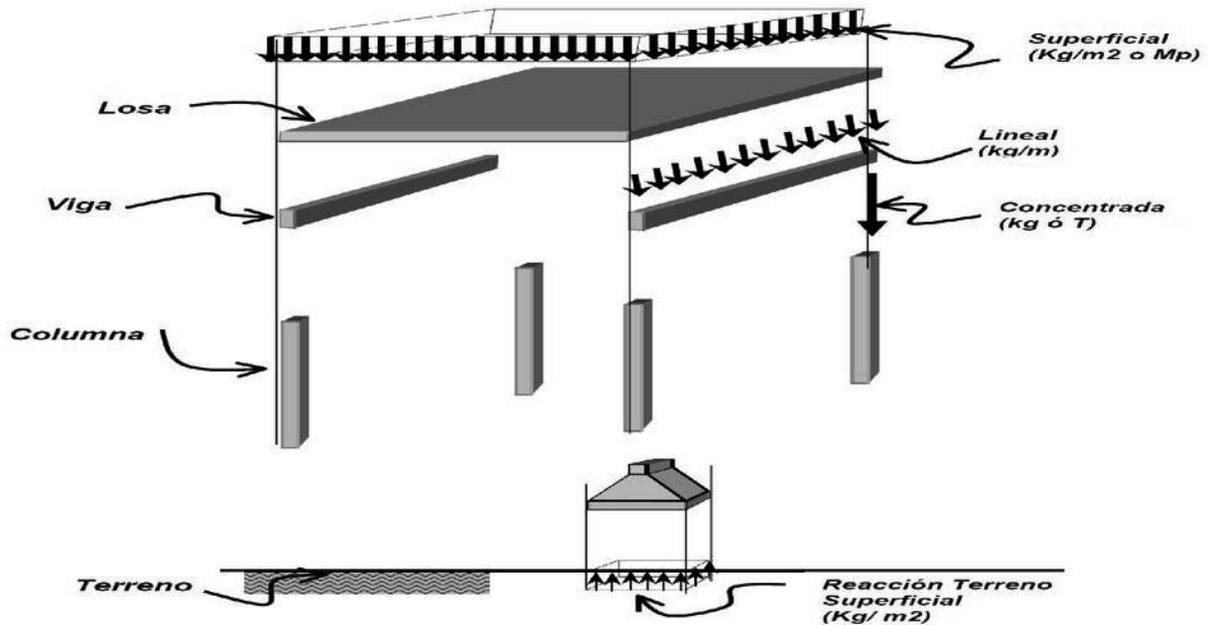


FIGURA 22

➤ Cargas Dinámicas o Móviles

Este tipo de carga actúa en movimiento, y puede ser causada tanto por la acción del viento como por el desplazamiento de un vehículo; en esta clasificación se puede incluir la fuerza de impacto causada por el choque de un vehículo sobre una construcción.

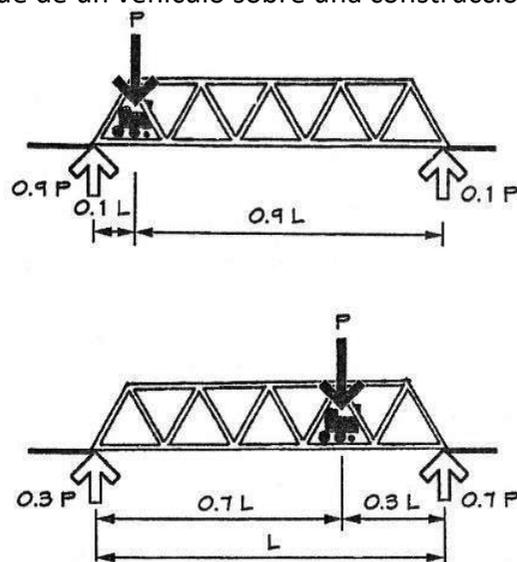


FIGURA 23

1.13.2.3. Por su Duración

➤ Cargas Permanentes

Las cargas permanentes son aquellas que actúan durante toda la vida útil de una construcción, y se corresponden con el peso propio de los distintos componentes de la construcción (Cubierta, cerramientos, etc.); son cargas estáticas que actúan constantemente y con la misma intensidad.

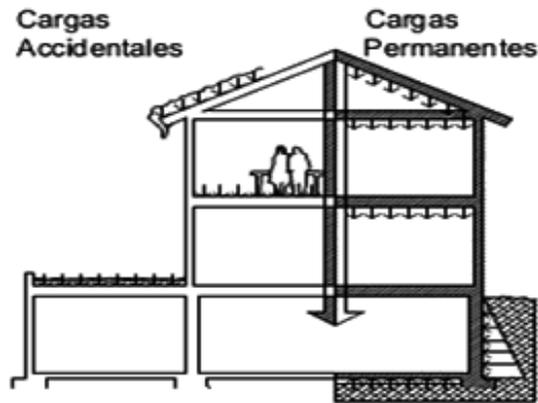


FIGURA 24

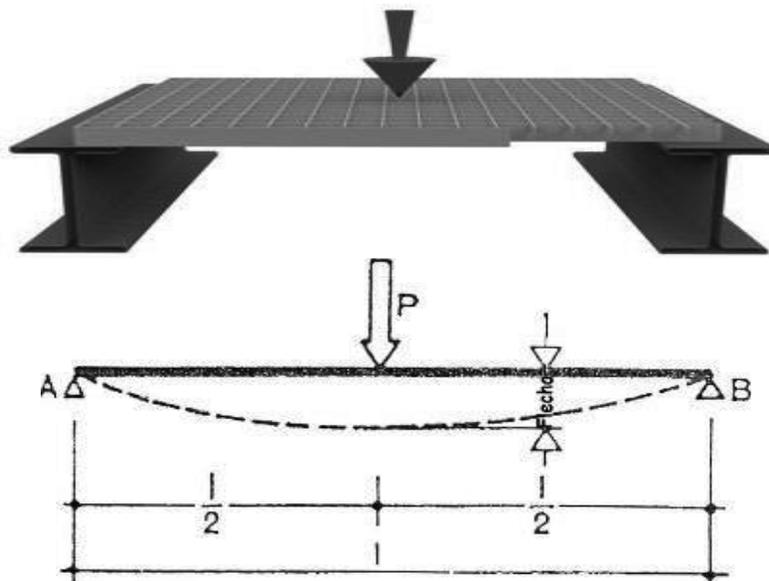
➤ Cargas Accidentales

Son aquellas cargas que afectan a una construcción actuando esporádicamente y con intensidad variable, destacándose la acción del viento, la acción sísmica y la nieve.

1.13.2.4. Por el Modo de Aplicación

➤ Cargas Concentradas

Se denomina de este modo a cualquier clase de carga que actúa puntualmente sobre un elemento estructural; los casos más emblemáticos que se pueden presentar en un mecanismo estructural, son el apoyo de las vigas sobre las columnas y la descarga de éstas sobre las bases; también puede ser el apeo de una columna sobre una viga.



FIGURAS 25-A y 25-B

➤ Cargas Uniformemente Distribuidas

Estas son cargas repartidas que actúan con continuidad y con la misma intensidad sobre una determinada superficie, o sobre un elemento lineal.

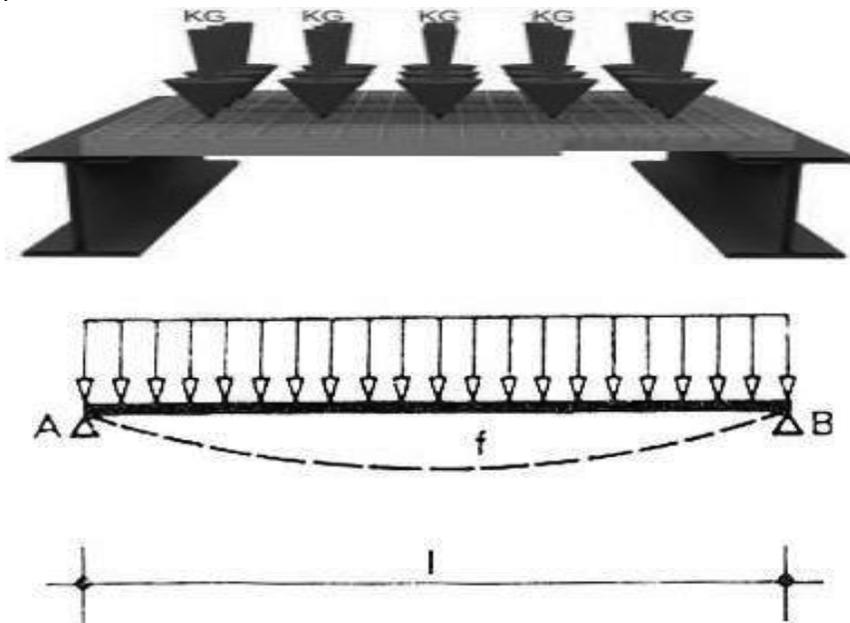


FIGURA 26-A y 26-B

➤ Cargas No Uniformemente Distribuidas

Estas son cargas repartidas que no actúan uniformemente sobre una determinada superficie, o sobre un elemento lineal.

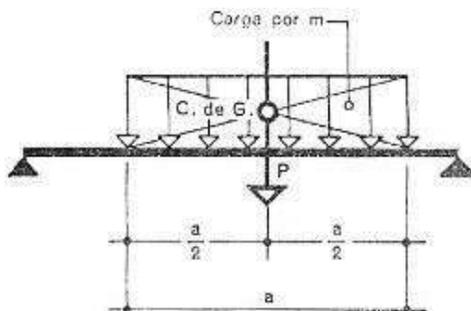


FIGURA 27

➤ Cargas Discontinuas

Son aquellas cargas que actúan en una o varias partes de la estructura con intensidad variable.

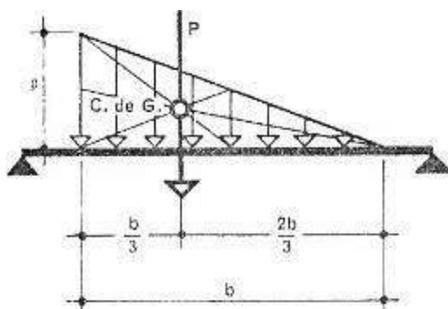


FIGURA 28

1.13.2.5. Por Variación de la Intensidad

➤ Cargas Variables

Son aquellas cuya intensidad varía de cero, a un máximo; por ejemplo, la carga de un tanque de reserva de agua.

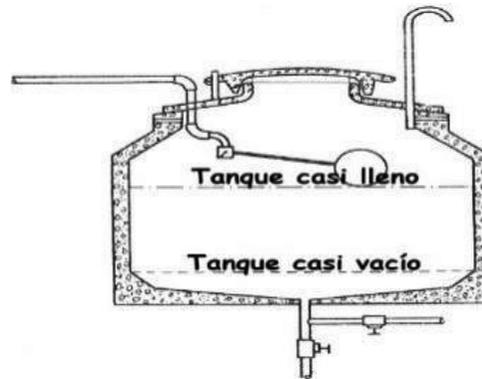


FIGURA 29

➤ Cargas Instantáneas

Son cargas que actúan repentinamente con toda su intensidad, pero sin choque.

➤ Cargas Intermitentes

Son aquellas cargas cuya intensidad oscila desde un mínimo que no llega a cero, a un máximo.

1.14. TRANSFERENCIA DE LAS CARGAS

Una estructura se define como una trama espacial compuesta por barras (Horizontales y Verticales), cuya función es la de transferir las cargas de la construcción al terreno; las fundaciones constituyen el elemento de transición entre la estructura y los suelos; en el camino que recorren las cargas de una construcción hasta ser resistidas por el suelo, van cambiando su configuración de acuerdo a los distintos elementos estructurales que van recibiendo la transferencia.

En general, comienzan por una aplicación superficial, siguiendo por un apoyo lineal que descargará puntualmente en sus extremos, y los pilares o columnas que reciben la carga, encontrarán el equilibrio mediante una carga superficial que no es otra cosa que la resistencia del terreno; es decir, se cumple un ciclo.

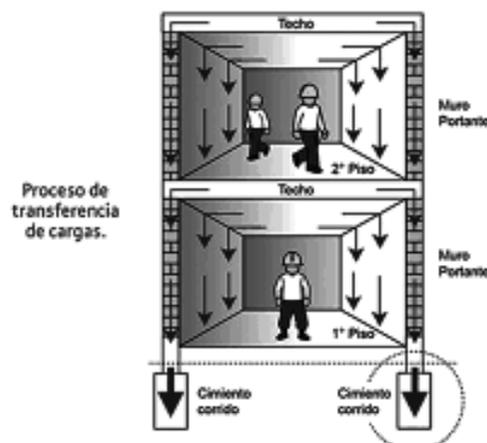


FIGURA 30

1.15. CARGAS ÚLTIMAS

Las cargas últimas surgen como producto de aplicar un Coeficiente de Mayoración sobre las Cargas de Servicio a efectos de mejorar las condiciones de seguridad en el dimensionado de las estructuras; el reglamento CIRSOC publicado en 2005, establece distintas combinaciones que el Proyectista o el Diseñador Estructural debe analizar, las que como mínimo, son:

- $U = 1,4 (D+F) \quad (9-1)$
- $U = 1,2 (D +F+T) + 1,6 (L+ H) + 0,5 (Lr \text{ ó } S \text{ ó } R) \quad (9-2)$
- $U = 1,2 D + 1,6 (Lr \text{ ó } S \text{ ó } R) + (f1 L \text{ ó } 0,8 W) \quad (9-3)$
- $U = 1,2 D + 1,6 W + f1 L + 0,5 (Lr \text{ ó } S \text{ ó } R) \quad (9-4)$
- $U = 1,2 D + 1,0 E + f1 (L + Lr) + f2 S \quad (9-5)$
- $U = 0,9 D + 1,6 W + 1,6 H \quad (9-6)$
- $U = 0,9 D + 1,0 E + 1,6 H \quad (9-7)$

D: Cargas Permanentes (*)

L: Sobrecargas de Uso o Destino (*)

U: Cargas Últimas

E: Cargas Sísmicas

F: Cargas y Presiones ocasionadas por fluidos.

H: Empuje de los Suelos

Lr: Sobrecarga en Azoteas

R: Cargas derivadas de lluvias

S: Cargas debido a nieve.

T: Esfuerzos que derivan de la acción de la temperatura (Dilataciones)

W: Cargas derivadas por la Acción del Viento.

$f1 = 1,0$ para lugares de concentración de público donde la sobrecarga sea mayor a $5,00 \text{ kN/m}^2$ y para playas de estacionamiento y garajes.

$f1 = 0,5$ para otras sobrecargas.

$f2 = 0,7$ para configuraciones particulares de cubiertas (tales como las de dientes de sierra), que no permiten evacuar la nieve acumulada.

$f2 = 0,2$ para otras configuraciones de cubierta.

(*) En el Reglamento CIRSOC 101 se encuentran determinados los valores correspondientes a todos los materiales de construcción (Cargas Permanentes) y a los distintos destinos (Sobrecargas de Uso).



1.16. SÍNTESIS DE FUERZAS, CARGAS Y SOLICITACIONES

1	TIPOS	Fuerzas externas	Fuerzas internas	Fuerzas cortantes	Fuerzas activas	Fuerzas de reacción	Fuerzas de resistencia	Fuerzas Gravitatorias	
2	ESFUERZOS	Compresiones	Tracciones	Empujes	Cizallamientos	Torsiones	Flexiones	Rozamientos	Esfuerzos de membrana
3	DIRECCIÓN	Fuerzas horizontales	Fuerzas verticales	Fuerzas oblicuas	Fuerzas transversales	Fuerzas normales (longitudinales)			
4	DISTRIBUCIÓN	Fuerzas puntuales	Fuerzas lineales	Fuerzas superficiales	Fuerzas espaciales				
5	DURACIÓN	Fuerzas estáticas	Cargas permanentes	Cargas de Uso (Destino)	Fuerzas dinámicas	Fuerzas móviles	Fuerzas de resonancia (Vibraciones)		
6	ELEMENTO ESTRUCTURAL	Fuerzas de barras	Fuerzas de cables	Fuerzas de pilares	Fuerzas de apoyos	Fuerzas de arcos	Fuerzas de anclajes		
7	GEOMETRÍA	Fuerzas anulares	Fuerzas meridianas	Fuerzas de corona	Fuerzas de borde	Fuerzas radiales			
8	CAUSA	Peso propio	Cargas de Uso	Cargas de nieve	Cargas de viento	Empuje del terreno y el agua	Fuerzas de masas	Fuerzas de coacción	

FIGURA 31



UNIDAD TEMÁTICA N° 2
INTRODUCCIÓN A LA RESISTENCIA DE MATERIALES

2. INTRODUCCIÓN A LA RESISTENCIA DE LOS MATERIALES

2.1. INTRODUCCIÓN

La Estática estudia las fuerzas para establecer las leyes del equilibrio externo de los cuerpos considerándolos indeformables; conocidas estas leyes, la Resistencia de Materiales, aborda el problema en el campo de la realidad; no existiendo cuerpos indeformables, estudia las deformaciones que producen las fuerzas exteriores y las tensiones que resultan para sentar las leyes del equilibrio elástico; para establecer estas leyes necesita en primer lugar, del auxilio de la Estática para conocer las fuerzas exteriores, y luego, debe recurrir a la experiencia para comprobar los resultados del análisis matemático; en el gabinete de Ensayos de Materiales por la micro fotografía se estudia la constitución interna del material y con máquinas especiales el proceso de su deformación y la manera de romperse; el ensayo determina características como el límite de elasticidad, carga de ruptura y el porcentaje de deformación que nos conduce al conocimiento del material; la investigación experimental y el cálculo matemático transforman el Arte en la Ciencia de Construir; podemos definir la Resistencia de Materiales como la parte de la Mecánica que estudia el efecto de las fuerzas sobre los materiales, determinando las deformaciones y las tensiones, para darles las dimensiones que les permitan resistir los esfuerzos; no basta que los materiales puedan resistir los esfuerzos a que están sometidos; es necesario que lo hagan con seguridad, pero al mismo tiempo, no se debe incurrir en excesos que afecten la economía de la obra; el buen criterio del calculista y su experiencia profesional le permitirán colocarse en el justo medio.

2.2. HIPÓTESIS FUNDAMENTALES

La Estática, la Resistencia de los Materiales y la Teoría de la Elasticidad son tres ramas de la Estabilidad de las Construcciones; como toda la ciencia aplicada, recién en la época moderna ha podido alcanzar un grado de desarrollo apreciable; los hombres de ciencia de la antigüedad o desconocían sus principios o se perdieron en el caos que arrasó las antiguas civilizaciones; recién entre los Siglos XVI y XVII, Galileo encara el primer problema de estabilidad investigando la solución de una viga que trabaja a la flexión, no llegando a lograrlo por partir de la Hipótesis falsa de que todas las fibras se alargan bajo el esfuerzo; en la misma época el físico inglés Roberto Hooke establece la ley de proporcionalidad entre las tensiones y las deformaciones, base de la Resistencia de Materiales, pero la sienta con carácter general, lo que no es exacto; Euler en el Siglo XVIII encuentra la ecuación de curvatura de las piezas flexionadas y determina la primera fórmula de pandeo; con Bernoulli, que sentó la Hipótesis de las secciones planas, Duhamel, que explicó el fenómeno de la flexión corrigiendo el error de Galileo y principalmente con Navier, que publicó a principios del siglo pasado su obra "Mecánica Aplicada", donde reúne todos los conocimientos anteriores, se inicia el progreso de la Resistencia de Materiales y de la Estabilidad; pero la evolución continúa y aún debemos aceptar Hipótesis que a pesar de no ser absolutamente ciertas o no estar comprobadas en forma evidente, introducen en los cálculos simplificaciones que permiten resolver problemas con suficiente aproximación y que sin esas Hipótesis no tendrían aún solución; fundamos nuestro estudio en las siguientes Hipótesis que aceptamos como verdades comprobadas:

I. Los Materiales

Están constituidos por moléculas, partículas pequeñas, que bajo el influjo de fuerzas de atracción y repulsión se mantienen a distancia invariable, mientras no actúen fuerzas exteriores.

II. Los Cuerpos son Homogéneos

Efectuamos nuestros cálculos aceptando que el material tiene la misma constitución química e iguales propiedades físicas en toda su masa.

III. Postulado de Continuidad

Las tensiones y deformaciones en los diversos puntos pueden expresarse por una función continua de las coordenadas de esos puntos, o sea que varían sin cambios bruscos, por lo menos entre ciertos límites.

IV. Ley de Hooke

Para algunos materiales y hasta cierto límite, las tensiones son proporcionales a las deformaciones.

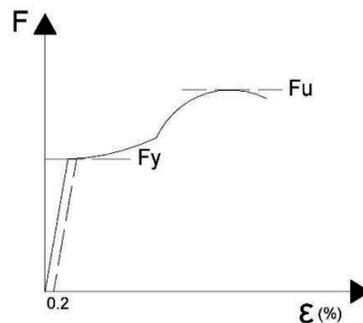


FIGURA 32

Interpretación de la Representación Gráfica del Ensayo

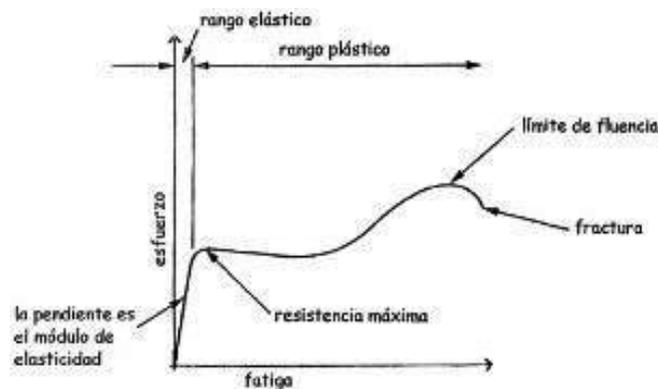


FIGURA 33

V. Hipótesis de Bernoulli-Navier

Las secciones planas de un elemento estructural antes de la deformación, permanecen planas después de deformarse el mismo.

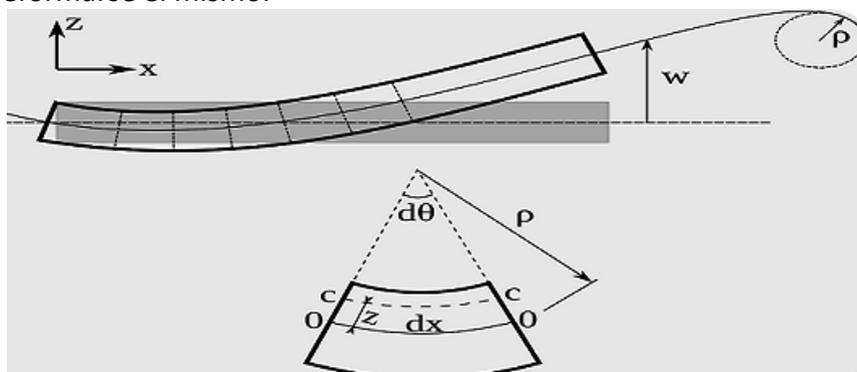


FIGURA 34

VI. Principio de Acción y Reacción

En un sistema en Equilibrio Estático; toda acción provoca en los elementos resistentes, una reacción de igual intensidad y que actúa en sentido contrario.



FIGURA 35

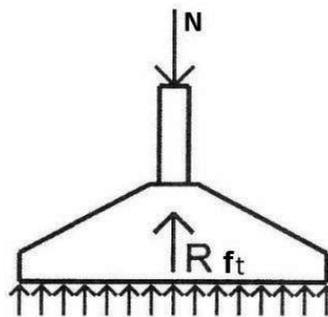


FIGURA 36

2.3. MÓDULO DE ELASTICIDAD

Se denomina Módulo de Elasticidad de un material y se lo identifica con la letra "E", a la relación entre las Tensiones y las Deformaciones correspondientes; valor que permanece constante hasta alcanzar el Límite Elástico.

$$E = f / \epsilon$$

E: Módulo de Elasticidad o Módulo de Young (MPa)

f: Tensión del Material (MPa)

ε: Deformación (Coeficiente Adimensional)

MÓDULOS DE ELASTICIDAD	
MADERA DURA (Algarrobo)	13.000 MPa
ACERO TIPO A-22	200.000 MPa
HORMIGÓN TIPO H-20	30.000 MPa (Aproximado)

2.4. CONDICIONES DE ESTABILIDAD

Cuando todos los elementos de una estructura trabajan adecuadamente, la estructura es estable; las condiciones básicas de estabilidad a cumplir, son:

- I. **Todos los elementos deben estar en equilibrio estático.**
- II. **Todos los elementos deben resistir los esfuerzos resultantes del equilibrio estático, es decir: están en equilibrio elástico.**
- III. **Debe haber un margen de seguridad.**

Basándose en estas Hipótesis, en otras que se establecerán oportunamente y en los resultados de las experiencias practicadas en los ensayos, la Resistencia de Materiales se propone resolver:

- Conocidas las fuerzas exteriores que actúan sobre una pieza darle las dimensiones necesarias para que resista con seguridad, pero sin afectar la economía.
- Dada una pieza de dimensiones determinadas, calcular el esfuerzo máximo que pueda soportar, con seguridad y economía.

2.5. RIGIDEZ

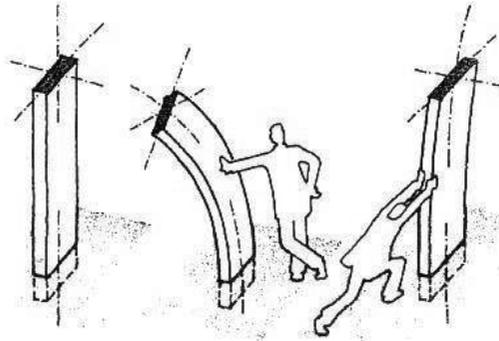


FIGURA 37

2.5.1. MOMENTO DE INERCIA

El concepto de **Rigidez** se encuentra directamente asociado con el de **Momento de Inercia**; la resistencia de todo **Elemento Estructural** está íntimamente vinculada con la rigidez del mismo; esta relación se puede interpretar como que, **a mayor Momento de Inercia** de una sección cualquiera, **mayor resultará su rigidez**, lo que se traduce en una menor posibilidad de deformación de la pieza estructural; éste, es un **Momento de 2º Orden**.

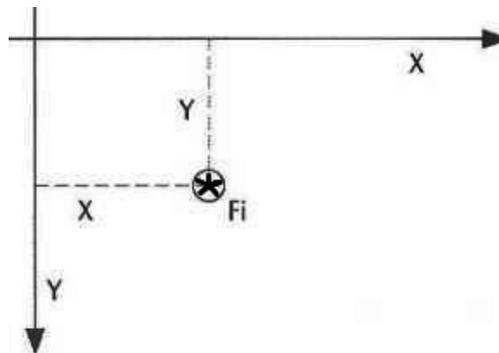


FIGURA 38

El Momento de Inercia de una superficie respecto de un eje, es el producto del área en cuestión (**Fi**) por el cuadrado de su distancia al eje.

$$\begin{aligned} I_{x x} &= A_i \cdot y^2 \text{ (cm}^4\text{)} \\ I_{y y} &= A_i \cdot x^2 \text{ (cm}^4\text{)} \end{aligned}$$

El Momento de Inercia de una sección que no es Constante y/o Continua, se debe calcular aplicando el Teorema de Steiner (De Transposición Paralela).

Teorema de Steiner: El Momento de Inercia "I" de una Sección "A" respecto a un eje "X" cualquiera; es igual al momento de Inercia de la sección considerada respecto a un eje "Xo" Baricéntrico y paralelo al anterior, más el producto de dicha sección por el cuadrado de la distancia "Y" que media entre ambos ejes.

$$I_{x-x} = \left[I_{x_{o1}} + (F_1 \cdot Y_1^2) \right] + \left[I_{x_{o2}} + (F_2 \cdot Y_2^2) \right]$$

$$I_{x-x} = \left[\frac{b \cdot L_1^3}{12} + (b \cdot L_1 \cdot Y_1^2) \right] + \left[\frac{b \cdot L_2^3}{12} + (b \cdot L_2 \cdot Y_2^2) \right]$$

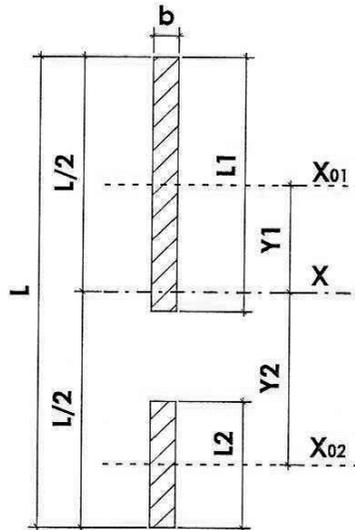


FIGURA 39

2.5.2. EXPRESIÓN GENERAL DEL MOMENTO DE INERCIA PARA SECCIONES CUADRADAS Y/O RECTANGULARES

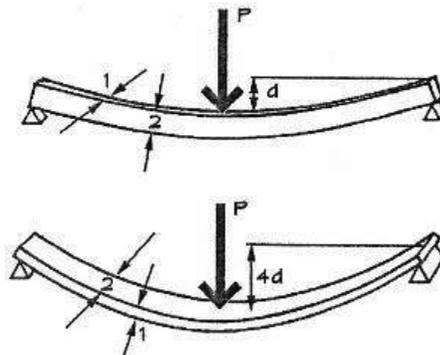


FIGURA 40

$$I (cm^4) = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

☞ VER TABLAS Nº 5, Nº 6, Nº 7, Nº 8, Nº 9, Nº 10 y Nº 11

2.6. MÓDULO RESISTENTE

Una pieza estructural bajo estado de Flexión; sufre simultáneamente, tensiones internas de tracción y de compresión; tensiones que resultan proporcionales al esfuerzo padecido; al unísono, por efecto de las tensiones desarrolladas, parte de sus fibras se acortan, mientras que otras se alargan; estos efectos se manifiestan en la flecha que adquiere el eje de la pieza; la fibra que no acusa deformación, es denominada Eje Neutro, y al momento resistente, se lo denomina **Módulo Resistente "S"**.

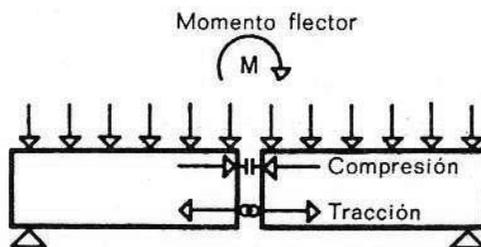


FIGURA 41

Para el dimensionado de piezas de acero y de madera, sometidas a esfuerzos de Flexión; se puede emplear la siguiente expresión:

$$S = \frac{M^o}{F_{Admisible}}$$

Se denomina Módulo Resistente de una Sección Plana, al cociente entre el Momento de Inercia Baricéntrico, y la distancia entre el Baricentro y la fibra más alejada del mismo.

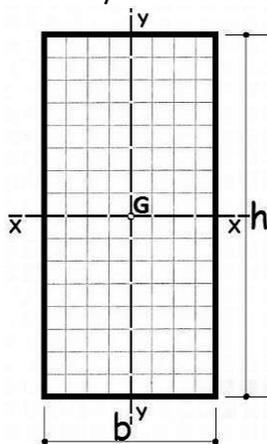


FIGURA 42

$$S_{X-X} = \frac{I_{X-X}}{\frac{h}{2}} \Leftrightarrow S_{Y-Y} = \frac{I_{Y-Y}}{\frac{b}{2}}$$

➔ EXPRESIÓN GENERAL PARA EL CÁLCULO DEL MÓDULO RESISTENTE DE SECCIONES RECTANGULARES

$$S (cm^3) = b \cdot \frac{h^2}{6}$$

☞ VER TABLAS Nº 5, Nº 6, Nº 7, Nº 8, Nº 9, Nº 10 y Nº 11

2.7. BARICENTRO

Se denomina **Centro de Gravedad** de un cuerpo, al punto por el que pasa la Resultante de las fuerzas elementales de la gravedad de las masas que lo constituyen; si el cuerpo admite un Plano de Simetría podrá ser representado por su proyección sobre el mismo; si el cuerpo está homogéneamente constituido y es de espesor uniforme; el Centro de Gravedad podrá encontrarse determinando el centro de un Sistema de Fuerzas (Vector Superficie) aplicadas en el centro de las figuras elementales que conforman la superficie proyectada.

2.7.1. DETERMINACIÓN GRÁFICA

Este procedimiento consiste en determinar las Resultantes del sistema según dos direcciones ortogonales aplicando el principio del Polígono Funicular; encontrándose el Centro de Gravedad, en el punto de intersección entre las mencionadas resultantes.

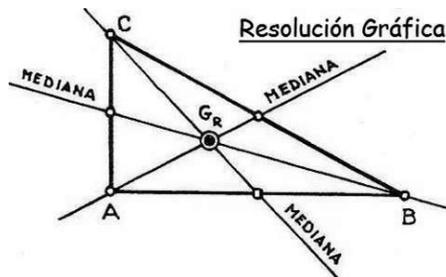


FIGURA 43

 VER TABLA N° 11

2.7.2. DETERMINACIÓN ANALÍTICA

Se resuelve aplicando por analogía el Teorema de Varignon para Vectores/Fuerza; en este caso se deben hallar las resultantes de los **Vectores/Superficies**, relacionados con un par de ejes cartesianos; finalmente se podrán determinar las distancias del Centro de Gravedad incógnita, utilizando las conocidas Ecuaciones de Momentos.

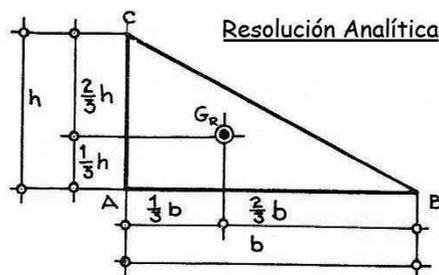


FIGURA 44

2.8. MOMENTO ESTÁTICO

Se denomina Momento Estático (Q_z) de una superficie (A) con respecto a un Eje (z); al producto de dicha superficie por la distancia (d) existente entre su Baricentro (G) y el eje considerado; este es un **Momento de 1º Orden**.

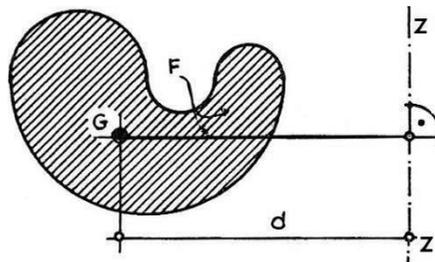


FIGURA 45

$$Q_z(\text{cm}^3) = A(\text{cm}^2) \cdot d(\text{cm})$$

Cuando se trate de determinar el Momento Estático de varias superficies, o de una superficie irregular descompuesta en varias menores; el Momento Estático total resultará de la suma de los momentos parciales.