

# **BASES PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL**

**Ender José Barrientos Monsalve  
Javier Alfonso Cárdenas Gutiérrez  
Nelson Javier Cely Calixto**







A decorative frame made of dotted lines, forming a large rectangle with inward-pointing corners, enclosing the title and authors.

# **BASES PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL**

ENDER JOSÉ BARRIENTOS MONSALVE  
JAVIER ALFONSO CÁRDENAS GUTIÉRREZ  
NELSON JAVIER CELY CALIXTO

Barrientos Monsalve, Ender José

Bases para el diseño estructural / Ender José Barrientos Monsalve, Javier Alfonso Cárdenas Gutiérrez, Nelson Javier Cely Calixto. -- 1a. ed. -- Bogotá : Ecoe Ediciones, 2020.  
56 p. -- (Ingeniería. Ingeniería civil)

Incluye datos de los autores en la pasta. -- Contiene bibliografía al final de cada capítulo.

ISBN 978-958-771-956-7

1. Diseño estructural 2. Teoría de las estructuras I. Cárdenas Gutiérrez, Javier Alfonso II. Cely Calixto, Nelson Javier III. Título IV. Serie

CDD: 624.177 ed. 23

CO-BoBN- a1059472

---



**Área:** Ingeniería y afines

**Subárea:** Ingeniería civil

© Ender José Barrientos Monsalve

© Javier Alfonso Cárdenas Gutiérrez

© Nelson Javier Cely Calixto

► Ecoe Ediciones Limitada  
info@ecoeediciones.com  
www.ecoeediciones.com  
Carrera 19 # 63C 32, Tel.: 248 14 49  
Bogotá, Colombia

**Primera edición:** Bogotá, octubre de 2020

**ISBN:** 978-958-771-956-7

Directora editorial: Claudia Garay Castro  
Corrección de estilo: Carolina Páez  
Copy: Angie Sánchez Wilchez  
Diagramación: Magda Rocio  
Carátula: Wilson Marulanda Muñoz  
Impresión: Carvajal Soluciones de  
comunicación S.A.S  
Carrera 69 #15 -24

*Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio  
sin la autorización escrita del titular de los derechos patrimoniales.*

*Impreso y hecho en Colombia - Todos los derechos reservados*

## **Agradecimientos**

En primera instancia, agradezco a Dios por todas las oportunidades presentadas en mi carrera; a mi familia, especialmente a mi madre; a mi esposa, por la paciencia en estos contextos que demandan tiempo y dedicación.



# CONTENIDO

<b>PRÓLOGO</b> .....	XI
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	XIII
<b>CAPÍTULO 1: ASPECTOS CONCEPTUALES</b> .....	1
1.1. Concepto de estructura y clasificación de acuerdo con la normatividad vigente.....	1
1.2. Clasificación de las acciones .....	2
1.2.1. Por su forma según Newton .....	2
1.2.2. Por su permanencia .....	3
1.2.3. Por sus combinaciones.....	3
1.3. Tipos de apoyos en el plano .....	4
1.3.1. Restricciones .....	4
1.3.2. Grados de libertad .....	4
1.4. Elásticas teóricas.....	5
1.5. Diagrama de cuerpo libre .....	6
1.6. Ecuaciones de equilibrio .....	6
1.7. Convención de signos.....	6
1.8. Isostaticidad .....	8
1.8.1. Hiperestaticidad externa e interna .....	8
1.8.2. Inestabilidad geométrica.....	9
1.9. Principio de superposición de causa y efecto.....	10
1.10. Bibliografía.....	11
<b>CAPÍTULO 2: DESARROLLO DE LA ESTRUCTURA</b> .....	13
2.1. Selección del sistema estructural del proyecto arquitectónico.....	13
2.2. Adecuaciones del sistema estructural del proyecto arquitectónico.....	14
2.3. Método de la distribución de momentos de Cross.....	14



2.4.	Principios generales y definiciones .....	15
2.5.	Predimensionamiento geométrico para vigas y marcos .....	16
2.6.	Distribución de momentos para vigas continuas, diagramas y armado teórico .....	17
2.7.	Modificaciones al factor de rigidez.....	18
2.8.	Distribución de momentos para marcos sin desplazamiento lateral, diagramas y armado teórico .....	19
2.9.	Distribución de momentos para marcos con desplazamiento lateral, diagramas y armado teórico .....	20
2.10.	Desplazamiento y giros en estructuras, método de superposición .....	21
2.11.	Bibliografía.....	22
<b>CAPÍTULO 3: ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA .....</b>		<b>23</b>
3.1.	Cargas muertas.....	23
3.2.	Peso propio.....	24
3.3.	Acabados .....	25
3.4.	Instalaciones .....	25
3.5.	Carga viva máxima de acuerdo con las Normas Técnicas Complementarias Vigentes.....	26
3.6.	Predimensionamiento de losas, vigas y muros.....	27
3.7.	Áreas tributarias.....	27
3.8.	Distribución de cargas concentradas en muros .....	28
3.9.	Bajada de cargas .....	30
3.10.	Cimentación corrida de piedra braza.....	31
3.11.	Bibliografía.....	32
<b>CAPÍTULO 4: FUERZA POR VIENTO.....</b>		<b>35</b>
4.1.	Consideraciones generales.....	36
4.2.	Clasificación de las estructuras por su importancia y su respuesta.....	36
4.3.	Determinación de la velocidad de diseño.....	37
4.4.	Determinación de la presión de diseño.....	37
4.5.	Factores de presión .....	38
4.6.	Presiones interiores.....	40
4.7.	Área expuesta.....	41
4.8.	Coefficientes de presión por el método simplificado .....	41
4.9.	Bibliografía .....	43
<b>CAPÍTULO 5: FUERZAS SÍSMICAS.....</b>		<b>45</b>
5.1.	Zonificación .....	46
5.2.	Coefficientes sísmicos.....	46
5.3.	Reducción de fuerzas sísmicas .....	48
5.4.	Combinación de acciones .....	48

5.5.	Desplazamientos laterales permisibles .....	49
5.6.	Holguras en vidrios.....	49
5.7.	Separación de edificios colindantes .....	50
5.8.	Condiciones de regularidad.....	51
5.9.	Fuerzas cortantes.....	52
5.10.	Cálculo de rigideces de entrepiso por el Método de Wilbur.....	54
5.11.	Efectos de torsión .....	55
5.12.	Bibliografía.....	56

## ÍNDICE DE FIGURAS

### CAPÍTULO 1

FIGURA 1.	Tipos de apoyo .....	4
FIGURA 2.	Grados de libertad .....	5
FIGURA 3.	Elásticas teóricas .....	5
FIGURA 4.	Diagrama de cuerpo libre.....	6
FIGURA 5.	Ecuación de equilibrio .....	6
FIGURA 6.	V y M positivos en la parte izquierda de la viga.....	7
FIGURA 7.	V y M positivos en la parte derecha de la viga.....	7
FIGURA 8.	Significados físicos de los signos .....	7
FIGURA 9.	Estructura isostática .....	8
FIGURA 10.	Pórticos hiperestáticos .....	9
FIGURA 11.	Inestabilidad geométrica .....	10
FIGURA 12.	Principio de superposición .....	11

### CAPÍTULO 2

FIGURA 1.	Condiciones para el diseño estructural .....	14
FIGURA 2.	Principios.....	15
FIGURA 3.	Predimensión viga.....	16
FIGURA 4.	Predimensión viga con doble apoyo .....	16
FIGURA 5.	Predimensionamiento de pilares .....	17
FIGURA 6.	Distribución de momentos.....	18
FIGURA 7.	Factor de rigidez .....	18
FIGURA 8.	Modificación factor rigidez cargas simétricas .....	19
FIGURA 9.	Modificación factor rigidez de cargas asimétricas .....	19
FIGURA 10.	Marcos con desplazamiento lateral .....	20
FIGURA 11.	Superposición de sistemas de esfuerzos .....	21

## CAPÍTULO 3

FIGURA 1.	Cargas muertas.....	24
FIGURA 2.	Peso propio de una viga .....	25
FIGURA 3.	Instalaciones en edificios .....	26
FIGURA 4.	Reacciones de áreas tributarias-nudos rígidos .....	28
FIGURA 5.	Cargas en muros de mampostería .....	29
FIGURA 6.	Bajada de cargas.....	31
FIGURA 7.	Cimentación con piedra braza.....	32

## CAPÍTULO 4

FIGURA 1.	Velocidad de diseño.....	37
FIGURA 2.	Presión de diseño .....	38
FIGURA 3.	Ecuación calculo presión de diseño .....	38
FIGURA 4.	Presión sobre las superficies de un edificio .....	40
FIGURA 5.	Presión interior .....	41
FIGURA 6.	Coefficientes de presión para el método simplificado .....	42
FIGURA 7.	Ecuación.....	42

## CAPÍTULO 5

FIGURA 1.	Coefficientes sísmicos entre Estados Unidos, Japón y Chile .....	48
FIGURA 2.	Valores de los parámetros para calcular los espectros de aceleraciones.....	53
FIGURA 3.	Valores de los parámetros para calcular los espectros de aceleraciones.....	53

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.	Tipologías de estructuras.....	3
TABLA 2.	Clases de estructuras según su tamaño.....	36



## PRÓLOGO

El propósito fundamental de este libro es presentar información sobre los diseños estructurales, a través de las cargas que presentan y que se deben tener en cuenta a la hora de diseñar proyectos arquitectónicos. Dichos fundamentos estructurales son de suma importancia, no se pueden pasar por alto en la iniciación de los bosquejos en el papel del diseñador, y no pueden esperar a entablar conversación con el ingeniero civil para modificar posteriormente los diseños establecidos. Esta información puede mejorar los conocimientos básicos que tienen los estudiantes y profesionales de arquitectura para mejorar los diseños con base en los diferentes esfuerzos estructurales que estos tienen con las cargas.

La fundamentación de este trabajo también se basa en los perfiles de los arquitectos, ya que en las universidades las competencias adquiridas en la parte estructural no son fortalecidas de la manera suficiente, de modo que dejan debilidades en estudiantes y profesionales que se dedican a la proyección arquitectónica, que en ocasiones termina en una construcción de cada obra. Con esto se fortalecen las competencias estructurales dando un conocimiento direccionado al que tiene el ingeniero civil, que es el profesional a cargo del cálculo del proyecto para posteriormente seguir a su ejecución.

De esta manera, el libro va dirigido a estudiantes de ingeniería, arquitectura y arquitectos en labores profesionales que están empezando sin experiencia y demás personas, con el fin de seguir adquiriendo competencias sobre los conocimientos de las diferentes cargas que se deben tomar en cuenta en los tipos de estructuras que conforman los proyectos arquitectónicos.

# INTRODUCCIÓN

Las evoluciones de las construcciones tienen el componente de las estructuras, ya que sin esto las edificaciones no pueden sostener su propio peso y mantenerse en el tiempo. Sin embargo, esto va más allá, ya que dichas estructuras no solamente deben sostenerse en sí mismas sino que también soportan otras cargas que las afectan directamente y pueden perjudicar las estructuras si no son tomadas en cuenta. Con el tiempo y la evolución de la ingeniería, se han dado conocimientos para saber cuáles son estos tipos de cargas que se deben tener en cuenta en los diseños arquitectónicos.

Como se ha mencionado, este conocimiento es primordial en la arquitectura y la ingeniería civil, que deja como resultado un binomio armónico en cada producto diseñado, y esto se realiza a través del arquitecto e ingeniero civil, quienes son los encargados de diseñar en las diversas partes de lo que va conformar la estructura para llegar a proporciones correctas y lograr un equilibrio entre costo beneficio con el fin que dichos proyectos sean factibles económicamente. Con esto se pone a prueba la intuición de los profesionales y la ciencia estructural, un proceso creativo donde se empiezan a definir las características de todo un sistema que tiene que cumplir varios objetivos comunes.

Los diseños estructurales deben cumplir ciertos objetivos para cumplir su cometido, como ser económico dentro de sus contextos, también la funcionabilidad, sostenibilidad y así seguir teniendo resultados óptimos en cada diseño estructural.

En este trabajo se presentaron análisis de las cargas según diferentes dimensiones de estas, como aspectos conceptuales de las estructuras, desarrollo y selección del sistema estructural, distribución de las cargas, resistencia a compresión, resistencia a la tensión, cobertura de claros horizontales, formas geométricas y materiales de los elementos. Todos los diversos sistemas son soluciones que aportan múltiples puntos comunes entre ellos, de maneras diferentes con soluciones únicas por cada sistema integrando elementos con características especiales, y con esto, responder a las demandas de los diferentes proyectos de construcción.

## CAPÍTULO 1

# ASPECTOS CONCEPTUALES

El análisis y el diseño estructural son la parte inicial de todo proyecto, se deben entender como la columna vertebral de las propuestas arquitectónicas. Es necesario comprobar los elementos estructurales siempre, además, mediante la disciplina científica del análisis estructural, se establecen las condiciones y la idoneidad de dichos elementos con respecto a su función establecida, por ende, se tiene que comprobar en el cálculo la estructura en función de su diseño (Faustino *et al.*, 2004).

### **1.1. Concepto de estructura y clasificación de acuerdo con la normatividad vigente**

Las estructuras son los diferentes elementos que componen y distribuyen las diversas cargas de las edificaciones. Martínez y Ramírez (2000) la definen como:

La estructura es la parte resistente de una construcción, desempeña el mismo papel que los sistemas óseo y muscular de los vertebrados: provee resistencia y rigidez para que, junto con otros sistemas, se alcance un fin común; por ello, la estructura es vital para que una construcción sea útil.

Por lo anterior, todas las edificaciones están compuestas de estos elementos, sin ellos es imposible mantener en pie las estructuras. Así, se logra estabilidad e inmovilidad en las construcciones, teniendo como respuesta las funciones mecánicas y las propiedades estáticas resistentes, a la vez que se mantienen características esenciales



basadas en los requisitos exigidos. Estos elementos, conocidos como estructura, están unidos de alguna manera entre sí para constituir el sostén de la edificación. De igual manera, las normas de construcción de la administración pública de la Ciudad de México, definen las estructuras como: “Elementos constructivos diseñados para soportar las fuerzas gravitacionales debidas al peso propio del conjunto, así como las fuerzas permanentes y accidentales producidas por agentes externos” (s.a., 2006, p. 110).

De acuerdo con la normatividad vigente de las Normas de construcción de la administración pública de la ciudad de México, se define la clasificación de las estructuras de manera amplia según sus contextos constructivos. Sin embargo, las clasificaciones más conocidas son las estructuras de concreto, concreto reforzado, acero, subterráneas, flexibles, remachadas o atornilladas y elevadas.

## **1.2. Clasificación de las acciones**

Los proyectos estructurales se pueden clasificar por medio de los criterios de las acciones de los elementos, es decir: por su naturaleza, su variación en el tiempo o su variación en el espacio. En las acciones por su naturaleza, primero, están las acciones directas, establecidas como las que se aplican directamente en la estructura, por ejemplo: el peso propio de los elementos y las sobrecargas de uso. Segundo, las acciones indirectas se entienden como las deformaciones impuestas que pueden dar lugar a esfuerzos, por ejemplo: efectos de temperatura, desplazamientos o acciones sísmicas (Mitma, s.f.).

Por otro lado, las acciones por su variación en el tiempo pueden ser acciones permanentes, permanentes de valor no constante, variables, accidentales. Las acciones permanentes se entienden como las que actúan en todo momento, la magnitud y la posición son constantes; en las permanentes de valor no constante la magnitud no es constante, pero sí actúan todo el tiempo; las variables son aquellas que varían frecuentemente su valor en el tiempo de forma no monótona; por último, las accidentales son cuando la probabilidad de actuación a lo largo de su vida útil es mínima, pero tiene una importante magnitud (Mitma s.f.).

### **1.2.1. Por su forma según Newton**

Las acciones se generan con base en las diferentes fuerzas ejercidas sobre las estructuras, estas se basan en la tercera ley de Newton, la cual se establece así:

Todas las fuerzas en el universo ocurren en pares (dos) con direcciones opuestas. No hay fuerzas aisladas; para cada fuerza externa que actúa sobre un objeto hay otra fuerza de igual magnitud, pero de dirección opuesta, que actúa sobre el objeto que ejerce esa fuerza externa (Suárez, 2018, p. 2).

Estas fuerzas propuestas por Newton se aplican o se deben tomar en cuenta en las edificaciones donde se diseñan las diferentes estructuras a construir, estas pueden variar dependiendo de su forma con base en como resisten sus esfuerzos. Teniendo en cuenta los diseños estructurales para su cálculo, estas tipologías de estructuras se señalan a continuación.

**Tabla 1. Tipologías de estructuras**

Tipos de estructuras según su forma, (de acuerdo con la tercera ley de Newton)	Masivas
	Superficiales
	Abovedadas
	De armazón
	Trianguladas
	Colgantes

Fuente: Suárez (2018, p. 3).

### **1.2.2. Por su permanencia**

Las acciones permanentes están en las cargas que son de la misma edificación, donde no se puede eliminar o suprimir, por ejemplo, el peso que genera la propia edificación. Así mismo, las acciones de los terrenos donde se construyen los edificios o las características de los materiales utilizados en la construcción como hormigón o estructuras metálicas; este tipo de peso propio de las construcciones depende de su forma, proporción o tamaño. Mediante el análisis estructural del límite de su peso se pueden determinar estos factores tomando en clara consideración: la esbeltez, el alcance del material y la cantidad de estructura (Cervera, s.f., p. 1).

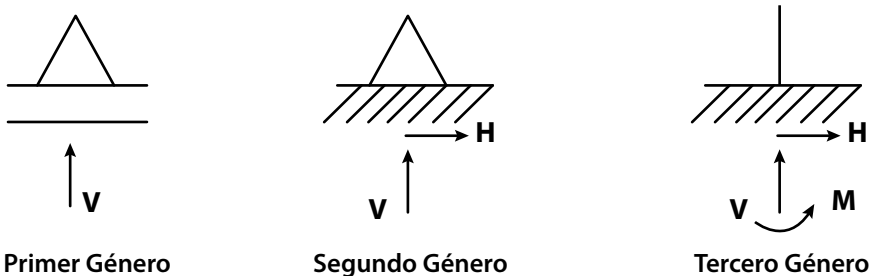
### **1.2.3. Por sus combinaciones**

En todo proyecto las estructuras deben considerar los efectos que pueden tener, de dónde provienen y las variables. Los diferentes esfuerzos concernientes al peso de las estructuras, los demás componentes y las diversas cargas útiles, tales como climáticas, tectónicas, montajes o accidentales, esto eleva la probabilidad de que estas estructuras tengan diferentes comportamientos. Más incierto e improbable, cuanto mayor es el número y la magnitud de ellas: “Cuanto mayor sea el número de acciones a combinar, decrece la posibilidad de encontrarlas a todas con máxima magnitud nominal. En tanto menor sea el numero considerado, mayor será la posibilidad que esas acciones participen con su intensidad nominal” (García, 2004, p. 3).

### 1.3. Tipos de apoyos en el plano

Las estructuras en el plano se clasifican en los tipos de apoyo de primer, segundo y tercer género, con respecto al número de componentes de reacción que desarrollen. El primero corresponde a los apoyos con rodillos o sus homologados, como: basculantes, superficies lisas, etc.; el segundo, lo constituyen apoyos articulados; el tercero, los empotramientos, como se muestra en la figura:

Figura 1. Tipos de apoyo



Fuente: Escamilla (s.f., p.10).

#### 1.3.1. Restricciones

Las restricciones son uno de los problemas de la resistencia de materiales y de posibilitar soluciones dentro de la ingeniería estructural. La restricción, dentro de los problemas elásticos estructurales, afecta la geometría de los elementos estructurales y sus propiedades de sustentación en la vinculación en las acciones consideradas. De esta manera, la resistencia de materiales se aplica a unidades prismáticas como vigas, columnas, barras, ejes, etc., las cuales se encuentran apoyadas, articuladas o empotradas, sometidas a las diferentes acciones de fuerza puntuales y distribuidas. Ante esto y con base a los postulados sobre la resistencia de materiales y que sean válidos, estos deben cumplir ciertas condiciones que se basan en las restricciones geométricas, ante esto:

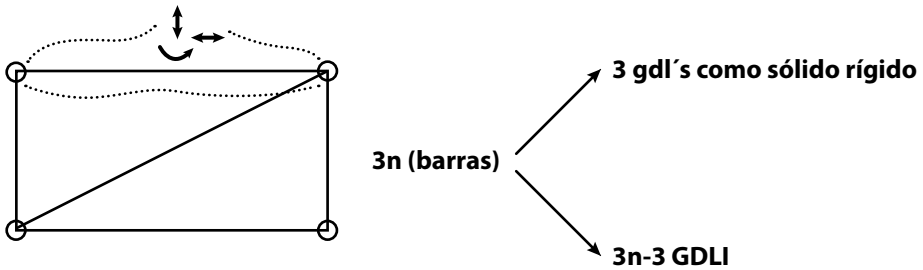
Geometría de la directriz. En piezas de directriz de curva, los radios de curvatura de ésta deben ser grandes en relación al canto de las piezas. Si esta relación es suficientemente pequeña, los efectos de la curvatura pueden llegar a despreciarse en el análisis del comportamiento de las rebanadas y utilizar las expresiones obtenidas para piezas de directriz recta. (Cervera y Blanco, 2015, p. 8).

#### 1.3.2. Grados de libertad

La definición de los grados de libertad en los sistemas mecánicos, los cuales no tienen propiedades de moverse, son denominados estructuras fijas. En el caso

particular de las estructuras en barra como columnas y vigas en dimensiones D, si  $N$  es el número de barras y existen  $M$  restricciones, son las uniones entre columnas y vigas (nodos), los cuales eliminan los grados de libertad de movimiento. Los grados de libertad se asocian al número de barras que componen las estructuras, si ellas estuvieran sueltas el número total de grados de libertad sería de  $3n$ , dado que al estar integradas esto constituye un sólido rígido con 3 grados de libertad (Navarro, s.f.).

Figura 2. Grados de libertad

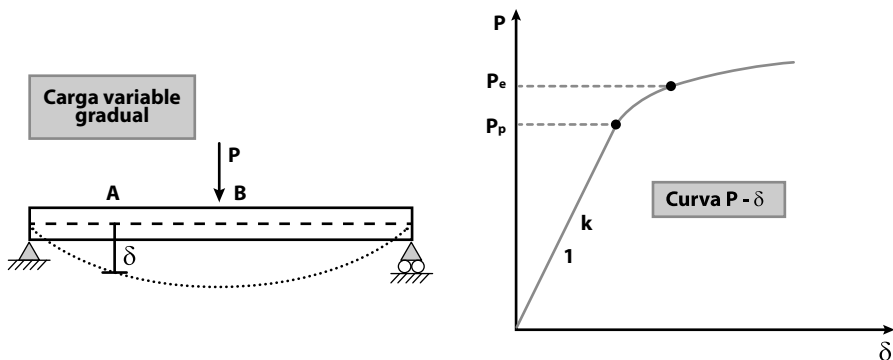


Fuente: Navarro (s.f., p. 21).

## 1.4. Elásticas teóricas

Los elementos sólidos se deforman bajo una acción de cualquier fuerza aplicada, al cesar dicha fuerza los cuerpos tienden a recuperar su forma original, esta propiedad que contienen los elementos se denomina elasticidad: “En realidad, los sólidos no son ni perfectamente elásticos ni perfectamente inelásticos. Las deformaciones que en ellos se producen constan de una parte de deformación elástica, que desaparece al cesar las fuerzas aplicadas y una parte de deformación permanente, que se mantiene posteriormente” (Cervera y Blanco, 2015, p. 37). Como ejemplo de esto se visualiza una viga biapoyada en la figura 3, allí se mide el desplazamiento vertical.

Figura 3. Elásticas teóricas

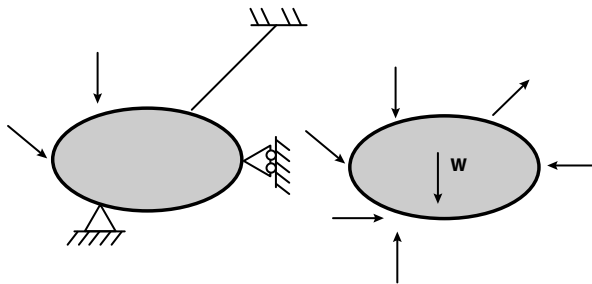


Fuente: Navarro (s.f., p. 37).

## 1.5. Diagrama de cuerpo libre

El diagrama de cuerpo libre es el esquema por el cual se visualizan las fuerzas de reacción y acción que actúan sobre los cuerpos de estudio, en este caso, sobre las estructuras de las edificaciones. Por ello, en el diagrama se reemplazan las conexiones por las diferentes fuerzas que están sobre los elementos, se retira el apoyo y se reemplaza por la fuerza que ejerce en el cuerpo (Salazar, 2007).

**Figura 4. Diagrama de cuerpo libre**



Fuente: (p. 65).

## 1.6. Ecuaciones de equilibrio

En las diferentes fuerzas que actúan en los elementos estructurales se encuentra el equilibrio, el cual resulta cuando todas las fuerzas que actúan sobre un elemento son cero, allí la partícula se encuentra en equilibrio. Estas ecuaciones son generadas por Newton en el siglo XVIII, esta es la primera de tres leyes resultantes donde si la fuerza resultante que actúa sobre una partícula es cero, la partícula permanecerá en reposo o se desplazará a la velocidad constante en línea recta si estaba en movimiento. De esta manera, se establece la siguiente fórmula:

**Figura 5. Ecuación de equilibrio**

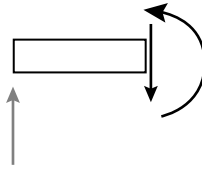
$$R = \sum F = 0$$

Fuente: Bonilla Terán y Reinoso (2016, p. 61).

## 1.7. Convención de signos

La convención de signos, generalmente usados en la mecánica estática, adopta la convención para V y M, por ejemplo, cuando se considera en la parte izquierda de la viga, como se aprecia en la siguiente imagen:

**Figura 6. V y M positivos en la parte izquierda de la viga**

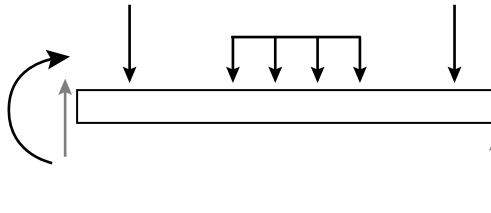


**V y M Positivos en la parte izquierda de la viga**

Fuente: Salazar (2007, p. 131).

De la misma forma, si se considera en la parte derecha de la viga se entendería de la siguiente manera:

**Figura 7. V y M positivos en la parte derecha de la viga**



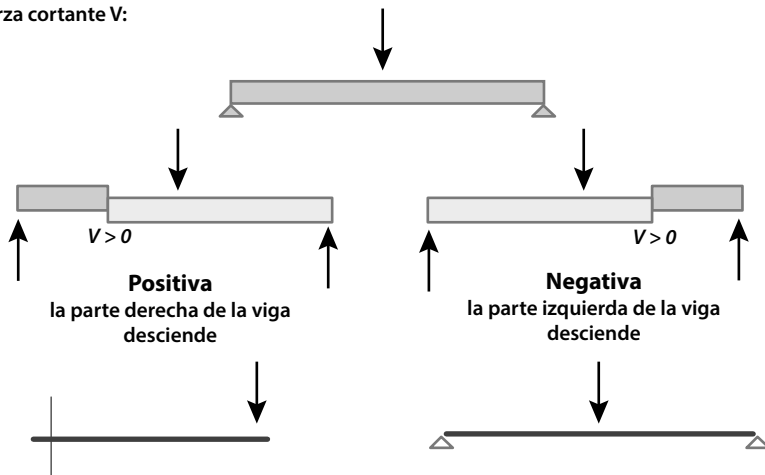
**V y M Positivos en la parte derecha de la viga**

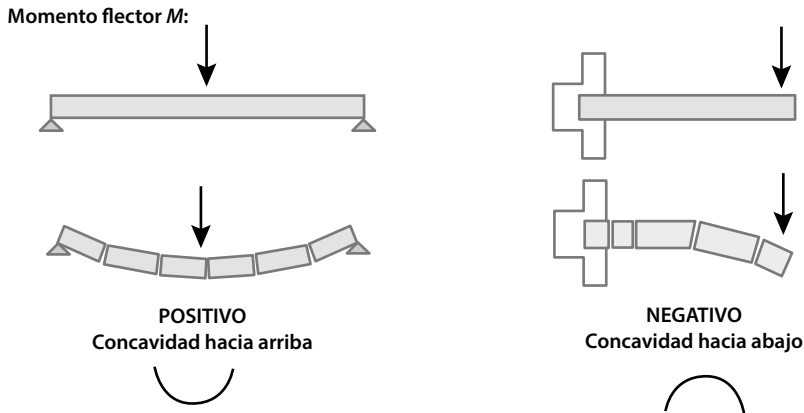
Fuente: (p. 132).

También están los significados físicos de los signos:

**Figura 8. Significados físicos de los signos**

Fuerza cortante V:



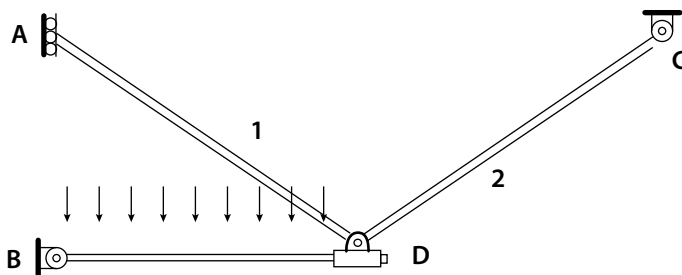


Fuente: (p. 132).

## 1.8. Isostaticidad

Las diferentes estructuras se clasifican dependiendo de los métodos utilizados para analizarse, una de ellas son las isostáticas o estáticamente determinadas, estas se examinan usando ecuaciones de equilibrio de la estática donde la supresión de cualquiera de los componentes conduce al colapso, allí se pueden generar las fuerzas cortantes y normales, además de los momentos flexionantes y de torsión en condiciones de equilibrio, de una manera más técnica. “[...] decir que una estructura isostática posee igual número de ecuaciones que de incógnitas, por lo cual, se puede resolver mediante un simple sistema de ecuaciones lineales” (Ortiz, 2014, p. 2).

Figura 9. Estructura isostática



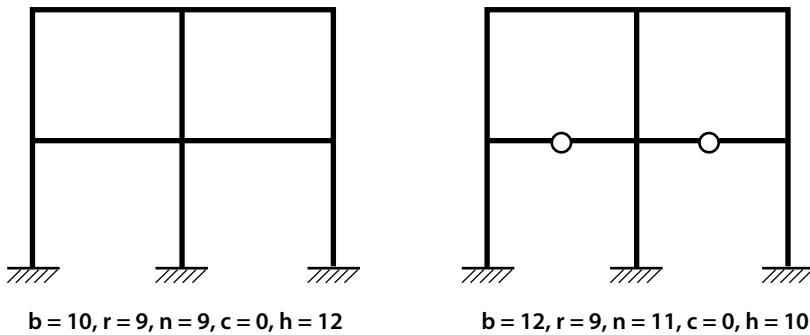
Fuente: Basset (s.f., p. 5).

### 1.8.1. Hiperestaticidad externa e interna

La hiperestaticidad externa es cuando se presentan unas condiciones de apoyo superior, se puede detectar aplicando condiciones de equilibrio y la estructura es interna isostática, así mismo, la hiperestaticidad interna es cuando las barras

se presentan en exceso y las estructuras son en el exterior isostáticas. Esta hiperestaticidad externa e interna se presenta cuando se excede el número de los apoyos y las barras, también se define así: “[...] existen ligaduras exteriores superabundantes, el número de incógnitas supera al de ecuaciones de equilibrio. Se dice entonces que se trata de un sistema hiperestático” (Villarino, s.f.). A continuación, se muestra la hiperestaticidad externa e interna por exceso de reacciones en pórticos.

**Figura 10. Pórticos hiperestáticos**



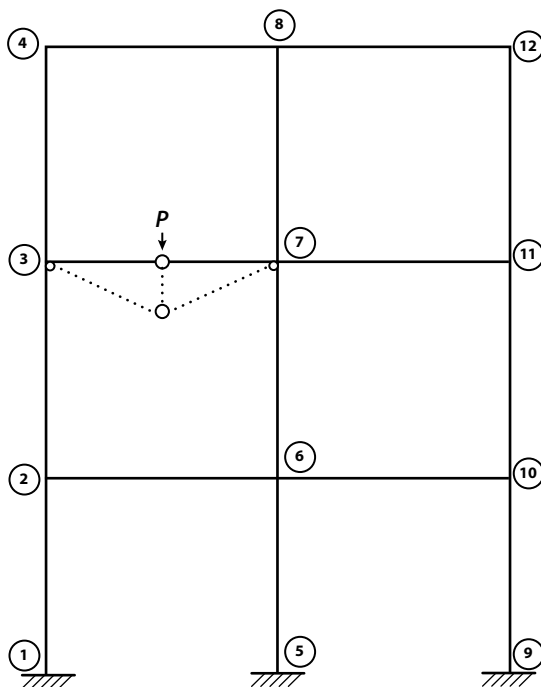
Fuente: Esukal (s.f., p. 31).

### **1.8.2. Inestabilidad geométrica**

Es posible que en las estructuras se presenten algunos casos que puedan resultar estáticamente determinados o indeterminados, la inestabilidad se genera de números insuficientes, la ubicación inadecuada de los diferentes apoyos, una distribución inadecuada de los apoyos o las otras partes que componen la estructura. En uno de los casos se presenta la inestabilidad geométrica, tanto interna como externa.



Figura 11. Inestabilidad geométrica



Fuente: González (2003, p. 34).

## 1.9. Principio de superposición de causa y efecto

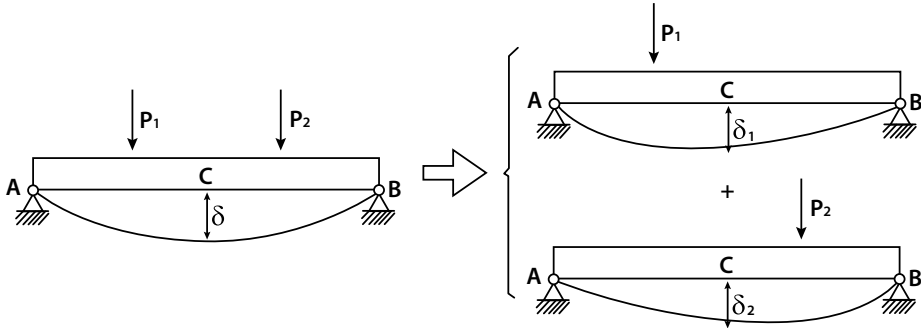
El principio de superposición establece que los desplazamientos correspondidos a distintas cargas, actuando simultáneamente entre sí, son iguales a la suma de los desplazamientos ocurridos a la acción de cada carga por individual: “el principio de superposición de efectos es aplicable al análisis estructural cuando las estructuras tienen un comportamiento elástico lineal” (Martínez *et al.*, 2016, p. 01).

Todos estos elementos se exponen a la aplicación de distintas fuerzas, lo que producirá diferentes efectos como: reacciones de apoyo, tensiones, deformaciones, entre otros. Por ello el efecto que produce una variedad de fuerzas que actúan de forma simultánea, esto va a generar efectos separados y provocará una relación lineal. Ante esto: “El ‘principio de superposición’ establece que los efectos que un sistema de fuerzas aplicadas origina en un cuerpo son iguales a la suma de los efectos que originan esas mismas fuerzas actuando por separado” (Cervera y Blanco, 2015, p. 39).

Esta situación se puede explicar así: la relación sobre la causa y el efecto, por ejemplo, a una causa  $C1$ , genera un efecto  $E1$ ; a una causa  $C2$ , genera un efecto  $E2$ . Esto

implica una relación lineal directa en el caso de las estructuras en las cargas, las deformaciones y demás esfuerzos.

**Figura 12. Principio de superposición**



Fuente: Cervera y Blanco (2015, p. 39).

## 1.10. Bibliografía

- (s.a.). (2006). *Normas de construcción de la administración pública de la ciudad de México*. <https://www.obras.cdmx.gob.mx/storage/app/uploads/public/5da/f27/b8f/5daf27b8f40e4013787797.pdf>
- Basset, L. (s.f.). *Clasificación estática de las estructuras*. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/16447/Clasificaci%C3%B3n%20est%C3%A1tica%20de%20las%20estructuras.pdf?sequence=1>
- Bonilla, W., Terán, H. y Reinoso, H. (2016) *Mecánica para ingeniería Estática*. Universidad de las Fuerzas Armadas. Espe.
- Cervera, J. (s.f.). *Las estructuras y su peso propio*. <https://pdfs.semanticscholar.org/3ffe/caaefa58c477b3694d045094b6b2b3bf0d74.pdf>
- Cervera, R. y Blanco, D. (2015). *Resistencia de materiales*. Cimne. <http://cervera.rmee.upc.edu/libros/Resistencia%20de%20Materiales.pdf>
- Escamilla, J. (s.f.). *Análisis de estructuras*. ECOE. [https://www.academia.edu/12475425/1.4\\_Tipos\\_de\\_estructuras\\_de\\_elementos\\_y\\_de\\_apoyo](https://www.academia.edu/12475425/1.4_Tipos_de_estructuras_de_elementos_y_de_apoyo)
- Faustino, G., Gonzaga, P. y Gimena, L. (2004). *Análisis estructural sistemático. Teorías técnicas y aplicaciones. Su mapa conceptual como herramienta didáctica y de investigación*. <http://cmc.ihmc.us/Papers/cmc2004-073.pdf>
- García, D. (2004). *Acciones y combinaciones de acciones sobre las estructuras*. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Mendoza. <http://www1.frm.utn.edu.ar/metalicas/Guias%20de%20Estudio/CMM-Acciones%20y%20Combinaciones.pdf>

- González, O. (2003). *Análisis estructural*. Limusa.
- Martínez, M., Alirio R. y Quintana, J. (2016). Obtención de la matriz  $Pq=kA$  por el principio de superposición y su uso. *Revista Ingeniería UC*, 23(2), 116-121. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=707/70746634003>
- Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana (Mitma). (s.f.). *Artículo 9. Clasificación de las acciones*. [https://www.mitma.gob.es/recursos\\_mfom/03.pdf](https://www.mitma.gob.es/recursos_mfom/03.pdf)
- Navarro, C. (s.f.). *Conceptos generales del análisis estructural*. [http://ocw.uc3m.es/mecanica-de-medios-continuos-y-teoria-de-estructuras/ingenieria-estructural/material-de-clase-1/transparencias/Capitulo\\_3.-Conceptos\\_generales.pdf](http://ocw.uc3m.es/mecanica-de-medios-continuos-y-teoria-de-estructuras/ingenieria-estructural/material-de-clase-1/transparencias/Capitulo_3.-Conceptos_generales.pdf)
- Salazar, J. (2007). *Mecánica básica para estudiantes de ingeniería*. Universidad Nacional de Colombia. <http://bdigital.unal.edu.co/5856/1/jorgeeduardosalazartrujillo20071.pdf>
- Suárez, V. (2018). *Estática*. Universidad Estatal del Sur de Manabí. [https://www.academia.edu/37106926/FUERZAS\\_INTERNAS.\\_TERCERA\\_LEY\\_DE\\_NEWTON](https://www.academia.edu/37106926/FUERZAS_INTERNAS._TERCERA_LEY_DE_NEWTON)
- Ortiz, D. (2014). *Estructuras Isostaticas*. Editorial Independiente. <https://civilarq.com/estructuras-isostaticas-david-ortiz-soto-libro-pdf/>
- Villarino, A. (s.f.). *Teoría y cálculo de estructuras*. Escuela Politécnica Superior de Ávila. <http://ocw.usal.es/eduCommons/enseanzas-tecnicas/ingenieria-civil/contenido/TEMA%208-TEORIA%20Y%20CALCULO%20DE%20ESTRUC-TURAS.pdf>

## CAPÍTULO 2

# DESARROLLO DE LA ESTRUCTURA

Las estructuras se generan con base a las características que posee la naturaleza, además, se repiten en los edificios formando esqueletos que las mantienen en pie. Esto también pasa en las estructuras de las construcciones, formándose a través de uniones de elementos simples para formar un conjunto que resista la fuerza con el fin de que no se destruyan o deformen. Ellas deben tener algunas funciones básicas como soportar cargas, que es la principal función estructural, mantener la forma para que no se rompan o deformen y proteger las partes delicadas como los elementos internos de la edificación (Glez, s.f.).

### **2.1. Selección del sistema estructural del proyecto arquitectónico**

Los elementos estructurales de los proyectos arquitectónicos son esenciales para hacer realidad las proyecciones realizadas, dado que algo no se puede considerar arquitectónico hasta que no sea materializado, utilizado y vivenciado, con el fin de que dicho elemento se mantenga en pie. Ante esto: “la esencia del diseño estructural consiste en plantear un sistema estructural realizado en un determinado material, con capacidad de transmitir esfuerzos y llevarlos a nivel del terreno con eficiencia, tanto estructural como material y con mínima obstrucción funcional” (Martínez, 2014, p. 02).

El mismo autor refiere que hay condiciones que deben estar pendientes en el diseño estructural sin importar la forma que haya tomado, es necesario considerarlas para

que el edificio esté en pie, teniendo la finalidad de dar el uso que el proyectista requiere. A continuación, se presentan las condiciones a tener en cuenta en el diseño estructural.

**Figura 1. Condiciones para el diseño estructural**



Fuente: Martínez (2014, p. 3).

## **2.2. Adecuaciones del sistema estructural del proyecto arquitectónico**

Las adecuaciones de los sistemas estructurales van en función del proyecto arquitectónico, ya que los elementos estructurales deben ser capaces de albergar una función: “la función es una condicionante del tipo de estructura a utilizarse dependiendo del espacio interior libre necesario, ya que no será lo mismo la estructura necesaria para cubrir un hangar de aviones que la de una escuela o una vivienda unifamiliar” (Martínez, 2014, p. 03). Con esto se declara que el diseño estructural dependerá de la función y el uso de los espacios del proyecto arquitectónico.

Estas adecuaciones que se tienen en cuenta en los diseños estructurales también estarán determinadas por su ubicación, dado que si no hay disponibilidad en las zonas donde se está diseñando o es imposible su adquisición, se imposibilita la realización del proyecto: “El uso de un sistema estructural en un determinado material también puede estar influido por la disponibilidad o la facilidad de su obtención” (Martínez, 2014, p. 07).

## **2.3. Método de la distribución de momentos de Cross**

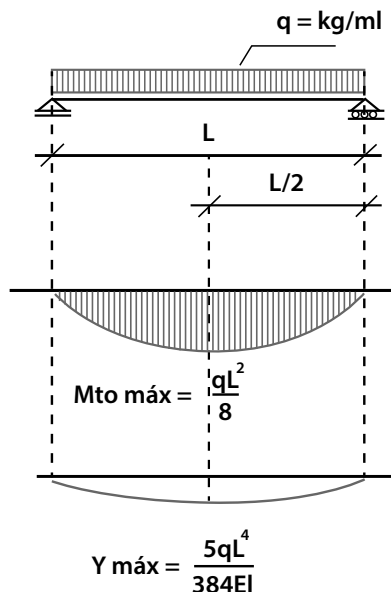
Los cálculos de los elementos estructurales han sido una preocupación para los calculistas al momento de obtener el armado final del proyecto, para esto se necesita

conseguir los momentos definitivos de apoyo, lo cual se puede hacer con bastante exactitud gracias al método de Cross. El método de distribución de momentos de Cross permite el cálculo de estructuras intraslacionales de barras con nudos rígidos y articulados, bajo la afectación de diferentes cargas arbitrarias de apoyo general. Así mismo, se deben tener en cuenta en barras en voladizos, nudos empotrados y articulados, simetría y antisimetría de cargas donde se puedan llevar a cabo algunas simplificaciones en los cálculos (Quiroga, 1982, p. 68).

## 2.4. Principios generales y definiciones

El entendimiento de los métodos de calcular estructuras, es con base a las diferentes herramientas que evalúan las diversas acciones o tensiones en los elementos que componen la estructura. Este método se basa en patrones físicos que se aplican sobre esos elementos y que buscan representar los fenómenos de acción de cargas y deformaciones, además, “nos permite determinar el valor de los momentos en los nudos o los apoyos de elementos hiperestáticos, como lo son vigas empotradas, vigas continuas, losas y marcos rígidos” (Zúñiga, 2000, p. 3). Según esto, se analiza la siguiente imagen:

Figura 2. Principios



Fuente: elaboración propia.

La viga de la imagen anterior es un elemento simplemente apoyado con una carga uniforme y repartida “ $q$ ” y con una luz “ $L$ ”. Si se analizan los valores del momento máximo y de flecha máxima, se puede apreciar que la luz interviene en el valor

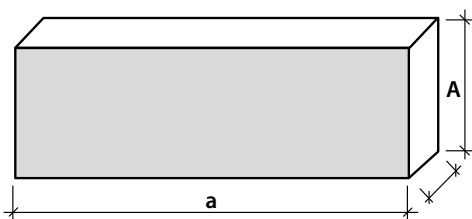
del cuadro en las tensiones de la viga, a la cuarta en la deformación de esta; con esto se deduce que la distancia  $L$  aumenta, mientras la deformación del elemento crece en mayor proporción de sus tensiones. Así, se tiene que: “por otra parte, contar con herramientas que permiten en muchos casos simplificaciones del fenómeno o aproximaciones a la realidad nos permite hacer una evaluación con miras a un predimensionamiento o establecimiento de la factibilidad de nuestras proposiciones” (p. 3).

Estas preposiciones se entienden como las propuestas de diseño de los elementos estructurales con base a las funciones generadas o propuestas en el proyecto. De esta forma, el diseño estructural va apegado al diseño del conjunto de los elementos y esta herramienta es fundamental para el cálculo de los momentos.

## 2.5. Predimensionamiento geométrico para vigas y marcos

El predimensionamiento de las vigas se inicia con las formas geométricas para la forma esencial de ellas, estas se conocen a priori como “Luz  $a_1$ ”, son vigas doblemente apoyadas o sus luces  $a_1$ ,  $a_2$ , sucesivamente. Si la viga está en voladizo  $ab$ , el grosor de la viga debe ser igual o mayor a 12 cm, puede ser considerado como el espesor del muro que la viga soportará, esto sin el revestimiento y la altura del elemento, que no debería ser inferior a 20 cm. En el caso de la viga con dos apoyos, que no tengan voladizos en sus extremos, esta altura se puede generar dividiendo la luz  $a_1 \times 10$ , aproximando al múltiplo de 5 superior (Souza, 2018, p. 1).

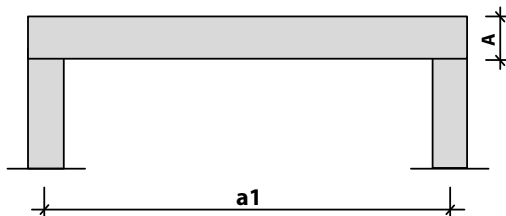
**Figura 3. Predimensión viga**



Fuente: (p. 1).

**Figura 4. Predimensión viga con doble apoyo**

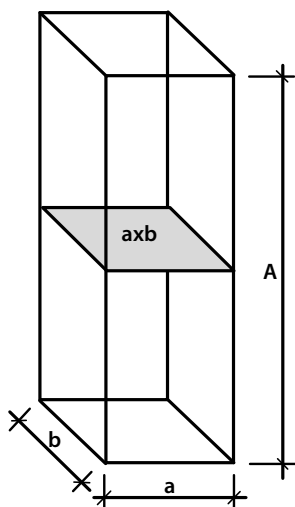
$$A = a_1 / 10$$



Fuente: (p. 1).

Ante esto, teniendo en cuenta el predimensionamiento de las vigas, conjuntamente con el de los pilares se pueden formar los pórticos. Para estos, constituidos por dos pilares, es necesario conocer el área de la sección transversal de los elementos,  $A \times B$ , las consideraciones universales técnicas recomiendan que las dimensiones de A y B sean iguales o mayores a 19 cm. Sin embargo, en algunos casos, por exigencias de diseño pueden ser de 14 cm, esta condición solo se da cuando la sección transversal es mayor o igual a 360 m<sup>2</sup>, también en el caso que la mayor dimensión de la sección transversal no sea muy superior al doble de la menor dimensión:  $B \leq 2A$ .

**Figura 5. Predimensionamiento de pilares**



Fuente: (p. 1).

## 2.6. Distribución de momentos para vigas continuas, diagramas y armado teórico

Para la distribución de los momentos en los elementos (vigas), se deben tener en cuenta algunos postulados como la reducción del momento absoluto, además de compensar aumentando los momentos en las partes no críticas:

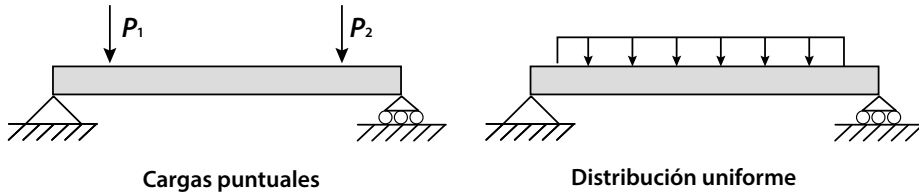
Cuando sea posible el ajuste debe hacerse de manera tal que los momentos de diseño negativo y positivo en las secciones críticas tiendan a la igualdad. Esto conducirá a una disposición simple y a menudo simétrica de las armaduras longitudinales de flexión en estas secciones (Quispe y Rojas, s.f., p. 3).

A su vez, Rojas *et al.*, define los requisitos generales para la redistribución de los momentos, hay que tener en cuenta el lugar donde se forman las roturas, ellas deben tener ductilidad suficiente para asimilar rotaciones inelásticas. Asimismo, las rótulas plásticas no deben formarse a nivel de cargas de servicio porque estas se agrietan,



de la misma manera los ajustes del momento negativo y positivo que deben hacerse para cada estado de la carga. Por esto, es necesario considerar el equilibrio estático entre las cargas externas y las fuerzas interna de cada sección en los apoyos (nodos) y los tramos, antes y posterior a la distribución de los momentos.

**Figura 6. Distribución de momentos**



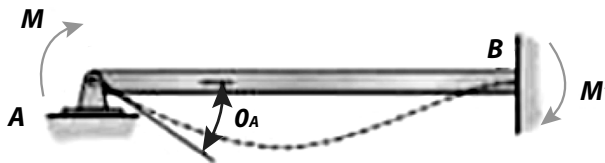
Fuente: (s.a., 2011, p. 1).

En la figura 6 se pueden detallar vigas estáticamente determinadas con cargas puntuales y uniformemente distribuidas. En estos elementos, el momento flexionante produce un esfuerzo normal en una parte de la viga que aumenta en los extremos, es de cero en el eje neutro de la viga.

## 2.7. Modificaciones al factor de rigidez

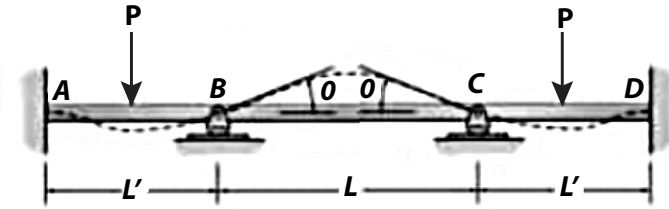
El factor de rigidez de los elementos estructurales se establece cuando el valor o la cantidad del momento  $M$ , esto hace que gire el extremo A de la viga en OA: “el  $M$  hace que el extremo A gire a través de un ángulo OA, usando el método de la viga conjugada” (Pedraza, 2015, p. 6). Esto se muestra en la figura 7:

**Figura 7. Factor de rigidez**



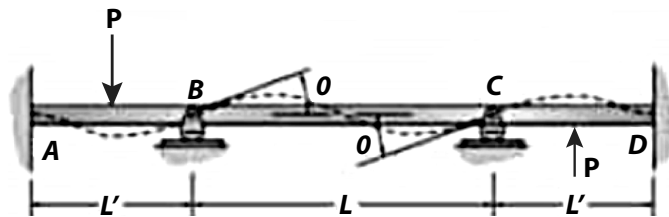
Fuente: (p. 6).

Para que se den las modificaciones al factor de rigidez en vigas y cargas simétricas, es necesario tener en cuenta: “se modifica su rigidez para su clero central, los momentos solo deben distribuirse a través de las juntas que están en ambos puntos medios de la viga” (p. 7). Con esto, se tiene que los momentos internos B y C son idénticos, solo se distribuyen momentos en la mitad de la viga.

**Figura 8. Modificación factor rigidez cargas simétricas**

Fuente: (p. 6).

En el caso de la modificación de las cargas asimétricas, si se somete la carga, el diagrama será antisimétrico en el momento. Se debe considerar la mitad de la viga, con esto la carga antisimétrica en el momento interno en B es igual, pero opuesto a C.

**Figura 9. Modificación factor rigidez de cargas asimétricas**

Fuente: (p. 6).

## 2.8. Distribución de momentos para marcos sin desplazamiento lateral, diagramas y armado teórico

El proceso de distribución de momentos se basa en la restricción de la rotación por medio de sujeciones imaginarias aplicadas en ambos extremos del elemento mediante la aplicación de cargas existentes sobre los elementos de la estructura fija. Por ello, los elementos están sin desplazamiento, ahí se calculan los momentos de empotramiento de los extremos en el elemento. Así, se tiene que:

El nodo liberado rota bajo la acción del momento de disequilibrio hasta encontrar su posición de equilibrio, este se alcanza cuando se produzca, en los extremos de las barras conectadas al nodo, momentos suficientes que sean capaces de equilibrar el nodo (Escobar, 2007, p. 120).

Lo anterior se conoce como momentos distribuidos, los cuales aparecen en los extremos del elemento conectados a los nodos que transmiten a su extremo opuesto el momento con magnitud igual a la mitad del momento que se distribuyó y que sea de igual signo. Ya con el nodo equilibrado, y transmitidos los momentos a los

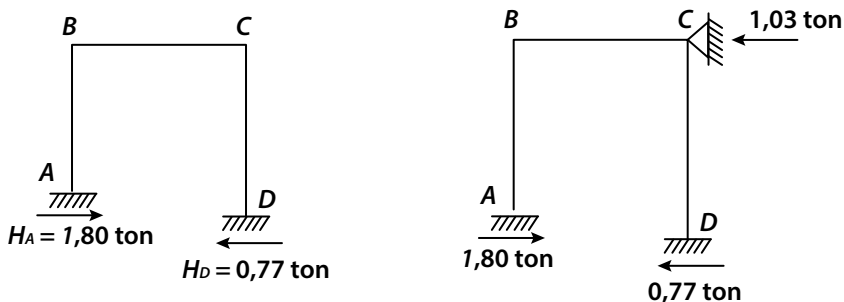
nodos contiguos opuestos de cada barra, este procedimiento se repite con los demás nodos de la estructura cuando sea necesario.

El autor Escobar define los procedimientos para el desarrollo de estructuras sin desplazamiento entre los nodos, por medio del método de Cross, calculando la rigidez de las barras en la estructura; después, hallando el factor de distribución para posteriormente liberar a uno de los nodos con el fin de lograr un equilibrio. Es allí donde entra la distribución del valor negativo del momento en desequilibrio del nodo, los momentos distribuidos tendrán signo contrario al del momento en desequilibrio. Siguiendo a esto, se tiene que transmitir la mitad del momento distribuido en cada barra a su extremo opuesto, el cual debe poseer el mismo signo del momento distribuido, después hay que empotrar el nodo y liberar el otro desequilibrado (Escobar, 2007, p. 120). En este sentido, si la distribución se realizó de forma correcta, los momentos finales de los elementos sin desplazamiento deben satisfacer las ecuaciones de equilibrio de los momentos en todos los nodos de la estructura.

## 2.9. Distribución de momentos para marcos con desplazamiento lateral, diagramas y armado teórico

En marcos que tienen posibilidad de tener desplazamientos laterales se debe considerar “el equilibrio de todas las fuerzas horizontales que actúan sobre el marco, incluyendo las reacciones horizontales en los apoyos” (Campuzano, s.f., p. 1). Para esto, en los momentos en los elementos (columnas), se analizan las reacciones horizontales en los diferentes apoyos A, D, como no existe carga lateral que se esté aplicando en el marco, no se cumple el equilibrio de la fuerza horizontal.

Figura 10. Marcos con desplazamiento lateral



Fuente: Campuzano (s.f., p. 7).

¡Estos marcos no están en equilibrio, pero los nudos sí, el autor Campuzano establece que para cumplir la condición de que las fuerzas estén en equilibrio es necesario introducir un apoyo más como se muestra en la figura 9. Con este apoyo

se genera una reacción de derecha a izquierda de 1,03 ton, siendo la diferencia entre las dos reacciones horizontales en los apoyos A, D.

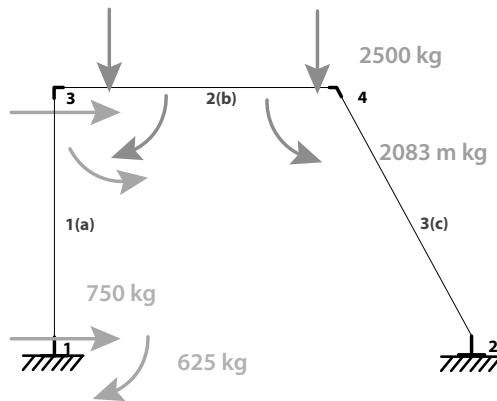
## 2.10. Desplazamiento y giros en estructuras, método de superposición

Esto se da en la matriz de rigidez en la estructura con nudos susceptibles de los desplazamientos, donde en las estructuras planas con nudos rígidos se deduce desplazamiento en los ejes X y Y. Esto implicará que los datos que se obtendrán en los desplazamientos de los nudos de los elementos estructurales se expresarán en coordenadas globales. Para comprender el desplazamiento, se tiene que:

Entenderemos como desplazamiento el cambio de posición de una sección, entendiendo como tal su posicionamiento y el ángulo girado y, por tanto, el término tiene un sentido más amplio que el propio de una traslación, razón por la que utilizaremos también el término: movimiento (García, s.f., p. 1).

Estas estructuras se encuentran en un plano vertical con cargas que se encuentran en el mismo plano, como lo son cargas gravitatorias y sobrecargas por usos como nieve o viento. Lo anterior, dado que la mayoría de las estructuras se apegan a esto, por ejemplo, los pórticos o los marcos.

**Figura 11. Superposición de sistemas de esfuerzos**



Fuente: García (s.f., p. 1).

En la figura anterior se superponen los sistemas de desplazamientos que se encuentran en cargas, el sistema de desplazamiento corresponde a las barras vinculadas en sus extremos por empotramiento elástico. Estos desplazamientos se bajan en alargamientos y acortamientos coherentes con las sollicitaciones de tracción y compresión, sumado a los giros derivados de las demandas de flexión que someten a las barras.

## 2.11. Bibliografía

- (s.a.). (2011). *Resistencia de materiales Aplicada*. Dimec. [https://mecanica-usach.mine.nu/media/uploads/Apuntes\\_curso\\_RMA\\_clase\\_4.pdf](https://mecanica-usach.mine.nu/media/uploads/Apuntes_curso_RMA_clase_4.pdf)
- Campuzano, J. (s.f.). *Método de Cross para marcos con desplazamiento lateral*. <https://es.scribd.com/presentation/336272594/Capitulo-9-Metodo-de-Cross-Marcos-Con-Desplazamientos>
- Escobar, J. (2007). *Elaboración de notas de clase de la asignatura análisis de estructuras II*. Universidad Industrial de Santander. <http://tangara.uis.edu.co/biblioteca/web/tesis/2007/122833.pdf>
- García, N. *Cálculo matricial de estructuras planas de nudos rígidos*. Universidad de Sevilla. [http://ocwus.us.es/mecanica-de-medios-continuos-y-teoria-de-estructuras/calculo-de-estructuras-1/apartados/apartado8\\_6.html](http://ocwus.us.es/mecanica-de-medios-continuos-y-teoria-de-estructuras/calculo-de-estructuras-1/apartados/apartado8_6.html)
- Glez, A. (s.f.). *Estructuras*. <https://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2011/10/estructuras-revisic3b3n-2012.pdf>
- Martínez, C. (2006). *Diseño estructural y análisis de carga*. Universidad Nacional de Tucuman. <https://es.calameo.com/read/003386443b38437c1f2dd>
- Souza, C. (2018). *Aprende a pre-dimensionar una estructura de hormigón armado*. <https://www.archdaily.co/co/891874/aprende-a-pre-dimensionar-una-estructura-de-hormigon-armado>
- Pedraza, J. (2015). *Resistencia de materiales II*. <https://es.scribd.com/document/339976950/Metodo-de-Hardy-Cross-1>
- Quiroga, A. (1982). *Cálculo convencional de estructuras. Teoría estructuras reticuladas*. Universidad de Santander. [http://oa.upm.es/32465/1/SAMARTIN\\_054.pdf](http://oa.upm.es/32465/1/SAMARTIN_054.pdf)
- Quispe y Rojas. (s.f.). *Concreto armado I, redistribución de Momentos*. Universidad Privada del Norte. <https://es.slideshare.net/JhimyQuispe1/redistribucion-de-momentos>
- Zúñiga, I. (2000). *Método de Cross*. Universidad de Chile, Facultad de arquitectura y urbanismo.

## CAPÍTULO 3

# ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA

En los sistemas estructurales, la mampostería se considera los sistemas que tienen materiales de origen pétreo mezclado con mortero de hormigón. Estos adoptan determinantes individuales que los conforman, aunado a las propiedades individuales de cada elemento se comportan de manera muy variable, siendo necesario realizar pruebas que determinen su resistencia y durabilidad:

[...] la realización de este trabajo contribuirá a la evaluación de las ventajas y desventajas que presenta este sistema constructivo haciendo énfasis en la fase de diseño, por lo cual, se incluirán y tendrán en cuenta todos los factores que hacen sensible la fase de diseño del sistema (Rodríguez, 2015, p. 13).

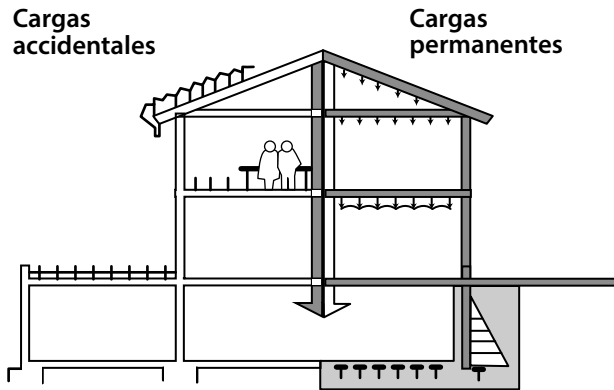
### **3.1. Cargas muertas**

Las estructuras están compuestas por diferentes tipos de carga, las cuales tienen que tomarse en cuenta para su diseño y posterior cálculo, con esto se asegura la estabilidad estructural bajo cualquier factor que le pueda afectar. Una de las cargas que se debe tomar en cuenta es la carga muerta, de acuerdo con las Normas Técnicas Complementarias sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones: “se considerarán como cargas muertas los pesos de todos los elementos constructivos, de los acabados y de todos los elementos que ocupan una posición permanente y tienen un peso que no cambia sustancialmente con el tiempo” (NTCS-2001, s.f.).

En esta definición se establece lo que hay que tener en cuenta en los diseños estructurales, por cuanto esos pesos que no tienen alguna variación y que van a ser constantes son los que se consideran de este tipo, es necesario considerarlos en los cálculos de las cargas muertas.

Así mismo, las Normas Técnicas Complementarias sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones, establecen que para la evaluación de las cargas muertas se usarán dimensiones específicas en los elementos de construcción, así como los diferentes pesos unitarios de los materiales usados. De esta manera, se analizan los valores mínimos de las cargas probables cuando afecten la estabilidad de la estructura en casos de volteo, flotación, lastre y succión producida por viento; en los otros casos se utilizarán datos máximos que sean probables.

**Figura 1. Cargas muertas**

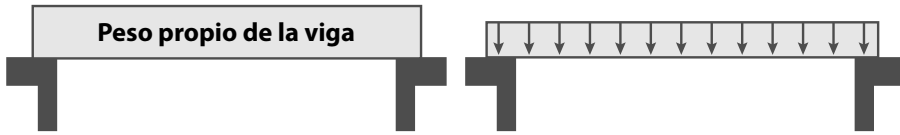


Fuente: Consulsteel (2013. s.f.).

### 3.2. Peso propio

Otra de las cargas a considerar en las estructuras es la del peso propio, dado que es la que sustentará las demás, dicha estructura la identificamos así: “son aquellas que permanecen fijas o permanentes durante la vida útil de la estructura, generalmente la conforman el peso propio de la estructura, tabiques, acabados, equipo y maquinaria, con el carácter de estacionarios” (Flores, 2008, p. 1).

Flores establece que para el prediseño se obtienen algunos datos que tienen relación con obras que han sido construidas. Cabe destacar que este tipo de cargas la componen generalmente vigas, losa y diagramas que constituyen la carga muerta permanente. Adicional a estas también se tienen aceras, postes, pasamanos, capas de tuberías, cables y demás servicios públicos.

**Figura 2. Peso propio de una viga**

Fuente: Flores (s.f., p. 1).

### 3.3. Acabados

Los acabados se encuentran entre los pesos permanentes que tienen las estructuras, por ello la importancia de tomarlos en cuenta para el diseño de estas. Sobre los acabados los podemos decir que:

Se conocen como acabados, revestimientos o recubrimientos a todos aquellos materiales que se colocan sobre una superficie de obra negra. Es decir, son los materiales finales que se colocan sobre pisos, muros, plafones, azoteas, obras exteriores o en huecos y vanos de una (Massieu, 2008, p. 6).

Estos acabados tienen algo más que la estética en las estructuras, una de ellas es el recubrimiento de los sistemas estructurales y los materiales con que fueron construidos, que además dan una apariencia agradable a un determinado espacio que cumple una misión funcional, brindando belleza, confort y estética. En función del diseño y los espacios se procede a seleccionar los diferentes materiales que influirán en el presupuesto y el diseño estructural.

Así mismo, se pueden clasificar dependiendo de los materiales a utilizar en la construcción: “Los materiales varían según el tipo de acabado que se desee, pero los más empleados son barro y cemento (tejas), mármol y cuarzo (incrustaciones), piedra artificial, pastas acrílicas y pinturas de diferentes colores” (Hernández, s.f.). De la misma manera, Hernández define otros revestimientos como interior y exterior, donde los primeros tratan de muros con diferentes grosores y texturas; mientras que los exteriores consideran más lo estético, por ello la protección de la estructura juega un papel fundamental aquí.

### 3.4. Instalaciones

Cuando se terminan de proyectar las edificaciones necesitan de varios tipos de sistemas para su óptimo funcionamiento, en el caso de una vivienda se considera a “todos los sistemas de distribución y recogida de energía o de fluidos que forman parte de la edificación, la mayoría de las instalaciones de una vivienda se estructuran muy parecido” (Acosta, s.f., p. 1).



Entre los tipos de instalaciones que se pueden encontrar en las edificaciones, las instalaciones eléctricas son las encargadas de la distribución de la energía en todo el edificio. Por su parte, las instalaciones de agua establecen las necesidades de los seres humanos (captación, almacenaje y red de distribución), después de ser usadas dichas aguas se ubican como aguas servidas; se deben tener y diseñar las acometidas de las red de alcantarillado, que recoge todas las aguas negras de la edificación. A esto se suma la calefacción, que es el mantenimiento de una temperatura adecuada para mantener el confort en el interior de la vivienda, especialmente para climas con temperaturas muy bajas. Otro tipo de energía a distribuir en algunas edificaciones es el sistema de distribución de gas, no menos importantes son la telefonía e internet (p. 1).

**Figura 3. Instalaciones en edificios**



Fuente: (p. 1).

### **3.5. Carga viva máxima de acuerdo con las Normas Técnicas Complementarias Vigentes**

Las cargas máximas se deben considerar ante la aplicación de las cargas vivas, de acuerdo con las Normas Técnicas Complementarias sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones, la carga máxima ( $W_m$ ), se debe usar en diseño estructural por fuerzas gravitatorias donde se calculen asentamientos inmediatos en suelos, así como en el diseño estructural de los cimientos ante cargas gravitacionales. De la misma manera, la carga instantánea ( $W_a$ ) se tiene que usar en los diseños sísmicos y por viento cuando se deban revisar las distribuciones de carga desfavorables de la uniforme repartida. En caso de que la carga viva sea

favorable para la estabilidad de la estructura (como es el caso de los problemas de flotación y succión por viento), su intensidad se considerará nula sobre toda el área.

### 3.6. Predimensionamiento de losas, vigas y muros

Para la realización de un proyecto arquitectónico se deben tener en cuenta los elementos estructurales para jugar con la forma que se desee diseñar, esto es un proceso de análisis bajo la lógica estructural de dichos elementos desde una idea inicial hasta la que finalizará el proyecto. Entonces, los elementos estructurales no son definitivos, se van optimizando a medida que el proyecto avance, cuando se inicia el proceso de predimensionamiento se debe comenzar por cuál es la principal carga, que es su peso. Por ello, se deben definir las dimensiones, es ahí cuando entra la dualidad entre el arquitecto que diseña y el ingeniero que calcula los elementos. Así pues, debe existir una idea aproximada sobre esos elementos para establecer lo más parecido que no cambie mucho a la hora de finalizar la propuesta, ante esto:

Con el objetivo de resolver este *impasse*, se desarrollaron procesos expeditos de predimensionamiento de las estructuras que, aunque no presentan resultados exactos, se acercan mucho a ellos. Evidentemente, es necesario realizar cálculos estructurales posteriores con todo el cuidado y la exactitud exigidos por las normas técnicas, pero, al menos, el predimensionamiento entrega un punto de partida para que el proyecto sea efectuado (Souza, 2018).

Por ejemplo, para las losas, en el caso de las luces se deduce la longitud  $a_1$  y ancho  $a_2$ . Se van determinando cuando se establezca su perímetro, la única información que no se conocerá es la altura. Cuando esta es maciza se divide su luz menor por 40 evitando alturas inferiores por 7 cm en losas para pisos comunes y 12 cm para las que deban soportar tránsito; en el caso de las losas prefabricadas se puede tener una idea inicial dividiendo la luz menor por 20. Para las columnas y empezar a predimensionar, se dependerá de la esbeltez y la carga que soporta, ante esto los elementos que deban soportar mucha carga o que son muy largos necesitan secciones mayores. Por este motivo se puede utilizar la expresión:  $A_g = 18 * P$ , donde:

$A_g$  = área de la columna en  $c^2$

$P$  = carga axial en toneladas

Para cargas sometidas simultáneamente a esfuerzos con compresión y flexión (en columnas laterales) usar  $A_g = 43 * P$ , en ambos casos la denominación “P” se calcula en función del peso que llevará la edificación por área.

### 3.7. Áreas tributarias

Las áreas tributarias se pueden considerar como la distribución de los valores de las cargas para ser repartidas en toda la estructura mediante losas y columnas, ante esto:

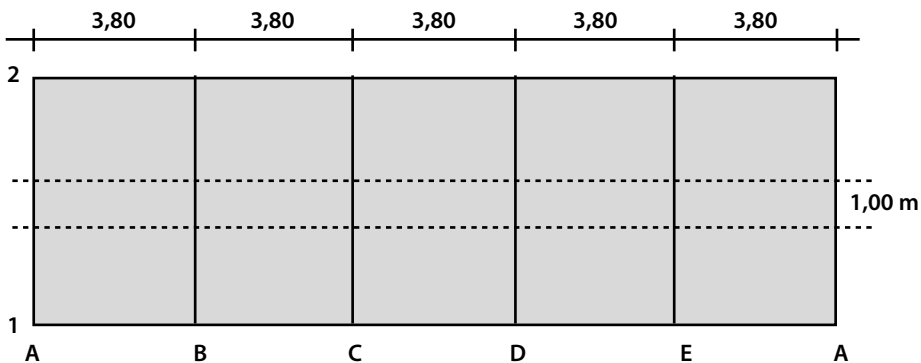
Podemos definir al área tributaria como la comprendida entre las líneas paralelas a ejes y coincidentes con la mitad de la luz de los tramos adyacentes. La carga (kg/ml) en una viga se obtendrá multiplicando la carga unitaria, por el valor de la semiluz adyacente o la suma de las semiluces adyacentes, según se trate de tramos exteriores o interiores (Rodas, 2014, p. 44).

El autor también señala que para iniciar las áreas tributarias se obtienen valores razonables para predimensionar que cumplan las siguientes condiciones: las luces son aproximadamente iguales; no deben diferir de más del 20 % en tramos adyacentes; los tramos son interiores; en los exteriores se puede tener una diferencia que puede llegar hasta el 20 %; es posible estimar las cargas mediante el aumento de esa magnitud para la reacción del primer apoyo. Es importante tener en cuenta que las cargas del área tributaria deben ser uniformes, los soportes deben ser simplemente apoyados y con luces simples. Se obtienen valores razonables para prediseño si se cumplen las siguientes condiciones:

1. Las luces son aproximadamente iguales (no difieren en más del 20 % entre tramos adyacentes).
2. Los tramos son interiores.
3. En tramos exteriores la diferencia puede llegar al 20 %, es posible estimar la carga mediante una mayoración de esa magnitud para la reacción del primer apoyo interior.

En la figura 4 se visualiza la distribución de las áreas tributarias.

**Figura 4. Reacciones de áreas tributarias-nudos rígidos**



Fuente: Rodas (2014, p. 44).

### 3.8. Distribución de cargas concentradas en muros

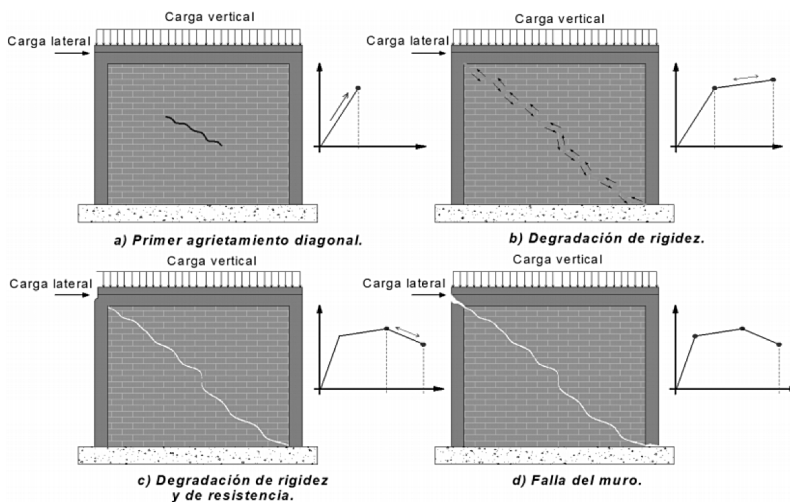
Las construcciones de muros usualmente cumplen dos responsabilidades, la principal es resistir las cargas mediante elementos estructurales que se apoyan en

ella, también separan o delimitan espacios; sin embargo la primera es la clave de este tema, ante esto se debe respetar el orden constructivo que considera: “excavación de cimentaciones, construcción de cimentación corrida, construcción de paredes de planta baja, construcción de pisos de primera planta alta, construcción de paredes de planta alta y así sucesivamente” (Rodas, 2014, p. 33). Desde la cubierta existen muchas cargas que son acumulables distribuidas hasta los cimientos, se deben tomar en cuenta las siguientes determinantes a la hora de diseñar muros como elementos estructurales:

1. Menor altura por menor resistencia del material.
2. Vanos de ventanas pequeñas, vanos grandes dañan elementos de soporte.
3. Menor separación de paredes para minimizar cargas.
4. Comportamiento sísmico bueno en mampostería armada.
5. Mano de obra fácil, no especializada.

Los diseños para los pesos de este tipo de materiales de mampostería tienen un grado de incertidumbre, estas son mayores porque las piezas de los diferentes materiales dependerán de la materia prima utilizada y de sus grados de fabricación, más aún cuando los procesos son artesanales, esta es la diferencia con el hormigón que ha tenido un grado de control de calidad elevado (p. 30).

**Figura 5. Cargas en muros de mampostería**



Fuente: Farah (s.f., p. 70).

### 3.9. Bajada de cargas

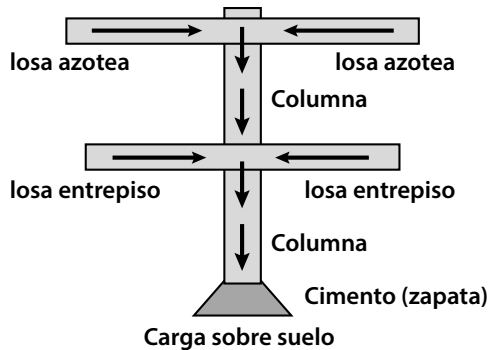
Este proceso se da cuando una estructura recoge y canaliza, desviando las cargas que resultan de las fuerzas internas y externas hacia las cimentaciones, “se requiere la bajada de cargas de la estructura de la cimentación, por lo que una vez se cuente con ellas se podrá determinar la capacidad del asentamiento incluido por la carga de la estructura” (Romero, 2010, p. 200). Por ello, se entiende que este proceso detalla como en las estructuras se captan las diferentes cargas y se canalizan para ser desviadas hacia los cimientos, estas empiezan desde los miembros superiores, como son las cubiertas, y de ahí se desplazan hacia los miembros inferiores denominándose también descenso de cargas, flujo de cargas, o transmisión de cargas.

El objetivo de este proceso es establecer un valor de cargas sobre el terreno que nos permite calcular las dimensiones de la cimentación para cada tramo. Aunque también con base en este procedimiento podemos diseñar lo que son: vigas, columnas y muros de carga (Moreno, s.f., p. 1).

Entre los procesos de bajada de cargas se deben definir algunos pasos, entre ellos se encuentran: la identificación de losas, como las perimetrales, que son cuando existe una relación del claro corto y el largo, no debe ser mayor a 1,5; la otra se concibe en un solo sentido, es cuando existe una relación de claros que da más que 1,5, esto significa que las cargas bajan por los dos lados de la losa (Moreno, s.f., p. 1). El mismo autor establece que la bajada de las cargas se debe analizar al detalle en los proyectos, teniendo en cuenta los diferentes materiales, los pesos de los volúmenes de los elementos y los tipos de cargas a bajar, para así determinar las dimensiones de cada elemento y establecer las cimentaciones con ayuda del análisis geotécnico. Para el proceso definitivo de la bajada de las cargas:

Simplemente multiplica el área tributaria de cada lado de las losas por la carga por metro cuadrado, obteniendo en el análisis de áreas, lo que salga de multiplicar lo divide entre la longitud del tramo analizado, obteniendo así la carga total que recibe cada trabe o viga que delimita las losas (p. 1).

Figura 6. Bajada de cargas



Fuente: (p. 3).

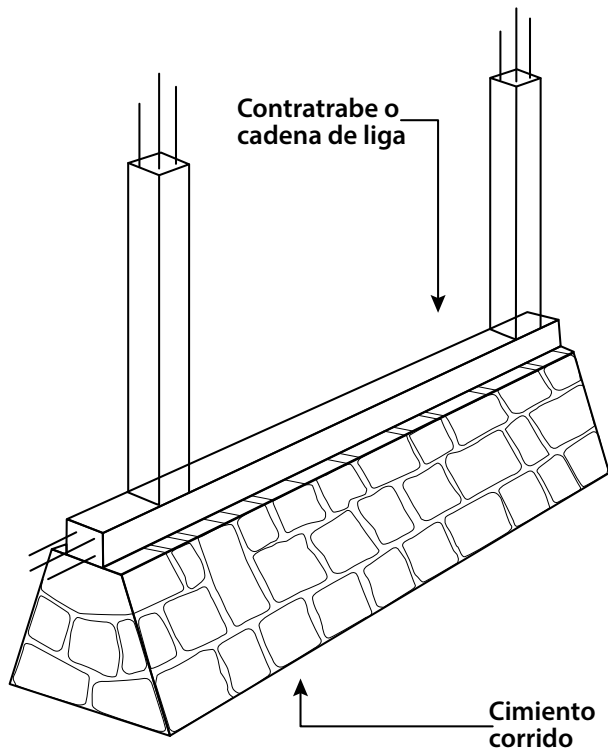
### 3.10. Cimentación corrida de piedra braza

Las cimentaciones tienen como objeto la transmisión de cargas de las estructuras hacia el suelo, ante esto:

La cimentación es la parte estructural del edificio, encargada de transmitir las cargas al terreno, este es el único elemento que no podemos elegir, por lo que la cimentación la realizaremos en función del mismo. Por otro lado, el terreno no se encuentra todo a la misma profundidad, esta es otra circunstancia que influye en la elección de la cimentación adecuada. (García y Lucas, 2018, p. 3).

Ante esto, el propósito de las cimentaciones consiste en soportar las estructuras donde se pueda garantizar la estabilidad y evitar daños estructurales. Así mismo, se considera que dentro de las cimentaciones están las corridas, que son un tipo de cimentación de hormigón armado, el cual es necesario hacer con profundidad y dimensiones dependiendo de los tipos de suelos, utilizándose para la transmisión de cargas por transmisiones muros portantes (García y Lucas, 2018). Sin embargo, estas cimentaciones se pueden presentar con piedra braza, es muy tradicional encontrarlas y hacerlas, aunque esos procesos son más costosos y pesados. Esta piedra es “[...] la más empleada por su fácil manejo y resistencia al desgaste. No son muy necesarios el castillo y la cadena. Este material se clasifica en piedra limpia (40/40); revuelta, de diferentes tamaños y china, como recubrimiento” (Flores y Guerrero, 2005, p. 40).

El mismo autor define que esta piedra es la más usada, se utiliza con una plantilla de concreto  $f'c=150 \text{ kg/m}^2$ , donde se debe mojar antes del proceso, las piedras más grandes se ubican en la parte inferior, con la ayuda de un mortero se proceden a juntar con una proporción de 6:1. Se debe tener en cuenta que no queden huecos formando un ángulo de reposo, además, que no será menor de 60 grados y la corona de 30 cm.

**Figura 7. Cimentación con piedra braza**

Fuente: De la garza (1998, p. 28).

### 3.11. Bibliografía

- Acosta, V. (s.f.). *Instalaciones en viviendas*. <https://es.calameo.com/read/003078820f35c68a344e3>
- Consulsteel. (2013). *Construcción con acero liviano: 1.5 conceptos generales sobre cargas*. [http://consulsteel.com/conceptos\\_cargas/](http://consulsteel.com/conceptos_cargas/)
- Contraloría DF. (s.f.). *Normas Técnicas Complementarias sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones*. <http://www.contraloriadf.gob.mx/prontuario/vigente/740.htm>
- De la Garza, G. (1998). *Materiales y construcción*. Trillas. <https://vdocuments.mx/-l-de-la-garza-gaspar-1991-materiales-y-construccionpdf.html>
- Farah, J. (s.f.). *Inspección y construcción de muros de mampostería*. Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural. [http://www.smie.org.mx/SMIE\\_Articulos/cu/cu\\_14/te\\_01/ar\\_06.pdf](http://www.smie.org.mx/SMIE_Articulos/cu/cu_14/te_01/ar_06.pdf)

- Flores, O. (2008). *Análisis estructural* [Mensaje en un blog]. [http:// analisis-omar.blogspot.com/2008/10/lneas-de-influencia\\_16.html](http:// analisis-omar.blogspot.com/2008/10/lneas-de-influencia_16.html)
- Flores, M. y Guerrero, M. (2005). *Materiales y procedimientos constructivos I*. [Tesis de pregrado]. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. [https://www.uaeh.edu.mx/docencia/P\\_Lectura/icbi/asignatura/MaterialesConstruI.pdf](https://www.uaeh.edu.mx/docencia/P_Lectura/icbi/asignatura/MaterialesConstruI.pdf)
- García, M. y Lucas, R. (2018). *Importancia de las cimentaciones y el estudio del suelo para estructuras construidas en la ciudad de Manta en la zona norte de Tarquí, Ecuador*. [https://www.researchgate.net/publication/328796090\\_IMPORTANCIA\\_DE\\_LAS\\_CIMENTACIONES\\_Y\\_EL\\_ESTUDIO\\_DEL\\_SUELO\\_PARA\\_ESTRUCTURAS\\_CONSTRUIDAS\\_EN\\_LA\\_CIUADAD\\_DE\\_MANTA\\_EN\\_LA\\_ZONA\\_DE\\_TARQUI\\_ECUADOR](https://www.researchgate.net/publication/328796090_IMPORTANCIA_DE_LAS_CIMENTACIONES_Y_EL_ESTUDIO_DEL_SUELO_PARA_ESTRUCTURAS_CONSTRUIDAS_EN_LA_CIUADAD_DE_MANTA_EN_LA_ZONA_DE_TARQUI_ECUADOR)
- Hernández, E. (s.f.) *Definición de acabados de construcción*. <https://es.scribd.com/doc/105956565/Definicion-de-acabados-de-construccion>
- Massieu, W. (2008). *Acabados de la construcción*. Instituto Politécnico Nacional. <https://www.ipn.mx/assets.f.iles/cecyl11/docs/Guias/UATecnologicas/Construccion/5toSemestre/acabados-en-construccion.pdf>
- Moreno, T. (s.f.). *Cargas en estructuras*. <https://www.academia.edu/8555326/50921471-Cargas-en-Estructuras>
- Rodas, H. (2014). *Estructuras I*. Universidad de Cuenca.
- Rodríguez, O. (2015). *Análisis y conceptos básicos para el diseño de mampostería estructural según la norma de sismo resistencia NRS-10*. [Tesis de pregrado]. Universidad Santo Tomas. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/2628>
- Romero, J. (2010). *Proyecto estructural de edificio para escuela con marcos de acero Q=2*. [Tesis de pregrado]. Instituto Tecnológico Nacional. <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/15009/Proyecto%20estructural%20de%20edificio%20para%20escuela%20con%20marcos%20de%20acero%20Q%3D2.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Souza, C. (2018). *Aprende a pre-dimensionar una estructura de hormigón armado*. <https://www.archdaily.co/co/891874/aprende-a-pre-dimensionar-una-estructura-de-hormigon-armado>





## CAPÍTULO 4

# FUERZA POR VIENTO

El viento es un movimiento de aire originado, en gran medida, por corrientes térmicas en los primeros 15 kilómetros por encima de la superficie terrestre. Esta zona se denomina troposfera, el aire es calentado por la radiación del sol, donde el 40 % de la energía permanece en la zona infrarroja del espectro solar. Esta energía infrarroja se absorbe por la superficie terrestre y se regresa a la troposfera, de la misma manera, esta fuerza genera en la superficie terrestre acciones derivadas de estas corrientes, produciendo fenómenos con fuertes consecuencias a los elementos naturales y artificiales, como son las edificaciones (Mendoza y otros, s.f., p. 11).

El viento representa una amenaza bastante importante en las estructuras de las edificaciones, dado que están latentes y es imposible detectar dichas fuerzas a tiempo. Estas van a variar en cierto modo porque hay lugares que se presentan en mayor magnitud y, otros, en baja magnitud. Ocasionalmente ocasionan diversas situaciones y desastres: “La destrucción causada por los huracanes en el Caribe y Centro América es una fuerza que ha modificado la historia y lo seguirá haciendo en el futuro de la región; el peligro nace de una combinación de factores que caracterizan a las tormentas ciclónicas tropicales: elevación del nivel del mar, vientos violentos y fuerte precipitación” (Gómez y Hernández, 2015, p. 5). Estas fuerzas derivadas en cargas, que pueden soportar las estructuras en algún momento determinado, varían dependiendo de los lugares donde sean más propensas.

## 4.1. Consideraciones generales

Para los diseños estructurales en los edificios se deben tener en cuenta ciertos criterios, uno de ellos es la velocidad del viento, con esto se puede determinar la carga en conformidad con las previsiones. Esto, por cuanto los efectos del viento se derivan de fenómenos naturales a causa del movimiento de rotación de la tierra. Al respecto de esta situación, con base a este movimiento se genera un importante movimiento del aire a gran escala, es la rotación de la tierra que da lugar a dos efectos. Primero, la rotación produce una aceleración sobre las partículas de aire, (fuerza de Coriolis), que provoca un movimiento de las partículas de aire hacia la derecha de su dirección de movimiento en el hemisferio norte y hacia la izquierda en el hemisferio sur; esta fuerza es proporcional a la velocidad angular de la tierra alrededor de su eje. Segundo, la rotación de la tierra se hace evidente en las latitudes medias, debido a dicha rotación las partículas de aire en la atmósfera tienen un momento angular dirigido de oeste a este (Mendoza y otros, s.f., p. 11).

## 4.2. Clasificación de las estructuras por su importancia y su respuesta

Las edificaciones están clasificadas en cuatro categorías, se dividen los elementos que forman parte de ellas en tres clases: según su tamaño, las normas y las especificaciones para estudios, proyectos, construcción e instalaciones. Acerca del diseño de estructuras por viento, la clasificación de estructuras según su tamaño es:

**Tabla 2. Clases de estructuras según su tamaño**

Clase	Descripción
A	Todo elemento de recubrimiento de fachadas, de ventanas, de techumbres y sus respectivos sujetadores. Todo elemento estructural aislado, expuesto directamente a la acción del viento. Asimismo, todas las construcciones cuya mayor dimensión, ya sea horizontal o vertical, sea menor a 20 metros.
B	Todas las construcciones cuya mayor dimensión, ya sea horizontal o vertical, varíe entre 20 y 50 metros.
C	Todas las construcciones cuya mayor dimensión, ya sea horizontal o vertical, sea mayor que 50 metros.

Fuente: INIFED (2015, p. 8).

Siguiendo la normativa de las “Normas y Especificaciones para Estudios, Proyectos, Construcciones e Instalación de México” se tiene que:

En este caso, el diseñador podrá seleccionar, entre las categorías de los terrenos que se encuentren en una dirección de análisis dada, la que provoque los efectos más desfavorables y determinar el factor de exposición para tal

categoría, o seguir un procedimiento analítico más refinado a fin de corregir el factor de exposición (p. 8).

### 4.3. Determinación de la velocidad de diseño

Al respecto, INIFED señala: “La velocidad de diseño,  $v_D$  es la velocidad a partir de la cual se calculan los efectos del viento sobre la estructura o sobre un componente de la misma” (2015, p. 7). De la misma manera, es necesario tener en cuenta un valor de referencia para la velocidad del viento que considere la máxima intensidad que las solicitaciones de viento pueden alcanzar durante su vida útil. Comúnmente, este valor de referencia se denomina velocidad básica del viento, se estima de forma estadística a partir de registros de velocidades de viento en el pasado, medidos en una determinada localidad y en condiciones particulares de altura, exposición y período promedio de registros. (Ossandón, 2008, p. 2). A continuación, se señala que la velocidad de diseño ( $v_D$ ) en Km/h se puede obtener con la siguiente ecuación:

**Figura 1. Velocidad de diseño**

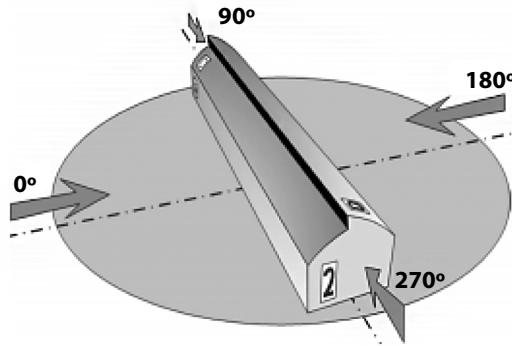
$$V_D = F_T F_\alpha V_R$$

Fuente: INIFED (2015, p. 7).

Ante esta fórmula, se tiene que  $F_t$  es el factor correctivo que considera los factores locales generados de la topografía y la complejidad del terreno. El  $F_\alpha$  toma en consideración los efectos combinados de las características de exposición de la localidad, también el tamaño de la construcción y, además, la variación de la velocidad con la altura. La velocidad regional ( $v_R$ ) es el sitio donde se construirá la estructura, en esta velocidad los factores  $F_\alpha$  y  $F_t$ , se definen según los factores de  $v_R$  y factores de exposición.

### 4.4. Determinación de la presión de diseño

La determinación de la presión de diseño se debe considerar por la generación de fuerza que ejerce sobre las cubiertas, también en marcos y cimientos, las cuales pueden ocasionar daños con vientos extremos donde la presión dinámica del viento dependerá de las alturas de los edificios, la cual se define como la altura que hay, del nivel del suelo, a la altura máxima del techo, ante esto: “Dependiendo de la forma geométrica de la construcción los coeficientes de presión aerodinámicos deben considerarse para la superficie de cada sector de la estructura” (López, 2016, p. 823).

**Figura 2. Presión de diseño**

Fuente: (p. 823).

Para determinar la presión de diseño, siendo el flujo de viento sobre una estructura cualquiera, se toma en cuenta su forma, dada de manera general según las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Viento de México:

**Figura 3. Ecuación calculo presión de diseño**

$$p_z = 0.47 C_p V_D^2$$

$$(p_z = 0.048 C_p V_D^2)$$

Fuente: (s.a., s.f.b., p. 8).

$C_p$ : coeficiente local de presión, que depende de la forma de la estructura.

$V_D$ : velocidad de diseño en m/s a la altura  $z$ , definida en la sección.

## 4.5. Factores de presión

Todas las edificaciones están sometidas a la acción del viento, siendo una constante el riesgo de sufrir daños por diversos efectos relacionados con esta fuerza de la naturaleza, además de los vientos, siendo uno de ellos movimientos horizontales de masas de aire, dados por diferencias de presión en las distintas zonas de la atmosfera y la rotación terrestre que generan factores de incidencia a tener en cuenta (Pérez, 2014, p. 4). Uno de los factores de viento son los factores de presión derivados de las fuerzas de acción del viento, estas cargas son presiones de forma perpendicular a la superficie de los elementos expuestos. Estos factores se dan por medio de las cargas producidas sobre las superficies exteriores y las superficies interiores, así mismo:

Los factores que influyen en la magnitud de esta carga son: la velocidad del viento y su variación con la altura, la magnitud de las ráfagas, las condiciones locales de la superficie del terreno circunvecino, la forma de la superficie expuesta al viento, la zona o región (p. 2).

Pérez (2014) señala que esta carga ecológica tiene una influencia muy importante en las estructuras, al ser tan variable resulta difícil llevarla a planos numéricos. Para las estructuras es primordial, puesto que muchas veces están situados en lugares de gran altura donde la presión del viento alcanza valores considerables que ponen en peligro los elementos estructurales de no haber realizado un diseño cuidadoso, además se debe tener en cuenta la exposición a los fenómenos de la naturaleza a la que están sometidos por su ubicación. De la misma manera, se deben tomar en consideración los tipos de estructuras que establecen la norma y las especificaciones para estudios, proyectos, construcciones e instalaciones de México. Estas son:

- » **Estructura tipo 1:** son poco sensibles a las ráfagas y a los efectos dinámicos del viento. Abarcan todas aquellas en las que la relación de aspecto  $\lambda$ , (definida como el cociente entre la altura y la menor dimensión en planta), es menor o igual a cinco, cuyo periodo natural de vibración es menor o igual a dos segundos. También incluye las construcciones cerradas techadas con sistemas de cubierta suficientemente rígidos, es decir, capaces de resistir las cargas debidas al viento sin que varíe esencialmente su geometría. Se excluyen las cubiertas flexibles, como las de tipo colgante, a menos que por la adopción de una geometría adecuada, proporcionada por la aplicación de pre-esfuerzo u otra medida conveniente, logre limitarse la respuesta estructural dinámica (p. 4).
- » **Estructuras tipo 2:** por su alta relación de aspecto, o las dimensiones reducidas de su sección transversal, son especialmente sensibles a las ráfagas de corta duración (entre 1 y 5 segundos), sus periodos naturales largos favorecen la ocurrencia de oscilaciones importantes en la dirección del viento. Dentro de este tipo se encuentran los edificios con relación de aspecto, mayor que cinco, o con periodo fundamental mayor que un segundo. También, se incluyen tanques elevados, antenas, bardas, parapetos, anuncios y, en general, construcciones que presentan una dimensión muy corta paralela a la dirección del viento. Se excluyen aquellas que de manera explícita se mencionan como pertenecientes a los tipos 3 y 4 (p. 4).
- » **Estructuras tipo 3:** además de reunir todas las características del tipo 2, presentan oscilaciones importantes transversales al flujo del viento provocado por la aparición periódica de vórtices o remolinos con ejes paralelos a la dirección del viento o de ejes paralelos a la mayor dimensión de la estructura. A su vez, incluyen construcciones y elementos aproximadamente cilíndricos o prismáticos esbeltos, tales como chimeneas, tuberías exteriores o elevadas, arbotantes para iluminación, postes de distribución y cables de líneas de transmisión (p. 4).

- » **Estructura tipo 4:** son estructuras que, por su forma o por lo largo de sus periodos de vibración (periodos naturales mayores que un segundo), presentan problemas aerodinámicos especiales. Entre ellas se hallan las formas aerodinámicamente inestables. También pertenecen a esta clasificación las cubiertas colgantes que no puedan incluirse en el tipo 1 y las estructuras flexibles con periodos de vibración próximos entre sí (p. 4).

Estas fuerzas derivadas del viento se determinan por los empujes medios o estáticos, esto implica el diseño de las estructuras del tipo 1, de la misma manera los elementos de fachada y recubrimientos de las construcciones tipo 1, 2 y 3. Los empujes dinámicos correspondientes a las estructuras tipo 2 y 3 no se contemplan en el alcance de estas normas.

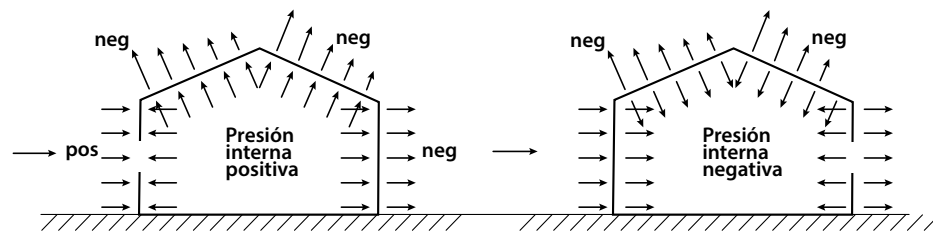
## 4.6. Presiones interiores

Los factores interiores se establecen en las estructuras cerradas que se componen por muros y cubiertas con diferentes tipos de diseños en los techos, formando una construcción con forma de prisma, ante esto se define:

se presentan en estructuras permeables, estas son aquellas con ventanas o ventilas que permitan la entrada del viento al interior de la construcción. El efecto de estas presiones se combinará con el de las presiones exteriores, de tal manera que para el diseño se deben tomar en cuenta los efectos más desfavorables. (NEPEPCI, s.f., p. 5).

Así, estos techos y muros no son impermeables al 100 %, es posible que tengan ventanas y puertas donde los flujos de viento se pueden ingresar, es allí donde se generan las presiones interiores. “Asimismo, una estructura de planta regular en la que uno de sus lados está completamente abierto, se considera como cerrada con una abertura dominante en ese lado. Cuando se tenga una construcción con tres muros o menos, estos se diseñarán como elementos aislados” (NEPEPCI, s.f., p. 16). De la misma manera, las fuerzas que se ejercen tanto internas como externas afectarán a muros y estructuras cerradas, siendo el resultado de la presión que actúa sobre ellas.

**Figura 4. Presión sobre las superficies de un edificio**



Fuente: (s.a., s.f.a., p. 13).

Esta presión interior se puede calcular según normas y especificaciones para estudios, proyectos, construcciones e instalación de México de la SEP, con base a la siguiente ecuación:

**Figura 5. Presión interior**

$$P_i = C_{pi}q_z$$

Fuente: NEPEPCI (s.f., p. 24).

$p_i$ : es la presión interior en kg/m<sup>2</sup>.

$C_{pi}$ : es el coeficiente de presión interior, adimensional.

$q_z$ : es la presión dinámica de base en kg/m<sup>2</sup>.

Para diseñar las estructuras y sus recubrimientos deberá tomarse en cuenta que las presiones interiores actúan simultáneamente con las exteriores.

## 4.7. Área expuesta

Las edificaciones deben pasar y comprobar las acciones que enfrentarán con las cargas del viento, las cuales varían dependiendo del lugar y tipo de fuerzas, dichas fuerzas se generan paralelas a la superficie como producto de presión exterior, afectando las estructuras que se encuentran en la trayectoria de los flujos de viento. Sobre esta área actúa la presión calculada con la ecuación de presión de diseño, esta se toma igual que la superficie expuesta al viento proyectada en plano vertical; esto no sucede en techos y elementos de recubrimiento donde se tomará el área total.

En las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Viento de México, se señala que la dirección de las presiones del viento será normal a la superficie considerada. Esta definición se aplica tanto para el método estático como para el simplificado. En superficies con vanos, como las estructuras reticulares, solo se considerará el área proyectada de las partes sólidas. Cuando se tengan elementos reticulares en diversos planos podrá tomarse en cuenta la protección que algunos de los miembros proporcionan a otros, mediante algunos criterios.

## 4.8. Coeficientes de presión por el método simplificado

El coeficiente de presión correspondiente al segmento de cubierta en consideración y la presión dinámica del viento. Las cargas de viento aparecen como fuerzas de presión y succión sobre la superficie de invernadero; por otro lado, la presión dinámica del viento depende de la altura efectiva del edificio, la cual se define como la distancia entre el nivel del suelo, la altura promedio y el punto más alto del techo (López, 2016, p. 1). En este sentido, las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Viento de México, establecen los coeficientes de presión a tener

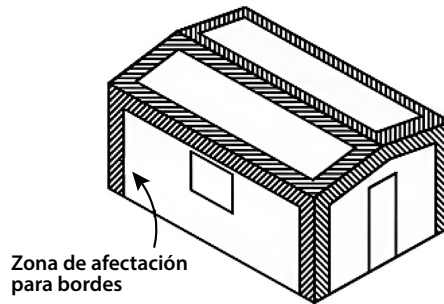


en cuenta en muros y techos de edificaciones que cumplan con los requisitos para aplicar el método simplificado (figura 6).

En los bordes de muros y techos se considerarán los coeficientes de presión en aristas indicados en la figura 6. Estos coeficientes de borde solamente se aplicarán para el diseño de los sujetadores en la zona de afectación indicada en la figura y el ancho de la zona de afectación a lo largo de los bordes de muros y techos será la décima parte de su dimensión menor (ancho o largo), o del total de su altura (si esta resulta menor).

**Figura 6. Coeficientes de presión para el método simplificado**

Superficie	Cp	Cp(en bordes)
Muros	± 1,45	± 2,25
Superficie	± 2,1	± 3,4



Fuente: (s.a., s.f.a., p. 15).

Este coeficiente de presión se halla como muestra la ecuación de la figura 7. Donde:

$C_p$  = el coeficiente de presión del viento.

$p$  = la presión que actúa sobre el modelo ( $N\ m^{-2}$ ).

$P_s$  = la presión estática sobre el túnel de viento ( $N\ m^{-2}$ ).

$q_h$  = la presión de flujo libre ( $N\ m^{-2}$ ).

$\rho$  = la densidad del aire ( $kg\ m^{-3}$ ).

$U_H$  = la velocidad del viento a la altura de referencia ( $m\ s^{-1}$ ).

**Figura 7. Ecuación**

$$C_p = \frac{P - P_s}{q_h}$$

$$q_h = \frac{1}{2 * \rho * U_H^2}$$

Fuente: López (2016, p. 825).

## 4.9. Bibliografía

- (s.a.). (s.f.a). *Diseño e implementación de un programa para el cálculo de acciones climáticas de viento y de nieve sobre edificios tipo según el CTE-SE-AE y el EC-1*. <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/104380/Memoria%20PFC.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- (s.a.). (s.f.b). *Normas Técnicas Complementarias para el Diseño por Viento de México*. <http://www.smie.org.mx/archivos/informacion-tecnica/normas-tecnicas-complementarias/normas-tecnicas-complementarias-dise-no-viento-2017.pdf>
- Gómez, A. y Hernández, P. (2015). Determinación de la carga por viento extremo en naves con cubiertas a dos aguas. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, 9(1). <https://www.redalyc.org/pdf/1939/193948443002.pdf>
- Instituto Nacional de la Infraestructura Física Educativa. (INIFED). (2015). *Normas y Especificaciones para Estudios, Proyectos, Construcción e Instalaciones*. [https://www.cmic.org.mx/comisiones/Sectoriales/normateca/INIFED/03\\_Normatividad\\_T%C3%A9cnica/02\\_Normas\\_y\\_Especificaciones\\_para\\_Estudios/04\\_Volumen\\_4\\_Seguridad\\_Estructural/Volumen\\_4\\_Tomo\\_III.pdf](https://www.cmic.org.mx/comisiones/Sectoriales/normateca/INIFED/03_Normatividad_T%C3%A9cnica/02_Normas_y_Especificaciones_para_Estudios/04_Volumen_4_Seguridad_Estructural/Volumen_4_Tomo_III.pdf)
- López, V. (2016). Análisis de coeficientes de la fuerza del viento y comportamiento del flujo sobre un modelo de invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(4). [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342016000400821&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342016000400821&lng=es&nrm=iso)
- Mendoza y otros. (s.f.). *Efectos del viento en estructuras*. Universidad Autónoma de Aguascalientes. [https://www.researchgate.net/publication/282649701\\_EFECTO\\_DE\\_VIENTO\\_EN\\_ESTRUCTURAS](https://www.researchgate.net/publication/282649701_EFECTO_DE_VIENTO_EN_ESTRUCTURAS)
- Ossandón, R. (2008). *Determinación de la acción del viento sobre las estructuras en Chile*. [Tesis de grado]. Universidad de Chile. [http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/103268/ossandon\\_rt.pdf?sequence=3&isAllowed=y](http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/103268/ossandon_rt.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
- Pérez, H. (2014). Influencia de la carga de viento en puentes. Caso de estudio tablero del Puente del Abra del Yumurí. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, 8(2), 1-53. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=1939/193932724002>



## CAPÍTULO 5

# FUERZAS SÍSMICAS

Las fuerzas sísmicas en el diseño arquitectónico son vistas por los profesionales, en la materia de la construcción de estructuras, como aquellas fuerzas que pueden ser detectadas bajo esquemas espectrales reflejados en los mapas de zonificación sísmica de la mayor parte de países del mundo. Dichos sismos reflejados en los mapas según Falcón (2006, p. 40) “tienen un período de retorno de 475 años y corresponden a sismos muy intensos” (p. 20).

En cuanto a la mayoría de las estructuras, los diseños salen costosos y no tiene sentido, es por ello que un sismo intenso se registra con poca frecuencia. La finalidad de conocer en el diseño estructural las fuerzas sísmicas es la de obtener una seguridad adecuada cuando exista un sismo máximo probable. Lo anterior, optimizará recursos porque no existirán pérdidas de vidas ni fallas estructurales mayores, tal vez se den daños que lleguen a afectar el funcionamiento de las estructuras, pero no mayores reparaciones de interés. De esta manera, es posible reducir la probabilidad de pérdidas económicas en la construcción a cambio de una inversión inicial mayor.

Las fuerzas sísmicas permiten a los diseñadores arquitectónicos detectar con precisión la probabilidad de ocurrencia de sismos durante la vida útil de la estructura de una edificación. Significa, por tanto, que un buen diseño y unas consideraciones normativas sobre las fuerzas sísmicas, sean asumidas con rango muy bajo; no obstante, si se hace necesario, se deben diseñar estructuras que trabajen en un

rango no lineal con el fin de disipar la mayor cantidad de energía, para que así el daño no permita el colapso y lamentables pérdidas humanas.

## 5.1. Zonificación

Consiste en buscar la división de una región en porciones, a fin de destacar y marcar los parámetros en cuyo contexto existan constantes situaciones de diseño sísmico. Sin embargo, ¿qué significa esto?, las leyes de atenuación reflejan significativamente la propagación de las ondas sísmicas de efectos locales sobre aquella roca de la corteza e, incluso, los efectos geológicos, topográficos y de rigidez del subsuelo durante un lapso de tiempo (Universidad Autónoma Nacional de México (UNAM), 2010, p. 1).

Así mismo, la zonificación sísmica se da en aquellos suelos inestables que, de cualquier manera, presentan fenómenos locales cuyas vibraciones o sismos son producto de fallas de suelo y del deslizamiento de la llamada licuación geológica; por ello, debe ser tratada por equipos geotécnicos y específicos. A su vez, se hace propicia la ocasión para mencionar que según la UNAM (2010) la zonificación sísmica corresponde a: “Las zonas de suelos inestables tienen fenómenos locales extremos, donde la vibración sísmica puede provocar fallas de suelo como el de deslizamiento de ladera o problemas de licuación. Estas zonas deben identificarse mediante estudios geotécnicos específicos” (p. 61).

Esto indica que los fenómenos sísmicos pueden ser advertidos con determinados lapsos de tiempo en el uso de tecnologías que identifiquen las situaciones geotécnicas de lugares concretos, es posible que las vibraciones sísmicas sean detectadas al existir fallas del suelo. La microzonificación puede definirse como estudios particulares de menos dimensiones, la UNAM ha dicho que la microzonificación aborda “dimensiones kilométricas de poca delimitación” (p. 64). Mayormente, se hace en las zonas urbanas con tendencias a expansión, para ello se consideran los efectos del sitio y las microzonas sísmicas representadas, por supuesto, en los respectivos mapas de microzonificación. Allí se indican las áreas de estudio, pues quedan demarcadas en sectores potenciales riesgosos y de peligrosidad, de manera ascendente, permitiendo información o datos necesarios para las advertencias de efectos futuros de terremotos y las posibles vulnerabilidades de estructuras en determinadas zonas.

## 5.2. Coeficientes sísmicos

Cuando se trata de coeficientes sísmicos, en materia de diseño arquitectónico, deben ser considerados como la misma acción sísmica, estos son dependientes del lugar geográfico en que se encuentren. En cuyo caso el coeficiente sísmico,  $C$  es el cociente de la fuerza cortante horizontal que debe considerarse que actúa en la base de la edificación por efecto del sismo,  $V_0$ , entre el peso de la edificación sobre dicho nivel,

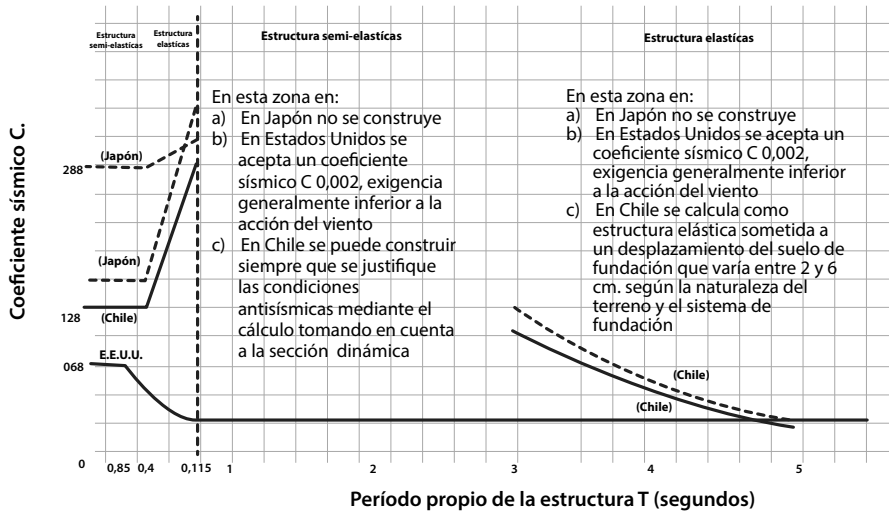
Wo. Cabe señalar que se considerará como base de la estructura el nivel a partir del cual sus desplazamientos se reflejan respecto al terreno en forma significativa. En relación con el cálculo del peso total, se tendrán en cuenta las cargas muertas y vivas en función de las Normas Técnicas Complementarias sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones (UNAM, 2010, p. 1).

De allí que, el tanto por ciento del peso de las construcciones consideradas como fuerza horizontal son equivalentes a dichos coeficientes. Sin embargo, existen diferencias de criterio entre técnicos e investigadores de distintos países y dentro de un mismo país, por ejemplo, Estados Unidos ha presentado problemas sísmicos y se han preocupado por dichas condiciones, así como Chile y Japón. Cuando se refiere la intensidad atribuida a los sismos, estamos hablando de la forma de actuar de estos. Podemos citar el caso de California del Norte, en cuanto a la norma propuesta por el Comité de Fuerzas Laterales (Lateral Force Code, Joint Committee on Lateral Forces) (Instituto de Estabilidad Experimental, 1957): “En el caso de la norma el coeficiente sísmico es  $C=0,06g$  (60 kgs. de fuerza horizontal por tonelada de peso del edificio) para períodos  $T$  de vibración de la construcción comprendidos entre 0 y 0,25 segundos”. Por ello, en los parámetros entre 0,25 y 0,75 segundos, el coeficiente desciende de 0,06 g. a 0,02 g., según una curva dada por la expresión:

$$C = \frac{0,015}{T} \text{ (Para periodos mayores de 0,75 segundos el coeficiente vale 0,02g.)}$$

Esto quiere decir que en los efectos de períodos mayores de 0,75 segundos el coeficiente debe valer 0,02 g. Por lo tanto, la norma se aplica con fatigas máximas admisibles corrientes, obsérvese que (1.200 k/cm<sup>2</sup> a 1.400 k/cm<sup>2</sup>). En la figura 1 se ha llevado en abscisas el período propio de vibración del edificio y en ordenadas el coeficiente sísmico. La línea llena, Estados Unidos, indica los valores del coeficiente sísmico en función del período.

**Figura 1. Coeficientes sísmicos entre Estados Unidos, Japón y Chile**



Fuente: Instituto de Estabilidad Experimental (1957, p. 3).

### 5.3. Reducción de fuerzas sísmicas

La reducción de las fuerzas sísmicas no son más que considerar a un factor que permite a la intervención de dichas fuerzas pasar del espectro elástico al espectro de diseño inelástico, se encuentra estipulado de forma general en las normativas sísmicas para varias tipologías estructurales (Falcón, 2006, p. 329). En ello, intervienen los factores de ductilidad, resistencia y redundancia.

En el mismo orden de ideas, del cálculo del factor de ductilidad se toma en cuenta la tipología de suelo con sus acelerogramas de sismos registrados. También para el cálculo del factor de resistencia son considerados, por ejemplo, la capacidad al corte de las estructuras con aplicación de la Técnica del Pushover, o el cortante de diseño bajo el Método del Espectro de Capacidad. Cuando se trata del factor de redundancia, se consideran dos índices, resistencia y rótulas plásticas; cabe señalar que la resistencia se trabaja con la relación momento curvatura, y de los efectos de las rótulas la cantidad, que conforman un pórtico o pórticos (p. 329).

### 5.4. Combinación de acciones

Al tratarse de la combinación de acciones en materia sísmica se verificará que resistan tanto la estructura como su cimentación. Esta resistencia es dada por: a) momentos flexionantes, b) fuerzas cortantes, c) axiales, d) momentos torsionantes de entrepiso, e) momentos de volteo inducidos por sismo. No obstante, esto, tomando en consideración los combinados que correspondan a otras solicitaciones

y afectados del factor de carga correspondiente. Este criterio se fundamenta según las Normas Técnicas Complementarias sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones (NTCS-2001, 2001, p. 8).

## 5.5. Desplazamientos laterales permisibles

Los desplazamientos laterales permisibles en las estructuras tienen una connotación rígida, desde la óptica del diseño arquitectónico, a los efectos de las fuerzas sísmicas. Por ejemplo, encontramos las diferencias entre los desplazamientos laterales de pisos consecutivos, producidos por las fuerzas cortantes sísmicas de entrepiso, calculados con alguno de los métodos de análisis sísmico. El caso es que la permisibilidad es no exceder 0,006 veces la diferencia de elevaciones correspondientes, salvo que no hayan elementos incapaces de soportar deformaciones apreciables, como muros de mampostería, o que estos se encuentren separados de la estructura principal, de manera que no sufran daños por sus deformaciones (NTCS-2001, 2001, p. 8).

Consecuente al párrafo anterior, el límite en cuestión, por ejemplo, será de 0,012 en función del desplazamiento, para esta será lo que resulte del análisis con las fuerzas, las cuales: “sísmicas reducidas, multiplicado por el factor de comportamiento sísmico,  $Q$ . Este mismo desplazamiento se empleará para la revisión del cumplimiento de los requisitos de holguras de vidrios y separación de edificios colindantes” (NTCS-2001, p. 6). Al calcular los desplazamientos mencionados arriba pueden descontarse los debidos a la flexión de conjunto de la estructura. Por ejemplo, en edificios en que la resistencia sísmica sea proporcionada esencialmente por sistemas de losas planas y columnas, no se excederá en ningún caso el límite de 0,006 (NTCS-2001).

## 5.6. Holguras en vidrios

Las holguras en vidrio se fundamentan en que sus espacios entre vidrios y marcos deben tener flexibilidad, no pueden sesgarse los puntos de apoyo ni ser herméticos, en especial las fachadas tanto interiores como exteriores. Por ello, la colocación de los vidrios en sus respectivos marcos, es decir, la unión de vidrios y marcos con la estructura, deberán ser aquellas mediante las cuales las deformaciones no afecten al débil material o lo que se denomina material vulnerable, que son precisamente los vidrios.

En el mismo orden de ideas, cuando nos referimos a la holgura que debe dejarse entre los vidrios y los marcos, o también entre estos y la estructura, no podrán ser menores que el desplazamiento relativo entre los extremos del tablero o marco. Por ejemplo, calculado a partir de la deformación por cortante de entrepiso y dividido entre  $1+H_v/B_v$ , donde  $B_v$  es la base del tablero o marco y  $H_v$  su altura (NTCS-2001, 2001, p. 8).



## 5.7. Separación de edificios colindantes

La separación de edificios colindantes viene a establecer parámetros de seguridad entre uno y otro, cada país o cada zonificación expone sus propias normas de seguridad. Sin embargo, toda edificación deberá separarse de sus linderos con los predios vecinos, esto indica que ciertamente cada uno debe considerar “una distancia no menor de 50 mm, ni menor que el desplazamiento horizontal calculado para el nivel de que se trate, aumentado en 0,001, 0,003 o 0,006 veces la altura de dicho nivel sobre el terreno” (NTCS-2001, 2001, p. 8). Esto se hará para aquellas zonas demarcadas correspondientes a los tipos I, II o III.

A los efectos normativos de edificaciones colindantes se incluyen los desplazamientos debidos a la flexión de conjunto de la estructura y al giro de su base, en caso de que sean significativos. Por otro lado, en un predio adyacente que se encuentre en una construcción, que esté separado del lindero a una distancia menor que la antes especificada, los especialistas considerarán medidas de seguridad. Así pues, deberá dejarse en la nueva construcción una distancia tal que la separación entre las dos construcciones no sea menor de la suma de las requeridas para cada una (NTCS-2001, 2001, p. 8).

Ahora bien, solo será admisible dejar la separación requerida para la construcción nueva, es así cuando se toman precauciones que, a satisfacción de la administración, deberán evitar posibles daños, garantizándolo desde la óptica del posible contacto entre las dos construcciones, especialmente en las existentes como líneas vitales, edificaciones, centrales de energía entre otras, o durante un sismo o movimientos telúricos que afecten las estructuras.

En este orden de ideas, el uso del método simplificado de análisis sísmico, comentado en el párrafo anterior, constituye separar mencionadas edificaciones cuya intención, en ningún nivel, podrá ser menor de 50 mm o menor que la altura del nivel sobre el terreno, multiplicada por 0,007, 0,009 o 0,012, según sea el tipo de la edificación en las zonas I, II o III, respectivamente. Por ello, la separación entre cuerpos de un mismo edificio, o en la cualidad entre edificios adyacentes, será por lo menos igual a la suma de las que corresponden a cada uno, de acuerdo con los párrafos precedentes (NTCS-2001, 2001, p. 8).

Otra de las cuestiones a considerar en la separación de edificios colindantes es dejar una separación igual a la mitad de dicha suma si los dos cuerpos tienen la misma altura y estructuración. Además, las losas coinciden a la misma altura en todos los niveles, por lo tanto, en los planos arquitectónicos y estructurales se anotarán las separaciones que deben dejarse en los linderos y entre cuerpos de un mismo edificio. En todo caso, los espacios entre edificaciones colindantes y entre cuerpos de un mismo edificio deben quedar libres de todo material (NTCS-2001, 2001, p. 8). Es decir, si en dicha construcción existen tapajuntas, estas deberán permitir los

desplazamientos relativos, tanto en su plano como perpendicularmente a él, de no hacerse sus efectos traerán consecuencias irreparables y podrán causar fracturas estructurales, entre otras.

## 5.8. Condiciones de regularidad

Las condiciones de regularidad representan la óptica dimensional del diseño arquitectónico de la excentricidad de las estructuras, tanto regulares, irregulares, fuertemente irregular y por la corrección por irregularidad.

Cuando se señalan las estructuras regulares, estas deberán responder a una serie de condiciones según Jaramillo (2003, p. 81) y NTCS-2001 (2001, p. 8), que son las siguientes:

- a. Su planta es sensiblemente simétrica con respecto a dos ejes ortogonales, por lo que toca a masas, así como a muros y otros elementos resistentes. Además, estos son sensiblemente paralelos a los ejes ortogonales principales del edificio.
- b. La relación de su altura a la dimensión menor de su base no pasa de 2,5.
- c. La relación de largo a ancho de la base no excede 2,5.
- d. En planta no tiene entrantes ni salientes cuya dimensión exceda el 20 % de la dimensión de la planta medida paralelamente a la dirección que se considera del entrante o saliente.
- e. Cada nivel tiene un sistema de techo o piso rígido resistente.
- f. No tiene aberturas en sus sistemas de techo o piso cuya dimensión exceda el 20 % de la dimensión en planta medida paralelamente a la abertura, las áreas huecas no ocasionan asimetrías significativas ni difieren en posición de un piso a otro, el área total de aberturas no excede en ningún nivel el 20 % del área de la planta.
- g. El peso de cada nivel, incluyendo la carga viva que debe considerarse para diseño sísmico, no es mayor que el 110 % del correspondiente al piso inmediato inferior, ni la excepción hecha del último nivel de la construcción debe ser menor que 70 % de dicho peso.
- h. Ningún piso tiene un área delimitada por los paños exteriores de sus elementos resistentes verticales mayor que 110 %, que la del piso inmediato inferior, ni menor que 70 % de esta. Únicamente, se exime de este último requisito al último piso de la construcción, además, el área de ningún entrepiso excede en más de 50 % a la menor de los pisos inferiores.
- i. Todas las columnas están restringidas en todos los pisos en dos direcciones sensiblemente ortogonales por diafragmas horizontales y por travesos o losas planas.

- j. Ni la rigidez ni la resistencia al corte de ningún entrepiso difieren en más de 50 % de la del entrepiso inmediatamente inferior, el último entrepiso queda excluido de este requisito.
- k. En ningún entrepiso la excentricidad torsional calculada estáticamente excede del 10 % de la dimensión en planta de ese entrepiso, medida paralela a la excentricidad mencionada.

De la misma manera, desde la arquitectura, la estructura irregular es toda aquella estructura que no satisfaga uno o más de los requisitos de la sección anterior. Cuando se trata de las estructuras fuertemente irregulares se hace énfasis en las condiciones que sí cumple, que son algunas de las siguientes:

- a. La excentricidad torsional calculada estáticamente excede en algún entrepiso de 20 % de la dimensión en planta de ese entrepiso, medida paralela a la excentricidad mencionada.
- b. La rigidez o la resistencia al corte de algún entrepiso excede en más de 100% a la del piso inmediatamente inferior.

En consecuencia, se trae a colación lo mencionado por Jaramillo (2003, p. 81), en cuanto a la corrección por irregularidad, en este caso es relevante tomar en consideración al factor de reducción  $Q'$ , el cual se multiplicará por 0,9 cuando no se cumpla con uno de los requisitos establecidos; por 0,8 cuando no se cumpla con dos o más de dichos requisitos; por 0,7 cuando la estructura sea fuertemente irregular. Según las condiciones en ningún caso el factor  $Q'$  se tomará menor que uno.

## 5.9. Fuerzas cortantes

Los métodos dinámicos sobre fuerzas cortantes pueden utilizarse para el análisis de toda estructura, cualesquiera que sean sus características. También puede utilizarse el método estático de fuerzas cortantes para analizar estructuras regulares, de altura no mayor de 30 m y estructuras irregulares de no más de 20 m. Según NTCS-2001 (2001, p. 8), para edificios ubicados en las diferentes zonas se tendrán las siguientes consideraciones:

- a. Para zona I, los límites se amplían a 40 m y 30 m.
- b. Para estructuras ubicadas en las zonas II o III también será admisible emplear los métodos de análisis estático, con los cuales se tienen en cuenta periodos dominantes del terreno en el sitio de interés y la interacción suelo estructura.

Así las cosas, con el fin de aplicar este método se deben cumplir los requisitos establecidos para efectos de calcular las fuerzas cortantes a diferentes niveles de una estructura. Por ello, se supondrán un conjunto de fuerzas horizontales actuando sobre cada uno de los puntos donde se presume que estarán concentradas las masas.

Cada una de estas fuerzas se tomará igual al peso de la masa que corresponde, multiplicado por un coeficiente proporcional a  $h$ , siendo  $h$  la altura de la masa en cuestión sobre el desplante (o nivel a partir del cual las deformaciones estructurales pueden ser apreciables). Es decir, el coeficiente se tomará de tal manera que la relación  $V_o/W_o$  sea igual a  $c/Q'$ , pero no menor que  $a_o$ , donde  $a_o$  es la ordenada espectral que corresponde a  $T=0$  y  $c$  el coeficiente sísmico (Jaramillo, 2003, p. 81). En la siguiente figura se reflejan  $a_o$  y  $c$ :

**Figura 2. Valores de los parámetros para calcular los espectros de aceleraciones**

Zona	$c$	$a_o$	$T_a^{-1}$	$T_b^{-1}$	$r$
I	0.16	0.04	0.2	1.35	1.0
II	0.32	0.08	0.2	1.35	1.33
III <sub>a</sub>	0.40	0.10	0.53	1.8	2.0
III <sub>b</sub>	0.45	0.11	0.85	3.0	2.0
III <sub>c</sub>	0.40	0.10	1.25	4.2	2.0
III <sub>d</sub>	0.30	0.10	0.85	4.2	2.0

1: periodos en segundos.

Fuente: NTCs-2001. (2001). Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo NTCs.

**Figura 3. Valores de los parámetros para calcular los espectros de aceleraciones**

$$F_i = \frac{c}{Q'} W_i h_i \frac{\sum W_i}{\sum W_i h_i}; \quad \frac{c}{Q'} \geq a_o$$

Fuente: Jaramillo (2003, p. 81).

A los efectos con este planteamiento, la fuerza lateral que actúa en el  $i$ -ésimo nivel,  $F_p$ , es de:

$F_p$  resulta ser según la fórmula siguiente:

$W_i$ : peso de la  $i$ -ésima masa.

$h_i$  es la representación de la altura de la  $i$ -ésima masa sobre el desplante (p. 81).

También se describe cada componente:

$a_o$ : aceleración máxima en la superficie del terreno.

$c$ : coeficiente sísmico.

$Q'$ : factor de reducción de las fuerzas sísmicas con fines de diseño, función del periodo natural.

## 5.10. Cálculo de rigideces de entrepiso por el Método de Wilbur

Este método está basado en la rigidez entrepiso, siendo la relación entre las fuerzas cortantes absorbidas por un marco, muro o contraviento en un entrepiso y el desplazamiento horizontal relativo entre los dos niveles que lo limitan. La rigidez así definida no es independiente del sistema de fuerzas laterales, por ello, para calcular con rigor debe conocerse previamente tal sistema (Gutiérrez, 2016, p. 5).

De otra manera, los marcos ordinarios de edificios y el empleo de sistemas de cargas que no son estrictamente proporcionales al definitivo de análisis, introducen errores de poca importancia y, usualmente, es aceptable calcular las rigideces a partir de hipótesis simplificadoras sobre la forma del sistema de fuerzas laterales. En muros y marcos con contravientos y sistemas similares es indispensable tener en cuenta la variación de la carga lateral (p. 5).

Una forma de conocer si la estructura es de cortante o de flexión, es utilizando el parámetro  $\rho$ , denominado índice de rotación, el cual se puede evaluar en cualquier piso y se define por la relación:

$$\rho = \frac{\sum I_v / l}{\sum I_c / h} \quad \begin{array}{l} \sum I_v / l \quad \text{Suma de las rigideces relativas de las vigas de un nivel} \\ \sum I_c / h \quad \text{Suma de las rigideces relativas de las columnas en que se apoyan las vigas} \end{array}$$

Según la fórmula, el proceso de cálculo se hace si  $\rho > 0,10$ , entonces hay puntos de momento nulo en las columnas de todos los pisos, esto presupone que la estructura en cuestión es de cortante. En cuanto a los valores de  $\rho < 0,01$ , la estructura se asemeja a una de flexión, pero para  $0,01 \leq \rho \leq 0,10$ , la situación es intermedia y habrá pisos donde las columnas no tienen puntos de momento nulo. Los métodos aproximados de análisis pueden conducir a apreciables errores del lado de la inseguridad, existe la tendencia de aconsejar el uso de métodos matriciales, es decir, el de rigideces. Posteriormente, se obtiene las rigideces de entrepiso o, lo que es lo mismo, la rigidez lateral por otros métodos como el de condensación estática (p. 5).

La fórmula de Wilbur, según Gutiérrez, es aplicable a marcos regulares formados por piezas de momento de inercia constante en los que las deformaciones axiales son despreciables y las columnas tienen puntos de inflexión. Es decir, para calcular las rigideces de entrepiso solo son aplicables al caso de estructuras de cortante, de igual forma, los marcos regulares constituidos por elementos estructurales de sección transversal constante, es lo mismo que decir momentos de inercia constantes. Respecto al método de Gutiérrez (2016, p. 5) se expone la intuición de las siguientes hipótesis:

- a. Los giros en todos los nudos de un nivel y de los dos niveles adyacentes son iguales, excepto en el nivel de desplante donde puede suponerse empotramiento o articulación, según sea el caso.
- b. Las cortantes en los dos entrepisos adyacentes al de interés son iguales al de este.

### **5.11. Efectos de torsión**

Los efectos de la torsión en estructuras se pueden clasificar como torsión natural y torsión accidental. En cuanto a expresar la torsión accidental, esta resulta de la incertidumbre en la distribución de la masa y la rigidez, además del componente rotacional del movimiento sísmico. En otras palabras, la torsión sucede debido al movimiento rotacional del terreno y es bastante pequeña, pero la torsión accidental se presenta por la incertidumbre en la distribución de la rigidez y de la masa, que se debe tratar por medios estadísticos.

Se puede observar que (Gómez, 2004, p. 148) en relación a los estudios estadísticos recientes ha indicado que el efecto de la torsión accidental se puede estimar en un par de análisis dinámicos en los cuales la excentricidad estática es aumentada o disminuida por 0,05b. Es decir, la disposición planteada se utiliza en la torsión accidental y los resultados se comparan con los valores de la excentricidad del diseño. Así, las expresiones de Gómez, (p. 148) respecto a la excentricidad de diseño, hace ver que continúan siendo adecuadas incluso cuando el efecto de la torsión accidental es incluido.

## 5.12. Bibliografía

- Falcón, R. (2006). Análisis del factor de reducción de las fuerzas sísmicas. *Revista Sul-Americana de Engenharia Estrutural*, 3(1), 101-119.
- Gómez, O. J. y Maldonado, E. (2004). Estudio analítico de los efectos de la torsión natural en el comportamiento de edificios de varios pisos torsionalmente desbalanceados ante sollicitaciones sísmicas. *Ingeniería y Desarrollo*, (17), 160-183.
- Gutiérrez, D. (2016). *Fórmulas de Wilbur*. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Instituto de Estabilidad Experimental. (1957). *Coefficientes sísmicos en Japón, Estados Unidos y Chile*. Universidad de Chile.
- Jaramillo, J. D. (2003). Evaluación aproximada de la aceleración absoluta para una forma modal en sistemas de múltiples grados de libertad. *Revista de Ingeniería Sísmica*, 73(69), 73-92.
- Universidad Autónoma Nacional México. (2010). *Zonificación sísmica y efectos de NTCS-2001*. (2001). *Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo NTCS. Criterios y acciones para el diseño estructural de las edificaciones sitio*. [http://cdigital.dgb.uanl.mx/te/1080124346/1080124346\\_06.pdf](http://cdigital.dgb.uanl.mx/te/1080124346/1080124346_06.pdf).





Este libro fue compuesto en caracteres Minion  
a 11 puntos, impreso sobre papel Bond de 75  
gramos y encuadernado con el método hot melt,  
en octubre del 2020, en Bogotá, Colombia.

# BASES PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL

El propósito fundamental de este libro es presentar información sobre los diseños estructurales a través de las cargas que se deben tener en cuenta a la hora de diseñar proyectos arquitectónicos. Describe puntualmente las características y fundamentos básicos del diseño estructural, información que puede mejorar los conocimientos primarios que tienen los estudiantes y profesionales de arquitectura sobre los diseños con base en los diferentes esfuerzos estructurales que tienen.

El libro se organiza en cinco capítulos, a saber: aspectos conceptuales, desarrollo de la estructura, estructuras de mampostería, fuerza de viento y fuerzas sísmicas. Cada capítulo tiene bibliografía de referencia.

El texto va dirigido a estudiantes de ingeniería, arquitectura y arquitectos en labores profesionales que están empezando sin experiencia. También a personas con el fin de seguir adquiriendo competencias sobre los conocimientos de las diferentes cargas que se deben tomar en cuenta en los tipos de estructuras que conforman los proyectos arquitectónicos.

## Incluye

- ▶ Contenido básico para un entendimiento aplicable en la práctica.
- ▶ La mayoría de las cargas resumidas en un solo libro.
- ▶ Conocimientos primordiales para la arquitectura e ingeniería civil.

### **Ender José Barrientos Monsalve**

Arquitecto y Doctor en Ciencias Gerenciales. Fundación de Estudios Superiores Comfarnorte, Universidad Francisco de Paula Santander y Universidad Tecnológica Latinoamericana en Línea México. Director de tesis doctorales de la Universidad Internacional Iberoamericana y UNEFA.

### **Javier Alfonso Cárdenas Gutiérrez**

Ingeniero Civil de la Universidad Francisco de Paula Santander, Especialista en Alta Gerencia, Especialista tecnológico en Gestión Ambiental y Magíster en Administración de Empresas con enfoque en Dirección de Proyectos. Docente auxiliar de la Universidad Francisco de Paula Santander, director del Departamento de Construcciones Civiles, Vías y Transporte y director actual del plan de estudios de Ingeniería Civil.

### **Nelson Javier Cely Calixto**

Ingeniero Civil, Especialista en Agua y Saneamiento Ambiental y Magíster en Obras Hidráulicas. Docente de tiempo completo del Departamento de Construcciones Civiles, Fluidos e Hidráulica de la Universidad Francisco de Paula Santander. Investigador del grupo Hydros y director del semillero SIRHI. Consultor con más de 12 años de experiencia en proyectos de ingeniería hidráulica y sanitaria.

ISBN 978-958-771-956-7

