

**ANÁLISIS ESTRUCTURAL TEORICO - TECNICO Y LOS REQUERIMIENTOS  
DE LA NSR-10 PARA UN PROYECTO DE INGENIERIA CIVIL EN COLOMBIA.**

**PRESENTADO POR  
SANTIAGO CORTES POLO**

**ASESOR:  
Ing. ADAN SILVESTRE G.**

**UNIVERSIDAD LIBRE SECCIONAL PEREIRA SEDE BELMONTE**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**

**PEREIRA - RISARALDA**

## **Agradecimientos:**

Dedicado con el más sincero sentimiento de agradecimiento, a todas aquellas personas que han brindado su apoyo desde el comienzo de nuestra carrera, aportando los mayores consejos, esfuerzos y ante toda la inmensa paciencia que han tenido en este camino de lucha y dedicación, que está enfocado siempre en la pasión que a medida que pasan los años es más fuerte por nuestra profesión. Le agradezco a mi padre HERNAN CORTES CORREA por su ayuda incondicional constante y asidua, y el gran ejemplo que me ha brindado mostrándome como norte el ser un profesional correcto y pulcro en mi profesión. A mi madre MARTHA CECILIA POLO por su lucha en el día a día formándome, como una excelente persona, brindándome todo su cariño y esfuerzo por verme salir adelante. Y a mi hermano HERNAN CORTES POLO por la directriz que me ha enseñado durante tantos años de disciplina y pasión por lo que entendemos como amor a la profesión.

A todos ellos mil gracias de corazón.

## Tabla de contenido

1. Introducción .....	8
2. Planteamiento del problema.....	9
3. Justificación .....	10
4. Objetivos .....	11
5 Marco Geográfico .....	12
6 Antecedentes y alcance:.....	14
6.1 Antecedentes:.....	14
6.2 Alcance: .....	14
7 Metodología: .....	16
8 Marco Teórico.....	17
8.1 Conceptos preliminares para un análisis estructural:.....	17
8.1.1. NSR-10 “Norma Sismo Resistente 2010” .....	17
8.1.2 Reglamento colombiano de construcción sismo resistente “NRS-2010” .....	18
8.2 Desarrollo de un proyecto:.....	19
8.2.1. Planeamiento general:.....	20
8.2.2. Diseño preliminar: .....	20
8.2.3. Evaluación de las alternativas:.....	20
8.2.4. Diseño final:.....	20
8.2.5. Construcción: .....	21
8.3. Procedimiento de diseño.....	21
8.4. Cargas o fuerzas que actúan sobre una estructura: .....	22
8.4.1. Definiciones: .....	24
8.4.2. Título B.....	24
8.5. Materiales: .....	26
8.5.1. Materiales estructurales: .....	26
8.5.1.1. Hormigón armado:.....	26
8.5.1.2. Acero:.....	27
8.5.1.3. Mampostería: .....	27
8.5.1.4. Madera: .....	27
8.5.1.5. Membranas textiles:.....	27
8.5.1.6. Aluminio:.....	28
8.6. Conceptos y características principales de los materiales estructurales. ....	30
8.6.1. Propiedades mecánicas: .....	30
8.6.2. Propiedades no mecánicas. ....	39
8.7. Sistemas Estructurales: .....	41
8.7.1. Sistemas de muros de carga:.....	41
8.7.2. Sistema combinado:.....	41
8.7.3. Sistema de pórtico:.....	41
8.7.4. Sistema dual:.....	42
8.7.5. Requisitos para sistemas estructurales combinados: .....	42
8.7.6. Configuración Estructural:.....	43
8.7.7. Tipos de fallas en sistemas estructurales: .....	44
8.8. Coeficiente de disipación de energía: .....	45

8.9. Cimentaciones.....	46
8.10. Tipos de cimentación:.....	47
8.10.1. Cimentaciones directas o superficiales:.....	47
8.10.2. Cimentaciones semiprofundas:.....	50
8.10.3. Cimentaciones profundas:.....	50
9. Análisis estructural - métodos de diseño - cálculo estructural, software de diseño y cálculo.....	53
9.1. Análisis de cargas. ....	53
9.2. Teoría de las líneas de fluencia:.....	54
9.3. Elementos estructurales. ....	55
9.4. Conexiones.....	59
9.5. Comportamientos estructurales: .....	60
9.5.1. Esfuerzos cortantes: .....	60
9.5.2. Momento flexionante:.....	62
9.6. Estabilidad y determinación: .....	64
9.6.1. Estabilidad y determinación “externas”:	65
9.6.2. Estabilidad y determinación “internas”:	68
9.6.2.1. Armaduras:.....	68
9.6.2.2. Pórticos: .....	70
9.6.3. Estabilidad y determinación totales .....	71
9.6.4. Indeterminación cinemática.....	72
9.7. Métodos de análisis:.....	73
9.7.1. Método de la fuerza horizontal equivalente (FHE): .....	74
9.7.1.1. Periodo fundamental de la estructura ( <b>T</b> ).....	76
9.7.1.2. Distribución de las fuerzas sísmicas horizontales equivalentes: .....	77
9.7.2. Método De Análisis Dinámico Elástico - Método De Análisis Dinámico Inelástico:	79
9.7.2.1. Modelos matemáticos: .....	79
9.7.2.2. Rigidez En Los Métodos Dinámicos Elásticos:.....	81
9.7.2.3. Rigidez En Los Métodos Dinámicos Inelásticos:.....	81
9.8. Programas de diseño y análisis estructural. ....	81
10. Interpretación de resultados - Criterios de diseño estructural.....	84
10.1. Interpretación de los resultados: .....	84
10.1.1. Capitulo A:.....	84
10.1.2. Capitulo B:.....	86
11. Conclusiones:.....	88
12. Recomendaciones: .....	90
13. Referencias bibliográficas.....	92
14. Anexos .....	94
14.1. Anexo 1. Guía de análisis estructural para un proyecto de ingeniería civil: .....	94
14.2. Anexo 2 - Criterios de diseño y análisis: .....	94
14.3. Anexo 3 - Condiciones que deben cumplir las estructuras:.....	96
14.4. Glosario:.....	97
15. Información externa para el diseño estructural, tablas y parámetros de diseño. ....	99

## Lista de tablas

Tabla 1: Coeficientes espectrales de diseño - Dec. 932 – 2011 .....	19
Tabla 2: Clasificación de Cargas o fuerzas que actúan sobre una estructura: .....	23
Tabla 3: Valores Típicos Del Módulo elasticidad Y De La Relación De Poisson (Temperatura Ambiente). .....	34
Tabla 4: Valores de desvió utilizados típicamente para determinar el esfuerzo de fluencia. ....	37
Tabla 5: definición ítems coeficiente de disipación de energía. ....	45
Tabla 6: Numeral A.4.2-1 (Valores de los parámetros Ct y a para el cálculo del periodo aproximando Ta).....	76
Tabla 7: Cuadro Comparativo De Los Diferentes Programas De Diseño Estructural.....	82

## Lista de figuras:

Figura 1: Zonas de amenaza sísmica aplicable a edificaciones para la NRS-10 en función de Aa y Av.....	12
Figura 2: Zonificación sísmica de Pereira. ....	13
Figura 3: Ejemplos de edificaciones existentes con materiales estructurales.....	28
Figura 4: Ejemplos de edificaciones y sistemas estructurales. ....	29
Figura 5: Patrón grafico de fuerza - tiempo para cargas dinámicas.....	31
Figura 6: Diagramas típicos monoaxiales esfuerzo-deformación para algunos materiales de ingeniería: (a) cristal y yeso, (b) acero, (c) aleaciones de aluminio, (d) hormigón y (e) caucho blando .....	32
Figura 7: Esfuerzos normales aplicados a un elemento cubico y LEY DE HOOKE generalizada. ....	34
Figura 8: Comportamiento de esfuerzo-deformación de los materiales plásticos: (a) ejemplo de carga y descarga, (b) elástico-perfectamente plástico y (c) elastoplástico con endurecimiento por deformación. ....	35
Figura 9: Métodos para estimar el esfuerzo de fluencia (a) método de desvió y (b) método de extensión. ....	37
Figura 10: Ejemplo de límite de resistencia a la fatiga bajo condiciones de carga repetida Fuente: Mamlouk S. Michael, Zanieeski P. John, libro: “Materiales para ingeniería civil”. 2 da edición. Pág. 21 .....	38
Figura 11: Clasificación general de las zapatas .....	49
Figura 12: Clasificación de las zapatas de acuerdo a su ubicación en planta:.....	49
Figura 13: Descripción visual – prototipos de cimentación.....	52
Figura 14: Distribución de áreas tributarias para tableros de losa .....	53
Figura 15: Distribución de áreas tributarias para columnas.....	54
Figura 16: Líneas de fluencia.....	55
Figura 17: Viga apoyada y viga deformada por cargas .....	57
Figura 18: Apoyos Y Enlaces Entre Elementos Estructurales.....	58

Figura 19: Tipos de diagramas de esfuerzos cortantes - parte 1.....	61
Figura 20: Tipos de diagramas de esfuerzos cortantes – parte 2.....	61
Figura 21: Tipos de diagramas de esfuerzos cortantes - parte 3.....	62
Figura 22: Tipos de diagramas de Momentos Flexionantes - parte 1.....	63
Figura 23: Tipos de diagramas de Momentos Flexionantes - parte 2.....	63
Figura 24: Tipos de diagramas de Momentos Flexionantes - parte 2.....	64
Figura 25: (A) – Vigas, apoyos, cortes y ecuaciones.....	65
Figura 26: (B) Pórticos, apoyos y ecuaciones.....	66
Figura 27: (C) Vigas bajo diseño semicircular y ecuaciones en apoyos.....	66
Figura 28: (D) Pórticos y complementos auxiliares para la determinación de ecuaciones. ....	67
Figura 29: (E) estructura inestable y estructuras apoyados por falta de estabilidad.....	68
Figura 30: (F) Armadura estable y armadura inestable por mal diseño.....	69
Figura 31: (G) Diseño de armaduras estables con diferentes grados de indeterminación.....	70
Figura 32: (H) Pórticos y configuración.....	71
Figura 33: (I) Pórticos y grado de indeterminación.....	72
Figura 34: (J) pórticos e indeterminación cinemática.....	73
Figura 35: Diagrama del flujo del diseño sismo resistente de un edificio por el método FHE según NRS-10.....	75

## **Resumen**

El objetivo de este estudio, es crear una guía de análisis estructural; donde se determinen criterios básicos de diseño y calculo estructural; a través de la teoría y técnicas, que permitan realizar este análisis; para ello el investigador analiza y estudia diferentes textos de profesionales en calculo estructural, a nivel nacional e internacional, incluyendo procedimientos de diseño, programas de cálculo y la Norma Sismo Resistente De Colombia de 2010 (NRS-10), los cuales a través de la interpretación profesional se transfieren a la base teórica y argumentativa de este análisis estructural teórico-técnico.

## **Abstract**

The objective of this study is to create a structural analysis guide; where basic design and calculation criteria are determined; through theory and techniques that allow this analysis to be carried out; For this, the researcher analyzed and studied different texts by great professionals in structural calculation, nationally and internationally, including design procedures, calculation programs and the 2010 Colombian earthquake resistant standard (NRS-10), which through professional interpretation are transferred to the theoretical and argumentative basis of this theoretical-technical structural analysis.

## 1. Introducción

El presente trabajo, se refiere al análisis estructural; como el aspecto más importante que se debe tener en cuenta en un proyecto de ingeniería civil; debido a que nace de un proceso de constantes cambios que busca encontrar un equilibrio entre el diseño y las solicitaciones estipulados por la Norma; las cuales al ser interpretadas, muestran la complejidad del contenido, los procedimientos y métodos que deben ser tenidos en cuenta por el diseñador; encontrando un abismo entre la comprensión del conocimiento y su respectiva aplicación.

La característica fundamental del análisis estructural es la dificultad del procedimiento para su debido diseño; generando que muchos ingenieros desistan de seguir una especialización en estructuras; porque, como se comenta “Es necesario analizar cada elemento de un todo para poder comprender el resultado general a través de los resultados independientes”, es decir, la principal causa por las que muchos desisten de incluir en sus vidas profesionales el cálculo estructural es el mismo motivo por el que muy pocos si deciden incluirlo, porque es un tema que no pueda interpretar cualquiera, debe haber algo más que solo interés por el buen nombre, pues detrás de esta gran ciencia se esconden antecesoras que dan vida a la imaginación del diseñador, como son la matemática, la física, la geometría y muchas otras ciencias.

El análisis planteado en el presente proyecto se realiza con el fin de guiar y motivar al lector, a unirse, a este universo matemático, donde las leyes de la lógica son quienes limitan la imaginación del diseñador, y en ciertos casos solo si este decide ir más allá, el mismo puede determinar los nuevos parámetros que otros deben interpretar a la hora de calcular. Esto crea un interés personal y profesional en el ingeniero, ya que en él nace el pensamiento crítico; donde se representa al mismo tiempo, el ser maestro y estudiante del conocimiento; debido a que así se puede interpretar el procedimiento de diseño estructural que se ha ido construyendo a través de los años por las diferentes investigaciones realizadas en el desarrollo de la ingeniería. Entendiendo que no hay un conocimiento absoluto.

Como parámetro fundamental del cálculo estructural, existen unos coeficientes de sitio especificados en la NRS-10 en el Título “A”; necesarios para el cálculo estructural, pero también deja la puerta abierta a optar por seleccionar otros valores diferentes a estos y cumplan con las condiciones dictadas por la NRS-10, como el decreto 932 del 2011, el cual asigna unos valores más exactos, de acuerdo a las características de la zona donde se encuentre ubicado el proyecto. El enfoque principal del presente trabajo radica en agrupar los conocimientos más importantes y relevantes para el desarrollo de un análisis estructural, en una guía práctica donde se puede encontrar la teoría y su debida interpretación. Pretende ser un punto de arranque, de un trabajo mucho más grande el cual se vá desarrollando en la vida profesional del investigador.

## 2. Planteamiento del problema

Dentro del cálculo estructural todo diseñador forma unos principios a través de la experiencia y de la combinación del conocimiento teórico con criterio personal, donde se forma un diagrama de diseño basado en un análisis preliminar, es decir, una guía que permite al diseñador entender el entorno y la necesidad de construcción de un proyecto. Esto le permite acomodar las necesidades que se presentan en los diferentes proyectos sin que se vea afectado por las normas a nivel nacional o municipal, dependiendo de las características del proyecto en estudio. Es decir que aunque el diseño arquitectónico sea una decisión del contratante o dueño del proyecto, es el calculista el que determina con su experiencia y criterio personal que tipos de elementos estructurales se deben diseñar para subsanar las necesidades que se presentan en el diseño arquitectónico. Y esto genera que el ingeniero debe tener un vasto conocimiento en temas estructurales, como resistencia de materiales, diseño geométrico, y reglamentos o lineamientos para el tipo de estructura en desarrollo.

Por ende, el análisis estructural es un campo grande y extenso en constante evolución, el cual debe ser estudiado cada detalle que lo forma hasta la unidad total que resulta.

Por ende los sistemas estructurales seleccionados, pueden definirse como los más comunes, no solo individualmente sino también por medio de combinaciones estructurales, donde se puedan encontrar diferentes conexiones o traslape de elementos principales por medio de elementos auxiliares, como por ejemplo en el caso de los elementos comerciales de acero, como son las vigas tipo IPE, HEA y los tipo PTE o tubería estructural, que sus conexiones tienden a ser reforzadas por platinas y tornillería estructural, esto trae consigo que el diseñador deba conocer, comprender y saber usar los catálogos comerciales de las principales empresas de fabricación y producción en masa de perfiles en acero estructural, debido a que quien conozca y logre utilizar la información que se entrega de manera analítica, puede hacer cálculos superficiales muy aproximados a la realidad esperada, y así tener las bases de un diseño preliminar.

En relación a los ideales planteados anteriormente, el trabajo se limita en el marco general a convertirse en una guía a través de los nuevos conocimientos que nacen del análisis preliminar del tipo de estructura, debido a los objetivos principales a estudiar, como los aspectos de sismo resistencia, capacidad portante, temas económicos y procesos constructivos.

### 3. Justificación

Debido a las diferentes variaciones que nacen por la iteración de los parámetros establecidos por la norma, los coeficientes de sitio y el criterio de diseño que presenta el calculista, es como el trabajo encuentra el verdadero motivo de transformar la complejidad del cálculo estructural en una guía personal construida a través del propio criterio profesional.

Desde este ideal es que nace la función principal del análisis de la estructura sismo resistente de manera preliminar, en mayor medida que para otras situaciones, se realiza para tratar de predecir el comportamiento de la construcción con el diseño estructural propuesto. En muchos casos el profesional se plantea más o menos abiertamente un enfrentamiento entre su proyecto y las exigencias del reglamento, como si el objetivo fuera “hacer entrar” al proyecto dentro de la norma. Pero los reglamentos y códigos ofrecen experiencias sistematizadas y criterios para obtener edificios seguros, no cláusulas aisladas del contexto y del diseño. Por ende, el objetivo de los métodos de cálculo, no es otro que ser utilizado para mejorar el diseño a partir de la información que proporciona y no para luchar contra el código.

Es común aplicar ciertos procedimientos de modelación de manera automática, a modo de recetas, pero esto puede ocasionar errores importantes, porque no hay procedimientos de validez universal. Es necesario reflexionar sobre el funcionamiento de la construcción para elegir el modo más adecuado de modelarla. Nada reemplaza al buen criterio: el juicio ingenieril, por eso, es necesario desarrollar el criterio a través de investigaciones o situaciones que permitan al calculista generar nuevos conocimientos o poner a prueba los existentes.

Esto permite crear un punto de vista nuevo; un punto base donde el investigar a través del análisis preliminar del sistema de ejes principales, niveles en altura, geometría, características de los materiales y de los sistemas estructurales, puede formularse un procedimiento básico el cual puede emplear durante todo el cálculo estructural. Este interés en poder comprender e interpretar conocimientos, métodos y todo tipo de procedimientos del cálculo estructural, es lo que incentivo al autor a sentir lo que el profesor Eduardo Torroja describe en su obra: Razón y ser de los tipos estructurales”:

“Cada material tiene una personalidad específica distinta, y cada forma impone un diferente fenómeno tensional. La solución natural de un problema –arte sin artificio-, óptima frente al conjunto de impuestos previos que la originaron, impresiona con su mensaje, satisfaciendo, al mismo tiempo, las exigencias del técnico y del artista. El nacimiento de un conjunto estructural, resultado de un proceso creador, fusión de técnica con arte, de ingenio con estudio, de imaginación con sensibilidad, escapa del puro dominio de la lógica para entrar en las secretas fronteras de la inspiración. Antes y por encima de todo cálculo esta la idea, moldeadora del material en forma resistente, para cumplir su misión”.

Por ende es necesario que en la formación de todo ingeniero de estructuras se incluya un curso o guía que le permita interpretar o comprender de manera general el comportamiento los diferentes sistemas estructurales posibles a emplear en un proyecto de ingeniería civil.

## 4. Objetivos

### 4.1 Objetivo general

Elaborar una guía de análisis estructural teórico – técnico, que permita a cualquier tipo de lector comprender con mayor precisión el campo del análisis y diseño estructural.

### 4.2 Objetivos específicos.

**4.2.1** Elaborar una guía, que presente la parte teórica y técnica del análisis estructural, incluyendo los requerimientos o lineamientos establecidos por la Norma Sismo Resistente del 2010, y abarque el comportamiento de cada elemento estructural de manera independiente y al mismo tiempo, como si todo el conjunto de elementos fuera un solo; interpretando los aspectos de sismo resistencia y capacidad portante.

**4.2.2** Analizar y organizar la información recolectada sobre análisis estructural en 3 acápites:

Teoría – conceptos fundamentales.

Técnica – métodos de análisis.

Guía de análisis – interpretación de los resultados, conclusiones, recomendaciones y criterios de diseño y calculo estructural.

## 5 Marco Geográfico

La guía del análisis estructural planteada a continuación, tiene como campo de acción todo el territorio colombiano, debido a que comprende la norma sismo resistente del 2010, lineamientos, reglamentos y normativas que abarcan la mayoría de los sistemas estructurales planteados; a continuación se presenta el mapa de microzonificación sísmica de Colombia de acuerdo a las zonas de amenazas sísmicas presentadas en el título A de la NSR-10:

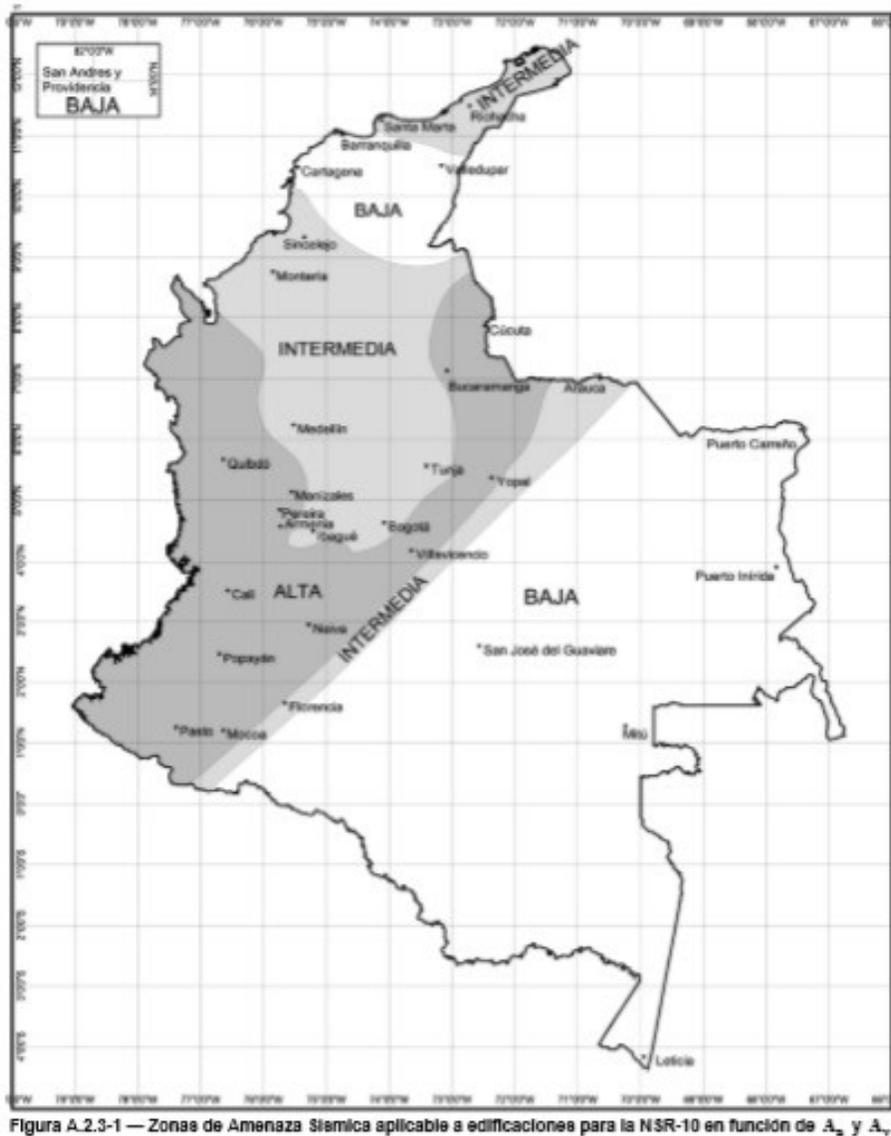


Figura 1: Zonas de amenaza sísmica aplicable a edificaciones para la NRS-10 en función de  $A_a$  y  $A_v$ .

Fuente: NRS-10 – Título A, pág. A-17.

Profundizando un poco en el tema, se anexa el mapa de microzonificación sísmica de Pereira donde se representa por medio de colores las zonas de amenaza de acuerdo a los estratos de cenizas volcánicas, representando una zona de amenaza alta debido a que se encuentra entre los principales volcanes.

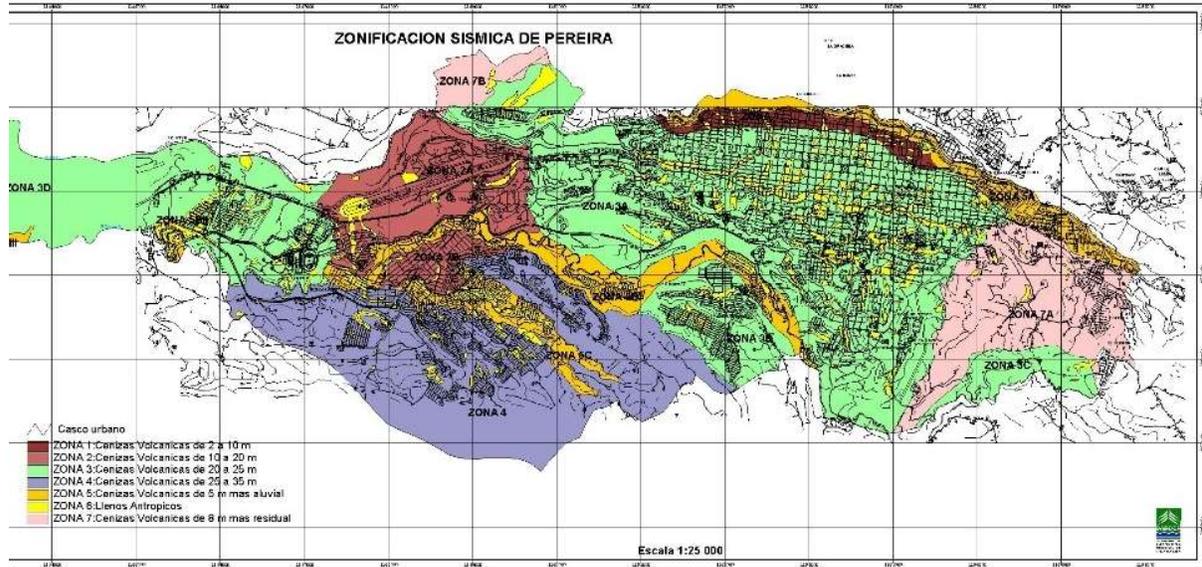


Figura 2: Zonificación sísmica de Pereira.  
Fuente: CARDER – 2005

## **6 Antecedentes y alcance:**

### **6.1 Antecedentes:**

De acuerdo con el concepto general dado por Kassimali (2001); “el análisis estructural es la predicción del comportamiento de una estructura bajo cargas prescritas y otros efectos externos, o bajo ambas influencias, como movimientos en los apoyos y cambios de temperatura,” (Kassimali, 5ta edición, pg. 4). Donde para predecir los diferentes comportamientos de la estructura es necesario analizar la estructura como si cada elemento fuera parte de un todo y como si cada elemento trabajara independientemente.

Es decir, cualquier estructura es un todo continuo, pero para fines de análisis se puede dividir en distintos miembros, como son las barras de una armadura, o las vigas, columnas, losas o en el caso de pilas, estribos, sistemas de piso y cables para puentes colgantes. Al lograr dividir la estructura en sus diferentes miembros, el procedimiento a seguir radica en calcular las acciones internas producidas por las cargas, (fuerzas axiales), fuerzas cortantes, momentos flexionantes y torsionantes, así como las deformaciones de cada elemento y de la estructura en general.

Antes de llegar al cálculo del comportamiento de la estructura, se debe enfatizar en el comportamiento de cada tipo de sistema estructural posible para el diseño; así el diseñador logra una base técnica que brinda criterios más exactos para diseñar y seleccionar el tipo de estructura que piensa construir y los materiales a emplear.

Con base en esta ideología el investigador define el análisis estructural como un ciclo de procedimientos e interpretaciones del comportamiento y el diseño de la estructura con base a su juicio profesional; donde se puede decir, que los antecedentes que dan forma a este proceso, no son más que temas de investigación independientes como libros o documentos guía del diseño y cálculo estructural; donde por ejemplo Escamilla nos plantea 5 etapas: planteamiento general, diseño preliminar, evaluación de alternativas, diseño final y construcción (Escamilla, 2º edición, pg. 5).

Sobre estas investigaciones es que se construyen las normas que rigen cada país a la hora de construir cualquier tipo de estructura, pero, esta es la primera vez, que se plantea la construcción, de un manual de análisis estructural preliminar; que nazca desde la observación e interpretación del diseño geométrico y la interacción de las diferentes acciones internas, que resulten de la combinación de diferentes secciones del tipo de sistema estructural a emplear, donde el investigador busque patrones en el análisis de los resultados que determinen variaciones con cierto grado de relación y permitan que el buen juicio ingenieril, entregue como resultado; hipótesis que puedan ser las bases de un análisis preliminar de cualquier sistema estructural posible a emplear en un proyecto de ingeniería civil en Colombia.

### **6.2 Alcance:**

El alcance del presente proyecto es solo una guía teórica y técnica del análisis estructural desde sus más grandes aspectos; comenzando por las condiciones de sitio relacionadas a su

ubicación en el marco geográfico nacional, y todos los requerimientos necesarios y estipulados en la Norma Sismo Resistente De Colombia del 2010 (NRS-10), la cual rige en todas las obras de ingeniería civil a nivel nacional, dentro de sus requerimientos se incluye el espectro de diseño y la clasificación de los tipos de suelos; las diferentes cimentaciones posibles y sus comportamientos estructurales, los sistemas estructurales regulados y sus características más importantes; los materiales que conllevan este tipo de sistemas y la respuesta a las diferentes fuerzas, reacciones y momentos a los que se vean sometidos; también abarca un análisis de los posibles diseños geométricos que se puedan implementar y como alteran el comportamiento y la distribución de las cargas dentro de la estructura; y por último centra el conocimiento recogido en un análisis final dividido en 3 etapas, interpretación, conclusiones y recomendaciones.

## 7 Metodología:

El trabajo formula una guía de análisis que permita al calculista determinar criterios básicos de diseño estructural, perfeccionando su técnica de diseño y su método de cálculo; para lograrlo se definen dos capítulos y una interpretación final de resultados:

*Capítulo A:* Teoría - conceptos fundamentales; análisis estructural, materiales y normatividad (NRS-10).

*Capítulo B:* Técnica - métodos de análisis - cálculo estructural, programas de diseño.

Interpretación de resultados, conclusiones, recomendaciones, guía de análisis estructural y criterios de diseño y análisis.

El conjunto de métodos seleccionados para el desarrollo del “Análisis estructural” que se desea construir; consiste en dividir el proceso de análisis en dos partes, una parte teórica que entrega en modo de cartilla al lector una guía básica o simple que le permita familiarizarse con los aspectos más importantes del análisis estructural, desde la Norma Sismo Resistente Colombiana del 2010, los diferentes tipos de materiales, y algunos conocimientos primordiales.

La otra parte es técnica; aquí se pretende explicar los diferentes métodos de cálculo y análisis estructural, incluyendo dentro de estos temas las posibles herramientas de cálculo estructural asistidas por software, las cuales nos permiten, no solo calcular, si no también diseñar y cuantificar todas las iteraciones o elementos que incluye un proyecto de ingeniería civil, desde el enfoque del análisis estructural.

Por último, se describe a través de la información recolectada una guía de análisis estructural que radica en 5 procesos, un resumen básico de los capítulos A y B, donde se describen los aspectos básicos, teóricos y técnicos, conclusiones, recomendaciones; una guía de análisis estructural formada a través de los criterios interpretados por el autor y una definición clave de los aspectos más importantes a cumplir, estabilidad, resistencia y rigidez.

## 8 Marco Teórico

Los diferentes métodos de investigación a implementar en la elaboración de un proyecto, tienden en parte, a definir el enfoque del proyecto o a guiarlo en su proceso; el caso en estudio cumple con este principio, debido a que la investigación analítica, se puede definir como aquel método que consiste en desmembrar un todo, descomponiéndolo en sus partes o elementos, con el fin de observar sus causas, su naturaleza y los efectos que esto pueda generar.

De la misma manera se descompone el conocimiento formado en la razón, por medio de la experiencia que se forma a través de la observación, logrando que cada detalle construya un todo; por ende el criterio personal es quien se encarga de clasificar que conocimientos son irrelevantes y cuales son de suma importancia para la toma de decisiones; logrando dividir el problema general en partes más pequeñas, otorgando al profesional un problema más sencillo de resolver donde se hace referencia al principio “divide y vencerás”; sin alejarse mucho de la realidad de campo del análisis estructural.

Los diferentes métodos analíticos para el cálculo estructural buscan dividir la estructura en elementos más pequeños con el propósito de desarrollar estudios más complejos sobre cada elemento, logrando consigo un estudio individual pero que al final entrega un resultado general más completo.

Por ende, se precisa a concluir de las ideas anteriores, que la mejor herramienta para el desarrollo del criterio profesional, radica en desmenuzar el conocimiento general en leyes o reglas simplificadas que nos permitan entender la naturaleza del todo el razonamiento del criterio profesional.

En el siguiente capítulo se relaciona los conocimientos fundamentales en el tema estructural, ejemplo: la guía de diseño estipulada por la NRS-10, las características más importantes de los materiales a emplear y una guía del análisis geométrico estructural; donde se ubican los criterios del diseño geométrico planteados por el investigador para los modelados digitales:

### 8.1 Conceptos preliminares para un análisis estructural:

De acuerdo a los lineamientos y parámetros establecidos por la Norma Sismo Resistente de Colombia (NRS-10), se definen los procesos de diseño y los diferentes títulos definidos para el desarrollo de un proyecto de ingeniería civil:

#### 8.1.1. NSR-10 “Norma Sismo Resistente 2010”

Un claro ejemplo es observar como la NRS-10 en sus diferentes capítulos recoge el conocimiento general que forma la guía del diseño estructural a nivel nacional. En concordancia con los parámetros planteados en el presente proyecto se hace seguimiento a

los títulos o capítulos de la Norma Sismo Resistente del 2010 (NRS-10) de Colombia, para cada ítem o tema a tratar dentro de la investigación:

### **8.1.2 Reglamento colombiano de construcción sismo resistente “NRS-2010”**

- Título A: Requisitos generales de diseño y construcción sismo resistente.
- Titulo B: Cargas.
- Titulo C: Concreto estructural.
- Titulo D: Mampostería estructural
- Titulo E: Casas de uno y dos pisos.
- Titulo F: Estructuras metálicas.
- Titulo G. Estructuras de madera y estructuras de guadua.
- Titulo H: Estudios geotécnicos.

Los títulos ilustrados anteriormente tienen como objeto, reducir a un mínimo el riesgo de la pérdida de vidas humanas, defender en lo posible el patrimonio del estado y de los ciudadanos; poder ser capaz de resistir las fuerzas que impone su uso, temblores de baja y alta intensidad, permitiendo el daño de algunos elementos no estructurales y estructurales pero sin colapso, además de los movimientos sísmicos de diseño, buscando que las edificaciones que pertenezcan a grupos de uso importantes, como entidades gubernamentales y hospitales, sufran y se dé la posibilidad de falla en algunos elementos estructurales pero que no allá colapso total, para así lograr garantizar que la estructura no pierda su funcionalidad (NRS-10, Titulo A).

#### **8.1.2.1 Título A:**

Teniendo en cuenta todas las solicitudes por las que la norma se ha desarrollado y transformado a medida que el sector innova en criterios de diseño y estudios, se establecen los dos puntos claves del título A para el desarrollo del criterio en el diseño estructural:

**8.1.2.2 - Numeral - A.1.2.3 - Alcance:** Se contiene los requisitos mínimos para el diseño y construcción de edificaciones nuevas o la remodelación de una ya existente, con el fin de que sean capaces de resistir las fuerzas que les impone la naturaleza o, su uso y para incrementar su resistencia a los efectos producidos por movimientos sísmicos (NRS-10, titulo A, pg., A-2).

**8.1.2.3 Numeral - A.2 (Zonas de amenaza sísmica y movimientos sísmicos de diseño):** siguiendo el proceso estipulado, se determinan los primeros pasos fundamentales para cualquier construcción, como la clasificación del proyecto dentro de la norma o coeficiente de importancia, el tipo de suelo, los movimientos sísmicos de diseño, la zona de amenaza

sísmica donde se encuentra localizado el proyecto, los efectos locales, los espectros de diseño y el coeficiente de disipación de energía, los cuales se encuentran todos en el capítulo 2 y 3 del título A de la NRS-10.

Al determinar el alcance del proyecto, respecto a su uso y a un diseño primario, el siguiente paso a seguir es determinar la ubicación del proyecto respecto a los tipos de zonas nacionales regulados por la NRS-10 en su Título A, para estipular coeficientes del tipo de amenaza sísmica (alta, media, baja) Aa, Av, los coeficientes del tipo de suelo Fa, Fv y el coeficiente de importancia (I) determinada por su uso, pero la Norma en su numeral A.2.1.2.1 – “ESTUDIOS DE MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA” – cuando las autoridades municipales o distritales han aprobado un estudio de microzonificación sísmica, realizado de acuerdo con el alcance que fija la sección A.2.9, el cual contenga recomendaciones para el lugar donde se adelantara la edificación, ya sea por medio de unos efectos de sitio o formas espectrales especiales, se deben utilizar los resultados provenientes de esta; en vez de los resultados encontrados por los parámetros del título A.2; por ejemplo para el caso de Pereira, el decreto 932 del 2011 especifica y clasifica las 7 zonas de amenaza sísmica de la ciudad; generando valores de Fa y Fv más exactos que los estipulados por la NRS-10 en su título A-2, como lo muestra la tabla a continuación:

Tabla 1: Coeficientes espectrales de diseño - Dec. 932 – 2011

	<b>Zona 1</b>	<b>Zona 2</b>	<b>Zona 3</b>	<b>Zona 4</b>	<b>Zona 5</b>	<b>Zona 6</b>	<b>Zona 7</b>
<b>To</b>	0.08	0.10	0.17	0.19	0.07	0.17	0.15
<b>Tc</b>	0.40	0.50	0.80	0.90	0.32	0.80	0.70
<b>TL</b>	3.5	4.0	5.8	5.8	2.8	6.4	6.2
<b>Aa</b>	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
<b>Av</b>	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
<b>Fa</b>	1.76	1.6	1.44	1.28	1.76	1.60	1.76
<b>Fv</b>	1.47	1.67	2.4	2.4	1.17	2.67	2.57

Fuente: Decreto 932 del 2011.

En el decreto 932 del 2011 se encuentran los artículos segundo, quinto y sexto, que clasifican las zonas de amenaza de microzonificación sísmica de Pereira con el mapa ilustrado en la *Figura 2* donde se hace referencia a la ubicación geográfica del suelo del municipio de Pereira.

## 8.2 Desarrollo de un proyecto:

Cuando se define la palabra proyecto se encuentra lo siguiente: “*idea de una cosa que se piensa hacer y para la cual se establece un modo determinado y un conjunto de medios necesarios*”; y esto trae consigo la idea de conjunto de elementos y comportamiento; esta idea puede definir que un proyecto en el campo de la ingeniería civil es el desarrollo de una

idea de infraestructura desde su detalle más simple hasta su definición como conjunto. En el desarrollo de un proyecto de ingeniería que involucre estructuras se puede distinguir un conjunto de etapas; a saber: planeamiento general, diseño preliminar, evaluación de alternativas, diseño final y construcción.

### **8.2.1. Planeamiento general:**

Comienza con la concepción de la obra y el establecimiento de sus objetivos y criterios generales de diseño. Se estudia la forma de financiarla económicamente y con mano de obra certificada o selección de personal técnico requerido para el tipo de proyecto en estudio.

### **8.2.2. Diseño preliminar:**

Con las ideas concretas del planeamiento general, se procede a un diseño preliminar de alternativas que sean apropiadas para el caso de estudio. Se proponen diferentes sistemas estructurales, se evalúan las posibles cargas de diseño, y se hace un pre dimensionamiento de los miembros estructurales más importantes que permitan determinar un estimativo del costo total. El predimensionamiento se puede hacer basado en la experiencia. O mediante métodos aproximados que convierten la estructura indeterminada en estáticamente determinada.

### **8.2.3. Evaluación de las alternativas:**

Simultáneamente con el diseño preliminar se efectúa la evaluación de las diferentes alternativas. Muchas de estas se rechazan rápidamente por razones obvias sean técnicas o económicas, pero normalmente quedan unas pocas con costo aparentemente igual, ya que el análisis aproximado mencionado con anterioridad no permite discriminaciones por sumas relativamente menores. En tal caso, la decisión, se suele tomar considerando otros factores que pueden ser sociales, estéticos o personales. Es decir, que la decisión final de la alternativa a elegir no solo está sujeta a quien diseña y calcula, la decisión personal del dueño del proyecto también afecta el diseño final.

### **8.2.4. Diseño final:**

Una vez determinado el sistema estructural se procede a efectuar el diseño definitivo de los miembros de la estructura. Si esta es estáticamente determinada, el proceso se reduce a evaluar exactamente las cargas, sin olvidar los que se presenten en el proceso constructivo a pesar de su carácter temporal, y a partir de ellas las fuerzas internas que deben resistir los diferentes elementos. Basta entonces dimensionar estos para que los esfuerzos resultantes no sobrepasen los valores admisibles o últimos, según sea el caso. Pero si la estructura es indeterminada, se hace necesario un proceso iterativo. Partiendo de las dimensiones establecidas en el diseño preliminar, se hace ahora el análisis exacto del sistema, recurriendo en ocasiones al computador. Una vez determinado el comportamiento interno de la estructura se procede a evaluar comparando este comportamiento con los valores límites establecidos por la norma. Solo cuando los esfuerzos calculados o el comportamiento determinado están por debajo de dichos límites es decir no los excede, entonces se llevan al más próximo posible con el fin de evitar el posible desperdicio del material estructural. Pero si este no es

el caso, ya sea por exceso o por defecto, se puede utilizar el comportamiento determinado para realizar un nuevo dimensionamiento y repetir el análisis; hasta llegar a una concordancia aceptable, entre los esfuerzos calculados y los estipulados.

### **8.2.5. Construcción:**

Aquí se convierte en realidad lo que inicialmente solo estaba en la mente del proyectista. Se debe tener especial cuidado de ejecutar en obra lo que se estipuló en planos con especificaciones y detalles constructivos. Cualquier posible desviación del proceso constructivo estipulado en los planos por el diseñador o calculista debe ser indicada a este, nunca se podrá determinar con exactitud el hecho de que las estructuras se comporten según como fueron diseñadas y no como están construidas, a menos que las hipótesis de cálculo se ajusten a la realidad y el trabajo constructivo sea perfecto, y de aquí a eso falta mucho conocimiento....

### **8.3. Procedimiento de diseño.**

El proceso de diseño estructural planteado por la Norma NSR-10 tiene 12 pasos, los cuales se pueden encontrar en la Tabla A.1.3-1 (NRS-10, título A, pg. A (3-6)). Dentro del proceso anterior se abarcan los primeros 4 pasos del diseño estructural. De aquí en adelante, toda información recolectada y tratada en el análisis, puede variar, mientras se desarrollan los otros pasos; debido a que el diseño estructural es un proceso con constantes cambios, que busca asimilarse o acoplarse a los criterios científicos establecidos por las investigaciones que dan origen a la regulación o normatividad general conocida como NRS-10.

De estos resultados puede arrojar un “NO CUMPLE” y se debe volver a comenzar el proceso hasta que el último paso determine un resultado que “CUMPLA” con todos los criterios de diseño:

#### **“Procedimiento de diseño estructural para edificaciones nuevas y existentes” – por la NRS-10**

1. Predimensionamiento y coordinación con los otros profesionales.
2. Evaluación de las solicitudes definitivas.
3. Obtención del nivel de amenaza sísmica y los calores de  $A_a$  y  $A_v$ .
4. Movimientos sísmicos de diseño.
5. Características de la estructuración y del material estructural empleado.
6. Grado de irregularidad de la estructura y procedimiento de análisis.
7. Determinación de las fuerzas sísmicas.
8. Análisis sísmico de la estructura.

9. Desplazamientos horizontales.
10. Verificación de derivas.
11. Combinación de las diferentes solicitaciones.
12. Diseño de los elementos estructurales.

Y por último se diseña la cimentación de acuerdo con el sistema estructural que tenga el mayor traslado de cargas al terreno. Dentro de los parámetros se estipula que “para efectos del diseño estructural de los elementos que componen la cimentación, se emplean los resultados de las combinaciones realizadas en el paso 11 del listado anterior, empleando las cargas apropiadas y las fuerzas sísmicas reducidas de diseño E; a partir de las reacciones de la estructura sobre estos elementos, tomando en cuenta la capacidad de la estructura.

El diseño resultante debe seguir los requisitos del material estructural y del título H (NSR-10, numeral A.1.3.5. – diseño de cimentación, pg. A-6), donde en el numeral 4 se estipulan todos los requerimientos que debe llevar el estudio de diseño de la cimentación y el tipo de cimentaciones posibles para tener en cuenta, y para su debida fabricación se deben seguir los requerimientos estipulados en el capítulo C – Concreto estructural.

#### **8.4. Cargas o fuerzas que actúan sobre una estructura:**

“Las exigencias que plantea la naturaleza, sumadas las necesidades humanas (uso o destino de la construcción) para una estructura; se engloban en el concepto de cargas o acciones. Esta definición más el concepto de tomar la estructura como un conjunto de elementos resistentes, convenientemente dispuestos y vinculados, que interaccionan entre sí con el objeto de soportar estas cargas de diseño.” Esto determina la siguiente premisa:

“No es posible una definición de estructura sin cargas actuantes sobre ella, y de la misma manera, es imposible interpretar las cargas sin una estructura que las soporte”.

Estas ideas anteriormente planteadas son citadas de la guía virtual de “análisis de cargas” planteadas por el Dr. Alejandro Guzmán M., donde se abarca de manera más extensa el tema de cargas y acciones internas; aquí el autor demuestra la relación directa entre la estructura y sus cargas de diseño.

Al observar el extenso mundo que traen consigo las cargas de diseño; investigaciones a través del tiempo han determinado una clasificación para estas fuerzas que actúan en la estructura, las cuales el ingeniero Jairo Uribe describe perfectamente en su libro “Análisis de Estructuras”, donde define cada tipo de carga de manera sencilla e ilustra la clasificación general de las fuerzas internas y externas que actúan sobre una estructura y delimitan o representan gran parte de su comportamiento estructural.

Como lo describe la tabla 2 a continuación y la definición por criterio del Dr. Jairo Uribe de cada una de las fuerzas:

Tabla 2: Clasificación de Cargas o fuerzas que actúan sobre una estructura:

Fuerzas	Criterio De Clasificación.	División	
Externas	Modo De Aplicación	Estática Dinámica	
	Permanencia	Momentánea Sostenida	
	Estabilidad	Fija Fluctuante    I-> Invertida	
	Origen	Gravedad	Muerta Viva
			Presión Hidrostática O Empuje Viento Sismo Térmica
	Extensión De La Zona De Aplicación.	Concentrada Uniforme Triangular Repartida    Trapezoidal Parabólica Arbitraria, Etc.	
Lugar De Aplicación Y Dirección		<b>Elementos Prismáticos</b> Centrada Axial Excéntrica Normal Al Eje    Contenidas En Un Plano Fuera De Un Plano Principal	
		<b>Elemento Laminares Planos</b> En El Plano Normales Al Plano	
		<b>Elementos Laminares Nuevos</b> Tangentes A La Superficie. Normales A La Superficie.	
Internas	Efectos Que Producen	Axiales Cortantes Flectoras Torsoras	

Fuente: “análisis de estructuras” Dr. Jairo Uribe Escamilla, pág. 23.

#### **8.4.1. Definiciones:**

- Las fuerzas presentes en una estructura se suelen dividir en externas e internas.
- Las fuerzas externas están constituidas por las cargas aplicadas y las reacciones de los apoyos.
- Cuando una carga se aplica gradualmente se llama estática y cuando se aplica súbitamente se define como dinámica.
- La carga se define como momentánea cuando puede desaparecer del sistema como un camión que pasa por un puente y es sostenida cuando es parte del sistema como el peso propio de la estructura.
- La carga fija se define como aquella que no cambia con el tiempo y la fluctuante sí.

Nota: cuando una carga fluctuante es de naturaleza tal que sus valores máximos y mínimos son iguales en magnitud, pero de sentido opuesto, se dice que dicha carga es invertida.

- Su origen puede clasificarlas como debidas a la acción de la gravedad, a la presión hidrostática o al empuje, al viento, al sismo y a los cambios de temperatura.
- Carga muerta: peso propio de la estructura, muros pisos, cubiertas, cielos rasos, escaleras, equipos fijos y, en general, todas aquellas cargas gravitacionales que no son causadas por la ocupación y uso de la edificación. Para calcularse los pesos deben de ser tenidas en cuenta las densidades reales de los materiales los cuales se relacionan en el título B de la NRS-10, donde tan bien delimitan cargas muertas mínimas adicionales al peso de la estructura.
- Carga viva: son cargas gravitacionales de ocupación, móviles o movibles, que encierran un mayor grado de incertidumbre para el diseñador, debido a que son categorizadas por los diferentes códigos de construcción como coeficientes de carga mayores que para la carga muerta, y si están adecuadamente escogidas rara vez son excedidas durante la vida útil de la estructura.
- Se debe tener en cuenta que antes de entrar en funcionamiento, la estructura se ve sometida a cargas particulares del proceso constructivo, que en ocasiones pueden exceder las de servicio.
- Las cargas que actúan sobre una estructura como la resistencia de esta no es un valor fijo, tiene naturaleza variable o probabilística.

#### **8.4.2. Título B**

Esto da como paso siguiente determinar lo solicitado en el (Título B – cargas), donde se localizan los requisitos mínimos que deben cumplir las edificaciones con respecto a cargas

que se emplean en su diseño. En estas solicitudes se encuentran las cargas muertas adicionales al peso de la estructura; como acabados, fachadas, particiones, piso y cubierta, además de sus cargas por uso (carga viva), o maquinarias con funcionamiento y movimientos independientes dentro de la estructura, incluyendo las diferentes combinaciones de cargas que se puedan presentar en el análisis de la estructura cuando es sometida bajo los efectos de un sismo o cualquier efecto por causa natural como lo son las fuerzas aportadas por el viento, los movimientos o empujes de tierra por predios adyacentes o por el tipo de terreno.

Dentro de los parámetros más importantes a tener en cuenta del Título B para análisis estructural se encuentran las combinaciones de carga, las cuales se dividen en dos grupos y solo se pueden utilizar bajo los parámetros que dicte la norma para cada material, y el diseño final debe modelarse para la combinación que produzca el efecto más desfavorable en la edificación, en su cimentación, o en el elemento estructural bajo consideración. Siempre debe de tenerse en cuenta todas las cargas indicadas actuando en las combinaciones que representan a continuación y se referencian en los anexos 1 y 2, del presente trabajo:

A. Combinaciones de carga para ser utilizadas con el método de esfuerzo de trabajo o en las verificaciones del estado límite de servicio. (Anexo 1).

Nota: estas combinaciones solo pueden utilizarse cuando sean casos especiales en los cuales el diseño se realiza por el método de los esfuerzos admisibles y solo deben emplearse cuando así lo indique explícitamente el título o capítulo o sección correspondiente del reglamento, como por ejemplo la madera y la guadua.

B. Combinaciones de cargas mayoradas usando el método de resistencia. (Anexo 2).

Nota: estas combinaciones de carga y los factores de carga, deben ser usados en todos los materiales estructurales permitidos por el reglamento de diseño del material, con la excepción de aquellos casos en que el reglamento indique explícitamente que deba realizarse el diseño utilizando el método de los esfuerzos de trabajo.

Determinado el tipo de combinaciones de carga a emplear en el cálculo estructural de acuerdo con el Título B, para cada material, se procede a calcular el peso propio de la estructura conocido como carga muerta a través de la densidad de los materiales y las cargas de diseño no fijas o cargas vivas generalizadas por la norma, las cuales se describen a continuación y se referencian en los Anexos 3, 4, 5 y 6:

A. NRS-10 Título B, tabla B.3.2-1. “Masas de los materiales”. (Anexo 3).

B. NRS-10 Título B, tabla B.3.4.3-1. “Valores mínimos alternativos de carga muerta de elementos no estructurales cuando no se efectuó un análisis detallado”. (Anexo 4).

C. NRS-10 Título B, tabla B.4.2.1-2. “Cargas vivas mínimas en cubiertas” (Anexo 5-6).

D. NRS-10 Título B, tabla B.4.2.1-1. “Cargas vivas uniformemente distribuidas”. (Anexo 6).

## **8.5. Materiales:**

Dentro del campo de la construcción, se puede decir que los materiales son todo; debido a que el trabajo del personal de construcción es moldear la materia hasta lograr el diseño planteado por el ingeniero o arquitecto, por medio de diferentes procesos constructivos, los cuales varían de acuerdo con el material que se pretenda emplear.

Desde tiempos remotos el ser humano ha modificado su entorno para adaptarlo a sus necesidades, y para ello ha hecho uso de todo tipo de materiales naturales que, con el paso del tiempo y el desarrollo de la tecnología, se han ido transformando en distintos productos mediante procesos de manufactura de creciente sofisticación. Los materiales sin procesar (piedra, madera, arcilla, metal, agua) se conocen como materias primas, y los productos elaborados a partir de estas como (yeso, cemento, acero, vidrio, ladrillo) se denominan materiales de construcción.

Los materiales de construcción se emplean en grandes cantidades, por ende, deben provenir de materias primas abundantes y de bajo costo; además los procesos de manufactura requeridos deben consumir poca energía y no deben ser excesivamente elaborados. El factor común entre los materiales de construcción es ser duraderos, pero a veces deben satisfacerse otros requisitos especiales como la resistencia mecánica, la resistencia al cambio de temperatura, o la facilidad de limpieza; pero por norma general ningún material de construcción cumple simultáneamente todas estas necesidades planteadas, por ende la disciplina de la construcción se encarga de combinar los materiales para satisfacer adecuadamente todos los requisitos.

Pero cuando se habla del tema estructural, los materiales más usados de acuerdo al ingeniero José María Canciani, son; Hormigón Armado, Acero, mampostería, Madera, Membranas textiles y el Aluminio.

### **8.5.1. Materiales estructurales:**

De acuerdo a: Mamlouk S. Michael, Zanieski P. John, libro: “Materiales para ingeniería civil”. 2 da edición. Encontramos las siguientes definiciones:

#### **8.5.1.1. Hormigón armado:**

Es el material más utilizado en la construcción, combina las características estructurales del hormigón y el acero. Se le puede construir en una gran variedad de formas, la resistencia depende de la calidad y dosificación de los elementos que intervienen en su mezcla. Su fabricación es un proceso delicado, por ende muchas veces es fabricado en plantas especiales y luego se transporta a obra. Durante el secado del hormigón se produce calor, por ende es necesario disiparlo mediante el curado o paños de agua. Se utiliza más con la finalidad de dar resistencia y fuerza, a los elementos que se formen con él, a quienes se apoyen o anclen.

#### **8.5.1.2. Acero:**

Es el material estructural con más resistencia a las cargas, se utiliza generalmente cuando es necesario cubrir grandes luces o en edificaciones de gran altura, es muy usado en puentes, torres de energía o comunicaciones y en naves industriales; debido a su proceso de fabricación el acero se clasifica no por la resistencia si no por las diferentes denominaciones comerciales, que en la gran mayoría de veces clasifica los elementos de acero de acuerdo al espesor de fabricación. Se utiliza mas con la finalidad de construir elementos prototipos, que respondan a las necesidades comerciales del mercado, como por ejemplo elementos tipo ipe, vigas HEA, o tubería estructural, de alto y bajo calibre.

#### **8.5.1.3. Mampostería:**

Es uno de los primeros materiales empleados en la construcción, se utiliza actualmente para materializar muros portantes en edificaciones de baja altura, para cubrir pequeñas luces formando bóvedas o cúpulas de compresión, y su función principal es formar pantallas o muros que distribuyen las cargas y están constituidos por la unión de bloques o ladrillos pegados por un mortero de arena y cemento. Se utiliza demasiado para viviendas de uno y 2 pisos, además de ser utilizada para acabados internos, muros divisorios y pantallas de apoyo estructural.

#### **8.5.1.4. Madera:**

Fue uno de los materiales más usados en la antigüedad, pero actualmente se utiliza principalmente en viviendas unifamiliares o tan bien es empleado como cubierta en luces intermedias. Posee la misma cualidad del acero, de ser un material fabricado bajo prototipos comerciales, que subsanen la necesidad del mercado, se utiliza más que todo en cubiertas y acabados internos, pero tan bien se encuentran proyectos completamente construidos en madera, como por ejemplo estructuras en guadua o en elementos prefabricados de madera compacta de alta resistencia.

#### **8.5.1.5. Membranas textiles:**

Las membranas textiles presentan una utilización creciente en el ámbito de las estructuras tensadas, llegando a cubrir grandes luces. Por su facilidad de montaje, se utilizan también para materializar estructuras temporales. Algunos ejemplos de este material, pueden ser las cubiertas templadas y en algunos casos las membradas son utilizadas para soportar cargas a nivel del suelo, por medio de elementos de reforzamiento como pantallas y muros pretensados o compactados a través de capaz de membranas.

### 8.5.1.6. Aluminio:

El aluminio se utiliza algunas veces, en estructuras de pequeñas luces. Por su facilidad de montaje y desmontaje presenta su uso más extendido en estructuras temporales. Se utiliza más que todo para acabados internos y externos, no cumple grandes funciones estructurales, pero al igual que la madera y el acero que son de gran uso comercial suele encontrar se le por medio de elementos con medidas generalizadas para las necesidades del mercado.



Figura 3: Ejemplos de edificaciones existentes con materiales estructurales.  
Fuente: google/imágenes



Figura 4: Ejemplos de edificaciones y sistemas estructurales.  
Fuente: google/imágenes

## **8.6. Conceptos y características principales de los materiales estructurales.**

### **8.6.1. Propiedades mecánicas:**

El comportamiento de un material se define como la respuesta del mismo a las cargas externas. Todos los materiales se deforman como respuesta a las cargas; sin embargo, la respuesta específica de un material depende de sus propiedades, de la magnitud y tipo de carga y de la geometría del elemento. El que un material “FALLE” bajo condiciones de carga depende del criterio de fallo que se defina. Un fallo catastrófico de un elemento estructural, que dé lugar al derrumbamiento de la estructura es un fallo obvio del material. Sin embargo, en algunos casos, el fallo es más sutil, pero con consecuencias igualmente graves. Por ejemplo, un edificio puede ser precintado a causa de vibraciones excesivas provocadas por el viento u otras cargas funcionales (Mamlouk S. Michael, Zaniieski P. John, 2 edición, pg. 3).

#### **8.6.1.1. Condiciones de carga:**

Una de las consideraciones más importantes en el diseño de un proyecto es el tipo de carga al que la estructura estará sometida durante su vida útil. Los dos tipos de cargas básicos son: cargas estáticas y cargas dinámicas. Cada uno de estos tipos afecta al material de forma diferente y, frecuentemente, las interacciones entre los tipos de carga son importantes. Al diseñar una estructura, los ingenieros deben calcular ambos tipos de carga.

##### **CARGA ESTÁTICA:**

Implica una carga constante en la estructura a lo largo de un periodo de tiempo. Generalmente se aplican lentamente, de manera que no se generan sacudidas o vibraciones en la estructura. La carga estática una vez aplicada puede permanecer o eliminarse lentamente. Cuando las cargas estáticas tienden a estar periodos largos se denominan cargas constantes (propias). En ingeniería civil gran parte de la carga que los materiales deben soportar se debe al peso de la estructura y de los equipos contenidos en ella.

##### **CARGA DINÁMICA:**

Se denominan dinámicas aquellas cargas que generan sacudidas o vibraciones en una estructura. Se pueden clasificar como periódicas, aleatorias y transitorias. Una carga periódica es una donde el patrón se repite a si misma a lo largo del tiempo, como por ejemplo una carga armónica o sinusoidal como por ejemplo un equipo giratorio. Una carga aleatoria es una donde el patrón nunca se repite como por ejemplo el caso de las cargas producidas por un terremoto. Y por otro lado la carga transitoria es un impulso de carga que se aplica durante un intervalo de tiempo corto, después del cual las vibraciones disminuyen hasta que el sistema vuelve a su estado de reposo, por ejemplo, los puentes deben diseñarse para soportar cargas transitorias de los camiones.

### 8.6.1.2. Relaciones esfuerzo – deformación:

Los materiales se deforman en respuesta a las cargas o fuerzas. La cantidad de deformación es proporcional a las propiedades del material y sus dimensiones. El efecto de las dimensiones se puede normalizar. Dividiendo la fuerza entre el área de la sección transversal del elemento se normaliza el efecto del área cargada. La fuerza por unidad de área se define como el esfuerzo  $\sigma$  ejercido sobre el elemento (es decir,  $\sigma = \text{fuerza}/\text{área}$ ).

El cociente entre el alargamiento y la longitud se define como la deformación  $\epsilon$  del elemento (es decir,  $\epsilon = \text{variación de longitud}/\text{longitud original}$ ). A partir del esfuerzo del diagrama esfuerzo-deformación es posible obtener mucha información útil acerca de un material.

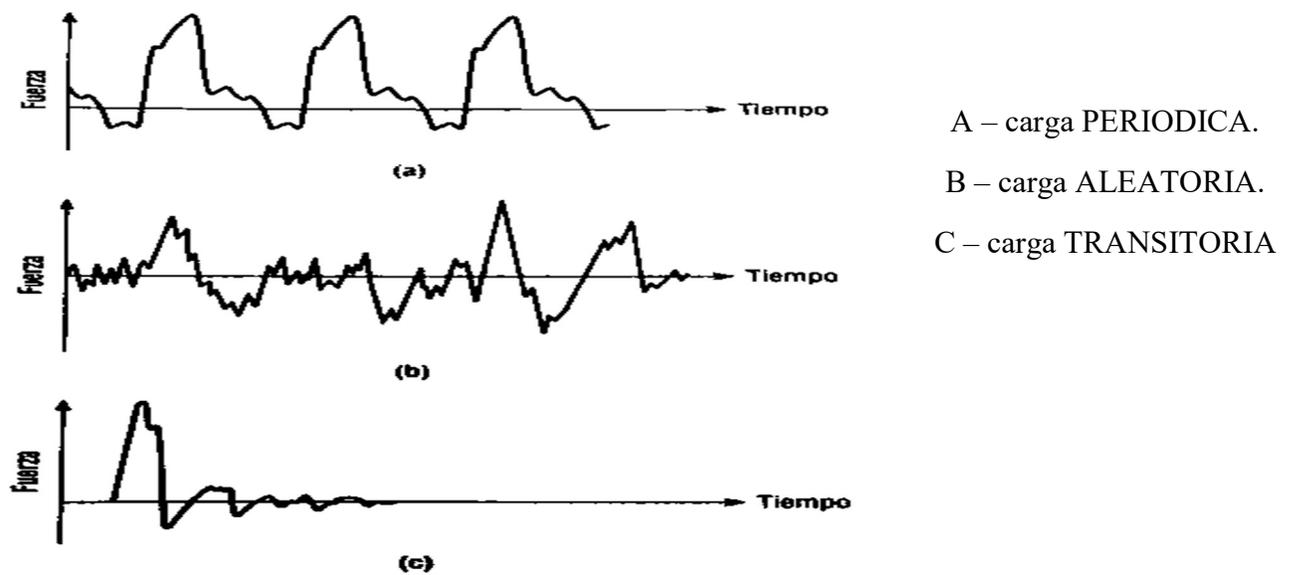


Figura 5: Patrón grafico de fuerza - tiempo para cargas dinámicas

Fuente: Mamlouk S. Michael, Zanieski P. John, libro: “Materiales para ingeniería civil”. 2 da edición. Pág. 4

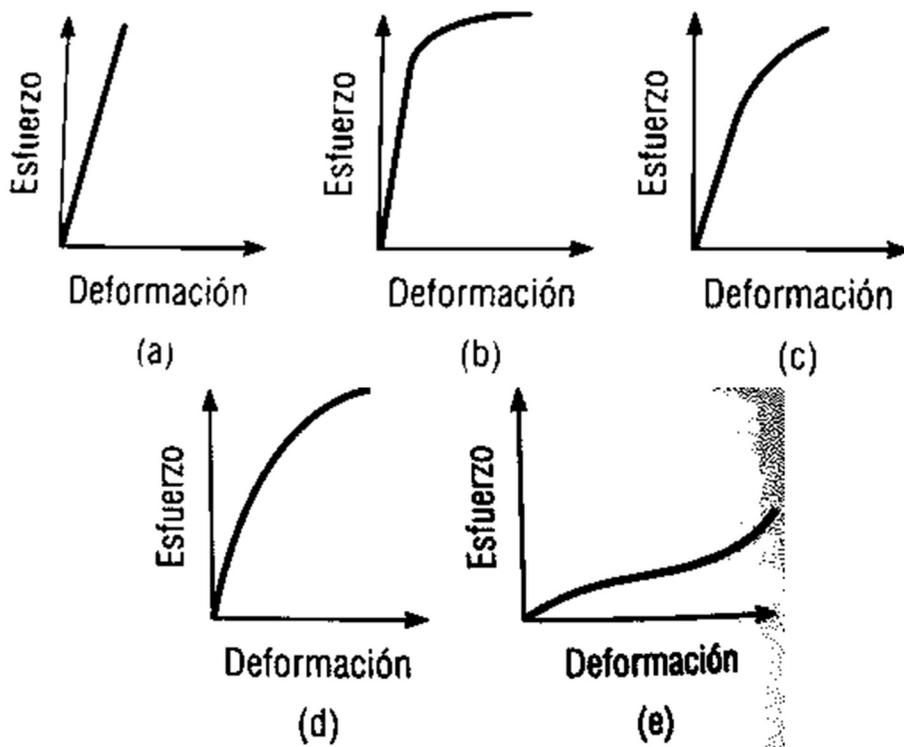


Figura 6: Diagramas típicos monoaxiales esfuerzo-deformación para algunos materiales de ingeniería: (a) cristal y yeso, (b) acero, (c) aleaciones de aluminio, (d) hormigón y (e) caucho blando

Fuente: Mamlouk S. Michael, Zanieski P. John, libro: "Materiales para ingeniería civil". 2 da edición. Pág. 6

*Observaciones:* en la figura 6 se observan varias curvas típicas monoaxiales de esfuerzo-deformación para tracción o compresión para diversos materiales de ingeniería. En el diagrama (a) se muestra una relación esfuerzo-deformación lineal, hasta el punto en que falla el material. En el diagrama (b) muestra el comportamiento del acero a tensión. Aquí, se obtiene una relación lineal hasta cierto punto (límite de proporcionalidad) después del cual el material se deforma sin que se produzca un gran incremento de esfuerzo. En el diagrama (c) se exhibe una relación esfuerzo-deformación lineal hasta el límite de proporcionalidad, después del cual existe una relación no lineal. En el diagrama (d) muestra una relación no lineal a lo largo de todo el rango; el hormigón y otros materiales; y en el diagrama (e) se ilustra una relación esfuerzo-deformación casi lineal seguida de una curva invertida, como por ejemplo el caucho blando sometido a tensión.

### 8.6.1.3. Comportamiento Elástico:

Para que un material exhiba un verdadero comportamiento elástico, debe tener una respuesta (deformación) instantánea a la carga, y el material debe volver a su forma original cuando la

carga se elimina. Muchos materiales incluidos los metales presentan un comportamiento elástico para niveles de esfuerzo bajos. Por ende se puede concluir que la deformación elástica no modifica la disposición de los átomos dentro del material, sino que lo que hace es provocar un estiramiento de los enlaces existentes entre los átomos. Cuando se elimine la carga, los enlaces atómicos vuelven a su posición original.

#### 8.6.1.4. Módulo de elasticidad o módulo de Young:

Young observó que los diferentes materiales elásticos presentan constantes de proporcionalidad diferentes entre el esfuerzo y la deformación. Es decir que para un material elástico homogéneo, isotrópico y lineal, la constante de proporcionalidad entre el esfuerzo normal y la deformación normal de un elemento axialmente cargado es lo que conocemos como módulo de elasticidad y se representa por las variables a continuación:

**Ecuación 1:**  $E$ : *modulo de elasticidad*

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

$\sigma$ : *esfuerzo normal*  
 $\epsilon$ : *deformacion normal.*

Fuente: Mamlouk S. Michael, Zanieeski P. John, libro: “Materiales para ingeniería civil”. 2 da edición.

#### 8.6.1.5. Relación de Poisson:

Es la relación entre la deformación lateral ( $\epsilon_l$ ) y la deformación axial ( $\epsilon_a$ ), en la prueba de tensión axial, a medida que el material se alarga, se produce una reducción de la sección transversal en la dirección lateral, pero en la prueba de compresión axial, se produce el fenómeno contrario, por ende puesto que las deformaciones axial y lateral tendrán siempre signo distinto, se incluye un signo negativo en la ecuación para hacer que la relación sea positiva. Esta relación tiene un rango teórico que va de 0,0 a 0,5 donde 0,0 es para un material compresible en el que las direcciones axial y lateral no se afecten entre sí. El valor 0,5 corresponde a un material que no cambia de volumen cuando se aplica la carga. La mayoría de los sólidos presentan una relación comprendida entre 0,1 y 0,45.

**Ecuación 2:**

$$\nu = \frac{\epsilon_l}{\epsilon_a}$$

$\nu$ : *relacion de poisson.*  
 $\epsilon_l$ : *deformacion lateral.*  
 $\epsilon_a$ : *deformacion axial.*

Fuente: Mamlouk S. Michael, Zanieeski P. John, libro: “Materiales para ingeniería civil”. 2 da edición.

Aunque el módulo de Young y la relación de Poisson se definieron para condición de esfuerzo-mono axial, también son importantes a la hora de describir las relaciones esfuerzo-deformación tridimensional. Si se somete un elemento cubico homogéneo e isotrópico con

respuesta elástica lineal a esfuerzos normales  $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ , en las tres direcciones ortogonales como se muestra en la figura 7, puede calcularse las deformaciones  $\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$ , mediante la ley de Hooke generalizada, no hay que confundir linealidad con elasticidad. La relación esfuerzo-deformación de un material lineal sigue una línea recta.

Por su parte, un material elástico vuelve a su forma original, cuando se elimina la carga y reacciona instantáneamente a las variaciones de la carga. Para los materiales que no muestran un comportamiento lineal, como el hormigón y el terreno, puede resultar problemático determinar el módulo de Young o módulo de elasticidad. Para estos materiales existen diferentes opciones para definir arbitrariamente el modulo.

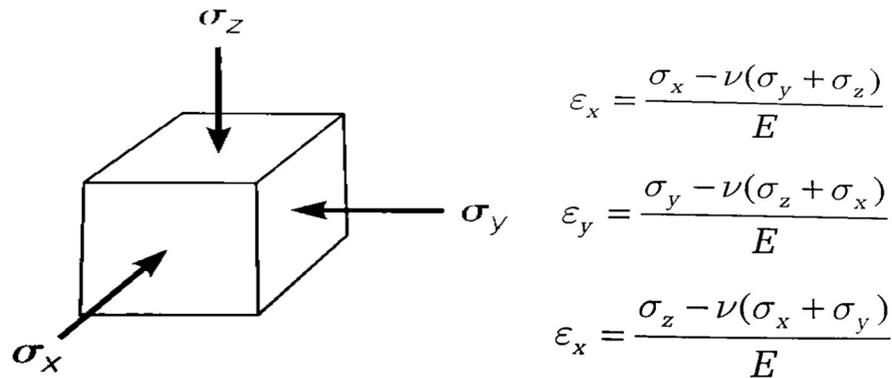


Figura 7: Esfuerzos normales aplicados a un elemento cubico y LEY DE HOOKE generalizada.

Fuente: Mamlouk S. Michael, Zanieeski P. John, libro: “Materiales para ingeniería civil”. 2 da edición. Pág. 9

En la tabla 3 se describen los valores del módulo de elasticidad y la relación de Poisson para ciertos materiales:

Tabla 3: Valores Típicos Del Módulo elasticidad Y De La Relación De Poisson (Temperatura Ambiente).

<u>Material</u>	<u>Modulo Gpa (psi x 10<sup>6</sup>)</u>	<u>Relacion de poisson</u>
<b>Acero</b>	207 (30)	0,27
<b>Aluminio</b>	69-75 – 0.014 (0.00015 – 0.002)	0,33
<b>Caucho (blando)</b>	0,001 – 0,014 (0,00015 – 0,002)	0,49
<b>Cobre</b>	110 (16)	0,35
<b>Crystal</b>	62 – 70 (9 10)	0,25

<b>Epoxy</b>	3 – 140 (0,4 – 20)	
<b>Ladrillo</b>	10 – 17 (1,5 – 2,5)	0,23 – 0,40
<b>Hierro fundido</b>	75 – 169 (11 – 23)	0,17
<b>Hormigon</b>	14 – 40 (2 – 6)	0,11 – 0,21
<b>Piedra caliza</b>	58 (8,4)	
<b>Madero</b>	6 – 15 (0,9 – 2,2)	
<b>tugsteno</b>	407 (59)	

Fuente: Mamlouk S. Michael, Zanieeski P. John, libro: “Materiales para ingeniería civil”. 2 da edición. Pág. 9

### 8.6.1.6. Comportamiento elastoplástico:

En algunos materiales, a medida que se incrementa el esfuerzo aplicado al elemento, la deformación se incrementara de manera proporcional hasta alcanzar un cierto punto. Después de ese punto, la deformación se incrementa aplicando muy poco esfuerzo adicional. En este caso, el material exhibe un comportamiento elástico lineal, seguido de una respuesta plástica. Por ende, El nivel de esfuerzo para el que el comportamiento cambia de elástico a plástico se denomina límite de elasticidad.

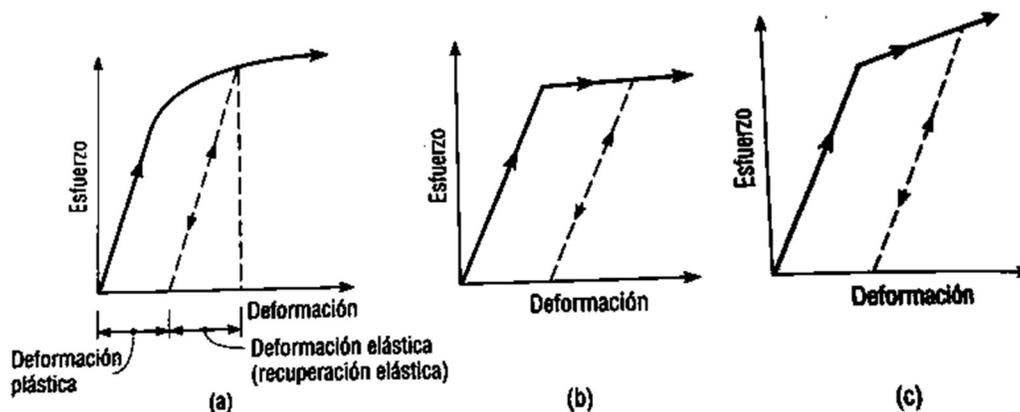


Figura 8: Comportamiento de esfuerzo-deformación de los materiales plásticos: (a) ejemplo de carga y descarga, (b) elástico-perfectamente plástico y (c) elastoplástico con endurecimiento por deformación.

Fuente: Mamlouk S. Michael, Zanieeski P. John, libro: “Materiales para ingeniería civil”. 2 da edición. Pág. 10

Cuando la carga se elimina del elemento, parte de la deformación se recupera y otra parte será permanente como puede verse en la figura 8 en su punto (a).

El comportamiento plástico indica una deformación permanente del elemento, de modo que este no vuelve a su forma original al eliminar la carga. Esto indica que, cuando se aplica la carga, los enlaces atómicos se estiran o comprimen, dando lugar a una respuesta elástica. Logrando que los átomos pasen a deslizarse realmente los unos con respecto a los otros, y cuando se elimina la carga, el deslizamiento atómico no se revierte; solo se revierte el estiramiento o compresión de los enlaces atómicos. En la figura 8 en su punto b se presenta el comportamiento de los materiales que exhiben tanto una respuesta elástica como plástica, lo cual se conoce como una respuesta elástica lineal-plástica perfecta, en la que el material exhibe, al ser cargado, una respuesta elástica lineal, seguida de una respuesta completamente plástica. Si dicho material se descarga después de que se haya deformado plásticamente, se recupera de una forma elástica lineal y sigue una línea recta paralela a la parte elástica de la curva, de manera que el material presenta una cierta deformación permanente.

Si se vuelve a cargar el material, tiene una respuesta elástica lineal, seguida de una respuesta plástica para el mismo nivel de esfuerzo para que el que se descarga el material. En la figura 8 en su punto c se muestra una respuesta elastoplástica en la que la primera parte es una respuesta elástica seguida de una combinación de respuesta elástica y plástica. Si se elimina la carga después de la deformación plástica, la relación esfuerzo-deformación sigue una línea recta paralela a la parte elástica; en consecuencia, se elimina parte de la deformación del material, mientras que el resto de la deformación se convertirá en permanente.

Al volver a cargar el material, este se comporta de nuevo de forma elástica lineal, hasta el nivel de esfuerzo conseguido en el ciclo de esfuerzo anterior. Después de ese punto, el material sigue la curva original de esfuerzo-deformación. Por tanto, el esfuerzo requerido para provocar una deformación plástica se va incrementando. Este proceso se denomina endurecimiento por deformación o endurecimiento por tratamiento mecánico.

El endurecimiento por deformación puede ser beneficioso en algunos casos, dado que permite aplicar un mayor esfuerzo sin que se produzca una deformación permanente. El acero dulce es un ejemplo de material que experimenta un endurecimiento por deformación durante la deformación plástica. Algunos materiales exhiben lo que se denomina un ablandamiento por deformación, que consiste en que la deformación plástica provoca un debilitamiento del material. El hormigón de cemento portland es un buen ejemplo de este tipo de material. En este caso, la deformación plástica provoca micro fisuras en la interfaz entre el árido y la pasta de cemento. Los materiales que no sufren una deformación plástica antes de fallar, como el hormigón, se denominan frágiles, mientras que los materiales que muestran una deformación plástica apreciable, como por ejemplo el acero dulce, se denominan dúctiles.

Las gráficas esfuerzo-deformación de los materiales elastoplástico, delimitan unas zonas como por ejemplo el punto más bajo de la gráfica el cual se conoce como límite de proporcionalidad, definido como el punto de transición entre el comportamiento lineal y el no lineal. El segundo punto es el límite de elasticidad, que es la transición entre el comportamiento elástico y el plástico. En lugar de ello hay una transición gradual, casi imperceptible, entre ambos comportamientos, lo que hace difícil localizar un punto exacto de transición (Polowsky y Ripling, 1966). Por esta razón, se han utilizado métodos arbitrarios para identificar el límite de elasticidad, como los métodos de desvío y de extensión, definiendo así el esfuerzo de fluencia (resistencia de fluencia).

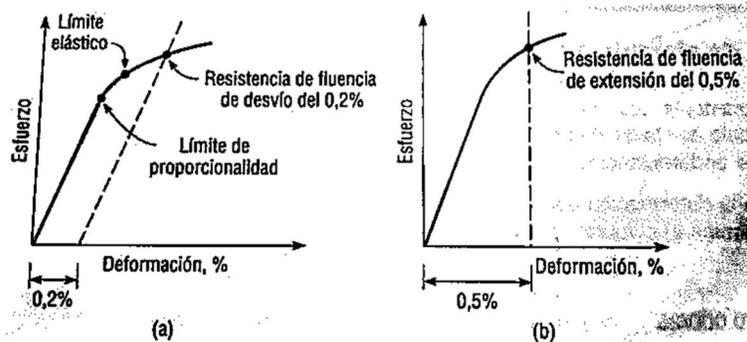


Figura 9: Métodos para estimar el esfuerzo de fluencia (a) método de desvío y (b) método de extensión.

Fuente: Mamlouk S. Michael, Zanieeski P. John, libro: “Materiales para ingeniería civil”. 2 da edición. Pág. 12.

Con el método del desvío, se mide una desviación específica en la abscisa y se dibuja una línea que pase por este punto y con una pendiente igual al módulo de tangente inicial. El punto en que esta línea se cruza con la curva de esfuerzo-deformación es el esfuerzo de fluencia de desvío del material, como se ilustra en la figura 9 ejemplo (a). Para los diferentes materiales se utilizan distintos desvíos representados en la tabla 4 como se ilustra a continuación:

Tabla 4: Valores de desvío utilizados típicamente para determinar el esfuerzo de fluencia.

<b><u>Material</u></b>	<b><u>Condición de esfuerzo</u></b>	<b><u>Desvío (%)</u></b>	<b><u>Deformación correspondiente</u></b>
<b>Acero</b>	Tension	0,20	0,0020
<b>Aleaciones de aluminio</b>	Tension	0,20	0,0020
<b>Fundición gris</b>	Tension	0,05	0,0005
<b>Hormigón</b>	Compresion	0,02	0,0002
<b>Latón y bronce</b>	Tension	0,35	0,0035
<b>madera</b>	Compresion paralela a la veta	0,05	0,0005

Fuente: Mamlouk S. Michael, Zanieeski P. John, libro: “Materiales para ingeniería civil”. 2 da edición. Pág. 12

El esfuerzo de fluencia de extensión se sitúa donde una proyección vertical para un nivel de esfuerzo especificado interseca con la curva esfuerzo-deformación. En la figura 9 en su

ejemplo (b) muestra el esfuerzo de fluencia correspondiente a una extensión del 0,5%.

#### 8.6.1.7. Fallas y seguridad:

Las fallas ocurren cuando un elemento o estructura deja de realizar la función para la que fue diseñada. El fallo de una estructura puede producirse por diversos modos, entre los que se incluye la fatiga por fractura, la fluencia general, el alabeo y la deformación excesiva. La fractura es un modo de fallo común. Un material frágil se fractura normalmente de forma súbita cuando el esfuerzo estático alcance la resistencia del material, donde la resistencia se define como el esfuerzo máximo que el material puede soportar. Por otro lado, un material dúctil puede fracturarse a causa de una deformación plástica excesiva. Los esfuerzos repetidos pueden hacer que un material falle o se fatigue, para un nivel de esfuerzo bastante por debajo de la resistencia del material. El número de aplicaciones de carga que un material puede soportar dependerá del nivel de esfuerzo en relación con la resistencia del material. Como se ilustra en la figura 10, a medida que se reduce el nivel de esfuerzo, el número de aplicaciones de cargas necesarias antes de que se produzca el fallo se incrementa.

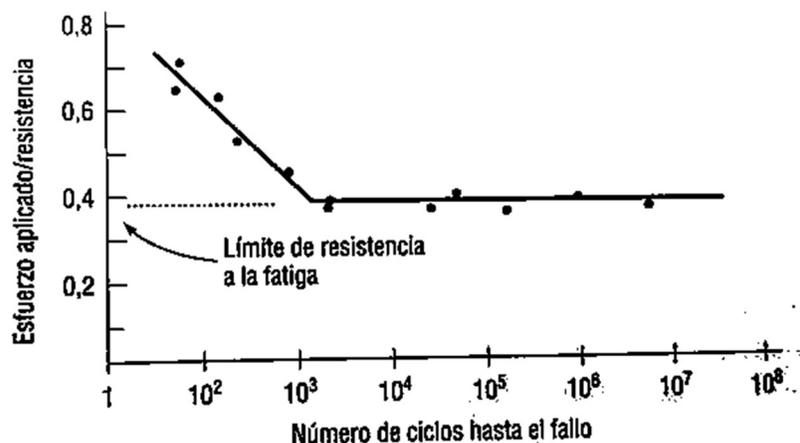


Figura 10: Ejemplo de límite de resistencia a la fatiga bajo condiciones de carga repetida  
Fuente: Mamlouk S. Michael, Zanieeski P. John, libro: “Materiales para ingeniería civil”. 2 da edición. Pág. 21

Otro modo de falla es la fluencia general. Esta falla tiene lugar en los materiales dúctiles y se difunde por toda la estructura, lo que da como resultado un colapso total. Los elementos largos y delgados sujetos a compresión axial pueden fallar debido al alabeo. Aunque el elemento este diseñado para soportar cargas de compresión axiales, puede que se aplique una pequeña fuerza lateral, que cause una deflexión y puede terminar provocando una falla. En ocasiones, una deformación excesiva (elástica o plástica) podría definirse como falla, dependiendo de la función del elemento. Para minimizar las posibilidades de falla, las estructuras se diseñan para soportar una carga mayor que la carga máxima prevista. El factor de seguridad (FS) se define como la relación entre el nivel de esfuerzo de fallo y el máximo nivel de esfuerzo posible según el diseño (esfuerzo máximo previsto):

**Ecuación 3:**

$$FS = \frac{\sigma_{fallo}}{\sigma_{tolerable}}$$

*FS: factor de seguridad*

*$\sigma_{fallo}$ : esfuerzo de fallo del material.*

*$\sigma_{tolerable}$ : maximo nivel de esfuerzo posible o esfuerzo tolerable por el diseño.*

Fuente: Mamlouk S. Michael, Zanieeski P. John, libro: "Materiales para ingeniería civil". 2 da edición.

Normalmente, cuando mayor sea el factor de seguridad, mayor será la sección transversal en la estructura y, en consecuencia, mayor será el coste.

### 8.6.2. Propiedades no mecánicas.

Cuando se habla de propiedades no mecánicas se hace referencia a las características del material, distintas a la respuesta a la carga, que afectan a la selección, el uso y el comportamiento de ese material. Pero las principales propiedades que más deben preocupar a los ingenieros civiles son, la densidad, las propiedades térmicas y las características superficiales.

#### 8.6.2.1. Densidad y peso específico.

En la mayoría de las estructuras, el peso propio de los materiales que constituyen la estructura cumple un papel muy significativo al nivel de esfuerzo total previsto en el diseño. Debido a que si el peso de los materiales puede reducirse, también podrá reducirse el tamaño de los elementos estructurales. Un claro ejemplo de esto, es la relación o mezcla de asfalto y hormigón, la relación peso-volumen de los áridos y aglomerantes donde debe seleccionarse las proporciones o cantidades justas para alcanzar la mezcla de diseño.

Hay tres términos generales utilizados para describir las relaciones entre la masa, el peso y el volumen de los materiales. La densidad es la masa por unidad de volumen de material. El peso específico es el peso por unidad de volumen del material.

**Ecuación 4:**

$$\gamma = \rho * g$$

*$\gamma$  = peso específico*

*$\rho$  = densidad*

*$g$  = aceleración de la gravedad.*

Fuente: Mamlouk S. Michael, Zanieeski P. John, libro: "Materiales para ingeniería civil". 2 da edición.

### 8.6.2.2. - Expansión Térmica.

**Ecuación 5:**

$$\alpha_V = \frac{\delta V}{V \delta T}, \alpha_L = \frac{\delta L}{L \delta T}$$

$\alpha_L =$  coeficiente lineal de expansión térmica

$\alpha_V =$  coeficiente volumétrico de expansión térmica

$\delta L =$  variación de la longitud del elemento.

$\delta T =$  variación de temperatura.

$L =$  longitud original del elemento.

$\delta V =$  variación de volumen del elemento.

$V =$  volumen original del elemento.

Fuente: Mamlouk S. Michael, Zaniewski

P. John, libro: "Materiales para ingeniería civil". 2 da edición.

Prácticamente todos los materiales se expanden a medida que la temperatura aumenta y se contraen a medida que la temperatura desciende.

El grado de expansión por unidad de longitud debido a un aumento de temperatura es una constante del material y se expresa mediante el coeficiente de expansión térmica:

El coeficiente de expansión térmica es de suma importancia en el diseño de estructuras. Generalmente, las estructuras están compuestas de muchos materiales que se fijan entre sí, si los coeficientes de expansión térmica son distintos, los materiales se deformarán a velocidades diferentes.

### 8.6.2.3. Características superficiales:

Las propiedades superficiales de los materiales que más interesan a los ingenieros civiles incluyen la corrosión y la degradación, la capacidad del material para resistir la abrasión, el desgaste y la textura superficial.

#### CORROSIÓN Y DEGRADACIÓN:

Todos los materiales se deterioran a lo largo de su vida útil. Los mecanismos de deterioro de un material varían dependiendo de las características del material y del entorno. Los materiales cristalinos como los metales, se deterioran por un proceso de corrosión en el que existe una pérdida del material, bien por disolución o por la formación de una película o costra no metálica. Los polímeros como el asfalto, se deterioran por degradación, incluyendo los efectos que los disolventes y la radiación ultravioleta tienen sobre el material.

#### RESISTENCIA A LA ABRASIÓN Y AL DESGASTE:

Debido a que la mayoría de las estructuras de ingeniería civil son estáticas, la resistencia a la abrasión o al desgaste tiene una menor importancia que en otros campos de la ingeniería. Pero aun así, vemos ejemplos de abrasión o desgaste por fricción; los pavimentos deben diseñarse para ser capaces de resistir el desgaste y la acción de pulido provocados por las ruedas de los vehículos, por ende la resistencia a la abrasión y al desgaste es una de las propiedades más importantes de los áridos utilizados en los pavimentos.

## TEXTURA SUPERFICIAL:

Algunos materiales y estructuras tienen una textura superficial de suma importancia para los ingenieros civiles, como por ejemplo en el hormigón portland, que requiere las partículas de áridos de textura suave, para facilitar el tratamiento durante la mezcla y la colocación. Pero por el contrario, las mezclas de hormigón asfáltico requieren áridos de textura rugosa para proporcionar una capa estable de pavimento que resista la deformación cuando se aplique una carga, y de la misma manera es de suma importancia que exista un grado de textura superficial en el pavimento para proporcionar una adecuada resistencia de fricción e impedir el derrape de los vehículos cuando el pavimento esté mojado.

### **8.7. Sistemas Estructurales:**

De acuerdo a la norma sismo resistente en su título A.3.2 – “SISTEMAS ESTRUCTURALES” (NSR-10. Título A, pg., A-41), se reconocen cuatro tipos generales de sistemas estructurales de resistencia sísmica, los cuales se subdividen según los tipos de elementos verticales utilizados para resistir las fuerzas sísmicas y el grado de capacidad de disipación de energía del material estructural a emplear:

#### **8.7.1. Sistemas de muros de carga:**

Sistemas estructurales que no dispone de un pórtico esencial completo y en el cual las cargas verticales son resistidas por muros de carga y las fuerzas horizontales son resistidas por muros estructurales o pórticos con diagonales. (Ver anexo #7)

#### **8.7.2. Sistema combinado:**

B.1: las cargas verticales son resistidas por un pórtico no resistente a momentos esencialmente completo, y las fuerzas horizontales son resistidas por muros estructurales o pórticos con diagonales.

B.2: las cargas verticales y horizontales son resistidas por un pórtico resistente a momentos, esencialmente completo, combinado con muros estructurales o pórticos con diagonales, y que no cumple los requisitos de un sistema dual.

(Ver anexos # 8 y 9)

#### **8.7.3. Sistema de pórtico:**

Está compuesto por un pórtico espacial, resistente a momentos, esencialmente completo, sin diagonales, que resiste todas las cargas verticales y fuerzas horizontales. (Ver anexo # 10).

#### **8.7.4. Sistema dual:**

Es un sistema estructural que tiene un pórtico espacial resistente a momentos y sin diagonales, combinado con muros estructurales o pórticos con diagonales. (Ver anexo # 11), para que un sistema sea dual debe cumplir con los siguientes requisitos:

D.1: pórtico espacial resistente a momentos, sin diagonales, esencialmente completo, debe ser capaz de resistir las cargas verticales.

D.2: Las fuerzas horizontales son resistidas por la combinación de muros estructurales o pórticos con diagonales, con el pórtico resistente a momentos, el cual puede ser un pórtico con capacidad especial de disipación de energía (DES), cuando se trata de concreto reforzado o acero estructural, un pórtico con capacidad moderada de disipación de energía (DMO) de concreto reforzado, o un pórtico con capacidad mínima de disipación de energía (DMI) de acero estructural. El pórtico resistente a momentos, actuando independientemente debe diseñarse para que sea capaz de resistir como mínimo el 25% del cortante sísmico en la base (NSR-10, Título A, pg. A-41).

D.3: Los dos sistemas deben diseñarse de tal manera que en conjunto sean capaces de resistir la totalidad del cortante sísmico en la base, en proporción a sus rigideces relativas, considerando la interacción del sistema dual en todos los niveles de la edificación, pero en ningún caso la responsabilidad de los muros estructurales, o de los pórticos con diagonales, puede ser menor del 75% del cortante sísmico en la base.

#### **8.7.5. Requisitos para sistemas estructurales combinados:**

Para realizar un sistema estructural a criterio personal donde hay combinaciones de diferente materiales; con respecto a los niveles en el diseño en altura y en planta; la norma establece los siguientes requisitos:

- **Combinaciones de sistemas estructurales en la altura (NSR-10, Título A, pg. A-42):**

MÁXIMO VALOR DE “R” PERMITIDO:

Con la excepción dispuesta en A.3.2.4.2 a A.3.2.4.4, todo sistema estructural que combine en altura diferentes sistemas se clasifica como irregular del tipo 5aA o 5bA (tabla A.3-7), y por ende el valor del coeficiente de capacidad de disipación de energía R, en cualquier dirección y en cualquier nivel, como máximo debe ser el menor valor de R de los sistemas estructurales que se estén combinando por encima de ese nivel y en la dirección considerada. Tan bien deben cumplirse los requisitos de diseño exigidos para cada sistema estructural y para cada grado de capacidad de disipación de energía del material estructural.

- PISOS LIVIANOS:

Cuando la masa de los pisos localizados por encima del nivel donde se inicia un sistema estructural sea menor del 10 % de la masa total, M, de la edificación.

## ESTRUCTURA FLEXIBLE APOYADA SOBRE UNA ESTRUCTURA CON MAYOR RIGIDEZ:

Los procedimientos de diseño están para este tipo de estructura están estipulados en la tabla A.3-5.

## ESTRUCTURA RÍGIDA APOYADA SOBRE UNA ESTRUCTURA CON MENOR RIGIDEZ:

La norma en sus respectivas investigaciones data de que este tipo de combinaciones presentan inconvenientes en su comportamiento sísmico, por ende no lo considera un sistema estructural aceptable.

### • **Combinaciones de sistemas estructurales en la planta (NSR-10, Título A, pg. A-42):**

Pueden combinarse sistemas estructurales en planta sin que esto de pie para clasificarla como una estructura irregular, pero debe cumplir las siguientes limitaciones:

Los dos sistemas deben coexistir en toda la altura de la edificación, a menos que se cumplan los requisitos de A.3.2.4.

Cuando la estructura tiene un sistema de muros de carga únicamente en una dirección, el valor de R para diseñar la dirección ortogonal, no puede ser mayor que 1.25 veces el valor de R del sistema estructural de muros de carga.

Cuando la estructura tiene dos sistemas de muros de carga diferentes en la misma dirección, para el sistema que tiene el mayor valor de R el valor a emplear no puede ser mayor que a 1.25 veces el valor de R del sistema con el menor valor de R.

Cuando una estructura tiene sistemas diferentes a muros de carga en ambas direcciones, para el sistema que tiene un mayor valor de R, el valor a emplear no puede ser mayor que 1.25 veces el valor de R del sistema con el menor valor de R.

### **8.7.6. Configuración Estructural:**

Referenciando anteriormente los principales sistemas estructurales y sus diferentes combinaciones, limitaciones y requisitos; el proceso a seguir, determina la configuración estructural de la edificación, es decir, las características de diseño de la estructura; como su tamaño, su naturaleza, dimensiones y la localización de cada elemento estructural y no estructural; en otras palabras, cada elemento que pueda afectar el comportamiento de la edificación; ejemplos de estos se representan como: la separación entre columnas y vigas o luces.

Esto también se conoce con el nombre de ejes de diseño o malla de diseño, en el caso de los programas de diseño estructural como “ETBS O SAP2000” se puede encontrar como (Grilla o Malla).

Determinados y configurados los ejes principales de la estructura tanto en planta como en altura, incluyendo los elementos estructurales a estudiar; la norma NSR-10 exige en su numeral A.3.3.

Realizar una comparación de la configuración estructural de la edificación con unos parámetros o criterios de diseño generalizados para todo tipo de estructura; estos determinan unos coeficientes que están ligados a las irregularidades en planta, altura y por ausencia de redundancia en el sistema de resistencia sísmica y esto permite clasificar el diseño de la estructura como REGULAR o IRREGULAR.

#### **8.7.7. Tipos de fallas en sistemas estructurales:**

Cuando una estructura deja de cumplir su función de manera adecuada, se dice que ha fallado. Al hablar de falla es preciso aclarar dicho concepto, pues es sabido que las hay de diferentes tipos. En general, se pueden clasificar así:

##### **8.7.7.1. Falla por deformación elástica excesiva:**

Tiene que ver con funcionamiento de la estructura. Puede causar al usuario miedo de utilizarla; ejemplo el temor de cruzar sobre puentes colgantes que oscilan considerablemente, o sobre redes de placas muy delgadas; además de causar problemas constructivos como rotura de vidrios, grietas en cielo raso y desajustes de puertas y ventanas.

##### **8.7.7.2. Falla por deformación permanente:**

Se presenta cuando el material se ha sometido a un esfuerzo superior a su límite elástico. En maquinarias dicha deformación impide su funcionamiento normal la mayoría de las veces, lo mismo puede ocurrir con las estructuras propias de la ingeniería civil, haciendo necesaria su reparación. Aunque su mayor apreciación y deformación es estética, esto tiende a generar problemas a futuro.

##### **8.7.7.3. Falla por separación parcial:**

Se refiere a que en algunas partes del elemento estructural el material presenta separaciones considerables mayores que las normales entre partículas. Entonces se dice que presenta fisuras o grietas, las primeras son solo superficiales, pero las secundarias son mucho más graves debido a que a veces afectan su capacidad estructural debido tienden a penetrar gran parte del elemento.

##### **8.7.7.4. Falla por separación total:**

Este es el tipo de falla más grave desde el punto de vista de seguridad, debido a que es la falla por separación total o colapso de la estructura. Al ocurrir no solo genera perjuicios estructurales, si no tan bien económicos de manera considerables y en algunos casos perdidas

de vida. Por eso solo es permitida que se de en el laboratorio, donde se puede conocer el comportamiento estructural hasta la rotura de las normas de diseño. Por ende es claro que cuando un material o una estructura que falla de un modo súbito o explosivo, requiere mayor margen de seguridad que cuando el tipo de falla permite tomar a tiempos medidas correctivas.

### 8.8. Coeficiente de disipación de energía:

La redundancia estructural dentro de una edificación se puede interpretar como la capacidad que posee el diseño propuesto para distribuir las cargas en los diferentes elementos después de que alguno de ellos falle o deje de cumplir función estructural alguna. Esto genera en el criterio profesional un punto base; “EQUILIBRIO” entre el diseño y el comportamiento de la estructura, debido a que describe la cantidad de apoyos y conexiones que posea el proyecto en estudio.

Estos coeficientes entran en la categoría descrita en el numeral A.3.3.3. Donde su función es reducir el valor de (R o coeficiente de disipación de energía) para aquellas estructuras que su diseño estructural se clasifique como irregular que en la mayoría de los casos es lo más general.

El coeficiente de disipación de energía (R) es la capacidad que tiene cada sistema estructural, de reducir las fuerzas sísmicas transmitidas a la cimentación, es decir, este coeficiente divide las fuerzas sísmicas obtenidas para las diferentes metodologías de análisis de una estructura.

Donde hay un valor final de (R o coeficiente de disipación de energía), expresado en el numeral A.3.3.3. Por medio de la ecuación 6) como se ilustra a continuación:

$$\text{Ecuación 6: } R = \phi_a \phi_p \phi_r R_0$$

Fuente: Norma sismo resistente del 2010 “NSR-10” título A.

**Tabla 5: definición ítems coeficiente de disipación de energía.**

SIMBOLOGÍA	SIGNIFICADO
$\phi_a$	Coeficiente de reducción de la C.D.E. por irregularidades en altura.
$\phi_p$	Coeficiente de reducción de la C.D.E. por irregularidades en planta.
$\phi_r$	Coeficiente de reducción de la C.D.E. por ausencia de redundancia.
$R_0$	Coeficiente de la C.D.E. básico determinado para cada sistema y material estructural.

C.D.E.: Coeficiente de disipación de energía.

Fuente: Norma sismo resistente del 2010 “NSR-10” título A.

Determinado un valor final como coeficiente de disipación de energía (R), se procede a determinar las fuerzas sísmicas reducidas de diseño (E) la cual tiene origen de la división de las fuerzas sísmicas obtenidas por el análisis (Fs.) entre su coeficiente final de disipación de energía (R).

### **Fuerzas sísmicas de diseño:**

Las fuerzas sísmicas de diseño (E) obtenidas de la división; se convierten en los valores finales con los que se trabajan las combinaciones de cargas prescritas en el Título B para el procedimiento del diseño estructural. Los valores y las combinaciones establecidas anteriormente son la base del siguiente paso; determinar los métodos de análisis a emplear dentro de la investigación.

## **8.9. Cimentaciones**

Como lo estableció el profesor Peck (Peck R.B. Vol. XII N°1), la mecánica de suelos es una ciencia y la ingeniería de cimentaciones un arte. Esta distinción debe ser entendida si se desea alcanzar progreso y eficiencia en ambos campos. Por ende los atributos necesarios para practicar con éxito la ingeniería de cimentaciones son:

- Conocimientos de antecedentes.
- Familiaridad con la mecánica de suelos.
- Conocimiento práctico de la geología.

Siguiendo esta idea, la cimentación es un grupo de elementos estructurales, cuya misión es transmitir las cargas de la estructura o de los elementos apoyados de este, al suelo, distribuyendo las cargas de forma que no superen la presión admisible ni produzcan cargas zonales. Debido a que la resistencia del suelo es generalmente menor, que la de los pilares o muros que soportara; por eso es necesario entender la premisa de que el área de contacto entre el suelo y la cimentación será proporcionalmente más grande que los elementos a soportar.

En muchos casos, los cimientos no solo transmiten compresiones, sino que, mediante esfuerzos de rozamiento y adherencia, llegan a soportar cargas horizontales y de tracción, anclando el edificio al terreno, si fuese necesario. Dentro de sus principales propósitos encontramos:

- Ser suficientemente resistente para no romper por cortante.
- Soportar los esfuerzos de flexión que produce el terreno, para lo cual en general se dispondrán, armaduras en su cara interior, que absorberán las tracciones.
- Acomodarse a posibles movimientos del terreno.

- Soportar las agresiones del terreno y del agua y su presión, si la hay.

### **8.10. Tipos de cimentación:**

El tipo de cimentación depende especialmente de las características mecánicas del terreno, como su cohesión, su ángulo de rozamiento interno, posición del nivel freático y también de la magnitud de las cargas existentes. A partir de todos esos datos se calcula la capacidad portante, que junto con la homogeneidad del terreno, aconsejan usar un tipo u otro diferente de cimentación. Siempre que es posible se emplean cimentaciones superficiales, ya que son el tipo de cimentación menos costoso y más simple de ejecutar. Cuando por problemas con la capacidad portante o la homogeneidad del mismo no es posible usar cimentación superficial se valoran otros tipos de cimentaciones más profundas.

- Por ende hay dos tipos fundamentales de cimentación: directas o superficiales y profundas.

El suelo es una parte fundamental de la estructura teniendo en cuenta los diferentes tipos de suelo depende que tipo de cimentación se deba utilizar. Y si el suelo falla, la estructura, domicilio o edificio también lo hará.

Por ende las características y los estudios respectivos de cada tipo de suelo, determinan su capacidad portante, la cual determina cuanta carga es capaz de resistir antes de deformarse, arrojando consigo la cota o plano de fundación, definida como la medida en altura, apta o mínima para descargar la fuerza de la estructura sobre suelo firme.

En estructuras de gran magnitud, tal como puentes, viaductos, o vías a desnivel, entre otras, las cimentaciones, incluso las superficiales se apoyan a suficiente profundidad como para garantizar que no se produzcan deterioros.

#### **8.10.1. Cimentaciones directas o superficiales:**

Son aquellos que descansan en las capas superficiales del suelo y que son capaces de soportar carga que recibe de la construcción por medio de la ampliación de base. Los materiales más usados para este tipo de cimentaciones es la piedra, desde que sea de alta resistencia, maciza y sin poros; y el concreto armado de en sus diferentes resistencias.

**CIMENTACIONES CICLÓPEAS:** Se presentan para terrenos cohesivos donde la zanja pueda hacerse con parámetros verticales y sin desprendimientos de tierra, la cimentación en concreto ciclópeo es sencillo y económico

**CIMENTACIONES DE CONCRETO ARMADO:** La mayoría de las cimentaciones utilizan concreto armado en todo tipo de terreno o suelo. La ventaja es que las secciones que se calculan son relativamente pequeñas a comparación de las cimentaciones ciclópeas o en piedra.

**CIMENTACIONES CORRIDAS:** Es un cimientado de hormigón armado que se desarrolla linealmente a una profundidad y con una anchura constantes que dependen del tipo de suelo.

Es más que todo utilizada para transmitir las cargas proporcionadas por estructuras de muros portantes. Aunque no son muy recomendadas en suelos blandos.

**CIMENTACIÓN FLOTANTE:** Cuando la capacidad portante del suelo es muy pequeña y el peso del edificio importante, puede suceder que el solar del que disponemos no tenga superficie como para albergar una losa que distribuya la carga; en tal caso es posible construir un cimiento que flote sobre el suelo. Se da más que todo en los casos en los que es necesario transmitir las cargas al suelo a través de una gran área, logrando que los esfuerzos de contacto sean relativamente bajos. Su uso es común en edificios con sótanos sobre suelos de baja capacidad portante, donde la compensación entre el suelo excavado y el peso de la estructura permite que esta última “flote”. Su efecto es similar al de un barco en el agua.

**ZAPATAS:** Las zapatas normalmente son en hormigón armado, con planta cuadrada o rectangular; y en el cálculo de las presiones ejercidas por los diferentes tipos de zapata se debe siempre de tener en cuenta además del peso del edificio y las sobrecargas, el peso propio de la zapata y de las tierras que descansan sobre su vuelos, ya que estas dos últimas cargas tienen un efecto desfavorable al hundimiento.

**ZAPATAS AISLADAS:** son un tipo de cimentación superficial que sirve de base de elementos estructurales puntuales como son los pilares o columnas; su principal función es ampliar la superficie de apoyo hasta lograr que el suelo soporte sin problemas la carga que le transmite. Cuando se genera un momento flexor excesivo en la base del pilar no es adecuado utilizar zapatas aisladas, lo recomendado es utilizar zapatas combinadas o zapatas corridas en las que se asienten más de un pilar. (nota: las vigas de amarre son elementos estructurales de la cimentación que, colocados entre zapatas aisladas, impiden los desplazamientos causados por las cargas de la estructura. La NSR-10 exige vigas de amarre entre zapatas aisladas, para todas las zonas de amenaza sísmica (baja, media, alta).

**ZAPATAS CORRIDAS:** se utilizan para cimentar muros portantes, o hileras de pilares. Estructuralmente funcionan como viga flotante que recibe cargas lineales o puntuales separadas. Son de gran longitud en comparación con su sección transversal. Son definidas como un elemento estructuralmente continuo, como un muro estructural en el cual lo que se pretende es dejar los asentamientos en el terreno. Tan bien hace función de arriostramiento, reduciendo la presión sobre el terreno, punteando defectos y heterogeneidades en el terreno. Pueden ser de sección rectangular, escalonada o estrechada cónicamente. Las zapatas corridas según el (CTE) Código técnico de la edificación, son aquellas zapatas que recogen más de tres pilares.

**ZAPATAS COMBINADAS:** es un elemento que sirve de cimentación para dos o más pilares. En principio las zapatas aisladas sacan provecho de que diferentes pilares tienen diferentes momentos flectores. Si estos se combinan en un único elemento de cimentación, el resultado puede ser un elemento más estabilizado o cometido a un menor momento resultante.



Figura 11: Clasificación general de las zapatas

Fuente: Argos – 360 en concreto link:

<https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/cimentaciones-en-concreto-191superficiales-y-profundas-1>

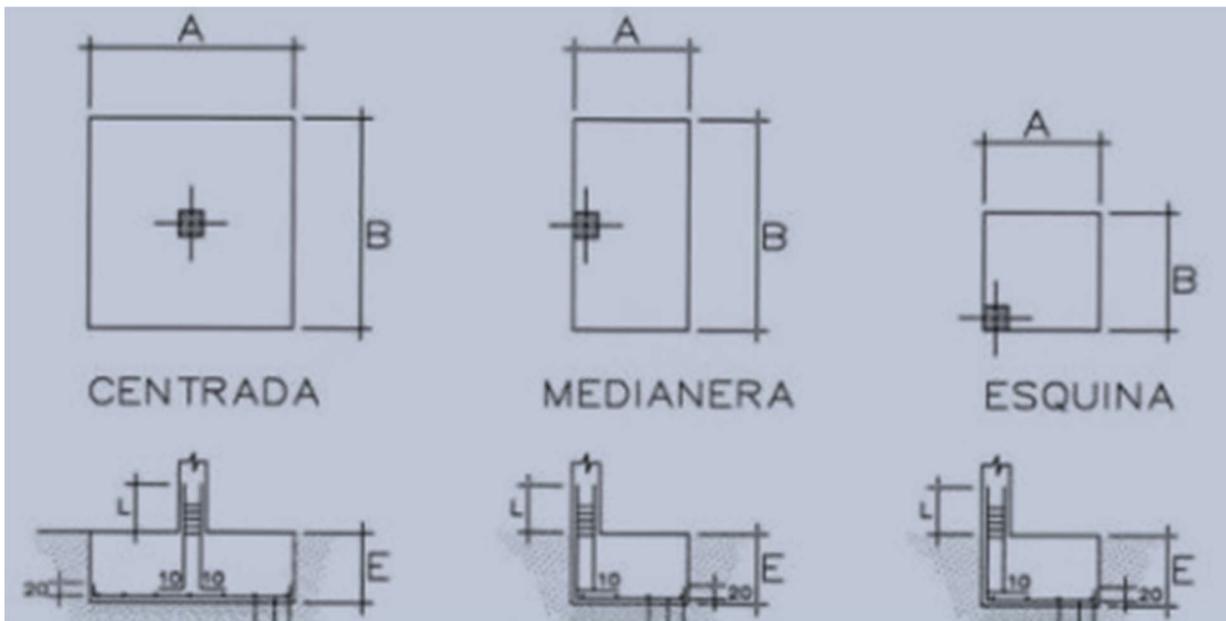


Figura 12: Clasificación de las zapatas de acuerdo a su ubicación en planta:

Fuente: Google/imágenes/clasificación zapatas.

Todos estos sistemas aislados en sí deben conectarse con vigas de centrado, atado o riostra, cuya función es asumir las tensiones o compresiones por efecto de disipación de cargas de las columnas que soportan las zapatas, las cuales por pandeo o por dinámica estructural tienden a separarse o acercarse según sea el caso. La carga máxima para la cuales se diseñan estas vigas es el 10% de la carga axial de la columna más cargada, y por ende debe cumplir con las cuantías máximas y mínimas de los elementos flexo comprimidos y flexo traccionados que sugieren los códigos de diseño, y no menos importante, deben corresponder

por completo a la resistencia requerida y aportar rigidez para que los asentamientos entre los apoyos se distribuyan de uniformemente.

### **8.10.2. Cimentaciones semiprofundas:**

Los famosos pozos de cimentación o caissons: son en realidad soluciones intermedias entre las superficiales y las profundas, a veces se estas deben hacerse bajo el agua, cuando no puede desviarse el rio, en ese caso se trabaja en cámaras presurizadas, otro ejemplo de estas son arcos de ladrillo sobre mechones de hormigón o mampostería; muros de contención bajo rasante: sin la necesidad de anclar el muro al terreno y micro pilotes.

### **8.10.3. Cimentaciones profundas:**

Su funcionalidad se basa en el esfuerzo cortante entre el terreno y la cimentación para soportar las cargas aplicadas, o más exactamente en la fricción vertical entre la cimentación y el terreno. Se deben ubicar más profundamente, para poder distribuir sobre una gran área, un esfuerzo suficientemente grande para soportar la carga, algunos ejemplos de cimentaciones profundas son:

**PILOTES: ES UN SOPORTE**, normalmente de hormigón armado, de “in situ” en una cavidad abierta en el terreno; como columnas esbeltas con capacidad para soportar y transmitir cargas a estratos más resistentes o roca; o por rozamiento en el fuste. Por lo general, su diámetro o lado no es mayor a 60 ms. Los pilotes son necesarios cuando la capa superficial o suelo portante no es capaz de resistir el peso del edificio o bien cuando esta se encuentra a gran profundidad, también cuando está lleno de agua y ello dificulta los trabajos de excavación; dentro de sus ventajas la construcción de pilotes evita edificaciones costosas y volúmenes grandes de cimentación. Pueden trabajar solos o combinados con sistemas de placas de cimentación.

**PILOTES PRE EXCAVADOS:** se efectúa realizando una excavación previo del terreno, estabilizando con lodo bentonítico o cualquier material competente que la soporte, ara después proceder a un relleno final con concreto, de preferencia autocompactante, y su correspondiente refuerzo. Las dimensiones oscilan entre los 60 a 120 centímetros de ancho y entre los 12 a 60 metros de profundidad.

**PILOTES HINCADOS:** son elementos prefabricados de secciones rectangulares normalmente que pueden ser pretensados o pos tensados. Su instalación se realiza mediante golpes con martillo hidráulico directamente en el terreno sin necesidad de realizar una excavación previa. Dependiendo de la profundidad requerida por el diseño, pueden ser necesarios varios elementos, que se unan por medio de juntas metálicas, garantizando la continuidad del pilote final. Normalmente generan un mejoramiento en el terreno, pues al

ser pilotes de desplazamientos, donde no hay excavación, se produce una densificación de este.

Dados: a veces para completar las estructuras de cimentación con pilotes, se construyen unos elementos de gran rigidez, capaces de distribuir las cargas de la súper estructura que transmiten a la columna éntrelos pilotes que agrupan. Son conocidos como dados y, en búsqueda de esta gran rigidez, posee un espesor y contenido de acero considerables.

**PANTALLAS O MUROS DE CONTENCIÓN:** las pantallas son estructuras de contención que facilitan los procesos de excavación y dan garantía al proceso constructivo, además de generar un aporte importante al manejo del agua. Son cimentaciones profundas muy utilizadas en edificios de altura, que actúa como un muro de contención y brinda muchas ventajas por ahorro de costes y mayor desarrollo en superficies. Se recomienda demasiado para áreas urbanas para edificaciones con sótano en un predio entre medianeras, en parqueaderos, y a modo de barreras de contención de agua subterránea en túneles y carreteras. El muro pantalla es un muro de contención que se construye antes de efectuar el vaciado de tierras, y transmite los esfuerzos al terreno.

Pantallas isostáticas: con una línea de anclajes.

Pantalla hiperestática: dos o más líneas de anclajes.

**CAISSONS:** son una solución intermedia entre cimentaciones superficiales y cimentaciones con pilotes. Su origen se remonta al intento de resolver económicamente el problema presentado cuando el nivel de cimentación es considerable por ser el estrato superior incompetente para una cimentación superficial, más no al punto de requerir pilotes. El proceso constructivo comienza con la construcción del cabezal, provisto de una cuchilla vertical o lámina de acero sólidamente anclada a este, para continuar con los primeros metros del cuerpo del pozo. Al comenzar la excavación de la tierra al interior del pozo, el peso de este comenzará a hundirlo progresivamente, aumentando la pared que aún sobresale fuera del terreno, hasta llegar a la profundidad deseada. Posee ventajas como la facilidad en la perforación, ausencia de vibraciones, no exigencia de equipo costoso y el permitir la inspección directa del estrato sobre el que se está cimentando, sin embargo, debe tenerse en cuenta que su uso exige diámetros no menores a 0.8 m y una calidad en el suelo con las características geotécnicas suficientes para proveer seguridad a la excavación de cada anillo, ya que el proceso de excavación es manual.

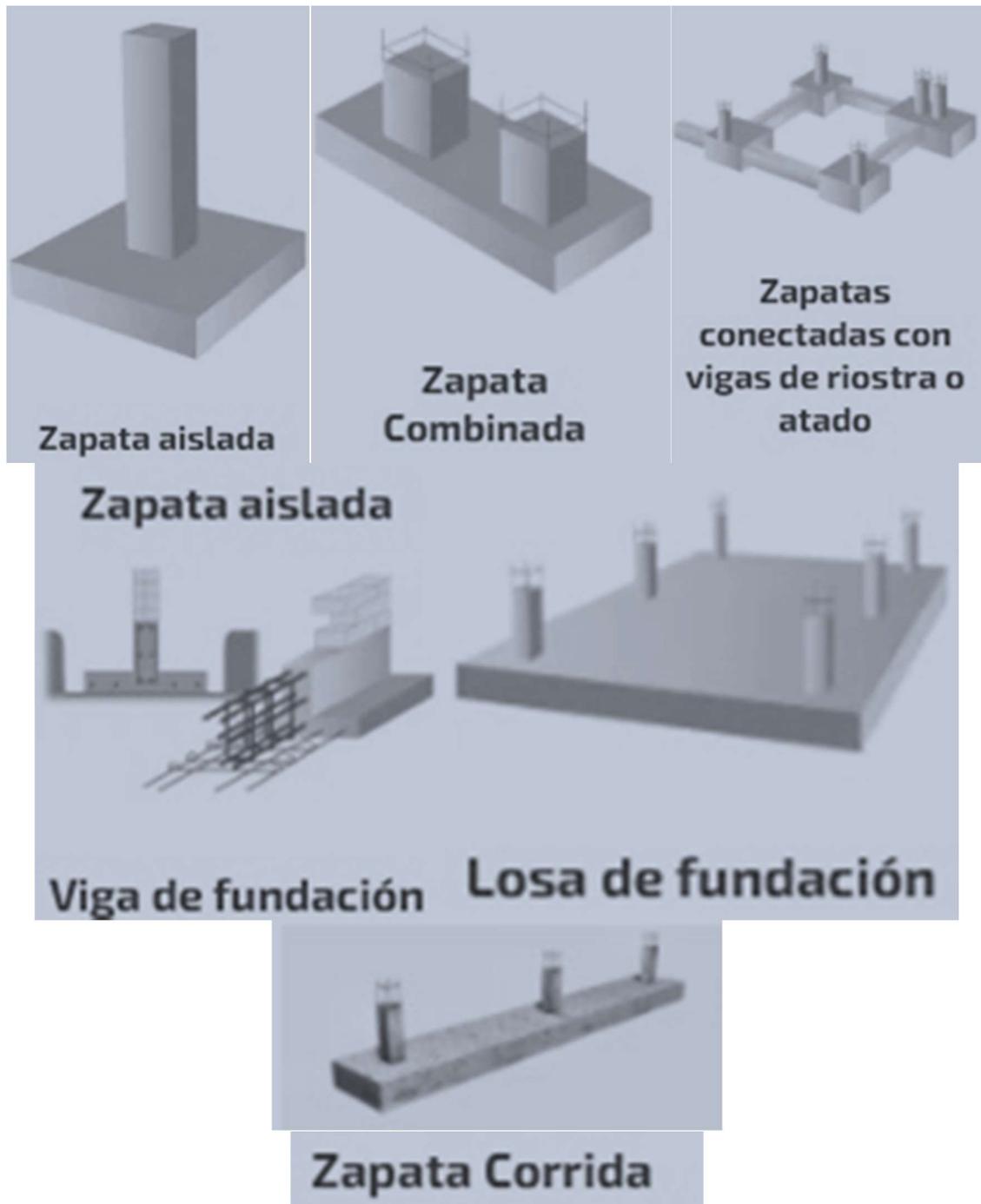


Figura 13: Descripción visual – prototipos de cimentación.  
 Fuente: Google/imágenes/clasificación-cimentaciones.

## 9. Análisis estructural - métodos de diseño - cálculo estructural, software de diseño y cálculo.

### 9.1. Análisis de cargas.

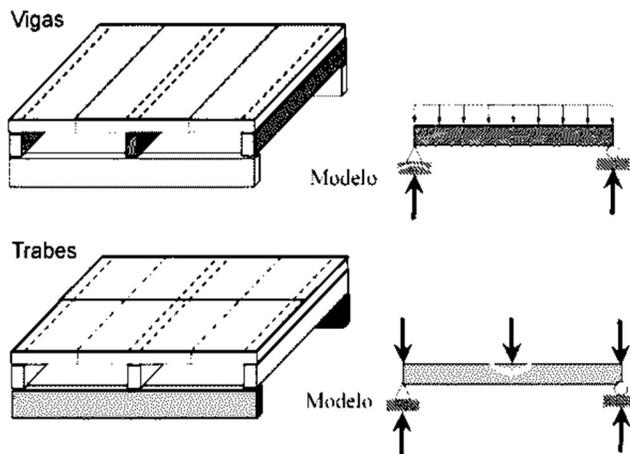
#### 9.1.1 Líneas de carga:

Una línea o trayectoria de carga es aquella que viaja desde donde actúa hasta donde es resistida.

#### 9.1.2 Área tributaria:

Las cargas por gravedad en elementos horizontales como vigas o losas necesitan repartirse de acuerdo a la influencia y relación que tienen entre ellas. Las cargas especificadas dadas por algún Código de construcción como la NRS-10 en su título B, especifican una carga por área unitaria de superficie. En un arreglo estructural dado, si una viga está soportando un piso, techo o muro, que tenga una presión o carga perpendicular a la superficie, la fuerza total en el elemento de viga es igual al área superficial correspondiente multiplicada por la carga o presión de la superficie. El concepto de áreas tributarias es muy útil cuando se calcula la carga aplicada a elementos estructurales. Existen dos principales condiciones para utilizar un área tributaria como medio de determinar la carga en el elemento determinado:

- La carga del área tributaria debe de ser uniforme.
- Los elementos de soporte deben ser simplemente apoyados y de claro simple o puede asumirse razonablemente que transfieren la mitad de su carga al elemento de soporte. Este criterio no es totalmente válido si no está simplemente soportado y el método pierde su utilidad.



En el modelo de vigas y trabes, representado a mano izquierda figura 14, se observa que es lo necesario del grafico para el cálculo de la carga que soportara cada elemento. Por ende, en el presente caso, el área tributaria es de geometría rectangular, dado que las vigas están ubicadas paralelamente y las cargas son distribuidas de manera equitativa en vigas como en trabes.

Figura 14: Distribución de áreas tributarias para tableros de losa

Fuente: <https://concretusblog.files.wordpress.com/2017/06/cap3adtulo-2-anc3a1llisis-de-cargas.pdf>

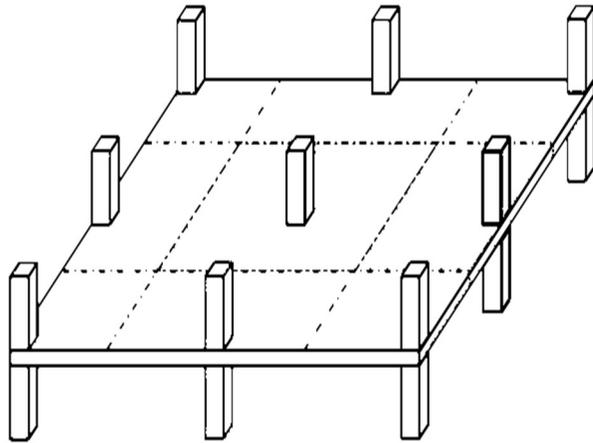


Figura 15: Distribución de áreas tributarias para columnas.

Fuente: <https://concretusblog.files.wordpress.com/2017/06/capc3adtulo-2-anc3a1llisis-de-cargas.pdf>

En el caso de las columnas, el área tributaria se distribuye como se ilustra a la izquierda figura 15, donde el área cambia de acuerdo al elemento estructural que está en contacto con las cargas así como, la posición respecto a los demás elementos similares en que se encuentre. Así los elementos de borde son los que reciben menos valor de área tributaria y aquellos ubicados en el centro son los que reciben una cantidad mayor.

## 9.2. Teoría de las líneas de fluencia:

Las geometrías de las áreas tributarias están ligadas estrechamente a la teoría de las líneas de fluencia (Artículo web, líneas de fluencia en losas): la cual es una metodología que considera el comportamiento no-lineal de los materiales (formación de rótulas plásticas) y que permiten diseñar losas para su estado último. El cual el estado último asume su fallo por flexión. Para esto la teoría de líneas de fluencia cuenta con 2 teoremas:

**9.2.1. Teorema del límite inferior:** Si para una determinada carga externa es posible encontrar una distribución de momentos en equilibrio (sin exceder fluencia) y que cumple las condiciones de borde, entonces la carga es un límite inferior.

**9.2.2. Teorema del límite superior:** si para un pequeño incremento en desplazamiento, el trabajo interno es igual al externo (con rótulas plásticas en fluencia y cumpliendo las condiciones de borde), entonces la carga es un límite superior. La metodología de las líneas de fluencia se basa en el “teorema del límite superior” por lo que la sección errónea del mecanismo de falla podría resultar en capacidades mayores a las reales.

Por ende, la imprecisión del método lo categoriza como un método de “pre-diseño”. Para ciertos ejemplos la geometría estructural determina el tipo de área de carga de los elementos siendo, cuadrada, rectangular o triangular, y para esto se busca que sus esquinas sean equitativas en su distribución y esto se logra con ángulos de  $45^\circ$ .

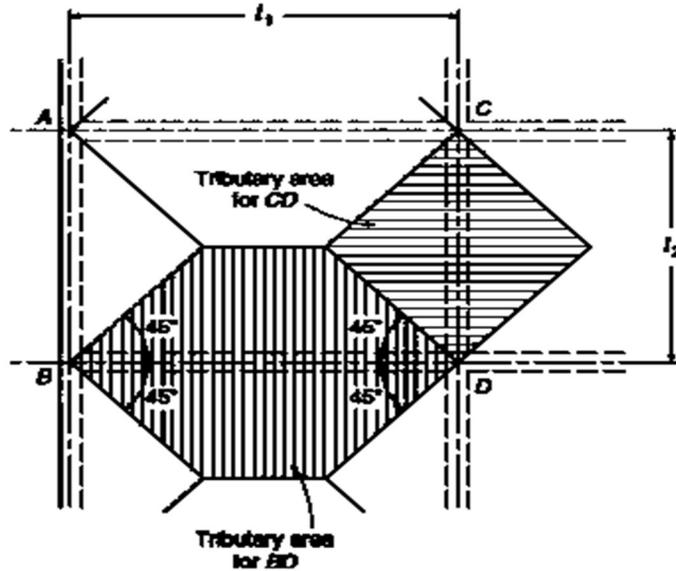


Figura 16: Líneas de fluencia.

Fuente: <https://concretusblog.files.wordpress.com/2017/06/capc3adtulo-2-anc3a1lisis-de-cargas.pdf>

### 9.3. Elementos estructurales.

De acuerdo con la teoría planteada por el doctor Escamilla en su libro Análisis de estructuras 2° edición, se definen los siguientes conceptos básicos:

#### ESTRUCTURAS:

Podemos definir la palabra estructura desde el ejemplo del cuerpo humano como “conjunto de relaciones que mantienen entre si las partes de un todo”, o como una red, definiendo la idea del “modo de estar organizadas u ordenadas las partes de un todo”; ambos conceptos son verdaderos; pero el segundo guarda una premisa que define mejor lo que el investigador busca expresar; y es el modo o la forma en como las cosas se acomodan por naturaleza propia para ser eficientes bajo un comportamiento natural, es decir, la forma geométrica, su diseño tridimensional, se encuentra comprometido por el entorno donde se ubica, es decir una columna no puede ser diseñada como viga y una viga no puede ser diseñada como columna porque ya su nombre determina un comportamiento propio bajo el cual fue diseñado.

Las estructuras pueden clasificarse desde diferentes puntos de vista; según su destino, por ejemplo, podría hablarse de estructuras para vivienda, para servicios educativos y hospitalarios, para transporte como vías, puentes, muelles, para contención de líquidos como o sólidos como muros de contención o represas, para espectáculos públicos, para industria y comercio, para comunicaciones, sistemas eléctricos o plantas eléctricas, etc... y tan bien se pueden determinar por su sistema estructural, como cambios de estructuras reticulares, laminares, estructuras masivas y estructuras especiales.

Para un analista o un calculista estructural su visión debe ser como la segunda; enfocada a la estructura en sí, su comportamiento interno y externo; pero si desea progresar comercialmente como profesional debe saber vender su visión a la gente común de manera cómo se expresa la primera visión.

#### ELEMENTOS:

El primer paso para analizar una estructura es su idealización, que consiste en reducirla a un modelo matemático que la represente en forma adecuada y permita estudiar analíticamente su comportamiento ante las cargas.

La técnica más moderna de análisis es la de los elementos finitos, que consiste, como su nombre lo indica, en reemplazar el continuo real por una serie de elementos de tamaño finito y con propiedades conocidas, que se suponen conectados en ciertos puntos llamados nodos o nudos.

Como se ha mencionado, los diferentes sistemas estructurales están asociados con elementos de características definidas. Es decir, comprender de manera práctica que hay un cuerpo estructural conformado por elementos conectados entre sí; estipulando que estas conexiones determinen el comportamiento de la estructura en su tiempo de vida.

#### BARRAS:

En análisis, se suele dar el nombre de barras a los elementos, generalmente de sección constante, con que se construyen las armaduras. En el artículo anterior se explica que están sometidos primordialmente a esfuerzos de tensión o compresión simples, y ocasionalmente a esfuerzos de flexión.

#### VIGAS

Son elementos en que una dimensión, la correspondiente a su eje longitudinal, predomina sobre las otras dos, y en los que, a diferencia de las barras, las cargas actúan normales con relación a dicho eje.

Las vigas simples y las vigas continuas están sometidas principalmente a corte y flexión, algunas veces a torsión. Las que forman parte de pórticos están sujetas, además, a cargas axiales pero, en general, los esfuerzos que ellas producen son muy pequeños comparados con los de flexión y corte. Cuando las cargas actúan en dirección normal al plano de un entramado constituido por vigas, como en los pisos reticulares, éstas sufren además de flexión, de torsión apreciable.

El esfuerzo de flexión provoca tensiones de tracción y compresión, produciéndose las máximas en el cordón inferior y en el cordón superior respectivamente, las cuales se calculan relacionando el momento flector y el segundo momento de inercia. En las zonas cercanas a los apoyos se producen esfuerzos cortantes o punzonamiento. También pueden producirse tensiones por torsión, sobre todo en las vigas que forman el perímetro exterior de un forjado.

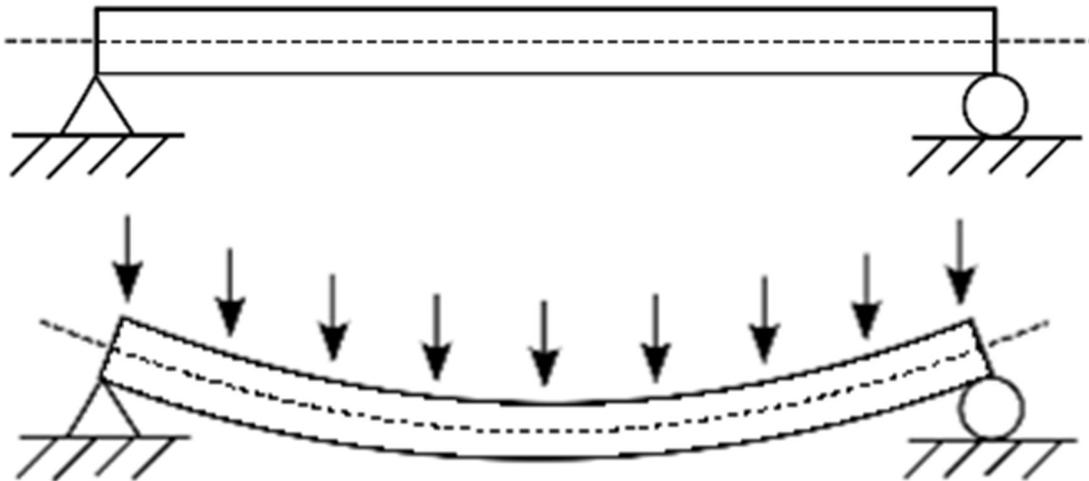


Figura 17: Viga apoyada y viga deformada por cargas  
Fuente: Google/imágenes/comportamiento-estructural-en-vigas.

## COLUMNAS:

Son elementos del mismo tipo geométrico que las anteriores, pero en los cuales priman fuerzas de compresión cuya línea de acción coincide con o es paralela a su eje. En el primer caso los esfuerzos son de compresión simple; en el segundo, ésta va acompañada de flexión uní o biaxial. Además, pueden estar sometidas a corte, como es el caso de las columnas pertenecientes a pórticos.

## APOYOS:

Limitándose a estructuras en un plano, es sabido, que los apoyos se clasifican en apoyos de primer, segundo o tercer género, según el número de componentes de reacción que puedan desarrollar. Al primer género pertenecen los apoyos sobre rodillos o sus equivalentes: basculantes, superficies lisas, etc. Se les llama también apoyos simples. El segundo género lo constituyen los apoyos articulados y el tercero está integrado por empotramientos.

En la figura 18 se indican las convenciones utilizadas para representar los diferentes tipos de apoyo, con sus correspondientes componentes de reacción.

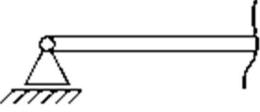
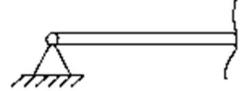
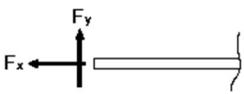
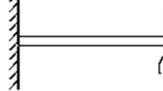
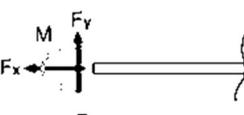
Apoyo	Grafica	Ejemplo
<p>Apoyo simple o apoyo articulado móvil (apoyo de primer género): La reacción corresponde a la que se produce entre dos superficies tangentes que se tocan en un punto, permitiendo el deslizamiento relativo entre ambas. Es libre el movimiento en la dirección del eje x, así como el giro en el plano xy. La reacción es una fuerza perpendicular al plano x.</p>	<p>Soporte</p>  <p>Reacciones</p> 	
<p>Apoyo doble, o apoyo articulado fijo (apoyo segundo genero): El desplazamiento está impedido en el eje x y en el eje y. Las reacciones son en las direcciones de estos dos ejes. Sólo se permite el giro.</p>	<p>Soporte</p>  <p>Reacciones</p> 	
<p>Empotramiento (apoyo de tercer genero): En este caso no se permiten movimientos en las direcciones x e y, así como tampoco el giro. Las reacciones son fuerzas en la dirección de x y de y, así como un momento que impide el giro en ese punto.</p>	<p>Soporte</p>  <p>Reacciones</p> 	

Figura 18: Apoyos Y Enlaces Entre Elementos Estructurales.

Fuente: diseño propio, con base teoría e ilustraciones relacionadas en los diferentes textos biográficos.

#### 9.4. Conexiones.

Las conexiones típicas en el campo del análisis estructural generalmente se ven más en sistemas de acero, madera y sistemas combinados de concreto y acero prefabricado como vigas IPE, tubos tipo PTE y en láminas de acero perforadas y atornilladas. Dentro del tema de conexión debemos tener en cuenta dos aspectos importantes la conexión como tal y la junta donde se presenta la conexión.

**CONEXIÓN:** conjunto de elementos que unen cada miembro a la junta: placas o ángulos por alas o alma, soldaduras, tornillos.

**JUNTA:** zona de intersección de los miembros estructurales.

De acuerdo a los lineamientos anteriormente planteados se puede clasificar las conexiones típicas de manera generalizada:

- Conexión viga – columna de esquina.
- Conexión viga – columna.
- Conexión de viga secundaria a viga principal.
- Empalme de columna y de cabezal.
- Placa base de columna.
- Conexión de larguero de techo y fachada.

También se encuentran las siguientes clasificaciones de acuerdo a criterio del calculista:

- Por conectores: remaches (actualmente en desuso), por soldadura, y por tornillos de alta resistencia ASTM A325.
- Por rigidez de la conexión: flexible, semi - rígida y rígida.
- Por elementos de conexión: ángulos, placas y ángulos, ángulos de asiento y perfiles Te.
- Por fuerza que transmiten: fuerza cortante (conexión flexible), fuerza cortante y momento flexionante (conexión rígida o semi – rígida) y fuerzas internas de tensión y compresión (armaduras y contra venteos).
- Por lugar de fabricación: conexiones de taller (hechas en el taller de fabricación de estructuras metálicas) y conexiones de campo (fabricadas en el taller y armadas en el sitio de la obra).
- Por mecanismo de resistencia de la conexión: conexiones por fricción y conexiones por aplastamiento.

##### 9.4.1. Conexiones atornilladas:

**VENTAJAS:** Rapidez en el atornillado y menor tiempo de ejecución de una obra; no se requiere mano de obra especializada, inspección visual sencilla y económica; facilidad para sustituir piezas dañadas y mayor calidad en la obra.

**DESVANTAJAS:** Mayor trabajo en taller; cuidado en la elaboración de los planos de taller y montaje; mayor precisión en geometría (las tolerancias son al milímetro); mayor peso de la estructura y menor amortiguamiento.

Las conexiones atornilladas se clasifican generalmente por su forma de ajustarse la tornillería, estas son: apretado (instalado usando pocos impactos de una llave de impacto o

manualmente, y pretensado (instalado por métodos más controlados: vuelta de tuerca, llave calibrada, tornillos especiales e indicadores de tensión).

También, se deduce que la pretensión nominal es igual al 70% de la capacidad del tornillo

Las fallas en conexión atornilladas más comunes son: cortante, aplastamiento, desgarramiento y por sección insuficiente.

#### **9.4.2. Conexiones soldadas:**

**VENTAJAS:** rigidez, se obtiene estructuras más rígidas; sencillez, se elimina material (placas, ángulos, conectores); economía, menor trabajo en taller y mayor amortiguamiento.

**DESVANTAJAS:** Se inducen altas temperaturas al acero durante la aplicación de la soldadura; requiere mayor supervisión en obra; necesita mano de obra calificada, las condiciones climáticas y sitio de la obra afectan la calidad final; inspección cara, se requiere la asistencia de un laboratorio especializado.

Actualmente existen varios tipos de soldadura estructural, pero solo se nombran las más usadas, que se conocen como soldadura eléctrica o de barra (SMAW) y la soldadura de equipo mig con barra en alambre o soldadura de pipa de gas (GMAW); pero normalmente las conexiones soldadas se clasifican en soldadura de penetración, soldadura de filete (soldadura superficial sin bisel) y soldadura de tapón.

Las conexiones soldadas deben realizar un trabajo adicional en las juntas de sus conexiones, lo cual va desde la limpieza y lo que se conoce como bisel (corte oblicuo en el borde de una superficie) donde se desvanece o desgasta el extremo a soldar de los elementos, con el fin de que la soldadura al fundir las piezas penetre en su totalidad dentro de los dos elementos conectados. Los tipos de fallas más comunes por conexiones soldadas son el arrugamiento del alma y el pandeo lateral del alma.

### **9.5. Comportamientos estructurales:**

#### **Fuerza Cortante Y Momento Flexionante:**

El diseño real de una viga requiere un conocimiento detallado de la variación de la fuerza cortante interna  $V$  y del momento flexionante,  $M$  que actúan en cada punto a lo largo del eje de la viga. Las variaciones de  $V$  y  $M$  como funciones de la posición  $x$  a lo largo del eje de la viga, pueden obtenerse.

Sin embargo, es necesario seccionar la viga a una distancia arbitraria  $x$  de un extremo, en lugar de hacerlo en un punto específico. Si los resultados se grafican, las representaciones gráficas de  $V$  y  $M$  como funciones de  $x$  se les llama diagrama de fuerza cortante y diagrama de momento flexionante.

#### **9.5.1. Esfuerzos cortantes:**

Son fuerzas internas en el plano de la sección y su resultante debe ser igual a la carga soportada. Esta magnitud es el cortante en la sección; dividiendo la fuerza cortante por el área  $A$  de la sección se obtiene el esfuerzo cortante promedio en la sección. Los esfuerzos

cortantes se presentan normalmente en pernos, pasadores y remaches utilizados para conectar varios miembros estructurales y componentes de máquinas.

La fuerza cortante en cualquier sección de una viga tiene igual magnitud, pero dirección opuesta a la resultante de las componentes en la dirección perpendicular al eje de la propia viga de las cargas externas, y reacciones en los apoyos que actúan sobre cualquiera de los dos lados de la sección que se está considerando. Es decir “Se conoce como esfuerzo cortante a la resistencia que presenta el material internamente al aplicarse dos fuerzas paralelamente en sentido contrario a un elemento esperando buscando cortarlo o dividirlo el objeto en dos partes, haciendo que las secciones deslicen una sobre otra”.

A.S.: apoyo simple - EM: empotrado - P: Carga puntual - Q/ml: Carga distribuida

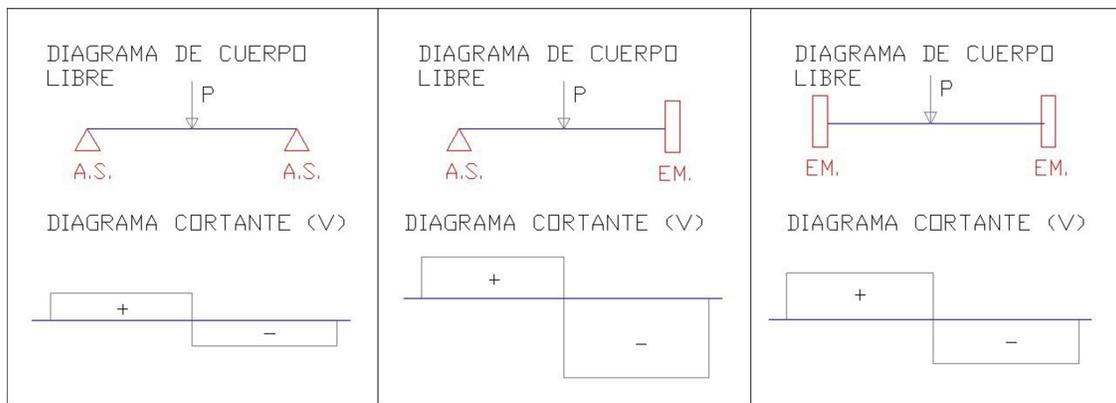


Figura 19: Tipos de diagramas de esfuerzos cortantes - parte 1.

Fuente: modificación de diferentes ilustraciones, interpretadas de los diferentes sitios web relacionados en la biografía y algunas bases teóricas del libro - URIBE ESCAMILLA, Jairo. Libro: “Análisis de estructuras”. 2 da edición.

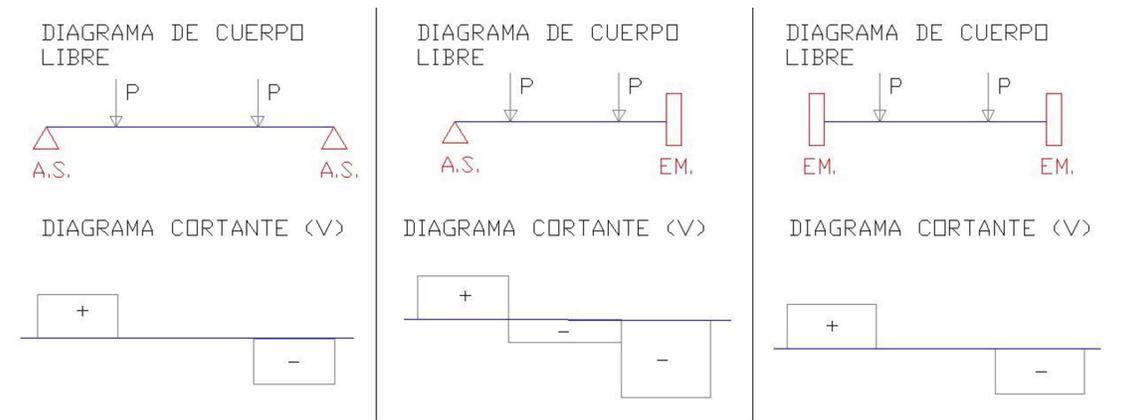


Figura 20: Tipos de diagramas de esfuerzos cortantes – parte 2.

Fuente: modificación de diferentes ilustraciones, interpretadas de los diferentes sitios web relacionados en la biografía y algunas bases teóricas del libro - URIBE ESCAMILLA, Jairo. Libro: “Análisis de estructuras”. 2 da edición.

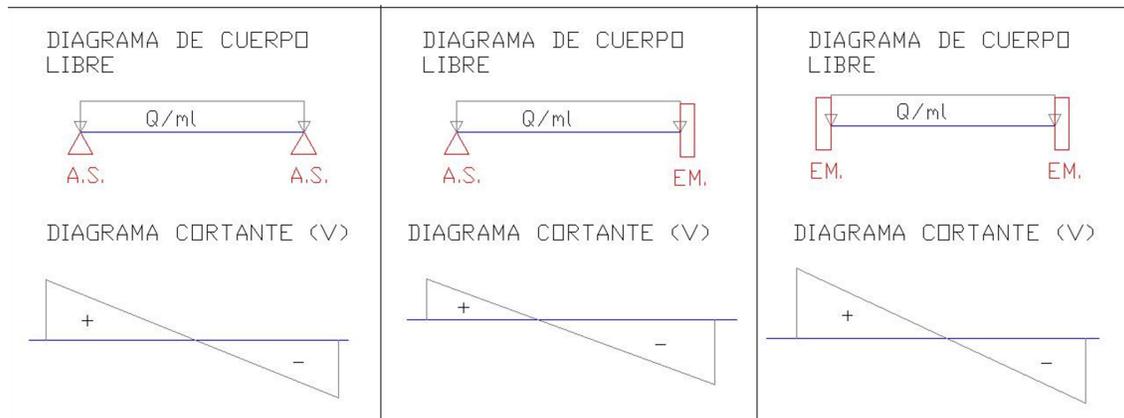


Figura 21: Tipos de diagramas de esfuerzos cortantes - parte 3

Fuente: modificación de diferentes ilustraciones, interpretadas de los diferentes sitios web relacionados en la biografía y algunas bases teóricas del libro - URIBE ESCAMILLA, Jairo. Libro: “Análisis de estructuras”. 2 da edición.

### 9.5.2. Momento flexionante:

Un diagrama de fuerzas cortantes o un diagrama de momentos flexionantes, es una simple gráfica que muestra la magnitud de la fuerza cortante o del momento flexionante a través de la longitud del elemento; y se denomina momento flector al momento de fuerza resultante de una distribución de tensiones sobre una sección transversal de un prisma mecánico flexionado o una placa que es perpendicular al eje longitudinal a lo largo del que se produce la flexión.

Es un requisito típico en vigas y pilares, también en losas ya que todos estos elementos suelen deformarse predominantemente por flexión. El momento flector puede aparecer cuando se someten estos elementos a la acción un momento (torque) o también de fuerzas puntuales o distribuidas. El momento flexionante, en cualquier sección de la viga tiene igual magnitud, pero dirección opuesta a la suma algebraica de los momentos respecto a la sección que se esté considerando de todas las cargas externas, y reacciones en los apoyos que actúan sobre cualquiera de los dos lados de esta sección.

**A.S.:** Apoyo Simple - **EM:** Empotrado - **P:** Carga Puntual - **Q/ml:** Carga distribuida



Figura 22: Tipos de diagramas de Momentos Flexionantes - parte 1

Fuente: modificación de diferentes ilustraciones, interpretadas de los diferentes sitios web relacionados en la biografía y algunas bases teóricas del libro - URIBE ESCAMILLA, Jairo. Libro: “Análisis de estructuras”. 2 da edición.

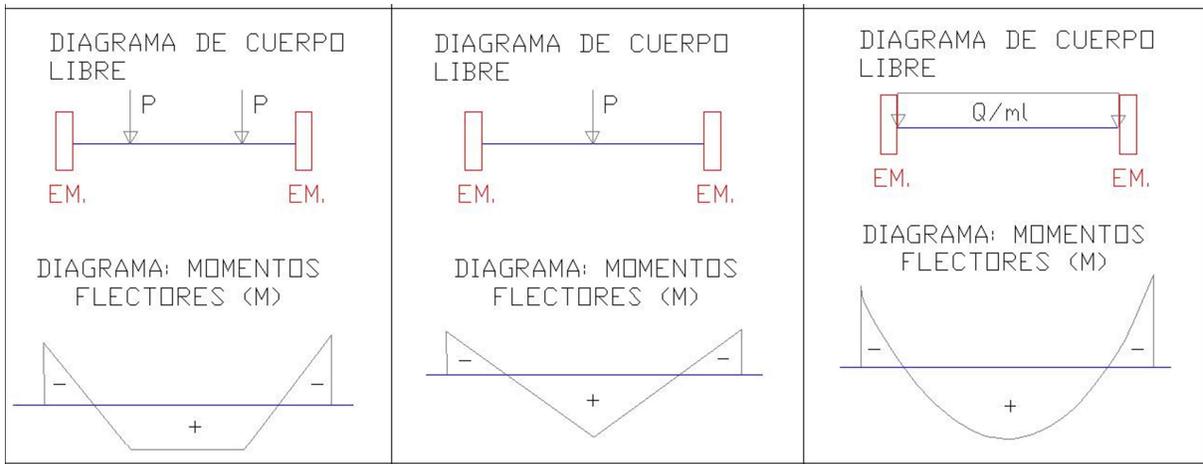


Figura 23: Tipos de diagramas de Momentos Flexionantes - parte 2.

Fuente: modificación de diferentes ilustraciones, interpretadas de los diferentes sitios web relacionados en la biografía y algunas bases teóricas del libro - URIBE ESCAMILLA, Jairo. Libro: “Análisis de estructuras”. 2 da edición.

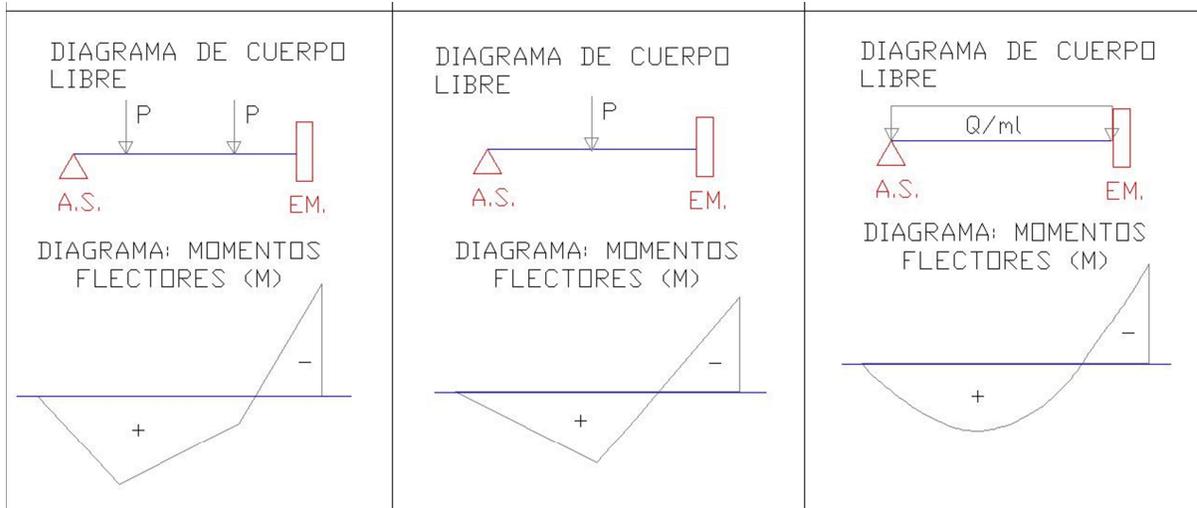


Figura 24: Tipos de diagramas de Momentos Flexionantes - parte 2.

Fuente: modificación de diferentes ilustraciones, interpretadas de los diferentes sitios web relacionados en la biografía y algunas bases teóricas del libro - URIBE ESCAMILLA, Jairo. Libro: "Análisis de estructuras". 2 da edición.

## 9.6. Estabilidad y determinación:

Una vez determinada la estructura como estable, el proceso de análisis que conviene a estudiar en su grado de indeterminación, que está dado por el exceso de incógnitas sobre el número de ecuaciones disponibles. Dicho estudio se puede hacer en función de fuerzas o de desplazamientos. En el primer caso se habla de indeterminación estática y el segundo, de indeterminación cinemática. El estudiante de ingeniería civil está relacionado con el primer concepto, pues en mecánica de sólidos estudia que en las estructuras determinadas el número de incógnitas (fuerzas) es igual al número de ecuaciones de equilibrio "sumatoria de fuerzas y de momentos".

Cuando las primeras superaban a las segundas, la estructura se llamaba indeterminada, y para resolverla era necesario acudir a las expresiones de deformación y a condiciones de compatibilidad de las mismas. Este concepto era suficiente para las estructuras simples, estáticamente determinadas; entonces para estructuras más complejas, y específicamente en el caso de pórticos, puede resultar más conveniente considerar los desplazamientos como incógnitas, pues si la indeterminación cinemática resulta inferior a la estática, utilizando métodos de desplazamientos se obtiene un ahorro en el número de ecuaciones por resolver, que puede ser importante desde el punto de vista de esfuerzo de computación, especialmente cuando se utiliza un ordenador digital para resolverlas.

Los conceptos de estabilidad y determinación son tan importantes en la formación del ingeniero de estructuras, que muchos profesionales recomiendan estudiar considerando siempre independiente la estructura (estructura interna) y los apoyos (estructura externa).

Generalmente el grado de indeterminación total de una estructura es lo que le interesa al diseñador o calculista estructural, debido a que puede obtener todos sus resultados sumando

las indeterminaciones externas e internas, o bien considerando conjuntamente la estructura y sus apoyos.

### 9.6.1. Estabilidad y determinación “externas”:

Las estructuras bidimensionales, o estructuras ubicadas en un plano, requieren la existencia de por lo menos tantas componentes de reacción que no sean ni concurrentes ni paralelas como ecuaciones independientes de equilibrio que puedan plantearse en cada caso particular; Estas son las de sumatoria de fuerzas y de momentos iguales a cero aplicadas a la estructura en su conjunto y además cualquier otra ecuación proporcionada por detalles de construcción como por ejemplo articulaciones internas, ya que cada una de ellas proporciona una condición adicional para la evaluación de las componentes de las reacciones.

Las componentes de reacción no pueden ser concurrentes, pues al serlo pueden reemplazarse por una fuerza única aplicada en el punto de concurrencia. Es evidente, que no siempre la resultante de las cargas aplicadas puede pasar por dicho punto, lo cual implica la existencia de un momento que hace girar la estructura. Por otra parte, si las componentes de reacción son paralelas, la resultante de las mismas tiene dirección definida y no puede balancear ninguna fuerza que no tenga su misma línea de acción.

Si el número de reacciones es menor al número de ecuaciones independientes del equilibrio de la estructura, ésta es externamente inestable. Por el contrario, si las reacciones exceden el número de ecuaciones, la estructura es externamente indeterminada y su grado de indeterminación externa es igual al exceso de reacciones sobre el número de ecuaciones. Es decir en donde  $l_e$  es el grado de indeterminación externa,  $r_e$  el número de componentes de reacción, y  $e$  el número de ecuaciones disponibles.

En la figura 25 a continuación se explican los conceptos anteriores para el caso de estructuras en un plano.

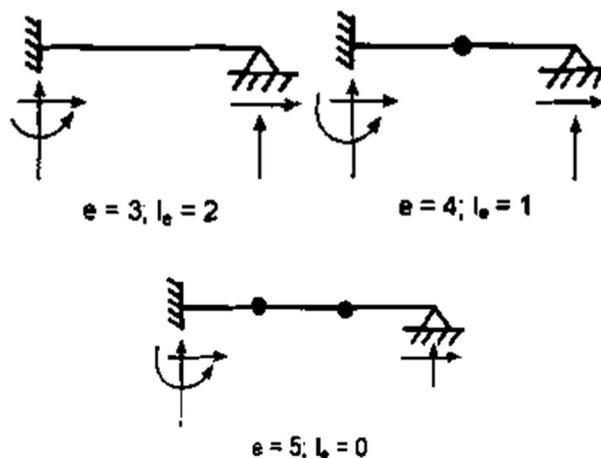


Figura 25: (A) – Vigas, apoyos, cortes y ecuaciones.

Fuente: diseño propio, base teórica e ilustraciones, - URIBE ESCAMILLA, Jairo. Libro: “Análisis de estructuras”. 2 da edición.

En la figura 25 ilustración (A) se presentan tres vigas con las mismas condiciones de apoyo. Se observa que en la última de ellas la condición de momento igual a cero en cada rótula o (punto de conexión o separación; en la figura 25 se interponen unos puntos a través de la línea que forma el elemento principal, estos puntos toman la forma de conexión o punto de separación de los elementos, generando un punto de apoyo o quiebre, donde interactúan fuerzas y momentos nuevos), ejemplo de esto es la representación con 2 puntos intermedios donde se proporciona dos ecuaciones adicionales que reducen la estructura a la condición de externamente determinada. Como en todas ellas hay más componentes de reacción (ni concurrente ni paralela) que ecuaciones de condición, las tres son externamente estables.

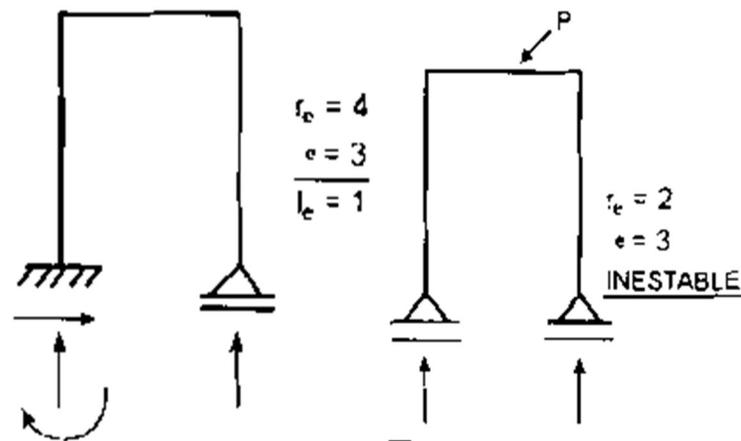


Figura 26: (B) Pórticos, apoyos y ecuaciones.

Fuente: modificación de diferentes ilustraciones, interpretadas de los diferentes sitios web relacionados en la biografía y algunas bases teóricas del libro - URIBE ESCAMILLA, Jairo. Libro: "Análisis de estructuras". 2 da edición.

En la ilustración (B) se presentan dos pórticos, el segundo de los cuales sólo ofrece dos componentes de reacción que lo hacen externamente inestable. Cabe anotar que si una estructura es inestable, no tiene sentido hablar de su grado de indeterminación.

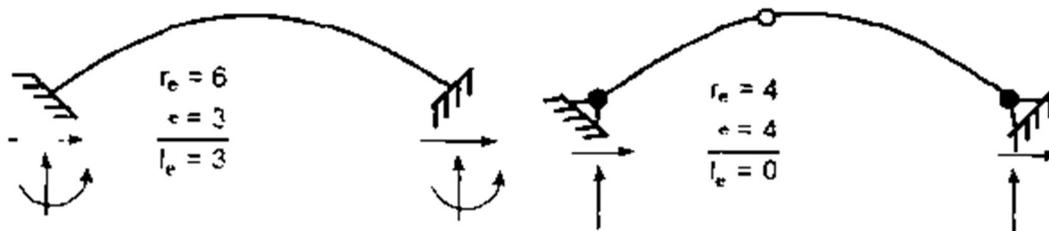


Figura 27: (C) Vigas bajo diseño semicircular y ecuaciones en apoyos.

Fuente: modificación de diferentes ilustraciones, interpretadas de los diferentes sitios web relacionados en la biografía y algunas bases teóricas del libro - URIBE ESCAMILLA, Jairo. Libro: "Análisis de estructuras". 2 da edición.

En la ilustración (C) aparecen dos arcos. El primero de ellos tiene tres articulaciones y es externamente determinado, pues, aunque tiene cuatro componentes de reacción, la articulación central proporciona una cuarta ecuación al cortar allí y considerar el diagrama de cuerpo libre a uno y otros lados de la articulación. El arco doblemente empotrado tiene en cambio tres grados de indeterminación externa.

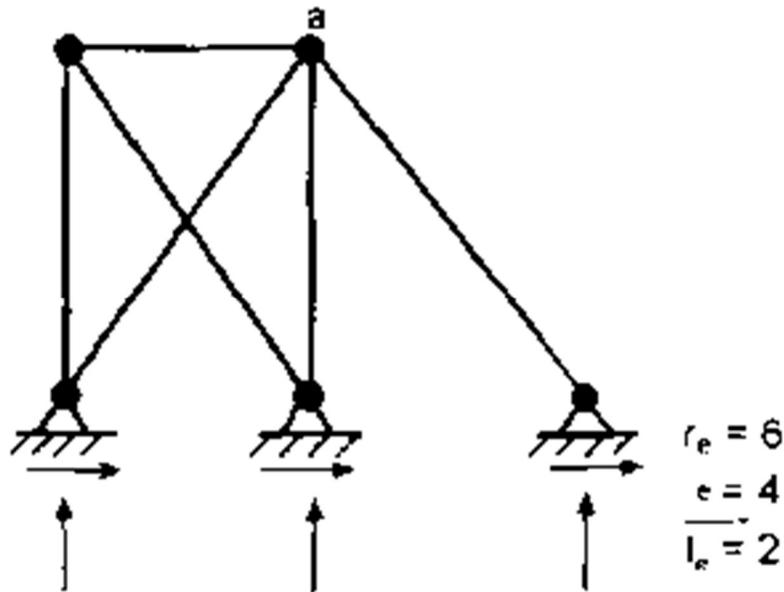


Figura 28: (D) Pórticos y complementos auxiliares para la determinación de ecuaciones. Fuente: modificación de diferentes ilustraciones, interpretadas de los diferentes sitios web relacionados en la biografía y algunas bases teóricas del libro - URIBE ESCAMILLA, Jairo. Libro: "Análisis de estructuras". 2 da edición.

Finalmente, en la (Ilustración D) de la figura se ilustra el caso de una armadura que se podría considerar de tercer grado de indeterminación externa. Sin embargo, la condición de que el momento de todas las cargas y reacciones que se encuentren a cualquier lado del punto "a" con respecto al mismo deba ser cero, proporciona una ecuación adicional que reduce su grado de indeterminación externa a dos.

En caso de un cuerpo rígido en el espacio hay seis grados de libertad, es decir, seis posibilidades de movimiento independiente, a saber: tres desplazamientos y tres rotaciones. Por consiguiente, la estabilidad de un cuerpo tal requiere seis componentes de reacción para mantenerlo en posición ante cualquier carga.

No hay reglas geométricas simples que aseguren la adecuada disposición de las seis reacciones; en casos de duda se debe acudir a las ecuaciones de equilibrio. Si la estructura es inestable el sistema de ecuaciones resulta indeterminado, y si se aproxima a esa situación, algunas de las reacciones y desplazamientos resultan muy grandes.

Por esta razón deben evitarse los sistemas de apoyo que se aproximen a la condición de inestabilidad. De lo dicho anteriormente se desprende que condiciones internas de la

estructura pueden requerir la existencia de componentes adicionales de reacción para que la estructura sea estable.

### 9.6.2. Estabilidad y determinación “internas”:

Una estructura es internamente determinada si, una vez conocidas todas las reacciones necesarias para su estabilidad externa, es posible determinar todas las fuerzas internas de los elementos mediante la aplicación de las ecuaciones de equilibrio estático.

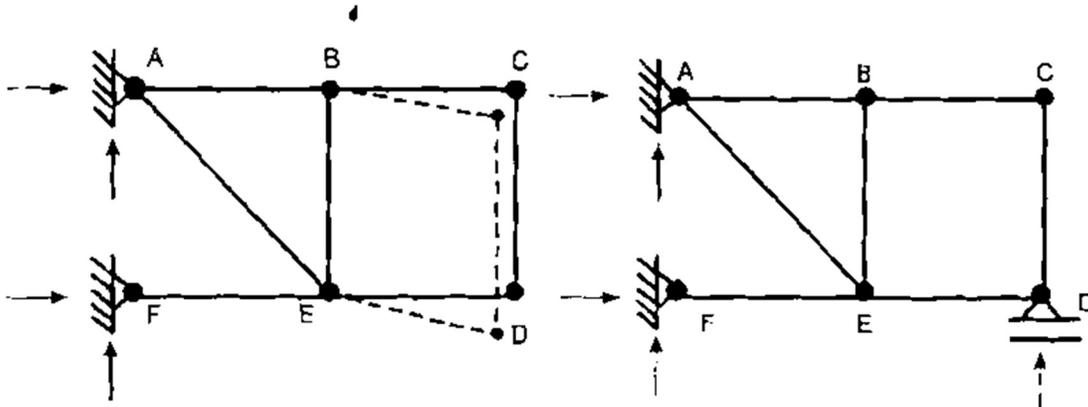


Figura 29: (E) estructura inestable y estructuras apoyados por falta de estabilidad.  
Fuente: modificación de diferentes ilustraciones, interpretadas de los diferentes sitios web relacionados en la biografía y algunas bases teóricas del libro - URIBE ESCAMILLA, Jairo. Libro: “Análisis de estructuras”. 2 da edición.

Un ejemplo de esto, es la ilustración (E), en la que la estructura es externamente estable pero la falta de una diagonal en el panel de BCDE que la hace internamente inestable. La estabilidad se logra mediante un apoyo en D del tipo mostrado.

Conviene distinguir entre armaduras y pórticos.

#### 9.6.2.1. Armaduras:

En el caso de armaduras en un plano, en cada nudo se pueden aplicar sólo dos condiciones de equilibrio: las de sumatorias de fuerzas en “x” y “y” iguales a cero, pues la de sumatoria de momentos nula es irrelevante, para determinar tanto las fuerzas en las barras como las reacciones.

En consecuencia, para que una armadura sea determinada se requiere que; (Ecuación 7) En donde  $j$  es el número de nudos,  $b$  el número de barras y  $r$  el número de reacciones necesarias para su estabilidad externa. Nótese que  $r$  no es necesariamente el número de reacciones existentes, pues lo que se pretende es independizar la indeterminación interna de la externa.

De lo visto en el párrafo anterior, se desprende que el valor adecuado para  $r$  será el número de ecuaciones disponibles para evaluación de las reacciones puesto que, como ya se dijo, este número es igual al de reacciones necesarias para la estabilidad externa. Despejando, de la fórmula anterior se obtiene como ecuación de condición; (*Ecuación 8*) que da el número de barras necesarias para la estabilidad interna de una estructura articulada. Hay que advertir, sin embargo, que esta condición no es suficiente, como se ilustra con las dos armaduras de la ilustración (F) La primera de ellas es estable; la segunda, en cambio, es internamente inestable por la falta de una diagonal en uno de los paneles.

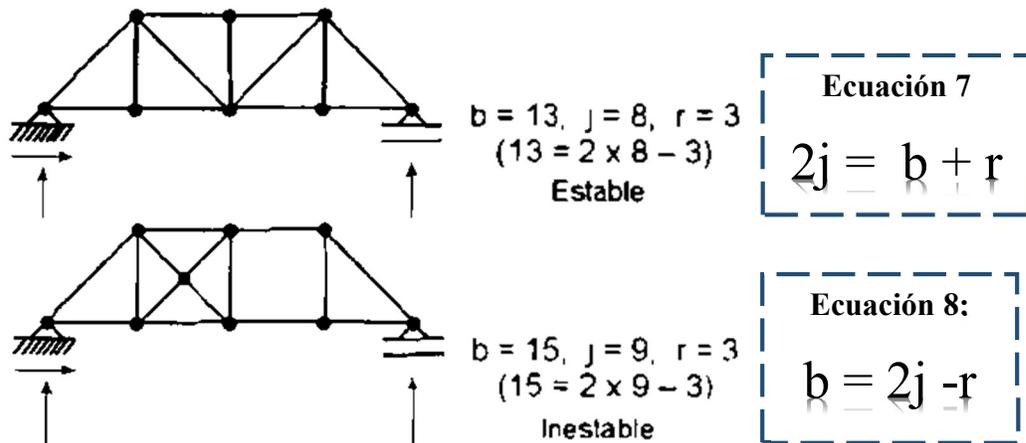


Figura 30: (F) Armadura estable y armadura inestable por mal diseño.

Fuente: modificación de diferentes ilustraciones, interpretadas de los diferentes sitios web relacionados en la biografía y algunas bases teóricas del libro - URIBE ESCAMILLA, Jairo. Libro: "Análisis de estructuras". 2 da edición.

En la ilustración (F) encontramos el cumplimiento de la (*Ecuación 8*) en armaduras estables. Si la ecuación de condición no se satisface, la estructura puede ser internamente inestable o internamente indeterminada. Cuando el número de barras es inferior al dado en la (*Ecuación 8*), la armadura es internamente inestable.

En el caso contrario es internamente indeterminada, generalmente del grado indicado por la diferencia entre el lado izquierdo y el lado derecho de dicha ecuación. En la ilustración (G) se presentan varios ejemplos de aplicación de la ecuación anterior en que todas las armaduras mostradas son estables y de varios grados de indeterminación.

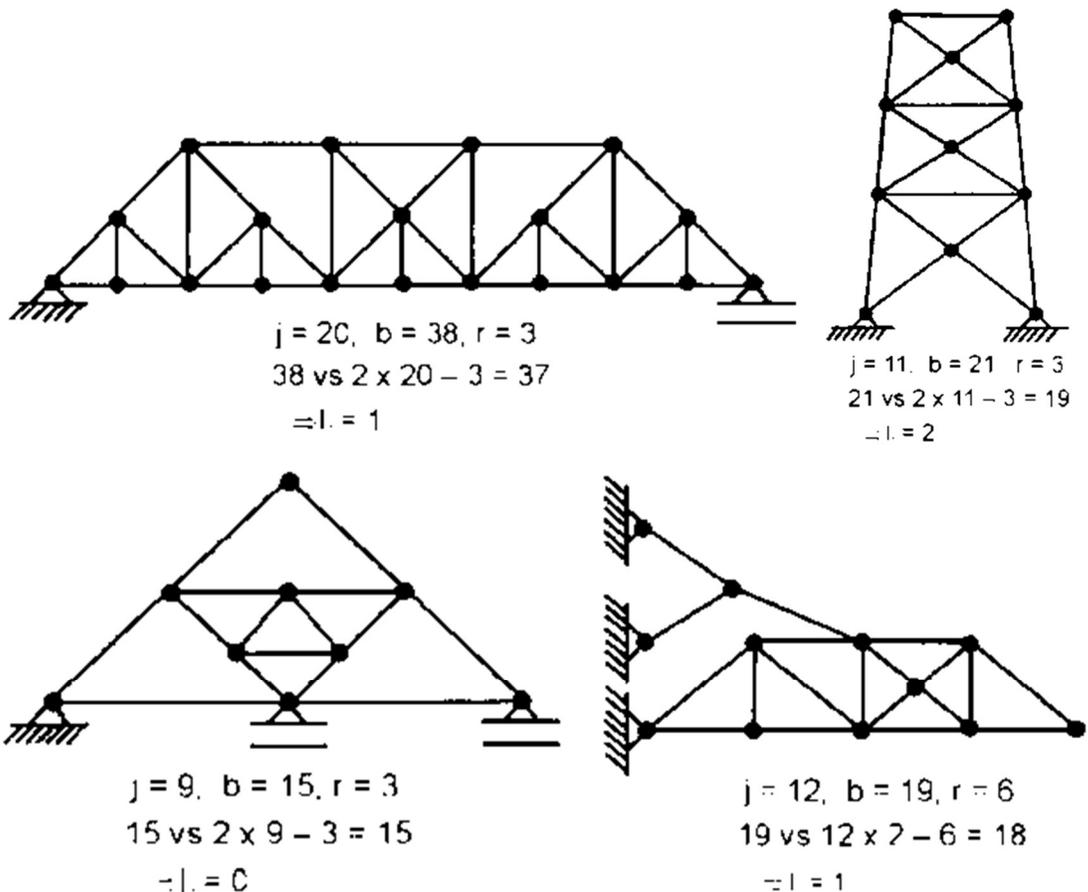


Figura 31: (G) Diseño de armaduras estables con diferentes grados de indeterminación. Fuente: modificación de diferentes ilustraciones, interpretadas de los diferentes sitios web relacionados en la biografía y algunas bases teóricas del libro - URIBE ESCAMILLA, Jairo. Libro: “Análisis de estructuras”. 2 da edición.

En la ilustración (G) se observa el cálculo del grado de indeterminación interna en armaduras.

### 9.6.2.2. Pórticos:

El estudio del grado de indeterminación interna de los pórticos tiene poca importancia práctica y puede hacerse rápidamente por inspección, pues basta aplicar la (Ecuación 9); en donde  $I_i$  es el grado de indeterminación interna y  $n$  el número de segmentos de área dentro de los límites del pórtico que se hallan completamente rodeados por elementos del mismo; es decir, los segmentos adyacentes al terreno no se cuentan.

Según esto, las vigas continuas. Que pueden considerarse como un caso límite de pórticos, son internamente determinadas. En la ilustración (H) se muestra un pórtico de noveno grado de indeterminación interna.

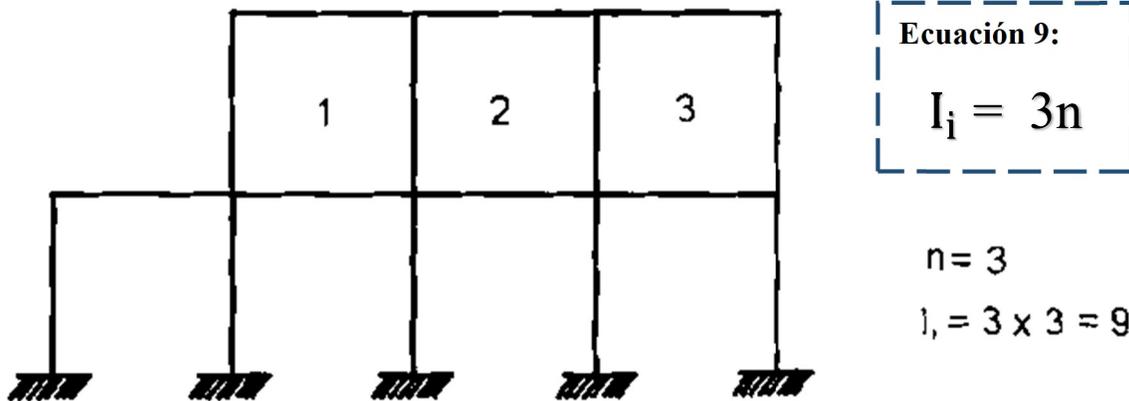


Figura 32: (H) Pórticos y configuración.

Fuente: modificación de diferentes ilustraciones, interpretadas de los diferentes sitios web relacionados en la biografía y algunas bases teóricas del libro - URIBE ESCAMILLA, Jairo. Libro: "Análisis de estructuras". 2 da edición.

En la ilustración (H) se presenta el ejemplo del cálculo del grado de indeterminación en un pórtico.

### 9.6.3. Estabilidad y determinación totales

La estabilidad e indeterminación totales son las que realmente importan para el análisis, pues se requiere una ecuación adicional para cada grado de indeterminación, independiente de si ésta es interna o externa. La indeterminación total se puede encontrar sumando las indeterminaciones externa e interna, o modificando las ecuaciones dadas anteriormente, como se indica a continuación. Para las armaduras la ecuación de condición pasa a ser (Ecuación 10), Para pórticos en un plano basta añadir a la ser (Ecuación 9) la indeterminación externa, quedando entonces la ser (Ecuación 11) en donde  $I_t$  es el grado de indeterminación total. Aplicando esta ecuación al pórtico de la ilustración H, se obtiene una indeterminación total de grado 21. Un método alternativo en este tipo de estructuras es el de hacer cortes que reduzcan el pórtico a otros formados por vigas y columnas en voladizo y, por consiguiente, estáticamente determinados. En cada sección es necesario colocar una fuerza axial, otra de corte y un momento para compensar los grados de libertad introducidos. En consecuencia, la indeterminación estará dada por tres veces el número de cortes,  $nc$ ; Aplicando este método al pórtico anterior, como se indica en la ilustración (I), se llega de nuevo al mismo resultado. Cuando las condiciones de apoyo son diferentes de empotramiento, al valor encontrado mediante este método y la ser (Ecuación 12) es necesario restarle el número de grados de libertad existente en los apoyos.

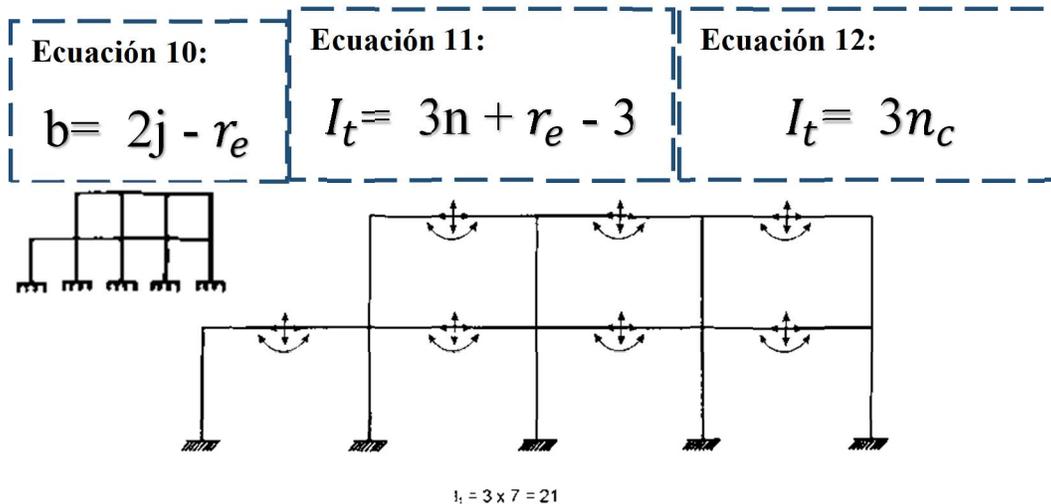


Figura 33: (I) Pórticos y grado de indeterminación.

Fuente: modificación de diferentes ilustraciones, interpretadas de los diferentes sitios web relacionados en la biografía y algunas bases teóricas del libro - URIBE ESCAMILLA, Jairo. Libro: "Análisis de estructuras". 2 da edición.

En la ilustración (I) se presenta el método de los cortes para calcular el grado de indeterminación de un pórtico.

#### 9.6.4. Indeterminación cinemática.

Se ha mencionado anteriormente, que en el caso de pórticos puede resultar más conveniente utilizar los llamados Métodos de desplazamientos en lugar de métodos de fuerzas para el análisis de la estructura. Considerar en los primeros; los desplazamientos como incógnitas, hace que para ellos lo que importe sea el grado de indeterminación cinemática que está dado por el número de desplazamientos generalizados - desplazamientos lineales y rotaciones de los nudos desconocidos.

En los pórticos comunes se suelen despreciar las deformaciones axiales de los miembros y, en consecuencia, se considera que en cada piso sólo existen desplazamientos horizontales, iguales para cada una de las columnas involucradas, además de las rotaciones de los nudos. Siguiendo este criterio, en el pórtico de la ilustración (J), que es de grado 36 de indeterminación cinemática si se considera en forma exacta, pues tiene doce nudos libres con tres grados de libertad en cada uno, dicho valor se reduce a 16 cuando se desprecian las deformaciones axiales de los miembros, pues sólo quedan entonces cuatro desplazamientos y doce rotaciones independientes. En cambio es de grado 24 de indeterminación estática, como puede calcularse fácilmente aplicando cualquiera de los métodos ya nombrados anteriormente.

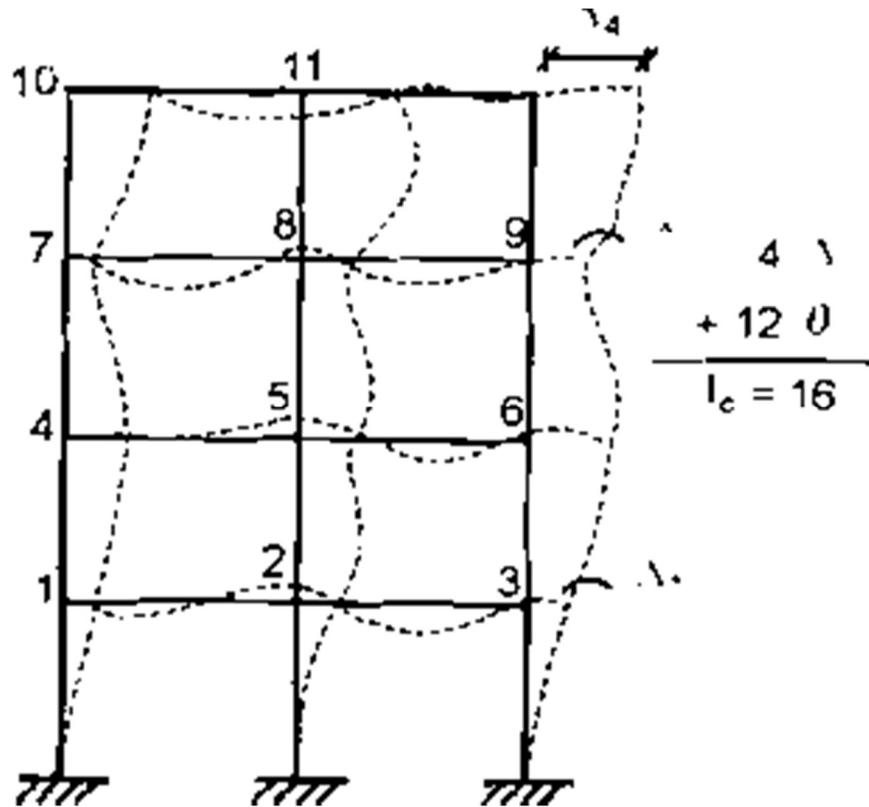


Figura 34: (J) pórticos e indeterminación cinemática.

Fuente: modificación de diferentes ilustraciones, interpretadas de los diferentes sitios web relacionados en la biografía y algunas bases teóricas del libro - URIBE ESCAMILLA, Jairo. Libro: "Análisis de estructuras". 2 da edición.

En la ilustración (j) se presenta el cálculo del grado de indeterminación cinemática.

### 9.7. Métodos de análisis:

Para determinar qué tipo de método de análisis se debe utilizar es necesario revisar en el numeral A.3.4. (NSR-10, Título A). Esta clasifica 3 métodos principales de análisis y deja una cuarta opción a métodos alternos, con la condición de que pueden ser calculados de manera diferente; pero sus resultados deben de guardar concordancia con los posibles resultados de cualquier de los 3 métodos principales o de algunos parámetros y requerimientos que delimita la norma en sus capítulos A.4 y A.5; a continuación, se nombran los 2 métodos primarios por la norma para el diseño estructural:

- Método de la fuerza horizontal equivalente (FHE).
- Método de análisis dinámico

El método de la fuerza horizontal equivalente en el cálculo estructural es la primera medida que se toma para cada cálculo o método que se piense emplear, debido a que es la base o punto de referencia que incluye las combinaciones, cargas y requisitos generales para el

diseño estructural, ejemplo de esto es entregar entre los resultados las fuerzas sísmicas de diseño que se transmiten a la cimentación.

### **9.7.1. Método de la fuerza horizontal equivalente (FHE):**

Tomando el concepto descrito por el ingeniero Yarely en su tesis de grado, se puede decir que; “El sistema de la fuerza horizontal equivalente, es utilizado para evaluar las fuerzas sísmicas de diseño y consiste en reemplazar las fuerzas del sismo por fuerzas laterales ( $F_x$ ), que son aplicadas a nivel de piso, equilibrando el cortante en la base. El método de la fuerza horizontal equivalente se define por los siguientes pasos”, (Araque C.; Bogotá 2015, pg. 38:

- A. Evaluación de la masa.
- B. Cálculo aproximado del periodo fundamental.
- C. Cálculo del espectro de diseño.
- D. Determinación del cortante en la base.
- E. Aplicación de las fuerzas sísmicas para cada nivel del edificio.
- F. Verificación de que los índices de deriva no sobrepasen los valores permitidos.

Estos pasos definen un proceso fundamental para el diseño estructural, como lo ilustra el siguiente diagrama:

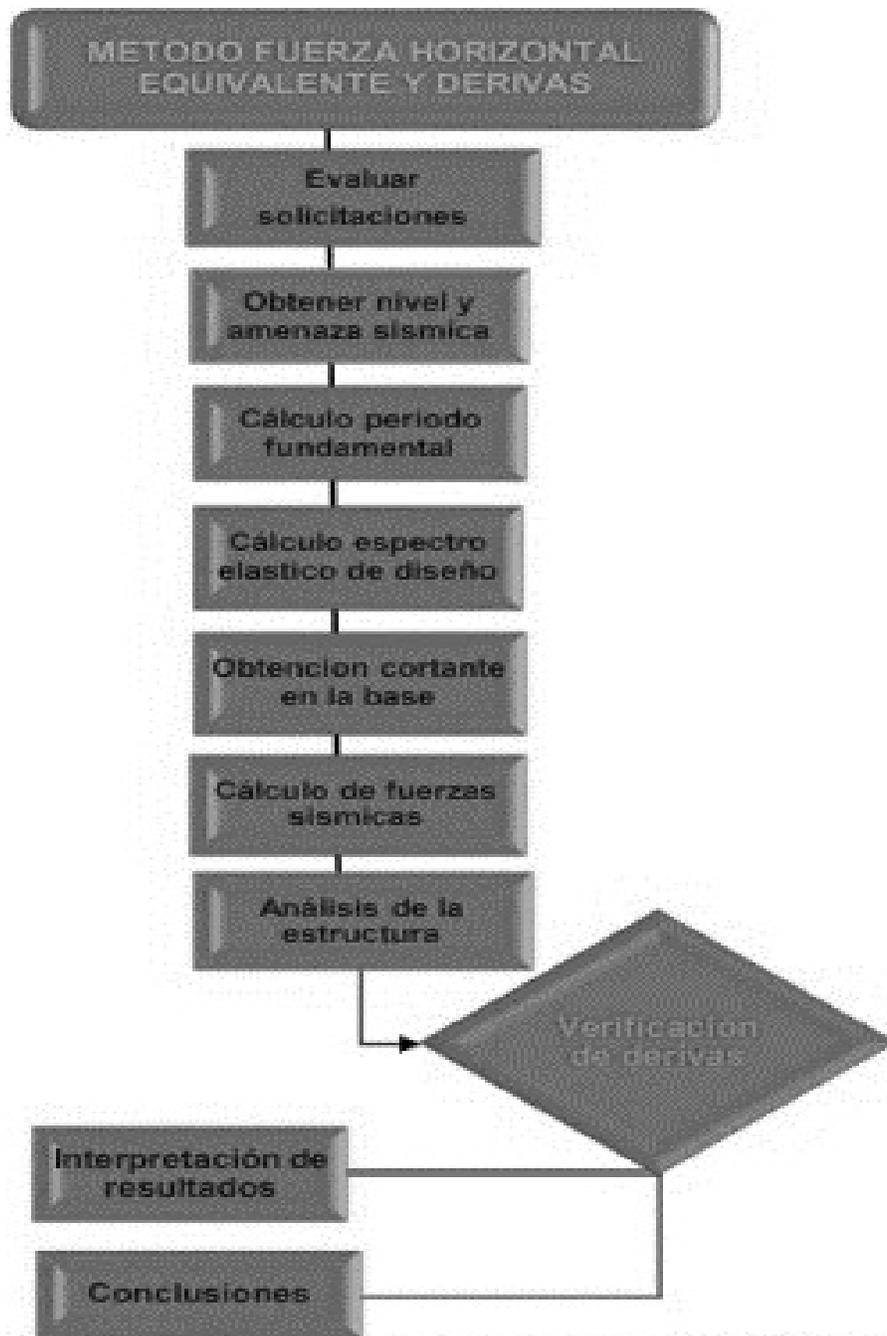


Figura 35: Diagrama del flujo del diseño sísmo resistente de un edificio por el método FHE según NRS-10.

Fuente: ARAQUE C. Guía para el cálculo de la fuerza horizontal equivalente y derivas según título A4 y A6 NRS-10. Bogotá. 2015 pág. 389.

La amenaza o peligrosidad sísmica de un sitio es definido normalmente mediante espectros de diseño, los cuales están determinados por los coeficientes de  $A_a$ ,  $A_v$ ,  $F_a$ ,  $F_v$  y el coeficiente de importancia ( $I$ ), esto permite diseñar el espectro elástico de aceleraciones de

diseño como fracción de la gravedad ( $g$ ) cumpliendo con los parámetros de la NRS-10; esto permite seguir con el cálculo del periodo fundamental de la estructura.

### 9.7.1.1. Periodo fundamental de la estructura ( $T$ )

Se define el periodo fundamental de la estructura ( $T$ ), es cual se puede definir como el tiempo que toma la estructura en dar un ciclo completo, cuando experimenta una vibración no forzada, es de carácter primordial determinar este periodo debido a que de él depende la magnitud de la fuerza sísmica que experimentara la estructura. Este periodo fundamental se puede obtener por medios de los programas de cálculo a emplear dentro de la investigación o puede ser calculado por medio de una hoja de cálculo formulada, o se puede realizar una aproximación del periodo fundamental según dicta la norma por medio de ecuación A.4.2-3. Representada por ( $T_a$ ) la cual puede ser calculada por medio de la multiplicación de los parámetros de ( $C_t$ ) por la altura ( $h$ ) con un exponente ( $a$ ); expresados en la tabla A.4.2-1 o por medio de la formula expresada en el numeral A.4.2-5 donde el periodo fundamental se considera el 10 % de la cantidad de pisos de la edificación ( $N$ ) como se aprecia en las siguientes 2 formulas:

**Ecuación 13:**  $T_a = C_t h^a$  - numeral: A.4.2-3

**Ecuación 14:**  $T_a = 0.1N$  - numeral: A.4.2-5

Fuente: Norma sismo resistente del 2010 – NSR-10, titulo A.

Tabla 6: Numeral A.4.2-1 (Valores de los parámetros  $C_t$  y  $a$  para el cálculo del periodo aproximando  $T_a$ )

Sistema estructural de resistencia sísmica	$C_t$	$\alpha$
Pórticos resistentes a momentos de concreto reforzado que resisten la totalidad de las fuerzas sísmicas y que no están limitados o adheridos a componentes más rígidos, estructurales o no estructurales, que limiten los desplazamientos horizontales al verse sometidos a las fuerzas sísmicas.	0.047	0.9
Pórticos resistentes a momentos de acero estructural que resisten la totalidad de las fuerzas sísmicas y que no están limitados o adheridos a componentes más rígidos, estructurales o no estructurales, que limiten los desplazamientos horizontales al verse sometidos a las fuerzas sísmicas.	0.072	0.8
Pórticos arriostrados de acero estructural con diagonales excéntricas restringidas a pandeo.	0.073	0.75
Todos los otros sistemas estructurales basados en muros de rigidez similar o mayor a la de muros de concreto o mampostería	0.049	0.75
Alternativamente, para estructuras que tengan muros estructurales de concreto reforzado o mampostería estructural, pueden emplearse los siguientes parámetros $C_t$ y $\alpha$ , donde $C_w$ se calcula utilizando la ecuación A.4.2-4.	$\frac{0.0062}{\sqrt{C_w}}$	1.00

Fuente: NRS-10 título A capítulo 4.

De acuerdo al numeral A.4.2.3 el valor de ( $T$ ) obtenido en las formulas ilustradas anteriormente son estimativos iniciales razonables del periodo estructural para predecir las fuerzas a aplicar sobre la estructura con el fin de dimensionar su sistema de resistencia sísmica. Sin embargo, ya diseñada la estructura, debe calcularse el valor ajustado de ( $T$ )

mediante la aplicación de análisis modal o por medio de la ecuación planteada en A.4.2-1 para compararlo con el estimado inicial; si el periodo de la estructura diseñada difiriera en más del 10% con el periodo estimado inicialmente, debe repetirse el proceso de análisis, utilizando el último periodo calculado como nuevo estimado, hasta que se converja en un resultado dentro de la tolerancia del 10% señalado.

### 9.7.1.2. Distribución de las fuerzas sísmicas horizontales equivalentes:

#### CORTANTE EN LA BASE:

el cortante sísmico en la base o cortante basal es una fuerza de reacción que se presenta en todos los marcos que compongan una estructura y se localiza en la base, esta fuerza nace de la interacción entre la liberación de energía de las capas interiores de la corteza terrestre que producen un movimiento ondulatorio del terreno el cual se traduce por medio de una aceleración ( $S_a$ ) inducida a la estructura que contando esta con su propia masa y conociendo la 2da ley de newton se transforma en una fuerza inercial sobre la estructura. “inercial debido a que depende directamente de la masa de la estructura sometida al sismo” según lo define la NSR-10.

El cortante sísmico en la base ( $V_s$ ) es equivalente a la totalidad de los efectos inerciales horizontales producidos por los movimientos sísmicos de diseño, en la dirección de estudio y se obtiene por medio de la ecuación (A.4.3-1) de la NRS-10:

#### Ecuación 15:

$$(V_s = S_a * g * M) = (V_s = S_a * P)$$

Fuente: NRS-10 título A, - Numeral: A.4.3-1

El valor de ( $S_a$ ) en la ecuación anterior corresponde al valor de la aceleración, como fracción de la gravedad, leída en el espectro de diseño para el periodo ( $T$ ) de la edificación. Y los coeficientes de ( $g$ ) y ( $M$ ) son la masa total del edificio por la gravedad, lo cual determina el peso total de la estructura; por ende, la formula se puede representar de 2 maneras como lo ilustran las ecuaciones anteriores.

Determinado el cortante en la base, el procedimiento a seguir radica en encontrar las fuerzas sísmicas horizontales ( $F_x$ ), en cualquier nivel ( $x$ ), para la dirección en estudio, las cuales se obtienen por la ecuación (A.4.3-2), es decir, el debido proceso es distribuir el cortante de la base en los diferentes pisos o niveles de la estructura, de acuerdo al coeficiente ( $C_{vx}$ ). Este se define como el coeficiente de distribución de la fuerza sísmica en la altura de la edificación para periodos cortos, la fuerza horizontal es equivalente a una fuerza uniforme, de tipo triangular con valor 0 en la base. Se encuentra representada por la ecuación (A.3-3):

**Ecuación 16:** 
$$C_{vx} = \frac{m_x * h_x^k}{\sum_{i=1}^n (m_i * h_i^k)}$$

Fuente: NRS-10 título A.

Donde se desarrolla una relación del peso correspondiente por piso con respecto al peso total de la estructura; la cual está comprometida por el exponente (**k**) relacionado con el periodo fundamental (**T**) como se expresa a continuación:

- a. Para (**T**) menor o igual a 0.5 segundos,  $k = 1.0$ .
- b. Para (**T**) entre 0.5 y 2.5 segundos,  $k = 0.75 + 0.5 * T$ .
- c. Para (**T**) mayor que 2.5 segundos,  $k = 2.0$ .

Al culminar los cálculos solicitados en el capítulo 4 de la NRS-10 para el método de las fuerza horizontales equivalentes, estos deben ser evaluados por medio de la realización de un análisis, utilizando un modelo matemático linealmente elástico de la estructura; logrando representar adecuadamente las características del sistema estructural empleado.

#### REQUISITOS ESPECIALES PARA EL PROCESO DE ANÁLISIS DE LA FUERZA HORIZONTAL EQUIVALENTE:

De acuerdo al análisis elaborado, cumpliendo con los principios de la mecánica estructural, la norma dicta que, como requisitos mínimos, se debe tener en cuenta:

- a. Las condiciones de apoyo de la estructura.
- b. El efecto del diagrama, rígido o flexible, de los entresijos de la edificación, en la distribución del cortante sísmico del piso a los elementos verticales del sistema estructural.
- c. Las posibles variaciones de las fuerzas axiales de los elementos verticales del sistema de resistencia causados por los momentos de vuelco que inducen las propias fuerzas sísmicas.
- d. Los efectos torsionales descritos en (A: 3.6.7)
- e. Los efectos de la dirección de aplicación de la fuerza sísmica prescritos en (A.3.6.7)
- f. Los requisitos establecidos en A.3.4.3.

#### PRINCIPALES RESULTADOS A OBTENER Y ANALIZAR POR EL MÉTODO DE LA FUERZA HORIZONTAL EQUIVALENTE:

- a. Los desplazamientos horizontales de la estructura, incluye efectos torsionales, que permitan verificar si las derivas de la estructura cumplen con los requisitos del capítulo A-6 de la NRS-10.
- b. La distribución del cortante de piso, incluye los efectos torsionales, a todos los elementos verticales del sistema de resistencia.
- c. Efectos de las fuerzas sísmicas en la cimentación de la edificación.
- d. Las fuerzas internas (momentos flectores, fuerzas cortantes, fuerzas axiales y momentos de torsión) correspondientes a cada elemento que haga parte del sistema de resistencia sísmica.

### **9.7.2. Método De Análisis Dinámico Elástico - Método De Análisis Dinámico Inelástico:**

El análisis dinámico comprende, el estudio de las fuerzas, desplazamientos, velocidades y aceleraciones que aparecen en una estructura; teniendo como objetivo determinar el movimiento del mecanismo principal, contando las fuerzas y los esfuerzos internos que resultan en cada uno de sus elementos por las diferentes posiciones de funcionamiento a las que es sometido el sistema estructural. Este análisis refiere las pequeñas oscilaciones o vibraciones que puede sufrir la estructura alrededor de suposición de equilibrio. Determinando la importancia de este movimiento debido a que este produce unas modificaciones de las tensiones y deformaciones existentes, que son la base inicial de diseño sísmico adecuado.

El objetivo del estudio dinámico de una estructura es, en última instancia, predecir el comportamiento de la misma, para establecer el grado de seguridad frente al colapso. Como se ha dicho anterior mente, siempre es la verificación de un diseño, que deberá ser corregido hasta lograr un comportamiento satisfactorio.

Este comportamiento satisfactorio es el indicador apropiado o la base para definir el comportamiento general de la estructura a través del tiempo ante cualquier tipo de movimiento sísmico o efectos producidos por su propio peso. Este comportamiento tan bien se le conoce como respuesta esencial del estado de deformación y en este estado es donde se determina la supervivencia o no del diseño estructural.

#### **9.7.2.1. Modelos matemáticos:**

La Norma Sismo Resistente del 2010 en su capítulo 5, ha establecido los requisitos básicos y los parámetros mínimos del diseño estructural en los posibles métodos de análisis dinámico; donde los resultados obtenidos deben ajustarse o acercarse a los valores establecidos por el capítulo 4 : “método de la fuerza horizontal equivalente”, por ende la norma deja abierta a decisión del diseñador estructural el método de análisis a emplear desde que este cumpla o se ajuste a los valores obtenidos por el análisis preliminar.

Dentro de los posibles procedimientos de un análisis dinámico la norma establece que en el procedimiento matemático se debe contemplar al menos uno, de los siguientes 3 modelos:

#### MODELO TRIDIMENSIONAL CON DIAFRAGMA RÍGIDO:

El modelo contempla o considera los entrepisos como diafragmas infinitamente rígidos en su propio plano. La masa de cada diafragma se considera concentrada en su centro de masa. Los efectos direccionales pueden ser tomados en cuenta a través de las componentes apropiadas de los desplazamientos de los grados de libertad horizontales ortogonales del diafragma. Debe utilizarse cuando se presenten irregularidades en planta de tipo 1aP, 1bP, 4P o 5P, tal como los define A.3.3.4. (Tabla A.3-6), y en aquellos casos en los cuales, a juicio del ingeniero diseñador, este es el procedimiento más adecuado.

#### MODELO TRIDIMENSIONAL CON DIAFRAGMA FLEXIBLE:

Este modelo considera que las masas aferentes a cada nudo de la estructura pueden desplazarse y girar en cualquier dirección horizontal o vertical. La rigidez de los elementos estructurales del sistema de resistencia sísmica se describe tridimensionalmente. El diafragma se represente por medio de elementos que describan su flexibilidad. Este método debe utilizarse cuando no exista un diafragma propiamente dicho, cuando el diafragma es flexible en comparación con los elementos estructurales verticales, o cuando se presenten irregularidades en planta del tipo 2P o 3P, tal como se define en A.3.3.4. (Tabla A.3-6), y en aquellos casos donde a juicio del ingeniero diseñador este sea el procedimiento más adecuado.

#### MODELO LIMITADOS A UN PLANO VERTICAL:

La respuesta de la estructura para este modelo se limita a movimientos horizontales en una sola dirección. Se permite en todos los casos que no están cubiertos por A.5.2.1.1. Y A.5.2.1.2. . Los efectos torsionales de los pisos deben evaluarse independientemente y adicionarse a los valores obtenidos del análisis en un plano cuando el diafragma es rígido y pueden despreciarse cuando el diafragma es flexible. De igual manera los efectos producidos por la dirección de incidencia de los movimientos sísmicos del terreno deben evaluarse por separado y adicionarse a los valores obtenidos del análisis dinámico.

#### OTROS MODELOS:

A juicio del ingeniero diseñador las características de rigidez o de masa de la estructura lo requieren, se permite el uso de modelos de análisis inelástico dinámico o de métodos alternos, tal como lo indica A.3.4.1.

### **9.7.2.2. Rigidez En Los Métodos Dinámicos Elásticos:**

La rigidez en los elementos estructurales del sistema de resistencia sísmica cuando se emplean métodos dinámicos elásticos, debe seleccionarse una rigidez que represente los elementos cuando estos se vean sometidos a movimientos sísmicos de diseño.

En estructuras en concreto y mampostería, la rigidez que se asigne debe ser consistente con el grado de figuración que pueden tener los diferentes elementos al verse sometidos a las deformaciones que imponen los movimientos sísmicos de diseño.

Cuando se presenten variaciones apreciables en la rigidez de los elementos verticales de sistema de resistencia sísmica que contribuyen a la resistencia de las mismas componentes del movimiento, la rigidez que se le asigne a cada uno de ellos debe ser consistente con los niveles de deformación.

### **9.7.2.3. Rigidez En Los Métodos Dinámicos Inelásticos:**

Los modelos matemáticos utilizados para describir la rigidez de los elementos estructurales del sistema de resistencia sísmica, cuando se empleen métodos dinámicos inelásticos, deben ser consistentes con el grado de capacidad de disipación de energía del material, con los niveles esperados de deformación y con las secuencias de esfuerzos y deformaciones que se presenten durante la respuesta, a través de modelos histeréticos que describan la degradación de rigidez y resistencia, los efectos de estrangulamiento de las formas histeréticas, y los efectos del endurecimiento por deformación del acero. Los modelos de rigidez utilizados deben estar adecuadamente sustentados analítica o experimentalmente.

## **9.8. Programas de diseño y análisis estructural.**

La historia nos cuenta que las grandes estructuras realizadas a través del tiempo, dan la idea de que eran imposibles de construir por su magnitud y diseño, o configuración estructural, pero el hombre siempre ha encontrado la forma de llevar a la realidad estas grandes ideas que nacen en su mente.

Antes de que llegara el ordenador, los ingenieros realizaban sus cálculos a mano y su grado de seguridad radicaba en su experiencia y conocimiento, hoy en día todo tiene un tipo de explicación científica y puede ser demostrada por medio de gráficos e informes entregados por programas de cálculo y diseño, pero aún ahí, el diseñador o calculista debe tener el conocimiento suficiente para poder encontrar la comunicación perfecta entre su idea y los resultados arrojados por la herramienta de diseño, y esto es lo que hoy en día conocemos como la interacción del profesional con el desarrollo tecnológico del conocimiento.

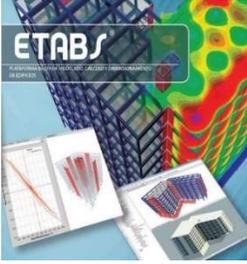
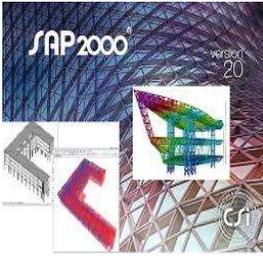
Y por esto es de suma importancia dar una breve explicación de los diferentes programas de diseño estructural y sus principales funciones; para esto el investigador referencia su idea con base a los programas de diseño más utilizados actualmente, los cuales encuentra en el

canal de videos “Tutoriales Estructuras y construcción”, pero para el caso en estudio el investigador solo trae a colación los programas más utilizados en Latinoamérica.

Aquí se responde a la pregunta más importante de todas, ¿cuál es el más programa más indicado para la necesidad?, para esto se definen las características más importantes, y se determina una clasificación que demuestre que programa es más simple y recomendado para estudiantes o principiantes que se enfocan en el diseño estructural; como se ilustra en la tabla a continuación:

**Tabla 7: Cuadro Comparativo De Los Diferentes Programas De Diseño Estructural.**

Programa	Características
<p><b>Calificación: 3.8</b></p>  <p><b>CYPECAD</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Construye el modelo digital, con redes sanitarias y eléctricas, además de entregar cantidades de obra, y despiece de los diferentes elementos que conformen el proyecto.</li> <li>- la interfaz para el manejo y control de los resultados exigen de un profesional con conocimientos avanzados.</li> <li>- Es el programa más completo con respecto a todos los temas que trae consigo la ingeniería.</li> </ul>
<p><b>Calificación: 3.7</b></p>  <p><b>AUTODESK ROBOT</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pertenece al grupo de autodesk.</li> <li>- El modelado digital permite el despiece de los elementos en concreto, diseñar la cimentación y los estratos en el suelo, incluye cargas adicionales de viento para cierto tipo de estructuras, entrega buenas memorias de cálculo pero su interfaz de resultados y procesos es un poco compleja por ende exige de un profesional avanzado. Es la competencia del Cypecad.</li> </ul>
<p><b>Calificación: 4.3</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Es el software con la interfaz más simple de manejar.</li> <li>- permite un diseño manual que desarrolla mejor el criterio profesional. El proceso de diseño cuesta un poco más de tiempo de lo normal, no entrega despiece de los elementos</li> </ul>

	<p>estructurales, pero da como resultados buenas memorias de cálculo y es el programa más recomendado para principiantes. Fue construido especialmente para el diseño de edificaciones sencillas en su configuración estructural y de gran altura.</p>
<p><b>Calificación: 4.0</b></p> 	<p>-Es el Software que más tipos de estructuras permite calcular, preferiblemente en acero, su interfaz es supremamente simple; generalmente se asocia como hermano del programa etabs, pero sus memorias de cálculo no son muy organizadas y la interfaz para el control de los resultados es un poco complicada de manejar. Es recomendado para principiantes que ya manejen el etabs.</p>

Fuente: • Programas de diseño estructural - Disponible:  
<https://www.youtube.com/watch?v=ewvTIHpCBUY>

**Observaciones:**

Siguiendo las recomendaciones planteadas en el video por los ingenieros de “Tutoriales de estructuras y construcción”, es obvio decir que los programas de cálculo buscan cumplir todos la misma función, que el diseño estructural cumpla con las normas establecidas para cada sitio o ubicación donde se encuentre a nivel mundial; pero para poder aprovechar al máximo las funciones o características principales de cada programa, el calculista debe conocer cómo opera cada uno de ellos, como es la interacción de la información base con los resultados obtenidos y muchos otros aspectos de suma importancia que no son tenidos en cuenta.

Por ende, es preciso decir que un diseñador estructural, debe clasificarse a sí mismo como principiante, intermedio y avanzado, para así poder determinar una guía entre los diferentes programas de diseño, permitiéndole acoplar su criterio profesional a la metodología planteada por el software en el cálculo estructural de la edificación.

## **10. Interpretación de resultados - Criterios de diseño estructural.**

### **10.1. Interpretación de los resultados:**

#### **10.1.1. Capítulo A:**

El desarrollo del capítulo A, presenta la parte teórica, conceptos, lineamientos y requerimientos planteados en la NSR-10 y en los títulos dentro de la investigación, los cuales abarcan los temas fundamentales para el desarrollo y diseño de un proyecto de ingeniería civil, incluyendo sistemas estructurales, los diferentes tipos posibles, la definición de materiales estructurales y sus principales características y comportamiento; a continuación se presentan los criterios definidos a través de este capítulo:

Todo lo relacionado con la fabricación y ejecución de un proyecto de ingeniería civil; incluyendo los principales requerimientos que presentan los diferentes títulos de la Norma Sismo Resistente del 2010 para Colombia (NSR-10): incluyendo los requisitos generales de diseño y construcción, cargas, concreto estructural, mampostería estructural, casas de uno y dos pisos, estructuras metálicas, estructuras en madera y estructuras en guadua; y estudios geotécnicos.

Se da relación al concepto de zona de amenaza sísmica donde la investigación opta por ilustrar los coeficientes espectrales de diseños descritos en el decreto 932 del 2011 para la ciudad de Pereira, ya que la NSR-10 permite en su numeral A.2.1.2.1 “Estudios de Microzonificación sísmica”.

Se determinan las 5 etapas para el desarrollo de un proyecto desde su planteamiento general hasta su construcción y se describe el procedimiento de diseño estructural para edificaciones nuevas y existentes formulado en 12 pasos los cuales se describen en su Título A numeral A.1.3.4.

El concepto de cargas o fuerzas que actúan sobre una estructura se desarrolla través de las definiciones manejadas por Escamilla; donde las clasifica por medio de 3 pasos; primero determinar si es externa o interna, segundo clasificarla por su criterio y tercero por las divisiones que traiga consigo las clasificación por su criterio, un ejemplo de esto es determinando una carga externa clasificada por su modo de aplicación y su división sería si es estática o dinámica, un ejemplo de carga interna sería clasificarla por el efecto que produce y este puede ser axial, cortante, flectoras o torsoras.

Combinaciones de cargas mayoradas usando el método de resistencia, donde la norma es muy clara y específica en donde deben usarse según los parámetros dictados en la norma para cada tipo de material a emplear. Además, se ilustran las tablas más importantes del título B donde se presentan las masas de los materiales, los valores mínimos de cargas muertas de elementos no estructurales, cargas vivas mínimas en cubiertas y uniformemente distribuidas.

Se definen los diferentes materiales estructurales posibles a emplear y se describen sus comportamientos internos y sus principales características, como sus propiedades

mecánicas, incluyendo sus condiciones de carga, relación esfuerzo deformación, comportamiento elástico, ilustrando los valores típicos del módulo de elasticidad y la relación de Poisson, comportamiento elastoplástico, los tipos de fallos y la seguridad con respecto a su comportamiento. Y dentro de sus propiedades no mecánicas se encuentra lo que es el peso específico, densidad, expansión térmica y sus características superficiales, como es la corrosión

Se clasifican los cuatro tipos generales de sistemas estructurales, descritos por la NSR-10 en su título A; donde se encuentran los siguientes criterios:

Sistema de muros de carga; no dispone de un esqueleto o sistema estructural definido, si no que toda su estructura funciona como muros de carga, es decir las fuerzas verticales son resistidas por muros de carga y las fuerzas horizontales son resistidas por muros estructurales o pórticos con diagonales, convirtiendo la estructura en un diafragma completo.

Sistema combinado; es un sistema que se puede presentar de dos maneras donde en un caso las cargas verticales son resistidas por un pórtico no resistente a momentos, y las fuerzas horizontales son resistidas por muros estructurales o pórticos con diagonales; o en el otro caso se puede presentar un sistema que las cargas horizontales y verticales son resistidas por un pórtico resistente a momentos, combinado con muros estructurales o pórticos con diagonales.

Sistema de pórtico; es un sistema completo compuesto por un pórtico espacial, resistente a momentos, si diagonales, que resiste todas las cargas verticales y fuerzas horizontales.

Sistema dual; es un sistema estructural el cual tiene un pórtico espacial resistente a momentos y sin diagonales, combinado con muros estructurales o pórticos con diagonales; pero para que se pueda clasificar como sistema dual debe cumplir con los tres requisitos estipulados por la NSR-10 en su título A numeral A.3.2.1.4 – sistema dual.

Dentro de los requisitos planteados por la NSR-10 en su título A-3, se encuentran las diferentes combinaciones posibles de sistemas estructurales en altura y planta, determinando un valor máximo permitido de (R) o coeficiente de disipación de energía; el cual se encuentra relacionado con su configuración estructural de acuerdo o diseño geométrico de la estructura y los sistemas estructurales empleados. Se tienen en cuenta la combinación de pisos livianos, estructuras flexibles apoyadas sobre estructuras con mayor rigidez o estructuras rígidas apoyadas sobre una estructura con menor rigidez.

Se describen los diferentes tipos de fallas que se pueden presentar en sistemas estructurales, los cuales definimos como, falla por deformación elástica excesiva, falla por deformación permanente, falla por separación parcial, falla por separación total.

Las fuerzas sísmicas de diseño (E) son los valores finales con los que se trabajan las combinaciones de cargas descritas en el título B para el debido procedimiento del diseño estructural.

Se plantean los conceptos básicos sobre cimentaciones, donde se incluyen sus principales funciones y diseños o prototipos de cimentación, sean cimentaciones superficiales como vigas de amarre o losas de cimentación; cimentaciones semi profundas como zapatas o

muros estructurales o cimentaciones profundas como pilotes, dados, pantallas o muros de contención y caissons.

### **10.1.2. Capítulo B:**

El capítulo B presenta el aspecto técnico, es decir, los diferentes procedimientos y procesos determinados para un análisis estructural; este procedimiento incluye el análisis de las cargas y combinaciones a emplear, elementos estructurales, tipos de apoyos, conexiones; además de incluir los comportamientos internos de las diferentes estructuras, incluyendo sus determinaciones internas y externas, sean por cargas puntuales o distribuidas, viva o muerta, y además de plantear la indeterminación cinemática; los métodos de análisis desarrollados en este capítulo son los 2 procedimientos reglamentados por la NSR-10, los cuales son el método de la fuerza horizontal equivalente (FHE) y el método de análisis dinámico; aquí se describen criterios de diseño y análisis estructural desde la parte técnica, incluyendo consigo algunas definiciones de los programas de cálculo y diseño estructural que más se utilizan actualmente en el mercado; los criterios definidos son los que se presentan a continuación:

EL CONCEPTO ANÁLISIS DE CARGAS; trae consigo dos temas fundamentales las áreas tributarias y las líneas de fluencia, donde la primera describe la forma en cómo se dividen las cargas a través de las áreas que actúan sobre cada elemento estructural y la segunda es la forma como se comporta el diafragma que conforma estas áreas de carga o losa de entre piso; un ejemplo de esto es el teorema del límite inferior y el teorema del límite superior.

Se define el concepto de estructura y de cada uno de los elementos que la conforman, entre los principales encontramos, columnas, vigas, apoyos y conexiones.

El comportamiento estructural, es el concepto de cómo interactúan las fuerzas o momentos, sean internos o externos, con respecto a la resistencia y rigidez de los elementos estructurales que conforman el cuerpo completo de la estructura, dentro de estos conceptos encontramos lo que es la fuerza cortante y momento flexionante.

Dentro de las definiciones presentadas por Escamilla encontramos el concepto clave del análisis estructural estabilidad y determinación, donde una vez diseñada y determinada la estructura como estable, se procede a determinar el grado de indeterminación, que está dado por el exceso de incógnitas sobre el número de ecuaciones disponibles. Este estudio se hace en función de fuerzas o desplazamientos; en el primer caso se habla de indeterminación estática y en el segundo, de indeterminación cinemática.

Cuando las ecuaciones, de la indeterminación estática, superan las ecuaciones de la indeterminación cinemática, la estructura se llama indeterminada, y para resolverlas es necesario acudir a las expresiones de deformación y a las condiciones de compatibilidad de las mismas.

En el caso de la estabilidad y determinación “externas”, si el número de reacciones es menor que el número de ecuaciones independientes del equilibrio de la estructura, ésta es externamente inestable. Por el contrario, si las reacciones exceden el número de tales ecuaciones, la estructura es externamente indeterminada y su grado de indeterminación externa es igual al exceso de reacciones sobre el número de ecuaciones.

En las ilustraciones A, B, C y D se define como un cuerpo rígido en el espacio tiene seis grados de libertad, es decir, seis posibilidades de movimiento independiente, mejor dicho, tres desplazamientos y tres rotaciones, por tanto requiere de seis componentes de reacción para mantenerlo en posición estable ante cualquier carga.

Para definir las indeterminaciones internas primero se debe determinar las indeterminaciones externas; es decir, la estructura es internamente determinada si, se conocen todas las reacciones necesarias para su estabilidad externa.

Las armaduras son un caso donde en cada nudo se pueden aplicar solo dos condiciones de equilibrio, pues la suma de momentos es irrelevante, para determinar tanto las fuerzas en las barras como las reacciones. La estabilidad e indeterminación totales son las que determinan el análisis estructural y se puede encontrar sumando las indeterminaciones internas y externas. La indeterminación cinemática no es más que el análisis estructural por medio de los métodos de desplazamiento.

Los métodos de análisis están determinados por la NSR-10 en su Título A numeral A.3.4. Donde los divide en 3 métodos principales y cuarta opción como método que confirme alguno de los 3 principales; la investigación se centró en los 3 primarios los cuales son; método de la fuerza horizontal equivalente (FHE), método de análisis dinámico elástico y método de análisis inelástico.

El método de la fuerza horizontal equivalente, es utilizado para evaluar las fuerzas sísmicas de diseño y consiste en reemplazar las fuerzas del sismo por fuerzas laterales (FX), que son aplicadas a nivel de piso, equilibrando el cortante en la base; se define por 6 pasos; evaluación de la masa, cálculo aproximado del periodo fundamental, cálculo del espectro de diseño, determinación del cortante en la base, aplicación de las fuerzas sísmicas para cada nivel del edificio y verificación de que los índices de deriva no sobrepasen los valores permitidos.

El método de análisis dinámico sea elástico o inelástico; es representado por estudio de fuerzas, desplazamientos, velocidades y aceleraciones que aparecen en una estructura, teniendo como objetivo determinar el movimiento del mecanismo principal.

Los programas “ETABS y SAP2000” son los que mejor se adaptan a un proceso de cálculo estructural sencillo y cumplen con todos los requerimientos y lineamientos estipulados a nivel nacional, además de ser los programas más usados en Latinoamérica para el diseño estructural.

## 11. Conclusiones:

De acuerdo a las investigaciones y los planteamientos estipulados en la Norma NRS-10 para el cálculo en proceso de los movimientos sísmicos, se puede observar un criterio de seguridad, debido a que al determinar los valores de aceleración pico efectiva “Aa” y la velocidad pico efectiva “Av”, donde, estos dentro de sus parámetros incluyen la probabilidad del 10% por ciento de ser excedidos en un lapso de cincuenta años, por ende estos estudios sísmicos determinan una garantía estructural en tiempo para las edificaciones.

Generalmente, para la construcción se prefiere emplear materiales dúctiles. Cuando un material frágil falla, la estructura puede colapsar de manera catastrófica. Por otro lado, si se sobrecarga un material dúctil, pueden producirse distorsiones en la estructura, pero esta necesariamente no tiene que colapsar. Por ende, los materiales dúctiles proporcionan al diseñador un cierto margen de seguridad. Esto permite al diseñador tener una base a la hora de seleccionar el material y el tipo de estructura que pretenda fabricar.

Los materiales ferrosos tienen un límite de resistencia a la fatiga aparente, que es un nivel de esfuerzo por debajo del cual no se produce fatiga, el límite de resistencia a la fatiga para los aceros esta, en general, comprendido en el rango que va de un cuarto (1/4) a un medio (1/2) de la resistencia del material (Flinn y Trojan, 1986).

En el análisis estructural la mayoría de las estructuras cumplen el principio que relaciona las características no mecánicas de los materiales como su peso propio, densidad y peso específico, con respecto al nivel de esfuerzo y tamaño de los elementos estructurales que se determinen para el diseño, es decir, “si el peso de los materiales a emplear se puede reducir, también podrá reducirse el tamaño de los elementos estructurales”, por ende, esto permite al diseñador interpretar la geometría de la estructura y sus esfuerzos desde diferentes perspectivas; logrando optimizar el sistema estructural planteado, construyendo una zona de seguridad donde puede interactuar de manera sencilla con los cálculos obtenidos y los materiales seleccionados.

En los materiales isotrópicos, el coeficiente de expansión térmica cumple un papel muy importante en el diseño de estructuras, debido a que generalmente, las estructuras están compuestas de muchos materiales que se fijan entre sí. Si los coeficientes de expansión térmica son distintos, los materiales se van a deformar a velocidades diferentes. Por ende, el material con menor expansión restringe la deformación de los materiales restantes. Este efecto de constricción provoca esfuerzos en los materiales que pueden conducir directamente a la fractura, o se puede generar esfuerzos adicionales debido a que la temperatura exterior de la estructura varia, pero la interna permanece constante, esto logra que se desarrolle un gradiente térmico, así, “cuando se restringe la deformación de la estructura el material, se ve sometido a esfuerzos”, que generan efectos como por ejemplo, fracturas en las fachadas de

ladrillo de los edificios, así mismo los pavimentos de hormigón así su movimiento sea restringido, pueden aparecer fisuras en el invierno a causa de un descenso de las temperaturas y baches en el verano debido a un aumento de la temperatura. Por esto, es que se utilizan las juntas de unión en los edificios, puentes, pavimentos de hormigón y otro tipo de estructuras. (Mamlouk S. Michael, 2° edición, pág. 23).

Los metales, también se denominan materiales cristalinos, y se deterioran por corrosión o pérdida de material, y los polímeros, como el asfalto o las mezclas se deterioran por degradación, reduciendo su capacidad de resistencia y pérdida de material.

## 12. Recomendaciones:

No existe una única solución de cimentación para una estructura; la elección del tipo más adecuado depende de la calidad y capacidad portante del suelo, como la magnitud de las cargas provenientes de la superestructura. Solo el trabajo profesional entre el conjunto de geotecnia y calculista o diseñador estructural, puede asegurar por medio de sus criterios una cimentación suficiente en todos los aspectos más importantes a tener en cuenta al desarrollar un proyecto estable y duradero.

Dentro del proceso de análisis estructural de un proyecto, el desarrollo de la cimentación está ligado a la espera de los resultados de la estructura principal y a las características del suelo, es decir, el tipo de cimentación a utilizar en cualquier proyecto de ingeniería civil está determinado por el peso, el tipo de sistema estructural empleado y la resistencia que presente el suelo; entonces si su resistencia se encuentra entre el promedio permitido se permite una cimentación superficial, pero si los parámetros o características del suelo no aportan una buena resistencia de anclaje entre la estructura y el suelo, lo recomendado es manejar cimentaciones profundas que reduzcan la intervención del suelo.

Todo calculista debe tener dentro de su criterio temas secundarios que pueden influir en sus diseños estructurales; temas o conceptos como análisis de presupuesto, procesos constructivos, características y comportamientos de los materiales, entre los principales, a tener en cuenta en un diseño estructural para cualquier proyecto de ingeniería civil; Esto debido a que ciertos materiales son de mayor accesibilidad y disponibilidad que otros; y su proceso constructivo puede ser más complejo de ejecutar, elevando costos, la mano de obra, generando que se presenten atrasos en la ejecución del proyecto y por lógica se extiendan el plazo de ejecución.

No existe un análisis estructural general o fundamental para todo el mundo, pues este se encuentra arraigado a los conceptos y criterios del diseñador o calculista, por ende cada persona que se encuentre interesada en desarrollar su profesión por esta área; debe tener siempre presente el ejemplo del artista donde su principal herramienta de diseño no es la copia de una estructura ya existente si no la visualización de una a través de los dogmas de su imaginación; por ende los conceptos a emplear como criterios de diseño, son su lápiz o tinta de trazo y su campo de acción o marco de trabajo en su vasto conocimiento en sistemas y materiales estructurales.

Una recomendación de acuerdo a la teoría planteada y a los procesos de análisis descritos en la investigación, apoyándose en la recomendación anterior, le permite al investigador por lógica constructiva determinar que siempre debe plantear guías o procedimientos de diseño que se adapten a todas las condiciones que solicitan el tipo de material y sistema estructural que se piense emplear en cualquier proyecto.

El debido proceso para la elaboración de un análisis estructural de acuerdo a las teorías planteadas y a los conceptos técnicos tenidos en cuenta, se puede simplificar el desarrollo de un análisis estructural en estos 5 pasos: Planeamiento general, Diseño preliminar, Evaluación de las alternativas, Diseño final y Construcción.

### 13. Referencias bibliográficas

- A. (2018, 7 agosto). *Programas de cálculo y diseño estructural*. Tutoriales Estructuras y Construcción. <https://www.youtube.com/watch?v=ewvTIHpCBUY>
- A. (2009). *Capítulo 2. Análisis de cargas*. Capítulo 2. Análisis de cargas. <https://concretusblog.files.wordpress.com/2017/06/capc3adtulo-2-anc3a1lisis-de-cargas.pdf>
- Araque Cristancho, Y. D. R. (2015, mayo). *Guía para el cálculo de la fuerza horizontal equivalente*. Guía para el cálculo de la fuerza horizontal equivalente. <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/13769/Gu%EDa%20para%20el%20c%20c%20lculo%20de%20la%20fuerza%20horizontal%20equivalente%20y%20derivadas%20seg%20FAn%20t%20EDltulo%20%20A4%20Y%20A5%20.pdf;jsessionid=EC60AC436F0DA0FA1A89B0EF4D0F4941?sequence=2>
- Bermúdez Mejía, C. A. (2016, 6 noviembre). *Unidad 7 Método de la Fuerza Horizontal Equivalente*. Análisis Estructural Avanzado. <https://www.e-zigurat.com/courses/wp-content/uploads/2016/04/und7.pdf>
- Reboredo, A. B. (1996, 15 junio). *El Análisis Dinámico de construcciones sismo resistentes*. El Análisis Dinámico de construcciones sismo resistentes. [https://www.construccionenacero.com/sites/construccionenacero.com/files/u11/ci\\_31\\_el\\_analisis\\_dinamico\\_de\\_construcciones\\_sismo\\_resistentes.pdf](https://www.construccionenacero.com/sites/construccionenacero.com/files/u11/ci_31_el_analisis_dinamico_de_construcciones_sismo_resistentes.pdf)
- Canciani, J. M. (2014, 2 julio). *Introducción a los tipos de materiales estructurales*. Materiales Estructurales. <https://es.slideshare.net/ebertbellido/materiales-estructurales>
- Decreto 932 del 2011*. (2011, 19 octubre). Decreto 932 del 2011. <http://pereira.gov.co/Transparencia/Normatividad/DECRETOS/2011/Decreto%20N%C2%BA%20%20%20932%20de%202011.pdf>
- Formación y consultoría, E. (2015, 28 octubre). *Tipos de Cimentaciones y descripciones*. Tipos de Cimentaciones y descripciones. <https://www.eadic.com/tipos-de-cimentacion-descripciones/>
- Guzmán Mora, A. (2016, 29 septiembre). *Análisis de Carga*. Análisis de Carga. <https://es.slideshare.net/csshey/anlisis-de-cargas-66569796>
- Muñoz, H. (2015). *Cimentaciones superficiales y profundas*. Cimentaciones en Concreto. <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/cimentaciones-en-concreto-191superficiales-y-profundas-1>
- Mamlouk, Zaniecki P., M. J. (2009). *Materiales para ingeniería civil* (2 da edición ed.). Pearson Benelux.

Muñoz, H. (2015). *Construcción, Interventoría y Supervisión Técnica de las Edificaciones de Concreto Estructural*. Colombia: Asocreto.

NRS-10 “Norma sismo resistente del 2010”, títulos A, B, C, D, E, F.

Torres Búa, M. (2014b, octubre 30). *Condiciones de la estructura*. Condiciones de la Estructura. [https://www.edu.xunta.gal/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947489/contenido/5\\_condiciones\\_de\\_las\\_estructuras.html](https://www.edu.xunta.gal/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947489/contenido/5_condiciones_de_las_estructuras.html)

Torres Búa, M. (2014, 30 abril). *Apoyos y enlaces entre elementos estructurales*. <https://www.edu.xunta.gal/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947489/contenido/crditos.html>.

Uribe Escamilla, J. (2000, enero). *Análisis de estructuras 2 edición*. <https://www.studocu.com/co/document/universidad-surcolombiana/medio-ambiente/otros/analisis-de-estructuras-jairo-uribe-escamilla/3011863/view>.

## 14. Anexos

### 14.1. Anexo 1. Guía de análisis estructural para un proyecto de ingeniería civil:

Diseño: el primer paso en todo proyecto es determinar el uso de la edificación, del uso nacen diferentes requisitos y lineamientos que definen el tipo de diseño; el segundo es describir gráficamente las áreas de uso, para determinar el diseño de la edificación, con respecto a su configuración estructural en planta y altura, definiendo la ubicación principal de los ejes, conexiones y elementos estructurales.

Análisis: determinado el diseño geométrico de la estructura, se procede a analizar los diferentes sistemas y materiales estructurales posibles a emplear dentro del proyecto, logrado esto, se procede a analizar el comportamiento de la estructura por medio de alguno de los métodos permitidos por la NSR-10; actualmente los diseñadores estructurales o calculistas, cuentan con herramientas tecnológicas que ejecutan estos procesos de análisis y cálculo con mayor facilidad y rendimiento; la mayoría de los programas de diseño y cálculo, ejecutan su análisis por el método de los elementos finitos; pero solo el criterio profesional y la interpretación de los resultados son los que determinan, si el proyecto de análisis debe incluir el tercer y último paso.

Proceso de corrección: si al culminar los dos procesos anteriores aún hay dudas o incertidumbres respecto al diseño planteado, entonces se procede a ejecutar el tercer paso; proceso de corrección; donde el calculista por medio de los resultados arrojados, encuentra a través del análisis estructural una forma de corregir la estructura, determinado que los nuevos resultados garanticen la seguridad y resistencia que se debe cumplir.

### 14.2. Anexo 2 - Criterios de diseño y análisis:

Tener el conocimiento para interpretar el comportamiento interno y uso de los materiales estructurales, permite un mejor criterio de diseño a la hora de seleccionar los elementos estructurales que se piensen emplear.

El grado de complejidad de un análisis estructural para un proyecto radica en la excentricidad de su diseño y la combinación excesiva de los diferentes materiales estructurales posibles a emplear; pues entre más sencillo sea la configuración estructural, menor será la complejidad de su comportamiento y por ende tendrá un comportamiento más simple y básico, a la hora de estudiarse.

Siempre hay que buscar ductilidad en los diseños y cálculos estructurales debido a que se evitan mejor las posibles fallas y colapsos catastróficos para la vida humana.

La resistencia del conjunto de elementos estructurales, puede estar limitada a la resistencia de su elemento más débil, debido a que cohibe el movimiento natural del resto de los elementos estructurales.

Para garantizar estabilidad y resistencia, se debe verificar que las conexiones siempre tengan un mayor grado de resistencia y rigidez que el resto de los elementos estructurales.

La resistencia de un material radica en la cantidad y separación de sus partículas internas, además de su capacidad para deformarse, así el aspecto sismo resistente de los materiales, o de los sistemas estructurales posibles a emplear en un proyecto, pueden definirse bajo parámetros y lineamientos que ya se estipularon en la NRS-10.

La norma sismo resistente cataloga y clasifica los diferentes sistemas estructurales posibles a emplear y dentro de las características planteadas para cada sistema, permite encontrar al investigador la capacidad portante que tiene cada material de una manera más simple y sencilla.

De acuerdo a los lineamientos básicos de la NRS-10 los sistemas de pórticos en concreto y las edificaciones en acero estructural, son los más eficientes para los aspectos de sismo resistencia y capacidad portante.

Los sistemas estructurales tipo mampostería, tienen un sistema de clasificación por su resistencia y tipo de sistema constructivo, sea mampostería confinada o estructural, por ende su papel básico en el diseño estructural es cumplir papel de membrana o diafragma vertical que distribuye a través de su propia área de trabajo las cargas a los elementos más rígidos que confinan el muro o lo soportan, por ende son usadas más en divisiones o estructuras de poca complejidad como casas de 1 a 2 pisos que no necesiten de mayor resistencia y capacidad portante.

El sistema de concreto vaciado con refuerzo interno en acero, es uno de los sistemas más resistentes pero con la observación que su rigidez no permite una buena ductilidad o adaptación a los movimientos internos de diseños calculados para el proyecto en estudio, generando altas concentraciones de energía en ciertos elementos.

### **14.3. Anexo 3 - Condiciones que deben cumplir las estructuras:**

**Estabilidad:** se busca que la estructura se mantenga erguida y no se vuelque; para esto su centro de gravedad es el punto de aplicación del peso propio del cuerpo; y su centro de gravedad tiene que estar dentro de la base o lo más cercano al suelo, esto se consigue añadiendo masa a la base, poniendo tirantes o empotrando su parte inferior al suelo.

**Resistencia:** esta busca soportar las cargas sin romperse, depende de; el tipo y cantidad de material de construcción, y de la configuración estructural de la edificación; y se puede decir que todos los materiales tienen una tensión de rotura, es decir, cada material tiene una unidad máxima de fuerza por unidad de superficie que resiste sin romperse.

**Rigidez:** la rigidez busca que la deformación de los elementos no sea de gran magnitud, esto se consigue soldando las uniones o reforzando las conexiones de los elementos estructurales a través de la manera apropiada y con triangulaciones, debido a que el triángulo es el único polígono indeformable, su importancia a la hora de implementarlo en el diseño de las estructuras, y este tipo de diseño donde se usan diagonales para triangular tan bien reciben el nombre de arrostramientos.

#### 14.4. Glosario:

**Estructuras:** las estructuras con sistemas que de forma estable soportan pesos y fuerzas en una posición determinada. Se habla de estructura cuando cumple con las 3 condiciones básicas; ¿que esté formada por un conjunto de elementos simples unidos entre sí?; ¿que resista las fuerzas a las que está sometida sin destruirse? Y ¿que conserve básicamente su forma bajo la acción de las fuerzas?

**Corrosión:** acción de corroer o corroerse, es decir, es destruirse o degradarse progresivamente una cosa penetrando desde afuera hacia adentro destruyendo ciertos objetos internos, esto se presenta normalmente en los metales.

**Disolución:** acción de disolver o disolverse, es decir, es hacer que un cuerpo o una sustancia, al mezclarse con un líquido, se deshaga hasta que sus partículas queden incorporadas a dicho líquido.

**Degradación:** es el deterioro grave en el estado de una cosa por disminución o por pérdida de alguna de sus cualidades.

**Fuerzas:** se denomina fuerza a cualquier causa (acción, esfuerzo o influencia) que pueda alterar el estado de movimiento o de reposo de cualquier cuerpo o bien defórmalo.

**Fuerzas fijas o permanentes:** siempre están presentes en la estructura y esta tendrá que soportarlas en todo momento, tan bien se describe como peso propio o carga muerta.

**Fuerzas variables o intermitentes:** pueden aparecer o desaparecer en función de las condiciones externas a la estructura; tan bien se describen como cargas de diseño o cargas vivas, tienen a ser las cargas de diseño y tan bien se les conoce como Cargas vivas.

**Momento:** la descripción más simple de momento es “fuerza por distancia” pero su verdadera definición gráfica, consiste en entender que la fuerza que se aplique a un elemento siempre provocara un desplazamiento o deformación en el cuerpo, por ende el elemento para contrarrestar este movimiento generara una fuerza de la misma magnitud pero con el sentido contrario, buscando el equilibrio estático, por ende cuando se produce rotación es debido a que la fuerza aplicada tiene una distancia considerada o “brazo” que somete al elemento al movimiento.

**Brazo:** distancia entre la aplicación de la fuerza y el punto en estudio, es un término utilizado para describir la distancia por la que se multiplica la fuerza para generar un momento.

**Resistencia:** la resistencia de un elemento se define como su capacidad para soportar esfuerzo y fuerzas aplicadas, sin romperse, de adquirir deformaciones permanentes o deteriorarse de algún modo, sin lograr el colapso.

**Tracción:** un elemento trabaja a tracción, o está sometido a un esfuerzo de tracción cuando fuerzas con la misma dirección y de sentidos contrarios tienden a estirarlos.

**Flexión:** Es el esfuerzo resultante de aplicar fuerzas perpendicularmente al eje principal del elemento que tienden a doblarlo. La flexión produce compresión en la parte cóncava del elemento y tracción en la opuesta, la convexa.

**Compresión:** la compresión se produce cuando el sobre el elemento en estudio actúan fuerzas de la misma dirección y sentido contrario que intentan contraerlo.

**Torsión:** la torsión trata de retorcer el elemento en estudio, es decir genera movimiento de giro interno en las dos direcciones contrarias.

**Pandeo:** es un tipo particular de esfuerzo relacionado con la compresión en elementos muy largos en relación con su sección transversal. Al deformarse la estructura su centro de gravedad se aleja del eje central, aumentando el momento de la fuerza y disminuyendo su resistencia.

**Redundancia Estructural:** Es la capacidad que tiene la estructura de distribuir sus cargas entre cada elemento, si alguno llegara a fallar, por ende siempre es recomendable incluir mínimo 3 elementos por eje.

**15. Información externa para el diseño estructural, tablas y parámetros de diseño.**

<b>D + F</b>	<b>(B.2.3-1)</b>
<b>D + H + F + L + T</b>	<b>(B.2.3-2)</b>
<b>D + H + F + (L<sub>r</sub> ó G ó L<sub>e</sub>)</b>	<b>(B.2.3-3)</b>
<b>D + H + F + 0.75(L + T) + 0.75(L<sub>r</sub> ó G ó L<sub>e</sub>)</b>	<b>(B.2.3-4)</b>
<b>D + H + F + W</b>	<b>(B.2.3-5)</b>
<b>D + H + F + 0.7E</b>	<b>(B.2.3-6)</b>
<b>D + H + F + 0.75W + 0.75L + 0.75(L<sub>r</sub> ó G ó L<sub>e</sub>)</b>	<b>(B.2.3-7)</b>
<b>D + H + F + 0.75(0.7E) + 0.75L + 0.75(L<sub>r</sub> ó G ó L<sub>e</sub>)</b>	<b>(B.2.3-8)</b>
<b>0.6D + W + H</b>	<b>(B.2.3-9)</b>
<b>0.6D + 0.7E + H</b>	<b>(B.2.3-10)</b>

Anexo # 1: Combinaciones de carga para ser utilizadas con el método de esfuerzos de trabajo o en las verificaciones del estado límite de servicio

Fuente: NRS-10 - título B, pág. B-5.

<b>1.4(D + F)</b>	<b>(B.2.4-1)</b>
<b>1.2(D + F + T) + 1.6(L + H) + 0.5(L<sub>r</sub> ó G ó L<sub>e</sub>)</b>	<b>(B.2.4-2)</b>
<b>1.2D + 1.6(L<sub>r</sub> ó G ó L<sub>e</sub>) + (L ó 0.8W)</b>	<b>(B.2.4-3)</b>
<b>1.2D + 1.6W + 1.0L + 0.5(L<sub>r</sub> ó G ó L<sub>e</sub>)</b>	<b>(B.2.4-4)</b>
<b>1.2D + 1.0E + 1.0L</b>	<b>(B.2.4-5)</b>
<b>0.9D + 1.6W + 1.6H</b>	<b>(B.2.4-6)</b>
<b>0.9D + 1.0E + 1.6H</b>	<b>(B.2.4-7)</b>

Anexo # 2: Combinaciones de cargas mayoradas usando el método de resistencia.

Fuente: NRS-10 - título B, pág. B-6.

<i>Material</i>	<i>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</i>	<i>Material</i>	<i>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</i>
Acero	7 800	Mortero de inyección para mampostería	2 250
Agua		Mortero de pega para mampostería	2 100
Dulce	1 000	Piedra	
Marina	1 030	Caliza, mármol, cuarzo	2 700
Aluminio	2 700	Basalto, granito, gneis	2 850
Arena		Arenisca	2 200
Limpia y seca	1 440	Pizarra	2 600
Seca de río	1 700	Plomo	11 400
Baldosa cerámica	2 400	Productos bituminosos	
Bronce	8 850	Asfalto y alquitrán	1 300
Cal		Gasolina	700
Hidratada suelta	500	Grafito	2 160
Hidratada compacta	730	Parafina	900
Carbón, apilado	800	Petróleo	850
Carbón vegetal	200	Relleno de ceniza	920
Cemento pórtland, a granel	1 440	Tableros de madera aglutinada	750
Cobre	9 000	Terracota	
Concreto simple	2 300	Poros saturados	1 950
Concreto reforzado	2 400	Poros no saturados	1 150
Corcho, comprimido	250	Tierra	
Estaño	7 360	Arcilla húmeda	1 750
Grava seca	1 660	Arcilla seca	1 100
Hielo	920	Arcilla y grava seca	1 600
Hierro		Arena y grava húmeda	1 900
Fundido	7 200	Arena y grava seca apisonada	1 750
Forjado	7 700	Arena y grava seca suelta	1 600
Latón	8 430	Limo húmedo consolidado	1 550
Madera laminada	600	Limo húmedo suelto	1 250
Madera seca	450-750	Vidrio	2 600
Mampostería de concreto	2 150	Yeso en tableros para muros	800
Mampostería de ladrillo macizo	1 850	Yeso suelto	1 150
Mampostería de piedra	2 200	Zinc en láminas enrolladas	7 200

Anexo # 3: tabla B.3.2-1 - Masas de los Materiales.

Fuente: NRS-10 - título B, pág. B-6.

<b>Ocupación</b>		<b>Fachada y particiones (kN/m<sup>2</sup>) m<sup>2</sup> de área en planta</b>	<b>Afinado de piso y cubierta (kN/m<sup>2</sup>) m<sup>2</sup> de área en planta</b>	<b>Fachada y particiones (kgf/m<sup>2</sup>) m<sup>2</sup> de área en planta</b>	<b>Afinado de piso y cubierta (kgf/m<sup>2</sup>) m<sup>2</sup> de área en planta</b>
<b>Reunión</b>	Edificaciones con un salón de reunión para menos de 100 personas y sin escenarios.	1.0	1.8	100	180
<b>Oficinas</b>	Particiones móviles de altura total	1.0	1.8	100	180
	Particiones fijas de mampostería	2.0	1.8	200	180
<b>Educativos</b>	Salones de clase	2.0	1.5	200	150
<b>Fábricas</b>	Industrias livianas	0.8	1.6	80	160
<b>Institucional</b>	Internados con atención a los residentes	2.0	1.6	200	160
	Prisiones, cárceles, reformatorios y centros de detención	2.5	1.8	250	180
	Guarderías.	2.0	1.6	200	160
<b>Comercio</b>	Exhibición y venta de mercancías.	1.5	1.4	150	140
<b>Residencial</b>	Fachada y particiones de mampostería.	3.0	1.6	300	160
	Fachada y particiones livianas.	2.0	1.4	200	140
<b>Almacena- miento</b>	Almacenamiento de materiales livianos.	1.5	1.5	150	150
<b>Garajes</b>	Garajes para vehículos con capacidad de hasta 2000 kg	0.2	1.0	20	100

Anexo # 4: tabla B.3.4.3.-1 – valores mínimos alternativos de carga muerta de elementos no estructurales cuando no se efectuó un análisis más detallado.

Fuente: NRS-10 - título B, pág. B-14.

<b>Tipo de cubierta</b>	<b>Carga uniforme (kN/m<sup>2</sup>) m<sup>2</sup> de área en planta</b>	<b>Carga uniforme (kgf/m<sup>2</sup>) m<sup>2</sup> de área en planta</b>
Cubiertas, Azoteas y Terrazas	la misma del resto de la edificación (Nota-1)	la misma del resto de la edificación (Nota-1)
Cubiertas usadas para jardines de cubierta o para reuniones	5.00	500
Cubiertas inclinadas con más de 15° de pendiente en estructura metálica o de madera con imposibilidad física de verse sometidas a cargas superiores a la aquí estipulada	0.35	35
Cubiertas inclinadas con pendiente de 15° o menos en estructura metálica o de madera con imposibilidad física de verse sometidas a cargas superiores a la aquí estipulada	0.50	50

**Nota-1** — La carga viva de la cubierta no debe ser menor que el máximo valor de las cargas vivas usadas en el resto de la edificación, y cuando esta tenga uso mixto, tal carga debe ser la mayor de las cargas vivas correspondientes a los diferentes usos.

Anexo # 5; tabla B.4.2.1-2; Cargas vivas mínimas en cubiertas.

Fuente: NRS-10 - título B, pág. B-16.

Ocupación o uso		Carga uniforme (kN/m <sup>2</sup> ) m <sup>2</sup> de área en planta	Carga uniforme (kgf/m <sup>2</sup> ) m <sup>2</sup> de área en planta
<b>Reunión</b>	Balcones	5.0	500
	Corredores y escaleras	5.0	500
	Silletería fija (fijada al piso)	3.0	300
	Gimnasios	5.0	500
	Vestíbulos	5.0	500
	Silletería móvil	5.0	500
	Áreas recreativas	5.0	500
	Plataformas	5.0	500
	Escenarios	7.5	750
<b>Oficinas</b>	Corredores y escaleras	3.0	300
	Oficinas	2.0	200
	Restaurantes	5.0	500
<b>Educativos</b>	Salones de clase	2.0	200
	Corredores y escaleras	5.0	500
	Bibliotecas		
	Salones de lectura	2.0	200
	Estanterías	7.0	700
<b>Fábricas</b>	Industrias livianas	5.0	500
	Industrias pesadas	10.0	1000
<b>Institucional</b>	Cuartos de cirugía, laboratorios	4.0	400
	Cuartos privados	2.0	200
	Corredores y escaleras	5.0	500
<b>Comercio</b>	Minorista	5.0	500
	Mayorista	6.0	600
<b>Residencial</b>	Balcones	5.0	500
	Cuartos privados y sus corredores	1.8	180
	Escaleras	3.0	300
<b>Almacenamiento</b>	Liviano	6.0	600
	Pesado	12.0	1200
<b>Garajes</b>	Garajes para automóviles de pasajeros	2.5	250
	Garajes para vehículos de carga de hasta 2.000 kg de capacidad.	5.0	500
<b>Coliseos y Estadios</b>	Graderías	5.0	500
	Escaleras	5.0	500

Anexo # 6: tabla B.4.2.1-1; Cargas vivas mínimas uniformemente distribuidas.  
Fuente: NRS-10 - título B, pág. B-15.

A. SISTEMA DE MUROS DE CARGA		Valor $R_0$ (Nota 2)	Valor $\Omega_0$ (Nota 4)	zonas de amenaza sísmica					
Sistema resistencia sísmica (fuerzas horizontales)	Sistema resistencia para cargas verticales			alta		intermedia		Baja	
				uso permit	altura máx.	uso permit	altura máx.	uso permit	Altura máx.
1. Paneles de cortante de madera	muros ligeros de madera laminada	3.0	2.5	si	6 m	si	9 m	si	12 m
<b>2. Muros estructurales</b>									
a. Muros de concreto con capacidad especial de disipación de energía (DES)	el mismo	5.0	2.5	si	50 m	si	sin límite	si	Sin límite
b. Muros de concreto con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	el mismo	4.0	2.5	no se permite		si	50 m	si	Sin límite
c. Muros de concreto con capacidad mínima de disipación de energía (DMI)	el mismo	2.5	2.5	no se permite		no se permite		si	50 m
d. Muros de mampostería reforzada de bloque de perforación vertical (DES) con todas las celdas rellenas	el mismo	3.5	2.5	si	50 m	si	sin límite	si	Sin límite
e. Muros de mampostería reforzada de bloque de perforación vertical (DMO)	el mismo	2.5	2.5	si	30 m	si	50 m	si	Sin límite
f. Muros de mampostería parcialmente reforzada de bloque de perforación vertical	el mismo	2.0	2.5	Grupo I	2 pisos	si	12 m	si	18 m
g. Muros de mampostería confinada	el mismo	2.0	2.5	Grupo I	2 pisos	Grupo I	12 m	Grupo I	18 m
h. Muros de mampostería de cavidad reforzada	el mismo	4.0	2.5	si	45 m	si	60 m	si	Sin límite
i. Muros de mampostería no reforzada (no tiene capacidad de disipación de energía)	el mismo	1.0	2.5	no se permite		no se permite		Grupo I (Nota 3)	2 pisos
<b>3. Pórticos con diagonales (las diagonales llevan fuerza vertical)</b>									
a. Pórticos de acero estructural con diagonales concéntricas (DES)	el mismo	5.0	2.5	si	24 m	si	30 m	si	Sin límite
b. Pórticos con diagonales de concreto con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	el mismo	3.5	2.5	no se permite		si	30 m	si	30 m
c. Pórticos de madera con diagonales	el mismo	2.0	2.5	si	12 m	si	15 m	si	18 m

Anexo # 7: Sistema de muros de carga.

Fuente: NRS-10 - título A, tabla A.3-1. pág. A-52.

Notas:

1. El sistema de muros de carga es un sistema estructural que no dispone de un pórtico esencialmente completo, en el cual las cargas verticales son resistidas por muros de carga y las fuerzas horizontales son resistidas por muros estructurales o pórticos con diagonales.
2. Para edificaciones clasificadas como irregulares el valor de  $R_0$  debe multiplicarse por  $\Phi_a$ ,  $\Phi_p$  y  $\Phi_r$  para obtener  $R = \Phi_a \Phi_p \Phi_r R_0$  (véase A.3.3.3.)
3. La mampostería no reforzada solo se permite en las regiones de las zonas de amenaza sísmica baja donde  $A_a$  sea menor o igual a 0.05 cuando se trata de edificaciones del grupo de uso I, de uno y dos pisos.
4. El valor de  $\Omega_0$  puede reducirse restándole 0.5 en estructuras con diafragma flexible, pero no debe ser menos de 2.0 para cualquier estructura.

B. SISTEMA COMBINADO		Valor $R_0$ (Nota 2)	Valor $\Omega_0$ (Nota 4)	zonas de amenaza sísmica					
				alta		intermedia		baja	
Sistema resistencia sísmica (fuerzas horizontales)	Sistema resistencia para cargas verticales			uso permit	altura máx.	uso permit	altura máx.	uso permit	altura máx.
<b>1. Pórticos de acero con diagonales excéntricas</b>									
a. Pórticos de acero con diagonales excéntricas si las conexiones con las columnas por fuera del vínculo son resistentes a momento	pórticos de acero resistentes a momentos con capacidad mínima de disipación de energía ( <i>DMi</i> )	7.0	2.0	si	45 m	si	60 m	si	Sin Límite
b. Pórticos de acero con diagonales excéntricas si las conexiones con las columnas por fuera del vínculo no son resistentes a momento	pórticos de acero resistentes a momentos con capacidad mínima de disipación de energía ( <i>DMi</i> )	6.0	2.0	si	45 m	si	60 m	si	sin Límite
c. Pórticos de acero con diagonales excéntricas si el vínculo no se conecta a la columna	pórticos de acero no resistentes a momentos	6.0	2.0	si	30 m	si	45 m	si	Sin Límite
d. Pórticos de acero con diagonales excéntricas si el vínculo tiene conexión resistente a momento con la columna	pórticos de acero resistentes a momentos con capacidad mínima de disipación de energía ( <i>DMi</i> )	5.0	2.0	si	30 m	si	45 m	si	Sin Límite
<b>2. Muros estructurales</b>									
a. Muros de concreto con capacidad especial de disipación de energía ( <i>DES</i> )	pórticos de concreto con capacidad especial de disipación de energía ( <i>DES</i> )	7.0	2.5	si	72 m	si	sin límite	si	Sin límite
b. Muros de concreto con capacidad moderada de disipación de energía ( <i>DMO</i> )	pórticos de concreto con capacidad moderada de disipación de energía ( <i>DMO</i> )	5.0	2.5	no se permite		si	72 m	si	Sin límite
c. Muros de concreto con capacidad moderada de disipación de energía ( <i>DMO</i> )	pórticos losa-columna (Nota 3) con capacidad moderada de disipación de energía ( <i>DMO</i> )	3.5	2.5	no se permite		si	18 m	si	27 m
d. Muros de concreto con capacidad mínima de disipación de energía ( <i>DMi</i> )	pórticos de concreto con capacidad mínima de disipación de energía ( <i>DMi</i> )	2.5	2.5	no se permite		no se permite		si	72 m
e. Muros de concreto con capacidad mínima de disipación de energía ( <i>DMi</i> )	pórticos losa-columna (Nota 3) con capacidad mínima de disipación de energía ( <i>DMi</i> )	2.0	2.5	no se permite		no se permite		si	18 m
f. Muros de mampostería reforzada de bloque de perforación vertical ( <i>DES</i> ) con todas las celdas rellenas	pórticos de concreto con capacidad especial de disipación de energía ( <i>DES</i> )	4.5	2.5	si	30 m	si	45 m	si	45 m
g. Muros de mampostería reforzada de bloque de perforación vertical ( <i>DMO</i> )	pórticos de concreto con capacidad especial de disipación de energía ( <i>DES</i> )	3.5	2.5	si	30 m	si	45 m	si	45 m
h. Muros de mampostería reforzada de bloque de perforación vertical ( <i>DMO</i> )	pórticos de concreto con capacidad moderada de disipación de energía ( <i>DMO</i> )	2.5	2.5	no se permite		si	30 m	si	45 m
i. Muros de mampostería confinada ( <i>DMO</i> — capacidad moderada de disipación de energía)	pórticos de concreto con capacidad moderada de disipación de energía ( <i>DMO</i> )	2.0	2.5	no se permite		Grupo I	18 m	Grupo I	21 m
j. Muros de mampostería confinada ( <i>DMO</i> — capacidad moderada de disipación de energía)	pórticos de concreto con capacidad mínima de disipación de energía ( <i>DMi</i> )	2.0	2.5	no se permite		no se permite		Grupo I	18 m
k. Muros de mampostería de cavidad reforzada ( <i>DES</i> — capacidad especial de disipación de energía)	pórticos de concreto con capacidad moderada de disipación de energía ( <i>DMO</i> )	4.0	2.5	no se permite		si	30 m	si	45 m
l. Muros de mampostería de cavidad reforzada ( <i>DES</i> — capacidad especial de disipación de energía)	pórticos de concreto con capacidad mínima de disipación de energía ( <i>DMi</i> )	2.0	2.5	no se permite		no se permite		si	45 m
m. Muros de cortante con placa de acero ( <i>DES</i> )	pórticos de acero resistente o no a momentos	7.0	2.0	si	50 m	si	Sin límite	si	Sin límite

Anexo # 8: Sistema combinado parte 1.  
Fuente: NRS-10 - título A, tabla A.3-2. pág. A-53.

Nota:

El sistema combinado es un sistema estructural en el cual: (A) las cargas verticales son resistidas por un pórtico no resistente a momentos, esencialmente completo, y las fuerzas horizontales son resistidas por muros estructurales o pórticos con diagonales, o (B) las cargas verticales y horizontales son resistidas por un pórtico resistente a momentos, esencialmente

completo, combinado con muros estructurales o pórticos con diagonales, y que no cumple los requisitos de un sistema dual.

B. SISTEMA COMBINADO		Valor $R_0$ (Nota 2)	Valor $\Omega_0$ (Nota 4)	zonas de amenaza sísmica					
Sistema resistencia sísmica (fuerzas horizontales)	Sistema resistencia para cargas verticales			alta		intermedia		baja	
				uso permit	altura máx.	uso permit	altura máx.	uso permit	altura máx.
n. Muros de cortante compuestos con placa de acero y concreto	pórticos de acero resistente o no a momentos	6.5	2.5	si	50 m	si	Sin límite	si	Sin límite
o. Muros de concreto reforzado (DES) mixtos con elementos de acero	pórticos de acero resistente o no a momentos	6.0	2.5	si	50 m	si	Sin límite	si	Sin límite
p. Muros de concreto reforzado (DMO) mixtos con elementos de acero	pórticos de acero resistente o no a momentos	5.5	2.5	No se permite		No se permite		si	Sin límite
q. Muros de concreto reforzado (DMF) mixtos con elementos de acero	pórticos de acero resistentes o no a momentos	5.0	2.5	no se permite		no se permite		si	45 m
<b>3. Pórticos con diagonales concéntricas</b>									
a. Pórticos de acero con diagonales concéntricas (DES)	pórticos de acero no resistentes a momentos	5.0	2.5	si	30 m	si	45 m	si	60 m
b. Pórticos de acero con diagonales concéntricas (DMF)	pórticos de acero no resistentes a momentos	4.0	2.5	no se permite		si	10 m	si	60 m
c. Pórticos mixtos con diagonales concéntricas (DES)	pórticos de acero resistentes o no a momentos	5.0	2.0	si	50 m	si	sin límite	si	sin límite
d. Pórticos mixtos con diagonales concéntricas (DMF)	pórticos de acero resistentes o no a momentos	3.0	2.0	no se permite (nota 5)		no se permite (nota 5)		si	Sin límite
e. Pórticos de acero con diagonales concéntricas restringidas a pandeo, con conexiones viga-columna resistentes a momento	pórticos de acero no resistentes a momentos	7.0	2.5	si	30 m	si	45 m	si	Sin límite
f. Pórticos de acero con diagonales concéntricas restringidas a pandeo, con conexiones viga-columna no resistentes a momento	pórticos de acero no resistentes a momentos	6.0	2.5	si	30 m	si	45 m	si	Sin límite
g. Pórticos de concreto con diagonales concéntricas con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	pórticos de concreto con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	3.5	2.5	no se permite		si	24 m	si	30 m

Anexo # 9: sistema combinado parte 2.

Fuente: NRS-10 - título A, tabla A.3-2. Continuación pág. A-54.

Nota:

1. Para edificaciones clasificadas como irregulares el valor de  $R_0$  debe multiplicarse por  $\phi_a$ ,  $\phi_p$  y  $\phi_r$  para obtener  $R = \phi_a \phi_p \phi_r R_0$  (véase A.3.3.3.)
2. Los pórticos losa-columnas incluyen el reticular celularo.
3. El valor de  $\Omega_0$  puede reducirse restándole 0.5 en estructuras con diafragma flexible, pero no debe ser menos de 2.0 para cualquier estructura.

C. SISTEMA DE PÓRTECO RESISTENTE A MOMENTOS		Valor $R_0$ (Nota 2)	Valor $\Omega_0$ (Nota 4)	zonas de amenaza sísmica					
				Alta		Intermedia		baja	
Sistema resistencia sísmica (fuerzas horizontales)	Sistema resistencia para cargas verticales			uso permit	altura máx.	uso permit	altura máx.	uso permit	altura máx.
<b>1. Pórticos resistentes a momentos con capacidad especial de disipación de energía (DES)</b>									
a. De concreto (DES)	el mismo	7.0	3.0	si	sin límite	si	sin límite	si	sin límite
b. De acero (DES)	el mismo	7.0 (Nota-3)	3.0	si	sin límite	si	sin límite	si	sin límite
c. Mixtos	Pórticos de acero o mixtos resistentes o no a momentos	7.0	3.0	si	sin límite	si	sin límite	si	sin límite
d. De acero con cerchas dúctiles (DES)	Pórticos de acero resistentes o no a momentos	6.0	3.0	si	30 m	si	45 m	si	sin límite
<b>2. Pórticos resistentes a momentos con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)</b>									
a. De concreto (DMO)	el mismo	5.0	3.0	no se permite		si	sin límite	si	sin límite
b. De acero (DMO)	el mismo	5.0 (Nota-3)	3.0	no se permite		si	sin límite	si	sin límite
c. Mixtos con conexiones rígidas (DMO)	Pórticos de acero o mixtos resistentes o no a momentos	5.0	3.0	no se permite		si	sin límite	si	sin límite
<b>3. Pórticos resistentes a momentos con capacidad mínima de disipación de energía (DMÍ)</b>									
a. De concreto (DMÍ)	el mismo	2.5	3.0	no se permite		no se permite		si	Sin límite
b. De acero (DMÍ)	el mismo	3.0	2.5	no se permite		no se permite		si	Sin límite
c. Mixtos con conexiones totalmente restringidas a momento (DMÍ)	Pórticos de acero o mixtos resistentes o no a momentos	3.0	3.0	no se permite		no se permite		si	Sin límite
d. Mixtos con conexiones parcialmente restringidas a momento	Pórticos de acero o mixtos resistentes o no a momentos	6.0	3.0	no se permite		si	30 m	si	50 m
e. De acero con cerchas no dúctiles	el mismo	1.5	1.5	no se permite (nota 5)		no se permite (nota 5)		si	12 m
f. De acero con perfiles de lámina doblada en frío y perfiles tubulares estructurales PTE que no cumplen los requisitos de F.2.2.4 para perfiles no esbeltos (nota 6)	el mismo	1.5	1.5	no se permite (nota 5)		no se permite (nota 5)		si	Sin límite
g. Otras estructuras de celosía tales como vigas y cerchas		No se pueden usar como parte del sistema de resistencia sísmica, a no ser que tengan conexiones rígidas a columnas, en cuyo caso serán tratadas como pórticos de celosía							
<b>4. Pórticos losa-columna (incluye reticular celulado)</b>									
a. De concreto con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	el mismo	2.5	3.0	no se permite		si	15 m	si	21 m
b. De concreto con capacidad mínima de disipación de energía (DMÍ)	el mismo	1.5	3.0	no se permite		no se permite		si	15 m
<b>5. Estructuras de péndulo invertido</b>									
a. Pórticos de acero resistentes a momento con capacidad especial de disipación de energía (DES)	el mismo	2.5 (Nota-3)	2.0	si	Sin límite	si	sin límite	si	Sin límite
b. Pórticos de concreto con capacidad especial de disipación de energía (DES)	el mismo	2.5	2.0	si	Sin límite	si	sin límite	si	Sin límite
c. Pórticos de acero resistentes a momento con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	el mismo	1.5 (Nota-3)	2.0	no se permite		si	sin límite	si	sin límite

Anexo # 10: Sistema estructural de pórtico resistente a momentos.

Fuente: NRS-10 - título A, tabla A.3-3. pág. A-55.

D. SISTEMA DUAL		Valor $R_0$ (Nota 2)	Valor $\Omega_0$ (Nota 3)	zonas de amenaza sísmica					
Sistema resistencia sísmica (fuerzas horizontales)	Sistema resistencia para cargas verticales			Alta		intermedia		baja	
		uso permit	altura máx.	uso permit	altura máx.	uso permit	altura máx.		
<b>1. Muros estructurales</b>									
a. Muros de concreto con capacidad especial de disipación de energía (DES)	pórticos de concreto con capacidad especial de disipación de energía (DES)	8.0	2.5	si	sin límite	si	sin límite	si	sin límite
b. Muros de concreto con capacidad especial de disipación de energía (DES)	pórticos de acero resistentes a momentos con capacidad especial de disipación de energía (DES)	8.0	2.5	si	sin límite	si	sin límite	si	sin límite
c. Muros de concreto con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	pórticos de concreto con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	6.0	2.5	no se permite		si	sin límite	si	sin límite
d. Muros de concreto con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	pórticos de acero resistentes a momentos con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	6.0	2.5	no se permite		si	sin límite	si	sin límite
e. Muros de mampostería reforzada de bloque de perforación vertical (DES) con todas las celdas rellenas	pórticos de concreto con capacidad especial de disipación de energía (DES)	5.5	3.0	si	45 m	si	45 m	si	45 m
f. Muros de mampostería reforzada de bloque de perforación vertical (DES) con todas las celdas rellenas	pórticos de acero resistentes a momentos con capacidad especial de disipación de energía (DES)	5.5	3.0	si	45 m	si	45 m	si	45 m
g. Muros de mampostería reforzada de bloque de perforación vertical (DMO)	pórticos de concreto con capacidad especial de disipación de energía (DES)	4.5	2.5	si	35 m	si	35 m	si	35 m
h. Muros de mampostería reforzada de bloque de perforación vertical (DMO)	pórticos de acero resistentes a momentos con capacidad especial de disipación de energía (DES)	4.5	2.5	si	35 m	si	35 m	si	35 m
i. Muros de mampostería reforzada de bloque de perforación vertical (DMO)	pórticos de acero resistentes a momentos con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	3.5	2.5	no se permite		si	30 m	si	30 m
j. Muros de mampostería reforzada de bloque de perforación vertical (DMO)	pórticos de concreto con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	3.5	2.5	no se permite		si	30 m	si	30 m
k. Muros de cortante con placa de acero (DES)	pórticos de acero con alma llena, con conexiones rígidas (DES)	7.0	2.5	Si	Sin límite	si	Sin límite	si	Sin límite
m. Muros de cortante mixtos con placa de acero	pórticos de acero con alma llena, con conexiones rígidas (DES)	6.5	2.5	Si	Sin límite	si	Sin límite	si	Sin límite
n. Muros de concreto reforzado (DES) mixtos con elementos de acero	pórticos de acero con alma llena, con conexiones rígidas (DES)	6.0	2.5	si	Sin límite	si	Sin límite	si	Sin límite
o. Muros de concreto reforzado (DMI) mixtos con elementos de acero	pórticos de acero con alma llena, con conexiones rígidas (DES)	5.0	2.5	no se permite		no se permite		si	Sin límite
p. Muros de concreto reforzado (DMI) mixtos con elementos de acero	pórticos de acero con alma llena, con conexiones rígidas (DMO)	4.0	3.0	no se permite		no se permite		si	Sin límite
<b>2. Pórticos de acero con diagonales excéntricas</b>									
a. Pórticos de acero con diagonales excéntricas si las conexiones con las columnas por fuera del vínculo son resistentes a momento	pórticos de acero resistentes a momentos con capacidad especial de disipación de energía (DES)	8.0	2.5	si	sin límite	si	sin límite	si	Sin límite
b. Pórticos de acero con diagonales excéntricas si las conexiones con las columnas por fuera del vínculo no son resistentes a momento	pórticos de acero resistentes a momentos con capacidad especial de disipación de energía (DES)	7.0	2.5	si	sin límite	si	sin límite	si	sin límite

Anexo # 11: Sistema dual parte 1.

Fuente: NRS-10 - título A, tabla A.3-4. pág. A-56.

D. SISTEMA DUAL		Valor $R_0$ (Nota 2)	Valor $\Omega_0$ (Nota 3)	zonas de amenaza sísmica					
				Alta		intermedia		baja	
Sistema resistencia sísmica (fuerzas horizontales)	Sistema resistencia para cargas verticales			uso permit	altura máx.	uso permit	altura máx.	uso permit	altura máx.
c. Pórticos de acero con diagonales excéntricas si las conexiones con las columnas por fuera del vínculo son resistentes a momento	pórticos de acero resistentes a momentos con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	6.0	2.5	si	sin límite	si	sin límite	si	sin límite
d. Pórticos de acero con diagonales excéntricas si las conexiones con las columnas por fuera del vínculo no son resistentes a momento	pórticos de acero resistentes a momentos con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	5.0	2.5	si	sin límite	si	sin límite	si	sin límite
<b>3. Pórticos con diagonales concéntricas</b>									
a. De acero con capacidad especial de disipación de energía (DES)	pórticos de acero resistentes a momentos con capacidad especial de disipación de energía (DES)	6.0	2.5	si	sin límite	si	sin límite	si	sin límite
b. De acero con capacidad mínima de disipación de energía (DMI)	pórticos de acero resistentes a momentos con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	3.0	2.5	no se permite		si	80 m	si	sin límite
c. De concreto con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	pórticos de concreto con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	4.0	2.5	no se permite		si	24 m	si	30 m
d. Pórticos mixtos con diagonales concéntricas (DES)	pórticos de acero con alma llena con conexiones rígidas (DES)	6.0	2.5	si	Sin límite	si	Sin límite	si	Sin límite
e. Pórticos de acero con diagonales concéntricas restringidas al pandeo	pórticos de acero con alma llena con conexiones rígidas (DES)	7.0	2.5	si	Sin límite	si	Sin límite	si	Sin límite
f. Pórticos de acero con diagonales concéntricas (DES)	pórticos de acero con alma llena con conexiones rígidas (DMO)	6.0	2.5	no se permite		si	10 m	si	Sin límite
g. Pórticos mixtos con diagonales concéntricas (DES)	pórticos de acero con alma llena con conexiones rígidas (DMO)	5.5	2.5	si	50 m	si	30 m	si	Sin límite
h. Pórticos con diagonales concéntricas que resistan solo a tensión	El mismo	3.0	2.5	no se permite (nota 4)					

Anexo # 12: sistema estructural dual - parte 2.  
Fuente: NRS-10 - título A, tabla A.3-4. pág. A-57.