

# DISEÑO ESTRUCTURAL

## CONCEPTOS GENERALIDADES

- **ANÁLISIS ESTRUCTURAL:** Es el procedimiento matemático mediante el cual se determinan los esfuerzos internos y deformaciones que sufre un elemento y/o una estructura en conjunto, por el efecto de la aplicación de todos los tipos de cargas gravitacionales, de sismo, de viento, etc. En conclusión, es evaluar el comportamiento físico debido a la acción de todos los agentes externos a la que está expuesta la estructura.
- **DISEÑO ESTRUCTURAL:** Consiste en lograr una estructura estable, económica y segura, que cumpla con los requisitos de funcionalidad y estética. Crear una estructura bien proporcionada siguiendo el camino intuitivo y de tipología estructural, es un proceso creativo que cumple de forma óptima con todos sus objetivos. Para alcanzar esta meta, se debe tener un conocimiento completo de las propiedades de los materiales, conocimiento de la tipología estructural, de la mecánica y análisis estructural, y de la relación entre la distribución y el comportamiento de una estructura. Resistir las solicitudes de carga con buen comportamiento, es uno de los objetivos principales.

## INFORMACION PARA EL INICIO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL:

- **DISEÑO ARQUITECTÓNICO:** El proyecto arquitectónico debe tener intrínseca la estructuración preliminar, con la propuesta de la ubicación y pre-dimensionamiento de los elementos estructurales principales.
- **MATERIALES EN LA ESTRUCTURA:** El estudio del posible sistema estructural, en base al costo y tiempo de ejecución, la disponibilidad de materiales según la región, y propiedades locales del suelo.
- 

## ESTRUCTURAS SEGÚN SUS MATERIALES:

- **ESTRUCTURA METÁLICA:**

Ventajas: La alta resistencia a tensión del acero permite tener estructuras relativamente livianas, cubre luces de gran dimensión, menor área transversal de los elementos estructurales, su tipo de falla es dúctil esto implica que presenta deformaciones perceptibles antes de producirse el colapso. Es más eficiente y seguro por su uniformidad al momento de su fabricación, homogeneidad de material, rapidez de montaje.

Desventajas: Alto costo de mantenimiento. En climas cálidos y de alta humedad presenta corrosión por lo que se deben proteger con pintura anticorrosiva para evitar su deterioro prematuro. Y cuando hay sismos este le aplica una energía externa a la

estructura y provoca desplazamientos, esto provoca desajustes en la estructura y por ende hay que ajustar los pernos.

- **CONCRETO REFORZADO:**

El concreto reforzado es uno de los materiales de construcción más utilizados en la ingeniería civil debido a sus ventajas en términos de resistencia, durabilidad y flexibilidad en el diseño. A continuación, se presentan algunas de las ventajas y desventajas del uso de concreto reforzado:

**Ventajas:**

1. **Resistencia:** El concreto reforzado es muy resistente a las cargas de compresión, lo que lo hace adecuado para la construcción de estructuras que soportan cargas pesadas.
2. **Durabilidad:** El concreto reforzado tiene una larga vida útil y requiere poco mantenimiento en comparación con otros materiales de construcción.
3. **Flexibilidad en el diseño:** El concreto reforzado puede ser diseñado en diferentes formas y tamaños para adaptarse a las necesidades específicas del proyecto, lo que lo hace adecuado para la construcción de estructuras complejas.
4. **Resistencia al fuego:** El concreto reforzado es resistente al fuego, lo que lo hace adecuado para la construcción de estructuras que deben cumplir con requisitos de seguridad contra incendios.

**Desventajas:**

1. **Peso:** El concreto reforzado es un material pesado, lo que puede aumentar los costos de transporte y manejo, y limitar su uso en algunas aplicaciones.
2. **Costo:** El concreto reforzado es más costoso que otros materiales de construcción, lo que puede aumentar los costos de construcción en proyectos grandes.
3. **Corrosión:** La corrosión del acero dentro del concreto reforzado puede reducir la durabilidad del material y requerir costosos trabajos de mantenimiento y reparación.
4. **Fragilidad:** El concreto reforzado es un material frágil en términos de resistencia a la tensión, lo que significa que puede sufrir daños o fracturas si se somete a cargas de tensión excesivas o repetidas.

En resumen, el concreto reforzado es un material de construcción confiable y duradero que ofrece una serie de ventajas en términos de resistencia y flexibilidad en el diseño. Sin embargo, también tiene algunas desventajas importantes que deben ser consideradas cuidadosamente antes de su uso en un proyecto de construcción.

- **CONCRETO PRE ESFORZADO:** Se subdivide en dos grupos; 1) Pre - tensado: La tensión del refuerzo se realiza antes de colar el concreto. 2) Post – tensado: La tensión del refuerzo se realiza después de fundido del concreto y que este haya adquirido cierta resistencia mínima.

El concreto pretensado y postensado son técnicas de refuerzo utilizadas en el concreto para mejorar su resistencia a las cargas y aumentar su vida útil. A continuación, se presentan algunas ventajas y desventajas de ambas técnicas:

- **Ventajas del concreto pretensado:**

1. Mayor resistencia: El concreto pretensado es capaz de soportar cargas más pesadas que el concreto ordinario, lo que lo hace adecuado para construir estructuras más grandes y resistentes.
2. Ahorro de materiales: El concreto pretensado requiere menos materiales que el concreto convencional, lo que puede resultar en una reducción en los costos de construcción.
3. Mayor durabilidad: El concreto pretensado tiene una vida útil más larga que el concreto ordinario, lo que puede reducir la necesidad de reparaciones y mantenimiento a largo plazo.

- **Desventajas del concreto pretensado:**

- Requiere de una mano de obra altamente capacitada: La instalación del concreto pretensado es una tarea delicada que requiere la participación de profesionales altamente capacitados.
- Mayor costo: El proceso de pretensado es costoso, lo que puede aumentar los costos de construcción.

- **Ventajas del concreto postensado:**

1. Mayor resistencia: El concreto postensado es más resistente que el concreto ordinario, lo que lo hace adecuado para estructuras más grandes y resistentes.
2. Menor costo: El concreto postensado es menos costoso que el concreto pretensado, lo que puede resultar en una reducción en los costos de construcción.
3. Mayor durabilidad: El concreto postensado tiene una vida útil más larga que el concreto ordinario, lo que puede reducir la necesidad de reparaciones y mantenimiento a largo plazo.

- **Desventajas del concreto postensado:**

1. Requiere de una mano de obra altamente capacitada: La instalación del concreto postensado es una tarea delicada que requiere la participación de profesionales altamente capacitados.
2. Peligrosidad: Los cables o barras postensados pueden ser peligrosos si se rompen durante la instalación o durante la vida útil de la estructura, lo que puede poner en riesgo la seguridad de las personas.

En resumen, tanto el concreto pretensado como el postensado ofrecen ventajas significativas en términos de resistencia, durabilidad y ahorro de costos. Sin embargo, ambas técnicas requieren de una mano de obra altamente capacitada, y el proceso de pretensado es más costoso que el de postensado. Además, la rotura de los cables o barras puede ser peligrosa y afectar la seguridad de las personas. Por lo tanto, es importante evaluar cuidadosamente las ventajas y desventajas de cada técnica antes de seleccionar la mejor opción para un proyecto de construcción.

- **ACERO Y MADERA:** Estructura metálica con cubierta de madera, o elementos de madera con apoyos de acero para mejorar la seguridad ambiental de los ocupantes.
- **SISTEMA NEUMATICO:** Las construcciones neumáticas son aquellas que se pueden hacer a partir de aire comprimido. Estas estructuras desafían la gravedad, pues contrariamente a las estructuras comunes cuyo peso deber ser distribuido en el suelo, imponen una carga que actúa en sentido contrario a la gravedad. Son muy útiles en estructuras temporales.

## CONSIDERACIONES PARA UN BUEN DISEÑO ESTRUCTURAL

El objetivo del diseño estructural es el óptimo comportamiento de la estructura, es necesario calcular las combinaciones de carga crítica presentadas en normas de construcción de AGIES y las posibles fallas de la estructura, en base a ello, darle la seguridad y servicio de esta durante su vida útil. Es importante definir:

- **ESFUERZO DE TRABAJO:** Son todos los esfuerzos mecánicos producidos por el efecto que producen las cargas de servicio (carga neta con ningún factor de incremento). Solo se utiliza en el diseño de acero y madera. Esto se determina mediante un análisis elástico (Teoría Elástica).
- **ESFUERZO PERMISIBLE:** Es el esfuerzo máximo que por diseño puede resistir la estructura y al que puede ser sometida, con un grado de seguridad

que se considere en el análisis. Ejemplo: Carga crítica de Euler en una columna.

Esfuerzo de trabajo < Esfuerzo permisible

- **FACTOR DE CARGA:** Factor que incrementa la fuerza real aplicada para diseñar el elemento estructural que brinda un margen de seguridad y confiabilidad a la estructura durante un periodo de vida útil.
- **DISEÑO POR RESISTENCIA ULTIMA PARA CONCRETO REFORZADO:**  
Las cargas de trabajo en el diseño son multiplicadas por factores de carga, aumentando la magnitud de la carga aplicada, por tanto, la estructura es diseñada para resistir hasta su capacidad última debido a estas cargas ya factorizadas, tal como se muestra en la forma siguiente:

**Combinaciones sugeridas por la norma ACI 318-19.**

**Donde: D = muerta, L = viva, L<sub>r</sub> = viva de techo, E = sismo, R = lluvia, S = nieve, W= viento.**

**Combinaciones sugeridas por la norma NSE 2.1 de AGIES.**

$$CC = 1.4 M$$

$$CC = 1.2 M + 1.6 V + 0.5 (V_t \text{ o } P_l \text{ o } A_r)$$

$$CC = 1.2 M + V + 1.6 (V_t \text{ o } P_l \text{ o } A_r)$$

$$CC = 1.2 M + V + S_{vd} \pm S_{hd}$$

$$CC = 0.9 M - S_{vd} \pm S_{hd}$$

Donde: M = muerta, V = viva, V<sub>t</sub> = viva de techo, P<sub>l</sub> = carga de lluvia, A<sub>r</sub> = carga de tefra volcánica, S<sub>vd</sub> = carga sísmica vertical, S<sub>hd</sub> = carga sísmica horizontal.

## **SISTEMAS ESTRUCTURALES:**

Los sistemas estructurales son el conjunto de elementos resistentes que vinculados entre sí transmiten las cargas de la edificación a los apoyos garantizando el equilibrio, la estabilidad y sin sufrir deformaciones incompatibles. Los sistemas estructurales se dividen en dos:

1. Estructuras Armadas: Las estructuras armadas son ensambles de tirantes (que trabajan en tensión) y puntales (configurados en triángulos

con juntas articuladas, de manera que todas las fuerzas internas sean axiales (en compresión directa o tensión sin flexión o cortante).

Esta categoría general de estructuras triangulares incluye cables, armaduras, marcos tridimensionales y geodésicos. Esta geometría triangular es fundamental comportamiento de la armadura, ya que el triángulo es el único polígono que tiene una geometría inherente estable. La forma de un triángulo solo se puede cambiar si se varia la longitud de sus lados. Esto significa que, con juntas articuladas, los lados de un triángulo deben resistir solo tensión o compresión (no tensión) para preservar la forma. Se clasifican en armaduras y marcos, entre ellos existen las siguientes estructuras:

- a. Edificios
- b. Puentes
- c. Torres de transmisión
- d. Arcos
- e. Tanques de agua
- f. Pavimentos

2. Sistemas continuos La estructura discreta y continua (previamente discretizada) se llegaba a definir como sistema dinámico por sus matrices de masa, de rigidez y de amortiguamiento.

Dentro de las estructuras que llamamos artificiales se pueden considerar las definidas geométricamente en una dimensión lineal, dos dimensiones superficiales o tres (especiales). Del mismo modo en una estructura superficial o definida en dos dimensiones pueden considerarse los movimientos en su plano o en su superficie o fuera de él (normal o no a su superficie media).

Como estructuras artificiales son de interés las siguientes: cuerdas, barras, vigas (rectas, curvas, continuas, flotantes, etc.), sistemas reticulares, (de barras rectas, curvas, de sección variable, etc.), membranas, cáscaras, placas (rectas o curvas), etc. sometidas a esfuerzos originados por sus pesos propios y por las acciones de fuerzas y deformaciones exteriores, variables en el tiempo del modo más diverso. Las estructuras naturales tienen sus características especiales, sus respuestas a determinadas solicitaciones. Hay que estudiarlas para llegar a conocer: a) Su comportamiento antes y después de ser alteradas o modificadas por el hombre; b) Sus interacciones con las estructuras artificiales que sirven para cumplimentarlas o reforzarlas.

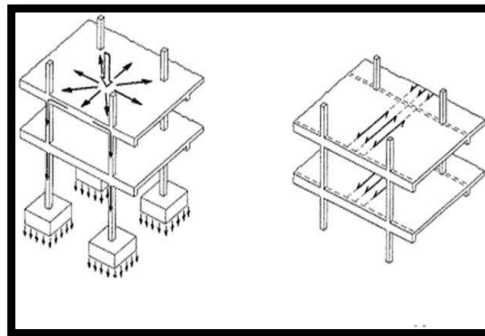
## **CARGAS ESTRUCTURALES:**

Las cargas estructurales son las fuerzas que resultan del peso de todos los materiales de construcción, del peso y actividad de sus ocupantes y del peso del equipamiento. También de efectos ambientales y climáticos tales como nieve, viento, etc. Son las fuerzas externas aplicadas a los elementos resistentes, o también su propio peso.

### **Tipos de carga según su naturaleza:**

En un edificio, existen dos principales tipos de cargas estructurales: cargas vivas y cargas muertas. Como su nombre lo indica, las cargas muertas son el peso de aquellos elementos que permanecen fijos, adosados e inmóviles, y son soportados por la estructura; en cambio, las cargas vivas son aquellas que no se puede saber con exactitud, ya que varían de tamaño, posición, y cantidad, por lo que se debe hacer una estimación estadística para prever su impacto en la estructura.

Las personas, la nieve, y el viento, son cargas vivas, mientras que puertas, ventanas, divisiones, e incluso el propio peso de la estructura, son consideradas cargas muertas. Ambas son igual de relevantes dentro del cálculo de la estructura, al fin y al cabo, esta debe ser capaz de soportar su incidencia, los edificios deben construirse para mantener resistencia de manera estable a cualquier tipo de carga, y así poder perdurar en el tiempo.



Flujo de cargas en un edificio de estructura convencional.

### **Cargas muertas**

La carga muerta se refiere al peso (que genera una carga vertical) de todos los elementos de la propia estructura. Estos elementos pueden ser estructurales o no estructurales, pero son parte permanente de la construcción; es decir, a diferencia de la carga viva, no se deben a la ocupación y uso de la estructura.

Cálculo de las Cargas Muertas

Este tipo de cargas viene definido por el peso de los materiales que se encuentran en el edificio. Por esto, la precisión de la estimación hecha para realizar el proyecto dependerá de la cantidad y la definición de la información sobre los materiales a utilizar en dicho proyecto juega un papel fundamental la experiencia del calculista.

### **Cargas vivas**

La carga viva es la que se produce con el uso de la estructura. También se conoce

como carga impuesta o carga probabilística, dado que su cálculo se hace sobre proyecciones y no sobre datos reales. En ella han de considerarse las personas (u otros seres vivos), mobiliario, tráfico de vehículos, equipamientos varios, estructuras temporales, etc. Al momento de hacer el análisis estructural y el diseño de estructuras, es necesario tener en cuenta una serie de cargas estructurales.

También se incluyen dentro del cálculo de carga viva el peso de los tabiques y las cargas generadas por las labores de construcción y mantenimiento (obreros, maquinaria, etc.).

### **Cálculo de la carga viva**

En el análisis de estructuras se debe calcular la carga viva máxima que se espera ocurra en la edificación. Esta será muy distinta según el caso, y puede variar enormemente entre, por ejemplo, una vivienda unifamiliar, una escuela o un estadio. Independientemente del cálculo que se haga, existen tablas de cargas vivas mínimas reguladas con las que toda estructura debe cumplir.

Las cargas vivas se determinan con una base fija relacionada al uso diario y una parte variable. Para simplificar el cálculo, las cargas vivas se calculan como cargas uniformes aplicadas sobre el área de la estructura.

### **Cargas accidentales:**

Una carga accidental es aquella que sucede eventualmente en la vida de una estructura, no es constante y puede alcanzar grandes magnitudes. Ésta no se debe al funcionamiento normal del inmueble y se presenta solo durante lapsos breves.

Las cargas accidentales son aquellas que pueden aparecer en algún momento causando la aplicación de fuerzas y esfuerzos en alguna estructura, como lo son: el viento, los temblores y la lluvia, entre otros.

Los vientos son cargas dinámicas aproximadas al usar cargas estáticas equivalentes. Este procedimiento cuasi-estático puede ser utilizado por la mayoría de edificaciones, en algunos casos específicos se necesita un análisis modal. La presión ejercida por el viento es directamente proporcional al cuadrado de la velocidad y requiere ser calculada en las áreas expuestas de la estructura.

La velocidad del viento puede variar, pero la edificación adopta una posición deformada a causa de la velocidad constante y vibra por esta posición gracias a las turbulencias. Se hace necesario para evaluar los efectos que se producen por la fuerza del viento, realizar un análisis simple si dichos efectos no son importantes en el diseño, o un análisis completo, si las fuerzas del viento llegan a ser fundamentales en el diseño.

Dichas cargas dependen del sitio o ubicación donde se encuentre la estructura, la posición, altura y el área que se encuentre expuesta, las cuales se manifiestan como



succiones y presiones.

### **Sismo:**

Un sismo, también conocido como terremoto o temblor, es un fenómeno natural que se produce cuando se libera energía acumulada en el interior de la Tierra. Esta liberación de energía se produce debido a la actividad tectónica de las placas que forman la corteza terrestre, que pueden moverse y deslizarse una sobre la otra, generando ondas sísmicas que se propagan por el suelo.

Los sismos pueden variar en magnitud y duración, y su efecto sobre las estructuras y las personas puede depender de la distancia entre el epicentro (punto en la superficie terrestre directamente sobre el foco del sismo) y la ubicación de la estructura o persona, así como de la intensidad del movimiento sísmico.

En algunas zonas del mundo, los sismos son más frecuentes y pueden tener una mayor intensidad, por lo que es importante tomar medidas de prevención y construir edificios y otras estructuras que sean resistentes a los sismos para reducir los riesgos de daño a las personas y las propiedades.

**Los elementos para considerar son:** Pesos y cargas para considerar para la determinación de las solicitudes por sismo. Clasificación de los edificios según el destino y el tipo estructural. Vinculación en planta de los distintos elementos resistentes. Ductilidad de la estructura. Influencia del terreno en la importancia de las cargas por sismo.

En conclusión, las cargas accidentales son cargas que pasan muy rápido, quizá por instantes solamente por una estructura, las cuales pueden ser calculadas teniendo en cuenta las características dinámicas del suelo.

### **CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES:**

Las características que presenta una estructura durante su vida útil son:

**Resistencia:** es la capacidad de una estructura de soportar esfuerzos sin romperse, y depende de las propiedades mecánicas de los materiales que lo constituyen (resistencia mecánica, módulo de elasticidad, etc.) y del tamaño de la sección.

**La rigidez de las estructuras:** es la propiedad que tiene un elemento estructural para oponerse a las deformaciones o, dicho de otra manera, la capacidad de soportar cargas sin deformarse o desplazarse excesivamente. La rigidez de las estructuras está en función del módulo de elasticidad del concreto, el momento de inercia y la longitud del elemento.

**La ductilidad:** es una de las propiedades mecánicas de la materia, que consiste en la capacidad de deformarse plásticamente sin romperse. Es una propiedad común de las aleaciones metálicas o materiales asfálticos. Si el material se somete a la acción de una fuerza sostenida que actúa en extremos opuestos, su forma se modifica formando hilos, pero el material no se rompe.

Los materiales que presentan esta propiedad se conocen como dúctiles, y comúnmente se califican como contrarios a los frágiles, ya que su rotura ocurre solo después de soportar grandes deformaciones. La etapa en que el material dúctil se estira y alarga antes de romperse se denomina fase de fluencia; una vez superado este punto, las deformaciones son irreversibles y permanentes.

Los materiales dúctiles son muy empleados en la industria de los materiales, ya que de ellos pueden obtenerse hilos, alambres y otras presentaciones. Además, se trata de materiales resilientes, elásticos, cuyas partículas poseen facilidad para deslizarse unas por encima de otras.

**Flexibilidad:** es la capacidad que posee un objeto o una persona de doblarse sin que exista el riesgo de que pueda romperse. De igual manera, flexibilidad es la facultad que posee un individuo para adaptarse a los diversos cambios que se puede presentar durante su vida o acondicionar las normas a las distintas circunstancias o cambios.

**La elasticidad:** es la propiedad mecánica que hace que los materiales sufran deformaciones reversibles por la acción de las fuerzas exteriores que actúan sobre ellos. La deformación es la variación de forma y dimensión de un cuerpo. Ejemplo: al caucho le puedo aplicar cierta carga y este material tiene la capacidad de regresar a su forma original.

**Plasticidad:** es un comportamiento mecánico característico de ciertos materiales inelásticos consistente en la capacidad de deformarse permanente e irreversiblemente cuando se encuentra sometido a tensiones por encima de su rango elástico, es decir, por encima de su límite elástico. Ejemplo: La plastilina.

## **FUERZAS INTERNAS DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES:**

Las cargas que soportan las estructuras generan fuerzas internas en la propia estructura (tensiones), que tienden a deformarlas y/o romperlas. A estas fuerzas deformantes producidas por las cargas se las llaman esfuerzos.

**Carga Axial:** son aquellas capaces de resistir una fuerza en la misma dirección que el eje, también conocida como carga de empuje. En cambio, las cargas radiales

están hechas para resistir fuerzas perpendiculares a la dirección del eje.

Una fuerza axial es una fuerza que actúa directamente sobre el centro axial de un objeto en la dirección del eje longitudinal. Estas fuerzas pueden ser de compresión o de tensión, dependiendo del sentido en el que se ejerza la fuerza.

Cuando una fuerza axial actúa lo largo del eje longitudinal y este eje pasa por el centro geométrico del objeto, será además una fuerza axial concéntrica. En caso contrario será una fuerza axial excéntrica.

**Fuerzas 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  $A$ , 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.

**Momento Flector:** Un momento flector es una fuerza normalmente medida en una fuerza  $\times$  longitud, entonces su dimensional es:  $\text{kNm}$ . Los momentos de flexión ocurren cuando se aplica una fuerza a una distancia dada de un punto de referencia; causando un momento efecto. En los términos más simples, un momento flector es básicamente una fuerza que hace que algo se doble. Si el objeto no está bien sujeto, la fuerza de flexión hará que el objeto gire alrededor de cierto punto.

**Momento de torsión:** El momento de torsión, torque o momento torsor es la capacidad de una fuerza para provocar un giro. El momento de torsión (con respecto a un punto determinado) es la magnitud física que resulta de efectuar el producto vectorial entre los vectores de posición del punto en el que la fuerza se aplica y el de la fuerza ejercida (en el orden indicado). Este momento depende de tres elementos principales.

## **ELEMENTOS ESTRUCTURALES:**

Los principales elementos en la construcción de un edificio paso a paso que son comunes a todo tipo de edificaciones son:

- **Cimientos:** se trata de la parte más baja de toda estructura

arquitectónica, cuya finalidad es proporcionar soporte y estabilidad a la construcción.

- **Estructura:** los diferentes elementos que forman su esqueleto. Se emplean estructuras armadas o de armazón y suelen estar compuestas de:
  - **Forjados:** son los planos horizontales que dividen a la edificación en pisos. Al mismo tiempo estos están formados por viguetas, bovedillas, mallas de hierro y relleno de hormigón. Los diferentes tipos de forjados soportan su propio peso y las sobrecargas de la estructura superior.
  - **Pilares:** son los elementos verticales de la estructura y su misión es dar soporte a los forjados. Soportan el peso de los elementos no estructurales. o Elementos horizontales que soportan el peso de los forjados, lo transmiten a los pilares y soportan la fuerza de flexión.
  - **Muros de carga:** elementos que soportan el peso de otros elementos estructurales de la edificación.

## **CONCRETO REFORZADO:**

El concreto reforzado, también denominado concreto u hormigón armado, es un material compuesto que resulta convencionalmente de la incorporación de barras o mallas de acero en la masa del concreto. En otras palabras, es un concreto que cuenta con armadura metálica interna.

Sin embargo, cabe destacar que el concreto también es reforzado o armado con el uso de fibras de diferentes clases. Las fibras juegan un rol más similar al de un agregado que al de una armadura propiamente dicha, pero efectúan la misma función principal, aunque con ciertas particularidades.

Debido a que el concreto es un material constructivo frágil, cuyo principal defecto es su escasa resistencia a la tracción (en comparación con su elevada resistencia a la compresión), este necesita ser reforzado con materiales que sí poseen una gran resistencia a la tracción, como lo es el acero.

Gracias a que el concreto reforzado presenta una sensiblemente mayor resistencia a la tracción que el concreto simple, este es capaz de disminuir la formación de grietas y fisuras durante el fraguado y a lo largo de la vida útil de la estructura. Asimismo, las deformaciones abruptas por cargas considerables son minimizadas, ya que el acero de refuerzo también proporciona ductilidad.

## **Características del concreto reforzado**

Además del incremento de la resistencia a la tracción y de la ductilidad, el concreto armado es un material que posee un amplio conjunto de características, cuyo estudio es de gran importancia en la ingeniería y construcción civil.

Las características principales del concreto reforzado y que constituyen la naturaleza de este material:

- Es un material que desarrolla complementariedad mecánica debido a la compatibilidad existente entre el concreto y el acero. De esta forma, cuando el concreto se deforma también lo hace el acero, y los esfuerzos son repartidos entre estos dos materiales.
- Existe una equivalencia entre los coeficientes de dilatación del concreto y del acero, lo cual permite construir elementos de gran volumen sin que se produzca agrietamiento excesivo, debido a la baja magnitud de las tensiones térmicas internas.
  - El concreto y el acero desarrollan gran adherencia fisicoquímica, gracias a que durante el fraguado el concreto se contrae, reduciendo su volumen y presionan a la armadura metálica, la cual suele poseer estrías en su superficie para optimizar la adherencia.
- El pH alcalino del cemento protege, en principio, a la armadura de acero por medio de un proceso llamado pasivación, el cual reduce su tendencia natural a la oxidación. Pero, la carbonatación del concreto puede revertir la pasivación e incrementar el riesgo de oxidación.
- Durante la elaboración del concreto reforzado se produce un confinamiento mutuo entre el concreto y la armadura. Por lo que el concreto evita que la armadura sufra pandeo, y la armadura evita que el concreto resista esfuerzos de tracción.
- Existe un recubrimiento entre el concreto y la armadura, esto es, una separación mínima entre la superficie del concreto y la armadura de acero. Esta separación se encarga de proteger al acero de agentes corrosivos y para favorecer la adherencia con el concreto.
- Las piezas de concreto reforzado presentan una elevada relación peso-volumen, provocada mayormente por el peso específico del concreto común. Por esto, las piezas de concreto armado se encuentran restringidas geométricamente.
- El concreto reforzado es uno de los materiales constructivos más económicos debido principalmente a la asequibilidad de los componentes del concreto común (gravas, arena, agua y cemento) y al mínimo uso relativo del refuerzo.
- Es un material constructivo que conserva la simpleza del concreto, por lo que resulta ser capaz de adquirir un conjunto variado de geometrías (dentro de sus limitaciones) y no requiere mantenimiento complejo.

### **Tipos de concreto reforzado**

Solamente existe una clasificación del concreto reforzado la cual está dada en función al tipo de refuerzo que se incorpore en la masa matriz. Por tanto, existen actualmente a grandes rasgos tres tipos de concretos reforzados, los cuales son:

**Concreto reforzado con barras de acero:** El concreto reforzado con barras de acero es un concreto cuya armadura interna está compuesta por barras corrugadas de acero dispuestas en filas y columnas, encontrándose unidas en los puntos de intersección por medio de alambres de amarra y de estribo.

En concreto, la armadura de este tipo de concreto es un conjunto de retículas de acero que se desarrollan longitudinal y transversalmente, para resistir los esfuerzos tensionales (tracción) y flexionantes, por un lado, y a los esfuerzos cortantes, por otro lado.

**Concreto reforzado con malla electrosoldado:** De forma similar al tipo anterior, el concreto reforzado con malla electrosoldado posee una armadura reticular interna de acero, pero que está formada por varillas finas de acero las cuales se encuentran unidas en los puntos de intersección por medio de soldaduras.

Aunque la malla electrosoldada de refuerzo puede elaborarse in situ, esta generalmente es prefabricada en instalaciones industriales, donde se efectúa la configuración de las varillas y la soldadura de las uniones con gran precisión, siguiendo altos estándares de calidad.

### **Concreto reforzado con fibras**

A diferencia de los demás tipos, el concreto reforzado con fibras es un material que no posee una armadura interna en el sentido tratado. Más bien, es un material que se origina del mezclado de agregados gruesos (gravas), agregados finos (arena), cemento, agua y fibras (también se pueden adicionar aditivos a la mezcla).

### **Hormigón reforzado con fibras de acero:**

Las fibras de refuerzo son filamentos discontinuos de grosor determinado que son repartidos aleatoriamente en la masa del concreto. Estas fibras se ocupan de incrementar la resistencia a la tracción del concreto, para reducir la fisuración por retracción del fraguado, el agrietamiento en condiciones de servicio y para aumentar la dureza.

Las fibras que se han utilizado para reforzar al concreto son de diferentes naturalezas, entre las usadas se encuentran las siguientes:

- Fibras de vidrio.
- Fibras de acero.
- Fibras de polipropileno.
- Fibras de carbono.
- Fibras de aramida.

### **Usos del concreto reforzado:**

El concreto reforzado es un material constructivo que se utiliza en todas las ramas de la ingeniería civil, debido principalmente a su asequibilidad y simpleza. No obstante, cada tipo de concreto armado tiene un rango de aplicación determinado:

- El concreto reforzado con barras de acero es utilizado principalmente en el campo estructural para construir columnas, vigas y cimentaciones.
- Por su parte, el concreto armado con malla electrosoldada se emplea mayormente en la construcción de pavimentos y losas, aunque también es de vital importancia en la construcción proyectiva de túneles, presas, etc.
- El concreto reforzado con fibras es el principal rival del concreto reforzado con malla electrosoldada en la pavimentación de instalaciones industriales, pistas de aeropuertos y túneles. E incluso puede ser utilizado para construir elementos estructurales delgados.

A pesar de que el concreto reforzado con fibras compite contra los concretos con armaduras internas, este tipo de concreto reforzado puede combinarse con los últimos para constituir un sistema estructural con mayor resistencia a la tracción.

Además, en el caso de la pavimentación industrial, tanto el concreto armado con malla electrosoldada como el concreto reforzado con fibras pueden ser mejorados mediante tratamientos químicos, encargados de elevar ciertas propiedades fisicoquímicas del concreto.

### **ELEMENTOS ESTRUCTURALES DE CONCRETO REFORZADO:**

El concreto reforzado es un material compuesto por concreto y acero, en el que el acero es utilizado para reforzar la estructura y aumentar su resistencia a la tracción. Los elementos estructurales de concreto reforzado se componen de varios componentes, a continuación, se describen los principales:

1. **Vigas:** son elementos estructurales horizontales diseñados para soportar cargas verticales y transmitir las a los pilares o columnas. Las vigas de concreto reforzado están compuestas por una losa superior y una inferior, llamadas "ala", conectadas por barras de refuerzo verticales, conocidas como "estribos".
2. **Pilares o columnas:** son elementos estructurales verticales que soportan cargas verticales y transmiten las fuerzas a la base. Los pilares de concreto reforzado están formados por barras de refuerzo verticales, rodeadas por una carcasa de concreto.
3. **Losas:** son elementos estructurales horizontales diseñados para cubrir grandes áreas y soportar cargas verticales, como el peso del mobiliario o las

personas. Las losas de concreto reforzado están compuestas por una armadura de barras de refuerzo horizontal, incrustada en una losa de concreto.

4. **Zapatas:** son elementos estructurales diseñados para soportar pilares o columnas y transmitir las cargas al suelo. Las zapatas de concreto reforzado están compuestas por una losa de concreto reforzada con barras de refuerzo.
5. **Escaleras:** son elementos estructurales diseñados para permitir el acceso entre diferentes niveles. Las escaleras de concreto reforzado están compuestas por una serie de peldaños de concreto y una armadura de barras de refuerzo horizontal y vertical para resistir las cargas verticales.

En general, los elementos estructurales de concreto reforzado combinan la resistencia a la compresión del concreto con la resistencia a la tracción del acero para crear una estructura resistente y duradera. La elección de la forma y tamaño de los elementos estructurales de concreto reforzado dependerá de la carga a la que estén sometidos, la ubicación y las condiciones del suelo, y los requisitos de diseño y seguridad establecidos por las normas y códigos de construcción aplicables.

## **PRINCIPALES ELEMENTOS DE UN EDIFICIO:**

Los principales elementos de un edificio incluyen:

1. **Cimentación:** Es la base del edificio que se encarga de distribuir el peso del edificio y las cargas que recibe sobre el suelo.
2. **Estructura:** Es el conjunto de elementos que conforman el esqueleto del edificio, tales como columnas, vigas, muros, losas, entre otros.
3. **Envolvente:** Es el conjunto de elementos que conforman la piel del edificio, tales como muros exteriores, ventanas, puertas y cubiertas.
4. **Instalaciones:** Son los sistemas necesarios para que el edificio pueda funcionar adecuadamente, tales como las instalaciones eléctricas, de fontanería, calefacción, ventilación y aire acondicionado.
5. **Acabados:** Son los elementos que se colocan en el interior y exterior del edificio para darle un acabado final, tales como pinturas, pisos, revestimientos y mobiliario.



6. **Espacios interiores:** Son las áreas destinadas para el uso y disfrute de los ocupantes del edificio, tales como habitaciones, salas, cocinas, baños, entre otros.
7. **Equipamientos:** Son los elementos necesarios para equipar y hacer funcional el edificio, tales como electrodomésticos, mobiliario, iluminación, entre otros.

Todos estos elementos trabajan juntos para crear un edificio funcional, seguro y estéticamente agradable.

**Según el tipo se clasifican en:**

- a. **Superficiales:** Son aquellos que se apoyan en las capas superficiales o poco profundas del suelo, por tener este suficiente valor soporte, o por tratarse de construcciones livianas o de importancia secundaria.
2. **Semi-Profundas y Profundas:** Las semi-profundas se enfocan en la capacidad soporte del suelo se les conoce como pozos de cimentación o pilotes no estructurales. Los profundos se basan en una parte de la fricción vertical entre la cimentación y el terreno, y en otra parte por la capacidad soporte profunda de los suelos, para soportar las cargas aplicadas, el más común es el pilotaje.
3. **Cimientos de mampostería:** Son cimentaciones de concreto reforzado de gran longitud en comparación con su sección trasversal, comúnmente se emplean para cimentar muros.
4. **Cimientos Ciclópeo (de piedra):** Son utilizados para muros de cimentación, para estribos o pilas de puentes.

Según su funcionamiento o su comportamiento se clasifican en:

1. **Zapatas Aisladas:** Cimentación superficial que sirve de base para elementos estructurales puntuales como son los pilares.
2. **Cimientos combinados:** Son elementos que sirve de cimentación para dos o más pilares, los cuales son muy cercanos, lo cual al intentar cimentar zapatas aisladas una se sobreponían en la otra, lo cual no es viable.

Todos estos elementos trabajan juntos para crear una estructura resistente y capaz de soportar las cargas a las que está expuesta.

## **SISMO:**

Un sismo es un fenómeno natural que se produce por la liberación repentina de energía acumulada en la corteza terrestre, la cual se transmite a través de ondas sísmicas que se propagan por el suelo.

Entre las principales características de un sismo se encuentran:

1. **Magnitud:** Es una medida de la energía liberada durante el sismo, y se expresa en la escala de Richter. Cuanto mayor sea la magnitud, más energía se ha liberado y mayor será la intensidad del sismo.
2. **Intensidad:** Es una medida de los efectos del sismo en un lugar determinado, y se expresa en la escala de Mercalli. La intensidad está relacionada con la magnitud, pero también depende de la distancia al epicentro, la geología del terreno y otros factores.
3. **Frecuencia:** Es el número de oscilaciones por segundo de las ondas sísmicas, y puede afectar la respuesta de los edificios y otras estructuras.
4. **Periodo:** Es el tiempo que tarda una estructura en oscilar una vez ante un movimiento sísmico, y depende de las características de la estructura y del suelo.
5. **Aceleración:** Es la tasa de cambio de la velocidad de un objeto y se mide en términos de gravedades. La aceleración sísmica se refiere a la tasa de cambio de la velocidad del suelo durante un sismo y puede ser un indicador importante del riesgo sísmico para las estructuras.

En el diseño estructural, es fundamental considerar estas características sísmicas para garantizar que la estructura sea capaz de resistir las fuerzas y deformaciones producidas por los movimientos sísmicos, y así proteger la vida y la propiedad de las personas.

El rozamiento que se da es como un serrucho y contra serrucho de frente, lo que libera una gran cantidad de energía y eso es lo que provoca la vibración que libera las ondas sísmicas.

- **Hipocentro:** origen subterráneo del sismo.
- **Epicentro:** punto en la corteza terrestre donde sale la energía del sismo.
- **Sismógrafo:** o sismómetro es un instrumento para medir terremotos o pequeños

temblores provocados por los movimientos de las placas tectónicas o litosféricas. Fue inventado en 1842 por el físico escocés James David Forbes

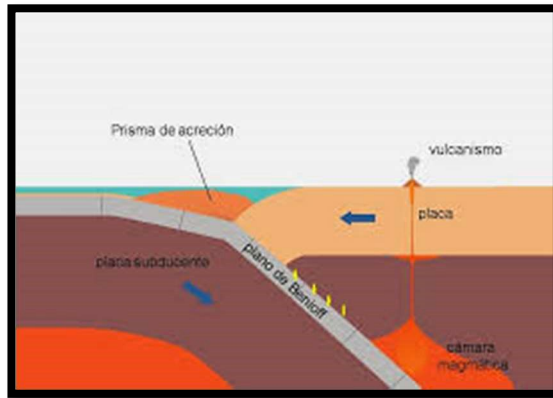
- Se requieren 3 estaciones para detectar el sismo cada una reporta profundidad, magnitud, etc.
- Vibraciones + sondas: viajan por el suelo y mientras más rígido más rápido viajan.
- Los suelos rocosos hasta incrementan la velocidad, los blandos las frenan y le cuesta más pasar.
- Esas 3 estaciones son las más cercanas, porque mientras más lejos, se reduce la cantidad de energía que llega por el sismo.
- Triangulación: buscar la intersección para tener la certeza del epicentro.

### **SUBDUCCION:**

La subducción es un proceso geológico que se produce cuando una placa tectónica se desplaza bajo otra placa y se introduce en el manto de la Tierra en una zona de convergencia. Este proceso es uno de los principales mecanismos de deformación de la litosfera y está asociado con la formación de cadenas montañosas, volcanes y terremotos.

Cuando la placa que se introduce en el manto es una placa oceánica, se produce un fenómeno conocido como zona de subducción, que se caracteriza por la formación de una fosa oceánica, donde el fondo del océano se hunde hacia el interior de la Tierra. La placa que se sumerge se calienta y se funde parcialmente en el manto, formando magmas que ascienden hacia la superficie y generan volcanes. Además, la fricción entre las dos placas puede producir terremotos de gran magnitud.

La subducción es un proceso continuo que ocurre en varias zonas del mundo, siendo el cinturón de fuego del Pacífico uno de los lugares más activos en términos de actividad sísmica y volcánica asociada a este proceso. La subducción es importante en la evolución geológica de la Tierra, ya que contribuye a la formación de la corteza continental y la regeneración del manto terrestre. Sin embargo, también representa un riesgo para la vida y la propiedad de las personas que habitan en zonas cercanas a las zonas de subducción, ya que pueden producirse terremotos y tsunamis de gran magnitud.



## DESPLAZAMIENTO VERTICAL Y HORIZONTAL DEL EDIFICIO

Los desplazamientos verticales y horizontales son dos tipos de movimientos que pueden afectar a un edificio en caso de un terremoto u otra fuerza sísmica.

El desplazamiento vertical se refiere a la elevación o hundimiento del terreno en un punto específico durante un terremoto. Si un edificio se encuentra en un punto elevado, podría sufrir una fuerza de compresión si el terreno se eleva, mientras que, si se encuentra en un punto bajo, podría sufrir una fuerza de tensión si el terreno se hunde. Estas fuerzas pueden causar daños en los cimientos del edificio y en su estructura.

El desplazamiento horizontal, por otro lado, se refiere al movimiento lateral del suelo durante un terremoto. Si un edificio no está diseñado para resistir estas fuerzas laterales, puede sufrir deformaciones y daños en su estructura, lo que puede poner en riesgo la vida de las personas que se encuentren dentro.

Por esta razón, es fundamental que los ingenieros estructurales consideren estos desplazamientos en el diseño de edificios y estructuras, y que se sigan los códigos y normas de construcción establecidos para garantizar la seguridad y la resistencia de las construcciones ante eventos sísmicos. Además, es importante que los propietarios de edificios realicen inspecciones periódicas para detectar posibles daños y tomar medidas preventivas o correctivas en caso de que sea necesario.

## ¿CÓMO SE OBIENE EL CORTE BASAL?

El corte basal, también conocido como fuerza cortante basal o corte de cimentación, es la fuerza que se produce en la base de un edificio o estructura debido a las cargas que soporta y a las fuerzas externas, como los terremotos o el viento. Este corte es

una consideración importante en el diseño estructural de un edificio, ya que puede afectar la estabilidad y la seguridad de la estructura.

Para obtener el corte basal en un edificio, es necesario realizar un análisis de carga que tenga en cuenta las fuerzas que actúan sobre la estructura, como las cargas muertas (peso propio de la estructura), cargas vivas (como el peso de las personas y el mobiliario), las cargas de viento y las cargas sísmicas.

El análisis se realiza mediante programas de diseño estructural, como SAP2000 o ETABS, que utilizan modelos matemáticos para simular el comportamiento de la estructura bajo diferentes cargas. Una vez que se realiza el análisis de carga, se puede obtener el corte basal en la base del edificio a través de los resultados del análisis.

Es importante tener en cuenta que el corte basal debe ser resistido por los cimientos del edificio, por lo que es fundamental que estos estén diseñados para soportar estas fuerzas. Los ingenieros estructurales suelen diseñar los cimientos en base a los resultados del análisis de carga, considerando el tipo de suelo en el que se construirá el edificio y las condiciones sísmicas y de viento de la zona.

### **Características físicas y mecánicas.**

$WT_s$  = peso muerto de todo el edificio + 25% de la carga viva. (por que solo se utiliza el 25%, esto es porque ya se consideró el 100% de las cargas vivas en la losa). y en losas es el 100% de la carga muerta + más el 100% de la carga viva.

El  $WT_n$  es el 100% del peso muerto del nivel N eso es la losa la mitad de los elementos verticales del nivel N y las vigas del nivel N más 25% de la carga viva para el nivel N.

- Los elementos verticales van en mitad hacia arriba y mitad hacia abajo, la mitad de las alturas arriba y abajo.
- No es acumulativo. (ejemplo: el peso del cuarto nivel, solo le pertenece a este nivel, el peso de primer nivel, solo le pertenece a este nivel)

### **F<sub>Top</sub>:**

- Depende de qué tanto se deforme el edificio.
- Fuerza agregada dependiendo de la cantidad de deformación.
- Únicamente para el último nivel del edificio en la cúspide.
- Edificios chaparros no la tienen

## Periodo de vibración

Tiempo de ida y vuelta del edificio al momento de deformarse.

- si es menor a 1/4 segundo la fuerza es cero. si es mayor a 1/4 de segundo hay que calcular la  $F_{TOP}$  del edificio.

Cargas vivas solo cargan a las losas  $W_n$  es carga muerta de cada nivel + 25% carga viva del nivel. Sótanos solo sirven para darle estabilidad al edificio o un uso extra.  $VV - FFVV_{00FF} \leftrightarrow WWW * \mu\mu\mu$

$$F_{Pn} = \frac{(V - F_{top}) * W_N * H_N}{\sum (W_N * \mu_N)}$$

•

## Distribución proporcional

- Al corte basal se le quita la fuerza top porque es única y exclusiva para la parte más alta del edificio y se suma a la fuerza del último nivel.

## Cargas por sismo

Las cargas sísmicas son las fuerzas que actúan sobre una estructura durante un terremoto o sismo. Estas cargas pueden ser muy intensas y pueden causar daños significativos en las estructuras que no estén diseñadas para resistirlas.

Las cargas sísmicas son producidas por la vibración del suelo durante un terremoto, que se transmite a la estructura y la sacude. La magnitud y la duración de las cargas sísmicas dependen de varios factores, incluyendo la magnitud del terremoto, la distancia de la estructura al epicentro del terremoto, la rigidez y la masa de la estructura, y las características del suelo en el que se construyó la estructura.

Para calcular las cargas sísmicas que actúan sobre una estructura, los ingenieros estructurales utilizan métodos de análisis sísmico, que implican la aplicación de cargas dinámicas en el modelo de la estructura para simular la respuesta de la estructura durante un terremoto. Los resultados del análisis sísmico se utilizan para diseñar la estructura de manera que pueda resistir las cargas sísmicas esperadas.

Las cargas sísmicas se consideran en el diseño estructural de edificios y otras estructuras para garantizar que sean seguras y resistentes a los terremotos. Los

códigos de construcción suelen establecer requisitos mínimos para la resistencia sísmica de las estructuras en función de la ubicación de la estructura y la probabilidad de terremotos en la zona.

### **ESCALA DE RICHTER Y MERCALLI:**

La Escala de Richter y la Escala de Mercalli son dos herramientas utilizadas para medir y clasificar la intensidad y el efecto de un terremoto.

La Escala de Richter es una medida cuantitativa de la magnitud de un terremoto, es decir, la cantidad de energía liberada durante el evento sísmico. Esta escala utiliza un sistema de números enteros para representar la magnitud, donde un aumento de un punto en la escala de Richter significa que la energía liberada por el terremoto se multiplicó por 10. Por ejemplo, un terremoto de magnitud 6 es 10 veces más potente que un terremoto de magnitud 5. La escala de Richter es una medida de la energía liberada por un terremoto, pero no necesariamente indica la cantidad de daño que causará.

Por otro lado, la Escala de Mercalli es una medida subjetiva de la intensidad de un terremoto, es decir, la percepción y el efecto del terremoto en las personas y las estructuras. Esta escala utiliza una serie de números romanos y descripciones verbales para clasificar la intensidad del terremoto en función de la percepción de las personas y los daños observados en las estructuras. La Escala de Mercalli se utiliza para evaluar el impacto y los efectos del terremoto en la población y las estructuras, y se basa en observaciones de testigos presenciales, registros de daños y otras fuentes.

En general, la Escala de Richter se utiliza más comúnmente en los medios de comunicación y la literatura popular para informar sobre la magnitud de los terremotos, mientras que la Escala de Mercalli se utiliza más comúnmente en la investigación y la evaluación de los efectos de los terremotos en las personas y las estructuras.

### **ESCALA ABIERTA DE RICHTER:**

- (1) Registrado solo instrumentalmente.
- (2-3) Perceptible hasta 32 km. Del epicentro puede provocar daños en un área pequeña.
- (4-5) Bastante destructivo
- (6) Muy importante
- (7) Perceptible ligeramente por las personas (8-9-10) Muy destructivo y gravemente catastrófico

## **ESCALA DE MERCALLI:**

Los grados de intensidad se representan en números romanos del I al XII

- I Detectado sólo por instrumentos, sacudida sentida por muy pocas personas en condiciones especialmente favorables.
- II Sacudida sentida por muy pocas personas en reposo, especialmente en los pisos altos de los edificios.
- III Sacudida sentida claramente dentro de un edificio, especialmente en los pisos altos, muchas personas no la asocian con un temblor. Los vehículos de motor estacionado pueden moverse ligeramente. Vibración como la originada por el paso de un carro pesado.
- IV Sacudida sentida durante el día por muchas personas en los interiores, por pocas en el exterior. Por la noche algunas despiertan. Vibración de las vajillas, vidrios de ventanas y puertas; los muros crujen. Sensación como de un carro pesado chocando contra un edificio, los vehículos de motor estacionados se balancean claramente.
- V Sacudida sentida casi por todos, muchos despiertan. Algunas piezas de vajillas, vidrios de ventana, etc. Se rompen. Pocos casos de agrietamiento de aplanados. Objetos inestables caen. Se observan perturbaciones en los árboles, postes y otros objetos altos.  
Detención de relojes de péndulos.
- VI Sacudida sentida por todos. Muchas personas atemorizadas huyen hacia afuera. Algunos muebles pesados cambian de sitio, pocos ejemplos de caída de aplanados o dado en chimeneas. Daños ligeros.
- VII Advertida por todos, la gente huye hacia el exterior. Daño moderado sin importancia en estructuras de buen diseño y construcción. Daños ligeros en estructuras ordinarias bien construidas, daños considerables en las débiles o mal planeadas. Ruptura de algunas chimeneas. Estimado por las personas conduciendo vehículos en movimiento.
- VIII Daños ligeros en estructuras de diseño, especialmente bueno, considerable en edificios ordinarios con derrumbe parcial, grande en estructuras débilmente construidas. Los muros salen de sus armaduras. Caída de chimeneas, pilas de productos en los almacenes de las fábricas, columnas, monumentos y muros. Los muebles pesados se vuelcan. Arena y lodo proyectados en pequeñas cantidades.



Cambio en el nivel de agua de los pozos. Perdidas de control en las personas que guían carros de motor.

- IX Daño considerable en estructuras de buen diseño, las armaduras de las estructuras bien planeadas se desploman. Grandes daños en los edificios solidos con derrumbe parcial. Los edificios salen de sus cimientos. El terreno se agrieta notablemente. Las tuberías subterráneas se rompen. Pánico general.
- X Destrucción de algunas estructuras de madera bien construidas. La mayor parte de las estructuras de mampostería y armaduras se destruyen con todo y cimientos, agrietamiento considerable del terreo. Las vías del ferrocarril se tuercen. Considerables deslizamientos en los márgenes de los ríos y pendiente fuertes. Invasión del agua de los ríos sobre sus márgenes.
- XI Casi ninguna estructura de mampostería queda en pie. Puentes destructivos. Anchas grietas en el terreno. Las tuberías subterráneas quedan fuera de servicio, hundimiento y derrumbes en terreno suave. Gran torsión de vías férreas.
- XII Destrucción total, ondas visibles sobre el terreno. Perturbaciones de las cotas de nivel. Objetos lanzados al aire hacia arriba

### **METODO “SEAOC”:**

El método SEAOC (Structural Engineers Association of California) es un método simplificado de análisis sísmico utilizado en el diseño estructural de edificios de concreto armado y mampostería. Este método se basa en la respuesta elástica de la estructura y se utiliza principalmente para edificios de baja y mediana altura.

El método SEAOC utiliza coeficientes sísmicos, que se determinan en función de la zona sísmica donde se encuentra la estructura y del tipo de suelo en el que se construye. Los coeficientes sísmicos se aplican a la masa total de la estructura para obtener las cargas sísmicas.

Una vez que se han calculado las cargas sísmicas, se aplican al modelo estructural para determinar la respuesta de la estructura. La respuesta sísmica se evalúa en términos de deformaciones, fuerzas y momentos en los elementos estructurales, y se comparan con los valores límite establecidos por los códigos de construcción.

El método SEAOC es una herramienta útil para el diseño de estructuras de concreto armado y mampostería de baja y mediana altura, ya que proporciona una aproximación simplificada del análisis sísmico. Sin embargo, no es adecuado para estructuras de gran altura o complejidad, donde se requiere un análisis más detallado y preciso. Es importante recordar que el método SEAOC es solo una

herramienta de diseño, y que la experiencia y el juicio del ingeniero estructural son esenciales para garantizar que la estructura sea segura y resistente a los terremotos.

## **FACTORES DE LOS QUE DEPENDE LAS RESPUESTAS DE LA ESTRUCTURA A LOS SISMOS**

✓ Características del terreno; mientras más denso responderá mejor, por lo que el suelo no absorbe la energía del sismo, sino que la transmite. Suelos aptos para construir.

Suelos no aptos para construir.

- Suelos firmes.
- Suelos compactos.
- Suelos difíciles de excavar.
- Suelos sueltos y fáciles de excavar.
- Suelos de relleno.

✓ De la rigidez y masa de la estructura.

✓ De la magnitud del amortiguamiento.

## **SEAOC ANTIGUO.**

$VV = (ZZ * II * CC * KK * SS)WW = MM$  Corte basal.

Para estructuras de un nivel o livianas  $Z * I * C * K * S = 0.10$

El método de carga sísmica estática equivalente permite que las solicitaciones sísmicas sean modeladas como fuerzas estáticas horizontales (y también verticales) aplicadas externamente a lo alto y ancho de la edificación.

Para estructuras de más de un nivel o pesadas  $Z * I * C * K * S$  depende de varios factores.

## **Z= COEFICIENTE DE RIESGO SÍSMICO**

Depende la sismicidad de la región y los daños de la estructura sin especificación del tipo de construcción de las mismas.

Zona sísmica	Riesgo Sísmico	Z
0	Ausencia de daños	0
1	Daños menores, zonas lejanas al epicentro con periodos de vibración $\leq 1$ segundo. En tal caso, son sismos que les corresponden intensidades de V y VI en la escala de Mercalli Modificada.	0.25
2	Daños moderados, sismos a quienes corresponden intensidades de VII en la escala de Mercalli Modificada, son regiones que ya registran epicentros.	0.5
3	Daños mayores, sismos de intensidades de VIII en la escala de Mercalli Modificada, zona de subducción.	1

### **MÉTODO DE LA CARGA SÍSMICA ESTÁTICA EQUIVALENTE.**

El método de carga sísmica estática equivalente permite que las sollicitaciones sísmicas sean modeladas como fuerzas estáticas horizontales (y también verticales) aplicadas externamente a lo alto y ancho de la edificación. La cuantificación de la fuerza equivalente es semi-empírica. Está basada en un espectro de diseño sísmico definido anteriormente, la masa “efectiva” de la edificación, las propiedades elásticas de la estructura y el cálculo empírico del periodo fundamental de vibración de la edificación.

### **CORTANTE BASAL AL LÍMITE DE CEDENCIA.**

El total de todas las fuerzas sísmicas equivalentes que actúan sobre la edificación, en cada dirección de análisis, se representa por medio del corte estático equivalente al límite de cedencia en la base de la estructura o simplemente corte basal estático a cedencia. Donde:

Es la parte del peso de la edificación. Es el coeficiente sísmico de diseño.

### **COEFICIENTE SÍSMICO AL LÍMITE DE CEDENCIA.**

Donde

Es la demanda sísmica de diseño para una estructura con periodo  $T$ , obtenida del espectro de diseño sísmico.

- R es el factor de reducción de respuesta sísmica.
- T es el periodo fundamental de vibración de la estructura.

## **METODO AGIES:**

Es similar al metodo SEAOC con la diferencia que utiliza la norma NSE 2 para determinar el espectro de vibración

## **Espectros genéricos para diseño**

### **4.5.1 — Parámetros básicos:**

- a) Son los parámetros  $S_{cr}$  y  $S_{1r}$  cuyos valores para el territorio de Guatemala están especificados en el Listado de Amenaza Sísmica por Municipios en Anexo A. La misma información, con menos detalle, puede obtenerse gráficamente del mapa de zonificación sísmica del país.
- b) En caso que  $S_{cr} > 1.5g$  y si los parámetros se requieren para una obra Categoría I o II de 5 niveles o menos, se podrá consultar NSE 3 Sección 2.1.5 para verificar si  $S_{cr}$  puede reducirse a 1.5 a pesar en zona sísmica 4.3.

**Ajuste por clase de sitio:** La Clase de Sitio se establecerá conforme a la Sección 4.3 según el perfil del suelo que cubra al basamento en el sitio. El valor de  $S_{cr}$  y  $S_{1r}$  estipulado en la Sección 4.5.1 deberá ser ajustado conforme a la Clase de Sitio y lo indicado en esta sección. Excepto por lo estipulado o lo permitido en la Sección 4.4.1 esto se hará en la forma genérica siguiente:

$$\begin{aligned} S_{cs} &= S_{cr} * F_a \\ S_{1s} &= S_{1r} * F_v \end{aligned}$$

Donde:

- $S_{cs}$  es la ordenada espectral del sismo extremo en el sitio de interés para estructuras con período de vibración corto;
- $S_{1s}$  es la ordenada espectral correspondiente a períodos de vibración de 1 segundo; ambos para un amortiguamiento nominal de 5% del crítico;
- $F_a$  es el coeficiente de sitio para períodos de vibración cortos y se obtiene de la Tabla 4.5- 1;
- $F_v$  es el coeficiente de sitio para períodos largos y se obtiene de la Tabla 4.5-2. NSE 2

**Ajuste por intensidades sísmicas especiales:** En algunos casos el valor de  $S_{cr}$  y  $S_{1r}$  deberá ser adicionalmente ajustado por la posibilidad de intensidades incrementadas de vibración en el sitio. Estas condiciones están señaladas en la Sección 4.7. Cuando estén identificadas en el sitio de proyecto, se tomarán en

cuenta en la forma genérica siguiente, excepto que la Sección 4.7 permita opciones:

$$S_{cs} = S_{cr} * F_a * N_a$$

$$S_{1s} = S_{1r} * F_v * N_v$$

Donde:

- $N_a$  y  $N_v$  son los factores que aplican por la proximidad de las amenazas especiales indicadas en la Sección 4.6. NSE 2

Figura 4.5-1 — Mapa de zonificación sísmica de Guatemala

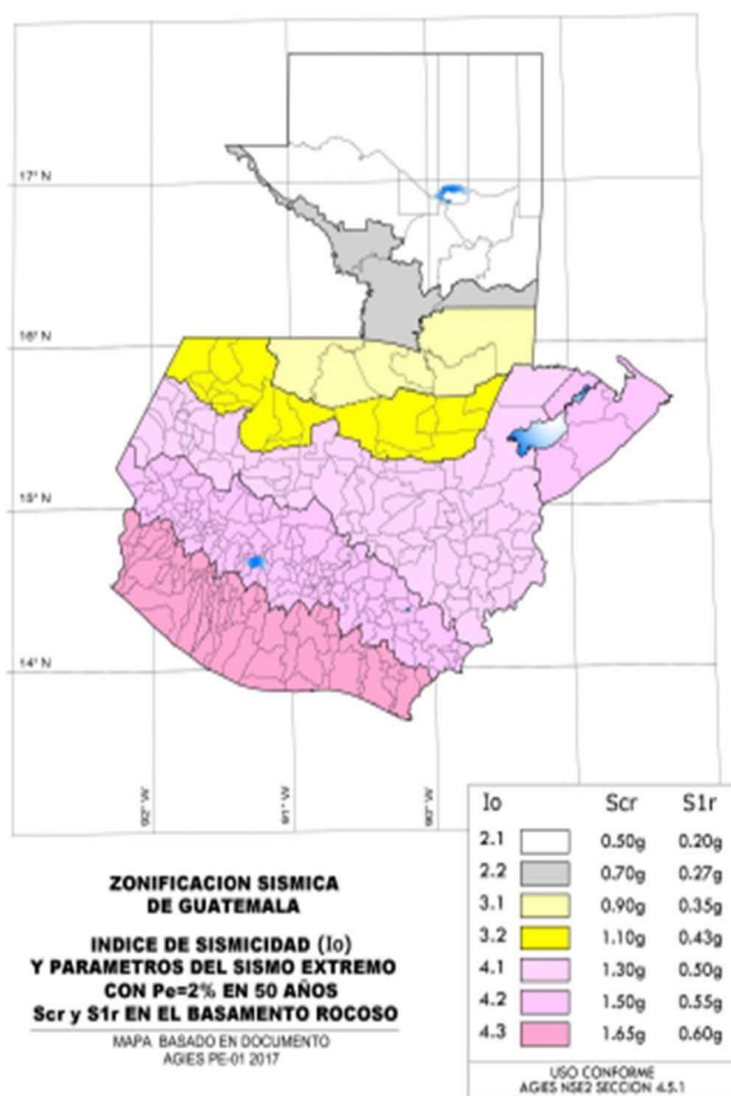


Tabla 4.5-1 — Coeficientes de sitio  $F_a$

Clase de sitio	Índice de sismicidad				
	2.1	2.2	3.1	3.2	4.1 4.2 4.3
AB	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C <sup>(1)</sup>	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
D	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
E	1.7	1.3	1.1	1.0	0.9
F	Se requiere evaluación específica - ver Sección 4.4				

[1] En los casos en que la Investigación de suelos abreviada no especifique si un suelo firme clasifica como C o como D, el factor  $F_a$  se tomará del suelo C.

Tabla 4.5-2 — Coeficientes de sitio  $F_v$

Clase de sitio	Índice de sismicidad				
	2.1	2.2	3.1	3.2	4.1 4.2 4.3
AB	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
D <sup>(1)</sup>	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7
E	3.3	2.8	2.6	2.4	2.2
F	Se requiere evaluación específica - ver Sección 4.4				

[1] En los casos en que la Investigación de suelos abreviada no especifique si un suelo firme clasifica como C o como D, el factor  $F_v$  se tomará del suelo D.

### Períodos de vibración de transición:

Para construir los espectros de diseño genéricos en la Sección 4.5.6 se necesita definir los siguientes períodos de vibración (expresados en segundos):

1. Período  $T_S$  que separa los períodos cortos de los largos

$$T_S = S_{1s} / S_{cs}$$

Período  $T_0$  que define el inicio de la meseta de períodos cortos del espectro

$$T_0 = 0.2 T_S$$

### Probabilidad nominal de ocurrencia de los sismos de diseño:

- (a) Se determinará la probabilidad de ocurrencia del sismo de diseño, según el Nivel de Protección Sísmica que se requiera, mediante uno de los factores  $K_d$  indicados en la Tabla 4.5.5-1

**Tabla 4.5.5-1 — Factores  $K_d$  de acuerdo al nivel de sismo**

Nivel de sismo	Factor $K_d$
Sismo ordinario — 10% probabilidad de ser excedido en 50 años	0.66
Sismo severo — 5% probabilidad de ser excedido en 50 años	0.80
Sismo extremo — 2% probabilidad de ser excedido en 50 años	1.00
Sismo mínimo — condición de excepción	0.55

- (b) Se podrá utilizar un valor  $K_d$  mayor al requerido, haciéndolo del conocimiento del coordinador del proyecto.
- (c) Los parámetros del espectro se calibrarán a la probabilidad de estipulada mediante las expresiones:

$$S_{cd} = K_d * S_{cs}$$

$$S_{1d} = K_d * S_{1s}$$

Espectros genéricos probables — Cuando se puedan utilizar los espectros de diseño genéricos, las ordenadas espectrales  $S_a(T)$  para cualquier período de vibración  $T$ , se definen con las siguientes expresiones

$$\begin{aligned} S_a(T) &= S_{cd} && \text{cuando } T_0 \leq T \leq T_S \\ S_a(T) &= S_{1d} / T \leq S_{cd} && \text{cuando } T > T_S \\ S_a(T) &= S_{cd} [0.4 + 0.6 T / T_0] && \text{cuando } T < T_0 \end{aligned}$$

**Aceleración máxima del suelo (AMS)** — Para los casos en que sea necesario

estimar una aceleración máxima del suelo correspondiente al sismo de diseño a partir de los espectros genéricos, se utilizará:

- $A M S d = 0.40 * S c d$

Componente vertical del sismo de diseño

- $S v d = 0.20 * S c d$