



Configuración y Diseño Sísmico de Edificios (Parte Dos)

Resumen

Este documento técnico, basado en la normativa INPRES CIRSOC 103, profundiza en la **configuración y el diseño sísmico de edificios**, explicando cómo diversas características influyen en la respuesta estructural ante un terremoto. Destaca la importancia de factores como el **amortiguamiento**, la **ductilidad** y la **resistencia y rigidez**, elementos clave que definen la capacidad de un edificio para disipar energía y controlar las deformaciones. El texto enfatiza la necesidad de **configuraciones regulares** y la crítica importancia de evitar **irregularidades significativas**, especialmente el "piso débil", para garantizar un desempeño seguro. En última instancia, promueve un **diseño por capacidad**, un enfoque que busca asegurar que la estructura desarrolle un comportamiento dúctil y predecible frente a las fuerzas sísmicas.

1. Reacción del Edificio ante la Acción Sísmica

La reacción de un edificio ante un sismo es un fenómeno complejo influenciado por múltiples factores interrelacionados. El diseño sísmico busca comprender y controlar esta reacción para garantizar la seguridad y el desempeño estructural.

1.1. Amortiguamiento

El amortiguamiento es un factor clave que evita que el edificio vibre libremente, llevándolo al equilibrio. Se describe como "Crítico → Evita la oscilación". Su efectividad depende de las conexiones, el material y el estado no estacionario de la estructura (E.N.Est.), lo que implica un comportamiento no lineal.

1.2. Ductilidad

La ductilidad se refiere a la capacidad de un material, sección o estructura global para deformarse significativamente sin perder resistencia. La fuente la clasifica como "Material, Seccional, Global → Gráficos", indicando la importancia de su evaluación en diferentes niveles. La "Recurrencia Acción Sísmica: probabilidad" y el uso de "Espectros Elásticos e Inelásticos" son cruciales para el diseño basado en la ductilidad.

1.3. Torsión

La torsión es una respuesta crítica del edificio, influenciada por la "Masa" y la "Rigidez" de la estructura. Puede ser "Torsión elástica" o "Torsión inelástica". Se distinguen dos sistemas en relación con la torsión:

- **Sistema Torsionalmente Libre:** Asocia con "Ductilidad restringida".
- **Sistema Torsionalmente Restringido:** Asocia con "Ductilidad Total", donde el Centro de Masa (CM) coincide con el Centro de Rigidez (CR). La presencia de excentricidad (e) entre CM y CR produce rotación además de traslación.

1.4. Resistencia y Rigidez

Estos son los pilares del diseño sísmico:

- **Resistencia → Control de Esfuerzos**
- **Rigidez → Control de deformaciones** Ambas deben considerarse tanto en dirección "Vertical y Horizontal". La distribución de esfuerzos en la estructura es fundamental, distinguiendo entre "Concentración vs Dispersión".

1.5. Redundancia Estructural

La redundancia se define como "Líneas resistentes = Líneas de defensa". Un sistema con mayor redundancia (mayor número de elementos resistentes) tiende a distribuir mejor los esfuerzos y a tener una menor deformación ante cargas similares. Los ejemplos numéricos presentados ilustran



cómo un aumento en el número de líneas resistentes (A) reduce significativamente la deformación (d).

1.6. Sistemas Resistentes

Los sistemas resistentes verticales pueden ser:

- **Tabiques:** Muros rígidos.
- **Pórticos (Masa):** Estructuras aporticadas que disipan energía principalmente por flexión y corte, lo que les otorga "Alta Ductilidad" y genera "Rótulas en vigas". Sin embargo, presentan "Incertidumbre en la formación de 'todas' las rótulas" y son "Más deformables".
- **Triangulaciones (Vector):** Sistemas arriostrados. Pueden ser "Centrada" (Compresión → Baja Ductilidad) o "Excéntrica" (Flexión → Alta Ductilidad).
- **Mixtos:** Combinación de los anteriores. La "Disposición en planta" de tabiques y triangulaciones es crucial para controlar la traslación en X, Y y la torsión.

1.7. Diafragmas

Los diafragmas (generalmente losas) son esenciales para la "Transmisión de esfuerzos". Las "Formas irregulares" y "Agujeros en losas" pueden afectar su desempeño, siendo necesario un análisis cuidadoso de su conexión.

1.8. Elementos No Estructurales

Estos elementos tienen una "Participación 'involuntaria' en el sistema estructural". Los terremotos actúan como un "Laboratorio natural" que demuestra cómo los elementos no estructurales pueden "Modificar propiedades dinámicas" de la edificación y son de "Importancia en la configuración", ya sea que estén "Integrados vs aislados".

2. Influencia de la Configuración del Edificio

La configuración del edificio es un factor determinante en su respuesta sísmica. Aspectos clave incluyen:

- **Escala, Altura, Tamaño Horizontal y Proporción.**
- **Simetría:** Esencial para una distribución uniforme de rigidez y masa.
- **Distribución y Concentración:** Cómo se distribuyen masa y rigidez en planta y altura.
- **Densidad en planta.**
- **Esquinas.**
- **Resistencia Perimetral.**
- **Redundancia.**

3. Irregularidades Significativas

Las irregularidades son desviaciones de la geometría y distribución de masa/rigidez ideales, y pueden comprometer seriamente el desempeño sísmico.

3.1. Irregularidades en Planta

Se refieren a la forma del edificio en cada nivel, como las "esquinas interiores" o configuraciones en forma de L, T, H, etc., que pueden generar concentraciones de esfuerzos y torsión.

3.2. Irregularidades Verticales

Son variaciones en la rigidez, resistencia o masa a lo largo de la altura del edificio. Los ejemplos incluyen edificios "escalonados".



3.3. Discontinuidad de Resistencia y Rigidez

Implican cambios abruptos en las propiedades estructurales, lo que puede llevar a comportamientos indeseables:

- **Piso Débil:** Un piso con resistencia o rigidez significativamente menor que los pisos adyacentes. La fuente lo menciona repetidamente como un mecanismo a evitar.
- **Tabiques discontinuos.**
- **Rigidez de columnas:** Variaciones en la rigidez de las columnas.
- **Columna Débil-Viga Fuerte:** Un modo de falla indeseable donde las columnas ceden antes que las vigas.
- **Interacción Pórtico-Tabique.**
- **Modificaciones No Estructurales:** Que pueden generar discontinuidades no intencionadas.

3.4. Colindancia

Se refiere a la proximidad entre edificios y la posibilidad de impacto durante un sismo.

4. Configuraciones Regulares y Diseño por Capacidad

El documento enfatiza la importancia de las "CONFIGURACIONES REGULARES" y un enfoque de diseño particular debido a las incertidumbres inherentes a la acción sísmica.

4.1. Premisas y Desafíos

- **Cargas desconocidas (inciertas)**
- **Poca información sobre propiedades materiales.**
- **Comportamiento estructural → Cargas últimas, no de servicio.**
- **Fuerzas de Diseño → Fracción de las esperadas en el Terremoto.**
- **Esfuerzos en la Estructura mayores que los de código.**

4.2. Principios de Diseño

- **Disipación de energía:** Requiere un "N° rótulas para Mecanismo de Plastificación" bien definido.
- **Comprender comportamiento (Reacción del Edificio).**
- **Combinar variables de diseño.**
- **Definir Mecanismo de Plastificación.**
- **Evitar Mecanismos de Piso (Piso Débil o Flexible):** Esta es una instrucción crítica y se reitera varias veces la necesidad de evitar este tipo de fallas.
- **Incertidumbre acciones → Diseño por capacidad → Garantiza comportamiento dúctil:** Este es un principio fundamental. El diseño por capacidad asegura que la plastificación ocurra en elementos dúctiles (ej. vigas) antes que en elementos frágiles (ej. columnas), garantizando la ductilidad global.
- **Sistemas Torsionalmente Restringidos → Garantiza desarrollo de ductilidad prevista:** La ausencia de torsión excesiva permite que la ductilidad intrínseca del sistema se desarrolle completamente.
- **Diseños sencillos:** La simplicidad en la configuración ayuda a prever y controlar el comportamiento sísmico.



Guía de Estudio Detallada: Configuración y Diseño Sísmico de Edificios (INPRES CIRSOC 103)

Esta guía de estudio está diseñada para revisar su comprensión de la reacción de los edificios ante la acción sísmica, la influencia de la configuración, las irregularidades y los principios clave del diseño sismorresistente, según la normativa INPRES CIRSOC 103, Parte Dos.



SÍNTESIS

Sección 1: Reacción del Edificio ante la Acción Sísmica

1. Amortiguamiento:

Definición: Fenómeno que evita la vibración libre del edificio, llevándolo al equilibrio.

Amortiguamiento crítico: Evita la oscilación.

Factores de dependencia: Conexiones, material, estado no estacionario (E.N.Est.) y comportamiento no lineal.

2. Ductilidad:

Definición: Capacidad de un elemento o estructura para deformarse significativamente más allá del rango elástico sin perder resistencia.

Niveles de aplicación: Material, Seccional, Global.

Conceptos relacionados: Probabilidad de recurrencia de la acción sísmica, espectros elásticos e inelásticos.

3. Torsión:

Definición: Movimiento de rotación del edificio causado por la excentricidad entre el centro de masa (CM) y el centro de rigidez (CR).

Tipos: Torsión elástica y torsión inelástica.

Sistemas torsionalmente: * **Libre**: Ductilidad restringida. * **Restringido**: Ductilidad total (CM=CR), evita rotación excesiva.

Factores de influencia: Masa, rigidez, configuración, movimiento del suelo.

4. Resistencia y Rigidez:

Resistencia: Controla los esfuerzos internos.

Rigidez: Controla las deformaciones.

Consideraciones: Vertical y horizontal.

Distribución de esfuerzos: Concentración vs. dispersión.

5. Redundancia Estructural:

Concepto: "Líneas resistentes = Líneas de defensa".

Beneficio: Una mayor cantidad de elementos resistentes mejora la distribución de esfuerzos y reduce las deformaciones.

6. Sistemas Resistentes Verticales:

Tabiques: Muros rígidos que aportan resistencia y rigidez. Su disposición en planta es clave para controlar traslaciones y torsión.

Pórticos (Masa): Estructuras aporticadas que disipan energía principalmente por flexión y corte, ofreciendo alta ductilidad con formación de rótulas en vigas. Son más deformables y presentan incertidumbre en la formación de todas las rótulas.

Triangulaciones (Vector):

Centrada: Predominio de compresión, baja ductilidad.

Excéntrica: Predominio de flexión, alta ductilidad.

Mixtos: Combinación de los anteriores.

7. Diafragmas:

Función: Transmitir esfuerzos horizontales a los elementos resistentes verticales.



Consideraciones: Formas irregulares y agujeros en losas afectan la transmisión de esfuerzos; la conexión es crítica.

8. Elementos No Estructurales (ENES):

Participación "involuntaria" en la respuesta estructural.

Modifican las propiedades dinámicas del edificio.

Importancia en la configuración (integrados vs. aislados).

Los terremotos actúan como "laboratorio natural" para su estudio.

Sección 2: Influencia de la Configuración del Edificio

La configuración impacta directamente la respuesta sísmica. Factores clave:

- Escala, Altura, Tamaño Horizontal, Proporción.
- Simetría (distribución uniforme de masa y rigidez).
- Distribución y Concentración de masa y rigidez.
- Densidad en planta, Esquinas, Resistencia Perimetral, Redundancia.

Sección 3: Irregularidades Significativas

Desviaciones de la configuración ideal que comprometen el desempeño sísmico.

1. Irregularidades en Planta:

- Formas asimétricas (L, T, H), esquinas interiores.
- Generan concentración de esfuerzos y efectos torsionales.

2. Irregularidades Verticales:

- Variaciones de rigidez, resistencia o masa en altura (ej. edificios escalonados).

3. Discontinuidad de Resistencia y Rigidez:

- Cambios abruptos en las propiedades estructurales.

4. **Piso Débil:** Resistencia o rigidez significativamente menor que pisos adyacentes; es un mecanismo a evitar.

- 5. Tabiques discontinuos, rigidez de columnas.
- 6. **Columna Débil-Viga Fuerte:** Falla indeseable de columnas antes que vigas.
- 7. Interacción pórtico-tabique.
- 8. Modificaciones no estructurales que generan discontinuidades.

9. Colindancia:

- Proximidad entre edificios que puede causar impacto mutuo durante un sismo.

Sección 4: Configuraciones Regulares y Diseño por Capacidad

Enfoque de diseño frente a las incertidumbres sísmicas.

1. Premisas y Desafíos:

- Cargas sísmicas desconocidas (inciertas) y poca información precisa sobre propiedades de materiales.
- Comportamiento estructural ante cargas últimas, no de servicio.



- Fuerzas de diseño son solo una fracción de las esperadas en un terremoto real.
- Esfuerzos reales en la estructura pueden ser mayores que los del código.

2. Principios de Diseño Esenciales:

- **Disipación de energía:** Lograda mediante un número adecuado de rótulas plásticas para un mecanismo de plastificación controlado.
- **Comprender la Reacción del Edificio.**
- **Combinar variables de diseño.**
- **Definir Mecanismo de Plastificación** (idealmente en vigas).
- **EVITAR Mecanismos de Piso (Piso Débil o Flexible):** Principio crítico y reiterado para la seguridad sísmica.
- **Diseño por Capacidad:** Fundamental para garantizar un comportamiento dúctil, asegurando que los elementos dúctiles (ej., vigas) fallen antes que los frágiles (ej., columnas).
- **Sistemas Torsionalmente Restringidos:** Garantizan el desarrollo completo de la ductilidad prevista.
- **Diseños Sencillos:** Facilitan la predicción y el control del comportamiento sísmico.



Cuestionario: Reacción Sísmica y Configuración de Edificios

Responda las siguientes preguntas con 2-3 oraciones cada una, basándose en el material proporcionado.

1. ¿Qué es el amortiguamiento en el contexto sísmico de un edificio y de qué factores depende su efectividad?
2. Defina ductilidad estructural y mencione los tres niveles en los que se evalúa según la fuente.
3. Explique la diferencia entre un "Sistema Torsionalmente Libre" y un "Sistema Torsionalmente Restringido" en términos de ductilidad.
4. ¿Cuál es la función principal de la resistencia y la rigidez en el diseño sísmico de un edificio?
5. ¿Qué se entiende por "redundancia estructural" y por qué es beneficiosa en un diseño sismorresistente?
6. Compare el comportamiento sísmico de los pórticos y las triangulaciones centradas en términos de ductilidad y mecanismo de plastificación.
7. ¿Por qué los diafragmas son esenciales en la transmisión de esfuerzos y qué consideraciones deben tenerse en cuenta para su diseño?
8. Describa la "participación involuntaria" de los elementos no estructurales y su impacto en el comportamiento dinámico de un edificio.
9. Mencione al menos tres factores clave de la configuración de un edificio que influyen significativamente en su respuesta sísmica.
10. ¿Cuál es la principal razón por la que el diseño por capacidad es un principio fundamental en la ingeniería sísmica, especialmente en edificios con configuraciones regulares?

Clave de Respuestas del Quiz

1. El amortiguamiento es el mecanismo que evita que un edificio vibre libremente durante un sismo, ayudándolo a alcanzar el equilibrio. Su efectividad depende de factores como las conexiones, el tipo de material y el comportamiento no lineal de la estructura en estado no estacionario.
2. La ductilidad estructural es la capacidad de un material, sección o la estructura en su conjunto para deformarse significativamente más allá de su límite elástico sin experimentar una pérdida sustancial de resistencia. Se evalúa a nivel Material, Seccional y Global, siendo fundamental para la disipación de energía sísmica.
3. Un Sistema Torsionalmente Libre se asocia con una ductilidad restringida, lo que implica que la estructura tiene menos capacidad para deformarse plásticamente de manera uniforme. Por otro lado, un Sistema Torsionalmente Restringido, donde el Centro de Masa coincide con el Centro de Rigidez, permite una ductilidad total y más predecible del sistema.
4. En el diseño sísmico, la resistencia tiene como función principal controlar los esfuerzos que se desarrollan en los elementos estructurales durante un sismo. La rigidez, por su parte, es crucial para controlar y limitar las deformaciones excesivas del edificio, garantizando su integridad y el confort de los ocupantes.
5. La redundancia estructural se define como la existencia de "Líneas resistentes = Líneas de defensa" dentro de una estructura, lo que significa que hay múltiples caminos para la transmisión de cargas. Es beneficiosa porque permite una mejor distribución de esfuerzos en caso de falla de algún elemento y reduce la deformación global, mejorando la seguridad.
6. Los pórticos disipan energía principalmente por flexión y corte en las vigas, generando rótulas plásticas y ofreciendo alta ductilidad, aunque son más deformables. En contraste, las triangulaciones centradas actúan predominantemente a compresión, lo que se asocia con una baja ductilidad debido a su menor capacidad para deformarse plásticamente antes de fallar.



7. Los diafragmas (generalmente losas) son esenciales porque distribuyen las fuerzas sísmicas horizontales a los elementos resistentes verticales del edificio. En su diseño, es crucial considerar las formas irregulares de las losas y la presencia de agujeros, ya que pueden alterar la transmisión de esfuerzos y requerir conexiones robustas.

8. La "participación involuntaria" de los elementos no estructurales se refiere a cómo componentes como muros de mampostería o cerramientos pueden interactuar con la estructura principal durante un sismo, a pesar de no ser diseñados para resistir cargas sísmicas. Esto puede modificar las propiedades dinámicas del edificio, como su rigidez, y generar efectos no deseados.

9. Tres factores clave de la configuración que influyen en la respuesta sísmica son la simetría (en planta y altura), la proporción (altura vs. tamaño horizontal), y la distribución y concentración de masa y rigidez. Estos elementos determinan cómo el edificio se moverá y deformará bajo la acción sísmica.

10. El diseño por capacidad es fundamental porque, dada la incertidumbre de las cargas sísmicas, garantiza que la disipación de energía ocurra en elementos dúctiles (como las vigas a través de rótulas plásticas) antes que en elementos frágiles (como las columnas). Esto previene fallas catastróficas y asegura un comportamiento global dúctil, protegiendo vidas.

Preguntas para Ensayo

1. Analice la interrelación entre amortiguamiento, ductilidad y torsión en la reacción sísmica de un edificio. ¿Cómo influye una gestión adecuada de estos tres aspectos en el diseño de un edificio sismorresistente?

2. Describa en detalle el concepto de "Piso Débil" y "Columna Débil-Viga Fuerte" como discontinuidades de resistencia y rigidez. Explique por qué estas situaciones son críticamente desfavorables en el diseño sísmico y cómo el diseño por capacidad busca evitarlas.

3. Compare y contraste los sistemas resistentes basados en "Tabiques" y "Pórticos (Masa)" en términos de su rigidez, resistencia, ductilidad y modo de disipación de energía ante un sismo. ¿En qué situaciones sería preferible uno sobre el otro o una combinación "Mixta"?

4. La fuente menciona que los terremotos son un "laboratorio natural" para los Elementos No Estructurales. Argumente sobre la importancia de considerar la interacción de estos elementos con la estructura principal en la configuración y diseño sísmico, y cómo su integración o aislamiento puede afectar el comportamiento general del edificio.

5. Discuta las premisas y desafíos del diseño de edificios sismorresistentes, incluyendo las incertidumbres en las cargas y propiedades de los materiales. Explique cómo los principios de "Diseño por capacidad", "Evitar Mecanismos de Piso" y la promoción de "Sistemas Torsionalmente Restringidos" abordan estas incertidumbres para garantizar la seguridad.

Glosario de Términos Clave

- **Amortiguamiento:** Proceso por el cual la energía de vibración de una estructura se disipa, reduciendo la amplitud de las oscilaciones y llevándola al equilibrio.
- **Amortiguamiento Crítico:** Nivel de amortiguamiento que evita cualquier oscilación de un sistema tras una perturbación, permitiendo un retorno rápido al equilibrio.
- **Ductilidad:** Capacidad de un material o estructura para deformarse considerablemente más allá de su límite elástico sin fracturarse o perder significativamente su resistencia.
- **Ductilidad Material:** Capacidad de un material para deformarse plásticamente.
- **Ductilidad Seccional:** Capacidad de una sección transversal de un elemento estructural para rotar plásticamente.
- **Ductilidad Global:** Capacidad de toda la estructura para deformarse inelásticamente.



- **Espectros Elásticos:** Representaciones gráficas de la respuesta máxima (aceleración, velocidad, desplazamiento) de sistemas de un grado de libertad no amortiguados o ligeramente amortiguados ante un sismo.
- **Espectros Inelásticos:** Similar a los elásticos, pero considerando el comportamiento no lineal y la capacidad de disipación de energía de la estructura.
- **Torsión:** Rotación o giro de un edificio alrededor de su eje vertical, generalmente causada por una excentricidad entre el centro de masa y el centro de rigidez.
- **Centro de Masa (CM):** Punto donde se concentra la masa total de la estructura.
- **Centro de Rigidez (CR):** Punto donde se concentra la rigidez lateral de la estructura.
- **Excentricidad (e):** Distancia entre el Centro de Masa y el Centro de Rigidez, causante de la torsión.
- **Sistema Torsionalmente Libre:** Sistema estructural donde la ductilidad está restringida debido a una torsión significativa.
- **Sistema Torsionalmente Restringido:** Sistema estructural diseñado para minimizar la torsión, permitiendo el desarrollo de la ductilidad total.
- **Resistencia:** Capacidad de un elemento o estructura para soportar esfuerzos sin fallar.
- **Rigidez:** Capacidad de un elemento o estructura para resistir deformaciones bajo carga.
- **Redundancia Estructural:** Presencia de múltiples elementos o vías resistentes para transmitir las cargas, mejorando la seguridad y la distribución de esfuerzos.
- **Tabiques:** Muros estructurales rígidos, a menudo de concreto o mampostería, diseñados para resistir fuerzas laterales.
- **Pórticos (Masa):** Marcos estructurales compuestos por vigas y columnas que resisten cargas a través de la flexión y el corte de sus elementos.
- **Triangulaciones (Vector):** Sistemas arriostrados que utilizan elementos diagonales para formar triángulos, resistiendo cargas principalmente por fuerzas axiales (compresión o tracción).
- **Triangulación Centrada:** Configuración de arriostramiento donde los elementos diagonales se conectan en un punto central. Asociada a baja ductilidad.
- **Triangulación Excéntrica:** Configuración de arriostramiento donde los elementos diagonales se conectan fuera de un punto central, induciendo flexión en los elementos. Asociada a alta ductilidad.
- **Diafragmas:** Elementos estructurales horizontales (ej. losas de pisos) que distribuyen las fuerzas sísmicas a los sistemas resistentes verticales.
- **Elementos No Estructurales (ENES):** Componentes de un edificio que no forman parte de la estructura principal resistente a cargas (ej. muros divisorios, fachadas), pero que pueden interactuar sísmicamente.
- **Irregularidades en Planta:** Desviaciones de la simetría y regularidad de la forma del edificio en un plano horizontal (ej. esquinas interiores, formas en L, T).
- **Irregularidades Verticales:** Variaciones significativas de masa, rigidez o resistencia a lo largo de la altura del edificio (ej. edificios escalonados, cambios bruscos de sección).
- **Discontinuidad de Resistencia y Rigidez:** Cambios abruptos en la capacidad de carga o en la rigidez de la estructura en puntos específicos, a menudo indeseables.
- **Piso Débil:** Un piso cuya resistencia o rigidez lateral es significativamente menor que la de los pisos adyacentes, lo que lo hace propenso a una concentración de deformaciones y fallas.
- **Columna Débil-Viga Fuerte:** Un modo de falla indeseable donde las columnas tienen menor resistencia o capacidad de deformación que las vigas que conectan, llevando a una falla frágil de la columna.



- **Diseño por Capacidad:** Estrategia de diseño sismorresistente que busca asegurar que la plastificación y la disipación de energía ocurran en elementos dúctiles preseleccionados (ej. vigas), mientras que otros elementos cruciales (ej. columnas) permanezcan elásticos o con daño controlado.
- **Mecanismo de Plastificación:** Patrón de formación de rótulas plásticas en una estructura que permite la disipación de energía de manera controlada y dúctil.
- **Colindancia:** Situación en la que dos edificios adyacentes están lo suficientemente cerca como para que puedan chocar entre sí durante un sismo.



Conceptos Clave del Diseño Sismorresistente

1. ¿Qué es el amortiguamiento en el contexto sísmico de un edificio y de qué factores depende su efectividad?

El amortiguamiento es un fenómeno crucial que evita que un edificio vibre libremente durante un sismo, llevándolo al equilibrio. Se describe como "crítico" cuando logra evitar la oscilación excesiva. Su efectividad depende de factores como las conexiones entre los elementos estructurales, el tipo de material empleado en la construcción, y el estado no estacionario (E.N.Est.) de la estructura, lo que implica un comportamiento no lineal.

2. Defina ductilidad estructural y mencione los tres niveles en los que se evalúa según la fuente.

La ductilidad estructural es la capacidad de un material, sección o la estructura en su conjunto para deformarse significativamente más allá de su límite elástico sin perder una resistencia considerable. Esta capacidad es fundamental para disipar la energía sísmica. Según la fuente, se evalúa en tres niveles distintos: Material, Seccional y Global, cada uno ofreciendo una perspectiva diferente sobre la capacidad de deformación inelástica del edificio.

3. Explique la diferencia entre un "Sistema Torsionalmente Libre" y un "Sistema Torsionalmente Restringido" en términos de ductilidad.

Un "Sistema Torsionalmente Libre" es aquel donde existe una excentricidad significativa entre el centro de masa (CM) y el centro de rigidez (CR), lo que provoca una rotación o torsión considerable del edificio durante un sismo. Esto se asocia con una "Ductilidad restringida", ya que la torsión puede impedir que la ductilidad intrínseca del sistema se desarrolle uniformemente. En contraste, un "Sistema Torsionalmente Restringido" es aquel donde el CM coincide con el CR, minimizando la torsión. Esto permite una "Ductilidad Total", asegurando que la capacidad de deformación plástica del edificio se desarrolle de manera efectiva y predecible.

4. ¿Cuál es la función principal de la resistencia y la rigidez en el diseño sísmico de un edificio?

En el diseño sísmico de un edificio, la resistencia y la rigidez cumplen funciones complementarias y fundamentales. La **resistencia** tiene como objetivo principal el **control de los esfuerzos** internos que se generan en los elementos estructurales bajo la acción sísmica, asegurando que la estructura pueda soportar estas fuerzas sin fallar. Por otro lado, la **rigidez** es esencial para el **control de las deformaciones** del edificio, limitando los desplazamientos horizontales para mantener la integridad estructural, evitar daños excesivos a elementos no estructurales y garantizar la seguridad y confort de los ocupantes.

5. ¿Qué se entiende por "redundancia estructural" y por qué es beneficiosa en un diseño sismorresistente?

La "redundancia estructural" se conceptualiza como la presencia de múltiples "líneas resistentes" o "líneas de defensa" dentro de una estructura. Esto implica que existen varios elementos o caminos estructurales capaces de transmitir las cargas sísmicas. Es beneficiosa en un diseño sismorresistente porque, al tener múltiples componentes que pueden compartir o asumir cargas, la falla de un solo elemento no conduce necesariamente a un colapso total. Una mayor redundancia mejora la distribución de esfuerzos, reduce las deformaciones en los elementos individuales y aumenta la capacidad general de la estructura para resistir eventos sísmicos, incrementando la seguridad.

6. Compare el comportamiento sísmico de los pórticos y las triangulaciones centradas en términos de ductilidad y mecanismo de plastificación.

Los **pórticos** (estructuras aporticadas) disipan energía principalmente por flexión y corte, lo que les otorga una **alta ductilidad**. Su mecanismo de plastificación ideal implica la formación de "rótulas en vigas", permitiendo deformaciones significativas sin pérdida de resistencia, aunque son "más deformables" y presentan cierta "incertidumbre en la formación de 'todas' las rótulas". Por otro lado, las **triangulaciones centradas** resisten las cargas predominantemente a través de la compresión en sus elementos. Este mecanismo se asocia con una **baja ductilidad** debido a su menor capacidad para deformarse plásticamente de manera controlada antes de alcanzar la falla.



7. ¿Por qué los diafragmas son esenciales en la transmisión de esfuerzos y qué consideraciones deben tenerse en cuenta para su diseño?

Los diafragmas, que suelen ser las losas de los pisos, son esenciales porque actúan como elementos horizontales rígidos que distribuyen las fuerzas sísmicas a los sistemas resistentes verticales (como muros o pórticos). Son cruciales para una transmisión uniforme y eficiente de los esfuerzos. Para su diseño, se deben tener en cuenta "formas irregulares" y la presencia de "agujeros en losas", ya que estas características pueden afectar significativamente la trayectoria y la eficiencia de la transmisión de esfuerzos, requiriendo un análisis cuidadoso de su conexión con los demás elementos.

8. Describa la "participación involuntaria" de los elementos no estructurales y su impacto en el comportamiento dinámico de un edificio.

La "participación involuntaria" de los elementos no estructurales se refiere a cómo componentes como muros divisorios, fachadas o particiones, que no son diseñados primariamente para resistir cargas sísmicas, pueden interactuar con la estructura principal durante un sismo. Los terremotos actúan como un "laboratorio natural" que demuestra que estos elementos pueden "modificar las propiedades dinámicas" del edificio, como su rigidez y amortiguamiento, a veces de manera no deseada. Su importancia en la configuración es tal que, ya sea "integrados vs aislados", deben considerarse para evitar efectos negativos como puntos de concentración de esfuerzos o cambios abruptos en la rigidez.