

Técnica

EL ACERO INOXIDABLE, UN ALIADO ESTRUCTURAL CLAVE EN CASO DE SISMOS

1

INTRODUCCIÓN: NATURALEZA DE LA ACCIÓN SÍSMICA

Un sismo es la liberación repentina de energía acumulada en la corteza terrestre, que se propaga en forma de ondas sísmicas. Desde el punto de vista de la ingeniería estructural, un sismo no es únicamente un movimiento del terreno, sino una acción dinámica violenta que impone aceleraciones horizontales y verticales sobre las edificaciones, generando solicitaciones variables en el tiempo.

Estos eventos se concentran principalmente en los límites de placas tectónicas, como el Cinturón de Fuego del Pacífico (Chile, Perú, Japón, México, EE.UU.), zonas de colisión continental (Himalaya) o regiones con fallas activas (Turquía, Italia). No obstante, ninguna zona está completamente exenta de actividad sísmica, por lo que el diseño sismorresistente constituye un requisito esencial incluso en regiones de sismicidad moderada.

Fuerzas Inerciales y Fatiga

El impacto del sismo en la base del edificio se traduce en fuerzas inerciales ($F = m \cdot a$). Cuanto mayor es la masa del edificio, mayor es la fuerza que debe resistir. A diferencia de las cargas estáticas (como el peso propio, el mobiliario, etc), la acción sísmica es cíclica (va y viene) y somete a la estructura a una "fatiga instantánea" para la cual los materiales convencionales no siempre están optimizados.

2 LOS TRES DESAFÍOS CRÍTICOS

Un evento sísmico somete a la estructura a tres pruebas simultáneas. Para superar estos desafíos, la ingeniería moderna define parámetros específicos que el diseño debe controlar:

1. **Cargas cíclicas:** el evento sísmico genera aceleraciones en el terreno que alcanzan valores máximos (PGA) y sacuden la estructura repetidamente. Estas inversiones de carga degradan la rigidez del edificio ciclo tras ciclo (fatiga de bajos ciclos), desafiando la resistencia remanente de los materiales.
2. **Grandes deformaciones:** la estructura sufre desplazamientos laterales relativos entre pisos, conocidos como Deriva (Drift). Si el edificio se desplaza demasiado lateralmente, corre el riesgo de volcarse por su propio peso, un fenómeno conocido técnicamente como Efectos de segundo orden (P-Delta).
3. **Demanda de energía:** es el reto supremo. La estructura debe ser capaz de absorber y disipar la inmensa energía cinética del sismo. No se trata solo de resistir la fuerza, sino de gestionar esa energía mediante daño controlado (deformación plástica) sin llegar al colapso.



3 EL ACERO INOXIDABLE: PROPIEDADES DE ALTO RENDIMIENTO

Históricamente valorado por su resistencia a la corrosión, el acero inoxidable ofrece frente a estos tres desafíos una combinación de propiedades mecánicas que lo posicionan como una solución estructural avanzada para zonas de alta sismicidad.

1 Endurecimiento por Deformación y “Reserva de Seguridad”

La mayoría de los materiales tienen un punto de rotura fijo. El acero inoxidable es diferente porque posee una curva de comportamiento llamada "Round-House".

¿Qué significa esto? Que cuando el sismo intenta deformar el edificio, el acero inoxidable no se debilita, sino que se vuelve más resistente a

medida que se deforma (fenómeno conocido como *Strain Hardening*).

El beneficio es que crea una reserva de fuerza extra (o *Overstrength*) que no estaba en los cálculos iniciales, dándole al edificio un margen vital de supervivencia ante sacudidas violentas.

2 Capacidad de Disipación

El acero inoxidable es el material idóneo para "fusibles estructurales" (elementos diseñados para absorber el daño) por dos razones:

1. **Elevada Ductilidad:** los tipos austeníticos poseen una capacidad de elongación excepcional (>40-50%), permitiendo que el elemento se estire considerablemente para acomodar las grandes deformaciones sin romperse.
2. **Histéresis Estable:** un sismo somete a la estructura a ciclos de carga repetidos (vaivén)

que suelen degradar rápidamente la resistencia de los materiales convencionales. El acero inoxidable, sin embargo, presenta una histéresis estable, lo que significa que bajo estas cargas cíclicas, mantiene intacta su capacidad de disipar energía, ciclo tras ciclo, sin degradación prematura. Esto contribuye a que la estructura mantenga su eficacia disipadora durante toda la duración del evento sísmico, sin "agotarse" antes de tiempo.

3 Fiabilidad a Largo Plazo

Gracias a su elevada resistencia a la corrosión, el acero inoxidable preserva la integridad de la sección estructural a lo largo del tiempo. Esto asegura que la capacidad sísmica del edificio no se degrade por pérdida de material, garantizando que las prestaciones del diseño original se mantengan vigentes durante toda la vida útil de la obra (50-100 años).

MARCO NORMATIVO Y EFICIENCIA DE DISEÑO (EUROCÓDIGO 8)

Las normativas sismorresistentes han evolucionado a raíz de los daños observados en terremotos históricos, elevando los estándares para priorizar la protección de la vida humana. En Europa, el estándar vigente es el Eurocódigo 8 (EN 1998).

Actualmente, la norma avanza hacia su nueva generación (prEN 1998-1-1), la cual introduce cambios significativos, pasando de un diseño basado en fuerzas a un diseño basado en el desempeño.

En un evento sísmico, no se busca que la estructura sea indestructible ni infinitamente rígida (ya que esto atraería fuerzas sísmicas inmanejables), sino que cumpla dos objetivos clave según la intensidad del sismo:

- **Estado Límite de Servicio (SLS - "Limitación de Daños"):** para sismos frecuentes, la estructura debe permanecer operativa y con daños mínimos.
- **Estado Límite Último (ULS - "No Colapso"):** ante un sismo severo (raro), la estructura puede sufrir daños importantes para disipar la energía, pero no debe colapsar, garantizando la supervivencia de los ocupantes.

Clasificación por Ductilidad

Para cumplir el objetivo de "No Colapso", el Eurocódigo clasifica las estructuras según cuánta energía deben ser capaces de disipar:

- **DCL (Baja):** diseño elástico, poca disipación (zonas de baja sismicidad).
- **DCM (Media):** disipación mediante deformaciones plásticas localizadas.
- **DCH (Alta):** estructuras diseñadas para formar mecanismos plásticos globales (rótulas plásticas) que absorben gran cantidad de energía.

El Rol Vital del Inoxidable

En el contexto normativo actual y futuro (prEN 1998-1-1), el acero inoxidable destaca precisamente en la categoría más exigente:

- **Clase de Ductilidad Alta (DCH):** encaja perfectamente en diseños donde se exige máxima disipación de energía mediante la formación de rótulas plásticas estables.
- **Optimización (Factor de comportamiento q):** en el diseño sísmico actual, la estructura no se calcula para resistir la fuerza bruta total del terremoto, ya que eso requeriría elementos inmensos; en su lugar, reducimos esa fuerza teórica dividiéndola por un coeficiente llamado Factor de comportamiento (q). Aquí es donde el acero inoxidable ofrece una ventaja económica clave, gracias a su gran capacidad para deformarse plásticamente sin fallar, la normativa permite asignarle un Factor q elevado. Esto hace posible reducir significativamente las fuerzas sísmicas de cálculo, logrando estructuras con menor consumo de material pero con garantía de seguridad.



5 GUÍA DE SELECCIÓN: SOLUCIONES A MEDIDA

La gran variedad de aceros inoxidable permite adaptar el material a la necesidad específica:

Familia / Tipo	Característica sísmica principal	Aplicación recomendada
Austeníticos (Serie 300: 304, 316)	Máxima ductilidad y capacidad superior de deformación plástica.	Ideales para disipadores de energía, arriostramientos y elementos "fusible" (Clase DCH) para gestionar la Demanda de Energía.
Dúplex Tipo 2205	Alta resistencia mecánica y mayor límite elástico.	Ideales para columnas y fachadas. Su alta resistencia ayuda a limitar la Deriva y los efectos P-Delta, aligerando la masa sísmica (m).

Aunque la ingeniería sísmica ha evolucionado enormemente tras aprender de desastres pasados, la normativa específica para el inoxidable (basada en el Eurocódigo 8) aún está adaptándose para reconocer formalmente estas ventajas. Sin embargo, la evidencia es clara, en estructuras de Clase de Ductilidad Alta, donde se exige gran disipación de energía, el acero inoxidable es una opción técnica óptima.

Invertir en acero inoxidable en zonas sísmicas trasciende la decisión económica o estética; es una inversión en resiliencia. Frente a las fuerzas de la naturaleza, contar con un material que ofrece una reserva de seguridad adicional, que no se debilita con el tiempo y que puede deformarse sin romperse, es la clave para pasar de la simple resistencia a la verdadera supervivencia estructural.

Referencias Bibliográficas

- Baddoo, N. R. (2008). Stainless steel in construction: A review of research, applications, challenges and opportunities. *Journal of Constructional Steel Research*, 64(11), 1199-1206.
- Cashell, K. A., & Baddoo, N. R. (2014). Ferritic stainless steels in structural applications. *Journal of Constructional Steel Research*, 102, 267-277.
- CEN (European Committee for Standardization). (2005). EN 1993-1-1: Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings. Bruselas, Bélgica.
- CEN (European Committee for Standardization). (2021). prEN 1998-1-1: Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 1-1: General rules and seismic action. Bruselas, Bélgica.
- Delgado Beltrán, F. (2023). Propuesta del coeficiente de sensibilidad a la deriva para pórticos de acero inoxidable bajo acciones sísmicas [Trabajo Final de Máster]. Universitat Politècnica de Catalunya.
- González de León, I. (2022). Structural behaviour of stainless steel frames. Safety against accidental seismic actions [Tesis Doctoral]. Universitat Politècnica de Catalunya.
- SCI (Steel Construction Institute). (2017). Design Manual for Structural Stainless Steel (4th ed.). Reino Unido.
- Tartaglia, R., D'Aniello, M., & Landolfo, R. (2022). Seismic performance of Eurocode-compliant ductile steel MRFs. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 51(11), 2527-2552. Wiley.
- Walport, F., Arrayago, I., Gardner, L., & Nethercot, D. A. (2021). Influence of geometric and material nonlinearities on the behaviour and design of stainless steel frames. *Engineering Structures*, 249.