

ESTRUCTURAS III

Ing. Alejandro Velastegui Cáceres MsC.

ANALISIS SISMORESISTENTE EN EDIFICIOS DE ACERO

Propiedades del acero

El empleo del acero como material para estructuras de edificación prácticamente no tiene limitación, debido a sus buenas cualidades técnicas, e indudablemente de que se trata de uno de los materiales favoritos de la construcción. Con el apareamiento de la soldadura para la unión de los diversos elementos, ha sido posible el empleo masivo de las estructuras metálicas para edificios, cada vez más altos.

Entre las principales propiedades del acero estructural se puede mencionar las siguientes:

Tenacidad: Los aceros estructurales son tenaces, es decir, poseen resistencia y ductilidad. La propiedad de un material para absorber energía en grandes cantidades se denomina tenacidad.

Elasticidad: El comportamiento del acero se asemeja mucho a la hipótesis de diseño de la mayoría de los materiales, pues sigue la Ley de Hooke incluso soportando esfuerzos bastante altos.

Ductilidad: Esta propiedad permite que el acero absorba grandes cantidades de energía por deformación, sin fallar bajo altos esfuerzos de tracción.

Durabilidad: Se refiere al hecho de que si a una estructura de acero se le proporciona un adecuado mantenimiento, la estructura fácilmente podrá durar indefinidamente.

Alta Resistencia: La alta resistencia del acero por unidades de peso implica que será relativamente bajo el peso de las estructuras, esta sin lugar a duda es

una gran ventaja en la construcción, tanto en puentes de grandes claros o en edificios altos.

Uniformidad: Las propiedades del acero no cambian apreciablemente en el tiempo, como es el caso de las estructuras de concreto reforzado.

Ventajas del Acero en Estructuras

Brevemente se mencionan algunas de las ventajas que resultan de la utilización del acero como elemento estructural:

- Espacio bajo los entrepisos para colocar los ductos.
- Menores secciones y mayor área disponible.
- Homogeneidad: Sus propiedades no varían ni se alteran con el tiempo.
- Fácil conexión: Puede conectarse con otros elementos a través de remaches, soldadura o tornillos.
- Durabilidad: Las estructuras de acero con mantenimiento adecuado duran indefinidamente.
- Montaje rápido: Su velocidad de construcción es superior a la de otros materiales.
- Prefabricación: Por tratarse de un proceso industrializado y de prefabricación en serie, su elaboración se hace con un alto grado de eficiencia y un riguroso control de calidad.
- Recuperación de inversión: Por su rápido montaje el proyecto deja muchas ventajas económicas.

- Reciclaje: Este es un material 100% reciclable, además de ser degradable, por lo cual no contamina.
- Precisión dimensional: los perfiles laminados están fabricados bajo estándares que permiten establecer de manera muy precisa las propiedades geométricas de la sección.
- Disponibilidad de secciones y tamaños: el acero se encuentra disponible en perfiles para optimizar su uso en gran cantidad de tamaños y formas.

Limitaciones del Acero Estructural

El acero estructural presenta algunas limitaciones que son importantes y que se debe tener en cuenta:

- Corrosión: expuesto a la intemperie sufre corrosión, lo que exige un recubrimiento con esmaltes y pinturas anticorrosivas, y eventualmente mantenimiento.
- Fuego: En caso de incendio, el calor se propaga rápidamente por la estructura y disminuye su resistencia. Esto puede mejorarse con una protección adecuada con cerámicos, concreto, yeso, etc.
- Pandeo elástico: debido a su alta resistencia/peso el empleo de perfiles esbeltos sujetos a compresión, los hace susceptibles al pandeo elástico, por lo que en ocasiones no son económicas las columnas de acero.
- Fatiga: la resistencia del acero (así como del resto de los materiales), puede disminuir cuando se somete a un gran número de inversiones de carga o a cambios frecuentes de magnitud de esfuerzos a tracción (cargas pulsantes y alternativas).

Aceros Estructurales

En actualidad los diseñadores disponen de una amplia variedad de aceros estructurales. Se han hecho importantes mejoras en cuanto a su resistencia, ductilidad y resistencia a la corrosión, por lo que en el mercado están disponibles aceros estándar y los llamados aceros de alta resistencia. Los aceros estructurales modernos se pueden clasificar según la ASTM (American Society for Testing and Materials).

Por ejemplo, todos los aceros cubiertos por "Specification for Structural Carbon Steel" A-36 de ASTM se denominan acero A-36. Este es el acero de uso más frecuente para aplicaciones estructurales en Ecuador, por lo tanto es considerado como un acero estándar. Otros aceros utilizados en estructuras se muestran a continuación:

- Aceros generales (A-36)
- Aceros estructurales de carbono (A-529)
 - b.1 Bajo contenido de carbono (<0.15 %)
 - b.2 Dulce al carbono (0.15 – 0.29 %)
 - b.3 Medio al carbono (0.30 – 0.59 %)
 - b.4 Alto contenido de carbono (0.6 – 1.7 %)
- Aceros estructurales de alta resistencia y baja aleación (Mo, V y Cr), (A-441 y A-572) aleación al 5 %.
- Aceros estructurales de alta resistencia y baja aleación, resistentes a la corrosión atmosférica (A-242, A-588).
- Acero templado y revenido (A-514).

- Acero A-992: Es un acero estructural (aleación) usado con frecuencia en los Estados Unidos para fabricar vigas tipo I.

Tabla 19. Características de los principales aceros estructurales

Tipo según ASTM	Tipo de Acero	Formas	Usos	Fy (kg/cm ²)	Fu (kg/cm ²)
A-36	Al carbón	Perfiles, barras y placas	Edificios, puentes y otras estructuras atornilladas y soldadas	2534, (2253 si el espesor es mayor de 8 pulg)	4083 a 5631
A-529	Al carbón	Perfiles y placas de hasta ½ pulg	Similar al A-36	2956 - 3519	4223 a 7039
A-572	Columbio – Vanadio de alta resistencia y baja aleación	Perfiles, placas y barras hasta de 6 pulg	Construcción soldada o atornillada. No para puentes soldados con Fy grado 55 o mayor	2956 - 4575	4223 a 5631
A-242	alta resistencia, baja aleación y resistente a corrosión	Perfiles, placas y barras hasta de 5 pulg	Construcción soldada, atornillada. Técnica de soldado muy importante	2956 - 3519	4435 a 4927
A-588	alta resistencia, baja aleación y resistente a corrosión	Placas y barras hasta de 4 pulg	Construcción atornillada	2956 - 3519	4435 a 4927
A-992	alta resistencia, baja aleación y resistente a corrosión	Placas y barras hasta de 4 pulg	Construcción atornillada	3519	4575

F_y :Esfuerzo mínimo de fluencia

F_u :Resistencia mínima especificada a la tensión

- Acero A-992: Es un acero estructural (aleación) usado con frecuencia en los Estados Unidos para fabricar vigas tipo I.

Tabla 19. Características de los principales aceros estructurales

Tipo según ASTM	Tipo de Acero	Formas	Usos	F _y (kg/cm ²)	F _u (kg/cm ²)
A-36	Al carbón	Perfiles, barras y placas	Edificios, puentes y otras estructuras atornilladas y soldadas	2534, (2253 si el espesor es mayor de 8 pulg)	4083 a 5631
A-529	Al carbón	Perfiles y placas de hasta ½ pulg	Similar al A-36	2956 - 3519	4223 a 7039
A-572	Columbio – Vanadio de alta resistencia y baja aleación	Perfiles, placas y barras hasta de 6 pulg	Construcción soldada o atornillada. No para puentes soldados con F _y grado 55 o mayor	2956 - 4575	4223 a 5631
A-242	alta resistencia, baja aleación y resistente a corrosión	Perfiles, placas y barras hasta de 5 pulg	Construcción soldada, atornillada. Técnica de soldado muy importante	2956 - 3519	4435 a 4927
A-588	alta resistencia, baja aleación y resistente a corrosión	Placas y barras hasta de 4 pulg	Construcción atornillada	2956 - 3519	4435 a 4927
A-992	alta resistencia, baja aleación y resistente a corrosión	Placas y barras hasta de 4 pulg	Construcción atornillada	3519	4575

F_y :Esfuerzo mínimo de fluencia

F_u :Resistencia mínima especificada a la tensión

Método ASD

El diseño por ASD (Allowable Stress Design) o esfuerzos admisibles ha sido utilizado por décadas para el diseño en acero, por eso la mayor parte de las estructuras de acero que existen actualmente fueron diseñadas utilizando este método. En ASD, las cargas de trabajo o servicio se combinan para los diversos miembros de una estructura para obtener las cargas que producen los esfuerzos máximos. Luego se seleccionan miembros tales que sus esfuerzos elásticos calculados no excedan ciertos valores permisibles. En el diseño de acero estructural esos esfuerzos se calculan como un porcentaje del esfuerzo de fluencia. Las combinaciones de carga utilizadas en ASD son:

1. $U = D$
2. $U = D + L$
3. $U = D + (L_r \text{ o } S \text{ o } R)$
4. $U = D + 0.75L + 0.75(L_r \text{ o } S \text{ o } R)$
5. $U = D \pm (W \text{ o } 0.7E)$
6. $U = D + 0.75(W \text{ o } 0.7E) + 0.75L + 0.75(L_r \text{ o } S \text{ o } R)$
7. $U = 0.6D \pm (W \text{ o } 0.7E)$

Las variables presentadas en las combinaciones anteriores representan:

- D : Carga Muerta
- L : Carga Viva
- L_r : Carga Viva de techo
- S : Carga de Nieve
- R : Carga por Lluvia
- W : Carga Viento
- E : Carga por Sismo

El factor de 0.75 en algunas de las combinaciones presentadas, pretende tomar en cuenta la improbabilidad de que todas las cargas de la combinación actúen simultáneamente durante la vida útil de la estructura. En resumen, el

método de esfuerzos admisibles ASD está caracterizado entonces, por el uso de cargas de trabajo (de valores nominales fijados por los códigos) no factoradas, con la adopción simultánea de un coeficiente o factor único de seguridad (F.S.) aplicado a la Resistencia Nominal (media o característica). Debido a la gran variabilidad y a lo poco predecibles que son las cargas vivas y las cargas accidentales en comparación con las cargas permanentes, sumado a los valores distintos de los coeficientes de variación que presentan las diversas Resistencias Nominales, que corresponden a cada sollicitación, no resulta posible mediante este método obtener una confiabilidad uniforme para toda la estructura, a diferencia del Método LRFD que utiliza factores separados para cada carga y para cada tipo de resistencia, como se presenta a continuación.

Método LRFD

En el presente trabajo, se aplica en método de diseño llamando "Diseño por Factores de Carga y Resistencia", conocido por sus siglas en inglés LRFD. Este método de diseño se basa en conceptos de estados límites, el mismo que describe una condición en que la estructura o alguna parte de ella, deja de cumplir su función. El estado límite se puede catalogar en dos tipos, los de resistencia y los de servicio.

El primero se basa en la seguridad o capacidad de carga de las estructuras e incluye las resistencias plásticas, de pandeo, de fractura, de fatiga, de volteo, etc. Mientras que los estados límites de servicio se refieren al comportamiento de las estructuras bajo cargas normales de servicio, mismas que tienen que ver con el uso y la ocupación como deflexiones y derivas excesivas, deslizamiento, vibraciones y agrietamientos.

En el método LRFD las cargas de servicio son multiplicadas por los llamados factores de carga o de seguridad. Con este procedimiento se obtienen las cargas mayoradas, las mismas que serán ocupadas en el diseño de la estructura.

1. $U = 1.4D$

2. $U = 1.2D + 1.6L + 0.5(Lr \text{ o } S \text{ o } R)$
3. $U = 1.2D + 1.6(Lr \text{ o } S \text{ o } R) + (0.5L \text{ o } 0.8W)$
4. $U = 1.2D \pm 1.6W + 0.5L + 0.5(Lr \text{ o } S \text{ o } R)$
5. $U = 1.2D \pm 1.0E + 0.5L + 0.2(Lr \text{ o } S \text{ o } R)$
6. $U = 0.9D \pm (1.6W \text{ o } 1.0E)$

En la siguiente tabla se presentan los factores de resistencia característicos que son utilizados para estimar con precisión la resistencia última de una estructura, para lo cual se deben tomar en cuenta ciertas incertidumbres que pueden surgir de varias aspectos involucrados en el proceso de diseño y montaje de las estructuras, aspectos tales como: Mano de obra, dimensiones, resistencia de los materiales etc.

Tabla 20. Factores de Resistencia

Factores de Resistencia o ϕ	Situaciones
1.00	Aplastamiento en áreas proyectantes de pasadores, fluencia del alma bajo cargas concentradas, cortante en tornillos en juntas tipo fricción.
0.90	Vigas sometidas a flexión y corte, filetes de soldadura con esfuerzos paralelos al eje de la soldadura, soldaduras de ranura en el metal base, fluencia de la sección total de miembros a tensión.
0.85	Columnas, aplastamiento del alma, distancia al borde y capacidad de aplastamiento en agujeros.
0.80	Cortante en el área efectiva de soldaduras de ranura con penetración completa, tensión normal al área efectiva de soldadura de ranura con penetración parcial.
0.75	Tornillos a tensión, soldaduras de tapón o muesca, fractura en la sección neta de miembros a tensión.
0.65	Aplastamiento en tornillos (que no sean tipo A307)
0.60	Aplastamiento en tornillos A307, aplastamiento en cimentaciones de concreto