



**GERDAU**

**CORSA**

El futuro se moldea

# **ESTRUCTURAS DE ACERO** **EN LA ARQUITECTURA**

**M.I. Nina Casas Guzik**

Gerdau Corsa. El futuro se moldea.

# ESTRUCTURAS DE ACERO EN LA ARQUITECTURA

## INTRODUCCIÓN

La concepción de una estructura no es algo aleatorio, deriva de una serie de factores y de sus variaciones conscientes y racionales. La concepción arquitectónica desde sus inicios debe tener un compromiso con la estructura. La estructura es el requerimiento básico que todo proyecto debe cumplir y por esta razón deberá entenderse como una fuente de confrontación, incorporación, comprensión y de expresión.

El origen de las formas se encuentra en la sensibilidad e intuición, cualidades innatas al hombre y podrían desarrollarse de manera consciente. Desde el momento en que se construyó la primera edificación, el hombre determinó la estructura intuitivamente. A partir de la praxis (práctica – teoría – práctica) encontró el comportamiento lógico de las estructuras y experimentó sobre la resistencia de los materiales. De igual manera, en la actualidad el arquitecto deberá tener nociones de diseño de estructuras y orientarse por el camino de un método de análisis de estructuras, para así formular un criterio lógico sin delegar necesariamente su trabajo en otros campos disciplinarios.

El presente texto describe brevemente cuáles son las propiedades mecánicas del acero, sus ventajas como material estructural y los criterios de diseño que los arquitectos deberán tomar en cuenta para el desarrollo de un proyecto con estructura metálica.



# PROPIEDADES DEL ACERO

Las propiedades mecánicas del acero representan la resistencia de un miembro estructural bajo sollicitaciones estáticamente aplicadas y se obtienen del diagrama esfuerzo - deformación unitaria (Fratelli, 2003). El acero posee un alto grado de seguridad frente al colapso, dado que la falla de los elementos resistentes no es instantánea como en otros materiales que se caracterizan por ser frágiles. El acero se caracteriza por ser un material dúctil; esto quiere decir que tiene la capacidad de deformarse plásticamente sin romperse. La ductilidad se mide por la reducción del área que sufre la sección transversal de un elemento ante altas tensiones. Un acero será más dúctil mientras mayor sea la reducción de su sección transversal antes de la ruptura, como se muestra en la Figura 1.

La ductilidad tiene dos ventajas principalmente. La primera es que permite la redistribución de altas tensiones locales, y la segunda, es que permite grandes deformaciones antes de la ruptura, lo que alerta ante la presencia de altas sollicitaciones.

Cuando el acero es sometido a esfuerzos de tensión continuos e incrementales, el material atraviesa tres fases que se muestran en la Figura 2. Esta figura representa el comportamiento de una probeta de acero sometida en laboratorio a esfuerzos gradualmente crecientes hasta la fractura. La primera fase, la fase elástica, establece que la deformación es proporcional al esfuerzo. Es decir, que la deformación unitaria  $\epsilon$  es directamente proporcional al esfuerzo  $\sigma$ . En esta primera fase la deformación elástica es reversible, es decir, el elemento vuelve a su estado original cuando se deja de aplicar la carga. A la pendiente de la recta en el rango elástico se le llama *módulo de elasticidad* y se obtiene como el cociente entre el esfuerzo y la deformación unitaria.

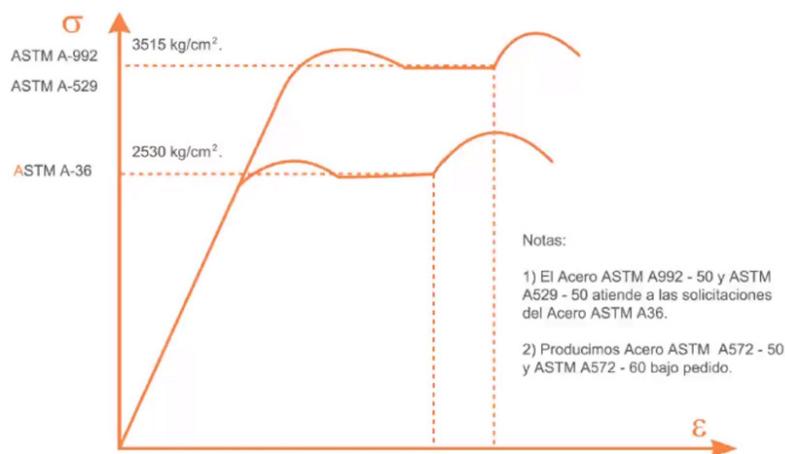


Figura 2. Gráfica esfuerzo-deformación del acero A992

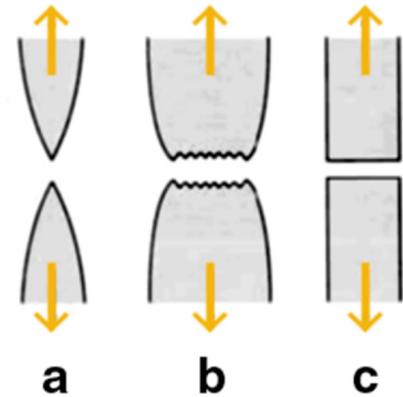


Figura 1. Tipos de fracturas en el acero.

- a) Fractura dúctil
- b) Fractura moderadamente dúctil
- c) Fractura frágil

Una vez que se sobrepasa el límite de deformación proporcional, comienza una fase plástica, en la cual se producen deformaciones crecientes sin incremento proporcional de los esfuerzos. La deformación plástica es una deformación permanente, a diferencia de la deformación elástica. Durante la fase plástica se produce un valor constante de la tensión llamado *límite de fluencia* o límite de cedencia. A partir de este punto el comportamiento del material no es lineal. El esfuerzo de fluencia es la constante más importante para el cálculo de las estructuras de acero.

La tercera y última fase es la de ruptura. El esfuerzo último de un material representa la carga máxima que soporta el elemento previo a su ruptura o fractura.

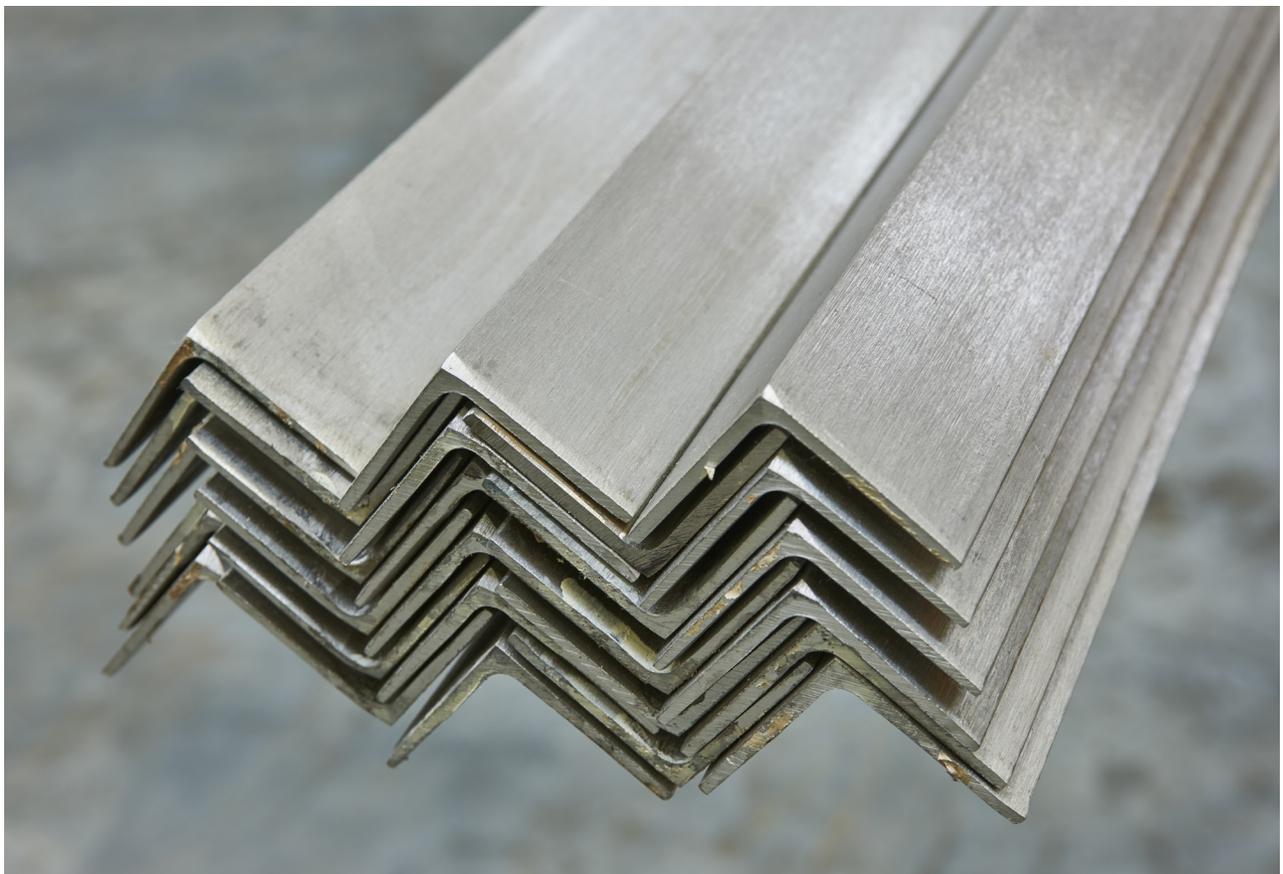
Por lo tanto, se pueden resumir las **propiedades del acero** descritas anteriormente como sigue:

**Elasticidad:** capacidad que tiene un material para regresar a su forma original después de ciclos sucesivos de carga y descarga.

**Plasticidad:** deformación permanente provocada por una tensión igual o superior al límite de fluencia del material.

**Ductilidad:** capacidad que tiene un material para deformarse una vez que se supera el límite de proporcionalidad. La ductilidad mide la posibilidad de que el material incurse en el rango plástico sin pérdida apreciable de la capacidad resistente del elemento estructural solicitado.

El **coeficiente de dilatación** del acero es otra propiedad que debe considerarse en el diseño de estructuras de acero, ya que es un material que puede estar sometido a amplias variaciones de temperatura. En zonas con gran amplitud térmica las conexiones deben ser diseñadas como flexibles para permitir que se expandan.





La **resistencia a la corrosión** se define como la capacidad de resistir al deterioro en la intemperie o medio ambiente agreste. La corrosión es resultado de una acción electroquímica provocada por el efecto de la humedad, y se mide por el espesor del material perdido en milésimas de pulgadas (*mills*). La protección más común contra la corrosión son las pinturas anticorrosivas, las cuales deben recibir constante mantenimiento.

La **soldabilidad** del acero permite la continuidad del material y permite mantener las propiedades mecánicas y químicas entre dos o más componentes de un mismo elemento estructural. Una aproximación para determinar el grado de soldabilidad de un acero es el criterio del *carbono equivalente* en relación con las aleaciones que contiene.

La **tenacidad** es la capacidad que tiene un material de absorber energía antes de que sobrevenga la fractura. El grado de tenacidad de un material se mide como el área encerrada por la curva del diagrama esfuerzo-deformación del acero.

Finalmente, la **dureza** se define como la resistencia que tiene un material a la penetración de su superficie.

## VENTAJAS DEL ACERO COMO MATERIAL ESTRUCTURAL

Una ventaja del acero es su **alta resistencia** a los distintos tipos de esfuerzos. Como se mencionó anteriormente, el acero es un **material dúctil**, es decir, que tiene la capacidad de sufrir grandes deformaciones plásticas antes de llegar a la ruptura.

Dos de los factores más importantes que influyen en la elección de un material para la construcción de una obra es lo **económico** y **tiempo de ejecución**. Esta selección no se reduce únicamente al costo directo del material, sino que también se extiende a consideraciones como velocidad y facilidad de montaje y desmontaje, precisión y limpieza en la ejecución, costo de mano de obra, o posibilidades de reciclaje y reutilización de los componentes. Otros factores son la durabilidad y la secuencia de erección que pueden ser incorporados al proceso proyectual.

El Palacio de Cristal, construido en 1851 por Joseph Paxton en Londres, es un ejemplo de cómo pueden intervenir las consideraciones económicas en la elección del material de una obra. El proyecto, ganador del concurso para la Exposición Universal de Londres, cubriría una superficie total de 70,000 metros cuadrados. Si se hubiera construido con tabique, según datos de la época, se tendría que haber paralizado la construcción en tabique en Inglaterra durante un año para dotar a la obra del material necesario.

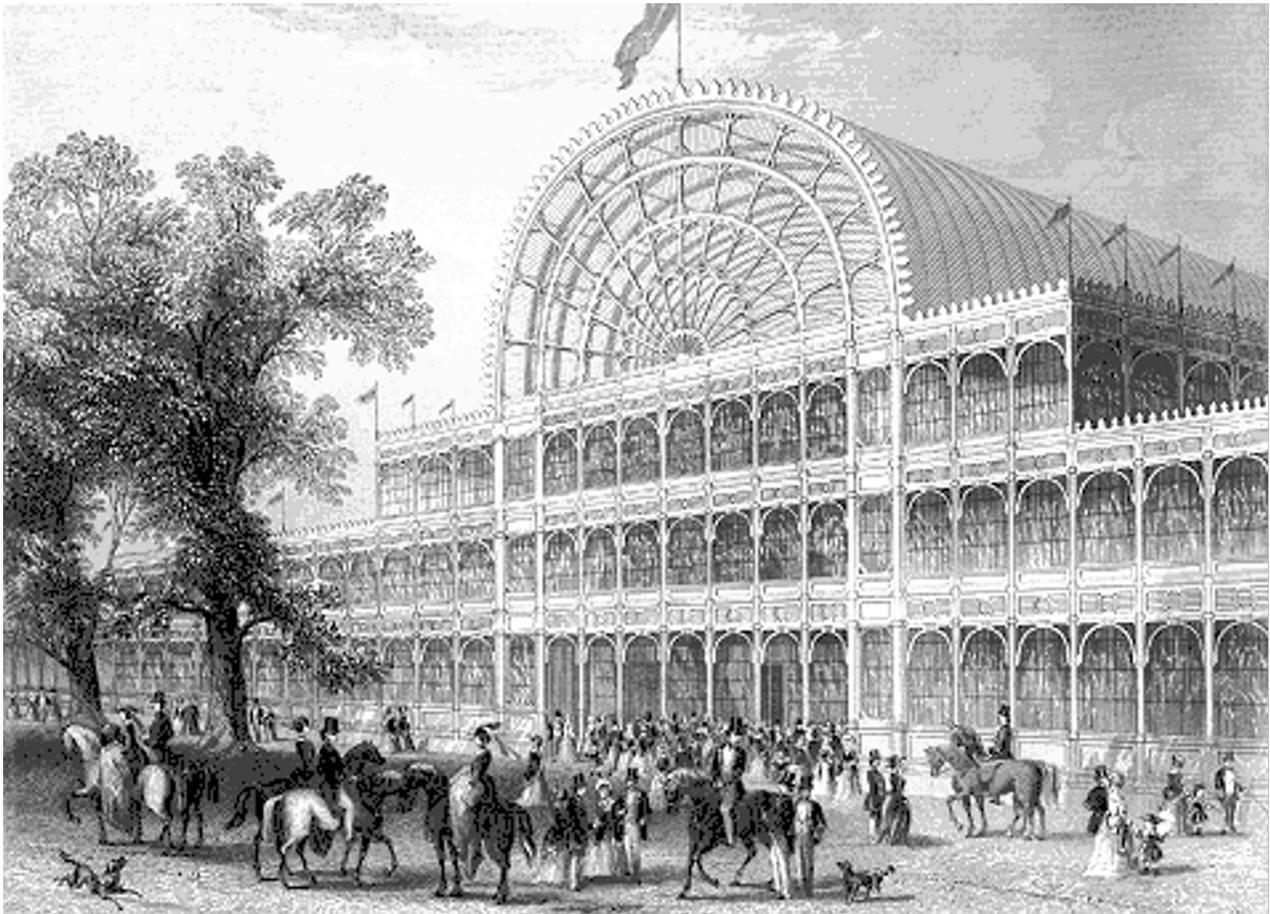


Figura 3. Palacio de Cristal, J. Paxton, Exposición Universal de Londres (1851).

Por lo tanto, la propuesta modular de Paxton, en hierro, cumplía con las exigencias de una obra de rápida ejecución y cumplía con la necesidad de que pudiera ser desmontada una vez finalizada la exposición.

Otra característica importante del acero es que tiende a ser empleado en estructuras reticulares espaciales, en contraste con el concreto reforzado y la mampostería que, por lo general, tienden a ser estructuras de masa. En general, el acero permite construir **estructuras más ligeras** que las que se obtendrían empleando otros materiales. Los entramados o retículas se caracterizan por el uso de elementos lineales que concentran los esfuerzos en barras y nudos. Permiten cubrir grandes superficies con la menor cantidad de material posible. Un ejemplo de esto es el Centro George Pompidou de Richard Rogers y Renzo Piano, que se caracteriza por contar con una estructura reticular tridimensional compuesta por piezas industrializadas modulares.

Es recomendable que en las construcciones en acero se realice la **separación entre estructura y envolvente** tanto por razones técnicas, constructivas, como arquitectónicas. Esta separación permite exponer los elementos estructurales y la legibilidad de la lógica estructural toma importancia. En el Hong Kong and Shanghai Bank, la estructura portante, la estructura del cerramiento y el cerramiento mismo son elementos diferenciados que dan cuenta de su función estructural.

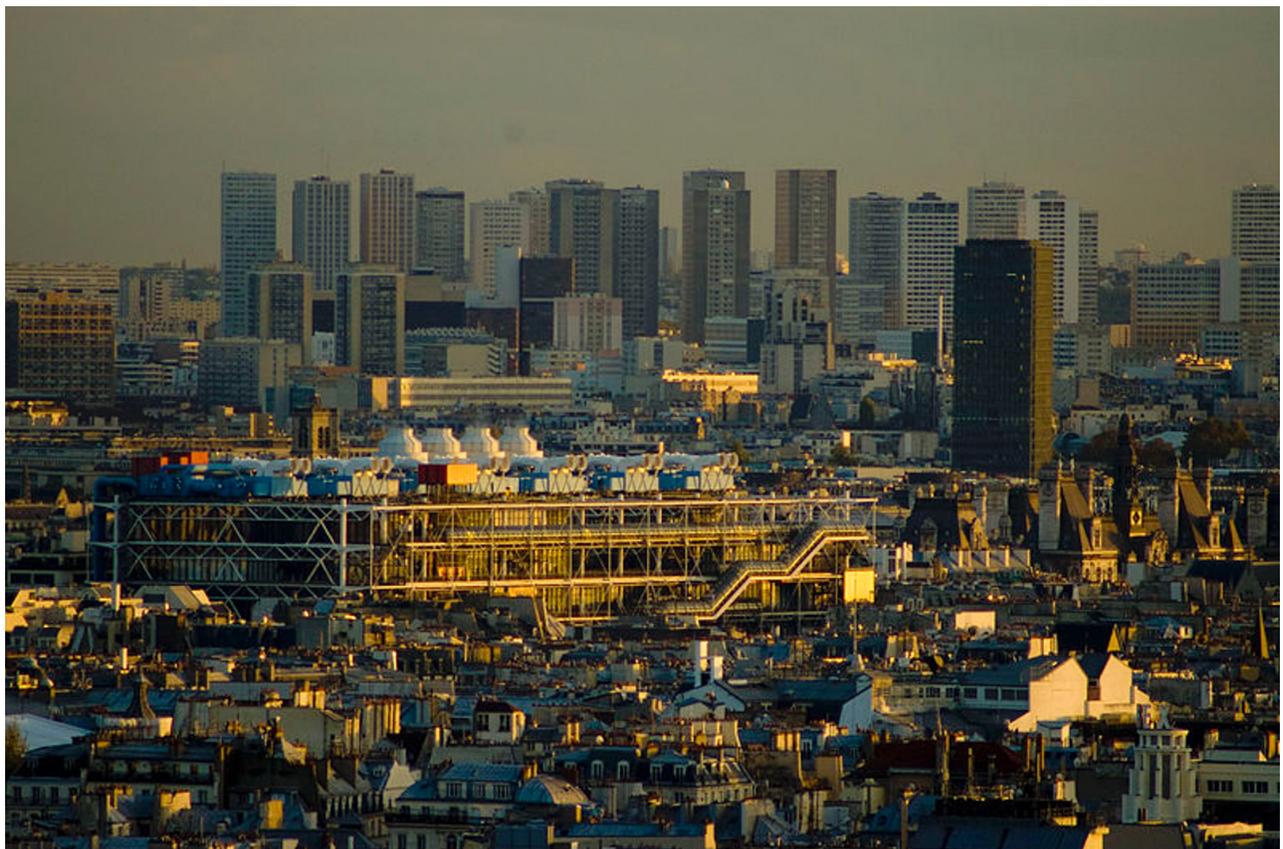


Figura 4. Centro George Pompidou, R. Piano y R. Rogers, París (1977).



Figura 5. Hong Kong and Shanghai Bank, N. Foster, Hong Kong (1986).

Otra ventaja del acero es su **relación masa – resistencia**, lo que resulta en un bajo peso propio de la estructura (densidad estructural). Un ejemplo de ello es el domo geodésico que diseñó Buckminster Fuller para el Materials Park en Ohio. La superficie total que cubre el domo es de 4,645 metros cuadrados y el peso de la estructura es de 80 toneladas. Esto implica que la densidad estructural es de 17 kilogramos por metro cuadrado, por lo que se puede clasificar como una estructura ligera.

El acero, por ser producto de origen industrial, ofrece garantías de control de calidad ya que la **homogeneidad** del material produce comportamientos conocidos y previsibles.

Otra ventaja del acero es que ofrece una gran **variedad de secciones**. Los productos obtenidos se pueden clasificar en: planos, no planos, tubulares y barras.

La posibilidad de **salvar grandes claros** es otra ventaja de la construcción en acero, ya que la geometría puede adaptarse a la distribución de los esfuerzos. Esto permite flexibilidad en el uso de las superficies. Un ejemplo de ello es la cubierta del estadio de Múnich, diseñada por Frei Otto, mostrada en la Figura 7.

La posibilidad de modificar estructuras para **rehabilitación o refuerzo**, permitiendo extender la vida útil de un edificio, también es una ventaja del acero como material estructural.

La **facilidad de montaje** de una estructura dependerá de las condiciones atmosféricas. El acero puede emplearse en zonas que presentan grandes amplitudes térmicas.



Figura 6. American Society for Metals' Headquarters, B. Fuller, Ohio (1959).



Figura 7. Estadio Olímpico de Múnich, F. Otto, Múnich (1972).

El **desmontaje y reúso** es una interesante ventaja de las estructuras de acero. Un edificio de acero puede no ser monolítico y, por lo tanto, las partes pueden ser desmontables para colocarlas en otro sitio. Esta cualidad permite una gran flexibilidad arquitectónica frente a los usos y a la iluminación natural. El reúso de alguna, o la totalidad de las partes que componen un edificio, puede ser considerada como una estrategia de sustentabilidad que agrega un valor al acero como material constructivo, a diferencia de otros materiales.

Finalmente, el acero contribuye al **reciclaje** usando chatarra como fuente de producción, lo que ayuda a reducir desechos sólidos, líquidos y gaseosos, reduce el impacto energético de la primera extracción para su producción a partir de su uso por muchas generaciones de nuevo acero. El acero se considera el material más reciclado a nivel mundial.

## CRITERIOS DE ESTRUCTURACIÓN

Todos los miembros de una estructura deberán elegirse y disponerse con el objetivo de que la estructura sea segura, resistente, dúctil, económica y óptima desde el punto de vista de la eficiencia y de la facilidad de montaje.

Existen tres actores principales que deben interactuar para lograr que un proyecto de acero sea eficiente: el cliente (inversionista o arquitecto), el ingeniero estructural y el fabricante de la estructura metálica. Entre las responsabilidades del cliente se encuentran:

- Estar convencido de que la estructura de acero es la mejor opción constructiva para su proyecto.
- Contratar los servicios de un despacho de cálculo competente para que realice un diseño seguro y eficiente.
- Contratar a un fabricante de estructura metálica que cuente con la experiencia y capacidad para fabricar la estructura.



Las recomendaciones del ingeniero estructural son:

- Seleccionar el tipo de material más adecuado para cada proyecto, ya sean placas soldadas, perfiles laminados o armaduras. Los precios de los perfiles laminados y de los aceros planos varían durante las diferentes épocas del año. Si el diseñador está al tanto de estas variaciones, podrá elegir el diseño más económico para ese momento.
- Fomentar el uso de perfiles comerciales, preferentemente que no sean de importación.
- Emplear secciones estandarizadas. Resulta más racional elegir, entre un grupo de vigas de claros similares y cargas aproximadamente iguales, la que se encuentre más solicitada y usar el mismo perfil para el resto de los tramos considerados en el análisis. Esto da como resultado una armonía estructural y mayor sentido estético del conjunto.
- Evitar buscar, como propósito principal, el peso mínimo de la estructura ya que puede desvirtuarse cuando se trata de la economía global. Una gran variedad de secciones en el proyecto exige numerosas conexiones, lo que resulta en una costosa mano de obra, una prolongación en los tiempos de ejecución y, por lo tanto, deriva en una estructura costosa.
- Orientar correctamente los largueros (paralelos a la dirección larga) para evitar desperdicios resultado de cortes y para no provocar mayores deflexiones en los elementos de mayores claros.
- Utilizar conexiones atornilladas cuando sea posible. La prefabricación no sólo agiliza el proceso constructivo, sino que permite un fácil ensamblaje de las diferentes secciones en el taller. Esto resulta en una mejor calidad de la ejecución de los miembros y conexiones.
- Especificar soldaduras de filete en vez de penetración completa cuando sea posible para reducir costos de mano de obra y de pruebas para soldadura.
- Procurar que todos los elementos resistentes permitan que las cargas se transmitan a la cimentación de la forma más directa posible, evitando trayectorias innecesarias que deriven en un comportamiento ineficiente de la estructura.
- En el caso donde las vigas muy esbeltas de almas delgadas requieran incrementar su resistencia con atiesadores, se podría lograr la economía de mano de obra al incrementar el espesor del alma, con lo cual se eliminarían los atiesadores y sus respectivos cordones de soldadura.

Y finalmente, entre las recomendaciones del fabricante de estructura metálica se encuentran:

- Elaborar un presupuesto de acuerdo con el proyecto estructural.
- Analizar procedimientos de fabricación y montaje.
- En edificios de altura sobre elevada, colocar secciones de columnas con la mayor altura posible, sin cortar, evitando empalmes innecesarios. Cuando éstos deban ejecutarse, la conexión se ubicará en el tercio inferior respecto a la cota del piso en cuestión. Este punto coincidirá aproximadamente con el punto de inflexión de las solicitaciones impuestas a la estructura.
- Comprar con anticipación los materiales requeridos.
- Contar con los certificados de calidad de los materiales e insumos del proyecto.
- Establecer un calendario de fabricación de acuerdo con el programa del proyecto.
- Contemplar accesorios metálicos como guías para elevadores, anclas, fijación para precolados y demás elementos que no sean parte de la estructura principal.
- Prever el transporte de los materiales a la obra. Si los perfiles tienen grandes longitudes, resulta complejo disponer de un adecuado medio terrestre para llevarlos a pie de obra. A mayor tamaño y peso que se transporte, mayor será el costo del transporte, pero el trabajo en campo se reducirá si las piezas se ensamblan desde el taller. A mayor trabajo en campo, mayor costo. Se decidirá la opción que presente las mayores ventajas.
- Para mayor detalle en el diseño de estructuras de acero, consultar el libro de Diseño Básico de Estructuras, que está en nuestro sitio web.  
<https://www.gerdaucorsa.com.mx/>



## REFERENCIAS

Vitruvio Polión, Marco. 2006. *Los diez libros de arquitectura*, Madrid: Alianza Forma.

De Fusco, Renato. 1994. *Historia de la arquitectura contemporánea*. Madrid: Celeste Ediciones.

Fratelli, María Graciela. 2003. *Diseño de estructuras metálicas*. Caracas: Unive Ediciones.

Vinnakota, Sriramulu. 2006. *Estructuras de acero: comportamiento y LRFD*. Ciudad de México: Mc Graw Hill Interamericana Ediciones.



# DIRECTORIO

## OFICINAS COMERCIALES

T. +52 55 5262 7300 / Av. Ejército Nacional 216 P.2, Anzures, Miguel Hidalgo, CDMX, 11590.

## ÁREA DE DESARROLLO DE MERCADO

desarrollodemercado@gerdau.com

## PLANTAS

### CD. SAHAGÚN

T. +52 791 913 8105 / Km. 3 Ctra. Mex - Cd. Sahagún, Zona Ind. Tepeapulco, Cd. Sahagún, Hidalgo, 43990

### TULTITLÁN

T. +52 55 5894 0044 / 2487 2065 / Primera Sur S/N, Independencia, Tultitlán, Edo. de México, 54915

### LA PRESA

T. +52 55 5003 4030 / 5062 1916 / Av. La Presa 2, Zona Industrial La Presa, Tlalnepantla, Edo. De México, 54187

## DISTRIBUCIÓN

### CDMX

T. +52 55 5089 8930 / Año 1857 8, Ticomán, Gustavo A. Madero, CDMX, 07330

### MONTERREY

T. +52 81 8748 7610 / Blvd. Carlos Salinas de Gortari 404, Centro Apodaca, Nuevo León, 66600

## PATIOS DE CHATARRA Y CENTROS DE RECOLECCIÓN

### CD. SAHAGÚN

T. +52 791 9138 105 / Km. 3 Ctra. Mex - Cd. Sahagún, Zona Ind. Tepeapulco, Cd. Sahagún, Hidalgo, 43990

### LA PRESA

T. +52 55 5003 4030 / 5062 1916 / Av. La Presa 2, Zona Industrial La Presa, Tlalnepantla, Edo. de México, 54187

### LOS REYES

T. +52 55 5856 1651 / Tepozanes Los Reyes, Acaquilpan, México, 56428

### GUADALAJARA

T. +52 33 3668 0285 / 36702769 / Av. 18 de Marzo 531, La Nogalera, Guadalajara, Jalisco, 44470

### SAN JUAN

T. +52 55 2603 3275 / 5262 7359 / San Juan 675, Granjas Modernas, CDMX, 07460

### TULTITLÁN

T. +52 55 5894 0044 / 2487 2065 / Primera Sur S/N, Independencia, Tultitlán, Edo. de México, 54915

### VERACRUZ

T. +52 229 923 1359 / Ctra. Fed. Aluminio L. 7 o Camino Puente Roto Km. 1.5, Nuevo Veracruz, Veracruz, 91726



**GERDAU CORSA**

El futuro se moldea

[gerdaucorsa.com.mx](http://gerdaucorsa.com.mx)



**Gerdau Corsa. El futuro se moldea.**