



GERDAU
CORSA

El futuro se moldea

ACERO APARENTE

Gerdau Corsa. El futuro se moldea.

gerdaucorsa.com.mx

Acero aparente

M.I. Nina Casas Guzik

Introducción

El término “acero aparente” hace referencia al acero expuesto, es decir, a aquellas obras construidas con estructuras metálicas que no tienen fachadas con muros de mampostería, plafones u otros materiales que ocultan el acero. A finales del siglo XVIII sólo se aceptaba el acero aparente en estructuras de puentes y hasta el siglo XIX fue cuando empezó a ser aceptado su uso en edificios. El acero aparente en la arquitectura del siglo XX se desarrolló como consecuencia del movimiento *High Tech*, cuyos máximos exponentes fueron los arquitectos Norman Foster, Renzo Piano, Nicholas Grimshaw, Richard Rogers, entre otros.

Primera época

Después del descubrimiento del fuego, la aparición del hierro fue uno de los eventos que marcaron la historia de la evolución humana. Se cree que el hierro fue hallado cuando del fuego emanaba una sustancia que escurría sobre las cenizas y se endurecía cuando se enfriaba. Los primeros usos del hierro fueron empleados por los cazadores primitivos, pues ellos elaboraron los primeros instrumentos de caza y armas de defensa. El objeto más antiguo de hierro del que se tiene referencia es una pequeña pieza encontrada en el interior de una pirámide en Egipto, cuyo origen data del año 2000 a.C. (Soto, 2014).

A finales del siglo XVII el hierro se producía de manera tradicional en pequeñas cantidades; todos los productos eran de pequeño formato y de baja calidad. Los primeros usos del hierro fueron de orden decorativo, como en barandales, rejas y abrazaderas de puertas. Al inicio los perfiles de hierro se utilizaron como refuerzo en armaduras de madera y posteriormente fueron utilizados para refuerzos de albañilerías y para soporte de dinteles.

Cuando el hierro comenzó a ser utilizado como elemento estructural de refuerzo, generalmente quedaba oculto tras las fachadas de piedra. Hasta 1790 no se aceptaba el hierro como elemento estructural aparente en las construcciones, por lo que comenzó a usarse en puentes. El primer puente de arco de hierro fundido fue el Puente Coalbrookdale, proyectado por Abraham Darby, construido entre 1777 y 1779 sobre el Río Severn en Inglaterra. Los arcos, fundidos en un molde de arena abierto, salvan 30.5 m de claro. Esto representó una transición entre la construcción tradicional de madera y piedra, y un nuevo sistema constructivo en gestación: el hierro.



Figura 1. **Puente Coalbrookdale**, T.F. Pritchard, Inglaterra, 1777-1779

Hierro aparente en el siglo XIX

Con la Revolución Industrial el uso del hierro tuvo un rápido crecimiento. El hierro ofrecía una multitud de nuevas posibilidades para la construcción, para la prefabricación y para el ensamblaje de complejas estructuras, con el fin de lograr grandes claros, con soportes simples y esbeltos y, además, lograr envolventes transparentes.

Los primeros edificios fabriles contaban con un muro perimetral de albañilería que contenía en su interior varias plantas constituidas por columnas, vigas y losas de madera, los cuales se fueron sustituyendo gradualmente por piezas de fundición. La sustitución se inició con las columnas de hierro fundido, ya que respondían de mejor manera a las compresiones que a las flexiones. Estos edificios representaron una oportunidad para el desarrollo de sistemas estructurales con entramado en hierro forjado, superando la etapa anterior en la que sólo se realizaban piezas aisladas.

En 1832 se terminó la construcción de una de las primeras obras con estructura de hierro expuesto en su fachada: la Commissioner's House ubicada en Bermuda. El edificio es ejemplo excepcional de la compatibilidad del acero con otros materiales y fue precursora de las estructuras de hierro aparente en la arquitectura.



Figura 2. **Commissioner's House**, E. Holl, Bermuda, 1832

A inicios del siglo XIX el antagonismo entre técnica y arte tuvo su manifestación en dos escuelas francesas: la Politécnica y la de Bellas Artes. Estas corrientes marcaron la ruptura entre la idea de construir y hacer arquitectura. El creciente uso del hierro como material estructural fue despreciado por las Bellas Artes, razón por la cual fueron los ingenieros los primeros en construir puentes metálicos, naves, fábricas, grandes almacenes, mercados y pabellones para exposiciones universales. Tras la aparente separación entre arquitectos e ingenieros apareció un nuevo concepto a partir de su asociación para lograr obras novedosas. Estas nuevas construcciones concebidas comenzaron a exhibir su osamenta de acero, como parte de una expresión característica de una nueva arquitectura que conjugaba el uso funcional y económico de la estructura.

Los avances técnicos de la época dieron pie a la construcción del Palacio de Cristal en Londres de 1851. El diseño estuvo a cargo de Joseph Paxton como parte de una exposición para fomentar el comercio internacional. El proyecto del pabellón tenía que tomar en cuenta la velocidad de construcción y la necesidad de tener una apariencia ligera y provisional en su emplazamiento. Construido en su totalidad por hierro, vidrio y madera, pudo construirse en tan sólo seis meses gracias a la prefabricación y a la modulación de todas las piezas. Debido a la flexibilidad del material con la que fue concebido, el edificio pudo ser reutilizado, ampliado y renovado. En 1936 fue destruido a causa de un incendio.

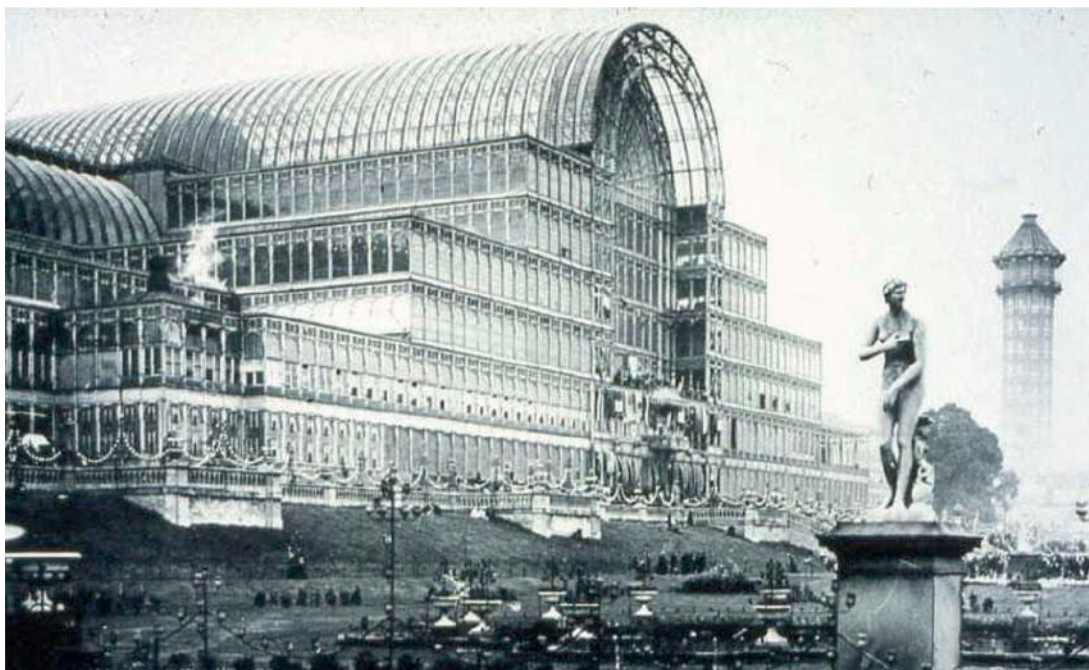


Figura 3. Palacio de Cristal, J. Paxton, Londres, 1851

El Palacio de Cristal causó controversia, porque entre los 245 proyectos que se hicieron un año antes para la Primera Exposición Universal de Londres, el comité no eligió a ninguno de ellos pues “no representaban la manifestación internacional del mundo industrial” (De Fusco, 1994). Se recurrió entonces a Joseph Paxton, jardinero hijo de campesinos, para que diseñara la estructura. Aquello causó polémica entre los arquitectos de la época quienes la llamaron “la farsa de cristal”, el “monstruo de cristal”, entre otras calificaciones. Se consideró paradigmático debido a que era la primera vez que una estructura de hierro aparente asumió un valor arquitectónico.

Para la Exposición Mundial de 1889 surgió la Torre Eiffel como otra obra de gran envergadura para la arquitectura con hierro aparente. Esta torre constituyó otro ejemplo de trabajo en equipo entre los ingenieros Gustave Eiffel, M. Koechlin y Naugier y el arquitecto E. Sauvestre. La torre Eiffel permanece hasta nuestros días como un símbolo de las estructuras de hierro aparente. La torre de 300 metros de altura encarna el triunfo del cálculo estructural en la construcción y la irrupción de una estructura de estas características en el paisaje arquitectónico moderno. La transparencia que se desmaterializa se logró gracias al uso del hierro como material aparente, aun cuando al principio no fue reconocida por los habitantes de la ciudad e incluso existieron protestas contra su construcción (*Le Temps*, 1887).

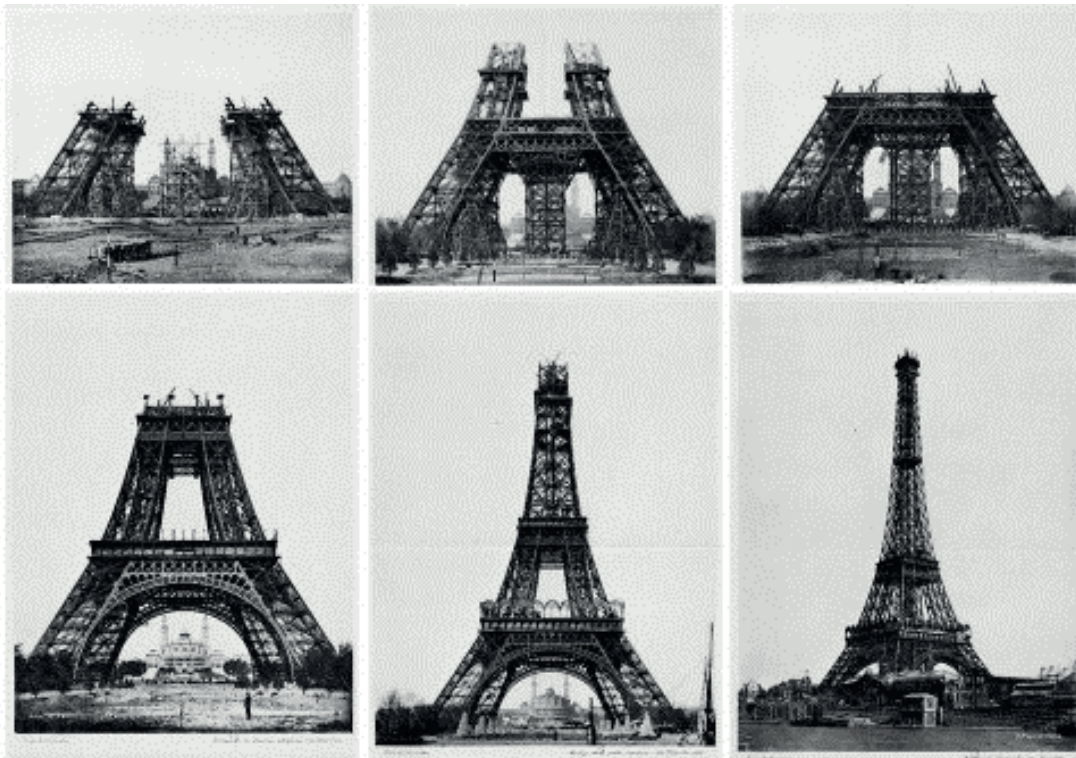


Figura 4. Torre Eiffel, diferentes etapas constructivas, G. Eiffel, París, 1889

Junto a la Torre Eiffel se construyó, también para la Exposición Mundial, la hoy desaparecida Galería de las Máquinas de Ferdinand Dutert y Victor Contamin. La nave poseía 420 metros de largo, 115 metros de ancho y 43.50 metros en altura. A diferencia de la Torre Eiffel, que recurrió a un montaje tradicional mediante grúas uniendo piezas, en la Galería de Máquinas se utilizaron grandes elementos prefabricados que fueron izados y apoyados en andamios para luego ser ensamblados. Antes de la Galería de Máquinas, el arco triarticulado sólo se había utilizado principalmente para puentes, por lo que su aplicación en este caso fue un gran riesgo de acuerdo con las concepciones estéticas que hasta ese momento habían sido validadas. El gran apoyo tradicional característico de las estructuras en su punto de encuentro con el terreno -aquel que da seguridad y estabilidad- parecía desaparecer en la Galería Máquinas. La pequeña articulación en la base se contraponía a la gran magnitud de la estructura.



Figura 5. **Galería de Máquinas**, F. Dutert y V. Contamin, París, 1889

A finales del siglo XIX destacaron las construcciones del movimiento conocido como “Escuela de Chicago”, que remiten a los Estados Unidos en la década de 1880. Con esta expresión se hace referencia al conjunto de obras que formaron parte del centro administrativo de la ciudad, convertido en el mayor centro de intercambio y nudo ferroviario de Estados Unidos. Después del incendio en Chicago de 1871, se reconstruyó la ciudad y se incrementó el valor de los solares edificables; causa que provocó el nacimiento de los rascacielos, primero con materiales pétreos y después con estructura metálica. El inicio de la construcción de los rascacielos no hubiera sido posible sin el advenimiento del ascensor, las innovaciones estructurales de la construcción con hierro y las nuevas instalaciones de teléfono y correo.

Durante el Siglo XIX, mayores avances permitieron una total independencia entre los elementos estructurales y los cerramientos. Con el movimiento moderno, las pequeñas secciones de acero generalmente fueron combinadas con planos continuos de concreto y fachadas acristaladas, independizando el plano del cerramiento del eje estructural y permitiendo una mayor libertad para combinaciones entre materiales.



Figura 6. Tienda Prada, T. Stent, Nueva York, 1882.

En la ciudad de Nueva York destacó una estructura de hierro aparente, la cual fue sede del Guggenheim en Soho y actualmente alberga una tienda Prada. Se trata de un edificio con fachada de mampostería y puertas y ventanas de hierro forjado. El edificio fue construido entre 1881 y 1882 por el arquitecto Thomas Stent. En su fachada se puede observar la perfecta armonía entre los elementos de mampostería y el hierro forjado utilizado como parte de la estructura expuesta, la cual enmarca los módulos acristalados.

Acero aparente en el siglo XX

El progreso estructural de la construcción en acero aparente se vio reflejado en edificios industriales y de oficinas. Las vigas soldadas de alma llena sustituyeron cada vez más a la viga con alma hueca. Mientras que en la arquitectura industrial la estructura fue dejada a la vista, en los edificios residenciales fue escondida detrás de un revestimiento, debido a las normas anti-incendio, y principalmente por motivos técnicos y estéticos.

Después de la Segunda Guerra Mundial, la industria redescubrió las posibilidades que el acero ofrecía para la construcción. Entre 1940 y 1953, Mies van der Rohe planificó el nuevo campus del Instituto Tecnológico de Illinois y construyó una serie de edificios con estructura de acero aparente. El más destacado de todos es el Crown Hall (1956). Este edificio representa la primera realización a gran escala del concepto de edificio con planta libre. El edificio que alberga la Escuela de Arquitectura y Urbanismo y el Departamento de Diseño del IIT, tiene cuatro marcos de acero a intervalos de 18 metros compuestos por columnas en sección H y vigas en sección I, que soportan una cubierta que tiene volados de seis metros hacia cada extremo.



Figura 7. **Crown Hall**, Instituto Tecnológico de Illinois, Mies van der Rohe, Chicago, 1956

Después de 1947 un invento determinó la carrera y la vida del ingeniero Buckminster Fuller. Se trata del domo geodésico, que era una estructura ligera de acero aparente cuyo principio está basado en la “*synergetic geometry*”. Ésta es la exploración sobre los principios del diseño en la naturaleza. Estos principios condujeron a Fuller a descubrir que la compresión y la tensión están balanceadas en los edificios y pueden utilizarse en una misma estructura. Fuller obtuvo la patente por el domo geodésico en 1954. Un ejemplo de estructura construida bajo esta patente fue el domo que cubre las oficinas de la *American Society for Metals*, ubicada en Ohio.



Figura 8. **American Society for Metals - Headquarters**, B. Fuller, Ohio, 1959

A inicios del siglo XX Fuller diseñó la Casa Dymaxion como prototipo de vivienda temporal, prefabricada, con facilidad de transporte y ensamblaje. La estructura de la casa constaba de una sola columna central. Serviría para la Segunda Guerra Mundial debido a su bajo costo (\$40,000 USD) y rápida construcción. “Bucky”, como lo llamaban, apoyaba la industrialización de la vivienda y la producción en masa.

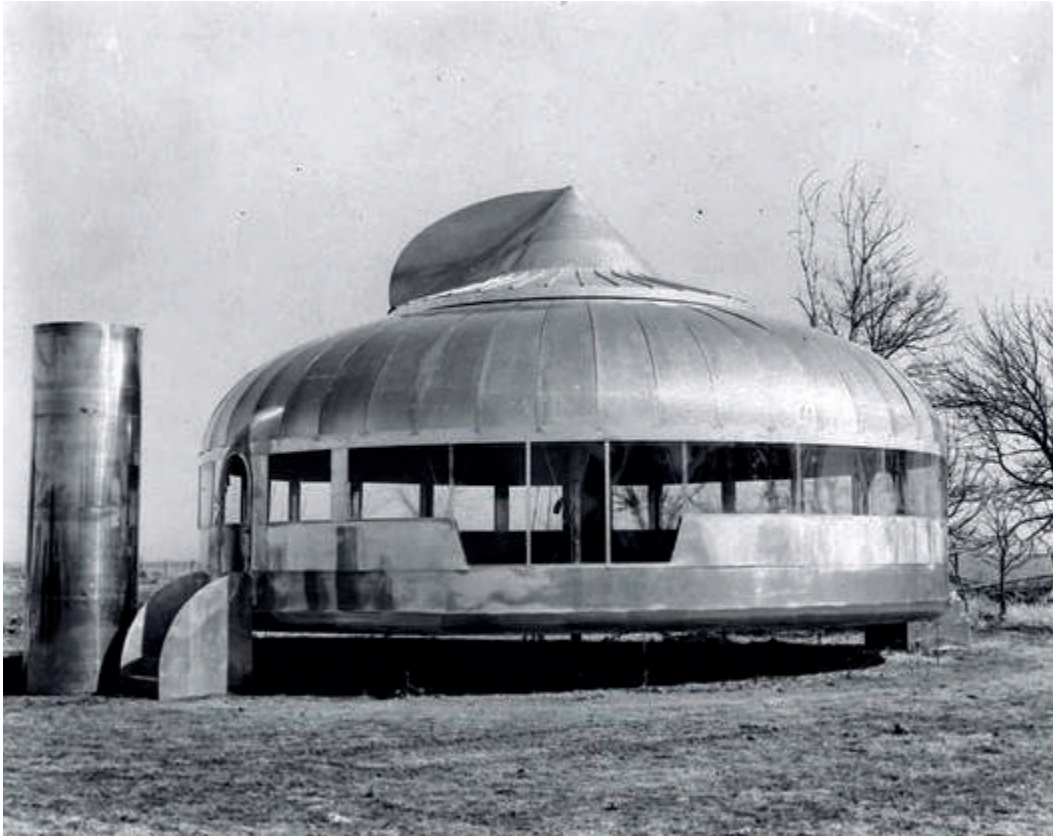


Figura 9. Casa Dymaxion, B. Fuller, 1945

Frei Otto fue un arquitecto e ingeniero alemán que centró su obra en las estructuras ligeras que al igual que la naturaleza, reducían el empleo de material y permitían la solución de estructuras más diáfnas. Así, mediante las membranas tensadas por cables, logró construir estructuras capaces de cubrir grandes claros con la única ayuda de postes que transmitían las cargas y que, por su ubicación, permitían obtener espacios abiertos y de grandes dimensiones. Frei Otto logró desarrollar superficies ligeras con el uso de membranas flexibles cuya estructura de acero siempre se encuentra expuesta.



Figura 10. Estadio Olímpico de Munich, F. Otto, Alemania 1968-1972

Con estos antecedentes, surgieron los arquitectos del siglo XX que acuñaron en los años setenta el término *High Tech*. Entre estos arquitectos se encuentran Norman Foster, Renzo Piano y Richard Rogers. El movimiento, también llamado expresionismo estructural, surgió en Europa y en Estados Unidos como resultado de la innovación científica y tecnológica después de la Segunda Guerra Mundial.

Las características principales de la arquitectura *High Tech* son que la arquitectura confía plenamente en el uso de la razón, se fomenta la exposición de los componentes estructurales y de instalaciones, confía en el desarrollo de la ciencia, busca la estética de la ingeniería (una estética industrial), promueve el uso de componentes prefabricados, busca elementos de detalle (atiende las conexiones entre elementos), busca ligereza, transparencia y tener plantas libres.



Figura 11. **Hongkong and Shanghai Bank Headquarters**, N. Foster, China, 1986

Cabe recalcar que los elementos técnicos antes mencionados, para generar la estética industrial, no se empleaban únicamente para fines estéticos sino para fines funcionales también. Respondieron a una exigencia proyectual y funcional, buscando siempre el diseño de todos los componentes para el edificio, fabricados *ex profeso*, con la mejor manufactura rememorando al funcionalismo del Movimiento Moderno.



Figura 12. **Pinacoteca Giovanni y Marella Agnelli**, R. Piano, Italia, 2002

En términos generales, el concepto estructural y la configuración de los detalles (la manera de ensamblar) es decisiva en la definición de la apariencia que tendrá una estructura terminada. En el Inmos Center de Richard Rogers se puede apreciar la jerarquización de los elementos respecto de las solicitaciones a las que están sometidos, la diferenciación de las partes y el cuidadoso diseño de las uniones en acero.



Figura 13. Inmos Center, R. Rogers, Gales, Reino Unido, 1982

Acero aparente en el Siglo XXI

Antes de la Segunda Guerra Mundial el principio de la construcción de edificios en altura se consolidó con base en las estructuras esqueléticas. Los rascacielos surgieron como un sistema de marcos de acero, donde los elementos verticales de las fachadas quedaban a la vista, acentuando el gesto vertical. Con la independización definitiva de la fachada con respecto a su rol estructural, se inició el cerramiento modular acristalado, el cual dio paso al muro cortina.

El edificio Burj Khalifa, antes conocido como Burj Dubai (2004-2010) es hasta ahora el edificio construido más alto del mundo. La cimentación de este edificio es la más grande jamás construida. La cimentación del edificio está conformada por una estructura de concreto reforzado y acero desplantada sobre un sistema compuesto por 192 pilotes con 50 m de profundidad.

Todos los entresijos tienen como estructura portante al núcleo central, de donde se despliegan los lóbulos que, por su geometría, tienen una gran resistencia a efectos de torsión. La estructura del edificio está compuesta por concreto reforzado hasta la planta 156 (586 m de altura) y a partir de ese nivel, la estructura de las plantas es de acero estructural, lo que hace que la torre sea más ligera.



Figura 14. Torre Burj Khalifa, A. Smith y SOM, Dubai, 2010

El **acero corten** es un material empleado en obras de la arquitectura contemporánea cuya característica principal es que no se ve afectado por la corrosión. Su composición química (aleación de acero con níquel, cromo, cobre y fósforo) permite que su oxidación tenga unas características especiales que protegen a la pieza frente a la corrosión atmosférica. Por esta razón el material tiene un gran valor y su oxidación puede ser controlada.

El *Port Forum* construido en Barcelona es un ejemplo de estructura cuyo uso del acero corten como material principal, tanto para la estructura como para los revestimientos, sugiere una imagen portuaria tradicional.



Figura 15. **Port Forum**, BCQ, Barcelona, 2006

El *Concert Hall and Exhibition Complex*, situado en Rouen, Francia, rompe con la idea de los auditorios sobrios generando un monumental espacio multiuso en el que se llevan a cabo diversas actividades, desde conciertos de rock hasta mítines políticos. Este edificio ovalado destaca, entre muchas otras características, por el uso del acero aparente tanto en la estructura como en el recubrimiento exterior.



Figura 16. **Concert Hall and Exhibition Complex**,
Bernard Tschumi Architects, Rouen, 2001

El *Vacheron Constantin Headquarters and Watch Factory*, localizado en Geneva, Suiza, alberga la fábrica y las oficinas de una antigua marca de relojes. Fue concebido como un moderno espacio de creación que daba continuidad a una empresa de larga tradición. Se ideó un edificio flexible, con formas orgánicas y con múltiples niveles. Exteriormente, la estructura se recubrió con una malla metálica de acero.



Figura 17. **Vacheron Constantin Headquarters and Watch Factory**, Bernard Tschumi Architects, Geneva, 2004

La estructura del *Walt Disney Concert Hall*, es el hogar de la Orquesta Filarmónica de Los Angeles y fue diseñada como una de las salas de conciertos más sofisticadas del mundo, en lo que a acústica respecta. Las superficies curvas y afiladas, de acero inoxidable pulido, constituyen una masa danzante de volúmenes que brillan al sol entre los rascacielos de la ciudad. El revestimiento metálico del exterior contrasta con la calidez de la madera que predomina en las gradas y en la cubierta del interior del auditorio.



Figura 18. **Walt Disney Concert Hall**, Frank Gehry, Los Angeles, 2003

El edificio *Booster Station* ubicado en Amsterdam, fue concebido como un objeto de diseño en sí mismo y no como un mero contenedor de las bombas que transportan las aguas residuales hacia la planta de tratamiento. La piel de acero aparente que define el perfil de la estación alude metafóricamente a un motor. Sin agregar más volumen que el necesario, la forma final del edificio es el resultado de su función.



Figura 19. **Booster Station**, Group A, Amsterdam, 2006

También se puede utilizar el acero aparente en entramados como en la *White Chapel* ubicada en Osaka, Japón. Una cortina compuesta por argollas de acero entrelazadas, guardan la intimidad del interior de la capilla. Esta piel metálica permite que, durante el día, la luz natural penetre en el recinto de manera generosa, y que, durante la noche, la edificación se transforme en una linterna que irradia la luz hacia el exterior.

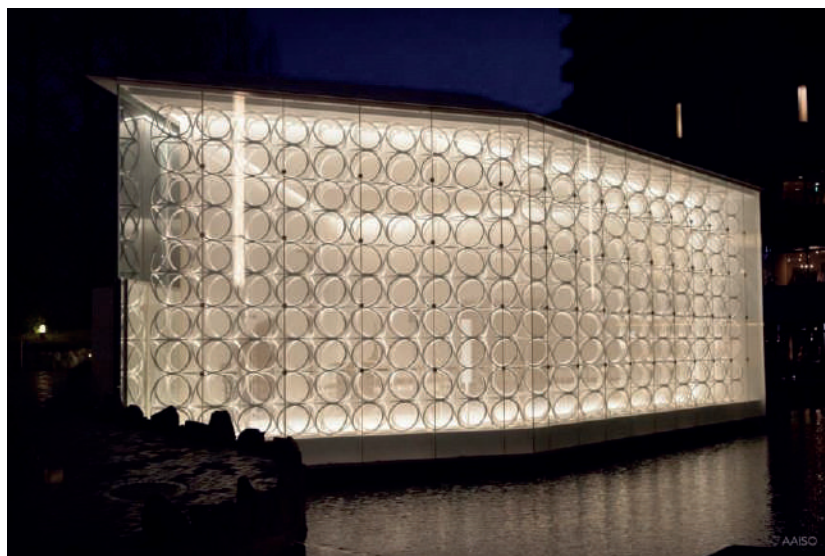


Figura 20. **White Chapel**, Jun Aoki, Osaka, 2006

En Milán, se encuentra un ejemplo de cubierta ondulante de cristal laminado cuya estructura compuesta por rombos de acero forma cráteres, dunas y se extiende como un velo que refleja el entorno. Se trata del *New Milan Trade Fair*, que dispuesto a lo largo de un eje central, alberga las oficinas, las áreas de exhibición y los servicios de la nueva feria de Milán.



Figura 21. **New Milan Trade Fair**, Massimiliano Fuksas, Milan, 2005

La estructura de acero de la *Tea House* en los Países Bajos está revestida con placas en su superficie entramadas que acentúan su carácter futurista. El edificio fue construido sobre un búnker de 1936, que formaba parte de una línea de defensa militar. El espacio, destinado a comercio, consiste en una habitación única con una gran ventana.



Figura 22. **Tea House**, Un Studio, Vreeswijk, 2006

El acero aparente en México

Durante el Porfiriato (1876-1911) en México se realizaron inversiones para importación, no sólo de modernas técnicas constructivas utilizadas en Europa, sino también de los materiales y de los propios arquitectos. Los primeros edificios en México que emplearon el hierro como material estructural recubrían sus fachadas con materiales pétreos para seguir

con el lenguaje arquitectónico tradicional de la época anterior. Los entrepisos se resolvieron con bóvedas catalanas y entramados de madera sobre marcos metálicos. Posteriormente las fachadas de mampostería fueron sustituyéndose por módulos acristalados.

Las exposiciones universales, inauguradas con la de Londres en 1851, dejaban en evidencia los logros en el campo de la manufactura y en el campo artístico de cada país. Los pabellones que alojaban las exhibiciones debían estar a la vanguardia en las técnicas constructivas distintivas de la época.

México participó por primera vez en una exposición universal presentando un pabellón para la exposición de Nueva Orleans en 1884. La fabricación la realizó la fundidora norteamericana *Keystone Bridge Company* de Pittsburgh, de acuerdo con el diseño del arquitecto mexicano José Ramón de Ibarrola. El estilo del pabellón fue morisco y el material empleado fue el hierro fundido. Después de la exposición, el pabellón morisco se desarmó y fue transportado a la Alameda Central en la Ciudad de México, donde se erigió nuevamente la estructura prefabricada en 1890. Fue hasta 1908 cuando el pabellón cambió de ubicación a la colonia de Santa María La Ribera, donde actualmente sirve como quiosco de la plaza.



Figura 23. **Quiosco morisco**, R. de Ibarrola, Ciudad de México, 1884

Otro ejemplo de estructura con hierro aparente es el actual Museo Universitario del Chopo en la Ciudad de México. La Exposición Permanente, S.A., interesada en realizar exposiciones de productos industriales, compró tres de las cuatro salas del edificio que se expuso en la feria internacional de Düsseldorf. Su uso fue múltiple; en 1909 fue rentado por la Secretaría de Instrucción Pública y Bellas Artes para montar el Museo de Historia Natural; sirvió para exponer piezas de arte industrial japonés durante las fiestas del Centenario de la Independencia; y finalmente fue adquirido por la UNAM para ser inaugurado en 1975 como Museo Universitario del Chopo.

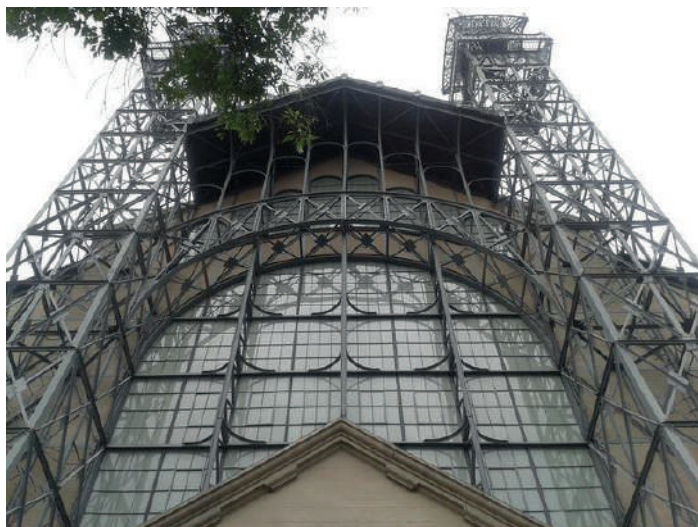


Figura 24. Museo Universitario del Chopo, B. Möhring, Ciudad de México, 1903

Otra estructura metálica aparente es la iglesia de Santa Rosalía ubicada en Baja California, que fue traída a México desde Bélgica en 1897. A finales del siglo XIX, se instaló la compañía francesa *El Boleo*, cuya actividad fue la explotación de minas de cobre en la zona. En aquel pueblo no había iglesia y tiempo después, los habitantes presionaron a los directivos de la compañía para que construyeran una. En un viaje que hicieron a Europa en 1894, el director de *El Boleo* y su esposa, se enteraron que una iglesia metálica desmontada se encontraba en una bodega de Bruselas y decidieron comprarla (Vassallo, 2017).

La estructura de 16 por 30 metros tiene una nave principal cubierta con arcos metálicos y láminas atornilladas. Las fachadas del edificio están compuestas por láminas estampadas y sobre la fachada principal se encuentra el campanario.



Figura 25. Iglesia de Santa Bárbara, Baja California, 1897

El antiguo Palacio Municipal de Orizaba también forma parte del conjunto de estructuras de hierro aparente en México. Debido al crecimiento industrial que tuvo la ciudad, ya no era posible mantener las oficinas del Ayuntamiento en su lugar, por lo que en 1891 el alcalde Julio M. Vélez le aprobaron la construcción de un nuevo edificio. Sin embargo, en vez de construirlo decidió comprarlo.

La estructura prefabricada fue comprada a una compañía belga y desembarcó en el Puerto de Veracruz. El edificio de dos niveles está compuesto por un sistema de marcos con columnas de hierro fundido que tienen una doble función: soportar los entrepisos y la cubierta, y conducir en su interior el agua de lluvia. Todas las fachadas son de lámina embutida y estampada.

En 1991 el edificio fue remodelado y comenzó a ser llamado “Palacio de Hierro”. Se convirtió en un edificio multifuncional para actividades culturales del gobierno de la ciudad de Orizaba en Veracruz.



*Figura 26. **Palacio de Hierro**, Sede del gobierno de Orizaba, Veracruz, 1892-1894*

Entre los arquitectos que se podrían mencionar, cuya relación con el acero como expresión arquitectónica han definido la arquitectura mexicana del siglo XXI, se encuentran Alberto Kalach y Enrique Norten. Su obra se ha distinguido por su extraordinaria expresividad con los elementos metálicos. Ambos han forjado un estilo propio que, junto con otros talleres, ha dado lugar a una nueva voluntad por el trabajo en acero que en México no se veía casi desde el Porfiriato.



Figura 27. **Torre 41**, A. Kalach, Ciudad de México, 2014



Figura 28. **Centro de atención ciudadana del Estado de Guerrero**, E. Norten, Acapulco, 2012

Posibilidades arquitectónicas en el acero aparente

El acero, aparte de ser uno de los materiales estructurales con mayor auge, arquitectónicamente también ofrece múltiples posibilidades en el campo de las envolventes. Una envolvente puede ser un cerramiento muy ligero ya que no tiene, generalmente, una función portante. La geometría de los cerramientos es un factor importante para su definición.

Un ejemplo de envolvente que se adapta a las grandes deformaciones de su estructura es el Museo de Ciencias Naturales de Tezuka Architects. Se trata de un edificio ubicado en una zona de Japón con condiciones climáticas extremas: 45 grados de calor en el verano y temperaturas bajo cero en invierno. El gradiente térmico implica fuertes cambios dimensionales de la estructura y como consecuencia, en los cerramientos. El cerramiento exterior fue construido para poder expandirse horizontalmente hasta 20 centímetros en todo el largo del edificio. Se crearon conexiones flexibles de acero inoxidable fijados entre las columnas de acero y la cimentación. En el espacio que queda entre ambos cerramientos circula aire tibio en invierno y aire fresco en verano, evitando las temperaturas extremas para los interiores.



Figura 29. **Museo de Ciencias Naturales**, Tezuka Architects, Matsunoyama, 2003

El centro comercial Bercy 2 es un claro ejemplo de un cerramiento con una geometría compleja. La forma de la cáscara, poco convencional, exigió una geometría disciplinada para permitir la máxima estandarización de los componentes y una simplificación durante la construcción. Para un total de 27,000 paneles se utilizaron, únicamente, 34 medidas diferentes. Los paneles de chapa de acero inoxidable reflejan el sol creando una cubierta ventilada y sombría que extiende la vida útil de la membrana impermeable, protegiéndola de las temperaturas extremas y de la contaminación.

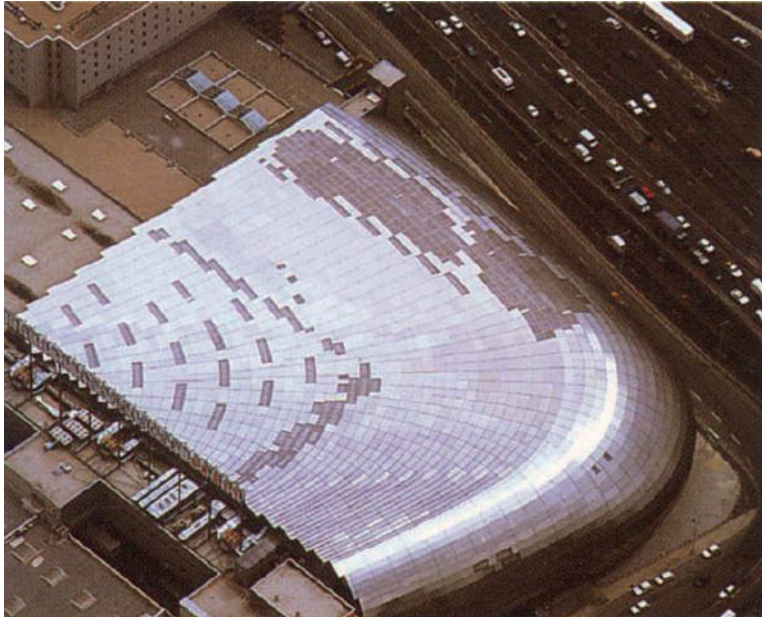


Figura 30. **Centro comercial Bercy 2**, Renzo Piano, París, 1990

El cerramiento de una estructura de acero permite protegerla del clima exterior y exige una protección contra incendio. La continuidad de una envolvente exterior asegura una aislación contra humedad, temperatura y ruido y minimiza las posibilidades de corrosión, puentes térmicos y condensación.

Las **láminas acanaladas** pueden ser utilizadas como cerramientos verticales u horizontales, sin embargo, se requiere de una estructura adicional para lograr rigidez estructural. En el caso de su uso como cerramiento vertical, el perfil de la lámina puede orientarse en los dos sentidos. Un ejemplo es la *Magney House* proyectada por Glenn Murcutt, donde destaca la solución de la cubierta y la bajada de agua pluvial como elemento aparente.

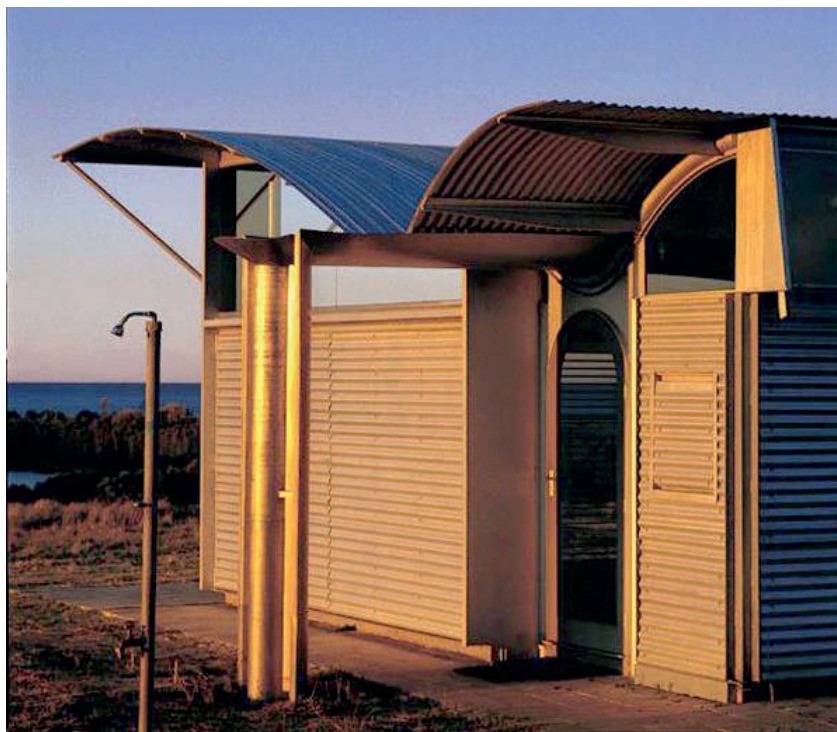


Figura 31. **Magney House**, Glenn Murcutt, Sydney, 1984

El **acero inoxidable** puede también ser utilizado como elemento de cerramiento. Tiene una gran resistencia frente a las agresiones del medio ambiente. La chapa de acero inoxidable es resistente, durable y requiere de muy bajo mantenimiento.

La cubierta curva de la subestación eléctrica ubicada en Salzburgo, Australia, está constituida por chapas de acero inoxidable de 4 y 5 mm de espesor. En la fachada, las juntas entre elementos fueron soldadas y en la cubierta las juntas fueron plegadas.

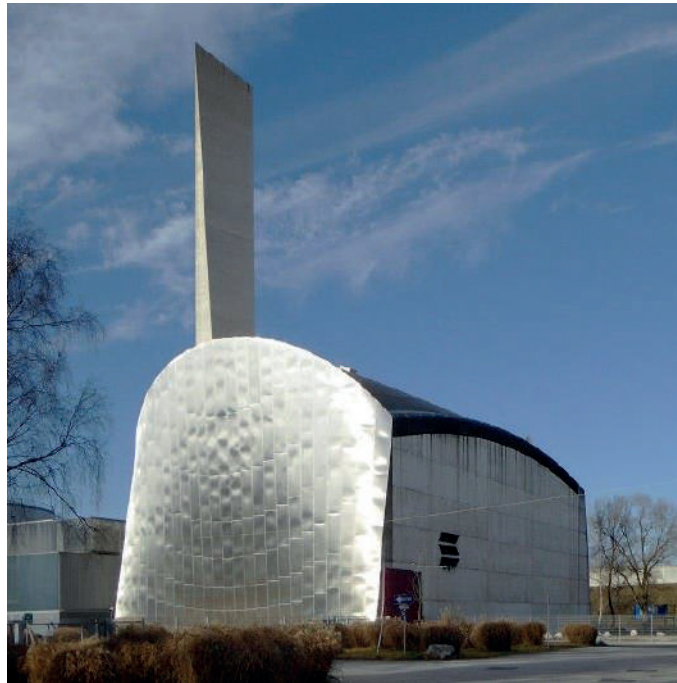


Figura 32. **Subestación eléctrica**, Betrix and Consolascio Architects, Salzburgo, 1995

El **metal desplegado** es una malla metálica con forma de rombos, la cual es fabricada mediante un proceso de corte y estiramiento a partir de una chapa de metal. Como resultado de este estiramiento, se produce una apariencia tridimensional y texturizada. Aunque el metal desplegado tiene cierta similitud con las chapas perforadas, su diferencia radica en que no hay pérdida de material durante el proceso de producción. El producto es bastante económico siendo ideal para la ventilación en fachadas.

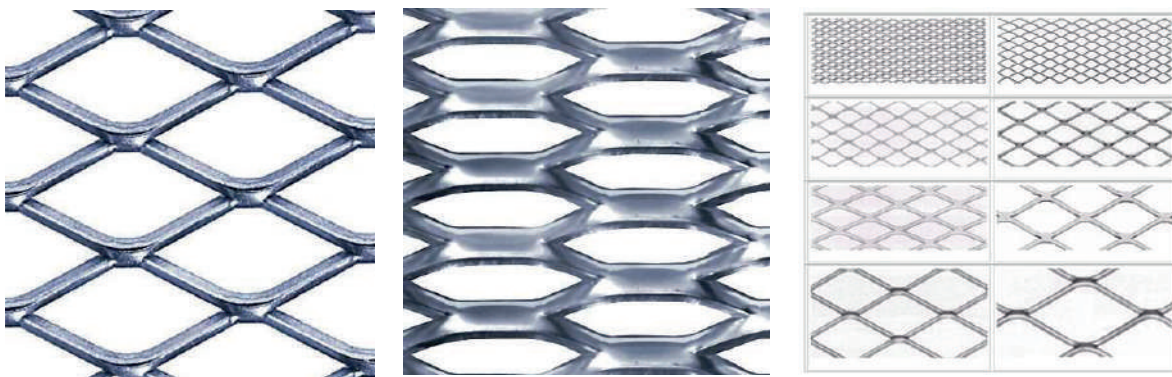


Figura 33. **Metal desplegado**

Normatividad del acero aparente

Actualmente no existe una normatividad de carácter legal para el diseño de acero expuesto, sin embargo, existen lineamientos internacionales para unificar este tipo arquitectura. Tal es el caso del AISC (*American Institute of Steel Construction*) y su guía para el Acero Estructural Arquitectónico Expuesto (AESS, por sus siglas en inglés). En esta guía se recomiendan los requisitos mínimos de acabados para que el acero estructural pueda ser considerado como expuesto, en función de su apreciación estética a diferentes distancias de visualización. Las especificaciones del AESS establecen cinco niveles de categoría 1, 2, 3, 4 y C. A medida que incrementan los números del sistema escalonado, el costo de fabricación y el tiempo de montaje incrementan también.

Existen diversos factores que influyen en el nivel de acabado y de detalles de un miembro expuesto. Es importante comprender el contexto del acero aparente antes de decidir elegir una categoría. Los factores relevantes para considerar en la percepción del entorno construido, según la guía del AESS, se describen a continuación:

Visibilidad del miembro. Si el elemento no es fácilmente visible, entonces no se reconocerá como acero expuesto. Por ejemplo, en ocasiones sólo una cara de la columna de acero queda expuesta, ya que las demás permanecen bloqueadas por un muro u otro elemento. En ese caso, es posible categorizar a la cara expuesta de acuerdo con las especificaciones del AESS.

Distancia de visualización. Los detalles tienden a ser susceptibles a simple vista hasta una distancia no mayor que 6 metros; a partir de esta distancia los componentes no se distinguirán tan claramente. Por lo tanto, la guía del AESS reconoce que la distancia de visibilidad es un factor importante para el nivel de fabricación y montaje requerido para una estructura de acero.

Ubicación. Si un elemento expuesto se coloca en el interior o exterior de la construcción tendrá un impacto significativo en el tipo de acabado y protección que llevará, así como también en su detallado. Cuando un elemento se coloque en el exterior, deberá resistir un ambiente más corrosivo o condiciones climáticas severas, por lo que la preparación de su superficie deberá ser mayor que la de un elemento interno. Adicionalmente, las conexiones se deberán mantener libres de acumulación de agua para prevenir la corrosión.

Iluminación. De acuerdo con Steve Weiss, director y fundador de *Weiss Architects*, la iluminación tiene un impacto en los elementos de acero expuestos interiores, mientras que las líneas de visión son las más importantes para los aceros expuestos ubicados en el exterior. Los detalles no suelen ser visibles en techos altos con iluminación reducida, pero cuando las luces son brillantes, permiten apreciar las texturas de las superficies.

Revestimiento. La selección de un recubrimiento ya sea pintura o protección contra incendios, debe coordinarse con la ubicación y la intensidad de la iluminación. Se deben tomar las medidas necesarias, ya que las superficies brillantes tienden a mostrar cada imperfección en la superficie, de acuerdo con Larry Kloiber, vicepresidente de *LeJeune Steel*.

Estilo. Existen dos estilos básicos que gobiernan el diseño de elementos de acero expuestos: tectónico y plástico. El aspecto tectónico es más expresivo en los detalles que muestran el conjunto de acero y tiende a enfatizar las conexiones atornilladas. Por el contrario, una estética plástica es uniforme y lisa y emplea conexiones soldadas. En la Figura 34 se muestra la diferencia que existe entre un cordón de soldadura de una estructura metálica normal y una denominada como acero estructural arquitectónico expuesto.



Figura 34. Izquierda: **soldadura no uniforme hecha en sitio** y derecha: **soldadura uniforme** (categoría 1 de acuerdo con AESS)

Las cinco categorías de un elemento de acero estructural arquitectónico expuesto, según la guía AESS, son:

AESS 1: Elementos básicos (*Basic Elements*)

AESS 2: Elementos destacados en vista no cerrada (*Feature Elements not in Close View*)

AESS 3: Elementos destacados en vista cerrada (*Feature Elements in Close View*)

AESS 4: Elementos de muestra (*Showcase Elements*)

AESS C: Elementos personalizados (*Custom Elements*)

La categoría **AESS 1** considera el tratamiento mínimo del acero expuesto más allá de la fabricación estándar del acero estructural. Esta categoría normalmente incurre en el menor costo y también es requisito para las categorías AESS 2, 3 y 4. El tratamiento de la superficie en esta categoría se centra en que el acero expuesto debe recibir un tratamiento de limpieza a chorro; la superficie debe estar libre de aceite, grasa, polvo, óxido, etc. Toda discontinuidad debe eliminarse y los bordes afilados deben pulirse suavemente. La proyección de soldadura no puede ser mayor que 1/16 de pulgada sobre la superficie.

El **AESS 2** es un tratamiento más refinado que el AESS 1, ya que requiere que las tolerancias de fabricación sean la mitad que el estándar. Durante la fabricación y montaje, los elementos de acero son marcados para fines de inventario y logística. Estas marcas, que por lo general son visibles en el acero, en esta categoría y las superiores no son permisibles. Las soldaduras continuas ya están incluidas en la categoría AESS 1, pero en AESS 2 se requiere un mayor cuidado en el proceso para lograr soldaduras suaves, lo que resulta en una apariencia uniforme en todo el rango de visión.

En la categoría **AESS 3** incrementa el nivel de fabricación y montaje, incluye los requisitos de las categorías anteriores y sus componentes ahora son diseñados para una distancia de visualización de 6 metros. Se requiere que los cordones de soldadura sean menos visibles. Entre más alta sea la categoría, los requisitos de fabricación y montaje son más exigentes, excepto en la categoría AESS C, donde el elemento es personalizado de acuerdo con las condiciones especiales del proyecto.

En la Tabla 1 se muestran las características que debería tener el acero estructural arquitectónico expuesto para ser considerado en alguna de las categorías.

Tabla 1. Características de los elementos según la guía del AESS

CATEGORÍA		AESS C	AESS 4	AESS 3	AESS 2	AESS 1	SSS
I.D.	Característica	Elementos personalizados	Elementos de muestra	Elementos destacados en vista cerrada	Elementos destacados en vista no cerrada	Elementos básicos	Acero estructural estándar
1.1	Preparación de la superficie para SSPC-SP		x	x	x	x	
1.2	Bordes afilados y lisos		x	x	x	x	
1.3	Apariencia de soldadura continua		x	x	x	x	
1.4	Pernos estructurales estándar		x	x	x	x	
1.5	Salpicaduras de soldaduras eliminadas		x	x	X	x	
2.1	Ejemplos visuales		x	x	opcional		
2.2	Tolerancia de fabricación estándar de la mitad		x	x	X		
2.3	Marcas de fabricación no aparente		x	x	X		
2.4	Soldadura uniforme y suave		x	x	X		
3.1	Marcas de fábrica removidas		x	x			
3.2	Soldadura a tope y conexión suave y lisa		x	X			
3.3	Cordón de soldadura HSS orientado para reducir visibilidad		x	x			
3.4	Superficie de apoyo de sección transversal alineada		x	x			
3.5	Tolerancias de brecha articular minimizadas		x	x			
3.6	Todas las uniones soldadas		opcional	opcional			
4.1	Costura HSS no aparente		X				
4.2	Soldaduras contorneadas y mezcladas		x				
4.3	Superficies rellenas y lijadas		x				
4.4	Soldadura transversal mostrada minimizada		x				
C.1							

Adicionalmente, en la Tabla 2 se describen cada una de las características que deben presentar los elementos para poder ser considerados como acero estructural arquitectónico expuesto, según la guía AESS.

Tabla 2. Descripción de las características de elementos AESS

I.D.	Características	Descripción
1.1	Preparación de la superficie para SSPC-SP	Grasa, aceite salpicaduras de soldadura y discontinuidades de la superficie han sido removidas.
1.2	Bordes afilados y lisos	Las superficies rugosas son desbarbadas y alisadas, los bordes filosos producto del corte con flama, el esmerilado y cortes especiales se suavizan.
1.3	Apariencia de soldadura continua	La soldadura intermitente está hecha para parecer continua, ya sea con soldadura adicional, macilla o resanador. Para ambientes corrosivos, todas las conexiones serán soldadas. Los cordones de las secciones estructurales huecas serán aceptables como son producidas.
1.4	Pernos estructurales estándar	Todas las cabezas de los pernos estarán orientadas en el mismo lado, como se especificó y de manera consistente entre una conexión y otra.
1.5	Salpicaduras de soldadura eliminadas	Salpicaduras de soldadura, trozos y discontinuidades de la superficie serán removidas. La proyección de la soldadura podrá ser de hasta 2mm (1/16 in) para el tope y la conexión de las articulaciones soldadas.
2.1	Ejemplos visuales	Los ejemplos visuales serán los de un modelo 3D, un ejemplo físico, una primera inspección, una maqueta a escala, una maqueta a escala real, como se especifique en los documentos del contrato. Las maquetas son opcionales para la AESS 2.
2.2	Tolerancia de la fabricación estándar de la mitad	Esta tolerancia es de la mitad de los aceros estructurales estándar que se especifican en la norma de la AISC.
2.3	Marcas de fabricación no aparente	Los elementos marcados durante su fabricación o su habilitación no serán visibles.
2.4	Soldadura suave y uniforme	La soldadura será suave y uniforme.
3.1	Marcas de fábrica removidas	Las marcas de fábrica serán quitadas de la vista.
3.2	Soldadura en tope y conexión suave y lisa	La macilla y el resanador son aceptables.
3.3	Cordón de soldadura HSS orientado para reducir visibilidad	Los cordones de la soldadura estarán orientados lejos de la vista o como son indicados en los documentos del contrato.
3.4	Superficie de apoyo de sección transversal alineada	Se requieren las especificaciones de secciones transversales de columnas.
3.5	Tolerancias de brecha articular minimizadas	Esta característica es similar a la 2.2 arriba mencionada. Se requiere un espacio claro de 3mm (1/8 in) entre los elementos contiguos.
3.6	Todas las uniones soldadas	Pernos escondidos pueden ser considerados.
4.1	Costura HSS no aparente	Las costuras en elementos HSS serán tratadas para que no sean aparentes.
4.2	Soldaduras contorneadas y mezcladas	En adición para la apariencia contorneada y mezclada, la transición de soldadura entre elementos será contorneada y mezclada.
4.3	Superficies resanadas y lijadas	Las superficies serán resanadas con soldadura metálica o resanador, suavizadas y lijadas para lograr una superficie lisa.
4.4	Soldadura transversal mostrada minimizada	La soldadura mostrada en la parte posterior de un elemento soldado podrá ser minimizada con esmerilado manual en la parte posterior de la superficie. El grado de soldadura transversal está en función del tamaño de la soldadura y del material.
C.1		Características adicionales podrán ser agregadas para elementos personalizados. La matriz de AESS incluida en la tabla 10.1 del AISC <i>Code of Standard Practice</i> 2016 podrá ser usada para especificar el tratamiento de los elementos.

Conclusiones

Las estructuras de acero aparente en México y en el resto del mundo encarnaron la expresión máxima de la industrialización decimonónica. Transformaron la forma de hacer arquitectura en cuanto a técnicas constructivas y a estética. Sin embargo, hoy en día el acero aparente ya no es propio únicamente de las estructuras industriales, ya que presenta ventajas en eficiencia, funcionales, económicas y estéticas.

El acero aparente ofrece, además, beneficios en materia de seguridad estructural ya que los elementos y conexiones pueden ser fácilmente inspeccionadas, monitoreadas y se les puede dar mantenimiento de forma más fácil.

El acero juega y jugará un papel muy importante en el desarrollo de la arquitectura e ingeniería del futuro, debido a que se requerirán cada vez más mayores alturas, flexibilidades funcionales y espaciales, reducciones en costos, mayores velocidades de construcción, ligereza y se requerirán estudios para lograr una profundización en la búsqueda de una mejor relación con la naturaleza.

Referencias

AISC. 2017. *The New Categorized Approach to Architecturally Exposed Structural Steel: An Overview*. Chicago: American Institute of Steel Construction.

Bhattacharya, Raj. *Commissioner's House Bermuda*. Disponible en sitio web: https://www.bermuda-attractions.com/bermuda_000286.htm

Carta pública dirigida al Sr. Alphand, comisario de la Exposición Universal de París. 1887. "Los artistas contra la Torre Eiffel". París: Le Temps. Disponible en sitio web: http://www.iesxunqueira1.com/maupassant/Articulos/eiffel_y_los_artistas.pdf

Casas, Nina. 2019. "La razón como inspiración estética: el acero en la construcción del siglo XIX", 1:153-162. Ciudad de México: Tercer Congreso Internacional Hispanoamericano de Historia de la Construcción.

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

Santos, Daniela y Artigas, Isabel. 2007. *Steel Design*. Colonia: daab Ediciones.

Soto, Héctor. 2014. *Manual de criterios generales para la estructuración de edificios de acero*. 29-73. Michoacán: Centro Regional de Desarrollo en Ingeniería Civil.

Vassallo, Roberta. 2017. "La arquitectura del hierro en México: el principio de la modernidad" en *Acervo Mexicano, legado de culturas*. 390-409. Puebla: Acer-VOS Editores.



DIRECTORIO

OFICINAS CORPORATIVAS

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

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

PLANTAS RECICLADORAS SOSTENIBLES

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



Gerdau Corsa. El futuro se moldea