

El acero inoxidable inspira metamorfosis en el diseño

por Catherine Houska y Kirk Wilson

Los elementos estructurales del acero inoxidable se han vuelto cada vez más importantes en el diseño internacional de máxima calidad. La gama de aplicaciones es amplia e incluye destacados monumentos, muros cortina de inoxidable y vidrio elegantemente detallados, asombrosos puentes peatonales y atractivas estructuras que serán admiradas por generaciones. Además, la resistencia a la corrosión del acero inoxidable y otras propiedades únicas hacen posible la seguridad, la protección, la durabilidad y la longevidad intensificadas.

Europa y Japón han hecho el uso más extenso del acero inoxidable en el diseño arquitectónico estructural, pero ha habido muchos proyectos imponentes alrededor del mundo. Las ventajas estructurales del acero inoxidable hacen posible los grandes avances en el diseño innovador en la construcción de la nueva Biblioteca Parlamentaria de la India y el nuevo Aeropuerto Internacional de Bangkok. Norteamérica es la casa de los proyectos estructurales de acero inoxidable arquitectónico más grandes del mundo y de muchos diseños extraordinarios más pequeños. Los arquitectos pueden sacar ventaja de las posibilidades del diseño al revisar los ejemplos de proyecto y aprender sobre las características únicas del diseño de acero inoxidable.

Evolución del diseño

El acero inoxidable ha sido usado para aplicaciones arquitectónicas desde su invención a principios de 1900. Existen aplicaciones estructurales más antiguas, pero la primera aplicación estructural muy grande fue el Arco

Gateway en St. Louis, Missouri, EE.UU. (**Figura 1**). Éste permaneció siendo el más grande del mundo (basado en su peso) hasta la construcción de los Archivos Nacionales de Canadá en Ottawa, Ontario, Canadá (**Figura 2**).



Figura 2 A y B: Archivos Nacionales de Canadá en Ottawa, Ontario, Canadá fueron terminados en 1994 y utilizaron 2,800 toneladas métricas de acero inoxidable tipo 304 y 316. Fotografías cortesía del Instituto del Níquel.



Figura 1: el Arco Gateway en Saint Louis, Missouri, EE.UU fue terminado en 1965 y está hecho de chapa soldada de 6.3 mm (0.25 in) de tipo 304. Fotografía cortesía del Servicio Nacional de Parques de EE.UU.

En la década de los 80, los proyectos como la Pirámide del Louvre de I.M. Pei (**Figura 3**), con su innovador diseño de bajo perfil con vidrio y acero inoxidable, y el Gran Arco de La Défense de J.O. Sprechelsen, con sus soportes de elevador de varios pisos, inspiraron a los arquitectos a utilizar conceptos similares y ayudó a estimular el interés creciente en el acero inoxidable para los elementos estructurales. Ha habido estupendas innovaciones desde entonces, las cuales han permitido a los arquitectos y a los ingenieros estructurales minimizar de manera una manera significativa los soportes estructurales visibles.

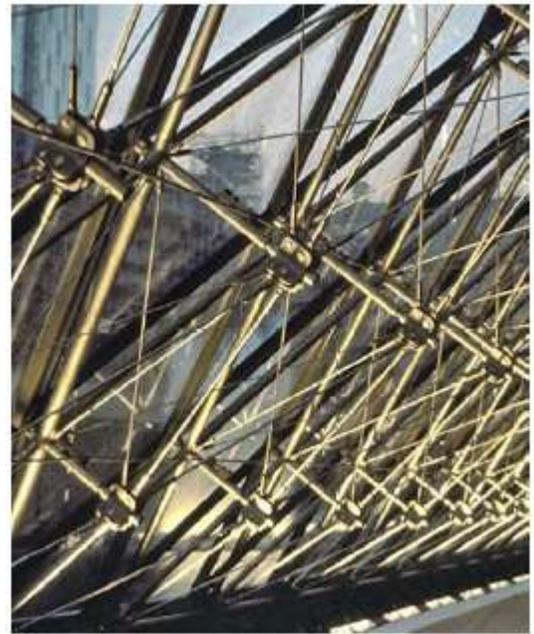


Figura 3A y B: La entrada de la pirámide de inoxidable y vidrio de I. M. Pei para el Museo de Louvre utilizó diferentes tipos de aceros inoxidables (tipo 316, Nitronic 50 y 17-4 PH) para crear este diseño que marcó tendencia. Fotografías cortesía de TriPyramid.

Estos conceptos han sido aplicados a una extensa gama de aplicaciones. Un ejemplo es la elegante escalera circular de acero inoxidable tipo 304 y vidrio construida para un *penthouse* en Chicago (**Figura 4**). Los formidables avances del diseño son particularmente evidentes cuando la Pirámide del Louvre (1989) es comparada con la entrada en forma de cubo para la nueva tienda emblemática de Apple (2006) en la Ciudad de Nueva York. Específicamente, ha habido una reducción tremenda en la visibilidad del ensamblaje estructural del acero inoxidable durante este periodo.

Figura 4: Esta atractiva escalera circular de un *penthouse* en Chicago usa componentes estructurales de tipos 304 y 316, vidrio y un barandal de madera. Fotografía cortesía de Brian Gulick.



Comparando propiedades

El acero inoxidable está en los códigos del diseño estructural europeo, australiano y japonés y las formas estructurales están incluidas en las normas y especificaciones internacionales ampliamente utilizadas. Los aceros inoxidables generalmente incluidos en los códigos de diseño estructural son¹:

- Tipos 304/304L (UNS S30400/S30403, EN1.4301/1.4307, SUS 304);
- Tipos 316/316L (UNS S31600/S31603, EN 1.4401/1.4404, SUS 316); y
- 2205 (UNS S32205/S31803, EN 1.4462, SUS 329J3L).

Existen algunas diferencias fundamentales entre los componentes estructurales del acero inoxidable y al carbono. Los aceros al carbono no protegidos comenzarán a corroerse rápidamente en la mayoría de las aplicaciones exteriores, de forma que los recubrimientos protectores (p.e. pintura) son necesarios para prevenir el deterioro estructural. Esto introduce los requerimientos de mantenimiento y descarta la capacidad para utilizar fino detallado estructural como una característica estética del diseño. En contraste, los aceros inoxidables son producidos para resistencia a la corrosión y dureza/resistencia. Si el acero inoxidable es adecuadamente especificado, los recubrimientos no serán necesarios y el detallado estructural como joyería pueden ser utilizados como una característica de diseño

(Figura 5).

En el diseño estructural, tanto la elongación como la dureza tienen que ser consideradas. La figura 6 muestra los estándares de ASTM para las formas/moldes de acero inoxidable y al carbono, y la figura 7 muestra los niveles mínimos y típicos de resistencia a la tensión y al punto cedente. Los niveles típicos de resistencia fueron obtenidos al examinar información publicada para chapas más pesadas de varios productores de acero inoxidable. Los valores más bajos reportados son mostrados. Los requerimientos mínimos de resistencia a punto cedente para el acero al carbono en los estándares industriales están muy cerca de las propiedades típicas, de forma que hay un poco de resistencia de reserva.



Figura 5: La nueva entrada para el Museo de Arte de Brooklyn (Nueva York, EE.UU.) utilizó acopladores tipo 316 y piezas fundidas de 17-4PH para crear detallado tipo joyería. Fotografía cortesía de TriPyramid.

Figura 6: Especificaciones Internacionales de Propiedad Mecánica de ASTM

Forma de producto	Acero al carbono	Acero inoxidable
Placa, chapa, tira	A 36	A 240
Formas/moldes	A 992	A 276
Tubería mecánica	A 500	A 554 (304/316), A 789 (2205)

Figura 7: Comparación de las propiedades mecánicas mínimas y típicas

Acero	Módulo de Young kN/mm ² (x1000 psi)	Límite de deformación (Típica) MPa [psi]	Esfuerzo de tensión mínimo (Típico) MPa [psi]	Elongación mínima (Típica) porcentaje
Acero al carbono				
A 36	200 (29)	250 [36] (275 [40])	400 [58] (412 [60])	23
A 992	200 (29)	344 [50]	448 [65]	
A 500 Gr. B	200 (29)	290 [42]	400 [58]	23
Acero inoxidable (1, 2)				
304/316	200 (29)	205 [30] (303 [44])	515 [75] (586 [85])	25 (56)
2205	200 (29)	448 [65] (510 [74])	620 [90] (724 [105])	25 (30)

1) La resistencia al punto cedente del acero inoxidable es medida en 0.2 por ciento de límite elástico

2) La información publicada para la placa más pesada de varios productores fue revisada. Estos son los valores más bajos de resistencia a punto cedente o tensión típicos reportados por cualquiera de esos proveedores.

Con los aceros inoxidable, las combinaciones diferentes de dureza y resistencia a la corrosión pueden ser necesarias dependiendo de la severidad de los requerimientos de carga cíclica, ubicación, temperatura y presión. Los mínimos mostrados en la mayoría de los estándares del acero inoxidable son altamente conservadores, mostrando los niveles más bajos de resistencia alcanzables después del completo tratamiento térmico. Para muchas formas estructurales, los diseñadores pueden obtener niveles de resistencia por encima del mínimo publicado. Los niveles mínimos de elongación que son requeridos en los estándares de la industria también son considerablemente más bajos que los realmente alcanzados en la producción.

Los proveedores deberían ser contactados para determinar los niveles de elongación y resistencia a punto cedente que

son fácilmente logrados. Los diseñadores pueden potencialmente especificar una resistencia a punto cedente que sea 50 por ciento más alta que los requerimientos mínimos para los tipos 304 o 316, y 10 por ciento más alto para el 2205. Durante la especificación del proyecto, los estándares de la industria apropiados deben ser identificados junto con los más altos niveles de resistencia mínimos.

Para proyectos que utilizan formas estructurales más pequeñas, incluso niveles de resistencia más altos son posibles. El conformado en frío (moldeado del metal mientras está frío) puede producir niveles substancialmente más altos de resistencia de lo que es posible para las secciones pesadas. (Ver ASTM A 666, *Especificación de Norma para Chapa, Cinta, Placa y Barra plana de Acero Inoxidable Austenítico Trabajado en Frío y Recocido.*)

Resistencia al fuego

El acero inoxidable retiene su rigidez mejor que el acero al carbono en temperaturas elevadas. La **Figura 8** muestra el comportamiento de retención de la rigidez de los aceros al carbono e inoxidable.² En 800°C (1472°F), el acero al carbono tiene un nivel de retención de rigidez de aproximadamente 10 por ciento, mientras que el acero inoxidable retiene casi el 60 por ciento. Este nivel más alto de rigidez retenida puede hacer posible evitar el aislamiento del fuego. Aunque las densidades de esos metales son similares, existen diferencias de expansión térmica que necesitan ser consideradas durante el diseño (**Figura 9**).

Figura 8: Retención relativa de rigidez en temperaturas elevadas

°C	304 $k_{E, \theta}$	316 $k_{E, \theta}$	S350GD+Z $k_{E, \theta}$
20	1	1	1
100	0,82	0,96	1
200	0,68	0,92	0,9
300	0,64	0,88	0,8
400	0,6	0,84	0,7
500	0,54	0,8	0,6
600	0,49	0,76	0,31
700	0,4	0,71	0,13
800	0,27	0,63	0,09
900	0,14	0,45	0,068
1000	0,060	0,2	0,045
1100	0,03	0,1	0,1
1200	0	0	0

Los valores de $k_{E, \theta}$ para 304 y 316 tomados de *Design Manual for Structural Stainless Steel*, 3rd Ed.

Los valores de $k_{E, \theta}$ para S350GD+Z tomados de *High Temperature Testing of Structural Steel and Modelling of Structures at Fire Temperatures*, Helsinki University of Technology Laboratory of Steel Structures Publications 23 based upon Eurocode EC3:Part 1.2

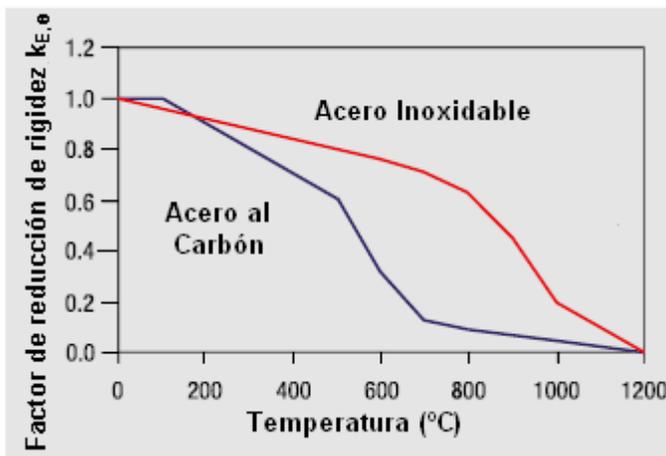


Figura 9: Propiedades físicas

Tipo	Densidad		Expansión térmica	
	g/cm ³	oz/in ³	20 a 100 ° C (10 ⁻⁶ /° C)	(68 a 212 ° F) (10 ⁻⁶ /° F)
A 36/ A 992/ A 500	7.7	4.5	12	6.6
316	8.0	4.6	16.5	9.2
2205	7.8	4.5	13	7.2

Comportamiento sísmico

En las zonas sísmicas, los diseñadores deben considerar los altos niveles de deformación que podrían ser determinados a los materiales estructurales. A diferencia del los aceros al carbono, los cuales alcanzan una “meseta de tensión” después de alcanzar el punto cedente, la resistencia del acero inoxidable continúa incrementando proporcionando un factor de seguridad adicional (**Figura 10**). En resumen, entre más duro tire en el acero inoxidable se pone más resistente.

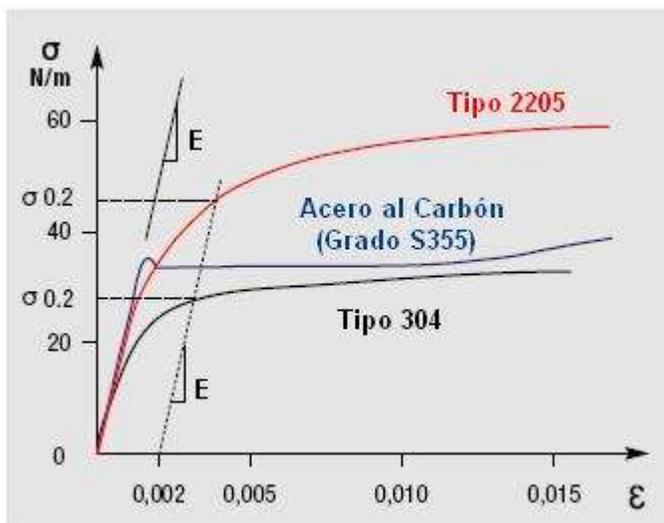
Laboratorio de Investigación de Nisshin Steel

El laboratorio de investigación de *Nisshin Steel* en Osaka, Japón fue construido antes del terremoto de Kobe en 1995 [7.2 en la escala de Richter]. La *figura 11* muestra las vigas de acero inoxidable estructural expuestas y sin daño del edificio después del temblor. El acero inoxidable ha sido utilizado en Australia, Norteamérica, Europa y Japón para reforzar las estructuras existentes y para nuevas aplicaciones en las zonas sísmicas.



Figura 10: Comparación del comportamiento a tensión-deformación del acero al carbono contra el inoxidable.

Figura 11: Las vigas de acero inoxidable del laboratorio de investigación de *Nisshin Steel* en Osaka, Japón no fueron dañadas por el terremoto de 1995. Fotografía cortesía del Instituto del Níquel, Fotografía Catherine Houska.



Iglesia de San Pío de Pietrelcina

Renzo Piano Building Workshop trabajó con la firma de ingeniería estructural *Arup* para diseñar la iglesia de San Pío de Pietrelcina en Foggia, Italia. Ésta utiliza una serie de arcos de piedra independientes y columnas y puntales de inoxidable para soportar su estructura del techo de madera. (**Figura 12**). La combinación de madera, acero inoxidable tipo 316L, y la estructura de piedra es estéticamente atractiva, pero éste también está diseñado para soportar eventos sísmicos. Terminado en el 2004, los componentes estructurales de acero inoxidable de la edificación ayudan a crear un sentimiento de transparencia y claridad. El mortero de piedra fue reforzado con fibras de acero inoxidable, creando una estructura de piedra capaz de disipar la energía producida por los sismos.

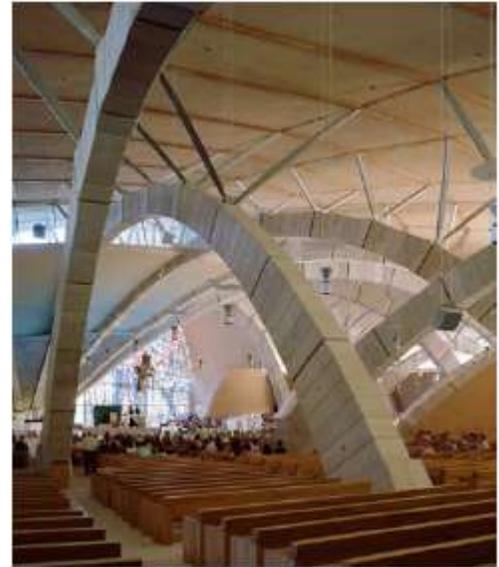


Figura 12 A y B: Iglesia de Saint Pio de Pietrelcina en Foggia, Italia, usó tipo 316 para soportar las cargas sísmicas mientras se creó un diseño al aire libre. Fotografía cortesía de Centro Inox.

Fallas en la mampostería australiana

La madera, la piedra y la mampostería proporcionan largas vidas de servicio, pero pueden ser muy corrosivas para los componentes estructurales y los sujetadores de acero al carbono galvanizado, particularmente si están expuestos a sales (cloruros). La posibilidad de una falla catastrófica a gran escala es significativa en las zonas sísmicas. Durante el terremoto en Newcastle, Australia (1989), hubo grandes fallas en la pared de mampostería. Fue determinado que esas fallas fueron causadas por la corrosión en la ligadura para las paredes de acero galvanizado como se muestra en la Figura 13. Como un resultado de este análisis de la falla, Australia comenzó a requerir ligaduras/amarres para las paredes de acero inoxidable tipo 316 en las instalaciones costeras. Incluso cuando los edificios no estén en zonas sísmicas, muchos países requieren ligaduras/amarres de acero inoxidable para las paredes de mampostería donde hay exposición a la sal costera y para deshielo.



Figura 13: El terremoto de Newcastle, Australia en 1989 provocó que las paredes de mampostería colapsaran y la corrosión galvánica del amarre de la pared fue identificada como la causa de estas fallas. Fotografía cortesía de Noel Herbst.

Fabricación

Si un diseño incluye soldadura, un código de soldadura estructural de acero inoxidable debe ser mencionado en las especificaciones del proyecto para asegurar un producto estructuralmente sólido y definir los requerimientos tales como la calificación y la inspección del soldador. Un ejemplo es el Código de Soldadura Estructural – Acero Inoxidable de *American Welding*

Society (AWS, Sociedad Americana de Soldadura) D1.6. Los códigos de soldadura estructural de acero al carbono no son apropiados y no deberían de ser utilizados. Los diseños mecánicamente sujetos deben mencionar las apropiadas normas de la industria para los sujetadores de acero inoxidable, y el desgaste por rozamiento debe ser considerado si el retiro futuro del sujetador pueda requerirse.

Resistencia a la corrosión

El alto nivel de resistencia a la corrosión del acero inoxidable proporciona una importante ventaja de diseño estructural y estético. Los detalles estructurales precisos pueden ser utilizados como elemento prominente de diseño en lugar de ocultarlos bajo capas de pintura. La capacidad de eliminar los recubrimientos de mantenimiento hace del acero inoxidable un material de bajo mantenimiento con una rentable y larga vida de servicio.

Existen numerosos artículos y folletos de asociación de la industria que pueden ser muy útiles para la selección del acero inoxidable.³ El tipo 304 es apropiado para la mayoría de las aplicaciones interiores y ligeramente exteriores. El tipo 316 es generalmente seleccionado para las aplicaciones con exposición de baja a moderada a la sal costera o para deshielo y/o a niveles de contaminación urbanos más altos o industriales

moderados. El dúplex 2205 de alta resistencia ofrece un importante incremento de la resistencia a la corrosión sobre el tipo 316 y debe ser considerado para ubicaciones más corrosivas o donde la limpieza de mantenimiento es difícil o costosa.

Los acabados de superficie más lisos retienen menos depósitos corrosivos, lo cual mejora su comportamiento a corrosión y minimiza la posibilidad del manchado poco atractivo. La limpieza regular de mantenimiento para remover los depósitos corrosivos ayudará a prevenir el manchado de la superficie en cualquier acero inoxidable. En los entornos repletos de sal, es importante sellar las juntas mecánicas de los tipos 304 y 316 utilizando selladores de construcción de buena calidad o soldadura para prevenir la corrosión por grietas.

Ejemplos de proyecto

El Gran Arco en La Défense

Terminado en 1982, el diseño del Gran Arco de J. O. Spretkelsen y el arquitecto François Deslaugiers (**Figura 14**) tomó la máxima ventaja de las características únicas del acero inoxidable dúplex de alta resistencia para crear los soportes para las torres del elevador de la estructura. El diseño es esencialmente una serie de mástiles de bote delgados y superpuestos que crean una apariencia de red. El acero inoxidable fue seleccionado para el proyecto debido a sus características estructurales (alta resistencia a la fatiga y al punto cedente), mantenimiento mínimo, y rendimiento a largo plazo. Tanto el acabado abrigantado como el de espejo fueron utilizados para resaltar los diferentes elementos del diseño.



Figura 14 A y B: El increíble Gran Arco de París es posible por el uso del acero inoxidable dúplex de alta resistencia. Fotografía cortesía de la Asociación Internacional del Molibdeno, Fotógrafa Nicole Kinsman

7 World Trade Center

El 7 World Trade Center (7WTC) fue el último edificio en caer tras la desgracia de los ataques terroristas en las torres gemelas de Nueva York el 11 de septiembre del 2001 y la primera en ser reconstruida (**Figura 15**). El reemplazo del edificio ocurrió rápidamente para restaurar la subestación eléctrica de transformador albergada en la construcción original y proporcionar el espacio de oficinas clase 'A' necesario. Fue terminado en el 2006. La nueva torre de oficinas de 52 pisos fue diseñada por *Skidmore, Owings & Merrill LLP (SOM)* para enfatizar la seguridad personal al sobrepasar las normas de los códigos de construcción.

Esto incluye incrementar los estándares del rendimiento estructural de las paredes perimetrales, mientras se crea un vestíbulo abierto y transparente. Estos requerimientos aparentemente diferentes fueron cumplidos al utilizar acero inoxidable dúplex de alta resistencia y tipo 316. El enristalado y las puertas del escaparate frontal están colocados debajo de una viga y dentro de una reja de postes de parteluz. Tanto la viga como los postes son hechos de chapa de 2205 ensamblada. Las viguetas de chapa ensambladas del tipo 316 voladizas de la viga soportan el doselete de vidrio, y la pared de red de cable de tipo 316 por encima esta es soportada en el techo y las paredes laterales.

“El acero inoxidable de aleación dúplex grado 2205 de alta resistencia fue necesario para acomodar las tremendas cargas impuestas sobre estos elementos del ensamblaje de acero inoxidable por medio de los cables tensionados de acero inoxidable, mantener la mínima línea visual deseada, y cumplir con los estándares de rendimiento estructural mejorados”, dijo Christopher Olsen de *SOM, AIA*. El 2205 tiene un fino acabado de superficie de cepillado direccional. La visibilidad de las juntas soldadas fue minimizada y algunos ensamblajes fueron armados mecánicamente con sujetadores ocultos.



Figura 15: El 7 World Trade Center (7WTC) utiliza dúplex 2205 de alta resistencia para crear un vestíbulo abierto y transparente al mismo tiempo que se aumenta la seguridad personal. Fotografía cortesía de la Asociación Internacional del Molibdeno, Fotógrafa Catherine Houska



Figura 16: El puente helicoidal utiliza tipo 316 y vidrio para crear un puente peatonal movable. Fotografía cortesía de Christopher von der Howen.

Puente helicoidal

El escultor Marcus Taylor diseñó el Puente Helicoidal (**Figura 16**) con los ingenieros estructurales de *Happold Mace*. Es uno de los varios puentes de peatones de acero inoxidable terminado en Londres, Inglaterra en 2004. Este interesante puente peatonal de acero inoxidable y vidrio está localizado sobre un pequeño canal. El puente cubierto es de 7 m (23 ft) de largo y 3.5 m (11.5 ft) de diámetro. Las secciones huecas de tipo 316 fueron curvadas en una forma espiral para dar al puente su forma de tubo. Éstas proporcionan amarre para los paneles de vidrio y ofrecen interés visual. Un mecanismo retráctil está oculto a la vista. Este es realmente un “puente levadizo” que parece retorcerse hacia el banco como si se replegara para permitir que los botes pasen. El tipo 316 fue seleccionado debido a la exposición del puente al agua salobre.

Puente del Bosque

Gray Organschi Architecture trabajó con *Edward Stanley Engineers LLC* para diseñar un puente peatonal sustentable en el bosque que pudiera mezclarse visualmente con el entorno (**Figura 17**). Su piso elegante, de madera y de forma serpenteante tiene soportes estructurales de tipo 304 para reducir el impacto visual. Las delgadas columnas de tubo que soportan la estructura están enlechadas en el cimientto del barranco, eliminando las bases de soporte voluminosas, y armonizando con los troncos de los árboles circundantes. La resistencia a la corrosión del acero inoxidable hace posible este detalle de soporte. El piso de madera del puente es de madera laminada encolada (glu-lam) y tiene barandales y accesorios de acero inoxidable. La falla estructural por corrosión es un conflicto común cuando el acero al carbono está en contacto con la madera húmeda, pero esto no es un problema con el acero inoxidable. No existe la necesidad de mantenimiento regular y una larga vida de servicio está asegurada.



Figura 17 A y B: Este puente de tipo 304 y madera fue diseñado para ser ambientalmente sensible, proporcionar una larga vida de servicio, y armonizar con el paisaje. Fotografía cortesía de Edward Stanley, Edward Stanley Engineers, LLC.

Cubo de Apple

Terminado en el 2006, el “Cubo de Apple” es la entrada a la tienda emblemática de la firma en la ciudad de Nueva York, EE.UU. Ésta parece ser esencialmente toda de vidrio (**Figura 18**). Es un diseño mínimo muy complejo que hace un gran uso de pequeños componentes estructurales de dúplex 2205 de alta resistencia, los cuales armonizan visualmente con el vidrio para disminuir más su visibilidad. Los cuadros altamente pulidos de tipo 316 en el exterior son utilizados para crear los puntos de luz en la matriz.

Una espectacular escalera curvada y un elevador de vidrio y acero inoxidable llevan a los clientes hacia la tienda del nivel inferior (**Figura 19**). Los barandales de la escalera y la mayoría de los demás herrajes interiores son del tipo 304. Las tabletas del barandal y los componentes y las tiras de conexión que unen las piezas de vidrio cilíndricas a la barandilla exterior de la escalera y el tambor interno del elevador son de dúplex 2205 para agregar resistencia. El arquitecto para este proyecto fue Bohlin Cywinski Jackson y el ingeniero estructural fue Eckersley O’Callaghan.



Figura 19: La escalera debajo del cubo de Apple utiliza dúplex 2205 de alta resistencia para afianzar los hilos de la escalera de vidrio y tipo 304 para los barandales y otros detalles. Fotografía cortesía de TriPyramid Structures, Inc. Fotógrafo Midge Eliassen

Figura 18: El “Cubo de Apple” es la entrada a la tienda emblemática de la firma en la ciudad de Nueva York y logra su ligera estructura espaciosa al soportar el vidrio con dúplex 2205 de alta resistencia y acero inoxidable tipo 316. Fotografía cortesía de TriPyramid Structures, Inc, Fotógrafo Midge Eliassen

Concha acústica del Schubert Club

Las atractivas y aparentemente simples líneas de la concha acústica del *Schubert Club* en Saint Paul, Minnesota, EE.UU., la hacen un destino elegante para conciertos al aire libre. Terminada en el 2002, la concha acústica está en la isla Raspberry en medio del Río Mississippi (**Figura 20**). *James Carpenter Design Associates* y los ingenieros estructurales *Skidmore, Owings & Merrill LLP (SOM)* y *Schlaich Bergermann* realizaron un diseño estructural resistente al viento y a la corrosión que era necesario. La concha acústica resultante es un enrejado doble y curvado de vidrio y acero inoxidable con 7.6 m (25 ft) de ancho que abarca 15.2 m (50 ft) entre los dos muelles de concreto. La isla está sujeta a inundación y un puente carretero cercano expone la concha acústica a sales para deshielar. Adicionalmente, el mantenimiento del parque público es mínimo. Por esta razón, los diseñadores eligieron al tipo 316 para el ensamblaje estructural.



Figura 20 A y B: La concha acústica Schubert Club utilizó tipo 316 y vidrio para crear un diseño que es resistente a los altos vientos, la sal para deshielo de un puente carretero cercano y la inundación estacional. Fotografías cortesía de James Carpenter Design Associates y Shane McCormick.



Centro Kimmel

Rafael Viñoly Architects crearon el Centro Kimmel en Filadelfia, EE.UU. Es una estructura unidireccional de red de cable (**Figura 21**). El innovador diseño fue terminado en el 2001 y redujo a la mitad la estructura visible de soporte en relación a la pared de red de cable más típica de doble sentido. El sofisticado diseño mantiene la constante tensión en cada cable, reduciendo la cantidad requerida de acero para soportar cada arco. La pared semi-circular tiene un radio de 25.9 m (85 ft) que funciona como un foque en un velero. Según el viento sopla, la “vela” se llena y el centro de la pared se mueve hasta que la fuerza en ésta sea igual a la presión del viento. El centro de la pared puede moverse tanto como 0.76 m (2.5 ft). Esta es 10 veces la desviación de una pared rígida. Los herrajes/accesorios son de acero inoxidable tipo 316.



Figura 21 A y B: El Centro Kimmel es una estructura de red de cable unidireccional. El acero inoxidable tipo 316 ayudó a hacer este diseño posible. Fotografías cortesía de E. Dennis y Raphael Viñoly Architects.

Monumento Conmemorativo a la Fuerza Aérea Estadounidense

El finado Jim Freed de *Pei Cobb Freed* ganó la competencia de diseño del Monumento Conmemorativo a la Fuerza Aérea Estadounidense con un increíble diseño inspirado en la formación de vuelo de explosión de bomba y después trabajó con la firma de ingeniería estructural *Arup* para hacerlo una realidad. Terminada en el 2006, la escultura (**Figura 22**) está localizada en la colina donde los hermanos Wright por vez primera demostraron los aeroplanos al Ejército estadounidense.

La escultura es un anexo altamente visible al horizonte de Washington, DC. Tres agujas oscilando en una altura de 64 m (210 ft) a 82 m (270 m) curvadas hacia arriba y hacia fuera completamente soportadas en sus bases. Las agujas están compuestas de chapa de tipo 316 de 19 mm (0.75 in) de grosor con un acabado de varios pasos hecho a la medida que cumple con los requerimientos de baja reflexividad durante el día mientras ilumina bellamente por la noche. Su elegante y curvada forma las hace uno de los diseños estructurales de acero inoxidable más fascinantes del mundo hasta el momento. Un sistema de amortiguamiento es utilizado para equilibrar la vibración que pudiera ocurrir de otra forma con la exposición a los niveles normales de viento.



Conclusión

Las continuas innovaciones en el diseño estructural de acero inoxidable permitirán a los diseñadores e ingenieros crear estructuras incluso más fascinantes que saquen provecho del uso del metal sin revestir para expresar los detalles como elementos del diseño escultórico. Esta



Figura 22 A y B: El Monumento Conmemorativo de la Fuerza Aérea Estadounidense tiene tres agujas curvadas de chapa de tipo 316, soldadas y con un grosor de 19 mm (0.75 in), que miden 82 m (270 ft) de alto. Fotografía cortesía de Patrick McCafferty.

singular ventaja estética es el resultado de la selección de los aceros inoxidables adecuados para proporcionar una larga vida de servicio y bajos requerimientos de mantenimiento. Los diseños resultantes no son solamente espectaculares, sino también ejemplos maravillosos de la arquitectura sustentable.

Notas

1 Ver “Design Manual for Structural Stainless Steel-Third Edition”, EuroInox, Building Series, Vol. 11, 199 páginas.

2 Ver L. Gardner and K. T. Ng’s “Temperature development in structural stainless steel sections exposed to fire,” Fire Safety Journal.

También ver G. Waller and D.J. Cochrane’s “Stainless Steel for Durability, Fire-resistance and Safety”, Nickel Institute, Technical Series.

3 “Which Stainless Steel Should Be Specified for Exterior Applications?,” Catherine Houska, International Molybdenum Association (IMOA); “Stainless Steels in Architecture, Building and Construction: Guidelines for Corrosion Prevention,” Catherine Houska, Nickel Institute “Stainless Steel Selection for Exterior Applications,” Catherine Houska, The Construction Specifier (January 2003) y “Architectural Metal Corrosion: The Deicing Salt Threat,” Catherine Houska; The Construction Specifier. (Diciembre 2006); y www.stainlessarchitecture.org y www.imoa.info.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer a la Asociación Internacional del Molibdeno, al Instituto del Níquel, Skidmore Owings & Merrill, a TriPyramid, la Asociación Australiana para el Desarrollo del Acero Inoxidable, la Fundación del Monumento Conmemorativo de la Fuerza Aérea Estadounidense, y a Centro Inox por su asistencia en la preparación de este artículo.

Autores

Catherine Houska, CSI (*Construction Specifications Institute*). Es una gerente ejecutiva de desarrollo en TMR Consulting. Es ingeniera metalúrgica consultora especializada en la especificación, selección y análisis de falla del metal arquitectónico y es la autora de más de 85 publicaciones. Ella puede ser contactada vía correo electrónico en chouska@tmr-inc.com.

Kirk Wilson es un gerente de proyecto con Foit-Albert Associates, P.C. en Buffalo, Nueva York. Es Doctor en ingeniería civil y es un ingeniero profesional registrado en el Estado de Nueva York. Es también un especialista en acero inoxidable certificado por *International Stainless Steel Forum (ISSF)*. Wilson puede ser contactado vía correo electrónico en kwilson@foit-albert.com.