



UN MUELLE A EXAMEN

EL ACERO INOXIDABLE MARCA LA DIFERENCIA

A finales de la década de 1930, la decisión de utilizar varillas de acero inoxidable corrugado al níquel (tipo 304, UNS S30400) en la construcción de un muelle oceánico era poco común, y también la estructura era inusual por su tamaño y longitud. Pero tanto la decisión como el muelle han superado la prueba del tiempo.

Ya en aquel entonces, las razones eran bastante obvias desde el punto de vista de la ingeniería: se trataba de un entorno donde toda la superficie estaría expuesta a cloruros, bien por encontrarse sumergida o en zonas que recibirían oleaje o salpicaduras; con el tiempo los cloruros penetrarían en el hormigón, la varilla de acero al carbono empezaría a corroerse y el óxido resquebrajaría el hormigón, aumentando aún más la penetración de los cloruros y acelerando la corrosión. En cambio, el acero inoxidable al níquel proporcionaría mayor robustez y frenaría considerablemente la velocidad de la corrosión.

Dado que la vida útil prevista para la estructura era prácticamente infinita, ya que siempre sería necesario un muelle en este lugar, los diseñadores tenían claro que debían optar por la varilla de acero inoxidable corrugado. Y ahora, después de 73 años de servicio, se pueden cuantificar las ventajas económicas y ambientales de esta decisión.

Un nuevo LCA por pares de acuerdo a la norma ISO compara el muelle de Progreso, construido con varillas de refuerzo de acero inoxidable corrugado, con un diseño alternativo simulado que es idéntico en todos los aspectos salvo en que usa varillas de acero al carbono.

La simulación y comparación de ambos muelles pone de manifiesto las ventajas tanto ambientales como económicas del uso de la varilla de acero inoxidable durante todo el ciclo de vida.

Mientras que el diseño alternativo requiere obras periódicas de rehabilitación y reconstrucción, el muelle de Progreso necesita poco mantenimiento, sigue funcionando y se espera que continúe utilizándose mucho después del plazo de 2020 contemplado en el estudio.

Así pues, se obtienen importantes ventajas ambientales con un costo similar o significativamente menor, dependiendo de la tasa de descuento elegida.

Análisis comparativo del ciclo de vida

El muelle de Progreso es único, por lo que no existe ninguna otra estructura con la que pueda compararse su rendimiento económico y ambiental. Sin embargo, es legítimo comparar el muelle real con otro simulado, que solo se diferencia del primero en que la varilla de acero inoxidable se ha sustituido por varilla de acero al carbono.

Este enfoque adoptado por los consultores de PE International permitió aplicar con confianza los protocolos estándar del diseño de ingeniería, ya que todos los parámetros fundamentales de la estructura –antigüedad, ubicación, uso y entorno climático– eran exactamente los mismos salvo la sustitución de un solo material en uno de sus componentes estructurales. De este modo se eliminaron todas las consideraciones periféricas y la comparación se centró en el rendimiento del muelle tal como fue construido frente a la bien conocida alternativa del acero al carbono.

El propio LCA se ajusta a la serie de normas ISO 14040 que rigen la realización de los LCA. El informe completo puede consultarse en www.nickelinstitute.org.

Pero, durante el período de 79 años que abarca el LCA (hasta 2020), el costo del ciclo de vida de la estructura alternativa “barata” es de 748.912 dólares, frente a los 520.018 dólares del muelle de Progreso real, es decir, un 44% más.

Análisis de las diferencias económicas

Si en 1941 el muelle de Progreso se hubiera construido con varilla de acero al carbono en lugar de utilizar acero inoxidable, el material habría costado aproximadamente un 14% menos. Pero, si se consideran los gastos de mantenimiento, rehabilitación y reconstrucción, las ventajas no son tan claras.

Tabla 1: Costos del ciclo de vida del diseño alternativo

Año	Actividad	Costo neto actual (en dólares de 1941)	
0	1941	Costo inicial del material	\$467 377
10	1951	Mantenimiento núm. 1	\$1 611
25	1966	Mantenimiento núm. 2	\$2 413
40	1981	Mantenimiento núm. 3	\$3 213
50	1991	Reconstrucción	\$465 046
60	2001	Mantenimiento núm. 1	\$1 603
75	2016	Mantenimiento núm. 2	\$2 401
79	2020	Valor residual	-\$194 754
Total		\$748 912	

Tabla 2: Costos del ciclo de vida del muelle de Progreso

Año	Actividad	Costo neto actual (en dólares de 1941)	
0	1941	Costo inicial del material	\$544 989
44	1985	Mantenimiento núm. 1	\$1 606
59	2000	Mantenimiento núm. 2	\$2 405
74	2015	Mantenimiento núm. 3	\$3 202
79	2020	Valor residual	-\$32 185
Total		\$520 018	

△ El calendario de reparaciones y los costos del ciclo de vida dan una clara ventaja al acero inoxidable. El “valor residual” refleja las conservadoras premisas sobre el muelle construido y otros 23 años de servicio (hasta 2041) para el diseño alternativo debido a la reconstrucción total de 1991 prevista en la simulación. Todas las cantidades son en dólares de 1941 y reflejan los ajustes por inflación y las tasas de descuento que figuran en el informe completo.

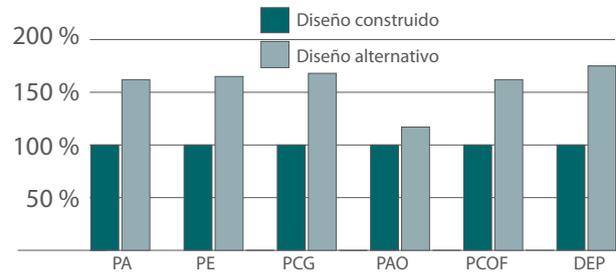
Análisis de las diferencias ambientales

Los impactos ambientales son más difíciles de medir que la inflación, pero la metodología de los LCA ha progresado con el tiempo y generalmente tiene como producto final un análisis del impacto del ciclo de vida (LCIA).

Tanto en el caso del muelle de Progreso como en el del diseño alternativo, las ventajas ambientales que reporta la varilla de acero inoxidable al níquel se perciben antes y son mayores que sus beneficios económicos. El gráfico 1 asigna al muelle de Progreso un “100” e ilustra el grado en que el diseño alternativo supera los impactos ambientales en porcentajes que van desde un 18% (agotamiento del ozono) hasta el 71% (demanda de energía primaria).

Pero, durante el período de 79 años que abarca el LCA (hasta 2020), el costo del ciclo de vida de la estructura alternativa “barata” es de 748.912 dólares, frente a los 520.018 dólares del muelle de Progreso real, es decir, un 44% más. Y las ventajas económicas del diseño construido ya están establecidas y no harán sino aumentar con el tiempo.

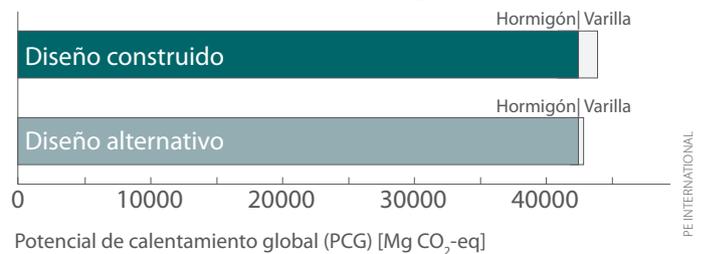
Gráfico 1: Impacto comparado con el diseño construido



PA: potencial de acidificación
 PE: potencial de eutrofización
 PCG: potencial de calentamiento global
 PAO: potencial de agotamiento del ozono
 PCOF: potencial de creación de ozono fotoquímico
 DEP: demanda de energía primaria

El gráfico 2 muestra dos factores importantes para el potencial de calentamiento global: en primer lugar, la enorme influencia del cemento/hormigón en el impacto general; y, en segundo lugar, la pequeña diferencia (aproximadamente el 3%) que para el total supone la elección del acero inoxidable frente al acero al carbono, diferencia que además desaparece al necesitar la estructura alternativa un primer mantenimiento a los 10 años, después del cual se acumulan los beneficios.

Gráfico 2: Potencial de calentamiento global



Potencial de calentamiento global (PCG) [Mg CO₂-eq]

△ Los dos muelles en 1941. La diferencia en el PCG de ambas estructuras desaparece tras el primer mantenimiento de la estructura alternativa a los 10 años, después del cual aumentan los beneficios del muelle de Progreso construido.

Un muelle sin edad

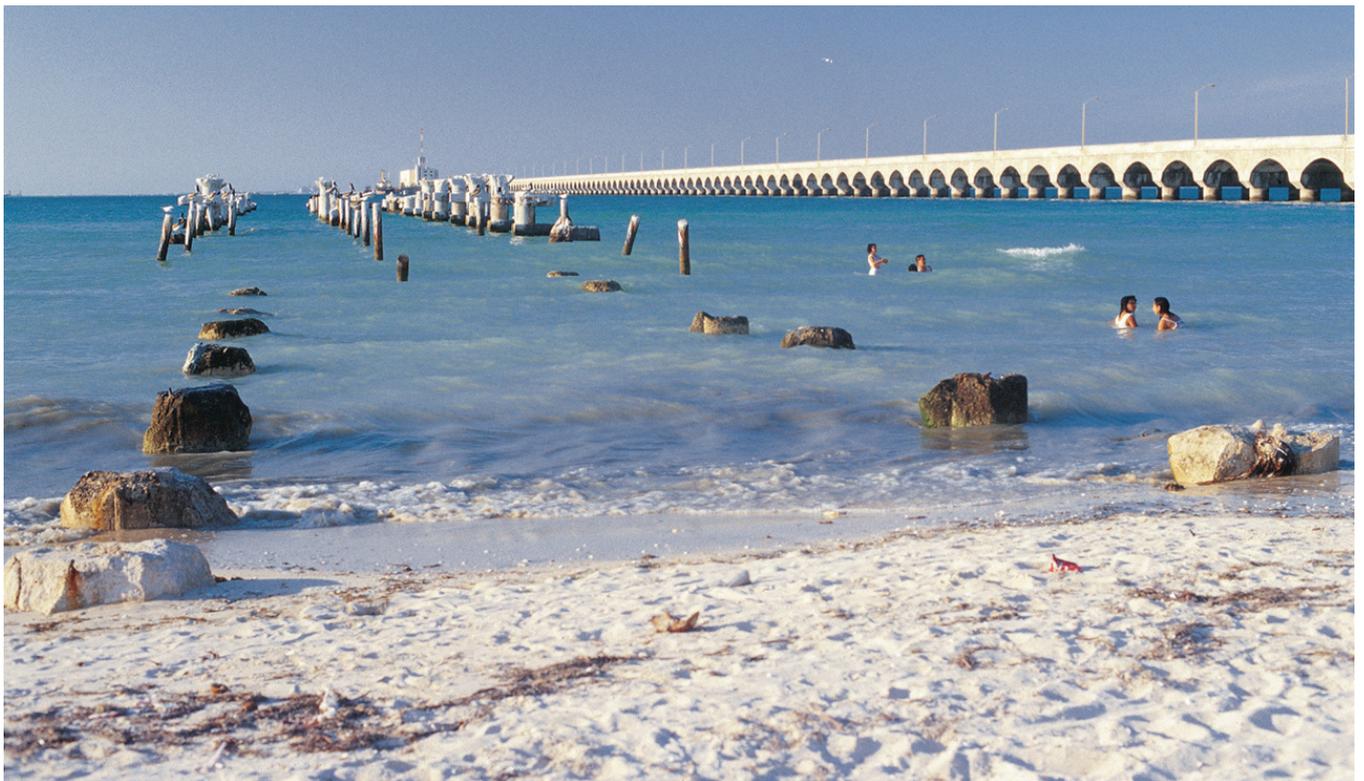
El LCA del muelle de Progreso indica que la decisión de utilizar acero inoxidable al níquel tomada hace más de 75 años reporta enormes ventajas financieras y ambientales.

Gracias a esa decisión ha sido y sigue siendo necesario extraer menos caliza de las canteras, pulverizar menos piedra para hacer agregados, desviar menos acero al carbono de otros usos, añadir menos productos químicos al hormigón para proteger la varilla de carbono de la inevitable agresión de los cloruros, e interrumpir menos el servicio del muelle para hacer reparaciones, renovaciones o sustituciones.

El capital, la mano de obra y los materiales que habrían sido necesarios para mantener una sola infraestructura en funcionamiento durante décadas han estado disponibles para otras actividades de desarrollo interno e industrial.

Y la historia continúa, ya que el muelle sigue funcionando pese a su constante uso industrial y a los rigores del clima y el entorno. Para los habitantes de la península de Yucatán, el muelle de Progreso ha sido un buen negocio desde el punto de vista económico y ambiental.





△ Imagen superior: En 1969 se construyó junto al duradero muelle de Progreso de 1941 (derecha) otro muelle mucho más pequeño (izquierda) con varilla de acero al carbono. El muelle de 1969 no resistió bien el paso del tiempo.

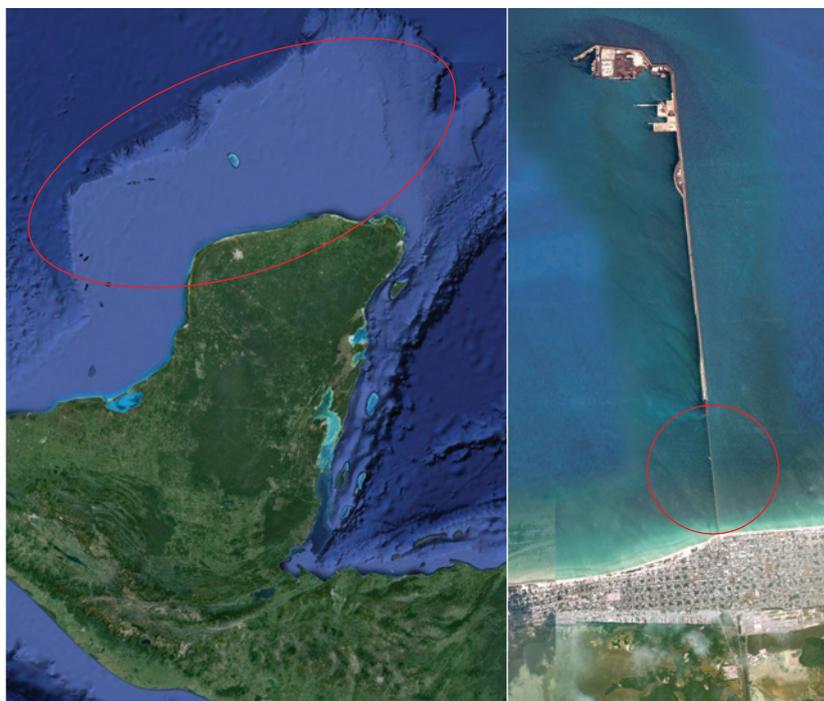
△ Imagen inferior: Aunque estaban situados uno al lado del otro y sometidos a las mismas agresiones de un entorno de agua salada, elevada humedad y temperaturas extremas (y ocasionalmente vientos huracanados y olas gigantescas), este pequeño muelle sin nombre no es adecuado para la comparación con el muelle de Progreso debido a su diferente diseño y función. El “diseño alternativo” permitió controlar totalmente la forma y la función con solo una variable fundamental: la presencia o ausencia del acero inoxidable al níquel.

Producto interior bruto (PIB) y eficiencia

Imaginemos que para construir el muelle de Progreso se hubiera usado acero al carbono en lugar de varilla de acero inoxidable.

El producto interior bruto (PIB) de México habría registrado como actividad económica positiva las repetidas obras de construcción y reparación de un muelle de acero corrugado al carbono, pues se habrían realizado actividades adicionales de minería, fabricación de cemento y varillas de refuerzo, transporte y vertido de escombros, con los consiguientes empleos y salarios, lo que habría contribuido al crecimiento del PIB mexicano.

Esta peculiaridad de que el PIB registre el daño por corrosión como aspecto económico positivo no significa que desde el punto de vista económico y ambiental la elección de la varilla de acero inoxidable en 1941 frenara la economía de México. Más bien significa que los recursos de todo tipo que habrían sido necesarios para mantener un muelle construido con varilla de acero al carbono han estado disponibles para otros proyectos, como la ampliación del muelle en 4,4 km durante la década de 1980.



IMÁGENES DE SATELITE CORTESÍA DE GOOGLE MAPS

Progreso

Progreso es la ciudad portuaria del estado mexicano de Yucatán, y su muelle, visible desde el espacio, es el más largo del mundo. Su longitud viene determinada por la geología: la plataforma de piedra caliza que forma la península de Yucatán pasa de la tierra al mar con un ángulo de inclinación tan ligero que literalmente hay que recorrer kilómetros para encontrar aguas con profundidad suficiente para permitir el paso de buques de carga.

En 1941 se completó la estructura original, con una longitud de 2,1 km. Esta fue la

estructura objeto del análisis del ciclo de vida.

Al crecer la actividad comercial (incluido el tránsito de grandes barcos de crucero) y aumentar el tráfico de buques cisterna y cargueros, en la década de 1980 se amplió el muelle hasta su longitud actual de 6,5 km. Ni

△ Izquierda: La plataforma de Campeche, que hace necesario el muelle de Progreso.

△ Derecha: El muelle actual; en el círculo, el muelle original de 1941.

Se con

▽ Hay muchos tipos de chatarra. La que aparece en la imagen es industrial: después de recortar las formas en la plancha, se usan los restos sobrantes para fabricar más plancha. La otra fuente principal de chatarra son los materiales que han llegado al final de su vida útil, desde ollas y sartenes hasta paletas de turbina, y que se usan para producir más acero inoxidable.