

F E R R O - C E M E N T O

EXTRACTOS DEL LIBRO DE NERVI "STRUCTURES"

"La idea fundamental tras el nuevo material de H.A. - Ferrocemento es el hecho muy conocido y elemental que el concreto puede resistir grandes esfuerzos en las cercanías de la enfierradura de refuerzo, y que la magnitud de los esfuerzos, tensiones, depende de la distribución y subdivisión del refuerzo dentro de la masa de concreto. Con esta idea como punto de partida, me pregunté cuál sería el comportamiento de las losas (losetas) en las cuales la proporción y subdivisión del enfierrado fuese aumentado a un máximo, por medio de capas circundantes de malla de alambre de acero delgado, unas sobre otras, interpenetradas por mortero de cemento.

La malla octogonal era del tipo standard usada para construir cielos falsos con yeso (en Italia), hecha de alambres de acero dúctiles de 0,5 a 1.5 mm. (0.02 a 0.06"), colocadas a una distancia de 1 cm. una de la otra. Pesaba 700 a 1800 x m<sup>2</sup> ( 0.14 a 0.35 psf) El mortero se hizo de 60 a 75 lb cemento por pié cúbico de arena de calidad. Las losetas resultaron extremadamente flexibles, elásticas y firmes.

Más tarde, con el objeto de aumentar el espesor y la resistencia de las losetas sin usar más de 10 o 12 cajas de malla, probé de insertar una o más capas de barras de acero de 6 a 10 mm. entre las capas situadas al medio del espesor de la loseta, llegando a espesores de 6 a 10 cm. Es de notar que dicho espesor era sólo ligeramente mayor que el espesor del paquete de mallas, debido al mortero requerido para cubrir las dos capas exteriores de malla.

El material así creado no se comportaba como Hormigón corriente, en cambio presentaba todas las características mecánicas de un material homogéneo.

Experimentos hechos con el nuevo material demostraron inmediatamente sus propiedades más útiles e importantes: podía resistir grandes tensiones sin formación

de fisuras en mortero de cemento, como un resultado de la subdivisión del enfierrado, eliminando además los moldajes, debido a que el mortero se podía aplicar directamente a las mallas, las cuales lo retenían perfectamente en su entramado.

Estas dos características abrían variados e interesantes campos de aplicación, y entre ellos considero como particularmente importante el campo de la construcción naval para barcos de tonelaje limitado. Experimentos más cuidadosos, con el nuevo material fueron llevados a cabo bajo la supervigilancia de la Marina Italiana. Se reunieron datos cuantitativos respecto a sus características mecánicas, resistencia al impacto, y a tensiones máximas antes de producir quebradura, - para losetas y otros elementos de Ferro-cemento de distintos espesores y proporciones de malla de acero.

Tests de impacto en que un peso de 250 Kgrs. se dejaba caer de alturas de más de 3 m. (10 ft.), mostraron la muy alta resistencia de losas de 1.50 x 1.50 m. (5 x 5 ft.) de sólo 2.7 cm. de espesor (1.1"). Aún más, estos tests mostraron que incluso cuando las losas terminaron por fallar, el peso no pasaba a través de ellas, y que incluso después que el mortero se resquebrajaba intensamente y cedía el acero, la losa no se desintegraba e impedía que el agua se filtrara a través de ella en grandes cantidades. Esta es una importante propiedad para un material que se use en construcciones navales.

La construcción de tres barcos para la Marina Italiana, y de un navío de 400 tons. empezada en la primavera de 1943 por mi compañía (Nervi y Bartoli, Ings.), fué suspendida y luego abandonada a causa de la guerra. Poco después de la guerra, en el verano de 1946, Nervi y Bartoli construyeron por su propia cuenta el motovelero Irene. La construcción tuvo lugar en el astillero de Lazzarini y Meacci en Anzio, y basado en un diseño naval de Guido Franco y un diseño estructural del autor. Este navío probó la simplicidad del método de construcción, y después de la botadura, la perfecta correspondencia entre el comportamiento actual y el previsto. En ese tiempo el astillero no tenía ni equipo mecánico ni corriente eléctrica. Ninguno de los sistemas tradicionales de construcción hubiera permitido la fabricación de un casco bajo condiciones semejantes y en el tiempo de tres meses.

El casco del "Irene" es de 3.5 cm. (1.4") de espesor, y consiste de tres capas ( 2 longitudinales y una intermedia transversal) de barras de acero de 1/4" a una distancia de 4", y 8 capas de malla - 4 en la superficie interior y 4 en la exterior - y que pesan o/u 350 grs./m<sup>2</sup> (0.24 psf). Mallas y barras están atadas por alambre de amarra. El mortero se mezcló con 1.200 de cemento de puzolanas x m<sup>3</sup> de arena (75 lb. x pié cúbico). Fué aplicado a mano desde el interior del casco, forzado a través de la malla y alisado desde el exterior.

La construcción no requirió moldajes, una característica de gran importancia que deseo aclarar. El peso total del casco resultó un 5% menos que el peso de un casco similar de madera. Su costo, 40% menos; en comparación con cascos de acero, la economía es aún mayor.

El casco probó ser perfectamente impermeable al agua. Desde el interior, la parte sobre la línea de flotación no puede distinguirse de la inferior, pues no hay en absoluto manchas de humedad. Después de ocho años de servicio pesado y constante en el Mediterráneo, el casco está tan "nuevo" como el día en que se construyó, no requiriendo en este período ningún costo de mantención (!).

Otras aplicaciones del Ferrocemento fueron hechas en los últimos años. Son totalmente diferentes de los barcos recién descritos y han confirmado la bondad del sistema. Entre ellas puedo mencionar una barcaza doble capaz de transportar 20 toneladas, un barco pesquero, y el más pequeño, pero talvez el más interesante de todos estos cascos, el velero "Nennele", de 12.70 mts. Tiene éste un casco de 1/2" de espesor, reforzado con 7 capas de malla con una capa de barras longitudinales de 1/4" espaciadas 5 cm. entre sí. Estas barras permanecían en su sitio durante la construcción por estar sujetas a costillas de tubo de acero de 1" separadas 1 m. una de otra, las que fueron incorporadas en el casco.

El velero presenta algunas ventajas sobresalientes respecto a cascos similares de madera: economía de construcción; espacio interior utilizado al máximo, debido a los tabiques muy delgados. Tiene una quilla construída de una pieza con el bote ( se hizo llenando la parte inferior del casco con hierro y concreto, y es extremadamente firme incluso contra impactos); es absolutamente impermeable y no requiere gastos de mantención. Después de cinco años de viajar larga-

mente en él, soy incapaz de encontrarle ninguna falla constructiva.

Mientras se hacían estas aplicaciones en el campo de la construcción naval, el Prof. Guido Oberti de la Escuela Politécnica de Milán comenzó nuevos y cuidadosos tests en su laboratorio con el objeto de añadir información adicional sobre la elongación del Ferrocemento antes que aparecieran grietas visibles. Estas pruebas mostraron la gran importancia del contenido de acero. La elongación del Ferrocemento reforzado con mallas de 125 Kg. a 250 Kg./m<sup>3</sup> (7.5 a 15 lb./ pié cúbico) es prácticamente idéntica a la elongación del mortero sin refuerzo. Si la proporción de acero en la malla es aumentada a 500 o 630 Kg. x m<sup>3</sup> (30 a 40 lb. x pié cúbico), la elongación aumenta rápidamente y llega a 5 veces más grande. Se puede entender intuitivamente que una buena elongación resulta cuando el refuerzo de malla es tan preponderante que arrastra consigo al mortero, en su deformación.

La primera aplicación del Ferrocemento a la ingeniería civil fué hecha por Nervi y Bartoli en 1947, en la construcción de una bodega experimental para su propio uso. Paredes y techo tienen un espesor de 2.7 cm. y deben su resistencia a la corrugación. Más tarde, al diseñar el gran edificio para la Feria de Milán, consideró el cubrir la galería central, 15 m. de ancho, con un techo shed corrugado de Ferrocemento. Este diseño de cubierta fué analizado teóricamente y experimentalmente por el Prof. Guido Oberti.

Durante los últimos años he tenido la satisfacción de construir edificios en los cuales el Ferrocemento no sólo estaba conveniente e interesantemente aplicado, sino que fué un factor decisivo tanto técnica como arquitecturalmente. La más importante de estas aplicaciones es la gran concha (shell) ondulada del Hall central del edificio de exhibiciones de Turín, para exposiciones permanentes, que cubre 92 m. de luz. La cáscara está construída de elementos de Ferrocemento prefabricados, conectados por arcos de Hormigón Armado en la parte superior e inferior de la ondulación.

Una estructura de este tipo construída por los métodos usuales, requeriría el uso de moldajes tan caros como para impedir su construcción en Italia.

El uso de elementos prefabricados de Hormigón Armado habría sido ineficiente debido tanto a la complejidad de su construcción como a su peso excesivo. Debido a que el Ferrocemento no requiere alzaprimado y es excepcionalmente liviano y resistente, permitiendo que los elementos corrugados no tengan más de 1 1/2", ofreció la solución más simple y eficiente al problema presentado por el edificio.

Puedo añadir que sin las propiedades estructurales del Ferrocemento la concepción completa estructural-arquitectural debería haber sido abandonada, o al menos radicalmente cambiada. Esta última afirmación pone énfasis una vez más respecto de las íntimas conexiones entre el diseño arquitectural y su realización estructural, y revela que las ideas estructurales nuevas son inútiles mientras no se basen en procedimientos prácticos y eficientes.

El Ferrocemento fué también de decisiva importancia en la erección de la cubierta ondulada periférica del Hall C del Edificio de Exhibiciones de Turín. Debido al reducido programa de construcción, a la necesidad de estructuras principales muy livianas y cubriendo largas luces, y a la importancia arquitectural del trabajo, era necesario encontrar una solución que permitiese la prefabricación de elementos livianos con buenas propiedades acústicas y térmicas, y una apariencia llamativa. El logro simultáneo de todos estos objetivos que había sido imposible con los sistemas estructurales usuales, resultó fácil con Ferrocemento. Usé vigas onduladas de 2 cm. de espesor, las que fueron fácilmente prefabricadas y colocadas en su sitio, a pesar de tener 8.50 m. de longitud. Estas vigas, ordenadas en forma paralela fueron cubiertas e interconectadas con una delgada losa de 4 cm. formando una techumbre que cumplió con todas las propiedades requeridas.

Creo que es posible utilizar el Ferrocemento para durmientes de ferrocarril, especialmente donde la madera es inapropiada debido al ataque de termitas o a condiciones climáticas desfavorables.

Aparte de mi propio optimismo justificable, siento que los resultados logrados predicen un campo de aplicación para el Ferrocemento cada vez más amplio. Sobre todo, este material hará posible utilizar en mucho mayor medida aquellas estructuras que deben su resistencia a su forma, tal como cáscaras delgadas y superficies corrugadas, y esto promete a su vez la realización de una nueva arquitectura.