

INTRODUCCION

El concreto simple, al igual que el concreto reforzado en ambiente marino, tienen ahora un siglo de historia. Pero el descubrimiento de petróleo en el Mar del Norte, dio un fuerte ímpetu hace diez años a una investigación básica y aplicada sobre el tema "El concreto en los Océanos". La primera plataforma de concreto Ekofisk 1 fue iniciada su construcción en el fiord Stavangers y en St-Remy-les-Chevreuse, se concluyó una investigación sobre la permeabilidad y el comportamiento del concreto expuesto al agua de mar y al aceite caliente operando a varias presiones.

El pasado y el presente del concreto en agua de mar: después de una revisión de las recomendaciones y prácticas francesas para el cemento y el concreto para usarse en concreto reforzado en el mar, se presentarán las tendencias actuales y los programas de investigación en proceso.

CEMENTOS PARA OBRAS MARITIMAS (PRISE MER) AYER Y AHORA.

Al más noble de los aglomerantes hidráulicos, se le ha atribuido la responsabilidad por una escasa dosificación, un mezclado insuficiente, concretos pobremente compactados, los cuales fallaron cuando fueron expuestos al mar. Mientras que Candlot en 1890, descubrió que para la formación de un sulfo aluminato de calcio con $31 H_2O$ a causa del ataque a los compuestos de la hidratación por los sulfatos del agua de mar, eran altamente expansivos, estas fallas eran generalmente atribuidas a la desintegración del cemento.

En 1902 se estableció un comité permanente por el Ministerio de Trabajos Públicos. La "Comisión Permanente de Chaux et Ciments" la cual, para estructuras marinas de concreto, prescribió un ensaye de alta duración para la acción en mar abierto, de acuerdo al criterio químico; así como también para los cementos para obras marinas (prise mer). Así, de 1904 a 1960, cientos de cementos fueron ensayados sobre cubos de mortero e inspeccionados anualmente en la estación de exposición, en 4 laboratorios marítimos localizados en Brest, Bolonia del mar del sur. La Rochelle, y Marsella.

En el laboratorio de Bolonia, las investigaciones notables de Féret fueron destruidas en 1940, pero el laboratorio de la Rochelle permanece aún activo. (Fig. 1 y 3).

En 1973, los resultados de esta estación de laboratorio de exposición, fueron analizados por R. Peltier quien concluyó que "La resistencia al ataque del agua de mar sobre morteros y concretos, depende de tres parámetros: de la densidad de la revoltura endurecida, del contenido de cemento y de la resistencia química del cemento a los sulfatos.

Los primeros dos parámetros son más importantes que el último. Excelentes estructuras marinas pueden ser construidas con concreto sensible al ataque de agua de mar, bajo la condición de que se cuelen concretos muy densos con un alto contenido de cemento. Sus descubrimientos son resumidos en el diagrama

de la figura 4.

Desde 1960, COPLA ("Comisión Permanente Des Liants Hydrauliques et Des Adjuvants"), reemplazó a la Comisión anterior y se le designó como cemento para obras marítimas (prise mer) con características químicas solamente, aunque el ensaye de larga duración en cementos seleccionados, ha sido reanudado en el laboratorio La Rochelle. Estos requisitos están detallados en la Tabla 1. Voy a comentarlos brevemente.

a).- Cementos Portland.- Los requisitos para cementos de la COPLA son muy similares a los del tipo II de la A.S.T.M.. La limitación del C_3A de 10% a 8% según recomendación de Peltier (1) y Regourd (2) resultarán en una identidad práctica. Sin embargo, la limitación del contenido de C_3A y de C_3S (no más del 50%) para ambas especificaciones, restringe el desarrollo temprano de la resistencia del concreto, esta restricción puede dañar la durabilidad de las estructuras expuestas prematuramente al agua de mar. De las tablas 4 y 5, se puede ver que una gran cantidad de obras de concreto construidas con cementos reuniendo estos requisitos fueron y están en buen estado de conservación en Francia: 14 en 1979 y 13 en 1980, de las cuales 10 presentaron una resistencia a los 28 días por encima de 45 MPa sobre morteros ISO, y son por lo tanto parcialmente adecuados para estructuras de concreto presforzado en alta mar. Cementos muy bajos en C_3A como los del tipo V de la A.S.T.M. o los SRPC de las Normas Británicas se producen sistemáticamente en Francia, para cimentaciones en suelos con alto contenido de sulfatos. Estas cimentaciones son exitosamente coladas con cementos CLK, un cemento de escoria de alto horno con una proporción de escoria arriba del 80%. 8 plantas fabrican el CLK.

b).- Cementos de Escoria de Alto Horno.- A todos ellos se les designa como cementos para obras marítimas (prise mer), éstos son usados para estructuras masivas donde se recomienda un cemento de bajo calor. La planta generadora Mareas de Rance fue colada utilizando un CHF 250 (70% de escoria con un contenido de 36% de SiO_2). Este cemento de bajo calor (251 J/g en 7 días determinado por el método de Langavant) (3) fue algo lento en el desarrollo de resistencia, en el rango 17/22 MPa en 7 días y 35/42 a los 28 días. Su comportamiento a la acción del agua de mar, fue ensayada sistemáticamente sobre especímenes simples y reforzados por E.D.F. (Fig. 5). Sin embargo, para vigas de concreto reforzado utilizadas en puentes no fue exitoso el uso de tal cemento (14), prematuramente expuesto al ambiente salobre, algo de su refuerzo transversal insuficientemente recubierto, comenzó a aparecer 15 años después, Fig. 6.

c).- Cementos con Puzolanas Naturales.- Michaelis y Tetmaier, alrededor de 1882 expusieron que agregando puzolanas a los cementos Portland, el hidróxido de calcio liberado por la hidratación, podía ser neutralizado, así la desintegración de morteros por el agua de mar podría prevenirse. Después, Féret sistemáticamente investigó los efectos de la adición de puzolanas y aun de materiales muy finos al clinker de cemento Portland, tanto en el laboratorio como sobre especímenes de mortero sujetos a ciclos de mareas en mar abierto. En 1926, él concluyó que la acción química de las puzolanas es efectiva pero insuficiente para detener completamente el ataque del sulfato. El recomendó la adición al

clinker de cemento de gaize quemada (una roca arcillosa encontrada hacia el norte de Francia) y así, los cementos gaize (65% de clinker por un 35% de gaize quemada) fueron comúnmente usados para trabajos marinos, mientras que en Alemania y en los Países Bajos los cementos trase fueron utilizados por las mismas razones.

Actualmente la producción de cementos gaize está descontinuada, grandes cantidades de cementos compuestos son producidas usando del 10 al 22% de puzolanas naturales, pero no se les designa como cementos para obras marítimas (prise mer) en tanto su certificación no haya sido solicitada a la COPLA, estas plantas están localizadas lejos de las costas del mar. En ultramar, tres cementos compuestos se les designa como NF-V y cementos para obras marítimas (prise mer) y se producen usando puzolanas naturales; todos ellos son cementos de resistencia media; el CPJ 45 en Fort de France (19.5% Pz), CPJ 45 en Pointe à Pitre (18.2% Pz) y CPJ35 en St Denis de la Réunion (15% Pz). En Casablanca, se produce actualmente el CPAz 325 con un 20% de puzolanas naturales, el cual es usado comúnmente en las obras de defensas marítimas; para el rompeolas de Jor Lasfar - 17,500 tetrápodos de 20 m³ fueron colados usando aproximadamente 105,000 toneladas de cemento puzolánico (5).

d).- Cementos de ceniza volante:- La ceniza volante pulverizada comenzó a ser intermolida con clinker alrededor de 1950, en la planta Barlin (Fig. 7) y en 1961 los cementos fabricados en Francia contenían aproximadamente el 20% de ceniza volante. El comportamiento de los morteros preparados con un cemento Portland FA (75% de clinker y 25% de ceniza volante) ensayados en el CERILH en soluciones de sulfato de magnesio, demostraron tener un mejor comportamiento que el cemento con clinker solamente (6). Sin embargo, en 1980 si de 35 cementos designados como cementos para obras marítimas (prise mer) 7 contenían ceniza volante y 20 contenían escoria de alto horno con una variación en porcentaje del 20 al 80%.

e).- Cementos Puzolánicos de Escoria de Alto Horno:- Un cemento conteniendo escoria de alto horno, fue patentado en 1951 por Foulloux (Fig. 8), bajo el nombre de "cemento puzolánico metalúrgico" y actualmente se produce en 3 plantas, este cemento es fabricado por el intermolido del clinker Portland, ceniza volante y escoria de alto horno en relación de 50/25/25 a 40/30/30.

Certificado por COPLA como cemento para obras marítimas (prise mer) y resistente al sulfato, los concretos preparados con cemento PMF tienen una manejabilidad excelente, pero no tienen un endurecimiento rápido y deben de ser protegidos contra el secado durante mayor tiempo que el concreto de cemento Portland.

En 1971-72, 160,000 Ton de PMF 2 (resistencia mínima a los 28 días --- 37.5 MPa) fueron usados para la 1er. compuerta de Le Havre, el PMF 2 se ha utilizado también en puentes de concreto presforzado sobre la laguna marina Abidjan - en 1961-62. El puente Sealand p.c. situado al oriente de Scheldt (7), donde se usó cemento de escoria de alto horno, y los puentes de Abidjan, no han colapsado aún, aunque el uso de cementos Portland mezclados (especialmente con constituyentes de escoria) ha sido criticado y aun prohibido, para concreto presforzado, en Francia "por su influencia sobre los aceros pretensados".

RECOMENDACIONES PARA EL CONCRETO PRESFORZADO EN AMBIENTE MARINO.

a).- En 1963, la Dirección de puertos marítimos, recomendó contenidos mínimos de cemento, estas recomendaciones permanecen aplicables, aún cuando las Normas para cemento han estado cambiando. Según la fórmula $C = 700/D^{1/5}$ donde C es el contenido de cemento en kg/m³ y D en (mm) es el tamaño máximo del agregado medido en cribas con agujeros redondos. Para un agregado de 25 mm (criba con malla cuadrada), el contenido mínimo de cemento es por lo tanto de 350 kg/m³ (Tabla 2).

El recubrimiento de concreto recomendado para el refuerzo de las estructuras en el mar, es de 40 mm (reglas CCba 68, No. 43).

b).- A fin de prevenir el desarrollo de grietas en el recubrimiento de las estructuras marinas de un ancho superior a 0.2 mm, el esfuerzo a la tensión permisible en el acero, está limitado por fórmulas que toman en cuenta la resistencia a la tensión del concreto, el diámetro y las deformaciones de las barras de refuerzo y el porcentaje de acero de las barras en tensión embebidos en el concreto (CCba 68, No. 49, 22). Así, para barras corrugadas de 25 mm, el esfuerzo a la tensión permisible está limitado a cerca de la mitad del valor permitido para estructuras en tierra firme.

TENDENCIAS ACTUALES

a).- Cementos:- Con la crisis de energía, un uso mayor de constituyentes secundarios fue permitido para los cementos mezclados; de 15 ± 5% a 25 ± 5% en 1974 y desde 1979, con el advenimiento de nuevas normas se incrementó a 35% incluyendo compuestos finos.

Sin embargo, la resistencia requerida a los 28 días, tiene que ser alcanzada y a pesar de los métodos avanzados de molido selectivo, la proporción de constituyentes secundarios, particularmente puzolanas naturales y compuestos finos, es raramente superior al 25% (Fig. 12). Exceptuando el cemento con escoria de alto horno que contiene 20% de constituyentes secundarios, aún a los 90 días la pérdida de resistencia es importante (8) (Fig. 9), con 35% de puzolana (9), es muy seria (Fig. 10) y con 35% de varios compuestos finos molidos, de 3,000 a 6,000 cm²/g la pérdida alcanza un 50%.

Con la disminución general de la producción francesa desde 1976, emergen tendencias no definidas (Fig. 7), en cuanto al uso diferencial de varios constituyentes secundarios, excepto para escoria de alto horno, a medida que la disponibilidad de ceniza volante está limitada, y de puzolanas naturales que existen solamente en Auvergne. Sin embargo, con el cierre de las plantas viejas y el mejoramiento de la tecnología en la producción de las plantas nuevas, la calidad de cemento ha progresado significativamente. En 1969, el 29% del cemento producido era certificado para una resistencia mínima a los 28 días de 40 MPa, desde Septiembre de 1980 el 45% es certificado para una resistencia mínima a los 28 días de 45 MPa (Tabla 3).