

EXPERIENCIA DE RECICLAJE EN LA PRODUCCIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Alejandro Salazar J.

Profesor Ingeniero Director de I&D de la Corporación Construir *

RESUMEN

En el mundo actual hay una tendencia creciente por utilizar materiales de construcción no convencionales, buscando soluciones a problemas sentidos de la sociedad, como son: la vivienda de interés social, la construcción de la infraestructura básica para almacenamiento y transporte de agua, la evacuación de aguas servidas, la construcción de vías, etc. Se busca con ello, sustituir parcial o totalmente el consumo de materias primas escasas o ubicadas en sitios distantes de aquel donde se las requiere, reduciendo el permanente incremento de costos que ello conlleva. Se contribuye así a la innovación y al desarrollo, lo cual traerá consigo beneficio económico y un gran impacto social y ecológico. A éstos materiales hoy en día se les denomina ECOMATERIALES.

ABSTRACT

In the modern World, there is a growing trend to use unconventional construction materials, in order to look for solutions to problems in society, such as: social interest housing, the construction of basic water storage and transportation infrastructure, the evacuation of served waters, roads construction, etc.

All the prior, in order to substitute, partially or totally, the consumption of prime materials that are scarce or located in places distant from where they are required, reducing the permanent increase of costs they produce: so forth, there is a contribution to innovation and development as a bias to bring economic benefit and a great social and ecologic impact. Nowadays, these materials are known as ECOMATERIALS.

* e-mail: alsaja@uniweb.net.co

2. ANTECEDENTES

La CORPORACION CONSTRUIR desde 1997, ha trabajado como línea común el diseño de mezclas y el diseño de morteros de mampostería, optimizando el uso del cemento portland al utilizar adiciones activas o inertes obtenidas a partir de residuos sólidos industriales (escoria siderúrgica de alto horno, escoria de acería blanca y negra, residuos de la industria cerámica roja, cenizas de fondo de caldera que emplean carbón y/o bagazo como combustible, ceniza de bagazo recuperada de ciclones y filtros, lodos de la industria del azufre). Algunos de los desarrollos o aplicaciones realizadas en los últimos 4 años son:

- Diseño, montaje y puesta a punto de la planta de ECOMAT S.A., que produce adiciones activas e inertes para optimizar el uso de cemento Portland en mezclas de hormigón y de morteros de mampostería. Se han construido, utilizando estas adiciones 240 casas de VIS (estrato 1) y 150 apartamentos (estrato 3) vaciados por formaleta. En marzo 2004 comenzó la construcción de alrededor de 100 casas y 100 apartamentos. Los ahorros reportados en obra equivalen en promedio al 18% del costo del cemento.

- Contrato de I&D para el diseño, montaje y puesta a punto de una planta para producir ladrillos cerámicos en frío y bloques de ecocementos, utilizando residuos industriales. El material se cura en un invernadero. Se emplearán como materias primas: ceniza gruesa de carbón, ceniza de bagazo, residuos

de la industria cerámica roja, lodos de una planta papelera y de una de tratamiento de agua potable. Proyecto aprobado por CVC en Agosto 2004. Valor total del proyecto \$1.082'000.000

- Contrato de I&D con COLCIENCIAS Y SIDELPA para la "Utilización de los residuos sólidos de SIDELPA en la producción de ECOMATERIALES para uso en la construcción de vivienda de interés social. Fase I". Se concluyó esta fase el 30 de Marzo de 2003. Actualmente se inició la Fase II, que pretende hacer los proyectos industriales para producir agregados para subbases de vías, arenas de construcción, un cemento belítico blanco para uso en acabados.

- Obra de pavimentación de los barrios LA ESPERANZA II, KENNEDY, PATIO BONITO, MUNICIPAL Y SAN ANTONIO de la población de Vijes – Valle del Cauca. Fueron 11.188 m² de obra utilizando 1.678 m³ de hormigón adicionado preparado en obra, obteniendo un ahorro de US \$30.000 en mes y medio. (Adicional al AIU cobrado por el contratista)

- Estudio de la durabilidad de hormigones comerciales adicionados con escoria siderúrgica de alto horno, para dos grandes centrales de mezclas. Se realizaron pruebas de: carbonatación, penetración de cloruros, permeabilidad y porosidad, estabilidad a los sulfatos, pruebas mecánicas a compresión y flexotracción para diferentes formas de curado.

INTRODUCCIÓN AL CONCEPTO DE DISEÑO DE MATERIALES

En el campo de los materiales para la construcción y más específicamente en el de los materiales conglomerantes o conglomerados de origen inorgánico que tienen como base los materiales cerámicos, el principio de diseño es similar y aplica genéricamente, independiente del tipo de mineral que se vaya a utilizar. En este caso en particular se tratará de los materiales conglomerantes, los agregados para construcción, los elementos para mampostería, los materiales para acabados y los que resultan de la interacción entre ellos.

Normalmente se diseñan y desarrollan materiales compuestos, que poseen como mínimo una matriz agregado y una matriz cementante. Estas dos matrices deben proveer la mayoría de las propiedades exigidas al nuevo material, que pueden ser:

- Alta compacidad
- Propiedades reológicas definidas
- Propiedades mecánicas definidas
- Propiedades físicas definidas: peso, conductividad térmica y sonora, comportamiento ante cambios térmicos y de humedad, textura, forma, permeabilidad, porosidad, etc.
- Durabilidad según condiciones de servicio
- Competitividad en costos y calidad

En la naturaleza se presentan materiales que el hombre ha intentado reproducir de manera artificial. Hay rocas constituidas por cristales grandes incluidos en una matriz de grano fino deno-

minada pasta. A estas rocas se les denomina pórfidos. En términos comunes para un constructor, esto constituiría a un **HORMIGÓN**, y corresponde a un material compuesto que aglomera a otros materiales de diferentes granulometrías, mediante un cemento o pasta.

Al observar un ladrillo cerámico en un microscopio, se encontrará que también está constituido por una pasta o magma cementante que aglomera a unas partículas gruesas y finas. El cemento que realiza esta aglomeración se produce por el principio de sinterización el cual ocurre a una determinada temperatura.

En general es necesario que exista una matriz cementante, no importa cual sea su origen, siempre y cuando sea compatible con los materiales que va a aglutinar. Dichos materiales embebidos por la matriz también deben ser compatibles químicamente con ella, para garantizar la durabilidad del material producido. A su vez, estos deben tener una distribución de tamaños con objeto de hacer mas o menos denso al producto y conferirle con ello: propiedades físicas y mecánicas, impermeabilidad, textura, etc.

Cuando se comprende bien este mecanismo, es posible diseñar hormigones de yeso o de resinas epóxica aglutinando arenas y gravas. De la misma manera surgen los desarrollos que hoy conocemos como **FIBER-GLASS** o los conglomerados de madera como el **TABLEX** y los mismos **TRIPLEX**.

Todo desarrollo debe estar precedido de una experimentación exhaustiva y de una definición apropiada de los pasos a seguir para hacer controlable y reproducible el diseño.

Los artesanos de la construcción, llámense pegadores de ladrillo, estucadores y pintores, carpinteros de madera, etc., por lo general conocen cómo utilizar ciertos materiales y residuos obtenidos de las mismas obras, para darle al material que están elaborando una condición particular o realizar reparaciones sobre la marcha. El polvo de ladrillo aglutinado con cemento blanco o con acronal o PVA se prepara para corregir los desperfectos del ladrillo; con el polvo de aserrín de madera y un aglutinante se tapan los desperfectos de la madera. Como estas aplicaciones no están precedida de una experimentación previa ni son evaluadas durante el servicio de la obra, el conocimiento que se podría extraer para mejorar las aplicaciones e innovaciones no se desarrolla ni se tecnifica.

El usuario del hormigón debería tener un certificado de garantía sobre sus propiedades físicas, mecánicas y de durabilidad. Esta aseveración plantea una responsabilidad ética a los profesionales de la construcción y más específicamente para este caso, a los ingenieros o arquitectos responsables del diseño y preparación de las mezclas de hormigón, pues en últimas la calidad de su trabajo se verá identificado con el respeto que le demuestren a la comunidad en general y al individuo en particular, en cuanto a minimizar el costo imprevisto por reparación y mantenimiento de la obra elaborada sean éstas en el

campo de la vivienda, las vías, las conducciones eléctricas, los alcantarillados, etc.

Las normas actuales se introducen en esta visión. La definición que la ASTM da a cada uno de los materiales que conforman al hormigón y a éste mismo es muy dicente.

- La norma ASTM C-125 define al CONCRETO u HORMIGÓN, como “un material compuesto que consta esencialmente de un medio pegante dentro del cual se embeben partículas o fragmentos de agregados; en los hormigones de cemento hidráulico el pegante esta formado por una mezcla de cemento hidráulico y agua”.
- El CEMENTO HIDRÁULICO esta definido en la norma ASTM C-219, como “un cemento que fragua y endurece por interacción química con el agua y que es capaz de hacerlo bajo agua”.
- Los AGREGADOS para uso en elaboración del hormigón, están definidos por la norma ASTM C-125, como “materiales granulados tales como: arena, grava, piedra triturada o escoria de altos hornos siderúrgicos, que son usados con un medio cementante para formar hormigones o morteros de cemento hidráulico”.

Son múltiples las causas de patologías en el hormigón armado, pero muchas de ellas dependen de la calidad y

la estabilidad en el tiempo del material que recubre los aceros. La durabilidad de este material exige un pleno reconocimiento de las condiciones climáticas, ambientales y de servicio de la obra y ello debe relacionarse con el comportamiento de los materiales constituyentes, las proporciones empleadas, la ejecución, la colocación y el curado.

Durante años se desconoció, casi completamente por el hombre, que la propiedad mecánica del hormigón no era la única a considerarse en un diseño; solamente cuando las investigaciones se introdujeron en el campo de la microestructura del material, se comprendió mejor a éste y se establecieron nuevos parámetros para definir su apropiada dosificación. El mundo actual del hormigón nos presenta el gran reto de conseguir de él la máxima capacidad posible como material, definiéndole una durabilidad y una estabilidad desde la dosificación.

HORMIGONES PREPARADOS CON PUZOLANAS Y ADICIONES CEMENTANTES

Desde hace mucho tiempo es aceptada la incorporación al cemento o al hormigón, de "fillers inertes", como la caliza. Cuando la adición es activa, se consiguen mejores ventajas técnicas, se puede incrementar la participación de estas adiciones respecto a las inertes, igualando o mejorando las características de los productos que las contienen, con el consecuente efecto económico.

Primero habría que distinguir entre adiciones activas o inertes. Una adición es activa cuando a temperatura ambien-

te y en contacto con Hidróxido de Calcio o con Portlandita ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) liberada en el proceso de hidratación de la fracción de clinker del cemento, genera productos similares a la TOBERMORITA (silicatos de calcio hidratados), responsables del endurecimiento del cemento. Cuando la adición es activa, es importante utilizar un clinker rico en C3S, capaz de liberar grandes cantidades de hidróxido de calcio en su hidrólisis.

Un relleno o "filler" es una adición muy fina, con una participación que fluctúa entre el 5% y el 20 % del peso total del conglomerante, con la que se consigue una mayor densificación de la masa del hormigón lo que se refleja en la reducción de la porosidad del mismo. Este efecto depende fundamentalmente de la distribución de tamaño de la adición y tiene como consecuencia que conserva la resistencia mecánica del mortero o del hormigón fabricado con ella.

Las adiciones silícicas pueden provenir del sector industrial o agrícola que las dispone como residuos o subproductos sin ningún uso en particular, ocasionando problemas ambiental que tienden a incrementar los costos de la producción. Dichos residuos, generados y manejados con una clara conciencia de reciclaje, podrían convertirse en productos beneficiosos para el sector de la construcción, y a su vez cumplir con una función social cuando al ser empleadas consigan: ahorrar energía, reducir costos en sus procesos, establecer una protección ambiental y contribuir a la conservación de algunos recursos naturales no renovables. Hay adiciones silícicas que provienen de fuentes naturales, como los vidrios vol-

cánicos que constituyen una parte fundamental de las rocas ígneas efusivas, más conocidas como puzolanas, y que están presentes en zonas volcánicas. Colombia no es ajena a esta temática y desde hace casi 30 años, utiliza las adiciones, activas o inertes, en la producción de cemento y desde hace 5 años, en la producción del hormigón premezclado.

ALGUNOS AVANCES DEL ESTADO DEL ARTE EN ESTE CAMPO

Cuando hay participación de una adición sin tener en cuenta la noción de CONTENIDO DE CEMENTO PORTLAND EQUIVALENTE (CPE), las propiedades físicas, mecánicas y de durabilidad de los cementos y de los hormigones fabricados, se

$$\text{CEMENTO PORTLAND EQUIVALENTE (CPE)} = c + k a_d$$

donde:

c = cantidad de cemento

a_d = cantidad de adición

k = coeficiente de equivalencia que depende de la naturaleza de la adición:

Para fillers calcáreos, $k = 0,3$

Para cenizas volantes, $k = 0,4$ si : $i_{28} > 0,75$

$i_{90} > 0,85$

afectan notablemente. Este concepto se expresa de la siguiente manera:

El índice de actividad i de las puzolanas corresponde a la relación de la resistencia de morteros normalizados a una misma edad de curado, los unos preparados con 75% de cemento de referencia y 25% de puzolana y otro preparado con el cemento de referencia únicamente.

Cuando en la ecuación de Feret se reemplaza el valor de c por el de $(c+ka)$, se predice una resistencia a la compresión constante, para todos los hormigones que satisfagan esta condición.

$$f_c = k (c/(c + w + v))^2$$

donde: f = resistencia mecánica

c, w, v , son proporciones en volumen de cemento, agua y aire

En la Tabla N° 1⁽¹⁾ se observa el cumplimiento de lo planteado:

TABLA N° 1: PROPORCIONES DE MEZCLAS DE CONCRETO Y RESISTENCIAS

"A" series	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
c kg/m ³	280	272	263	258	252	240	229	219
a _d kg/m ³	0	21	44	55	69	100	127	153
(c+a _d) kg/m ³	280	293	307	313	321	340	356	372
a _d /(c+a _d) (%)	0	7,1	14,3	17,6	21,4	29,4	35,7	41,2
w kg/m ³	168							
(c+0.4a _d) kg/m ³	280							
w/(c+0.4a _d)	0.6							
R ₁ día MPa	8,7	10,8	10,3	7,2	8,7	8,5	7,3	7,5
R ₂ días MPa	15,3	15,2	18,2	14,7	14,3	14,5	11,8	13,0
R ₇ días MPa	23,7	21,0	24,3	21,0	21,2	22,5	18,2	20,7
R ₂₈ días MPa	29,5	25,0	26,0	30,0	29,7	29,3	26,0	26,7

Es necesario recordar la ley de Feret que plantea:

La tendencia a reducir el contenido de cemento portland puro en el hormigón, utilizando cementos adicionados ó incorporando directamente la adición, independiente de si esta es activa o inerte, ha planteado una pregunta de gran importancia: ¿Hay un contenido mínimo de cemento portland por debajo del cual la durabilidad del hormigón se reduce aunque la resistencia mecánica se conserve?

Sobre el particular se ha trabajado ampliamente, y a manera de ilustración se presentan algunas conclusiones:

a. Con base en los resultados presentados en las tablas N° 1 y N° 2 y en las figuras 1 y 2, donde se encuentran diferentes dosificaciones de hormigones adicionados con cenizas volantes y en los resultados correspondientes de resistencia mecánica y de profundidad de carbono,

se concluye que aunque la resistencia mecánica del hormigón se conserve dentro de valores similares, la penetración de la carbonatación es alta cuando el contenido de cemento portland se reduce por debajo de 240 kg/m³ y es total cuando este contenido es inferior a 220 kg/m³.

b. En general se conoce que la incorporación de la adición al hormigón trae como consecuencia una mejora de su durabilidad o de su estabilidad en el tiempo. Diversos estudios en el mundo lo corroboran, aunque se ha hecho énfasis en que las adiciones no deben utilizarse incontroladamente y deben mantenerse dentro de unas cantidades determinadas con base en estudios específicos sobre el tipo de adición empleada, sea esta en la producción de cementos o de hormigones.

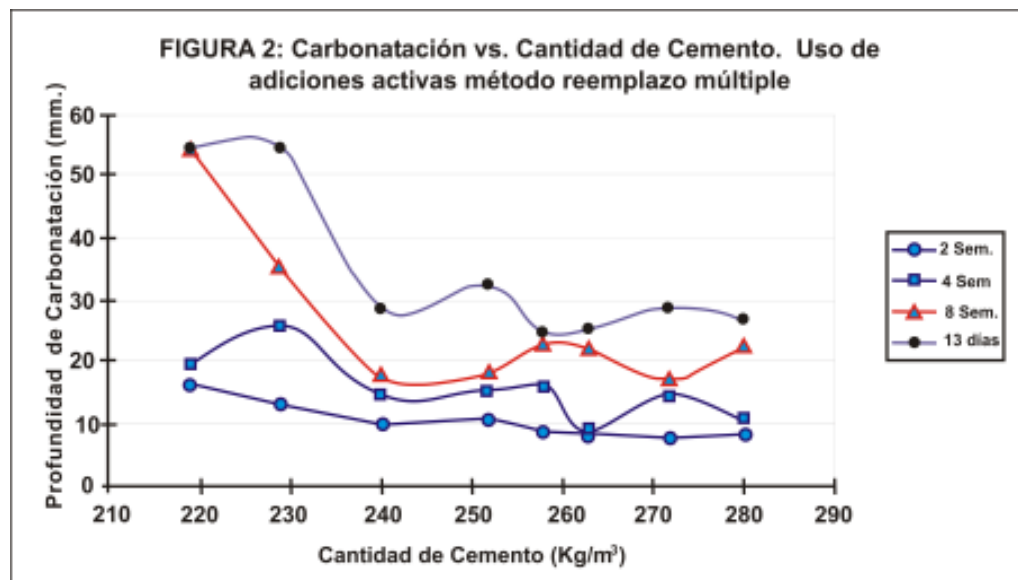
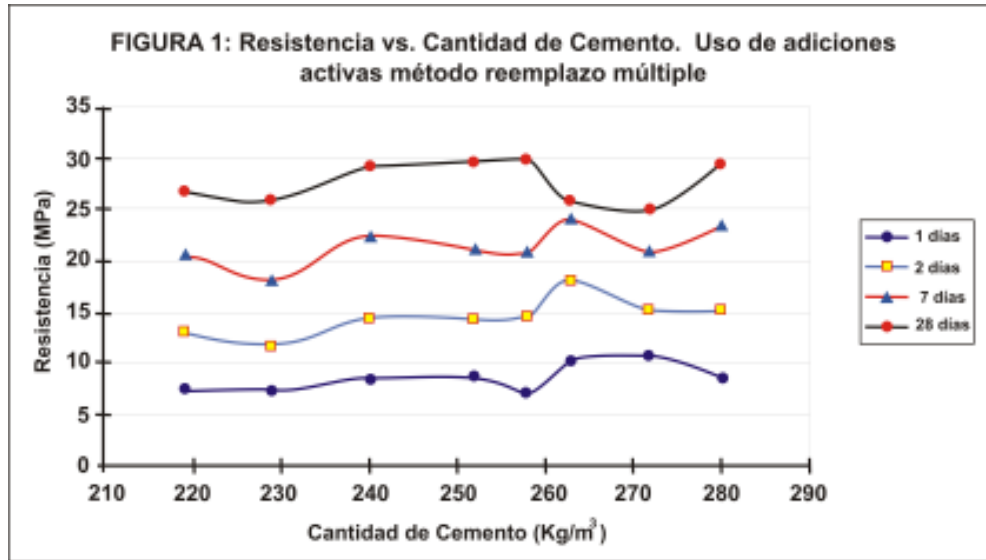


TABLA N° 2: PROFUNDIDAD DE CARBONATACIÓN EN AMBIENTE DE CO2 A 20°C Y 65% DE HUMEDAD RELATIVA

TIEMPO	PROFUNDIDAD DE CARBONATACIÓN (mm)							
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
2 semanas	8,7	7,8	8,3	8,8	10,6	9,8	13,2	16,2
4 semanas	10,7	14,6	8,9	6,2	15,4	14,6	26	19,7
8 semanas	22,9	17,3	22,2	23,3	18,6	17,8	35,5	55,0
13 semanas	26,9	29,2	25,4	24,9	32,6	28,9	55,0	55,0

Como en Colombia se utilizan las adiciones en la producción de cementos y de hormigones premezclados, tales como: puzolanas naturales, cenizas volantes^{(1),(2)} y escorias siderúrgicas de alto horno, es importante reconocer el efecto que estas tiene sobre la durabilidad del hormigón. Se han concluido varios estudios sobre el particular encontrándose que los hormigones se mejoran en la medida en que se reduce el tamaño medio de las partículas de la adición. Estas mejoras se pueden sintetizar como:

- Reducción de la a/c para igual trabajabilidad.
- Mayor desarrollo de resistencias.
- Supresión de la reacción álcalis agregados.
- Disminución del uso de aditivos reductores de agua para producir hormigones de alta resistencia.
- Reducción del coeficiente de difusión comparado con el del hormigón preparado únicamente con cemento puro.
- Tamaños de poros menores.

- Obtención de una microestructura más densa.
- Mejora de la durabilidad de los hormigones.

Es importante reiterar sobre la necesidad de hacerle a cada adición, estudios suficientes que garanticen la estabilidad de los hormigones y de los morteros y por ende de las obras, frente a los diferentes ambientes a que está sometida la construcción.

AVANCES DE ESTUDIOS EN COLOMBIA SOBRE LA DURABILIDAD DE HORMIGONES ADICIONADOS

La Corporación Construir ha realizado varios estudios acerca de la durabilidad de hormigones comerciales con y sin adiciones, además de investigaciones relativas al tema. A continuación se presentan algunos resultados donde se utiliza como adición escoria siderúrgica de alto horno.⁽³⁾

“El curado es parte esencial para el desarrollo de las propiedades mecánicas y de durabilidad de los concretos. Los efectos de este proceso se hacen más relevantes, en particular en el aspecto de durabilidad, cuando se incorporan materiales cementantes tales como la escoria siderúrgica de alto horno y las cenizas volantes. Este estudio comprueba el efecto de tres distintas formas de curado sobre concretos adicionados con escoria siderúrgica en proporciones en peso respecto del cemento y en los siguientes valores: 0, 20%, 40% y 60%. Las formas de curado planteadas obedecen a una simulación de las aplicadas convencionalmente en el

¹ Salazar, A., et al.: "Utilización y/o disposición de Residuos Sólidos de la Combustión del Carbón en las Centrales Térmicas de Paipa, Zipaquirá, Guajira y Tasajero. Informe Final Fase II ", Contrato ICEL - UNIVALLE 5854, Octubre 1993.

² Salazar, A., "Development of early age strength in concrete with addition of natural pozzolan or limestone", Proceeding of 6^o CANMET/ACI International Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag and natural Pozzolans in Concrete, Bangkok, Thailand, June, 1998.

³ Salazar, A., "Los Ecomateriales, una alternativa económica para la construcción de pavimentos y edificaciones", II Convención Internacional ACI-PERU, Lima, Perú, Diciembre 2003.

medio de la construcción comparándolas con la forma ideal recomendada para trabajos de laboratorio.

Para evaluar la durabilidad de los concretos preparados con y sin escoria siderúrgica, se hicieron los siguientes ensayos: medida de la porosidad, medida de la velocidad de carbonatación, evaluación del comportamiento al ataque de sulfatos y resistencia a la penetración de iones cloruros. En este aspecto se tomó como referencia el "Manual de Inspección, Evaluación y Diagnóstico de la Corrosión en Estructuras de Hormigón Armado" de la Red Durar - CYTED. Igualmente, se evaluó la evolución de la resistencia del concreto hasta 90 días, para las diferentes formas de curado y los distintos porcentajes de adición aplicando el método del simple reemplazo.

Las muestras fueron tomadas teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

- **Resistencia a compresión:** *Se prepararon cilindros de 15 x 30 cm, ensayados utilizando refrendado de neopreno, a las edades de 3, 7, 28, 45 y 90 días. Se siguió la norma ASTM C-39*

"Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens".

- **Profundidad de Carbonatación (Ensayo Acelerado):** **Se tomaron cilindros de 15 x 30 cm, sellados con pintura epóxica en sus dos extremos. Este ensayo se realizó según los planteamientos de Piguét.** ^{4,5}

- **Porosidad y Absorción:** **Se utilizaron cilindros de 15 x 30 cm, ensayados a la edad de 30 días. El ensayo se basó en la norma ASTM C-642 "Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete".**⁶

- **Penetrabilidad de Cloruros:** **Se tomaron cilindros de 10 x 20 cm, los cuales se cortaron en tres partes, cada una de 5 cm. El ensayo se realizó según la norma ASTM C-1202 "Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration".**

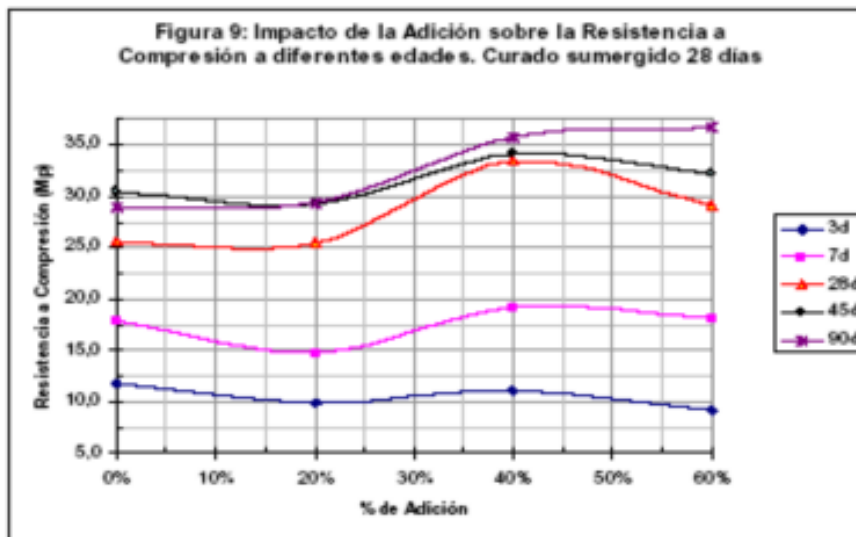
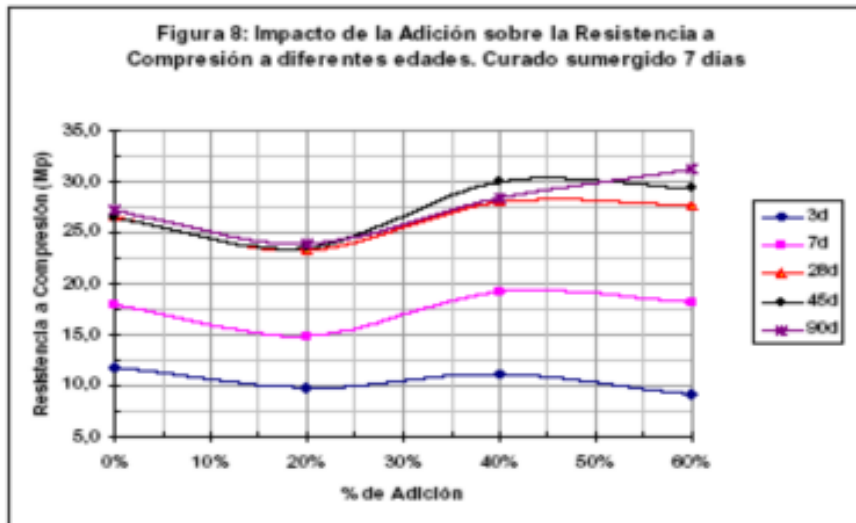
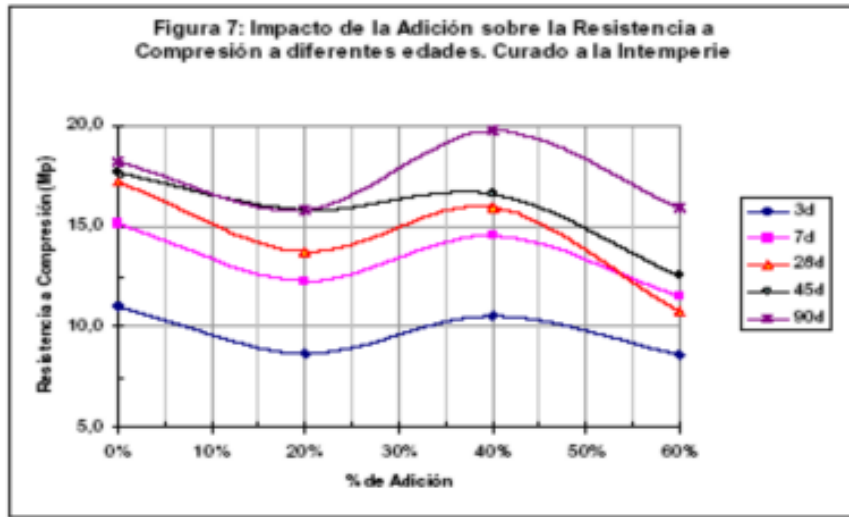
- **Resistencia a Sulfatos:** **Se utilizaron prismas de 7.6 x 7.6 x 28 cm, con pines de acero inoxidable en sus extremos. Se siguió la norma ASTM C-1012 "Standard Test Method for Length Change of Hydraulic-Cement Mortars Exposed to a Sulfate Solution".**

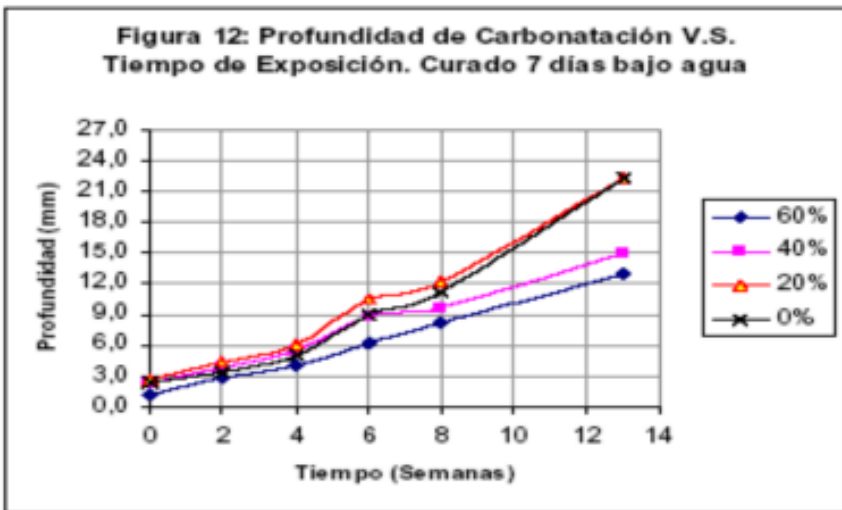
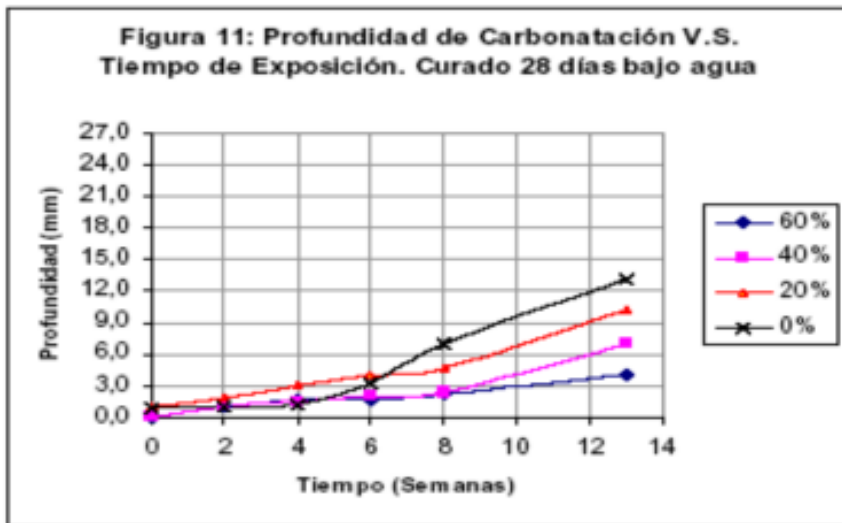
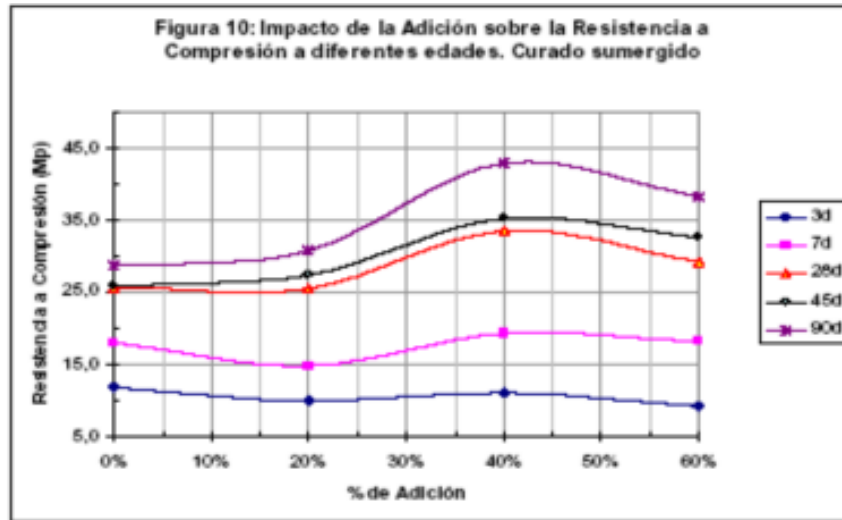
⁴ **Baron J., Bollotte B., Clergue C.:** "Fly Ash Replacement of Cement: Threshold Values of Cement Content In Relation to Concrete Durability", Proceedings of the P.K. Metha Symposium on Durability of Concrete 1995, pp 21-34.

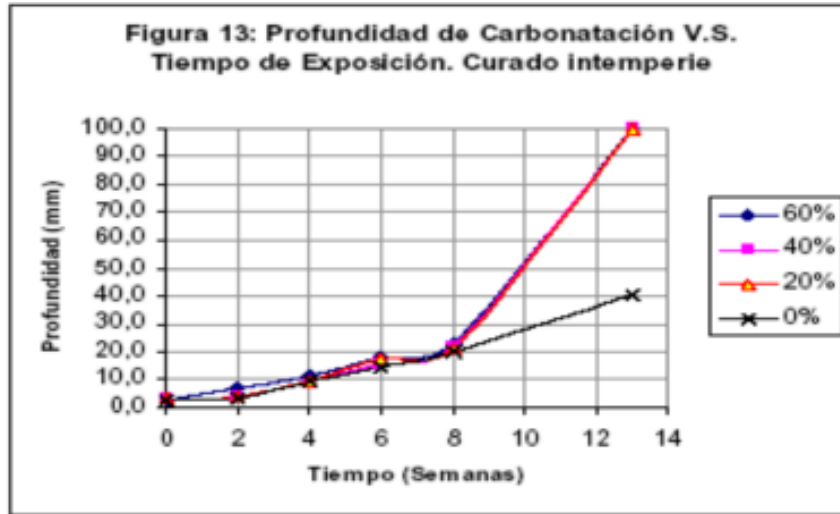
⁵ **Andrade, M., C.,** "Corrosión y protección de la armadura del hormigón armado", X Curso de estudios Mayores de la Construcción, Cemco 85. Edificación, su patología y control de calidad. IETCC. Madrid, 1985.

⁶ **Red Durar,** "Manual de inspección, evaluación y diagnóstico de corrosión en estructuras de hormigón armado", CYTED, Venezuela, 1997.

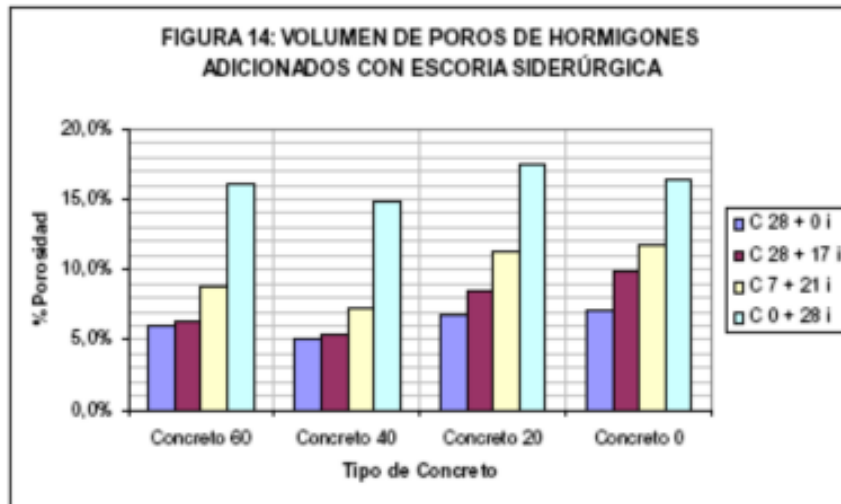
Los resultados se resumen en las figuras siguientes.



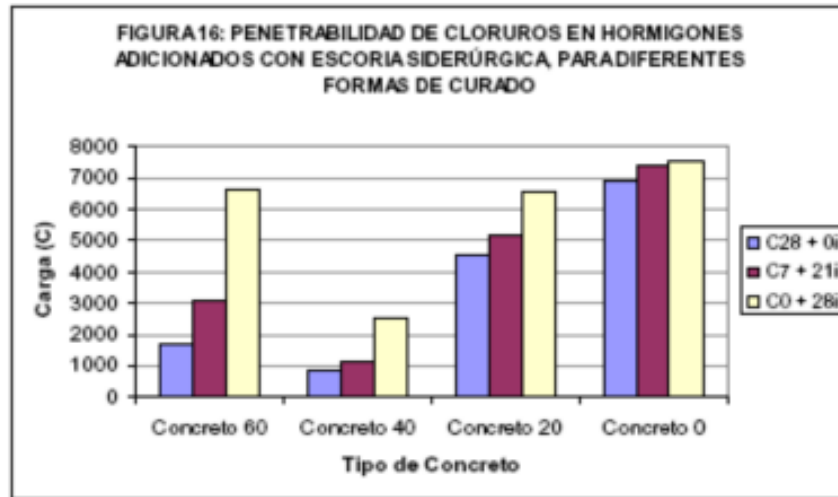




PARÁMETROS DE CONTROL DE LA POROSIDAD	
< 10 %	Indica hormigón de buena calidad y compacidad
10% - 15 %	Indica un hormigón de moderada calidad
> 15 %	Indica un hormigón de durabilidad inadecuada



Parámetros de Control de la difusión del Cl ⁻	
Coulombs pasados	Penetrabilidad del ión Cl ⁻
> 4.000	Alta
2.000 – 4.000	Moderada
1.000 – 2.000	Baja
100 – 1.000	Muy Baja
< 100	Despreciable



Como se deduce de las figuras anteriores, existe una notable influencia del comportamiento a la durabilidad, según sea: el método de

curado, la cantidad de adición utilizada y el medio agresivo presente. Para emplear adiciones, es necesario conocer sobre esta influencia.

ALGUNOS RESULTADOS DE APLICACIONES DE ADICIONES AL CONCRETO

Pavimento de unos barrios en Vijes, Valle del Cauca.

Se procedió a diseñar por simple reemplazo, varias mezclas que utilizaron adición activa suministrada por ECOMAT S.A. Las características de la adición fueron:

Tipo de Adición	Ceniza Volcánica (pumita) y/o ladrillo quebrado molido
Origen	Mina, diferentes ladrilleras
Tamaño promedio de partícula	6,5 y 2,0 μ
Color	Desde gris claro hasta ligeramente rosada
Índice de actividad puzolánica con cemento a 3 días (ASTM C 618)	Mínimo 80 %
Forma de suministro	Sacos de 25 kg

Se diseñaron mezclas adicionadas entre 0 y 40%, utilizando el método de los espacios libres y empleando cemento a granel de Cementos del Valle. Como en la obra se requería de un hormigón cuya resistencia mecánica a compresión fuera de 21,0 Mpa a los 28 días, se seleccionó el diseño correspondiente a una adición por simple reemplazo del 20%.

En la tabla N° 4 se muestran el promedio de los resultados de cilindros tomados en obra, con un coeficiente de variación del 12%.

**Tabla N° 4: Resultados de pruebas de los Concretos en obra.
Promedio con CV: 12%**

RESULTADOS DE CILINDROS TOMADOS EN OBRA (Medias) Cv= 8.6%			
	3 días	7 días	28 días
1' (Mpa)	9,1	13,9	21,7

Las recomendaciones y observaciones para la preparación de la mezcla en obra y sobre la ejecución de la obra se pueden resumir así:

- Una vez se colocó y terminó el paño de hormigón, se recomendó hacer la junta hincando en la mezcla fresca una platina. Las condiciones de clima (temperatura máxima de día 45°C, temperatura mínima de noche 16°C), viento por las tardes superior a 20 km/h, obligaron a realizar esta labor rápidamente.
- Las partículas finas aportadas por la adición contribuyeron a impedir la rápida evaporación de agua puesto que estas incrementan la retención de agua de las mezclas. Así, se contrarresta parcialmente el efecto de desecación generado por el viento y se combate la temperatura de la masa de hormigón generada por las reacciones del cemento.
- El curado con agua durante 7 días es fundamental, para reducir al máximo la desecación por viento así como para conservar el agua suficiente en el in-

terior de la mezcla y desarrollar las propiedades del hormigón adicionado. Se recomendó realizar un curado exhaustivo para este tipo de obra y para este tipo de hormigón.

Análisis de Costos

Se presenta el cuadro comparativo del análisis de los costos reales de la obra de pavimentación en hormigón adicionado en Vives, Valle del Cauca, respecto a los costos presupuestados y aprobados con mezclas convencionales.

Según el cuadro, el hormigón adicionado generó un ahorro representado en:

- Optimización del consumo de cemento por efectos del método de dosificación que incluye adiciones activas.
- Ahorro en el precio del cemento, por diferencia entre el valor del cemento a granel y el del cemento en sacos.
- Ahorro por utilización de una material de menor precio que el precio del cemento.

OBRA MUNICIPIO DE VIJES BARRIOS LA ESPERANZA II, KENNEDY, PATIO BONITO, MUNICIPAL Y SAN ANTONIO M2 DE PAVIMENTO 11.188,0 M2 M3 DE CONCRETO 1.678,2 M3 TIEMPO ESTIMADO DE FUNDICIÓN 1,5 MESES ARENA AMAIME, CAUCA AGREGADO GRUESO CALCAREO CEMENTO VALLE GRANEL EQUIPO DE MEZCLA CERMIX							
				Construir		\$	
				Costo Diseño Mezcla		2.000.000,0	
				Costo Supervisión Obra		3.300.000,0	
				\$ por m3 de concreto		3.158,15	
ALTERNATIVA 1: CONCRETO CON ADICIÓN							
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT.	VR. UNIT	MATERIALES	M DE OBRA	EQUIPO	OTROS
CEMENTO	kg	280,0	313,00	87.640,00			
ADICIÓN	kg	70,00	220,24	15.416,67			
ARENA	m3	0,68	16.240,00	11.043,20			
GRAVA	m3	0,68	19.720,00	13.409,60			
TRANSPORTE ADICIÓN	kg	70,0	11,67				816,90
GASTOS INSTALACIÓN SILOS, OTROS	Gl	1,00	774,64				774,64
AYUDANTE CARMIX	Gl	1,00	939,04		939,04		
VIGILANCIA CARMIX, SILO	Gl	1,00	607,79		607,79		
MANO DE OBRA SUBCONTRATO	m3	1,00	450,00		450,00		
FORMALETA, REGLA, RANA	Gl	1,00	3.697,18			3.967,18	
ALQUILER CARMIX	Gl	1,00	8.938,15			8.938,15	
DIRECTO		143.733,17	\$/m3	127.509,47	1.996,83	12.635,33	1.591,54
Rendimiento		1	m3				
ALTERNATIVA 2: CONCRETO TRADICIONAL							
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT.	VR. UNIT	MATERIALES	M DE OBRA	EQUIPO	OTROS
CEMENTO	kg	362,0	364,00	131.768,00			
ARENA	m3	0,75	16.240,00	12.180,00			
GRAVA	m3	0,62	19.720,00	12.226,40			
AYUDANTE CARMIX	Gl	1,00	939,04		939,04		
VIGILANCIA CARMIX, SILO	Gl	1,00	607,79		607,79		
MANO DE OBRA SUBCONTRATO	m3	1,00	450,00		450,00		
FORMALETA, REGLA, RANA	Gl	1,00	3.697,18			3.697,18	
ALQUILER CARMIX	Gl	1,00	8.938,15			8.938,15	
DIRECTO		170.806,56	\$/m3	156.174,40	1.996,83	12.635,33	0,00
Rendimiento		0.94	m3				
AHORRO		23.915,2	\$/m3				
AHORRO TOTAL EN OBRA SIN RENDIMIENTO		40.134,569	\$				
AHORRO TOTAL EN OBRA CON RENDIMIENTO		63.731,222	\$				

Se presentan algunas fotografías de la obra.



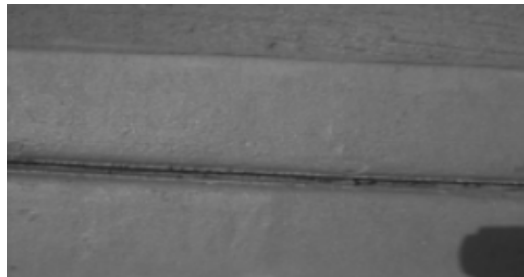
ADICIÓN



AGREGADOS CALCAREOS



PAVIMENTO EN EJECUCIÓN



CALIDAD DE LA JUNTA

Reducción de Costos en la Construcción de Vivienda de Interés Social

Se plantearon los siguientes desarrollos:

1. Optimización del diseño de mezcla para la elaboración de bloques de hormigón.
2. Optimización de los diseños de mezclas para la prefabricación de prelosas (3.000 psi).
3. Optimización del diseño de mezcla para la elaboración de hormigón de cimentación (3.000 psi).

4. Optimización del diseño de mezcla para la elaboración de hormigón de sobrepiso (2.500 psi).
5. Optimización del diseño de mezcla para la elaboración de morteros de mampostería.
6. Optimización del diseño de mezcla para la elaboración de morteros de inyección (Grouts).

Bloques

Con máquinas manuales semi-mecanizadas, se producen bloques de hormigón con un consumo promedio

de 2,1 kg de cemento portland (Tipo I) por bloque. Con esta cantidad de cemento logran cumplir con la resistencia exigida por el código sismo resistente NSR – 98, para la construcción con bloques estructurales de 80 kg/cm².

La CORPORACIÓN CONSTRUIR, logró optimizar las mezclas utilizando 0,5 kg de cemento portland (Tipo III) por bloque e incorporando adiciones activas e inertes. Esta dosificación cumplió las especificaciones exigidas por la NSR – 98. La cantidad total utilizada de material cementante (cemento + adiciones), fue de 1,2 kg por bloque. Los bloques fabricados con esta metodología, alcanzaron la resistencia a los 7 días. Fueron curados en un invernadero a 43 °C, con una humedad relativa entre 90 y 100 %.



PRELOSAS Y LOSAS

La cantidad de cemento utilizada en la fabricación de un hormigón convencional de 21,0 MPa, era de 350 kg/m³ de hormigón. La Corporación Construir, optimizó el diseño de mezcla con el método de los espacios mínimos vacíos. Se diseñaron hormigones de 21,0 MPa con 270 kg de cemento portland tipo III y se incorporaron 70 kg de adición, todo por m³ de hormigón. Con esta dosificación se garantizó la resistencia especificada.

En estos elementos se empleó un superplastificantes con el cual se controló la relación a/c y así, asegurar la impermeabilización de la prelosa. La cantidad de aditivo utilizada fue 1,5 % del peso del cemento, esto fue 4 kg por m³ de hormigón.



HORMIGÓN DE CIMENTACIÓN.

Según el diseño, la cimentación requería hormigones de 21,0 MPa., que preparaban con 350 kg de cemento. Para el concreto de sobrepiso, utilizaban 300 kg de cemento, consiguiendo 17,5 MPa a compresión.

En las mezclas propuestas por CONSTRUIR se diseñaron hormigones de 21,0 MPa con la utilización de 270 kg de cemento mas 70 kg de adición, para un total de 340 Kg de cementante/m³ de hormigón. En el caso de los hormigones para sobrepisos, se utilizaron 240 kg de cemento más 80 kg de adición, consiguiéndose hormigones de 17,5 MPa a los 28 días.



MORTERO DE MAMPOSTERÍA

Para el mortero de mampostería, la dosificación original era de 1:3 (cemento:arena), con un consumo promedio de 453 kg de cemento/m³ de mortero.

La mezcla recomendada por la CORPORACIÓN CONSTRUIR, utilizó: 151 kg de cemento y 151 kg de adición por m³. La adición se recomendó con el fin de contribuir a una mejor calidad en el mortero en cuanto a adherencia, trabajabilidad y retención de agua. Estas son características importantes para que el muro cumpla con las exigencias de la NSR-98. Además, se redujo el peso del mortero en 290 kg/ m³.



GROUTING

En el diseño del groutin las dosificaciones originales consumían 350 kg de cemento/m³, para una resistencia de 14 MPa. En la dosificación diseñada por CONSTRUIR, se trabajó con un consumo de 189 kg de cemento y una adición de 126 kg, por m³. El grouting diseñado cumplió con las exigencias del calculo estructural de las viviendas.

En general para la construcción de viviendas de interés social (VIS) de 30 m² construidos donde se trabajó utilizando el 100% de los diseños y desarrollos mostrados anteriormente, se obtuvieron ahorros en Col.\$750.000 (US\$325) por casa. Sobre un costo de construcción de \$ 6'000.000 (US\$2.608,7), esto no incluye costos de: lote, urbanización, impuestos, gastos financieros y AIU, significa un ahorro del 12.5%.

Planta de Prelosas e Invernadero de Curado



Casa en construcción



Casa concluida



BIBLIOGRAFÍA

ANDRADE, M., C. Corrosión y protección de la armadura del hormigón armado. X Curso de estudios Mayores de la Construcción, Cemco 85. Edificación, su patología y control de calidad. Madrid: IETCC, 1985.

BARON J ., BOLLOTTE B. y CLERGUE C. Fly Ash Replacement of Cement; Threshold Values of Cement Content In Relation to Concrete Durability, Proceedings of the P.K. Metha Symposium on Durability of Concrete. 1995, pp 21-34.

RED DURAR. Manual de inspección, evaluación y diagnóstico de corrosión en estructuras de hormigón armado. Caracas: CYTED, 1997.

SALAZAR, A., et al. Utilización y/o disposición de Residuos Sólidos de la Combustión del Carbón en las Centrales Térmicas de Paipa, Zipaquirá, Guajira y Tasajero. Informe Final Fase II. Contrato ICEL - UNIVALLE 5854, Octubre 1993.

SALAZAR, A., Development of early age strength in concrete with addition of natural pozzolan or limestone. Proceeding of 6º CANMET/ACI International Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag and natural Pozzolans in Concrete, Bangkok, Thailand, June, 1998.

SALAZAR, A., Los Ecomateriales, una alternativa económica para la construcción de pavimentos y edificaciones. EN: CONVENCIÓN INTERNACIONAL (2: Lima: 2003).

