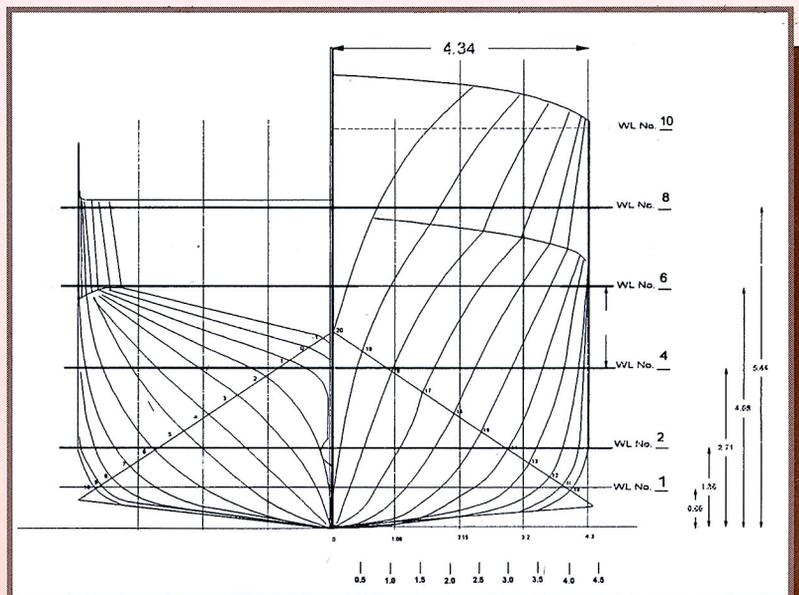
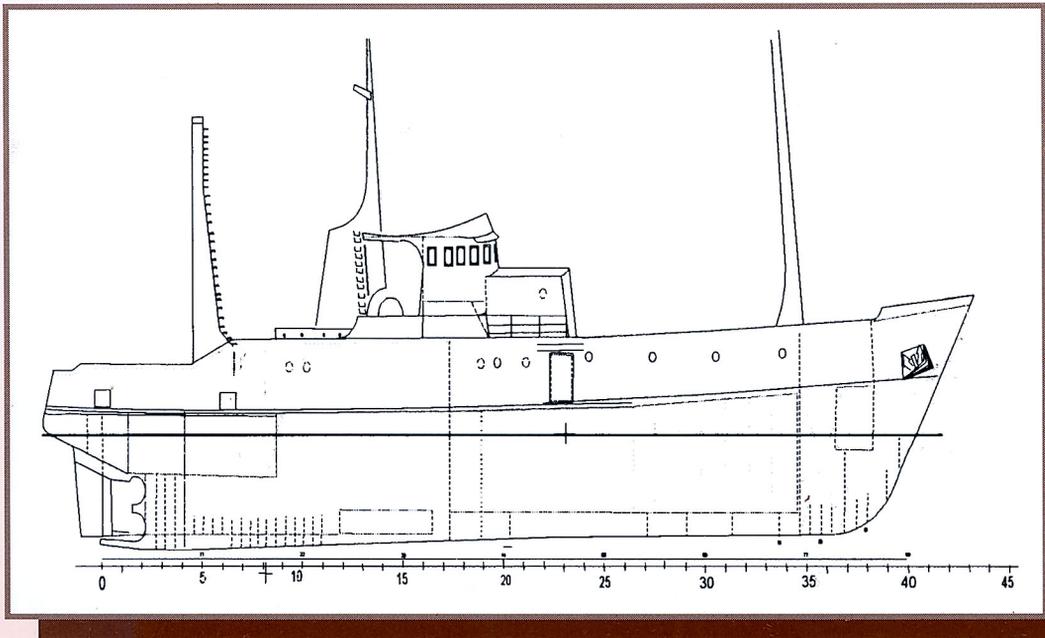


Ingeniería

Revista de la Universidad de Costa Rica
Julio/Diciembre 1995 VOLUMEN 5 Nº 2



INFLUENCIA DE LOS FINOS PASANDO LA MALLA No 200 (ASTM) EN MEZCLAS DE CONCRETO CON CEMENTOS PORTLAND CON ADICIONES

*Flor de Ma. Muñoz U.**
*Juan Carlos Oreamuno H.***

RESUMEN

En Costa Rica, especialmente en el Valle Central, las arenas de tajo se han caracterizado por el alto contenido de material fino que pasa la malla #200 y, la existencia potencial de material puzolánico naturalmente incorporado. En este sentido y ante la introducción al mercado de nuevos tipos de cementos (cementos con adiciones), se estudió la influencia de esos finos en la resistencia y trabajabilidad de mezclas de concreto.

La valoración experimental se realizó sobre mezclas de concreto elaboradas, en cada caso, con cemento portland modificado con caliza (MC) y cemento portland puzolánico (IP), combinados con agregado grueso de río y agregado fino de tajo. Manteniendo la granulometría siempre dentro de especificaciones ASTM, se incorporó material pasando la malla #200 (ASTM) en cantidades de 5%, 12% y 25%. La influencia de esos finos se determinó para resistencias de diseño de 210 kg/cm² y 280 kg/cm², generando la curva de desarrollo de resistencia con base en datos experimentales obtenidos a 7, 28, 56 y 100 días de curado.

SUMMARY

In Costa Rica, in the Central Valley mainly, quarry sands are characterized by their high contents of material passing the No. 200 sieve (ASTM), and the potential existence of naturally incorporated pozzolanic material. In that sense and upon the introduction in the market of new types of cements (cements with additions), the influence of those fine materials in the strength and workability of concrete mixtures was studied.

The experimental valuation was realized over concrete mixtures elaborated, in each case, with portland cement modified with lime (MC) and portland-pozzolan cement (IP), combined with river coarse aggregate and quarry sands. While keeping the grading always within ASTM specifications, material passing the No. 200 sieve was added, in quantities of 5%, 12% and 25%. The influence of that material was determined for design strengths of 210 kg/cm² and 280 kg/cm², by plotting the strength vs. curing time curve based on experimental data obtained for 7, 28, 56 and 100 days of curing.

1. INTRODUCCION

En el análisis granulométrico de un agregado, se entiende como material pasando la malla #200 (ASTM), aquellas partículas con diámetros menores a las 75 micras (0.075mm). Esta parte tan fina del agregado se halla constituida principalmente de impurezas orgánicas, arcillas, limos y polvo, los cuales aparecen en forma de partículas sueltas, o bien, adheridas en granos de mayor tamaño. Dependiendo del origen y cantidad, su presencia influye en el comportamiento del concreto,

ya sea, interfiriendo en el proceso de hidratación del cemento (impurezas), o impidiendo la buena adherencia entre el agregado y la pasta del cemento (recubrimiento). La norma ASTM C-33(4) permite de un 3% a un 5% en peso de finos pasando la malla #200 cuando se trata de arena de tajo y, de 1% en peso para la piedra.

Diferentes fuentes de información consultadas (1, 8, 10, en las que se utilizaron arenas extraídas de tajos ubicados en su mayoría en el Valle Central, muestran en sus granulometrías un alto porcentaje de material pasando la malla #200 (ASTM). Algunos de esos finos (origen volcánico), cuando contienen sílice en forma reactiva, al combinarse en presencia de agua con hidróxido de calcio, forman compuestos cementantes.

* Ingeniera. Civil Directora Instituto de Investigaciones e Ingeniería, UCR.

** Ingeniero. Civil Escuela de Ingeniería Civil, UCR.

Estudios realizados con cemento portland tipo I (5 y 20), indican que su combinación con agregados con propiedades puzolánicas (arenas volcánicas), proveen mayor resistencia al concreto en el mediano y largo plazo; comportamiento que obedece a la reacción química que se da entre la sílice reactiva del material y la cal libre que se produce durante el proceso de hidratación del cemento, para formar hidrosilicatos de calcio. No obstante, al ser la cal libre limitada, un exceso de finos con características puzolánicas, genera una disminución de la resistencia, cuando no hay suficiente cal con la que reaccionar, afectando en estos casos la adherencia de la mezcla de concreto (5).

En los últimos años, el máximo aprovechamiento de los recursos energéticos y la reducción de los costos de producción, ha sido una meta que se han fijado las industrias cementeras del país. Por ello, desde el año 1991, se han dado a la tarea de fabricar cementos con adiciones, como son: cemento portland tipo I modificado con carbonato de calcio (MC) y cemento portland tipo I puzolánico (IP).

Ante la insuficiencia de información sobre el comportamiento de mezclas de concreto elaboradas con esos dos tipos de cementos y agregados nacionales, se formuló esta investigación, en la cual resultaba particularmente importante el determinar la influencia de diversos porcentajes de finos pasando la malla #200 (ASTM) cuando se trabaja con arena de tajo y los nuevos cementos.

2. PROCEDIMIENTO

2.1 Tipo y procedencia de los materiales: cemento y agregados

2.1.1 Cemento

Hasta finales de 1991, en Costa Rica se producía un único tipo de cemento: cemento portland tipo I normal. Con la aprobación de la ley No19872, publicada el 5 de setiembre de 1990 en el diario oficial La Gaceta No167 (22), se autoriza la fabricación en el país de cementos con adiciones minerales. Así, a partir de 1991, se incorpora al mercado nacional el cemento portland tipo I modificado con carbonato de calcio (MC) y, más

recientemente, se pretende introducir comercialmente el cemento portland tipo I puzolánico (IP).

El cemento portland tipo I MC (ASTM C-150) es una transformación del cemento portland tipo I normal, al que se le incorpora hasta un 15% en peso de relleno mineral (filler) calizo, en sustitución de clinker, principalmente aquellas partículas arriba de los 35 micrones que no son químicamente activas (13 y 18).

Este material calizo se caracteriza por poseer un alto contenido de carbonato de calcio (no menos de un 85% en masa) (13). Se considera un material *relativamente* inerte ya que, en contacto con la pasta de cemento hidratado, la reacción lleva a la formación de soluciones sólidas intermedias entre la portlandita (Ca(OH)_2) y la calcita (CaCO_3), proporcionando a las pastas fraguadas una mayor unidad estructural, y por ende, excelente adherencia epitáxica (6).

Al sustituirse las partículas de clinker superiores a los 35 micrones y poseer una mayor molienda, el proceso de hidratación de las partículas de cemento se acelera al inicio, alcanzándose resistencias superiores a 3, 7 y 14 días con respecto a un cemento portland normal (tipo I); sin embargo, se advierte, que como la mayor parte de la hidratación ocurre al inicio, la resistencia a 28 días es similar o ligeramente inferior a la de su antecesor, de ahí que las proyecciones de resistencia sobre la base de esas edades sólo debe hacerse a partir del conocimiento de la evolución del desarrollo de resistencia cuando se combina con agregados de diferente naturaleza (tajo, río, mar, etc.) (18).

El cemento portland puzolánico IP (ASTM C-595) consiste en una mezcla íntima y uniforme de cemento portland tipo I con puzolana finamente dividida, obtenida por una combinación de mezclado y molido, en la que se le incorpora entre un 15% y 40% en peso de puzolana en sustitución de clinker (INCSA utiliza 30% en peso), manteniendo fijo el contenido total de cementante (7 y 19).

La puzolana es un material silicoso, o silicoso y aluminoso, que por si solo posee poco o ningún valor cementante pero, dividido finamente y en presencia de humedad, reacciona químicamente con el hidróxido de calcio a temperatura

ordinaria, para formar compuestos que poseen propiedades cementantes de baja solubilidad (23).

En comparación con el cemento portland tipo I normal, el cemento IP, genera ciertas características favorables en la mezcla de concreto; por ejemplo: mejora en la trabajabilidad, reducción de la exudación y la segregación, disminución del calor

de hidratación, de la permeabilidad e incremento de la resistencia a los agentes químicos, a las aguas y suelos agresivos (7 y 20). Pero también presenta inconvenientes, como lo es una baja resistencia a edades tempranas, mayor tiempo de fraguado, requiere un curado más estricto y prolongado, y mayor cantidad de agua en el mezclado (19 y 21).

Tabla #1 Propiedades físicas del cemento obtenidas y especificadas para los dos cementos bajo estudio.

Características	Tipo de cemento		Ley N° 19872 La Gaceta N° 167		ASTM
	I MC	IP	I MC	IP	
Adición (%)	(año 1995)				
“Filler” calizo	15	-	5-15	0-5	C-150
Puzolana	-	30	0	15-40	C-595
Finura del cemento					
% Ret. malla #325	6.0	4.5	-	-	C-184
Bleine (cm ² /gr.)	4000	4400	3000	3000	C-204
Peso específico	3.037	2.738	-	-	C-188
Consistencia normal (%)	24.1	29.2	-	-	C-187
Tiempo de fraguado	150	195	45 (min)	45 (min)	C-191
Contracción o expansión en Autoclave (%)	+0.570	-0.239	0.5	0.5	C-151
Resistencia a la compresión de morteros (MPa)					
3 días	13.7	10.3	12.4	12.4	
7 días	21.6	16.6	19.3	19.3	
28 días	28.6	24.5	-	24.1	C-109
Flujo (%)	108	106	-	-	
Agua (%)	53	57	-	-	

2.1.1.1 Finura

El cemento IP tiene mayor grado de finura que el I MC. La puzolana por naturaleza se vuelve más fina que la caliza en la molienda; además, la cantidad de puzolana que se sustituye por clinker, en este tipo de cemento (30% en peso), es mayor que el “filler” calizo que se utiliza en el MC (15% en peso), dando como resultado un cemento más fino.

2.1.1.2 Peso específico

Las adiciones hacen que se reduzcan los pesos específicos de ambos cementos con respecto a

su antecesor, el tipo I normal. Este comportamiento se debe a que las adiciones minerales (puzolanas y calizas), tienen densidades relativas mucho menores que la del cemento tipo I. El mayor grado de molienda y la sustitución por peso, da como resultado cementos con un volumen considerablemente mayor, en comparación con el tipo I normal.

2.1.1.3 Consistencia normal

Como se indicara, la puzolana por naturaleza se vuelve más fina que la caliza en la molienda. Al sustituir más puzolana para producir el cemento IP, que filler calizo para obtener el cemento

MC, la finura del primero es mayor que la del segundo, dando como resultado una mayor superficie específica en contacto con el agua cuando se trabaja con el IP.

2.1.1.4 Tiempo de fraguado

Ambos cementos cumplieron con el tiempo mínimo establecido de 45 minutos.

2.1.1.5 Contracción o expansión en autoclave

La expansión de la pasta de cemento en el concreto es producto mayormente de la acción del óxido de calcio. La expansión de la pasta de cemento en el concreto es producto, en su mayor parte, de la acción del óxido de calcio (libre) y del óxido de magnesio, y depende básicamente de su nivel de concentración. Contenidos superiores al 5% de óxido de magnesio en ambos cementos, producirán agrietamiento del concreto. La expansión alcanza su máximo valor al finalizar el fraguado del concreto (13).

En el cemento IP la contracción de -0.24% es producto del efecto de la acción de la puzolana, la cual reduce la formación de óxidos que producen expansión en la pasta. Esta contracción por secado, se debe al mayor requerimiento de agua que resulta de la elevada finura del material puzolánico y, también por un comportamiento intrínseco, derivado de la naturaleza de los compuestos coloidales que se forman por la reacción cal-puzolana, los cuales después de expandirse en contacto con el agua, sufren mayores contracciones al secarse.

En el cemento MC, la expansión de +0.57% excede ligeramente con respecto a la especificación, lo cual hace pensar que la concentración de óxidos es mayor.

Sin embargo, se debe tomar en cuenta que en el cemento MC ocurre expansión en la pasta al hidratarse lentamente el óxido de calcio libre (CaO) presente en el cemento, dando lugar a una cal apagada que ocupa mayor volumen (entumecimiento).

En relación con el óxido de magnesio, el análisis químico realizado a los cementos utilizados en este trabajo mostró que ambos cumplen con el 5% exigido como porcentaje máximo (22). Para el MC se obtuvo un 1.6% y para el IP un 2.3%.

2.1.1.6 Resistencia a la compresión

El cemento IP no cumple con las especificaciones vigentes para edades de 3 y 7 días (22). Por otro lado, como era de esperarse, el desarrollo de resistencia en morteros elaborados con cemento IP fue más lento que el correspondiente al MC, lo cual se explica en términos de la lentitud de reacción de la puzolana.

Tabla #2 Desarrollo de resistencia de un mortero tomando como base el cemento tipo I MC

CEMENTOS	COMPARACION PORCENTUAL		
	3 días	7 días	28 días
Tipo I MC	48.7	77.0	100.0
Tipo IP	36.7	59.3	87.5

2.1.2 Agregados

El agregado fino (arena) provino del tajo La Aduana, ubicado en La Garita de Alajuela, entre las coordenadas planas 498 - 499 longitud este y 218 - 219 latitud norte (16).

Geológicamente se halla en un área que se caracteriza por estar constituida de coladas de lava, andesitas y basálticas, tobas e ignimbritas de composición latítica y andesita basáltico, lahares derivados de las tierras altas, principalmente de aquellas al norte y noreste y, piroclásticos recientes, eruptados por los volcanes de la Cordillera Central (11).

Es una arena de origen volcánico, con partículas redondeadas y livianas, algunas de ellas de color negro (partículas de carbón), carente de impurezas orgánicas (menos de 550 ppm), cuya granulometría natural la clasifica como una arena más bien gruesa (M.F. 3.0) pero, con un alto contenido de finos pasando la malla #200 (17.5%).

El agregado grueso (piedra) se extrajo del Quebrador Zurquí, localizado en la Trinidad de Moravia, sobre el río Virilla, entre las coordenadas planas 531 - 533 longitud este y 218 - 220 latitud norte (15). Se localiza en una zona formada, en términos generales, por materiales piroclásticos

de naturaleza variada, asociados localmente con corrientes de lava andesítica y deposiciones aluviales (12).

El agregado es producto de piedra de cantera triturada, de forma angulosa y textura rugosa, con presencia de partículas redondeadas. Es un material con una granulometría natural bastante uniforme, con un tamaño máximo de partículas de 25 mm (1") y una cantidad de finos considerable (14% pasando la malla #4). El porcentaje de desgaste en Máquina los Angeles: ASTM C-131-tipo B fue de 19.5%, excelente si se le compara con el porcentaje máximo permitido de 50% para concreto hidráulico (ASTM C-33).

3. PREPARACION DE LOS AGREGADOS

Una vez analizadas las condiciones granulométricas naturales, se procedió a la preparación de las graduaciones a usar, que contemplaron:

- i. la mejor distribución posible de acuerdo con las especificaciones granulométricas ASTM C-33.
- ii. material pasando la malla #200 (ASTM), en porcentajes de 5%, 12% y 25%.

3.1. Agregado fino

Se generaron 3 granulometrías, una para cada porcentaje pasando la malla #200 (ASTM).

- i. 5% por ser el valor correspondiente al límite superior de la especificación ASTM C-33 para los finos no plásticos,
- ii. 12% como valor intermedio de los límites extremos de 5% y 25%.
- iii. 25% por lo común de encontrar valores próximos o iguales a este porcentaje en agregados finos provenientes de tajos nacionales. Diferentes fuentes de información reportan valores entre 17% y 25% pasando la malla #200 (ASTM): tajo La Aduana y

tajo Florencia (14), tajo La Cementera (24). Otras advierten sobre cantidades mayores a 25%: el tajo Santa Rosa y tajo Riamonte (9) y tajo La Caja (8).

El proceso de separación del agregado fino estuvo compuesto por tres etapas:

1a Etapa: *Proceso de separación*: la arena se dividió y almacenó en 4 rangos de tamaños: 3/8" - #4, #4 - #8, #8 - #200 y #200 - charola.

2a Etapa: *Proceso de homogenización*: cada uno de los rangos en que se separó y almacenó la arena, a excepción del material que pasa la malla #200, se homogenizó, con el fin de tener una misma humedad e igual granulometría en cada uno de los sacos, especialmente del material separado entre las mallas #8 y #200.

3a Etapa: *Definición de la graduación*: se definió primero la graduación base para las mezclas de 5% pasando la malla #200, adicionando los gruesos a los finos de la arena y haciendo uso de muestras de 3 sacos diferentes de cada material para obtener 3 granulometrías, que al promediarlas dio el 5% buscado.

A partir de la composición de la arena para 5%, se definieron las graduaciones para las mezclas de 12% y 25%, manteniendo el mismo peso y sustituyendo por el material de charola almacenado. En el proceso, se tomó en cuenta los finos arrastrados que pasan la malla #200, que se encontraban almacenados con el material entre las mallas #8 y la #200, de manera que sumados con los sustituidos dieran 12% y 25%.

Las granulometrías correspondientes a cada porcentaje pasando la malla #200 (ASTM) se representan en la figura 1.

Como complemento a este trabajo, el Laboratorio de Análisis a la Industria de la Escuela de Química de la Universidad de Costa Rica analizó una muestra de polvo del tajo La Aduana, encontrando en ella un 22% de sílice amorfo (norma venezolana "Covenini", es decir, como puzolanas activas, que al estar finamente divididas y en presencia de humedad, favorecen la reacción con la cal liberada del clinker, influyendo en el comportamiento del concreto.

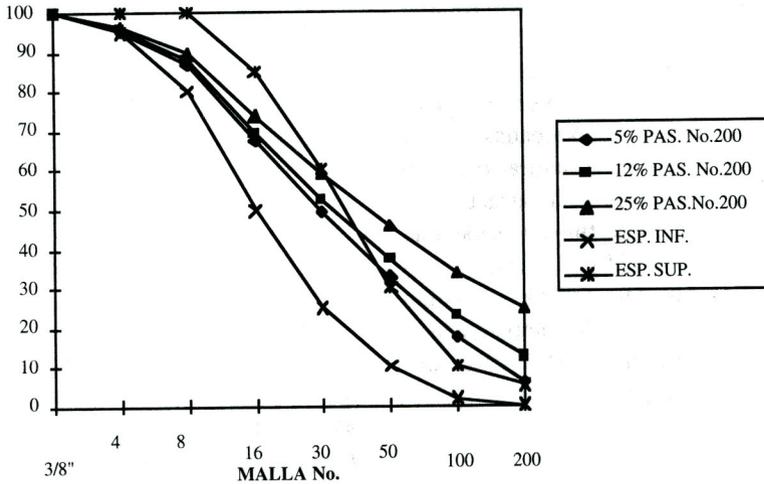


Figura #1 Granulometría corregida de la arena del tajo La Aduana para diferentes porcentajes pasando la malla #200 ASTM C 136 (año 1995)

Esto significa que para los porcentajes de las granulometrías correspondientes al 5%, 12% y 25% pasando la malla #200, y para una arena con 22% m/m de sílice amorfo, en realidad se está introduciendo 1.3%, 2.6% y 5.4% de puzolana, en peso de arena, a la mezcla de concreto.

3.2 Agregados gruesos

Por su buena granulometría natural sólo se requirió eliminar el material en exceso que pasaba la malla #4 (ASTM) y con ello mantener la continuidad de la granulometría de la combinación piedra-arena (figura #2).

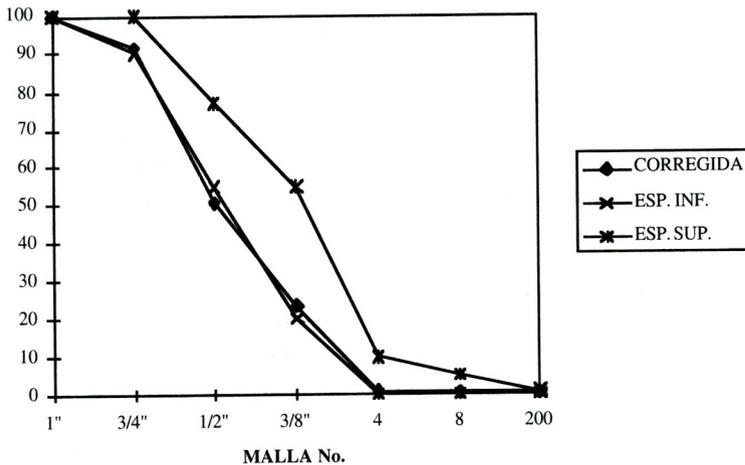


Figura #2 Granulometría corregida de la piedra del Quebrador Zurquí ASTM C 136

3.3 Propiedades físicas de los agregados

Con las graduaciones corregidas, se determinaron las siguientes propiedades físicas:

Tabla #3 Propiedades físicas de los agregados bajo estudio (años 1995)

Propiedad	Arena (Tajo la Aduana)			Piedra (Quebrador Zurquí)	Designación ASTM
	Granulometrías corregidas y con material pasado la malla 200 (ASTM)			Valores con granulometría corregida	
	5%	12%	25%		
Peso unitario (Kg/m ³)					
Suelto	1174.9	1189.7	1238.5	1378.8	
Envarillado	1258.7	1313.4	1365.9	1443.0	C-29
%W	3.1	2.6	2.4	1.3	
Peso específico:					
G _s	2.31	2.25	2.27	2.27	C-127
G _{bs}	1.97	1.90	1.85	2.47	v
G _{bss}	2.11	2.06	2.04	2.54	C-128
Absorción	8.1	8.7	10.4	2.9	
Humedad (%)	2.8	2.8	2.9	1.5	
Modulo de finura	2.52	2.35	2.02		
D _{max}	-	-	-	25.0	
Abrasión (%)	-	-	-	19.5	C-131

4. DISEÑO DE MEZCLAS

Se hicieron siguiendo el procedimiento descrito en el Código del Instituto Americano del Concreto (ACI), en su informe ACI 211. Las resistencias de diseño se fijaron en 210 kg/cm² y 280 kg/cm².

Por las variables involucradas, fue necesario realizar 6 diseños para cada resistencia, que consideraron:

- i. Cementos: MC e IP.
- ii. Porcentajes pasando la malla #200 (ASTM): 5%, 12% y 25%.

Se diseñó para un control bueno (factor de seguridad de 40 kg/cm²), un revenimiento de 10 cm, sin aire incluido y sin vibrador.

Para concretos convencionales, los revenimientos comunes oscilan entre 8.5 y 12.5 cm. (3). En este trabajo, todas las mezclas se diseñaron para un revenimiento de 10 cm. No obstante, por la

dificultad de mantener ese valor constante, aún bajo un buen control, siguiendo la recomendación indicada en el boletín ACI 211, se permitió una variación de 2.5 cm. en el revenimiento final alcanzado.

La compactación por el método manual permitió reducir la pérdida de material y su segregación, pues se trabaja con valores de finura bajos para el agregado fino (hasta M.F.= 2.02 para 25% pasando la malla #200).

Para cada mezcla se analizó el revenimiento, contenido de aire y el tiempo de fraguado. Con el propósito de poder realizar comparaciones apropiadas entre los diferentes porcentajes pasando la malla #200 y los dos tipos de cementos, cada mezcla se confeccionó con el mismo tipo de agregado (piedra del quebrador Zurquí y arena del tajo La Aduana), bajo condiciones de mezclado y pruebas similares.

Las curvas de desarrollo de resistencia se formaron con base en 7, 28, 56 y 100 días de curado (cámara húmeda), fallándose en cada fecha 6 especímenes estándar (152 mm x 304 mm).

Con base en los diseños de mezclas, las dosificaciones por peso fueron:

Tabla #4 Resumen de dosificaciones por peso según resistencia, tipo de cemento y porcentaje pasando la malla #200 (ASTM)

Tipo de cemento	Resistencia de diseño (Kg/cm ²)	Relación Agua/cemento	% Pasando Malla #200	Proporción por peso seco		
				Cemento	Arena	Piedra
Modificado con caliza (MC)	210	0.62	5	1	1.8	3.2
			12	1	1.7	3.3
			25	1	1.5	3.4
Modificado con caliza (MC)	280	0.52	5	1	1.4	2.7
			12	1	1.3	2.8
			25	1	1.2	2.9
Puzolánico IP	210	0.62	5	1	1.8	3.2
			12	1	1.6	3.3
			25	1	1.5	3.4
Puzolánico IP	280	0.52	5	1	1.4	2.7
			12	1	1.3	2.8
			25	1	1.1	2.9

5. RESULTADOS EN EL CONCRETO

5.1 Consistencia

En todos los casos, los concretos elaborados con cemento puzolánico (IP) fueron menos trabajables que los correspondientes al cemento MC para la misma relación a/c ; en donde, para alcanzar la consistencia plástica deseada (entre 10 y 12.5 cm), las mezclas con cemento puzolánico requirieron mayor cantidad de agua adicional debido

a su mayor finura, en comparación con el MC (figura #3). Se tiene entonces que a mayor finura, el agua de consistencia aumenta como resultado de la mayor superficie específica a cubrir.

Por otro lado, al aumentar la resistencia de diseño de 210 kg/cm² a 280 kg/cm², la relación agregado fino - cemento disminuye, manteniéndose constante el peso de agregado grueso; por lo tanto, al existir más cantidad de cemento con mayor superficie específica, la cantidad de agua adicional aumenta.

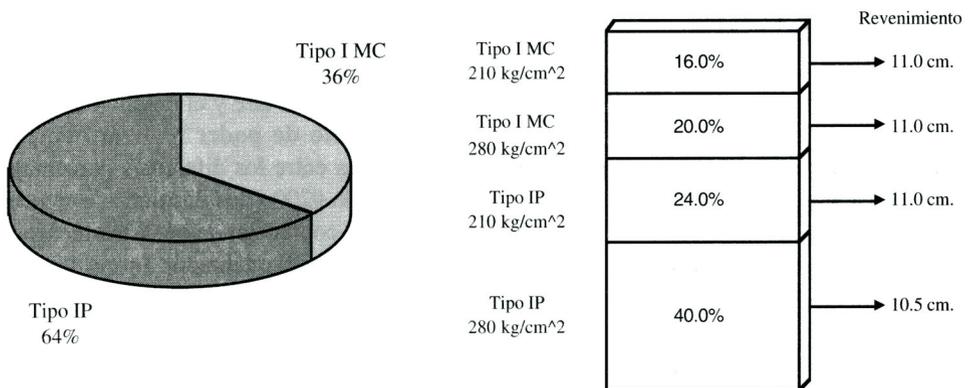


Figura #3 - Comparación porcentual del agua adicional utilizada en las mezclas de concreto para alcanzar la consistencia deseada (rev: 10 - 12.5 cm.), de acuerdo con el tipo de cemento.

5.2 Contenido de aire

El aire se encuentra tanto en la pasta de cemento como en los agregados y es frecuente expresarlo como un porcentaje del volumen de concreto.

A cada una de las mezclas se le realizó la prueba de contenido de aire, haciendo uso del medidor de presión. Los porcentajes determinados experimentalmente fueron bajos y parecidos (entre 1.5% y 2.5%).

En 1977, trabajando con mezclas con agregados de origen volcánico y cementos portland normal y puzolánico (25), se obtuvo valores similares a los alcanzados en esta investigación: en ese estudio fueron de 2.7% con cemento normal (tipo I) y 2.3% con el puzolánico (IP).

5.3 Tiempo de fraguado del concreto

Para un mismo porcentaje de material pasando la malla #200 (ASTM), los concretos con cemento IP duraron más en alcanzar el fraguado inicial que los correspondientes al cemento MC, situación normal por cuanto la puzolana de sustitución en el cemento IP hace que el endurecimiento del concreto sea lento.

Por otro lado, la incorporación ascendente de finos pasando la malla #200 (ASTM), provocó el retraso en el tiempo de fraguado inicial, pues como se había indicado, el polvo del tajo La Aduana presentó puzolana activa, que generó un efecto retardador en la mezcla.

Tabla #5 Tiempo de fraguado de concretos con piedra de río(1) arena de tajo(2) y cementos tipo MC e IP para 210 kg/cm² y 280 kg/cm² (ASTM C 403)

Resistencia de de Diseño (Kg/cm ²)	% Pasando Malla #200	Tiempo de Fraguado (minutos)			
		Inicial		Final	
		MC	IP	MC	IP
210	5	230	302	385	447
	12	246	122	416	464
	25	325	360	473	569
280	5	219	298	343	422
	12	258	313	371	440
	25	267	330	388	474

(1) Quebrador Zurquí

(2) Tajo La Aduana

5.4 Resistencia

Los datos experimentales obtenidos se muestran en las tablas #6 y #7.

Tabla #6 Resistencia a la compresión de concretos con piedra de río(1), arena de tajo(2) y cemento porcentaje pasando la malla #200 (ASTM C 39)

Resistencia de de diseño (Kg/cm ²)	Días de Curado	Cantidad de Probetas Por fecha	Resistencia a la compresión		
			5%	12%	25%
210	7	18	179	183	169
	28	18	257	256	243
	56	18	300	286	278
	100	18	304	309	324
280	7	18	214	239	214
	28	18	321	302	284
	56	18	348	315	302
	100	18	349	340	342

(1) Quebrador Zurquí

(2) Tajo La Aduana

Factor de seguridad en el diseño de mezcla = 40 kg/cm² (ACI 211)

La velocidad de endurecimiento es mayor entre los 0 y 7 días debido a la mayor cercanía entre partículas de cemento que favorece la formación más rápida de un sistema continuo de gel.

A 28 días, bajo un buen control de mezcla (ACI 211) y con curado continuo durante ese periodo, se alcanza para cualquier porcentaje de

incorporación de polvo de arena, la resistencia de diseño esperada. Sin embargo, para las mezclas de 280 kg/cm² no se debe perder de vista que el factor de sobre diseño fue de 40 kg/cm², considerándose entonces muy ajustados los valores obtenidos con 12% y 25% de material incorporado pasando la malla #200 (ASTM).

Tabla #7 Resistencia a la compresión de concretos con piedra de río(1), arena de tajo(2) y cemento IP para 210 kg/cm² y 280 kg/cm², según el porcentaje pasando la malla #200 (ASTM C-39)

Resistencia de de diseño (Kg/cm ²)	Días de Curado	Cantidad de Probetas Por fecha	Resistencia a la compresión		
			5%	12%	25%
210	7	18	111	111	110
	28	18	215	206	191
	56	18	238	231	216
	100	18	252	262	266
280	7	18	151	149	144
	28	18	248	237	223
	56	18	279	275	269
	100	18	286	300	306

(1) Quebrador Zurquí

(2) Tajo La Aduana

Factor de seguridad en el diseño de mezcla = 40 kg/cm² (ACI 211)

Enfatizando sobre el control bueno seguido en el diseño de las mezclas, el curado continuo y un factor de seguridad de 40 kg/cm², se evidencia que cuando se trabaja con cemento IP, sólo se alcanza la resistencia de diseño de 210 kg/cm² para 5% pasando la malla #200 (ASTM), claro está, absorbiendo los 40 kg/cm² de sobre diseño; inclusive para 25% de finos pasando la malla #200, apenas se llega a la resistencia deseada a los 56 días de curado continuo.

Para los concretos de 280 kg/cm² con cemento IP, debieron transcurrir 100 días de curado continuo para obtener la resistencia de diseño, consumiendo en el proceso el factor de sobre diseño correspondiente.

Los resultados muestran que a pesar de la sustitución de clinker por puzolana finmente dividida, queda portlandita para reaccionar con el sílice amorfo aportado por la arena de tajo utilizada.

6. CONCLUSIONES

1. En mezclas de concreto elaboradas con cementos con adiciones y agregado de tajo, es de esperar que se requiera de una cantidad de agua adicional a la de diseño, para alcanzar la consistencia establecida en la mezcla, pues:

1.1 El procedimiento dictado por el ACI-211, para diseño de mezclas de concreto, se fundamenta en el uso de un cemento con menor superficie específica (portland tipo I), y como el método de diseño no permite hacer los ajustes del caso, la aplicación en cementos más finos, como el I MC y el IP, hace necesario recurrir a una cantidad de agua adicional a la de diseño; requiriendo mayor cantidad las mezclas elaboradas con cemento IP, debido a la mayor proporción y grado de finura en que se encuentra la adición (puzolana), en este tipo de cemento.

1.2 La granulometría del agregado lleva un exceso de finos, que aunque mejora la trabajabilidad, aumenta la superficie específica a cubrir, incrementando a su vez la demanda de agua, la cual no es posible cuantificar y corregir siguiendo el procedimiento indicado para el diseño de mezclas de concreto recomendado por el ACI.

2. Los resultados demuestran que arriba del 12% pasando la malla #200, los concretos elaborados con cemento IP, especialmente para la resistencia de 210 kg/cm², producen retrasos considerables en el tiempo de fraguado final del concreto, comportamiento que es muy similar en mezclas hechas con MC para la misma resistencia, pero que debido a las características de este tipo de cemento, se da en menor grado.

3. A mayores resistencias de diseño (280 kg/cm²), el efecto sobre el tiempo de fraguado del concreto (inicial y final) es menor, pues al tener relaciones a/c cada vez menores, la masa activa reaccionante de la mezcla aumenta, por lo tanto, hay más silicatos de calcio presentes en la mezcla, que reaccionan e incrementan el endurecimiento, permitiendo alcanzar las resistencias de penetración (35 kg/cm² y 280 kg/cm²) más rápidamente.

4. Las arenas con cantidades superiores a lo que rige la norma ASTM C-33 para el material pasando la malla #200, tienden a reducir la resistencia del concreto a edades tempranas (7, 28 y 56 días).

5. Si a edades tempranas, los concretos hechos con cemento puzolánico se caracterizan por dar bajas resistencias, este comportamiento se acentúa cuando la arena que se utiliza contiene cantidades considerables de material pasando la malla #200 con propiedades puzolánicas; pues a la lenta acción de la puzolana, se suma el efecto adverso que las partículas del material (por su tamaño) producen en el concreto.

6. Tomando como base la resistencia de diseño (28 días) y, un control de mezcla bueno (en laboratorio: ACI 211), para concretos de 210 kg/cm² y 280 kg/cm², aunque la resistencia se

reduce al incrementar el contenido de finos pasando la malla #200, esta siempre se alcanza cuando se trabaja con cementos MC; caso contrario cuando se emplea cemento IP, donde el concreto cumple solo para 210 kg/cm² y 5% de incorporación. Por otro lado, la resistencia que se alcanza en el mediano plazo (100 días), es inferior para mezclas con IP, inclusive para un valor de incorporación tan bajo como 5%.

7. Si el comportamiento que se dió en las mezclas de concreto, por la influencia de los finos pasando la malla #200, a edades tempranas, se obtuvo mediante una buena preparación de los agregados, de los especímenes y bajo curado permanente, es de esperar que estos efectos sean mayormente negativos en las obras de construcción, donde el control que se sigue, por lo general no es tan bueno como el que se lleva a cabo en el laboratorio.

7. REFERENCIAS

- (1) Aguilar, R. *Resistencia a la Compresión y Módulo de Elasticidad en Mezclas con Toba Volcánica*. Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica (1983).
- (2) American Concrete Institute Committee 318. *Building Code Requirements for Reinforced Concrete*. (ACI 318-89). American Concrete Institute, Detroit, Michigan, 1989.
- (3) American Society for Testing and Materials. *1992 Annual Book of ASTM Standards, Section 4: Cement; Lime; Gypsum*. Volume 4.01. Philadelphia, U.S.A. (1991).
- (4) American Society for Testing and Materials. *1992 Annual Book of ASTM Standards, Section 4: Concrete And Aggregates*. Volume 4.02. Philadelphia, U.S.A. (1991).
- (5) Aragón, J.L. *Investigación sobre algunas Puzolanas de Costa Rica*. Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica (1958).
- (6) Arredondo y Verdu, Francisco et al. *Los Aridos en la Construcción*. Escuela de Ingeniería-Civil, Edit. Técnicos Asociados, S.A., Barcelona, España (1967).
- (7) Asociación Centroamericana del Cemento y Concreto. *Técnicas y Avances en Concreto*. Tac 12 y Tac 13, San José, Costa Rica.
- (8) Baltodano, F. *Tobas Cemento Plásticas*. Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica (1972).

- (9) Barquero, L. *Un estudio del efecto de la sanidad y otras propiedades de las arenas sobre el comportamiento en mortero de Cemento Portland*. Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, 1983.
- (10) Calderón, L. *Mezclas de Concreto de Toba Volcánica*. Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica (1981).
- (11) Castillo, R. *Geología de Costa Rica*. 2^{da} Edición, Editorial de la Universidad de Costa Rica (1993).
- (12) Denyer, P.; Kussmaul, S. *Atlas Geológico del Gran Area Metropolitana*. Edit. Tecnológica de Costa Rica (1994).
- (13) Guerra, R. *El Cemento con Adiciones de Carbonato de Calcio*. Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica (1993).
- (14) Gutiérrez, A. *Estudio del agregado del tajo Florencia como material a usar en concreto*. Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica (1977).
- (15) Instituto Geográfico Nacional. *Mapa Topográfico de la Hoja San Isidro*. Hoja 3345-1-5, Escala 1:10000 (1991).
- (16) Instituto Geográfico Nacional. *Mapa Topográfico de la Hoja Garita*. Hoja 3345-Y-4, Escala 1:10000 (1991).
- (17) Instituto Mexicano de Cemento y del Concreto. *Revista #198* (1987).
- (18) Muñoz, F. *Mezclas de Concreto con Detergente como Aditivo*. Instituto de Investigaciones en Ingeniería (INII), Universidad de Costa Rica (1994).
- (19) Neville, A. *Tecnología del Concreto*, Tomos I, II y III, 2da Edición, Edit. Limusa, México, 1989.
- (20) Ocampos, E. *Diseño de Mezclas de Concreto con Cemento y Puzolana Nacionales*. Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica (1969).
- (21) Oreamuno, J.C. *Influencia de material pasando la malla #200 (ASTM) en mezclas de concreto elaboradas con cementos portland con adiciones*. Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica.
- (22) Periódico *La Gaceta*. Diario Oficial. Edición #167. San José, Costa Rica (5 de setiembre de 1990).
- (23) Secretaría de Recursos Hidráulicos. *Puzolanas*. Dirección General de Grande Irrigación y Control de Ríos, Dirección de Construcción, México, 1971.
- (24) Ureña, L. et al. *Estudio de Arenas Sílicas para Moldeo*. Escuela de Ingeniería Mecánica, Universidad de Costa Rica, 1976.
- (25) Villalobos, O. *Concretos con Cemento Portland (Normal y Puzolánico)*. Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, 1977.