

ARQ. CÉSAR JORGE CARPIO UTRILLA

## **INVESTIGACIÓN SOBRE LOS CONCRETOS DE ALTA RESISTENCIA EFECTUADA EN LA UAM AZCAPOTZALCO; COMO APOYO A LA INVESTIGACIÓN DE CONCRETOS NO CONVENCIONALES**

Una de las razones que llevaron al grupo de investigación en administración para el diseño y la tecnología a crear la revista de investigación presente, es la de contar con un medio que les permitiera exponer los distintos intereses que sobre diferentes campos de la investigación tienen todos los integrantes del grupo, de esta manera, cuentan también con un instrumento que les permite cumplir con una de las funciones fundamentales de nuestra Universidad, la generación y difusión de la cultura.

Por otra parte, convertir un trabajo de investigación en un artículo de interés no es sencillo, por lo que la primera parte de este trabajo quizá sea más interesante para muchos. Esta segunda parte no contiene nuevos tópicos no explicados en el artículo anterior, más bien, se trata de la misma investigación pero detallando más los procedimientos ejecutados; es importante dar a conocer los resultados de esta investigación realizada en México, por que no son los mismos obtenidos en otros países.

Tanto los procedimientos como los materiales utilizados, presentan diferencias con los artículos publicados en las revistas científicas, este artículo menciona aquí algunos de ellos porque significan además tiempo de trabajo útil, resultados que no concuerdan con lo esperado, muy útil para otros investigadores que retomem el tema a futuro, y si es posible tomar en cuenta lo obtenido para buscar nuevos caminos que logren el objetivo, se habrá logrado además de la difusión, avanzar en los procedimientos de investigación.

Una investigación no es una novela de suspenso, es más, ni siquiera se puede garantizar después de meses o años de trabajo, resultados medianamente buenos. El conocimiento se abre camino paso a paso, y nos acerca un poco más hacia un mejor futuro, sobre esto, en 1993 me tocó conocer los resultados de una investigación en la UNAM sobre filamentos metálicos con memoria, que eran capaces de “inclinarse” hacia uno u otro lado, dependiendo de la intensidad de la corriente aplicada; actualmente, estos filamentos han salvado la vida

a miles de personas, recorriendo las arterias hasta el cerebro y eliminando coágulos que les habría costado la vida, o por lo menos, les habrían provocado parálisis parciales o totales, disminuyendo grandemente su calidad de vida. Continuando con el tema:

Una parte muy importante en los trabajos de investigación, se tiene en la verificación de los avances obtenidos en el campo de la especialidad de que se trate, es algo imprescindible realizar la experimentación correspondiente que avale los resultados difundidos sobre el particular, no es que se dude de la seriedad de la revista científica, sino que se requiere contar con este nuevo instrumento para el avance de la tecnología de nuestro propio país. Animados por este espíritu, los profesores investigadores del Departamento de Materiales: Francisco González Díaz, Leonel Estrada Loera y Javier García Gallardo, del Laboratorio de Construcción, dirigidos por el MI J. Flores Bustamante, especialista en concretos de alta resistencia, y que de aquí en adelante los mencionaremos como: los investigadores.

Haciendo eco de lo mencionado en el anuario anterior, en este artículo presentamos tanto la información técnica como los procedimientos recogidos en diversas publicaciones científicas sobre la generación de concretos de alta resistencia que se han venido realizando en diversas partes del mundo desde mediados del siglo XX, hemos también señalado los motivos que nos llevan al estudio de los concretos en nuestro país, estudio aparentemente sencillo, parece ser que sólo bastaría con aplicarlos para que los resultados fueran los indicados en las publicaciones internacionales.

Durante el tiempo en el que se estuvieron efectuando las numerosas comprobaciones, necesarias para ratificar en México las citadas investigaciones; los resultados obtenidos, no dieron más que resistencias de concreto normales, con algunas diferencias marcadas en la velocidad del incremento de la resistencia en relación con el tiempo, de una marca a otra distinta. Como explicaremos más adelante. También mencionamos, que algunas marcas de cemento permitían a los investigadores fabricar concretos que llegaban rápidamente a una resistencia elevada y en las siguientes horas el resto de su resistencia lo obtenían lentamente, en otros, sucedía totalmente lo contrario.

Una vez repuestos de la sorpresa, era imprescindible comprender que causaba tales resultados, por lo que se hizo necesario que realizaran numerosos experimentos para ir comprendiendo el orden de aplicación de los materiales, la velocidad de mezclado necesaria, que midieran cuidadosamente las proporciones de los componentes implicados en cada una de las diferentes

resistencias en experimentación, todo ello significó un gran esfuerzo, y que requerirá un redoblado impulso a futuro para conseguir los resultados esperados.

Mencionamos también, que el crecimiento de la población, la lleva a buscar asentamiento en lugares con características particulares, en ocasiones adversas como las márgenes de los ríos, barrancas de alto riesgo, o, como en el caso de las llanuras costeras del Golfo de México, de las que forman parte la península de Yucatán, Veracruz y Tamaulipas, en donde a falta de los áridos apropiados se dispone de materiales suplentes cuyos resistencias y características no están lo suficientemente investigados, lo que redundará en alto riesgo para la seguridad de dichas personas.

Sobre este particular, en la investigación DN-50, nuestro grupo está efectuando el análisis de los concretos no convencionales, ampliando además sus lazos con investigadores que llevan la misma línea en la Universidad Autónoma de Yucatán, en donde se trabaja directamente con los materiales ya industrializados, tales como bloques huecos de cemento arena, sangrado de los concretos y pérdida de resistencia, etcétera, para realizar un trabajo mucho más eficiente, con lo que la investigación de parte nuestra se extiende a materiales como: arena de tepojal, tezontle y otros materiales de tipo regional del interior de la República.

Remarcando, este trabajo no es un informe técnico de investigación, por lo que sólo se presentan los datos que se consideraron de interés, o que contienen parte de la información relativa al tema que se está tratando, por lo que no aparecen por ejemplo, fórmulas químicas, ni tediosos ensayos, etcétera. Más para los que se interesen en obtener mayor información sobre el particular, el laboratorio de construcción de la UAM-A está en la mejor disposición para obsequiarla. Por último, el presente artículo pretende dos objetivos: Primero, dar a conocer uno de los caminos que la investigación en la Unidad Azcapotzalco de la UAM está siguiendo, con el fin de obtener apoyo económico externo, tal como sucede con la UNAM.

Y segundo, interesar a docentes y alumnos en la investigación, con el objeto de obtener profesionistas con más inventiva, para su bien propio, capaces de ingresar con éxito en un mundo competitivo como el actual, y que México está solicitando con urgencia. Por lo que volviendo al tema, primero tenemos las...

## **PRUEBAS PRELIMINARES**

Antecedentes:

Ya habíamos explicado que en México existen varias marcas y tipos de cemento, algunas de reciente presencia en el mercado, y sin duda, con buena variedad en su composición química y finura de molido. Pero ha quedado establecido previamente, que dependiendo de la composición química de este, se producen diferentes reacciones con los aditivos, por ende, con los reductores de agua. En ocasiones, estos implican efectos favorables o desfavorables al endurecimiento inicial del concreto y, dependiendo del momento de su inclusión en el proceso de mezclado, pérdida de fluidez y aumento en la dificultad de moldeado del mismo, entre otros efectos que también suelen ser importantes de acuerdo con la aplicación que se le quiera dar.

Para las pruebas, los investigadores determinaron los bancos de agregado grueso con los que se podría contar sin ninguna dificultad en su adquisición de forma comercial, teniendo al respecto piedra triturada de caliza, basalto y grava andesita; tanto de las minas de Santa Fé como de la Villa de Guadalupe, Cárcel de Mujeres, Etc.

Con el agregado fino, escogieron de los diferentes bancos el que garantizara mejores condiciones de limpieza en cuanto a materiales contaminantes, y, teniendo en cuenta que los investigadores no le dan gran importancia a este agregado en relación con su granulometría. Esto último tiene relación con que los concretos de alta resistencia contienen un alto volumen de cementantes finos, lo cual hace que la graduación de la arena usada sea relativamente insignificante comparada con el concreto convencional.

Como aditivo mineral finamente dividido seleccionaron la microsíllica, material que encontramos disponible en forma factible en el mercado en comparación, por ejemplo, con las cenizas volantes que también proporcionan resistencias mayores a los concretos, sin embargo, su disponibilidad de adquisición es de mayor dificultad, por el lugar geográfico donde se pueden conseguir y, por ende, el costo y tiempo que esto ocasiona, por no ser de fabricación nacional.

Tomando en cuenta los estudios previos de la investigación científica, los aditivos químicos fueron aditivos reductores de agua de alto rango. El efecto principal era poder conservar la baja relación agua/cemento en el concreto.

Haciendo un paréntesis sobre lo mencionado en el artículo anterior:

Cuando se dosifica concreto que contiene materiales cementantes agregados por separado tales como cenizas volantes, puzolanas naturales, humo de sílice y escorias de alto horno finamente molidas, se deben considerar ciertos factores. Entre éstos se incluyen:

- La actividad química del material cementante y su efecto en la resistencia del concreto a varias edades.

- Su efecto en la demanda de agua de mezclado necesaria para su plasticidad, fácil moldeo y colocación.
- La densidad (o peso específico) del material y su efecto en el volumen de concreto producido en la mezcla.
- Su influencia en las dosis de aditivos químicos y/o aditivos inclusores de aire empleados en la mezcla.
- El efecto de la combinación de materiales sobre otras propiedades críticas del concreto, como tiempo de fraguado bajo condiciones de temperatura ambiente, calor de hidratación, velocidad de desarrollo de resistencia y durabilidad.
- La cantidad de materiales cementantes y cemento necesario para satisfacer los requisitos de un concreto en particular.

De acuerdo a la Tabla ACI 211.1

El análisis por separado de cada uno de los factores, ayuda a conocer la influencia que cada uno tiene en la combinación de sus efectos para la obtención de los concretos buscados, como primer elemento.

Una vez que establecieron tipos (marcas) de cemento con las características más acordes para obtener concretos de alta resistencia, efectuaron pruebas para determinar su comportamiento con diferentes cantidades de aditivo mineral, específicamente con la microsilica, primero ambos cementantes y, posteriormente éstos en forma conjunta con el aditivo químico, efectuando variaciones de la cantidad de este último. Realizados los estudios anteriores, cuyos resultados se utilizaron posteriormente en las mezclas de concreto, procedieron a determinar las características del agregado grueso (caliza), previamente se tenía el de la arena (andesita) utilizada en los morteros.

Fue conveniente conocer las características químicas del cemento y de los aditivos que se usarían en las mezclas. Recabando información, que solicitaron, a los fabricantes de los cementos y a los proveedores de los aditivos. Adicionalmente hicieron un análisis químico, superficial, a estos materiales. Para el mezclado del concreto emplearon el equipo disponible en los laboratorios de la unidad, como la utilización de una mezcladora de un saco de cemento, la cual no cuenta con algún sistema de control para poder regular la velocidad de mezclado que fuera necesaria para la fabricación de concretos de alta resistencia, ni mucho menos cuenta con alta velocidades, además, como probetas de ensayo los cilindros de 30 x 15.

Para la compactación del concreto, emplearon una varilla recta metálica de sección transversal

circular de 15.9 mm (5/8") de diámetro, con una longitud aproximada de 60 cm con una punta en forma de hemisferio de 15,9 mm de diámetro, así como una mesa vibratoria para laboratorio, con una frecuencia de 3000 rpm y una amplitud de 0.5 mm, Para el curado de las probetas, utilizaron el "cuarto de curado" del propio laboratorio de construcción (23° C+- 2 y 95% de humedad relativa), y una máquina universal con una capacidad de 200 toneladas para el ensayo de las probetas.

Una vez obtenida la información de los materiales y del equipo a utilizar en las mezclas de concreto, procedieron a establecer cuál sería la dosificación de las mismas. Para ello fue necesario tener en cuenta que la dosificación del concreto se debe basar en los datos que se obtienen de pruebas o en la experiencia adquirida con los materiales que de hecho serían empleados. Cuando estos antecedentes son limitados o no están disponibles, como es el del caso que nos ocupa, se pueden aplicar los valores estimados que se presentan en la práctica. Sin lugar a dudas, las proporciones de los materiales del concreto se deben seleccionar para facilitar la colocación, con la densidad, resistencia y durabilidad necesarias para determinada aplicación.

Por lo anterior, consideraron importante conocer con qué experiencias se podía contar, teniendo en cuenta únicamente los materiales que habían sido considerados, en la proporción de las mezclas de concretos de alta resistencia; para seleccionar y efectuar previamente una mezcla de "prueba" con la dosificación indicada. Por ello determinaron conveniente ilustrar en primer término estas dosificaciones, pero en un capítulo especial y haciendo notar algunos aspectos relevantes.

Dependiendo de los resultados que se obtuvieran de la mezcla de "prueba" se procedería a seguir trabajando con ella o se propondría alternativamente otra dosificación, de la que se obtuvieran mejores resultados. Se variarían algunos factores como: tener un riguroso control de su granulometría, lavar el agregado grueso y variar las cantidades de aditivos, así como las proporciones entre él y el momento de su aplicación en el proceso de mezclado de estos últimos, y determinar su efecto en la evolución del concreto y su resistencia final.

Por último, consideraron la posibilidad de que el azufre, material utilizado en los ensayos de compresión del concreto normal, por sí solo no resistiría las cargas axiales a las que estaría expuesto el concreto de alta resistencia, por lo que se previó mezclarlo con otro material, por ejemplo, arena, microsílca otro material, que le aumentara la resistencia para lograr este efecto.

LAS MEZCLAS DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA

Se considera como aditivo mineral el humo de sílice (polvo de sílice, humo de sílice condensado o precompactado, micro sílice o microsíllica), este material se ha usado con éxito en otros países en la producción de concretos de alta resistencia, ya que reduce la permeabilidad y aumenta la resistencia. El empleo de los diferentes porcentajes del humo de sílice ocasiona que el concreto tenga diferente trabajabilidad, por lo que la demanda de agua aumenta conforme se incrementan las cantidades de este.

Los humos de sílice son un subproducto resultante de la reducción del cuarzo de alta pureza con carbón y astillas de madera, durante la producción de metales de sílice o aleaciones de ferro silicio. El humo de sílice, tiene un alto contenido de dióxido de sílice amorfo y consiste en partículas esféricas muy finas, ideal para una mezcla mas homogénea.

La finura de la microsíllica medida por el método de la Porosimetría Intrusiva de Mercurio, es, según Olek y otros, del orden de 20.76 m<sup>2</sup>/g en su estado denso, Howard y otros investigadores afirman que la superficie específica de ésta es de 20 m<sup>2</sup>/g por lo que es mayor que la del cemento. Su peso específico es de aproximadamente de 2.2 kg/dm<sup>3</sup> . Este peso es bajo en comparación con el del cemento Portland, lo que implica que cuando se efectúa un reemplazo en peso (masa) del cemento se tendrán que añadir mayores cantidades en volumen de humo de sílice.

Por lo tanto, el volumen de cementante en la pasta se incrementa y en realidad hay una disminución de la relación agua/materiales cementantes con respecto al volumen, esto, por sí solo explicaría un aumento de la resistencia a valores razonables, ya que se incrementa considerablemente la superficie de contacto del cementante con los agregados inertes, y que corresponden a los obtenidos en muchos de los experimentos realizados (véase la tabla T-2); pero de ninguna manera corresponden a los difundidos por los artículos de revistas científicas relativos al tema.

La tabla T-1 mide la superficie de contacto de los componentes indicados.

T-1 Esta es una tabla comparativa entre el cemento y el humo de sílice :

	Modulo de finura.	Peso específico		
	m <sup>2</sup> /g	Kg/ dm <sup>3</sup>		
Investigadores	Humo de sílice	20.00 - 20.76	2.2	
Invest. Cementos y laboratorios	Cemento	0.30 - 0.436	3.1	

La extrema finura (0,1 φm de φ) y el alto contenido de sílice, de este aditivo mineral, hacen que

reaccione efectivamente como un material puzolánico con la cal “libre” que se produce durante la hidratación del cemento, a fin de formar el compuesto cementante estable llamado hidrato de silicato de calcio. Como se indicó previamente, disminuye la moldeabilidad del concreto, por lo que siempre será preferible usar un aditivo químico comercial como son aquellos que nos pueden dar un incremento en el revenimiento de nuestro concreto; suena lógico que la dosis empleada dependerá del porcentaje empleado del aditivo mineral y de los efectos deseados.

En otra vertiente, algunos investigadores recomiendan emplear directamente aditivos reductores de alto rango; mencionan que se obtienen los máximos beneficios en el mezclado con la microsílca ya que mejora la fluidez y reduce el contenido de agua satisfactoriamente, se han mencionado especialmente aquellos que están fabricados a base de naftalina y tienen su peso molecular dentro de cierto rango y se puede observar las diferencias de los efectos de la relación  $w/(c+SF)$ , los investigadores llegaron a pensar, que la efectividad depende del momento de la adición del aditivo, notándose en la fluidez y resistencia del concreto .

Referente a este último punto, la siguiente tabla muestra los beneficios que se obtuvieron del momento de la adición del aditivo reductor de alto rango = (HRWRA).

Relación

A/Cements.	15% s/s HRWRA						Esfuerzo de Compresión
			MPa				Kg/cm2
	MPa	Kg/cm2					

w/(c + SF)	Tipo de adición	Fluidez, %	Aire, %	14 días	28 días
0.45	Adicionado	140	1.5	68.3	774
0.45	Separado	>160	0.9	78.5	779
0.45	Diferido>160	1.0	77.4	783	850
0.40	Adicionado	116	3.1	78.3	865
0.40	Separado	160	2.3	87.0	872
0.40	Diferido>160	1.0	87.9	889	920
0.35	Adicionado	85	5.0	89.7	901

T-2 Tabla de Morteros con 15 % de microsílca en substitución por peso de cemento con diferentes técnicas de adición de HRWRA, reportada por Rosemberg y Gaidis .

La segunda columna se refiere a 15% de microsílca (1 porcentaje de HRWRA, en substitución por peso de cemento). También es necesario aclarar, que en todo momento se han indicado los autores, tanto de los avances en la investigación, como de las tablas que aclaran los avances, (para mayor claridad, consultar el artículo indicado) y que se van sumando a los

trabajos detallados en este artículo. MPa = Mega Pascales (U. I. de medida, en la que deben indicarse los valores obtenidos)

Posteriormente, artículos especializados señalaban que se había desarrollado un nuevo aditivo líquido (con microsíllica) para mejorar el esfuerzo en el concreto que, además de los efectos benéficos de manipulación y mezclado del concreto, tenía como beneficio la reducción del costo en el envío de remesas y la eliminación del riesgo del polvo tan fino de la arena microsíllica, este aditivo es un producto en el que se ve la microsíllica dispersa en agua con aditivos apropiados que le proporcionan mejoras de estabilidad y propiedades de viscosidad. Algunas de estas propiedades están descritas en la tabla siguiente:

Contenido de sólidos de microsíllica > 92% por peso

Viscosidad a 25° C 1000 CP a 0.6 r.p.m.

200 CP a 60 r.p.m.

T-3Tabla de Propiedades de viscosidad del nuevo aditivo líquido para altos esfuerzos.

Los cambios en las proporciones de los componentes de la mezcla podían, sin duda, repercutir en un alto o bajo esfuerzo, sin embargo, los efectos de este nuevo aditivo no mostraron la sensibilidad del uso de las diferentes marcas de cemento mexicanas como vemos en la tabla siguiente. WRDA = Superfluidificante.

Marca de cemento % s/s

WRDA 19 % adición microsíllica w/(c+

SF) % fluidez % aire Esfuerzo de Compresión MPa Kg/cm2 MPa Kg/cm2

14 días 28 días

A		0.6	83	3.3	32.4	328	36.2	366	
B		0.6	2	3.3	35.9	363	40.0	405	
C		0.6	79	1.7	32.4	328	39.3	398	
D		0.6	60	4.3	33.8	342	35.2	356	
A1	1.0	0.45	18	9.3	37.2	376	38.6	390	
C1	1.0	0.45	18	6.4	40.0	405	40.0	405	
A2	1.0	10.0	0.45	93	.0	58.6	593	65.2	660
B2	1.0	10.0	0.45	41	4.9	60.3	610	61.7	624
C2	1.0	10.0	0.45	81	5.9	60.0	607	62.7	635
D2	1.0	10.0	0.45	50	5.8	63.4	642	64.1	649

T-4 Tabla de Resultados de los esfuerzos de morteros usando 10% de microsíllica en peso y diferentes marcas de cementos . SF = Silica Fume.  $w/(c+SF)$  = Relación agua/cementantes.

Gráfica de Resistencia de morteros a los 14 y 28 días sin aditivos, con aditivo y aditivo - microsíllica<sup>56</sup>, tomada de la tabla anterior (T-4).

Es conveniente mencionar que este último aditivo, que reduce prácticamente los riesgos del uso de la microsíllica, por la finura de sus partículas, no está disponible comercialmente en forma práctica en el mercado nacional.

#### DOSIFICACIONES DEL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA

Ahora la tarea consistió en revisar la disponibilidad de alguna información con relación a dosificaciones de concreto de alta resistencia, independientemente de la metodología empleada para el mezclado, pero teniendo como requisito que contuvieran los materiales que se utilizarían en el mezclado, porque era importante conocer los resultados de experiencias previas. Aun cuando eran composiciones empleadas en diferentes países y, por consiguiente, también los cementos, áridos, aditivos químicos y minerales empleados son muy diferentes; al respecto encontraron lo siguiente:

(Las tablas siguientes fueron obtenidas de un artículo (PIGEON Michel, GAGNÉ Richard et. al ) donde esencialmente se enfocaban a determinar, para ciertos tipos de cemento, el valor límite de la relación agua/cemento, a la vez, de “la resistencia de los ciclos (congelamiento, deshielo), y de la resistencia a descarapelarse por presencia de sales que atacan al gel. Para mayor aclaración, no todos los cementos son candidatos para la realización de concretos de alta resistencia, para este caso, son los cementos puzolánicos (-PZ-, con alto contenido de arcillas) los idóneos, pero al agregárseles los aditivos reductores de alto rango, puede darse el caso de que se obtenga una mezcla casi seca, muy dura y difícil de trabajar, por lo que se hace necesario realizar pruebas entre el cementante seleccionado y el aditivo para conocer su reacción, y utilizar los superfluidificantes apropiados al caso, las pruebas se hacen en cubos (pg. 14). La superficie se mide en  $m^2/Kg$  ó g. (Blaine), según el caso. FS = Humo de Sílice.

Ti

po de con cre

to Rel.

AC

+

FS	Tipo de agregado grueso	Tipo de cemento		Tipo de cemento		Tipo de cemento		Tipo de cemento	
MPa	Cemento								
Kg/m3	FSk	Sp	Área	Reve-					
(mm)	Contenido de aire(%)	Resistencia la compresión (MPa)							
1	0.30	Calcárea							
Dolomítica	30	450	27	28	0-2	45-90	2,8-4,9	78-87	
2	0.30	Calcárea							
Dolomítica	30	460	0	33	0-2,5	40-160	2,8-11	60-80	
3	0.30	Calcárea							
Dolomítica	10	442	27	26	0-0,7	175-210		4,8-7,8	65-75
4	0.30	Grava de granito		30	424	25	31	0-1,9	150-230
3,4-9,2	70-89								
5	0.26	Calcárea							
Dolomítica	30	545	32	38	0-	75-130	2,6-4,9	86-93	
6	0.26	Calcárea							
Dolomítica	10	543	33	24	0	60	2,8	82	
7	0.30	Calcárea							
Dolomítica	30	645	38	52	0-3	30-55	2,5-3,9	91-97	

T-5 Tabla de Materiales y resistencias que reportan PIGEON Michel, GAGNÉ Richard. No se hace la conversión de MPa a Kg/cm2 por falta de espacio en la tabla. FS = Silica Fume

CEMENTO

	TIPO 10	TIPO 30
FE2 O3 (%)	2,3	1,8
SO3	2,1	2,9
CaO	62,4	64,2
SiO2	21,5	20,9
MgO	2,9	2,6
Al2O3	4,6	4,1
Alcalino (en Na2 O, %)	0,80	0,71
Blaine (m²/kg)	340	545
C3S	51	63

C2S	23	12
C3A	8	8
C4AF	7	5

T-6 Contenidos químicos de los dos tipos de cemento, PIGEON

También se encontró, que en Alemania el concreto de alta resistencia fue usado por primera vez en la oficina administrativa principal de BFG en Frankfurt. KERN E., reporta la composición de concreto que fue usado y esta se muestra en la siguiente tabla T-7 .

Kg/ m3	
Cemento PZ 45 Dickerhoff	450
Microsílica en suspensión	70
Arena principal 0/2	610
Grava Rhine 2/16	1140
Contenido de agua	150
Adhitivo FM62 Additment	12
Retardante VZ4 Additment	
Relación agua/cemento	>0.35
Consistencia	Fluido

El contenido de microsílica aquí fue de  $35/450=7.7\%$  en peso del cemento. La fuerza o resistencia llevada a cabo alcanzó un promedio de 112 MPa (1,133 K/cm<sup>2</sup>), la cual era substancialmente más grande que la calidad esperada B85. La resistencia después de 24 horas fue alrededor de 50-65 MPa (506-658 K/cm<sup>2</sup>). Held M, mostró que la resistencia del concreto usando agregados glaciales del Río Rhin, todavía podía ser aumentada a 135 MPa (1,366 Kg/cm<sup>2</sup>), con una mezcla convenientemente seleccionada, cemento y microsílica y una reducción de la relación agua/cemento .

Materiales	Proporción
Cemento PZ 45	450
Microsílica	45
Agregado	
0/2	661
2/8	358
8-16	768
Agua	128

Aditivo 22.5

Retardante 1.

Relación agua/cemento 0.23

Producir valores de concreto fresco, 58/49 cm

Tabla T-8

Era importante conocer las consideraciones que se tuvieron en cuenta para obtener las altas resistencias de los cubos, mostradas anteriormente, la primera consiste en que pueden ser obtenidas por la elección de una conveniente composición de ingredientes, y la segunda les indicaba que esas resistencias tienen que ser corregidas para designar valores. Por tanto, para designar los valores, con los esfuerzos de los cubos, fueron expresadas como:

$$f_{cd} = C_1 C_2 C_3 f_{cck} / \gamma_c$$

Donde:

C1= factor de conversión del cubo - a esfuerzo del cilindro

C2= factor sostenido de peso

C3= factor conversión de campo - a calidad del laboratorio

$\gamma_c$ = factor de seguridad del material

El factor de seguridad del material es conocido y es más usual encontrarlo en las normas internacionales. En la Universidad Tecnológica de Delft se han realizado pruebas para determinar los factores C1 y C2. Las pruebas del modelo se llevaron a cabo por Mebin Amsterdam y llevadas a Delft. La composición de la mezcla está representada en la tabla siguiente. Es normal no conocer la marca del cemento, para que el resultado de las pruebas no se vea influenciado ni alterado, norma que también aparece en los trabajos, motivo de este artículo.

Kg/m<sup>3</sup>

Cemento PZ55 475

Microsílica (Elkem) 25

W/(c+s) 0.30

Arena 0-5 825

Grava triturada 930

Sulfonato de aluminio 4

Lignosulfonato 1

Revenimiento de producción 11/42

T-9 Tabla de Composición de la mezcla utilizada en la Universidad de Delft

A los 28 días la resistencia del concreto fue ensayada en 6 cubos (150mm<sup>3</sup>) y 6 prismas

(1002 x 300 mm), La resistencia de los cubos fue encontrada, en valores promedio,  $f_{cc,15} = 119.3$  MPa (1,207 Kg/cm<sup>2</sup>), con una desviación estándar de  $\sigma = 2.4$  MPa (24.29 Kg/cm<sup>2</sup>), esta pequeña desviación, significaba que el grado de concreto es cerca de B115. Para la resistencia de los prismas se encontraron valores promedio de  $f_{cp} = 95.5$  MPa (96.6 Kg/cm<sup>2</sup>). Calculando de nuevo a la medida de los cubos alemanes de 200 mm<sup>3</sup>, los valores en promedio de  $f_{cc,20} = f_{cc,15} / 1.04 = 119.3 / 1.04 = 114.7$  MPa (1,161 Kg/cm<sup>2</sup>) fueron los encontrados. La resistencia de la relación prisma/cubo es por lo tanto  $f_{cp}/f_{cc} = 95.5 / 114.3 = 0.83$ . Además, un número de prismas les presentaron fallas bajo varios porcentajes de resistencia.

Las pruebas fueron llevadas a cabo en una deformación controlada para verificar el proceso de compresión, sin embargo, no el longitudinal, pero la deformación transversal fue elegida como un parámetro de control. Para la primera aplicación de concreto de alta resistencia en Alemania, en la oficina de BIG en Frankfurt, los valores C1-C3 fueron elegidos como C1=0,85, C2=0,85 y C3=0,95 ( $(1 - f_{ccK}/600)f_{cc}$  (Hegger J.)) (De 8.6 a 9.6 Kg/cm<sup>2</sup>). Las pruebas conducidas para C1 y C2 confirmaban a primera vista la elección. Pero para C2, sin embargo, estas pruebas con pequeñas proporciones de carga eran necesarias .

De igual manera encontraron que, Pierre-Claude Aitcin, reporta las siguientes proporciones de ingredientes para concretos de alta resistencia.

MATERIAL	CANTIDAD (kg/m <sup>3</sup> )
Agua	135
Cemento tipo I	500
Microsílica	30
Relación A/(c+cfs)	0.25
Agregado grueso	1100
Arena	700
Súper plastificante	14
Retardador	1.8

Edad días	Resistencia MPa
1	50.2 508 Kg/cm <sup>2</sup>
7	72.7 736 “
28	87.0 880 “
91	100.2 1,014 “

T-10 Dosificación y resistencia de concreto, columnas de un edificio.

MATERIAL	CANTIDAD (kg/m3)
Agua	130
Cemento tipo I	535
Microsilica	42
Agregado grueso	1200
Arena	610
Súper plastificante	Desconocido
Retardador	Desconocido

Edad días	Resistencia MPa
1	75.9 768 Kg/cm2
7	124.0 1,255 “
28	139.9 1,416 “
91	151.7 1,535 “

T-11 Dosificación y resistencia de concreto, grava glaciara de Seattle columnas de un edificio .

También encontraron en un artículo escrito por de Larrard F. y Le Roy R. una serie de mezclas donde se tenía el empleo de microsilica en el diseño de las dosificaciones como se ilustran en la tabla contigua.

Materiales kg/m3	C0	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
Agregado normal	1200	1216	1239	1172	1136	1204	1200	1202	1200	1200	1200
Arena	670	669	679	643	623	660	658	659	658	658	658
Cemento	342	398	366	422	457	355	429	373	426	412	386
Microsilica	0	39.8	36.6	42.2	45.7	35.5	42.9	37.3	0	20.6	57.9
Superplastificante*	0	19.3	17.8	20.5	22.2	17.2	20.1	18.1	20.7	20.0	18.8
Adición de agua	171	118	108	125	136	137	106	129	126	122	114
Densidad	2.36	2.43	2.45	2.42	2.42	2.41	2.43	2.41	2.43	2.43	2.43
Aire atrapado	1.9	0.6	1.2	0.7	0.4	0.7	0.9	0.5	1.2	0.8	0.6

Revenimiento (mm)	60	200	180	220	250	220	----	220	200		
----	----										
Rel. de agregados	0.705	0.714	0.731	0.687	0.675	0.712	0.711	0.715	0.708		
	0.712	0.714									
W/c	0.50	0.33	0.33	0.33	0.33	0.42	0.28	0.38	0.33	0.33	0.33
S/c	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0-1	0.1	0.1	0.0	0.05	0.15
Esf. De compresión Mpa											
Fc1	11.4	25.4	26.8	22.2	31.3	20.6	34.2	14.3	25.4	25.5	28.8
Fc3	25.4	51.5	49.7	48.1	49.1	35.6	53.7	37.8	38.2	42.8	42.6
Fc7	32.0	70.7	69.1	69.5	70.3	56.6	75.6	57.8	57.2	64.5	67.0
Fc28	43.5	92.1	94.3	93.3	99.4	74.6	97.3	79.5	67.2	74.6	94.3

T-12 Dosificación y resistencias de concreto reportadas por de Larrard F. y Le Roy R. No se hace la conversión de MPa a Kg/cm<sup>2</sup> por falta de espacio en la tabla. S/c = Relación microsíllica/cemento.

Los investigadores consideraron conveniente transcribir dos Diseños de mezcla proporcionados por Master Builders Inc., por ser diseños reales que se encuentran en una obra.

MATERIAL	CANTIDAD ((kg/m <sup>3</sup> ))
Cemento tipo I	326.31
Microsíllica 9%	29.66
Súper plastificante	425g / 45.36 kg
Aditivo tipo "A"	284g / 45.36 kg
Relación agua/cemento + SF	0.38
Revenimiento	19.68
Contenido de aire	4.3 %
Esfuerzo a la compresión a los 7 días	45 MPa455 K/cm <sup>2</sup>
Esfuerzo a la compresión a los 28 días	68 MPa688 K/cm <sup>2</sup>
Permeabilidad a la penetración de cloruros (coulombs) (promedio)	
T-13 Diseño de mezcla de concreto utilizado en Oak Ridge	

(Nota: se consideraron más diseños de mezcla, pero no se incluyen por falta de espacio) Es importante señalar que de todas las mezclas que analizaron, no encontraron información suficiente, por ejemplo: El superplastificante utilizado, el tipo y calidad del agregado grueso y fino, tamaño nominal del agregado grueso, módulo de finura del agregado fino, etc., para con ello tratar de establecer una relación con los materiales existentes en la zona metropolitana

de la ciudad de México, y así poder utilizarlos, y plantear un proyecto de dosificación que fuera apropiado. Por otra parte, los documentos revisados no mencionaban ninguna técnica específica, ni metodología empleada para el proceso de mezclado de los ingredientes. Sin embargo, propusieron un diseño para dar inicio a la investigación que nos ocupa.

## LOS RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE MATERIALES

### Cementos.

En el proyecto de investigación consideraron el empleo de diferentes marcas de cemento del tipo Portland I ó II con el fin de determinar cual es el de mejores características con relación a su comportamiento mecánico.

Y en forma general, mencionan dos características que los cementos deben tener, la primera consiste en que deben desarrollar los esfuerzos apropiados, y la segunda menciona que deben mostrar su particular comportamiento reológico

De acuerdo a lo anterior, consideraron necesario conocer la composición de las características químicas de los cementos disponibles para trabajar, en la tabla siguiente, se incluye la información técnica proporcionada por los fabricantes para las tres marcas de cemento empleadas; así como, los límites que establecen las normas oficiales mexicanas:

Componentes	Cemento A	Cemento B	Cemento C	Nominal
% SiO <sub>2</sub>	27.58	29.1		
% AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.12	6.6	6.50	
% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.26	2.69	3.1	
% CaO	58.32	52.44		
% MgO	1.2	1.76	1.3	Máximo 5
% SO <sub>3</sub>	2.48	3.52	3.1	Máximo 5
% K <sub>2</sub> O	1.18	1.3		
% Na <sub>2</sub> O	0.72	2.06	.9	
% CaO libre	0.30	0.52	.8	
% P. ing	1.90	2.31	2.5	Máximo
% R ins.	11.62	18.70	15.8	
Blaine	4050	4360	4153	Mínimo 3000
Fraguado inicial	143 min	157 min	127	No menos de 45 minutos
Fraguado Final	5:17 hrs.	4.47 hrs.	4:31 hrs.	No más de 7 horas.

T-14 Tabla de información técnica proporcionada por los fabricantes de tres marcas .

Paralelamente a la obtención de la información analizaron, en los laboratorios del Área de

Química Aplicada de la Universidad Autónoma Metropolitana, mediante un análisis químico elemental realizado por Absorción Atómica, las muestras de los cementos con los que se realizarían las primeras mezclas de prueba, los resultados se presentan en la siguiente tabla.

(Tabla T-15)

Componentes	Cemento A	Cemento B	Cemento C
Si, % como SiO <sub>2</sub>	50.48	58.18	48.52
Ca, % como CaO	0.59	1.52	1.25
Mg, % como MgO	0.12	0.129	0.155
Na, % como Na <sub>2</sub> O	0.05	0.073	0.04
Fe, % como Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.947	1.671	1.009

#### ANÁLISIS QUÍMICO ELEMENTAL DE LOS CEMENTOS

Se menciona que la mayor parte de los cementos tipo I ahora usados para producir altas resistencias en el concreto tienen un módulo de finura (Blaine) entre los rangos de 300 a 400 m<sup>2</sup>/kg, y el cemento tipo 111 (alta resistencia a edades tempranas) tiene un Blaine entre 500 y 600 m<sup>2</sup>/kg

El módulo de finura de los cementos, presentados por los fabricantes seleccionados (ver tabla), no estaba dentro de los rangos usuales mencionados anteriormente, sin embargo, la finura era alta en todos los cementos lo que los hizo apropiados para su utilización ya que se mencionó anteriormente que es conveniente esta condición para producir concretos de alta resistencia, así como las características químicas de los mismos, con relación a ellas los investigadores mencionan contenido importante de silicato tricálcico porque producen pastas de mayor resistencia.

Si tomamos en consideración los compuestos químicos anteriormente mencionados en forma independiente la elección del cemento sería, en primer lugar el "C", posteriormente el "B" y por último el "A", de acuerdo con la información presentada por los fabricantes. Sin embargo, de acuerdo con el estudio químico realizado la factibilidad del uso, para los fines que se persiguen sería, primero el "B", posteriormente el "A" y por último el "C". (Ver tablas 14 y 15) Se debe recordar además que, un aspecto importante, es la reología de los materiales que se utilicen en el mezclado. Entendiéndose por el término de reología la parte de la física que trata de la viscosidad, la plasticidad, la elasticidad y, en general, del flujo de la materia.

#### AGUA

El agua empleada para las mezclas fue tomada de las cisternas, de agua potable de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco.

Es importante mencionar que los requerimientos de la calidad del agua, para los concretos de alta resistencia, son los mismos que los empleados en concretos nacionales, en forma general se menciona que mientras el agua sea potable, es apta para ser utilizada en estos fines .

IMPUREZAS Límites en p.p.m.

Cementos ricos en calcio	Cementos		
Sulfato-resistentes			
SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	En aguas naturales (limos y arcillas)	2000	2000
	En aguas recicladas (Finos de cemento y agregados)	50000	35000
CLORUROS COMO CL	Para concretos con acero de preesfuerzo y piezas de puentes	400	600
	Para otros concretos reforzados en ambiente húmedo o en contacto con metales como aluminio, fierro galvanizado y otros similares	700	1000
Sulfatos como SO <sub>4</sub>		3000	3500
Magnesio como Mg <sup>++</sup>		100	150
Carbonatos como CO <sub>3</sub>		600	600
Dióxido de Carbono disuelto, como CO <sub>2</sub>		5	3
Álcalis totales como Na <sup>+</sup>		300	450
Total de impurezas en solución		6500	4000
Grasas o aceites		0	0
Materia orgánica (oxígeno consumido en medio ácido)		10	150
Valor de PH	No menor de 6	No menor de 6.5	

Tabla 16

AGREGADOS PÉTREOS

Se analizaron las arenas provenientes de la mina de Santa Fé (de origen andesítico), de acuerdo a las Normas Oficiales Mexicanas (NOM- C) 30, 73, 77, 111, 165 Y 170 , obteniéndose los siguientes resultados:

T-17 Tabla con datos de la arena (Granulometría)

ASTM	Retenido en peso		
(gr.)	Retenido parcial		
(%)	Retenido acumulado		
(%)			
3/8"	0	0	0
4	9.5	0.8	0.
8	112	9.9	10.7
16	272	24.0	34.7

30	605	53.4	88.1
50	104	9.2	97.3
100	19	1.7	99.0
Charola		11.5	1.0 100.0

Modulo de Finura (M.F.)=3.31

Pesss	Pes	Abs	P.V.S.	P.V.C.	M.F.
Kg/dm <sup>3</sup>	Kg/dm <sup>3</sup>	%	Kg/m <sup>3</sup>	Kg/m <sup>3</sup>	
2.28	2.06	10.6	1397.6	1572.88	3.3

Es conveniente puntualizar que en el análisis correspondiente no se observaron impurezas en la arena.

Pesss = Peso específico sat. sup seca

Pes = Peso específico seco

Abs = Absorción

M.F. = Modulo de Finura

P.V.S. = Peso volumétrico suelto

P.V.C. = Peso volumétrico compacto

## CONCLUSIONES

La investigación de materiales al igual que la de otras ciencias, requiere del examen detallado del objeto de estudio, tratando de conocer lo más íntimo de su naturaleza, hasta el menor detalle, y realizar una y otra vez la mezcla y combinación de sus componentes, anotando minuciosamente los resultados obtenidos en cada ocasión y comparándolos con los estudios previos obtenidos. Es evidente que los resultados que se obtengan serán distintos a los de otros investigadores, dadas las diferencias en los materiales, cementantes y equipos utilizados.

Es importante hacer notar la observación sobre los estudios previos realizados por investigadores de distintas partes del mundo, publicados en revistas científicas, que no presentan una información completa sobre aspectos importantes tales como: El superplastificante utilizado, el tipo y calidad del agregado grueso y fino, tamaño nominal del agregado grueso, módulo de finura del agregado fino, etcétera, para con ello tratar de establecer una relación con los materiales existentes en la zona metropolitana de la ciudad de México, y así poder utilizarlos, y plantear un proyecto de dosificación que fuera apropiado.

Por otra parte, los documentos revisados no mencionaban ninguna técnica específica, ni

metodología empleada para el proceso de mezclado de los ingredientes, estos “faltantes” en la información generarán una serie de búsquedas adicionales en la investigación que serán la parte medular de este trabajo, y que serán presentados en el tercer artículo a presentarse próximamente.

Queda por resolver una pregunta: ¿son las universidades como la nuestra, las encargadas de realizar investigación sobre ciencia y tecnología para el desarrollo industrial y comercial del país?

La respuesta es que esa no es su función, simplemente pensarlo es utopía, es estar equivocado, en los países subdesarrollados los gobiernos y sus universidades apenas si producen un 5% de la tecnología que ellos mismos necesitan, en un sistema de libre empresa, el hacer investigación para el mercado o la industria sería intervencionismo.

El desarrollo de la ciencia y la tecnología para el crecimiento de las empresas sólo lo producen ellas y nadie más. Es el arma más poderosa con que cuentan para hacer negocios y con nadie la comparten, cuando ésta llega a ser publicada es por que ya no la necesitan, tienen algo mejor. Entre los países miembros de la OCDE el 70% de la investigación la hace la iniciativa privada, en México sólo un 20%.

Solo una empresa como Mitsubishi cuenta con tantos miles de investigadores como la mitad de todos los investigadores de nuestro país, y destinan cuatro veces más recursos para investigación en esa empresa que todo nuestro país. Por lo tanto, la intención nuestra se encamina a sembrar en nuestros futuros profesionistas el interés por la investigación, para desarrollar sus propias herramientas, que les permitan competir con eficacia en el mundo globalizado de hoy.

No es por tanto el interés de competir con estas empresas la que nos lleva a disertar sobre los concretos de alta resistencia, sino el interés de conocer el manejo de los cementantes, obteniendo procedimientos que permitan a poblaciones marginadas y de escasos recursos, mejorar el uso de concretos con agregados, y aún cementantes, de tipo regional (no los que aparecen en la información comprobada de los concretos comerciales) tales como grava de río no graduada y de origen diverso, arenas de “tepojal”, arenas de origen calizo, con densidades y resistencias no investigadas, en fin, obtener y difundir información técnica segura a éstas poblaciones, con el firme propósito de disminuir el riesgo de colapso de las edificaciones ante la presencia de desastres naturales a los que se encuentran expuestos.

## BIBLIOGRAFÍA

CFE, Instituto de Ingeniería UNAM. Manual de Tecnología del Concreto. Sección I, ed. Limusa, México 1994. pp 15 y 16.

DE LARRARD, F., and Le Roy, F. "The Influence of Mix Composition on the Mechanical Properties of Silica Fume High Performance Concrete" Fourth International ACI CANMET Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete. 1992. Istanbul

FIORATO, Anthony, E. "PCA Research on High Strength Concrete", Concrete internacional: Design & Construction, V. II No. 4 Apr., 1989, p.44.

HOWARD, Nathan. L., and Leatham, D. M. "The production and Delivery of High Strength Concrete" Concrete International, april, 1989. pág.29

IMCYC, México, 1992. pp 67-72.

Laboratorio de Prueba de Materiales UAM-A. Tablas del MI FLORES Bustamante J. Antonio, modificada de MORENO J. "The State of the Art of Hight strength Concrete in Chicago, Congreso Internacional, Concreto 94 IMCYC, Acapulco 94.

Laboratorio de Prueba de Materiales UAM-A. Tablas del MI FLORES Bustamante Antonio, tomadas de Aitcin P C

Laboratorio de Prueba de Materiales UAM-A. Organigrama del MI FLORES Bustamante Antonio.

Metha, P. K. Concrete Structures, Properties and Materials, Prentice Hall Inc. 1986.

PIGEON, Michel., "La durabilité au gel des bétons a haute performance". Can. Civ. Eng. Vol.19.1992. págs. 977 y 976

Olek, Jan et.al. "Determination of Surface Area of pórtland Cement and Silica Fume by Mercury Intrusión Porosimetry", ACI Materials Journal, vol. 87, num. 5, September-october, 1990. pág.478.

Revista IMCYC, núm. 164, 1984

Revista IMCYC, Núm. 192, mayo 87.

ROSEMBERG A.,M., and Gaidis J. "A New Mineral Admixture for High Strength Concrete", Concrete International, april, 1989. p'g. 31

"Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete.", pág. 17 y 18

WALRAVEN, J., "High Strength Concrete Production". Concrete Precasting Plant and Technology. ISSUE 2/1992. pág. 71