

## Instituto Costarricense del Cemento y del Concreto Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos

### 1. Introducción

El Instituto Costarricense del Cemento y el Concreto (ICCYC) y el Colegio Federado de Ingenieros y de Arquitectos de Costa Rica (CFIA) suscribieron en meses pasados, un convenio con el fin de analizar, entre otros objetivos, la calidad de las obras que se construyen en el país, específicamente las que usan cemento y concreto como materiales base de la construcción. En ese sentido, se han programado una serie de estudios técnicos con el fin de valorar dicha calidad.

Se presenta a continuación el primero de dichos estudios, donde se incorporan los resultados de una investigación sobre la calidad del concreto hecho en obra.

### 2. Objetivo:

#### 2.1 Objetivo general

Evaluar la calidad del concreto utilizado en obra, en construcciones del área metropolitana, mediante un muestreo aleatorio, en el cual se determine la resistencia del concreto que se está utilizando.

#### 2.2 Objetivos específicos

- Medir la resistencia a la compresión del concreto hecho en obra
- Medir el asentamiento mediante el cono de Abrams.
- Determinar aquellas prácticas constructivas que pudiesen afectar la calidad del concreto.
- Determinar programas de mejora en procedimientos o capacitación a profesionales y/o técnicos para mejorar la calidad del concreto en obra.

### 3. Antecedentes

En 1998, el Ing. Mauricio Araya Rodríguez, realizó su tesis de licenciatura, denominada: *“Control de Calidad del Concreto Estructural y del Mortero de Pega en Viviendas”*, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica.

En esta investigación, se sondearon 30 obras en el área metropolitana, de las cuales se tomaron 3 cilindros muestra de cada lugar. Dentro de las conclusiones se resalta que, solamente el 17% de las construcciones analizadas, lograron obtener resultados satisfactorios desde el punto de vista de resistencia a la compresión del concreto estructural preparado en sitio.

Se determinó además, que ninguna de las mezclas de concreto preparada de forma manual, logró cumplir con los 210 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia a la compresión a los 28 días.

### 4. Procedimiento experimental de muestreo:

Se visitaron las obras, las cuales eran casas de habitación, todas con áreas menores o iguales 300m<sup>2</sup>, a excepción de 1 obra, la cual tenía 400m<sup>2</sup>. Las visitas, se realizaron de manera aleatoria en los cantones de: Tres Ríos, Curridabat, Escazú, Alajuelita, Santa Ana, Belén, Heredia, San Joaquín de Flores, Moravia, Goicoechea.

En cada obra, se realizaron pruebas de revenimiento al concreto muestreado y se tomaron tres (3) cilindros. La ejecución de las muestras, las realizó un técnico del *Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LANAMME)* de la Universidad de Costa Rica.

Los cilindros permanecieron en la obra por un día, para luego ser llevados al laboratorio, en donde eran depositados en una cámara húmeda para darle el curado adecuado, y finalmente realizar las pruebas de falla simple a la compresión, a los 28 días de edad de los cilindros.

### 5. Metodología:

Se realizó un muestreo aleatorio, de 30 construcciones en el área metropolitana. Las obras se encontraban en la etapa de obra gris, se tomaron un total de 90 cilindros, 3 en cada obra. Se consideró pertinente que el área de las viviendas fuera de menos de 300 m<sup>2</sup>.

Mediante la prueba de resistencia a la compresión simple de cilindros de concreto (ASTM C-39), se determinó cuáles concretos cumplen o no, con las especificaciones del Código Sísmico de Costa Rica 2002. Además, se realizaron pruebas de revenimiento, se anotaron las virtudes o deficiencias, acaecidas durante el proceso de fabricación del concreto. Es importante indicar, que todas las muestras correspondieron a elementos estructurales de concreto: vigas, columnas, y placas de fundación.

Con los valores de resistencia obtenidos, las observaciones de campo y el análisis estadístico de los resultados, se brindarán recomendaciones, para mejorar la calidad del concreto fabricado en obra.

## 6. Análisis de resultados

### 6.1 Homogeneidad de las muestras

Como se indicó, de cada obra visitada se tomaron tres cilindros de concreto como muestra, todos de la misma batida y cuyo proceso de muestreo estuvo a cargo de un técnico especializado.

Es importante resaltar, que de las desviaciones estándar para las fallas de los tres cilindros para cada obra, se obtuvo que sólo en una obra la desviación estándar superó el 10% (valor: 12,6%) y se dió en la obra donde se obtuvo el valor inferior de resistencia de toda la muestra, la cual fue de 3,33 MPa. En seis obras, es decir, en el 20% de las obras, la desviación estándar de los 3 testigos estuvo entre el 5 y el 10% y por tanto, en el 77% restante de las obras, las desviaciones estándar estuvieron por debajo del 5%. Estos resultados demuestran la homogeneidad de las muestras individuales y por tanto la confiabilidad para utilizar todos resultados muestreados para el análisis.

### 6.2 Resistencias a los 28 días

A continuación, se muestra una tabla resumen con los resultados de resistencias obtenidos.

**Tabla 1. Resumen de resistencias obtenidas**

# muestra	Dirección	Area de la obra(m <sup>2</sup> )	Elemento	f <sub>c prom</sub> (MPa)
1	Alajuelita	61	Cimientos	3,33
2	Escazú	251	Vigas	18,14
3	Santa Ana	300	Contrapiso	26,88
4	Tres Ríos	123	Cimientos	5,09
5	Tres Ríos	200	Columna	23,96
6	Tres Ríos	153	Columna	7,64
7	Tres Ríos	300	Vigas	23,79
8	Tres Ríos	250	Contrapiso	29,22
9	Guadalupe	178	Columna	13,17
10	Guadalupe	120	Columna	17,44
11	Tres Ríos	168	Cimientos	12,83
12	Tres Ríos	193	Columna	16,78
13	Tres Ríos	191	Viga	36,35
14	Tres Ríos	296	Vigas	23,14

15	Tres Ríos	400	Columna	20,82
16	Tres Ríos	146	Columna	21,79
17	Moravia	230	Entrepiso	8,84
18	Heredia	160	Escalera	39,16
19	Heredia	80	Columna	37,21
20	Santa Ana	188	Entrepiso	19,92
21	Belén	150	Columna	8,33
22	Santa Ana	207	Viga	13,37
23	Santa Ana	207	Viga	34,07
24	San Joaquín de Flores	180	Columna	7,91
25	Heredia	150	Columna	36,58
26	Escazú	140	Contrapiso	25,78
27	Belén	113	Viga	9,67
28	Heredia	50	Viga	36,31
29	Santo Domingo	285	Viga	19,31
30	Santo Domingo	132	Viga	20,06

Nota: la resistencia especificada en todas las obras para el elemento específico es de 21 MPa  
f'c: resistencia a la compresión a los 28 días

De la tabla 1, se puede extraer que el 47% de las muestras, es decir 14/30, cumplieron con el requisito de tener una resistencia superior a los 210 kg/cm<sup>2</sup>, tal y como se especifica en el artículo 8.1.2 del Código Sísmico de Costa Rica 2002.

Se obtuvo que la resistencia promedio de los treinta lugares muestreados es de *20,56 MPa (208,7 kg/cm<sup>2</sup>)*, valor aceptable según la especificación meta, sin embargo, se obtuvo un valor de desviación estándar de *10,50 MPa (106,6 kg/cm<sup>2</sup>)*, que se traduce en un coeficiente de variación (C.V.) del 51%, que es un valor alto, y significa que hay resultados que no son admisibles en la muestra, es decir, calidades de concretos que no cumplen con la norma y en algunos casos se encuentran muy por debajo de la misma.

Se muestra a continuación un gráfico de distribución de los resultados, en donde de manera clara se observa la distribución normal de los resultados.

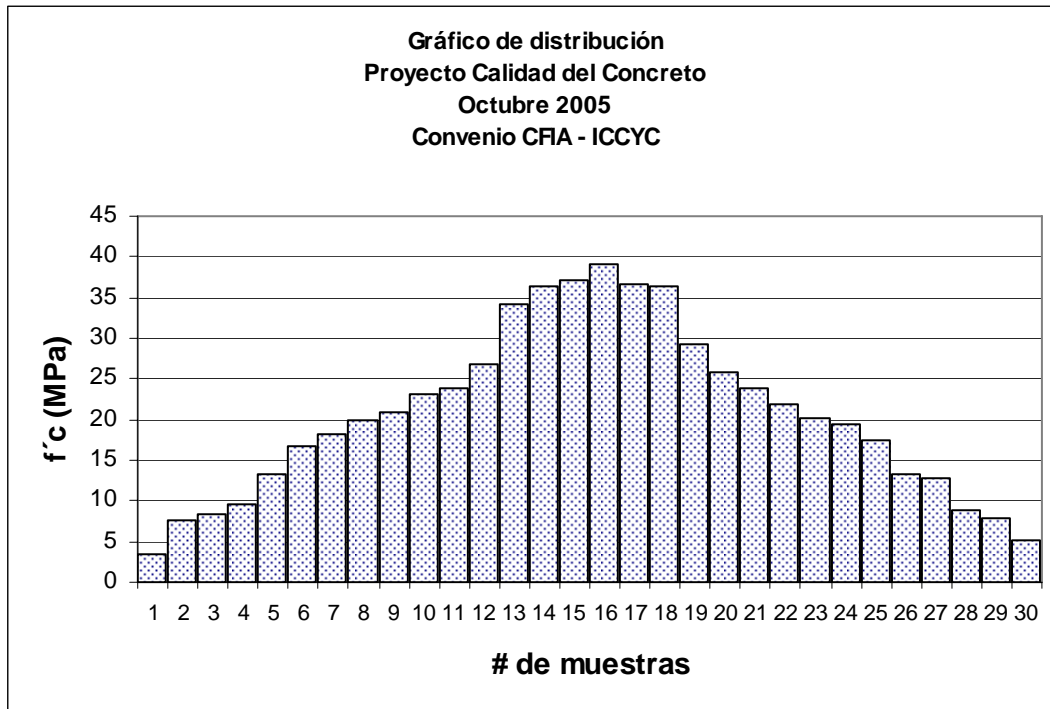


Gráfico 1. Distribución de datos

Nótese que el valor mínimo de resistencia a la compresión ( $f'_c$ ) obtenido es de 3,33 MPa (33,8 kg/cm<sup>2</sup>), y el máximo de 39,16 MPa (397,5 kg/cm<sup>2</sup>), para una amplitud de 35,83 MPa (363,7 kg/cm<sup>2</sup>).

A continuación se muestra un histograma de frecuencias, en el mismo se agrupan los resultados en intervalos de 3 MPa, para un total de 12, donde se distribuyen todos los valores.

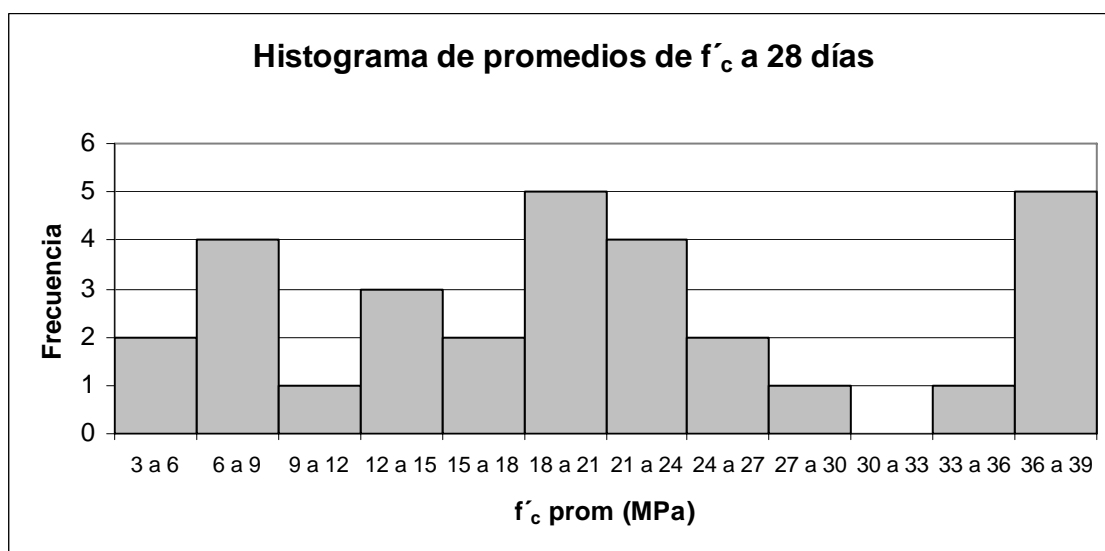


Gráfico 2. Histograma de frecuencias

En el histograma se puede observar, que los resultados bajos (de 3 a 9 MPa), son tan frecuentes como los medios (de 18 a 24 MPa) y también que hay un número significativo de resultados altos (de 33 a 39 MPa). Siendo crítico, el elevado porcentaje de pruebas por debajo de los 21 MPa, recordando que este valor es un requerimiento mínimo de resistencia del concreto, y que los elementos destino del concreto – vigas, columnas, placas – tienen una función estructural.

Se adjunta otro histograma, en el cual se muestran los valores de frecuencia de manera porcentual y se disminuye el número intervalos o clases. En este nuevo histograma, se puede ver con más claridad el comportamiento descrito en el párrafo anterior.

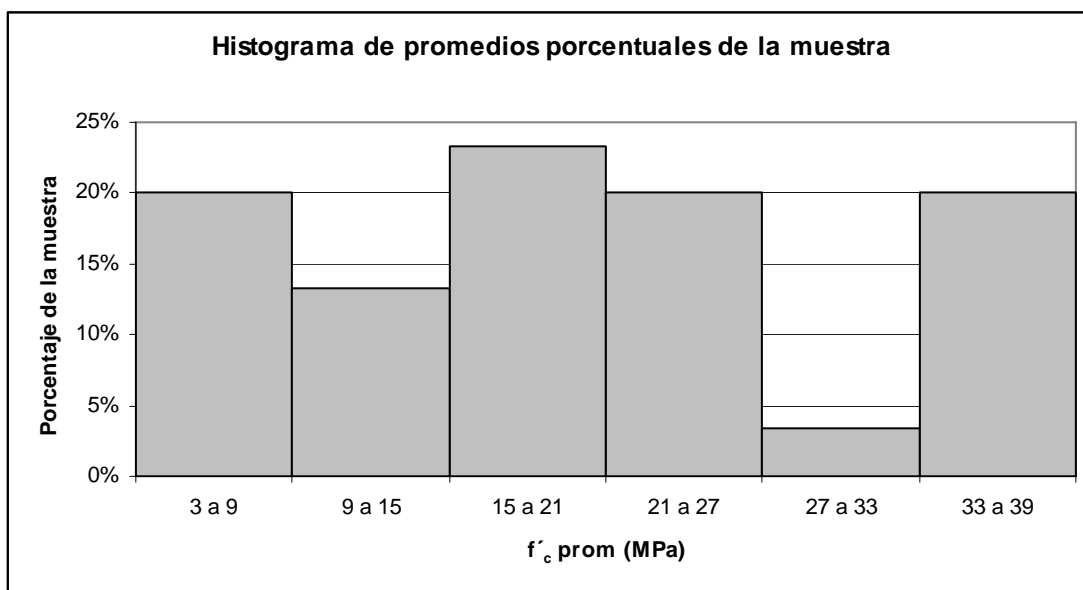


Gráfico 3. Histograma porcentual

### 6.3 Prueba de revenimiento

Como prueba al concreto en estado fresco, se recurrió a medir el revenimiento de los concretos muestreados, con el fin de constatar la trabajabilidad de las mezclas elaboradas.

En la tabla 2 se muestran los valores de revenimiento medidos, utilizando el cono de Abrams. Se debe apuntar que en ninguna de las muestras se utilizó aditivo alguno; es decir, todas las mezclas son básicamente cemento, agregado fino, agregado grueso y agua, y en general se elaboraban en dosificaciones tradicionales para nuestro medio, por ejemplo (cemento, arena, piedra): 1:2:3, 1:3:3, 1:1.5:2.5, 1:2:2, 1.5:2.5:3.5, 1:3:2, entre otras.

*Tabla 2. Dosificaciones anotadas y revenimientos obtenidos*

# muestra	Dosific.	$f'_c$ prom (MPa)	Rev. (mm)
1	1:1,5:2,5	3,33	183
2	1:3:3	18,14	95
3	1:2:3	26,88	126
4	1:2:3	5,09	160
5	1:3:3	23,96	200
6	1:2:3	7,64	240
7	1:2:2	23,79	220
8	1:2:2	29,22	198
9	1:2,5:2	13,17	199
10	1:2:3	17,44	196
11	1:2:3	12,83	202
12	1:2:3	16,78	188
13	1:2:2	36,35	45
14	1:2:3	23,14	204
15	3:4,5:9	20,82	170
16	3:6:7	21,79	211
17	1,5:2,5:3,5	8,84	213
18	1:3:3	39,16	132
19	1:2:2	37,21	115
20	1,5:3:4	19,92	188
21	1:3:2	8,33	272
22	1:2:2,5	13,37	270
23	1:2:2,5	34,07	102
24	1:3:2	7,91	233
25	1:2:3	36,58	112
26	1:2:3	25,78	132
27	1:4,5:3,5	9,67	240
28	1:2:2	36,31	146
29	1:2:3	19,31	164
30	1:2:3	20,06	195

Se puede apreciar, que los valores de revenimiento son en general altos para el tipo de mezclas observadas, puesto que sólo hay dos datos inferiores a los 100mm, 17/30 datos (57% de de la muestra) se encuentra entre los 100 y 200mm y los restantes 11/30 datos (37% de la muestra) están por encima de los 200mm.

Tal y como es de esperar, al incrementar los valores de revenimiento, hay una disminución directa en las resistencias de los concretos muestreados, como se aprecia en el siguiente gráfico.

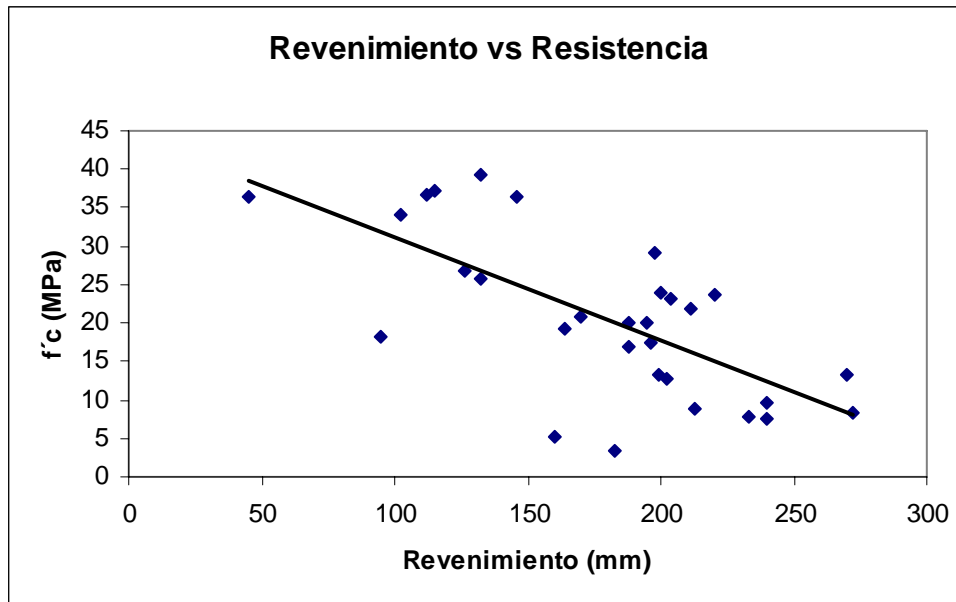


Gráfico 4. Revenimiento de las muestras

#### 6.4 Especificaciones:

Los criterios de rechazo, para determinar que el 53% de la muestra no cumple con requisitos mínimos de resistencia son:

Código Sísmico de Costa Rica 2002:

*"8.1.2 Concreto: La resistencia mínima especificada del concreto en compresión debe ser 210kg/cm<sup>2</sup>..."*

Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (American Concrete Institute ACI 318S-05):

*"5.6.3.3 El nivel de resistencia de una clase determinada de concreto se considera satisfactorio si cumple con los dos requisitos siguientes:*

- (a) *Cada promedio aritmético de tres ensayos de resistencia consecutivos es igual o superior a  $f'_c$ .*
- (b) *Ningún resultado individual del ensayo de resistencia (promedio de dos cilindros) es menor que  $f'_c$  por más de 3.5MPa cuando  $f'_c$  es 35MPa o menor; o por más de  $0.10f'_c$  cuando  $f'_c$  es mayor a 35MPa."*

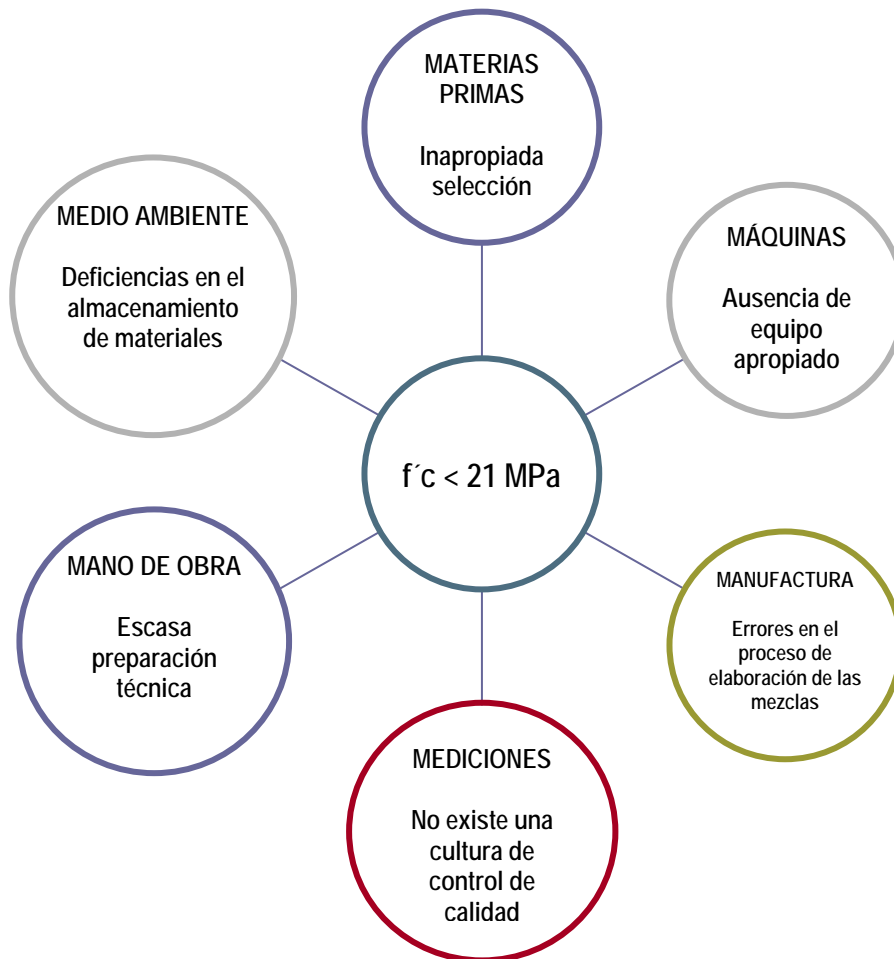


## 7. Conclusiones:

- Existe evidencia estadística, de que la mitad de los concretos normales, elaborados en obras menores (viviendas de hasta 300m<sup>2</sup> y uno o dos pisos de altura), no cumplen con requisitos mínimos de resistencia, estipulados por el Código Sísmico de Costa Rica 2002.
- El concreto de un 53% de las muestras de obras sondeadas, no cumplen con la norma establecida por el Código Sísmico. De hecho, el 23,3% de la muestra, en decir, la *cuarta parte* de las obras, presenta valores inferiores al 50% del valor de la norma, lo cual es altamente preocupante por ser concreto utilizado en elementos estructurales. Un 47% si cumple con la norma.
- Con respecto a los resultados obtenidos en 1998, en la tesis del Ing. Mauricio Araya, los resultados mejoraron de manera sustancial, debido a que en aquel muestreo solo el 17% de las obras lograron obtener resultados satisfactorios.
- Se puede concluir, que el problema del concreto hecho en obra, es el exceso de agua en las mezclas, que es una práctica común con el fin de tener concretos más manejables para el moldeo. Como evidencia de este parámetro se muestra el gráfico de resistencia del *concreto versus revenimiento (gráfico 4)*, que aunque no tiene una buena correlación estadística para la cantidad de datos que conforman la muestra, se observa una tendencia consecuente con la teoría del concreto al respecto.
- En conocimiento de que el exceso de agua, es la causa principal de las bajas resistencias en el concreto, quedan por analizar las prácticas constructivas perjudiciales y una vez con este diagnóstico, proponer, capacitar, educar a la comunidad de la construcción, para utilizar métodos de fabricación de concreto en obra que garanticen la calidad del mismo.
- Otras causas importantes de los resultados obtenidos son: la calidad de los agregados, las dosificaciones empleadas, personal no calificado, inadecuado control de parte del profesional responsable, no existe una cultura de compromiso con la calidad del concreto.
- Algunas de las malas prácticas observadas son:
  - ∞ Ejecución del mezclado a pala y sobre el asfalto, sin medida del agua de dosificación
  - ∞ Mezclado con batidora, pero agregando agua directamente desde la manguera, es decir, sin medida del agua de dosificación y buscando al tanteo un punto de trabajabilidad de la mezcla

- ∞ Exceso de agua en la mezcla, especialmente para la chorrea de columnas, con el fin de no provocar hormigueros en las partes bajas de la columna, relacionado con esta práctica se noto la ausencia de un vibrador para concreto en obra
- ∞ Operarios no calificados o con poca preparación técnica, además de pobre supervisión de los profesionales encargados
- ∞ Una sola persona dosificando, mezclando, cargando, chorreando; es decir sobrecargada en el trabajo, lo que la lleva a realizar la faena con errores y parte del proceso incluye un exceso de agua en la mezcla
- ∞ Dosificación con pala, es decir, el operario carga la pala del montículo de agregado y de ahí la lanza directamente a la batidora, cuando ha contado un número paladas que considera coincide con la dosificación con balde o cajón, se detiene
- ∞ Agregados contaminados y no protegidos contra la lluvia, montículos de agregados en donde es evidente la segregación
- ∞ Dosificaciones deficientes en la cantidad de cemento especificada
- ∞ Selección de agregados por criterio de precio y no por criterio de calidad
- ∞ Ausencia de equipo apropiado para la colocación del concreto (vibradores)
- ∞ No existe la cultura de realizar pruebas de control de calidad a los concretos elaborados.

En el siguiente gráfico se esquematizan, los seis factores a tomar en cuenta para la elaboración del concreto, así mismo, se anotan las deficiencias observadas durante el muestreo realizado, las cuales perjudican la calidad del concreto y provocan obtener resistencias inferiores a los 21 MPa.



**Créditos:**

*Proyecto: Calidad del Concreto*  
*Informe Técnico: Ing. Sergio Aragón Masís (ICCYC)*  
*Muestreo: Ing. Sergio Aragón Masís (ICCYC)*  
*Área de inspección CFIA*  
*Pruebas de resistencia: LANAMME*  
*Fecha: Octubre 2005*