

CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO (Normas, pruebas y cartas de Control)

Ing. Oscar Patiño- Jefe Lab. Ensayo de Materiales
Ing. Rosalín Méndez – Ayudante de Investigación III

Laboratorio de Ensayo de Materiales
Centro Experimental de Ingeniería
Universidad Tecnológica de Panamá

RESUMEN

En las aplicaciones de ingeniería se utilizan herramientas y procedimientos científicos para evaluar la calidad de un producto. Como herramientas podemos señalar los equipos de producción y los instrumentos de laboratorio; como procedimientos, los planes de calidad y las normas. Una mezcla de concreto puede prepararse utilizando diversos mecanismos de mezclado, sin embargo, los requisitos de calidad pueden ser alcanzados si se cumplen rigurosamente con cada etapa del proceso, desde la selección de los componentes individuales hasta su instalación en obra, incluyendo el curado y las pruebas de laboratorio.

Con frecuencia se observa la evaluación de núcleos de concreto o pruebas no destructivas de importantes elementos estructurales, debido a dudas razonables sobre su resistencia. Este trabajo intenta una reflexión sobre las normas para la adecuada producción de un concreto, que cumpla con la calidad solicitada en un proyecto. Al final se presenta un ejemplo de un proyecto real, donde el concreto suministrado puede considerarse fuera de control desde el punto de vista de la resistencia especificada.

Palabras claves: calidad, estadísticos, normas, resistencia.

ABSTRACT

In Engineering applications there are tools and scientific procedures to evaluate the quality of any product. Examples of Tools are production and laboratory equipments. Examples of procedures are Quality plans and standards. Concrete can be mixed using different methods, but requirements can be only reach when each step along the process is successful, since the selection of individual components until its placement, including cured and testing.

It is common to use coring and nondestructive test for important structural elements, due a dudes about its strength. Therefore in this work, standards about concrete production are reviewed, to sure the quality expected. Finally an example of a real project is showed. Here the concrete can be considered out of control, in respect the specified strength.

Key word: Quality, statistical, standards, strength

1. Introducción

Las dudas sobre la resistencia de un concreto conllevan a consecuencias poco deseadas, ya que las investigaciones que se tienen que realizar introducen demoras y en ocasiones reparaciones, cuyos costos finalmente deben ser asumidos por una de las partes interesadas.

Para asegurar que el concreto suministrado en un proyecto cumpla con los parámetros

especificados, debe conducirse un programa de calidad fundamentado en normas y procedimientos estadísticos.

A través este trabajo se hará énfasis en el cumplimiento de las normas para alcanzar la calidad deseada en el concreto, tales como ACI-318, ACI-214 y ASTM, adoptadas directa o indirectamente por el Reglamento Estructural Panameño (REP-04).

Con este trabajo se proporciona una guía sobre el estado del arte para el control de calidad del concreto. Los planteamientos están acompañados fórmulas y parámetros de control estadístico.

Inicialmente se plantea el concepto de calidad, seguido de los criterios para el diseño de una mezcla de concreto y los factores que producen variabilidad en la mezcla. Se enfoca la calidad desde el punto de vista de la durabilidad y resistencia. Posteriormente, se plantean los parámetros estadísticos que se utilizan en el diseño y control de calidad del concreto. Finalmente se plantean los límites permitidos, según las normas, para determinar el grado de calidad del concreto, incluyendo ejemplos de situaciones reales.

2. Concepto básico de Calidad

Calidad es un proceso para alcanzar una característica que satisface el requerimiento deseado. Esta característica puede ser cualitativa o cuantitativa. En tiempos actuales, donde las relaciones humanas han perfeccionado los criterios para la oferta de productos y servicios, el concepto de calidad también ha sido perfeccionado.

En la década de los 80's se planteó como paradigma que la calidad consistía en brindar al cliente un nivel de satisfacción más allá de lo que pide; más recientemente, desde los 90's, se considera calidad como la búsqueda permanente de la excelencia. En la actualidad podría considerarse calidad como sinónimo de excelencia.

En el caso del concreto se puede alcanzar los requisitos de calidad, siempre que se cumpla rigurosamente con la calidad requerida en una de las etapas; es decir: (a) Componentes individuales, (b) Procedimientos de diseño, (c) Técnicas de producción, (d) Transporte, colocación y proceso de curado y (e) Muestreo y pruebas de laboratorio.

La calidad esta estrechamente relacionada con los costos, mediante el criterio costo beneficio. Esto puede ser evaluado de la siguiente manera: (1) A igualdad de precios,

el de mejor calidad será el que presente mejores características con respecto a las especificaciones solicitadas; (2) A iguales características, el producto de mejor calidad será el de menor precio.

3. Normas y especificaciones

El Comité ACI-318 establece claramente los procedimientos que deben tomarse en cuenta para la selección de los materiales, dosificación de la mezcla de concreto, producción, manejo, instalación y curado. Este comité también considera las investigaciones recopiladas y publicadas por otros comités del ACI.

Para el diseño del concreto, se utilizan las recomendaciones de dosificación dadas por el comité ACI 211. En cuanto a análisis estadísticos, se utilizan las recomendaciones del comité ACI-214. Para la confección de las muestras y las pruebas de laboratorio, se hace referencia a las normas ASTM.

Las normas mencionadas han sido adoptadas directa o indirectamente por Reglamento Estructural Panameño (REP-04). Por lo tanto deben ser la guía obligatoria para asegurar un concreto con las características especificadas.

4. Diseño

Existen métodos y practicas estándares para la dosificación de un concreto deseado, entre los cuales se pueden mencionar el ACI 211 .1 para concreto normal, pesado y masivo, ACI 211 .2 para concreto ligero; ACI 211.3 para concreto sin asentamiento, y ACI 211.4 para concreto de alta resistencia con cenizas volantes. En principio todas los métodos se fundamentan en la relación agua/cemento, considerando cemento todos los materiales cementicios.

Aunque los diseñadores y proveedores siguen los estándares del Instituto Americano del Concreto (ACI); en Panamá los materiales y el medio ambiente difieren. Es necesario descubrir la relación entre los componentes naturales locales y la real

resistencia para producir factores de ajuste a las cantidades recomendadas por el ACI, aparte de los aspectos de durabilidad.

Los procedimientos de diseño requieren que la mezcla de concreto sea ensayada antes de usarse para determinar los parámetros estadísticos básicos, tales como la media y la desviación estándar; para esto un claro procedimiento está presentado en el ACI-214 y ACI-318; así como comprobar los índices de alcalinidad y cloruros entre otros.

5. Principales fuentes de variabilidad

En la etapa de producción del concreto se introducen variaciones, que pueden influir en la resistencia u otro requerimiento. Una fuente es la *Variación en las propiedades*, tales como el cambio en la relación A/C, requerimientos de agua, características de los ingredientes, transporte y colocación, temperatura y curado. La otra es la *Variación en los métodos de prueba*, entre los cuales se puede señalar el procedimiento incorrecto de muestreo, la técnica de fabricación de cilindros, moldes de calidad deficiente, cambios durante curado (T, %H) y el procedimiento de pruebas (cabeceo, ensayos). La variabilidad del concreto, debe ser considerada en un programa para el control de calidad, ya que por tratarse de un material estructural tiene fuerte impacto en la seguridad pública

6. Indicadores estadísticos

De aquí en adelante se define como una prueba, el promedio de la resistencia de 2 cilindros, hechos de la misma mezcla de concreto a la edad especificada.

Para un análisis estadístico es recomendable utilizar al menos 30 pruebas, sin embargo existe la posibilidad de utilizar menos de 30 datos, siempre que se considere un factor corrección en la desviación estándar, dada por la tabla 5.3.1.2 del Código ACI-318.

Para los efectos del análisis estadístico, debe definirse las siguientes variables de control, que se utilizan.

f_{cr} = resistencia promedio requerida, para asegurarse de que sólo aquella porción permisible de pruebas caerá por debajo de la resistencia especificada.

f'_c = Resistencia especificada.

s = Desviación estándar.

t = Multiplicador constante para la desviación estándar, que depende del número de pruebas que se espera caigan por debajo de f'_c .

V = Coeficiente de variación.

Resistencia promedio

Para cada resistencia especificada f'_c , se debe establecer la resistencia promedio requerida, f_{cr} , para asegurarse de que sólo aquella porción permisible de pruebas caerá por debajo de esta resistencia.

Al inicio de un proyecto cuando se cuenta con datos estadísticos previos, de acuerdo ACI-318 se puede para establecer la resistencia promedio requerida, utilizando la tabla 5.3.2.1, de la siguiente manera:

Resistencia especificada f'_c , kg/cm ² (psi)	Resistencia promedio requerida, f_{cr} , kg/cm ² (psi)
Menos de 350 (5000)	Escoger el mayor valor obtenido de las siguientes ecuaciones: $f_{cr} = f'_c + 1.34s$ Ec. (5.1) $f_{cr} = f'_c + 2.33s - 35$ ($f'_c + 2.33s - 500$) Ec. (5.2)
Mayor de 350 (5000)	Escoger el mayor valor obtenido de las siguientes ecuaciones: $f_{cr} = f'_c + 1.34s$ Ec. (5.1) $f_{cr} = 0.90f'_c + 2.33s$ Ec. (5.3)

Cuando no existe data de desviación estándar disponible, el ACI-318 recomienda utilizar la resistencia requerida dada por la tabla 5.3.2.2.

7. Control de calidad

De acuerdo a la sección 5.6.3.3 del ACI-318R, el nivel de resistencia de una clase individual de concreto será considerado satisfactorio si cumple con los siguientes requerimientos:

- 1) El promedio aritmético de cualquiera de tres pruebas consecutivas es igual o

superior a la resistencia especificada f'_c .

- 2) Ningún resultado individual de la prueba de resistencia (promedio de dos cilindros) será menor que f'_c por más de 35 kg/cm^2 , si f'_c es menor o igual a 350 kg/cm^2 o por más de $0.10 f'_c$, si es mayor de 350 kg/cm^2

Por otra parte, de acuerdo a los criterios del Comité ACI 214R, las variaciones en la resistencia pueden ser evaluadas mediante

un análisis estadístico, tomando en cuenta la desviación estándar y el coeficiente de variación, los cuales se pueden asociar el grado de control del concreto en el proyecto.

En este caso, la desviación estándar y coeficiente de variación para una resistencia especificada $f'_c < \text{de } 34.5 \text{ Mpa}$ (5000 psi), para control de concreto en campo, son los siguientes:

Desviación Estándar, s para la población total			Coeficiente de variación, V dentro de la prueba	Estándar de control de calidad
kg/cm ²	Mpa	psi	%	
Hasta 28	Hasta 2.8	Hasta 400	<3.0	Excelente
28 a 35	2.8 a 3.4	400 a 500	3.0 a 4.0	Muy bueno
35 a 42	3.4 a 4.1	500 a 600	4.0 a 5.0	Bueno
42 a 49	4.1 a 4.8	600 a 700	5.0 a 6.0	Aceptable
> 49	> 4.8	> 700	>6	Deficiente

De manera similar existen desviaciones y coeficientes de variación recomendados para $f'_c > \text{de } 34.5 \text{ Mpa}$.

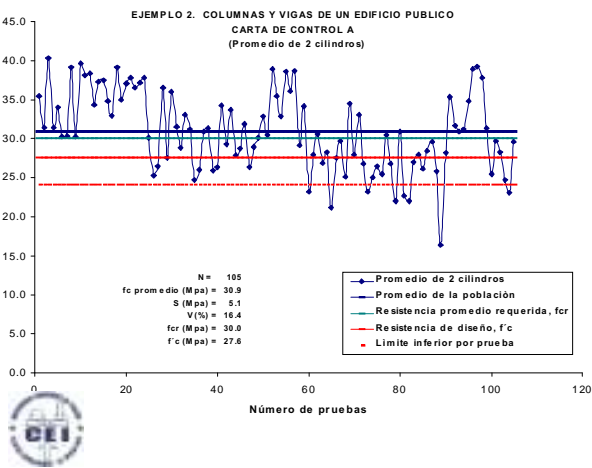
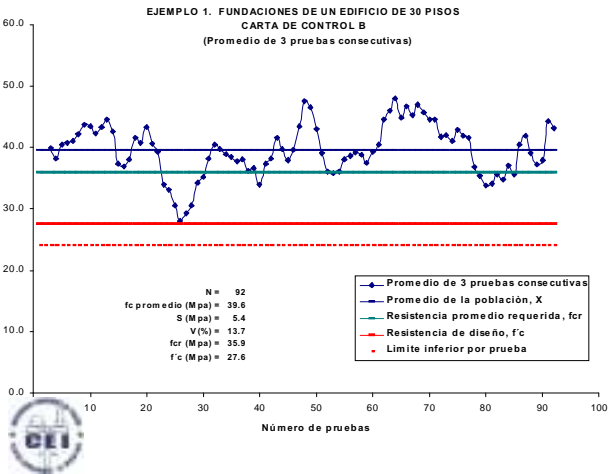
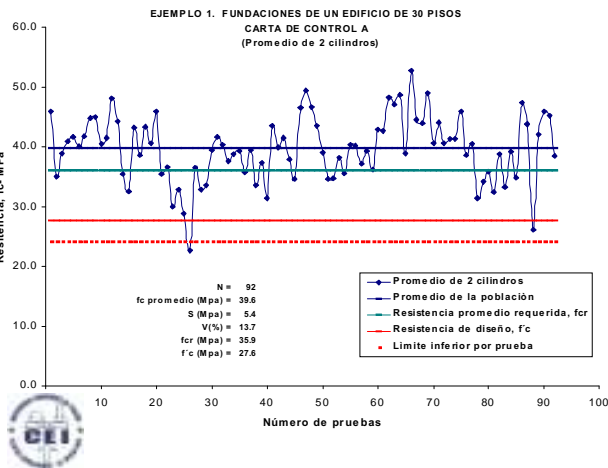
Los resultados se evalúan usando cartas de control. Estos resultados serán comparados con los indicadores estadísticos recomendados.

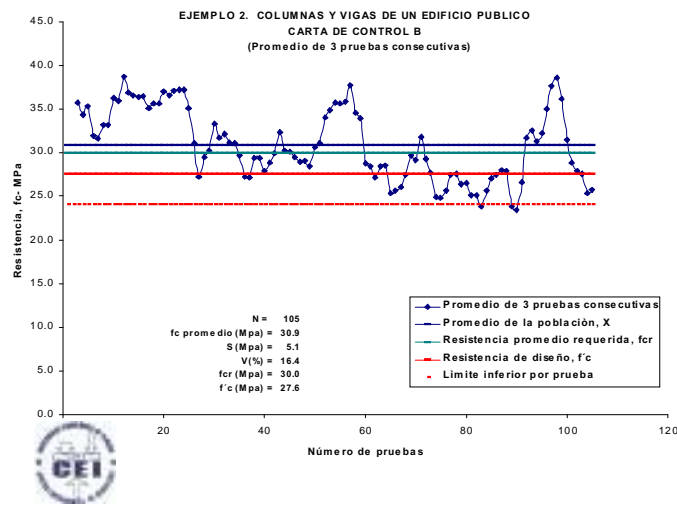
En el Ejemplo 1 se presenta la evaluación estadística de 92 pruebas de concreto de un edificio privado, donde el concreto puede considerarse aceptable; sin embargo la desviación estándar y el coeficiente de variación indican posibles fuentes de variaciones en la producción.

En el Ejemplo 2, se presenta la evaluación estadística de 105 pruebas de concreto de un edificio público. En este caso las cartas de control indican que el concreto suministrado estuvo fuera de control en 40% final de las muestras, desde el punto de vista de la resistencia especificada.

8. Conclusiones

- Existen normas para el diseño, manejo e instalación del concreto. También existen normas para el control estadístico de la calidad del concreto.
- De acuerdo con los estándares, cada proveedor debe examinar su data estadística, pero esta información pocas veces es pública. He aquí la importancia que cada inspector y/o constructor procese la data asociada con su proyecto.
- La calidad del concreto debe garantizarse a través de un programa de aseguramientos de la calidad, que incluya control y evaluación de todos los factores.
- Considerando el concreto un material estructural, su calidad es sinónimo de seguridad contra accidentes estructurales y por ende seguridad de los asociados.





9. Referencias:

- [1] Comité Panameño de Normas Industriales y Técnicas, COPANIT
- [2] Reglamento Estructural Panameño – REP-04
- [3] Cogido ACI 318-02, “Reglamento de las construcciones de Concreto reforzado”, American Concrete Institute, Detroit, 2002.
- [4] Comité ACI –211, “Práctica estándar para la selección de las proporciones de concreto”, American Concrete Institute, Detroit, 2002.
- [5] Comité ACI-214: Prácticas recomendadas para la evaluación de resultados de ensayos de concretos
- [6] Normas ASTM C-31, “Confeción de especímenes de prueba en campo”, American Society for Testing and Materials, Easton, 1998.
- [7] Normas ASTM C-33, “Agregados para el concreto”, American Society for Testing and Materials, Easton, 1998.
- [8] Normas ASTM C-39, “Método de ensayo estándar para compresión de especímenes de cilindro de concreto”, American Society for Testing and Materials, Easton, 1998.
- [9] Normas ASTM C-143, “Método estándar para asentamiento del concreto con cemento hidráulico”, American Society for Testing and Materials, Easton, 1998.
- [10] Normas ASTM C-193, “Confeción y curado de especímenes de concreto en el laboratorio”, American Society for Testing and Materials, Easton, 1998.