

**NORMA
VENEZOLANA**

**COVENIN
1976:2003**

**CONCRETO. EVALUACIÓN
Y MÉTODOS DE ENSAYO**

(3^{ra} Revisión)



FONDONORMA

PRÓLOGO

La presente norma sustituye totalmente a la Norma Venezolana COVENIN **1976:1999 Concreto. Evaluación y métodos de ensayo**, fue revisada de acuerdo a las directrices del Comité Técnico de Normalización **CT27 Concreto** y aprobada por **FONDONORMA** en la reunión del Consejo Superior **Nº 2003-05** de fecha **28/05/2003**.

En la revisión de esta norma participaron las siguientes entidades: Premezclados Caribe; UCV-IMME; BRS Ingenieros; LAFARGE-PREMEX; Inversiones Lasueconaf; CEMEX Concretos; IDEC; VIPOSA; O.T. EIFFEL; Cámara de la Construcción; Cementos CARIBE; AVECRETO; MBT de Venezuela; Ghella Sogene; SIMPCA.

INTRODUCCIÓN

El concreto es un material heterogéneo que depende de numerosas variables, como lo es la calidad de cada uno de los materiales componentes de que está formado, de las proporciones en que estos son mezclados entre sí y de las operaciones de mezclado, transporte, colocación y curado. Esto da lugar a que aún para una misma clase y tipo de concreto, este presente una cierta variabilidad en sus propiedades. La forma más eficiente para considerar y manejar la variabilidad del concreto, es mediante procedimientos estadísticos.

La Estadística es la *ciencia de tomar decisiones en presencia de la incertidumbre*, ya que en la trayectoria de la investigación científica, constantemente existe un enfrentamiento con la incertidumbre, y aunque esta no da solución a todas las situaciones que impliquen inseguridad, se han ido desarrollando nuevos métodos que proporcionan el fundamento para el análisis de estas situaciones con base científica, de una forma lógica y sistemática. Tanto el estudio de la estadística, como el empleo de los métodos estadísticos, pueden y son dirigidos a los campos específicos de la investigación y tecnología del concreto, véase Norma Venezolana COVENIN 3549.

Los métodos estadísticos manejan datos obtenidos de observaciones, en forma de mediciones o conteo, siempre a partir de una fuente de observaciones, con el objetivo de llegar a conclusiones respecto a dicha fuente. El conjunto de observaciones tomado de una fuente, con el objetivo de obtener información de ella se llama *muestra*, en tanto que la fuente se denomina *población*. Uniendo los dos conceptos antes expuestos se debe decir entonces, que los métodos estadísticos son aquéllos que sirven para obtener conclusiones acerca de *poblaciones* a partir de *muestras*.

La parte de los métodos estadísticos dedicada a la obtención y compendio de datos, se denomina *estadística descriptiva*, en tanto que la parte que trata de hacer inferencias, es decir, de obtener conclusiones, es la *inferencia estadística*.

La mayor parte de los métodos estadísticos tienen dos objetivos fundamentales:

- Estimar alguna propiedad de la *población*
- Probar alguna hipótesis respecto a la *población*

La magnitud de la probabilidad asociada a una conclusión, representa el *grado de confianza* que se posee sobre la veracidad de dicha conclusión. Por ejemplo, cuando se dice que la probabilidad de que una estimación tenga un error menor del 3%, es de 0,95; esto debe interpretarse como que alrededor del 95% de tales afirmaciones, hechas por un estadígrafo son válidas y cerca del 5% no lo son.

Una *población*, en el lenguaje estadístico, es un conjunto de individuos de cualquier especie o un conjunto de objetos de cualquier clase. En la mayoría de los casos cuando se estudian *muestras* y *poblaciones*, el interés se concentra en una sola característica de los miembros de la población. Obtener una muestra de una población, de manera que puedan extraerse conclusiones válidas para la población de la que proviene, no es tan sencillo como parece. Para que la muestra sea realmente *representativa*, tiene que ser extraída de la población al azar.

Un muestreo es al *azar*, o aleatorio, si cada uno de los miembros de la población tiene igual posibilidad de ser elegido, es decir, que la probabilidad de la selección de cada uno sea igual. Para ello el método elegido para el muestreo tiene que asegurar la independencia y las características de probabilidad constante de la muestra. A tal efecto las *Tablas de Números Aleatorios* (véase Punto 2 Norma COVENIN 3549) se construyen de manera que arrojen muestras que posean estas propiedades deseadas, por lo que las muestras obtenidas utilizando dichas tablas se consideran como muestras al azar. La razón principal del muestreo al azar es que conduce fácilmente a los modelos probabilísticos de distribución.

Existen ejemplos de fracasos ocurridos con el empleo de los métodos probabilísticos, debido a que se han extraído conclusiones basadas en muestras que *no han sido tomadas al azar*.

Si bien el método para seleccionar una muestra al azar es bastante difícil en situaciones prácticas, el esfuerzo es bien compensado, pues los problemas de inferencia estadística generados por haberle hecho *concesiones* al azar, son considerablemente más complicados y serios.

COVENIN 1976:2003

1 OBJETO

1.1 Esta Norma Venezolana establece procedimientos de base estadística que ayuden a planificar la ejecución de ensayos de resistencia del concreto, evaluar y utilizar sus resultados de la manera lo más eficiente posible, tanto en lo que respecta al control de calidad como al cumplimiento de los requisitos.

1.2 Los procedimientos establecidos aquí fueron preparados para el concreto con especial referencia al análisis y tratamiento de los resultados de los ensayos normativos a compresión de este material; sin embargo los principios estadísticos que se utilizan tienen validez de carácter general y por lo tanto son también útiles para el tratamiento de resultados de ensayos relativos a cualquier otra propiedad del concreto o para cualquier otro material.

2 REFERENCIAS NORMATIVAS

Las siguientes normas contienen disposiciones que al ser citadas en este texto, constituyen requisitos de esta Norma Venezolana. Las ediciones indicadas estaban en vigencia en el momento de esta publicación. Como toda norma está sujeta a revisión, se recomienda a aquellos que realicen acuerdos en base a ellas, que analicen la conveniencia de usar las ediciones más recientes de las normas citadas seguidamente:

2.1 Normas Venezolanas COVENIN

COVENIN 345:1980 Método para la extracción de probetas cilíndricas y viguetas de concreto

COVENIN 633:2003 Concreto premezclado. Requisitos.

COVENIN 1753-87 Estructuras de concreto armado para edificios. Análisis y diseño.

COVENIN 3549:1999 Tecnología del concreto. Manual de elementos de estadística y diseño de experimentos.

3 DEFINICIONES

3.1 Ensayo

Ensayo y prueba son sinónimos; es el acto de someter a un espécimen, probeta o parte de un material a una serie de análisis que permitan conocer sus características o propiedades. Por lo tanto es apropiado hablar del resultado del ensayo de espécimen, de la muestra o de la muestra compuesta.

3.2 Ensayo destructivo

Es aquel que destruye la muestra al ser ensayada.

3.3 Exactitud

Es la fidelidad de la medida cuando se compara con la obtenida por otros laboratorios.

3.4 Incertidumbre

Es el valor que el instrumento de medición no es capaz de apreciar porque su resolución no lo permite. En un metro que esté graduado en milímetros, no es posible apreciar o medir centésimas de milímetro. La incertidumbre de un instrumento comienza en la mitad de su lectura mínima, en este ejemplo la resolución sería de medio milímetro.

3.5 Muestra

Es una porción que se le toma a una unidad de producción.

3.6 Muestra compuesta

Es la que se obtiene al mezclar dos o más muestras simples.

3.7 Porción

Parte de un material que se toma para ser ensayado, arena, cemento, aditivo, etc.

3.8 Precisión

Es la regularidad con que se repite el resultado de la medición efectuada. Para poder determinar la precisión cuando se efectúan ensayos destructivos es necesaria la toma de dos o más especímenes.

3.9 Probeta

Parte de una porción de lo que se va a analizar o ensayar, que puede tener forma de un prisma, un cilindro, un cubo, etc.

3.10 Réplica

Es repetir el ensayo para asegurar que el valor obtenido es correcto. En el caso de que el material que sea analizado por un ensayo destructivo, es necesario tomar dos ó más especímenes idénticos.

3.11 Unidad de producción

Es lo que se produce de una sola vez. *Ejemplos:* el concreto que produce una mezcladora o dosificadora cada vez que efectúa la operación o la cantidad de concreto transportado por un camión mezclador.

4 SIMBOLOS Y ABREVIATURAS

| | | | |
|-----------|--|----------|---|
| x_i | es un valor cualquiera | d | es el rango |
| \bar{x} | es la media muestral | k | es el factor de ponderación del rango |
| μ | es la media del universo | Z | es el índice tipificado de la probabilidad |
| s | es la desviación estándar muestral | F_{cr} | es la resistencia media normativa a la compresión del concreto, kgf/cm^2 |
| S_e | es la desviación estándar de los ensayos | F_c | es la resistencia a la compresión especificada en el diseño estructural (resistencia característica), kgf/cm^2 |
| σ | es la desviación estándar del universo. | MR | es el Módulo de Rotura |
| v | es el coeficiente de variación | | |
| n | es el número de datos | | |

5 VARIACIONES DE LA CALIDAD DEL CONCRETO

5.1 Las variaciones que presentan los resultados de los ensayos de calidad del concreto, tienen dos orígenes: uno, las variaciones reales de calidad que tiene el material y otro, variaciones aparentes debidas a la imprecisión propia de los ensayos. Las causas de estas variaciones, cuando se trata de las resistencias del material, se indican en las Tablas 1 y 2.

5.2 Ensayo

5.2.1 Cuando los ensayos se hacen de forma adecuada, siguiendo estrictamente los correspondientes requisitos, las variaciones debidas a ellos son de una magnitud bastante menor que las debidas a las reales alteraciones de calidad del concreto. Por el contrario, cuando los ensayos se hacen de forma inadecuada o descuidada en alguna de sus partes, las variaciones que se producen pueden llegar a superar ampliamente a las debidas al material que quedarán así enmascaradas haciendo que resulte inoperante cualquier plan de control. Los ensayos mal hechos pueden indicar niveles de calidad y variabilidad del concreto que no existen.

5.2.2 Para un control adecuado, es por lo tanto necesaria la ejecución apropiada de los ensayos, poniendo especial cuidado en las principales causas de su variación, las cuales se señalan en la Tabla 2.

5.3 Aspectos no controlados

Los ensayos reflejan la calidad que tiene el material en el momento en que se toma la muestra; para los ensayos en general y en especial para los de resistencia, las muestras se toman antes de ser colocado el concreto en los encofrados y por lo tanto la parte de la calidad del material y las variaciones que dependen de las causas señaladas en la parte c) de la Tabla 1 no quedan reflejadas en los ensayos, las alteraciones

COVENIN 1976:2003

debidas a estas causas tienen que ser controladas independientemente de los procedimientos considerados en esta Norma Venezolana, principalmente por una buena práctica de las operaciones involucradas; mezclado efectivo, transporte sin segregación, colocación y compactación cuidadosas y curado adecuado.

5.4 Relación agua / cemento

5.4.1 Hasta el momento de la toma de la muestra, la calidad del concreto pudo haber sido alterada por cualquiera de las causas que se indican en las partes a) y b) de la Tabla 1.

5.4.2 Estas causas pueden ser referidas ó bien a las alteraciones de la relación agua / cemento, como se hace en la parte a) de la Tabla 1 ó bien a la segregación como se hace en la parte b) de dicha Tabla.

5.4.3 La relación agua / cemento condiciona la resistencia del cemento, por lo cual esta relación es uno de los parámetros fundamentales para el control de su calidad, cuanto más estable se logra mantener, menores variaciones presenta el material y cuanto más baja es, más altas serán las resistencias.

Tabla 1. Principales fuentes de variación de la resistencia del concreto

| |
|--|
| <p>a) Causas de las alteraciones de la relación agua / cemento</p> <ul style="list-style-type: none">- Control deficiente de las proporciones de dosificación de cualquiera de los materiales componentes de la mezcla incluidos los aditivos, especialmente falta de exactitud en la medida del agua.- Cambios no controlados en la humedad de los agregados, especialmente si estos cambios son de magnitud importante y/o brusca.- Alteraciones de la granulometría de los agregados, especialmente en el contenido de ultrafinos (polvo, arcilla y otros).- Variaciones en la calidad intrínseca de los agregados, como forma de la partícula, capacidad de absorción de agua y otros.- Variaciones en la calidad del cemento ya se está usando, principalmente si hay cambios de marca de este producto.- Variaciones en la eficiencia de los aditivos, si es que se usan.- Cambios no controlados de las condiciones ambientales en que se hace la mezcla, principalmente de la temperatura ya que la trabajabilidad de la mezcla cambia con ella. Para que no se altere la resistencia, se deben compensar estos cambios modificando el diseño (dosis de cemento) y no en base a alterar la proporción de agua.- Adición de agua no prevista, la cual se hace necesaria para poder colocar concreto que perdió trabajabilidad debido a tiempos de transporte y espera prolongados más de lo previsto (Nota T1). |
| <p>b) Alteraciones por segregación</p> <ul style="list-style-type: none">- Deficiencias en el mezclado debidas a mal funcionamiento o mal manejo de la mezcladora (Nota T2).- Transporte inapropiado que produzca segregaciones en la mezcla, principalmente separaciones entre los granos gruesos de los agregados y la parte fina del concreto, debidos a sedimentación diferencial, o al trasvase no adecuado de un recipiente a otro, o a la circulación por canaletas, correas transportadoras y otros (Nota T1). |
| <p>c) Alteraciones no detectadas por los ensayos</p> <ul style="list-style-type: none">- Mala práctica de colocación del material que produzca segregación, especialmente por dejarlo caer a los encofrados desde alturas excesivas, o por tener que circular el concreto dentro del encofrado a distancias largas y por caminos difíciles (pequeñas secciones, exceso de armaduras u otros obstáculos).- Vibración inadecuada que deja partes del material sin compactarse adecuadamente o bien con segregación debida a exceso de vibración.- Desencofrado prematuro que permita la deformación y agrietamiento del elemento estructural.- Mala práctica de curado que permite que el concreto se deseque a una edad en que todavía necesita agua para desarrollar sus resistencias. |
| <p>Notas:</p> <p>T1. Las muestras pueden ser tomadas a la salida de la mezcladora, a la llegada a la obra o en el momento en que el concreto va a ser colocado; por lo tanto las alteraciones debidas al transporte y a la espera podrán o no influir en los ensayos, según el lugar o momento de la toma de la muestra.</p> <p>T2. En realidad las deficiencias del mezclado pueden quedar solo parcialmente detectadas por los ensayos, debido a que el premezclado de la muestra que se hace posteriormente a su toma, puede suavizar en parte la heterogeneidad, especialmente si el volumen de muestra es considerable. Cuando hay problemas de este tipo, se recomienda las pruebas específicas de eficiencia del mezclado (véase Norma COVENIN 633).</p> |

Tabla 2. Principales fuentes de variación de los ensayos

- Toma inadecuada de la muestra que haga que se obtenga como tal una parte segregada de la mezcla que no corresponda a la calidad real del producto.
- Remezclado inadecuado de la muestra y toma para la confección de las probetas de ensayo por parte no homogéneas de esa muestra segregada por la propia operación de muestreo.
- Moldes de calidad deficiente; desgastados, deformados o hechos de materiales no apropiados o que pierdan por las juntas agua o pasta.
- Técnicas inadecuadas de llenado y compactación de los moldes en las que no se cumplen estrictamente los requisitos normativos, incluidas las características de la barra compactadora.
- Alteración del material de las probetas por inadecuado traslado prematuro de las mismas que pueden sufrir golpeteo o vibración por el transporte.
- Conservación de las probetas antes de ser desmoldadas, en ambientes de temperaturas extremas, alejadas de las exigidas por las normas. Si los moldes están tapados las temperaturas altas producen un aceleramiento del desarrollo de resistencias y si por el contrario están destapados se produce una desecación que da resistencias iniciales altas (24 horas) pero que disminuye la calidad del concreto a la edad normativa de 28 días.
- Conservación de las probetas en algunos lapsos de tiempo entre el desmoldado y el ensayo en ambientes apropiados, principalmente en cuanto a temperatura; como sucede cuando hay retardos en el transporte de las probetas al laboratorio o cuando el ambiente de curado en este lugar no es apropiado.
- Desecación excesiva de las probetas por escalas del ambiente húmedo de conservación mucho tiempo antes del ensayo, o por mantenerlas durante este lapso en un ambiente desecante.
- Capas de refrentado excesivamente gruesas y/o mal colocadas.
- Mala ejecución del ensayo en sí mismo por mal centrado de la probeta en la prensa de ensayo, aplicación de la carga a velocidad inconveniente, a golpes de carga por mal manejo de las prensas manuales o deficiencia de las mismas.
- Prensas mal calibradas que pueden marcar cargas diferentes de las que están aplicando en realidad.

6 PRINCIPIOS ESTADÍSTICOS

6.1 Consideraciones generales

La estadística permite condensar datos y presentarlos en forma probabilística, de manera que sean más fácilmente comprensibles y comparables; constituye la herramienta más adecuada y útil de que se dispone para el control de calidad, tanto para planificarlo como para interpretar los resultados de los ensayos. Sin embargo la estadística no toma decisiones, éstas tienen que basarse en criterios de otra índole; la estadística da la probabilidad de que se alcancen ciertos límites, pero en sí misma no interviene en la elección de estos límites, los cuales deben ser fijados por procedimientos ajenos a ella, frecuentemente basados en acuerdos o decisiones por la costumbre. Lo importante es que una vez decididos unos límites de calidad, los mismos se mantengan invariables en todas las circunstancias, lo cual permitirá una referencia segura a que atenerse.

6.2 Parámetros estadísticos

Se usan dos tipos de parámetros estadísticos fundamentales: uno que se refiere a la *tendencia central* y el otro a la *dispersión* del conjunto de los datos que se analizan.

6.2.1 Promedio, \bar{x}

Como tendencia central del valor de los ensayos se utiliza la *media aritmética* del conjunto de los resultados involucrados.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

6.2.2 Variabilidad

6.2.2.1 El rango, d , se define como la diferencia entre el valor mayor y el menor de los obtenidos en el grupo de ensayos que se analiza. $d = x_{\text{máx}} - x_{\text{mín}}$ Como expresión de la dispersión de los ensayos, el

COVENIN 1976:2003

rango tiene el defecto de que depende del número de estos ensayos; se sabe que estadísticamente, cuanto mayor sea el número de datos de que se dispone, mayor probabilidad hay de encontrar valores más extremos y por lo tanto rangos mayores.

6.2.2.2 Como *desviación estándar* ó *desviación típica*, s , se define a un índice de la dispersión del conjunto de datos, el cual es el parámetro estadístico más representativo al respecto (independiente del número de datos). Dos fórmulas adecuadas para su cálculo son las siguientes:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n}}{n-1}}$$

6.2.2.3 Con el rango descrito en 6.2.2.1 se puede obtener una *estimación de la desviación estándar* de un conjunto de valores.

Se utiliza para ello ponderar el rango mediante un factor, k , calculado con una base probabilística que tiene en cuenta el número de datos. En la Tabla 3 se dan los diferentes valores del factor k de multiplicación del rango d , según el número de datos de que se disponga: $s = k \cdot d$

Cuando el número de datos de que se dispone es pequeño, menor de 6, el rango ponderado es estadísticamente tan válido como la fórmula directa para el cálculo de la desviación estándar; incluso hasta $n = 10$, tiene validez bastante aceptable.

Tabla 3. Factores para calcular la desviación estándar

| Número de ensayos, n | Factor k |
|----------------------|----------|
| 2 | 0,8865 |
| 3 | 0,5907 |
| 4 | 0,4857 |
| 5 | 0,4299 |
| 6 | 0,3946 |
| 7 | 0,3698 |
| 8 | 0,3512 |
| 9 | 0,3367 |
| 10 | 0,3249 |

6.2.2.4 Como coeficiente de variación, v , se define la relación entre la *desviación estándar* (calculada por cualquier procedimiento) y el *valor promedio*, expresada en forma porcentual.

$$v = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100 (\%)$$

En algunos fenómenos la variabilidad tiene cierta dependencia de la magnitud medida, para ello es más adecuado como índice de variación, el uso del coeficiente de variación en lugar de la desviación estándar.

6.2.3 Parámetros del universo

Tanto la *media* \bar{x} , como la *desviación estándar* s , que se manejan, son obtenidas con los datos disponibles y son parámetros muestrales que se denominan *estadísticos*. Ellos son en realidad, sólo una estimación de la *media* y la *desviación estándar* verdaderas del material, a las cuales se aproximarán más, o representarán con más precisión, cuanto mayor sea el número de datos que se hayan utilizado para su cálculo.

A los parámetros verdaderos se les denomina *parámetros del universo* y también *parámetros teóricos* ya que en realidad el concepto de los mismos es teórico. Para simbolizarlos se usan las letras griegas μ (mu) para la *media* y σ (sigma) para la *desviación estándar*. En 6.3.4 se indica como cuantificar probabilísticamente la concordancia entre la media muestral y la del universo.

6.3 La distribución normal

6.3.1 Distribución de los valores

Cuando los valores que representan un fenómeno, se colocan en un gráfico cartesiano como el de la Figura 1, que tiene en el eje de las abscisas los valores de las magnitudes (expresadas por intervalos) y en el eje de las ordenadas los valores de las frecuencias con las cuales se producen esas magnitudes, se aprecia que los valores extremos, es decir, muy altos o muy bajos, son relativamente escasos y que por el contrario, las magnitudes cercanas a la media son abundantes. Para muchos fenómenos la distribución toma una forma acampanada; así sucede con los resultados de los ensayos de resistencia del concreto y con otras propiedades de éste y de otros materiales.

Por su similitud con los fenómenos, pero principalmente por las facilidades de manejo y cálculo que representa, se suele tomar en estadística como modelo de distribución al que se denomina *distribución normal*, cuya representación aparece graficada también en la Figura 1.

Muchas propiedades de los materiales y en particular las resistencias a compresión del concreto, no se distribuyen estrictamente según una curva normal, sin embargo las diferencias con ella son relativamente pequeñas y quedan ampliamente compensadas por las ventajas de la distribución normal antes indicada.

6.3.2 Características generales

La curva de la distribución normal es simétrica, es decir tiene dos mitades iguales que se unen en el valor medio (μ). Restando una desviación estándar al valor medio, se encuentra la magnitud que corresponde a un punto de inflexión de la curva y sumándosela se encuentra el otro punto de inflexión: ($\mu - s$) y ($\mu + s$); por lo tanto la *esbeltez* de la curva señala la mayor o menor variabilidad de los datos (véase Figura 3).

6.3.3 Probabilidad de ocurrencia

El área bajo la curva normal representa la *frecuencia* o *probabilidad de ocurrencia*; el área total es igual a 1, lo que representa una probabilidad de ocurrencia del 100%; el área entre límites de magnitud representa la probabilidad de que ocurran valores entre esos límites. En la Figura 2 se dan las áreas (o probabilidades) que correspondan a varios límites obtenidos restando y sumando desviaciones estándar (s) al valor medio. Es así como por ejemplo la probabilidad de encontrar valores entre los límites $\mu - s$ ($Z = -1$) y $\mu + s$ ($Z = +1$) es de 68,3% y la probabilidad de encontrar valores menores de $\mu - 2s$ ($Z = -2$) es de 2,28% (0,13 + 2,15). Para límites intermedios entre los señalados en la Figura 2 se sigue utilizando el procedimiento de tener las magnitudes divididas en “veces s ” respecto a la media, lo cual significa que la variable x_i que representa las magnitudes en el eje de las abscisas, se cambia por otra, Z , que será por tanto igual a:

$$Z = \frac{x_i - m}{s}$$

En la práctica, debido a que sólo se dispondrá de la media muestral, se utiliza un estimado representado por:

$$Z = \frac{x_i - \bar{x}}{s} \quad (6-1)$$

6.3.4 Otras relaciones

Entre las propiedades de la distribución normal, están también:

$$m - \bar{x} = \frac{\pm Z s}{\sqrt{n}} \quad (6-2)$$

$$s^2 = \sum_1^n s_i^2 \quad (6-3)$$

La relación (6-2) establece la relación entre la precisión de la media y el número de ensayos. La relación (6-3) indica que las dispersiones debidas a varias causas diferentes ($\sigma_1, \sigma_2 \dots \sigma_i, \dots \sigma_m$) se suman cuadráticamente para obtener la dispersión global, σ .

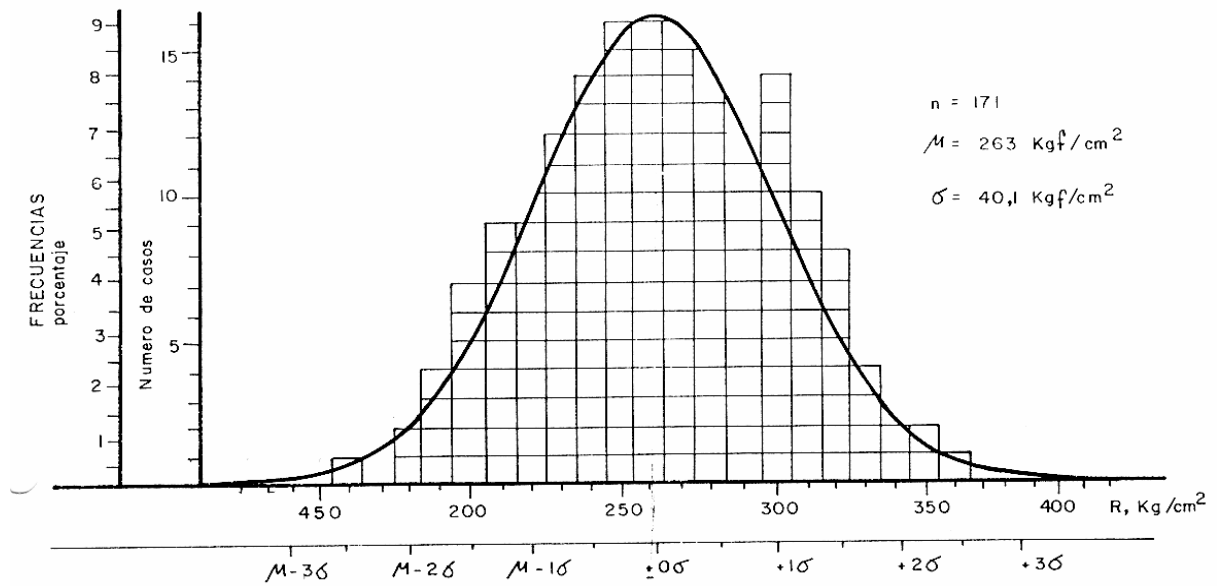


Figura 1. Ejemplo de distribución de las resistencias normativas de un concreto y su ajuste a la distribución normal

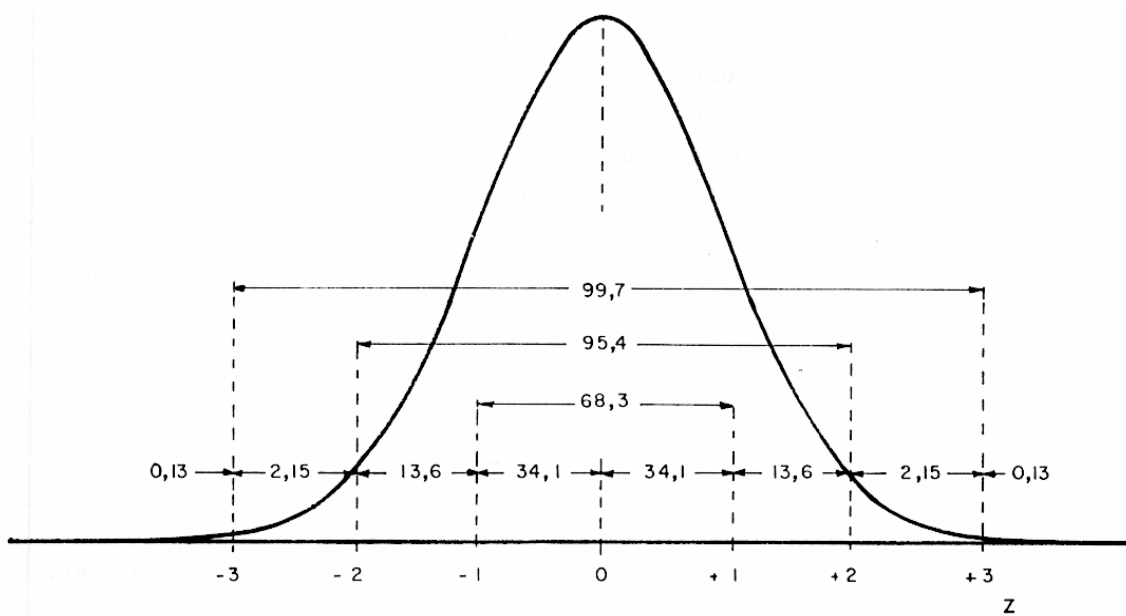


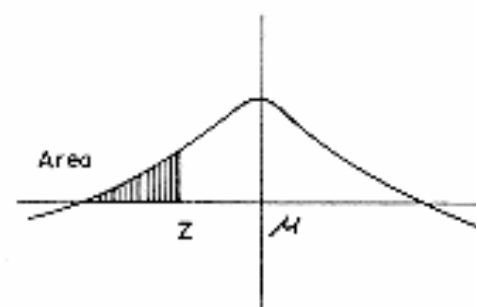
Figura 2. Porcentajes de áreas bajo la curva normal entre los límites Z señalados

En la Tabla 4, se dan esas relaciones entre la nueva variable Z y la probabilidad de ocurrencia de valores menores que el límite representado por esta variable.

Tabla 4. Relaciones entre Z y el área bajo la curva normal tipificada

| Z | Área | Z | Área |
|-------|-------|-------|-------|
| -3,25 | ,0006 | -1,50 | ,0668 |
| -3,20 | ,0007 | -1,45 | ,0735 |
| -3,15 | ,0008 | -1,40 | ,0808 |
| -3,10 | ,0010 | -1,35 | ,0885 |
| -3,05 | ,0011 | -1,30 | ,0968 |
| -3,00 | ,0013 | -1,25 | ,1056 |
| -2,95 | ,0016 | -1,20 | ,1151 |
| -2,90 | ,0019 | -1,15 | ,1251 |
| -2,86 | ,0022 | -1,10 | ,1357 |
| -2,80 | ,0026 | -1,05 | ,1469 |
| -2,75 | ,0030 | -1,00 | ,1537 |
| -2,70 | ,0035 | -,95 | ,1711 |
| -2,65 | ,0040 | -,90 | ,1841 |
| -2,60 | ,0047 | -,85 | ,1977 |
| -2,55 | ,0054 | -,80 | ,2119 |
| -2,50 | ,0062 | -,75 | ,2266 |
| -2,45 | ,0071 | -,70 | ,2420 |
| -2,40 | ,0082 | -,65 | ,2578 |
| -2,35 | ,0094 | -,60 | ,2743 |
| -2,30 | ,0107 | -,55 | ,2912 |
| -2,25 | ,0122 | -,50 | ,3085 |
| -2,20 | ,0139 | -,45 | ,3264 |
| -2,15 | ,0158 | -,40 | ,6446 |
| -2,10 | ,0179 | -,35 | ,3632 |
| -2,05 | ,0202 | -,30 | ,3821 |
| -2,00 | ,0228 | -,25 | ,4013 |
| -1,95 | ,0256 | -,20 | ,1207 |
| -1,90 | ,0287 | -,15 | ,4404 |
| -1,85 | ,0322 | -,10 | ,4602 |
| -1,80 | ,0359 | -,05 | ,4801 |
| -1,75 | ,0401 | | |
| -1,70 | ,0446 | | |
| -1,65 | ,0495 | ,00 | ,5000 |
| -1,60 | ,0548 | | |
| -1,55 | ,0606 | | |

| Área | Z |
|--------|--------|
| ,00001 | -4,265 |
| ,0001 | -3,719 |
| ,001 | -3,090 |
| ,005 | -2,676 |
| ,01 | -2,326 |
| ,02 | -2,054 |
| ,025 | -1,960 |
| ,03 | -1,881 |
| ,04 | -1,751 |
| ,05 | -1,645 |
| ,06 | -1,555 |
| ,07 | -1,476 |
| ,08 | -1,405 |
| ,09 | -1,341 |
| ,10 | -1,282 |
| ,15 | -1,036 |
| ,20 | -,842 |
| ,25 | -,674 |
| ,30 | -,524 |
| ,35 | -,385 |
| ,40 | -,253 |
| ,45 | -,126 |
| ,50 | 0,000 |



En estas fórmulas puede ser incógnita cualquiera de los parámetros involucrados: el límite (x) la probabilidad de ocurrencia (Z , Tabla 4), el valor medio (\bar{x}) y, en ciertas circunstancias, hasta la desviación estándar (s).

Nota T3. Áreas o probabilidades en tanto por uno, desde $Z = -\infty$, hasta el valor de Z indicado. Para los valores de Z positivos se utiliza la simetría de la curva.

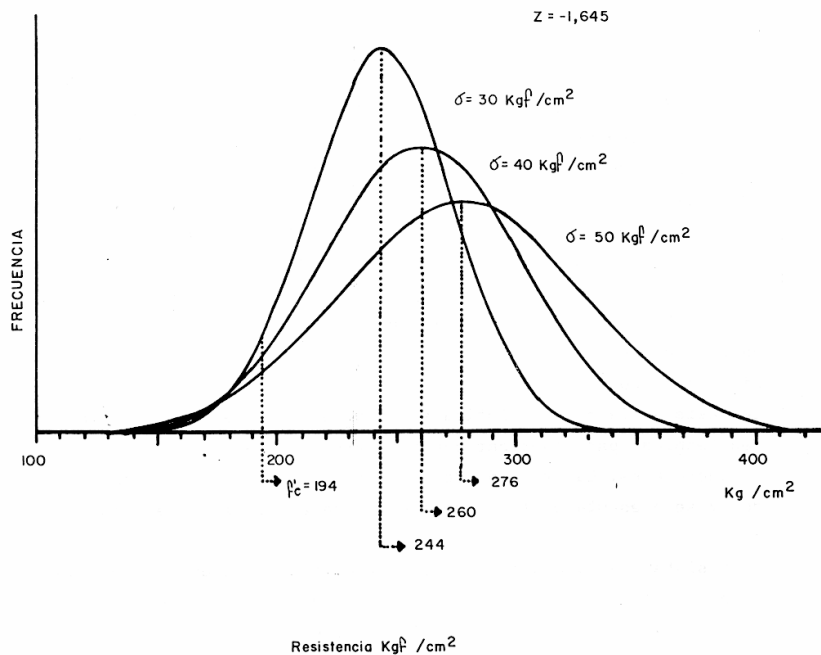


Figura 3. Distribuciones normales para tres (3) concretos con igual resistencia característica y distintas desviaciones estándar

7 APLICACIÓN DE LOS PRINCIPIOS ESTADÍSTICOS AL CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO

7.1 Enfoque

Para el cálculo estructural se toma como resistencia de referencia del concreto, la correspondiente a los ensayos de compresión que hacen en probetas normalizadas del material.

Por seguridad de la estructura pareciera conveniente que ninguna parte del concreto que se coloca tuviera resistencias menores que un valor dado, sin embargo los principios estadísticos indican que no es posible establecer como resistencia para el ensayo normativo un valor mínimo, ya que con un grado u otro de probabilidad siempre es posible obtener un valor menor que otro dado cualquiera. Si para tratar de hacer pequeña la probabilidad de que ocurra esto, se establece una resistencia límite muy baja, el control deja de ser efectivo y cualquier concreto podrá aparentar que cumple (Véase apartado 7.6.2.2). Tampoco la resistencia media es adecuada a estos efectos, ya que ella es independiente de la dispersión o variabilidad de los datos, dejando así fuera de control este importante parámetro.

Lo que se emplea como resistencia de referencia es una resistencia bastante menor que la media, la cual se conoce como resistencia característica o de cálculo estructural y se simboliza como R_c o como F_c . Esta es una resistencia bajo la cual se acepta que quede una determinada fracción del concreto, a la cual designamos como cuantil.

La resistencia característica se establece en base a las posibilidades técnicas para fabricar concreto y en base a los requerimientos estructurales. El cuantil es establecido mediante acuerdos y se presenta en las normas como una exigencia o referencia fija.

La resistencia característica y el cuantil deben mantenerse iguales a sí mismas tanto en el cálculo estructural, como en el diseño de mezcla y en las exigencias para el control del concreto. El concreto tendrá una calidad inferior a la prevista y por lo tanto podrá resultar peligroso para la seguridad de la estructura, cuando no cumpla con los requisitos de resistencia característica y el cuantil en que se basa.

Por el contrario, en un concreto que cumpla estos requisitos, resulta prácticamente imposible el que se puedan producir resistencias lo suficientemente bajas para poner en peligro la estructura, ya que las ramas de la curva de distribución, se acercan al eje de abscisas de manera asintótica.

Sin embargo, se pueden producir en un momento dado resistencias anormalmente bajas, debidas a errores accidentales y esporádicos; estos casos deben ser tratados de manera especial y las resistencias correspondientes en ningún caso entran a formar parte de la población normal que representa al concreto producido.

7.2 Mayoración de resistencias

Para poder alcanzar la resistencia característica exigida, la resistencia media del concreto por lo tanto la resistencia media para la cual hay que hacer el diseño de mezcla, debe ser mayor que aquella. El aumento necesario para pasar de la resistencia característica a la resistencia media, se conoce como mayoración de resistencia. Aplicando los principios estadísticos se ve que en la fórmula (6-1). El límite x_i representa a la resistencia característica (F_c); \bar{x} a la resistencia media (F_{cr}) y que Z es un índice del cuantil; se puede por lo tanto escribir dicha fórmula de la siguiente manera:

$$F_{cr} \leq F_c + Z\sigma \quad (7-1)$$

Se emplean a veces también otras fórmulas o métodos para calcular la resistencia media requerida por el diseño de mezcla, en los cuales se aplican cantidades o coeficientes de seguridad y/o se basan en el coeficiente de variación, sin embargo la antes señalada es la más adecuada para el control del concreto con rigor estadístico.

El que con una tecnología y unos materiales dados, se logre obtener la necesaria resistencia media, f_{cr} , es asunto del diseño de mezcla. Una vez lograda dicha f_{cr} , se garantiza que se están cumpliendo los requisitos de resistencia de cálculo, F_c , y de cuantil establecidos. Garantiza así mismo que se cumplirán las exigencias establecidas en los criterios de aceptación y rechazo, las cuales se basan en los mismos principios estadísticos y, se analizan más adelante, en punto 7.6.

7.2.1 Desviación estándar cuando no hay antecedentes

En la fórmula (7-1) el único parámetro que puede resultar impreciso es σ . Cuando no hay antecedentes de ensayos hechos a mezclas preparadas con los mismos materiales, equipo y tecnología que se van a usar para producir el concreto, σ resulta en principio desconocida y debe ser estimada en base a los antecedentes de que se dispone sobre la variabilidad general que es usual en los concretos. La Tabla 2 utilizada con ecuanimidad, permitirá obtener un estimado de σ según las circunstancias. Este estimado es sin embargo inevitablemente impreciso, lo cual por razones de seguridad debe ser compensado; ello se hace aumentando la σ estimada, en un 30% para entrar en la fórmula (6-1).

Por ejemplo, si en base a la Tabla 5, se llegó a la estimación de que la desviación estándar del concreto que se va a producir será de 35 Kgf/cm², al mayorar el mismo en un 30%, se tendrá $35 \times 1,3 = 45,5$ Kgf/cm². Así para un concreto de $F_c = 250$ Kgf/cm² y un cuantil del 10% ($Z = 1,282$), la resistencia media será $F_{cr} = 250 + 1,282 (45,5) = 308$ Kgf/cm².

La Tabla 5 es solamente una herramienta para ayudar a establecer las condiciones en las cuales se cumplirá con la resistencia característica y con los criterios de aceptación del concreto; por lo tanto en ningún caso se obtendrá beneficio por el empleo de una magnitud inferior a la que realmente puede corresponder al material.

Las pruebas de laboratorio se hacen con la finalidad de precisar la resistencia media que será posible obtener con unos determinados materiales componentes, pero en ningún caso miden la dispersión que podrá tener el concreto en la obra la cual depende de circunstancias ajenas al laboratorio.

Tabla 5. Desviación estándar s , de esperar en el concreto según el grado de control

| | Kgf/cm ² |
|--|---------------------|
| - Sin ningún control | 70 |
| - Control visual de los agregados y rechazo de aquellos que aparentan muy mala calidad o que son muy diferentes de los que se están usando. Control visual de las mezclas por la trabajabilidad aparente | 50 |
| - Como el anterior pero se conocen las granulometrías de los agregados que se están usando, por ensayos que se hicieron una vez, se es riguroso en el rechazo de agregados y se comprueba de vez en cuando el asentamiento de las mezclas en el cono de Abrams | 40 |
| - A cada lote de agregados se le determina algún índice granulométrico y de calidad y sólo se aceptan los que estén dentro de ciertos límites preestablecidos. Se controla la | |

| | |
|--|----|
| humedad de los agregados. Se tienen en cuenta la marca y lote de cemento. La dosificación es exclusivamente por peso; los sistemas de pesaje son automáticos y se calibran de vez en cuando. El asentamiento en el cono se mide sistemáticamente y se rechazan las mezclas que no estén dentro de ciertos límites. No se permite la adición de agua posterior al mezclado ni el espesamiento de las mezclas por tiempos de espera. | 35 |
| - Al igual que el anterior, pero con márgenes de aceptación muy estrictos. Uso de no menos de tres agregados de granulometrías complementarias. Limitación de la humedad de los agregados en el momento de su uso y correcciones por humedad, lote y marca de cemento y aditivo, en base a la modificación del diseño. Revisión y calibración de los equipos de forma periódica sistemática. | 25 |

7.2.2 Desviación estándar en base a ensayos

A medida que se van obteniendo resultados de los ensayos hechos al concreto que se produce o se coloca, se podrá ir precisando más en base a ellos el valor de σ correspondiente al material. Llegará un momento en que los valores calculados de los ensayos representará mejor a σ que la estimada con la Tabla 3 aumentada en el 30%; en condiciones habituales ello empieza a ocurrir a partir de los 30 ensayos; por lo tanto cuando se llegue a este número de ensayos, se debe hacer un nuevo planteamiento y cálculo de la mayoración requerida, en base a la σ obtenida experimentalmente. Así, si en el concreto del ejemplo del pto. 7.2.1 se encuentra después de 30 ensayos una $\sigma = 34 \text{ Kg/cm}^2$, la resistencia media aspirada debe ser: $250 + 1,282(34) = 294 \text{ Kg/cm}^2$. También si se dispone de antecedentes suficientes sobre un concreto análogo al que se va a preparar o utilizar, la σ obtenida de esos antecedentes puede ser empleada para el cálculo de F_{cr} . Para ello es necesario que ambos concretos sean hechos con los mismos materiales componentes, el mismo equipo y las mismas condiciones de trabajo, además, claro está, que σ haya sido calculada con no menos de 30 ensayos y que la F_c para las cuales se diseñan ambos concretos, de modo que no sean muy diferentes entre sí (menos de 100 Kg/cm^2).

Tabla 5-1. Factor de modificación de la desviación estándar cuando se dispone de menos de 30 ensayos

| # de ensayos | Factor de modificación |
|--|------------------------|
| Menos de 15 | Usar Tabla 5-2 |
| 15 | 1.16 |
| 20 | 1.08 |
| 25 | 1.03 |
| 30 o más | 1 |
| Interpólese para valores intermedios de # de ensayos | |

Tabla 5-2. Resistencia promedio a la compresión cuando no se dispone de datos para establecer la desviación estándar

| Resistencia especificada a la compresión F_c en Kg/cm^2 | Resistencia promedio a la compresión F_{cr} en Kg/cm^2 |
|---|--|
| Menor de 200 | $F_c + 70$ |
| De 200 a 350 | $F_c + 85$ |
| Más de 350 | $F_c + 100$ |

7.2.3 Cuantil por debajo de la resistencia especificada

Es éste un parámetro que se establece en la Norma Venezolana COVENIN 1753 y cuya magnitud tiene que ser precisada o acordada de forma arbitraria, ya que dentro de ciertos límites no hay razones, ni técnicas, ni estadísticas para que su magnitud sea una u otra (aunque puede haber razones de costumbre, de identidad con otras normas) y otras.

Lo importante es que una vez decidida una magnitud para el cuantil o fracción por debajo de la resistencia especificada, la misma sea mantenida invariable, como referencia fija a la cual poder atenerse tanto en los cálculos estructurales como en los diseños de las mezclas de concreto y en las reglas o criterios para el control de calidad del material.

No hay respecto a la magnitud elegida como cuantil o fracción por debajo de la resistencia especificada, un criterio uniforme entre las normas y ordenanzas de construcción de los diferentes países. Parece no obstante que hay una tendencia general a adoptar como valor el 5% por lo que en los ejemplos de esta norma, será ese cuantil el que se use. A esta fracción o cuantil del 5% corresponde una Z estadística de $-1,645$.

7.3 Mezclas de prueba

Ni el diseño de mezclas ni la corrección de mezclas propiamente dichos, son objetivos de la presente Norma Venezolana, no obstante si lo es su incidencia en el control de calidad del concreto.

Algunas características importantes de los materiales componentes del concreto, no son determinadas (por lo menos con suficiente precisión) mediante los ensayos usuales; tal sucede con algunos aspectos de la calidad intrínseca de los agregados, como forma, rugosidad y resistencia de las partículas, impurezas acompañantes y otros, con la actividad o efectividad del cemento y de los aditivos (si es que se usan), en las condiciones y con los agregados específicos del caso.

Estas características no precisables de los materiales componentes, sólo podrán ser tenidas en cuenta en el diseño de mezcla de una manera estimativa aproximada y su verdadera y más exacta influencia sobre la calidad del concreto, se determina globalmente de manera directa, mediante lo que conocemos como mezclas de prueba.

7.3.1 Mezclas de prueba en obra

Si no se dispone de antecedentes sobre el comportamiento de los materiales en las mezclas y la confección de éstas se inicia directamente a escala de obra, las primeras mezclas se consideran como mezclas de prueba y en base a ellas se pueden ir haciendo ajustes al diseño para lograr concretos técnicamente más aptos. Este ajuste lo conocemos como corrección de las mezclas.

Cuando se sigue este procedimiento, las primeras mezclas deben estar sobre diseñadas, por lo que las operaciones de corrección consistirán generalmente en ajustes para obtener concretos más económicos dentro de la calidad pretendida.

Para las mezclas de prueba el control de calidad es decisivo; sin control los datos que proporcionen las mezclas de prueba no ofrecerán la suficiente seguridad y las correcciones serán por lo tanto improcedentes.

Con un riguroso control de calidad, al menos teóricamente, se pueden hacer correcciones con los datos que proporciona ya la primera mezcla que se fabrica, sin embargo es aconsejable no iniciar las correcciones hasta disponer por lo menos de los datos procedentes de las tres (3) primeras mezclas de prueba.

7.3.2 Mezclas de prueba de laboratorio

Las posibilidades de los materiales componentes para concreto, pueden ser averiguadas mediante mezclas hechas en el laboratorio. Con ellas determina la calidad media que es posible obtener, pero en ningún caso sirven para averiguar la dispersión probable en otra.

Las mezclas de prueba de laboratorio tienen la ventaja de que al poder ser hechas con un control de calidad muy riguroso, proporcionen datos muy precisos. Sin este alto grado de control pierden interés.

La información que proporcionan las mezclas de prueba de laboratorio, sólo es rigurosamente aplicable a los materiales componentes con los cuales son hechas, por lo tanto las muestras utilizadas para estas mezclas tienen que ser también rigurosamente representativas de los materiales que se van a utilizar en la obra.

El mayor rendimiento de estas pruebas se obtiene cuando para unos mismos materiales componentes se hacen mezclas con tres diseños diferentes: uno en el que se trata de obtener la calidad promedio del concreto requerido por la obra, otro con una calidad de un 20% menor y el tercero con una calidad de un 20% mayor de la requerida tantas mezclas de cada nivel como sea necesario. Luego por interpolación se podrá precisar el diseño para la calidad de concreto exactamente pretendida.

7.4 Tipos de dispersiones

7.4.1 Variación dentro del ensayo

Si de una mezcla de concreto se hacen suficiente número de pruebas, se podrá con ellas detectar para esa mezcla, la dispersión propia del ensayo; la cual como se indicó en el punto 5.1, es debida a las causas que se detallan en la Tabla 2. Si se hacen otras mezclas del mismo tipo de concreto y se les hace también suficiente número de pruebas se obtendrá una nueva estimación de la dispersión con la cual se están realizando los ensayos. Llamando $S_1, S_2, \dots, S_i, \dots, S_n$ a las sucesivas desviaciones estándar, la desviación estándar promedio será una estimación de la desviación estándar del ensayo (S_e).

$$S_e = \frac{\sum_1^n S_i}{n} \tag{7-2}$$

Para que S_e alcance niveles de confiabilidad aceptables, debe ser obtenida con no menos de 30 resultados de pruebas procedentes de no menos de 10 mezclas diferentes.

Los ensayos mal hechos pueden falsear los índices de calidad del concreto en uno u otro sentido, de aquí la importancia de conocer S_e y en caso que sea necesario, disminuir su magnitud durante el mejoramiento de las técnicas de ensayo (Tabla 6).

Tabla 6. Desviaciones estándar de los ensayos S_e , en Kg/cm²

| | Tipo de control | | |
|-------------|-----------------|-------|-----------|
| | malo | usual | excelente |
| Obra | > 9 | 6 a 9 | < 6 |
| Laboratorio | > 8 | 5 a 8 | < 5 |

En la Tabla 6 se dan unos estimados de los valores que suele alcanzar S_e según distintas condiciones de control de los ensayos, (véase punto 7.6.1.4).

7.4.2 Variación entre mezclas

Si los ensayos que se hacen a cada mezcla, se representan por su valor medio y se calcula la desviación estándar entre las mezclas correspondientes a un mismo tipo de concreto, se obtiene la dispersión entre mezclas o dispersión con la cual se está fabricando el concreto (σ); ésta será la desviación estándar con la cual se entrará en la fórmula (7-1) antes descrita.

En realidad la desviación estándar entre mezclas calculada de esta forma, está también influida en parte por la variabilidad del ensayo, no obstante cuando su magnitud está controlada es bastante menor que la primera, la cual queda entonces poco afectada, (véase punto 7.6.1.4).

7.4.3 Calificación de la empresa

Cada empresa productora de concreto (constructora o premezcladora) tiene su forma de trabajo y sistema de control de calidad, lo que da lugar a que en bastantes casos, las empresas trabajen con índices propios de variabilidad del material que son casi constantes o que se mueven dentro de límites relativamente reducidos, esto considerando incluso mezclas de diferente diseños y producción de concreto en diferentes lugares. El conocer estas características de la empresa, por lo menos la desviación estándar promedio con la cual trabaja, es también otro índice de la calidad del concreto que en ciertas circunstancias puede resultar decisivo para la aceptación o el rechazo del material.

7.5 Aspectos del control

7.5.1 Probetas por ensayo

Para determinar los parámetros estadísticos entre las diferentes mezclas de un mismo tipo de concreto, a cada muestra del material se le deben hacer como mínimo dos pruebas idénticas, las cuales a estos efectos, constituirán en su conjunto un ensayo cuyo resultado vendrá dado por el valor promedio de las dos o más

pruebas efectuadas. Así cada ensayo a compresión se hará con dos o más probetas normativas tomadas de la misma muestra y ensayadas a la misma edad siendo el valor del ensayo la media aritmética de los resultados de esas dos o más pruebas.

La razón de utilizar para cada ensayo, dos o más probetas en vez de una, es la de minimizar el efecto que la dispersión del ensayo puede tener sobre la dispersión entre mezclas. Además del procedimiento tiene la ventaja de que se pueden obtener a la vez estimados de ambos tipos de dispersión. Así, si se utilizan dos probetas por ensayo, que es lo más habitual, cuando se tengan los resultados de 15 ensayos (30 probetas), se cumplirán los requisitos indicados en el punto 7.4.1 para conocer la desviación estándar del ensayo con un grado de confiabilidad aceptable.

Para estimar la desviación estándar entre sólo dos probetas compañeras el procedimiento más adecuado es del rango ponderado, indicado en el punto 6.2.2.3, al cual corresponderá un factor K_2 de ponderación que según la Tabla 3, es de 0,8865. El rango d , será aquí la diferencia (en valor absoluto) entre las resistencias de las dos probetas compañeras, siendo el rango promedio \bar{d} , para n ensayos (n parejas).

$$\bar{d} = \frac{\sum_1^n di}{n} \quad Se = 0,8865 \cdot \bar{d}$$

Con menos de 15 ensayos (30 probetas) el valor de la desviación estándar del ensayo, es menos confiable, tanto menos cuando menor sea el número de datos de que se disponga.

A veces es costumbre preparar una probeta adicional a las normativas para ser ensayada a los 7 días de edad: al no ser ésta la edad normativa especificada, ello es perfectamente válido como indicio informativo, sin embargo, al estar formado el ensayo por una sola probeta, la dispersión propia del ensayo influye de manera importante en los resultados que con frecuencia proporcionan información engañosa.

7.5.2 Muestreo

La frecuencia de la toma de muestras de concreto para su ensayo, debe ser tal que no queden partes del material cuya calidad no se conozca. Para esto no es necesario desde luego, el ensayar todas y cada una de las partes del material, debido a la forma que tienen de distribuirse las resistencias; por otro lado sin embargo, la necesidad de conocer los parámetros de la distribución y la posibilidad de que se produzcan mezclas esporádicas de mala calidad (fuera de la distribución), obligan a una cierta frecuencia de muestreo.

No es posible dar reglas de validez general que cuantifiquen de manera precisa esta frecuencia. Ello se debe a las numerosas variables diferentes que intervienen en el problema. Sin embargo a título de guía se pueden tomar como suficientes para el control rutinario *de cada clase de concreto*, las siguientes:

- Una muestra por cada 14 unidades de producción.
- Una muestra por cada 50 m² de superficie de obra de concreto.
- Una muestras por cada día de trabajo.
- Seis muestras en total (para toda la obra).

De estos cuatro criterios se aplicará el que para el tipo de concreto de que se trate, exija un mayor número de muestras.

Independientemente de esto se debe estar preparado para la toma y ensayo de muestras de mezclas que por cualquier motivo parezcan anormales o sospechosas. Estas muestras no se considerarán para el ulterior análisis estadístico pero sí se les aplicarán los criterios de aceptación y rechazo del punto 7.6.

7.5.3 Edad de ensayo

En nuestro medio la resistencia que se especifica habitualmente, es la de 28 días de edad; sin embargo pueden ser especificadas resistencias a otras edades, o puede ser conveniente conocerlas aunque no sean de especificación.

7.5.3.1 Las resistencias a edades menores de 28 días, son útiles en cuanto que permiten inferir prematuramente, con mayor o menor precisión, las que tendrá el material a la edad normativa. La relación de proporcionalidad entre ambas edades, sólo puede ser conocida con seguridad, mediante ensayos hechos con los mismos materiales y en las mismas condiciones de trabajo; cualquier cambio puede invalidar los factores

COVENIN 1976:2003

de cálculo. Esto es especialmente válido para establecer las relaciones entre las resistencias obtenidas en ensayos acelerados de cualquier tipo y las resistencias normativas.

7.5.3.2 Las resistencias a edades tempranas deben ser objeto de especificación en ciertos tipos de construcción para los cuales son más críticas que las resistencias a 28 días; incluso estas últimas pueden carecer de interés por ser seguro que se obtendrán si se cumplen las tempranas (según las leyes generales de comportamiento del concreto); así sucede con los concretos para los sistemas de paredes estructurales (túnel y otros) en los que el uso económico de encofrados obliga a desencofrar a las pocas horas del vaciado, a veces hasta 8 ó 12 horas solamente. También para los prefabricados en general es crítico el uso del molde, así como la posibilidad de traslado del elemento; cuando son pretensados es decisivo además, el momento del corte del cable.

En todos estos casos el calculista o el especialista correspondiente, deben establecer las resistencias necesarias para efectuar las operaciones críticas y a ellas habrá que atenerse para el control del concreto, mediante la determinación de las resistencias del material que se coloca a las edades involucradas.

7.5.3.3 También a edades más largas de los 28 días, puede ser necesario o interesante conocer la capacidad resistente de algunos concretos. Así sucede con los que no van a recibir carga inmediata, especialmente si se hacen de forma que desarrollen sus resistencias con relativa lentitud. El ejemplo más evidente son los concretos masivos para presas hidráulicas, para los cuales es más crítico el desarrollo de calor que el de las resistencias, por lo que se suelen utilizar concretos de muy lento desarrollo. En estos casos se suelen usar como edad normativa la de 90 días y a veces la de 180 días.

7.5.4 Eliminación de resultados

Como regla general es conveniente establecer que en principio no se deben eliminar valores ni de pruebas ni de ensayos que aparenten ser anormales por tener magnitudes diferentes de las habituales. Es frecuente que valores que a primera vista parecen errados, correspondan a magnitudes extremas de las poblaciones estadísticas, cuyos parámetros resultarán falseados si no se incluyen estos valores.

7.5.4.1 Son excepciones las muestras indicadas en el punto 7.5.2, tomadas por haberse observado alguna anomalía en las mezclas.

7.5.4.2 Cuando para el ensayo se toma más de las dos probetas usuales, también es posible establecer con una base probabilística algún criterio para la eliminación de valores supuestamente anormales, quedando como valor del ensayo el promedio de los restantes.

7.5.4.3 Cuando se dispone de suficiente número de datos, en todo caso más de 30, y aparece un valor excepcionalmente alejado del promedio, puede ser eliminado en base a un criterio de probabilidad de ocurrencia que se fije y que se aplique tanto a los valores inferiores como a los superiores.

7.5.4.4 Cuando se comprueba que un ensayo o una prueba fueron mal ejecutados, los correspondientes resultados también deben ser eliminados como elementos de juicio para el control.

7.6 Criterios de aceptación y rechazo

7.6.1 Criterios generales

Con las bases estadísticas antes detalladas, se pueden establecer criterios para saber si un determinado concreto cumple con los requisitos fundamentales de resistencia característica y cuantil.

7.6.1.1 Dado que hasta los 28 días no se cumple la edad normativa para el ensayo a compresión (en casos especiales esta edad puede ser diferente de 28 días), hasta esa fecha la calidad del material en cuanto a resistencia, debe ser considerada en base a otros criterios. Si no se dispone de otros antecedentes, un buen diseño de mezcla y adecuados controles de los materiales componentes, del mezclado y del transporte deben ser suficientes. Si hay antecedentes de mezclas anteriores hechas en similares condiciones, incluidas las mezclas de prueba de laboratorio, o de relaciones de resistencias a edades más tempranas con las de 28 días, ensayos acelerados y otros, en base a ellos se podrán lograr mezclas más ajustadas. En todo caso antes de los 28 días, es decir ya desde las primeras mezclas que se hacen, son pertinentes las correcciones para conseguir el asentamiento y la relación agua / cemento estimados como convenientes.

7.6.1.2 El cumplimiento con la resistencia media, según se establece en el punto 7.2, es una garantía de la calidad del concreto; sin embargo cuando se dispone todavía de pocos ensayos, la media que éstos proporcionan resulta imprecisa con relación a la media verdadera del material. Aplicando la fórmula (6-2) a un

concreto de $\bar{x} = 260 \text{ Kg/cm}^2$, $\sigma = 40 \text{ Kg/cm}^2$ y estimando una probabilidad de ocurrencia de 95% ($Z = -1,645$) se tiene que la media verdadera tendrá dicha probabilidad de 95% de encontrarse entre los límites.

$$\bar{x} \pm \frac{Z \cdot s}{\sqrt{n}} = 260 \pm \frac{1,645 \times 40}{\sqrt{n}}$$

Con 1 ensayo: $194 \leq \mu \leq 326$

Con 10 ensayos: $239 \leq \mu \leq 281$

Con 30 ensayos: $248 \leq \mu \leq 272$ (véase Nota 1)

Nota 1. En el ejemplo se utilizó $\bar{x} = 260$ como una constante, en la práctica, sin embargo esta media tendrá algunas variaciones según el número de ensayos de que provenga.

Como se aprecia, el margen con 1 ensayo e incluso con 10 ensayos, resulta demasiado amplio para ofrecer suficiente garantía.

Este mismo método se puede utilizar para cualquier otro número de ensayos que se desee, así como para averiguar el número de ensayos que sería necesario realizar para obtener una precisión dada; incluso, despejando μ de la fórmula, permite calcular el grado de control que habría que ejercer para obtener unas condiciones de precisión dadas.

7.6.1.3 Los resultados individuales anormalmente bajos o altos pueden ser estudiados mediante la fórmula (7-1); así, si en el ejemplo del punto 7.6.1.2, se encuentra un valor de ensayo de $x_i = 140 \text{ Kg/cm}^2$, se puede calcular la probabilidad de que se diera este valor a uno menor que él, despejando Z :

$$Z = \frac{140 - 260}{40} = -3,000$$

A este valor corresponde en la Tabla 4 una probabilidad del 0,13%. El que un valor corresponda con esta baja probabilidad sea aceptable o no, dependerá del número de ensayos que se hayan hecho: dentro de un gran número de ensayos $\left(\frac{100}{0,13 \times 2} \approx 385 \text{ o mayor} \right)$ el valor se puede considerar estadísticamente lógico (probabilidad del 50%) sin que indique mala calidad del material.

7.6.1.4 Cuando se encuentran valores altos de la dispersión del ensayo S_e , (del orden de μ o algo menores), es posible averiguar la dispersión debida al concreto mediante la fórmula (6-3). Así un concreto que con una S_e de 30 Kg/cm^2 , da una desviación estándar de 50 Kg/cm^2 , tendrá una s del material de:

$$\sqrt{(50)^2 - (30)^2} = 40 \text{ Kg/cm}^2$$

7.6.2 Criterios específicos

Como criterios de aceptación del concreto, o de aceptación y rechazo, se establecen dos que a la sencillez de su aplicación, unen la de que son utilizables ya desde que se dispone de los primeros resultados de los ensayos, garantizando con un buen nivel de probabilidad que el material está cumpliendo los requisitos de resistencia característica y de cuantil requeridos.

Para que el concreto sea aceptado es necesario que cumpla simultáneamente los requisitos establecidos en ambos criterios. Ambos se refieren a las resistencias a compresión normativas del concreto.

7.6.2.1 El primer criterio establece que la media de los resultados de cada tres (3) ensayos consecutivos debe ser igual o mayor que la resistencia especificada de cálculo, F_c . Si el concreto no cumple con el requisito del criterio no por ello es rechazado; en este caso la mezcla debe ser mejorada y la frecuencia de los

ensayos aumentada. $\bar{x}_3 = F_{cr} - \frac{z' \cdot s}{\sqrt{3}} \geq F_c$ $F_{cr} = F_c + Z \cdot \sigma$ Nota 2)

Nota 2 Z y Z' son ambos índices de probabilidad de la distribución normal tipificada (Tabla 4), pero representan diferentes poblaciones: Z , la de los ensayos individuales y Z' la de los promedios de cada tres (3) ensayos consecutivos.

COVENIN 1976:2003

Considerando el cuantil del 5% ($Z = -1,645$), se tiene que: $Z' = -2,85$

O sea que este criterio es independiente del nivel de resistencias o de desviación estándar con que se esté trabajando.

A esta Z' corresponde una probabilidad de ocurrencia (Tabla 4) del 0,22%; o sea que 2 ó 3 de cada 1.000 promedios (uno de cada 455) pueden no cumplir el criterio y ser estadísticamente válidos. En los requisitos que adoptan este criterio, se establece sin embargo como garantía adicional y facilidad de uso que absolutamente todos los promedios cumplan con el criterio para que el concreto sea aceptado.

7.6.2.2 El segundo criterio establece que todos y cada uno de los resultados de ensayos individuales (cada uno promedio de dos o más pruebas) debe ser igual o mayor que la resistencia especificada de cálculo disminuida en 35 Kg/cm^2 : $x_i \geq F_c - 35 \text{ Kg/cm}^2$. Es decir en definitiva establece una resistencia mínima.

$$x_i = F_c - 35 = F_{cr} - Z'.\sigma \quad F_{cr} = F_c + Z.\sigma \quad (\text{Nota 3})$$

Nota 3. Z y Z' corresponden a la misma población pero a distintas magnitudes: Z a F_c y Z' a $F_c - 35$.

Considerando que $Z = -1,645$, se tiene que: $Z' = -1,645 - \frac{35}{s}$ (7-3)

Es decir que el criterio depende estadísticamente del grado de control (σ) con que se esté trabajando (también se podrá hacer depender del nivel de resistencias). En la fórmula (7-3) con $\sigma = 35 \text{ Kg/cm}^2$, $Z' = -2,645$, a la que corresponde una probabilidad de ocurrencia del 0,41%; o sea que un (1) ensayo de cada 244 puede no cumplir el criterio y ser estadísticamente válido. Para un $\sigma = 70 \text{ Kg/cm}^2$, $Z' = -2,145$, a la que corresponde una probabilidad de ocurrencia del 1,60%, o sea un (1) ensayo de cada 63. Sin embargo al igual que para el primer criterio se establece que todos y cada uno de los ensayos deben cumplir con este requisito para que el concreto sea aceptado, lo cual es una garantía adicional, especialmente para los concretos de bajo nivel de control.

El no cumplimiento de este criterio hace que en principio el concreto sea rechazado, debiendo comprobarse hasta donde ello sea posible, si es realmente cierto que el concreto no cumple y de ser así, estudiar como puede el material colocado afectar la seguridad de la estructura de la que forma parte.

7.6.3 Rechazo

Cuando por cualquiera de los criterios señalados, generales o específicos, pero especialmente por el punto 7.6.2.2, se sospecha que el concreto no está cumpliendo con la calidad pretendida, se deben hacer averiguaciones y tomar medidas según se indica en los párrafos siguientes.

7.6.3.1 Una primera comprobación es la de si los ensayos fueron bien hechos. Es relativamente frecuente encontrar evidencia de falla en alguno de los puntos señalados en la Tabla 2. En este caso, además de tomar las medidas para corregir el defecto, los ensayos se consideran como no afectados, debiendo estimarse la calidad en base a los ensayos efectuados a otras partes del material, a la calidad promedio general que va teniendo el concreto, a la variabilidad y garantía de la empresa que lo produce, y otros.

En caso de corresponder los ensayos mal efectuados a las primeras mezclas que se fabrican y de no disponer de antecedentes, puede ser necesario tomar y ensayar algunos núcleos que representen adecuadamente al concreto colocado.

7.6.3.2 Si el número de ensayos del mismo tipo de concreto que se han realizado es alto, mayor de 30, los resultados comprobados que parezcan anormalmente bajos, pueden ser estudiados según los principios estadísticos y se pueden tomar decisiones en base a su probabilidad de ocurrencia dentro de la distribución normal. Estos resultados pueden formar parte o no de la población estadística: si forman parte de ella, se debe revisar si la misma está cumpliendo con los requisitos de resistencia característica y cuantil.

7.6.3.3 En el caso de ensayos comprobado que indican resistencias bajas, se llega a una situación en que el problema cae fuera del control del concreto como material (salvo en lo que respecta a mejorarlo en el futuro). Las decisiones serán aquí de tipo estructural, debiendo revisarse si el material puede o no ser aceptado dentro de la estructura sin que quede comprometida la seguridad de la misma. Para estas decisiones son importantes: Las resistencias reales que tiene el concreto, la cantidad colocada y el lugar en que está situada. Así mismo es importante estudiar si la baja calidad del material puede afectar su durabilidad.

Las decisiones que se tomen en esta etapa se pueden resumir en tres:

- a) La baja calidad del concreto es seguro que no afecta ni la seguridad ni la durabilidad de la obra.
- b) Hay dudas respecto a los extremos indicados en a).
- c) La seguridad y/o durabilidad de la estructura quedan evidentemente afectadas de forma no aceptable. Esta última decisión puede ser tomada con mayor seguridad, cuanto mayor número de ensayos e información general se tenga sobre el concreto de baja calidad.

7.6.3.4 En el caso b) antes señalado y eventualmente en el caso c), puede ser necesaria una mayor información sobre la calidad del concreto problema. Esta debe ser obtenida mediante nuevos ensayos destructivos y no destructivos que se hagan al concreto colocado. La heterogeneidad del material y la delimitación de la zona en que está colocado dentro de la estructura, se averiguarán mediante ensayos no destructivos cuidadosamente ejecutados por personal especializado. Los más adecuados al respecto son las medidas de velocidad de propagación de ultrasonidos.

Los niveles de resistencia se averiguarán mediante la toma y ensayo de suficiente número de núcleos de concreto, los cuales en ningún caso podrán ser menos de 3 por cada zona dudosa. Luego se vuelven a replantear las posibilidades a) y c) indicadas en el punto 7.6.3.3

7.6.3.5 Una vez establecida la evidencia de que la seguridad y/o durabilidad de la estructura, están comprendidas por la baja calidad del concreto, antes de proceder el derribo y sin perjuicio de las multas que se hayan establecido al respecto y del pago de daños y perjuicios, se pueden estudiar las posibilidades de refuerzo, mejora de la durabilidad del material o uso de la estructura para otros fines que exijan menor nivel de resistencia.

Nota 4. En ausencia de equivalencias disponibles a partir de resultados efectuados sobre probetas realizadas con los mismos materiales, se adoptará la ecuación de equivalencia propuesta por la ACI 318 para equiparar resistencias a compresión y a flexión mientras se obtienen los resultados de correlación necesarios. Esta ecuación es

$$MR = 7,5 \times \sqrt{F_{cr}} \quad (\text{en psi}) \qquad MR = 1,9896 \times \sqrt{F_{cr}} \quad (\text{en kg/cm}^2)$$

De acuerdo a esto, debe siempre considerarse que para los proyectos de pavimentos el valor especificado es el módulo de rotura a flexión por carga a 3 puntos (véase Norma COVENIN 342). Por ejemplo, asumiendo que se admite un valor mínimo equivalente al valor de diseño disminuido en 35 kg/cm², esto quiere decir que a efectos de MR, el valor mínimo aceptable en un ensayo válido será el equivalente al MR especificado, disminuido en 11,8 kg/cm²

Nota 5. El valor de la media móvil para tres (03) ensayos consecutivos se plantea debe ser igual o superior al valor de MR estipulado para el proyecto. En la práctica, y tomando como base la aplicación de la ecuación:

$$m = \bar{x} \pm \frac{Z \cdot s}{\sqrt{n}} \quad (1) \qquad \text{y partiendo que } F_{cr} = F_c - Z \cdot s \quad (2)$$

si aceptamos el criterio de la media móvil descrito anteriormente (para 3 ensayos consecutivos) esto quiere decir que la ecuación (1) toma la forma

$$x_3 = F_{cr} - \frac{Z' \cdot s}{\sqrt{3}} \geq F_c \quad (3); \text{ igualando términos y reduciendo la ecuación queda } Z' = Z\sqrt{3}$$

Siendo Z la probabilidad de ocurrencia de un ensayo y Z' la probabilidad para 3 ensayos consecutivos.

Como este punto no es dependiente de valores de dispersión puntuales, o de resistencias mecánicas, su aceptación implica que estadísticamente 0,22% de los ensayos que se efectúen pueden no cumplir con el criterio sin que esto implique que el concreto deba ser rechazado, similar a lo que ocurre con los ensayos a compresión.

En el caso de diseños de pavimentos efectuados por AASHTO93 (o anteriores), estos criterios resultan excesivamente estrictos, toda vez que el diseño incorpora factores de seguridad para manejar un valor de MR promedio. Sin embargo, para diseños efectuados por métodos como el de la PCA, o aquellos que basan el diseño de espesores en valores absolutos de MR (como los modelados por técnicas de elementos finitos), este criterio resulta adecuado.

Por lo anterior, se plantea la aceptación del criterio original, esto es, la media de los resultados de tres ensayos consecutivos debe ser igual o mayor que la resistencia especificada de cálculo, tomando en cuenta que el proyectista esté consciente de esto y pueda ajustar correspondientemente sus coeficientes de seguridad en el cálculo al momento de realizar el proyecto.

7.7 Representación gráfica

Una forma de visualizar cómodamente los resultados del control y de detectar anomalías de la calidad, es la representación gráfica de los resultados de los ensayos. Es posible hacer varios tipos de gráficos; los que se dan a título de ejemplo en la Figura 4, suelen resultar de buena efectividad y son los más visuales. El primero de ellos (gráfico a) relaciona el número de la muestra (numeradas secuencialmente) con los valores de cada prueba y del correspondiente ensayo (promedio de las dos pruebas), y contiene además las líneas de F_c - (35 Kgf/cm²), límite de aceptación; F_c y F_{cr}

El gráfico (b) utiliza la media móvil de cada tres ensayos consecutivos, es decir con cada nuevo ensayo de que se dispone, se calcula la media en él conjuntamente con los valores de los dos ensayos anteriores. Este gráfico permite visualizar el cumplimiento del primer criterio de aceptación.

El gráfico (c) tiene especial utilidad para el laboratorio; se refiere a la dispersión del ensayo, S_e , obtenida como rango ponderado mediante la Tabla 3. En el caso del ejemplo, con dos pruebas por ensayo, la S_e será la diferencia absoluta entre los dos valores, multiplicada por 0,8865. Para otro número de pruebas se utilizará la k correspondiente. En el gráfico se utilizó la media móvil de los rangos ponderados de cada 10 ensayos consecutivos, ya que colocar en el gráfico los valores individuales de cada ensayo, debido a la variabilidad de éstos, no permite una buena visualización de la marcha del control. También se incluye una línea límite de la dispersión que para que ese caso particular se estimó aceptable.

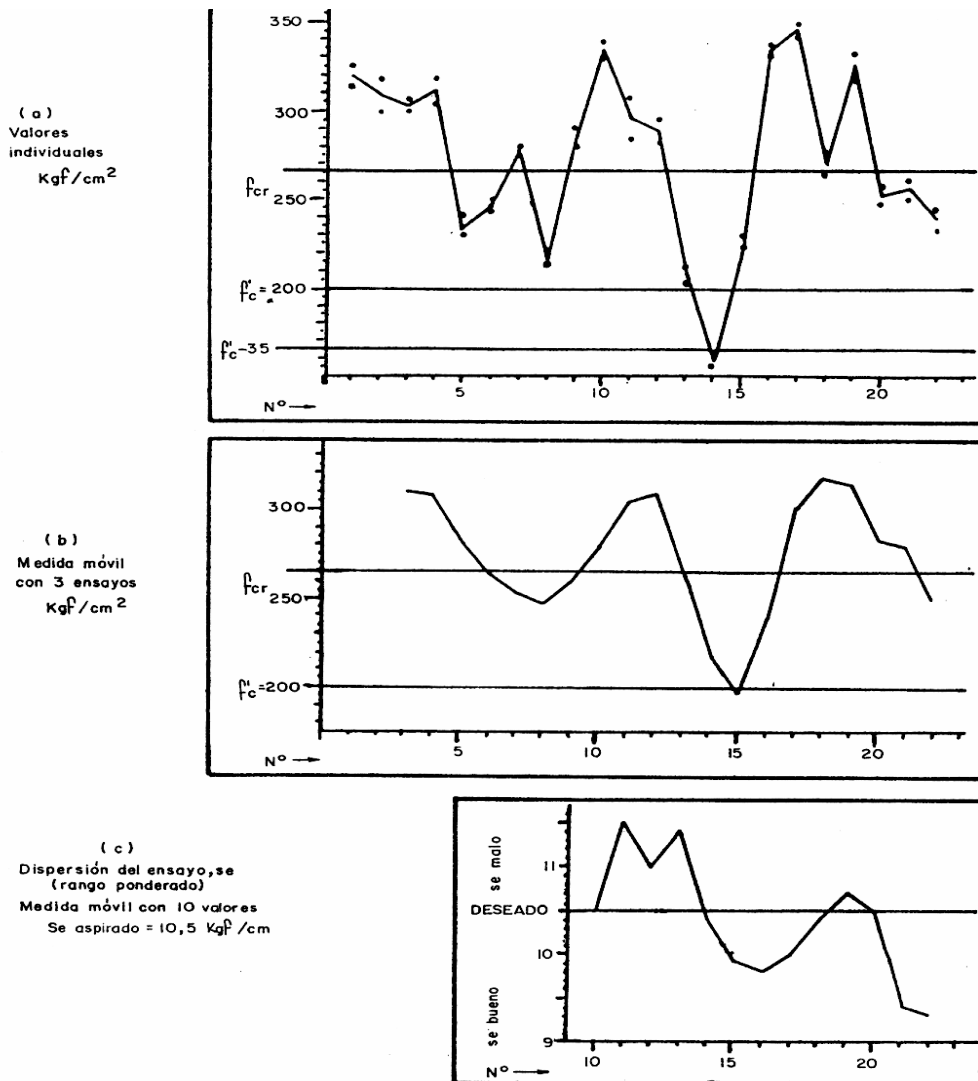


Figura 4 Representaciones gráficas (\bar{x} conocida = 40 Kgf/cm²)

8 EVALUACIÓN DEL CONCRETO COLOCADO

En algunas circunstancias es necesario determinar la calidad del concreto cuando ya está colocado y endurecido. En la mayoría de los casos, las averiguaciones de este tipo suelen estar ligadas a situaciones conflictivas, por vicios o por daños supuestos. Por lo general, esta necesidad se motiva debido a dos causas fundamentales:

- Cuando el control de calidad del concreto colocado en una obra nueva arroja resultados inferiores a la resistencia especificada F_c o cuando se presentan dudas acerca de la veracidad de dichos resultados, o sobre el proceso de colocación.
- Cuando se requiere conocer la calidad del concreto de una obra existente, bien sea por la falta de información sobre sus características o condiciones, por posibles vicios de construcción, en los casos de deterioro mecánico o químico, o en los casos de adecuaciones sismorresistentes, reparaciones, refuerzos, ampliaciones o modificaciones de la edificación original.

Desde el punto de vista normativo, el único ensayo que tiene límites especificados es el de los núcleos. Pero en la práctica se cuenta con otros muchos ensayos que, bien ejecutados e interpretados por especialistas, permiten conocer la calidad del material con un alto grado de confianza. Hay observaciones visuales, pruebas físicas o mecánicas y pruebas químicas.

En la presente Norma se describen los ensayos más comunes para estos fines. Los ensayos no destructivos, si bien se suelen hacer mayoritariamente en casos de duda sobre la calidad del concreto ya colocado, están ganando aceptación, poco a poco, como pruebas orientadoras para importantes acciones y decisiones en obra, que facilitan su ejecución y buena marcha. Estos ensayos, para aportar información aceptable, requieren una planificación y ejecución adecuadas y ser realizados por personal especializado.

Ensayos que se hacen con otra finalidad o por otras causas, como pueden ser los químicos en caso de incendio o en caso de corrosión, no se tratarán en este texto.

8.1 Núcleos

Los núcleos (core-drill), son probetas cilíndricas cortadas y extraídas de la masa de concreto endurecido. Para ello se usan brocas tubulares de pared delgada y de distintos diámetros, acopladas a un motor que las hace girar sobre su propio eje. Para cortar el concreto, las brocas disponen de una corona de diamantes industriales en su extremo, la cual generalmente se refrigera mediante flujo de agua. El procedimiento es relativamente lento y costoso, por lo que en la planificación de la investigación, se debe procurar tomar el menor número posible de núcleos.

Para la extracción y ensayo de los núcleos se debe seguir la Norma Venezolana COVENIN 345, "Método para la extracción de probetas cilíndricas de concreto endurecido". Es importante tener en cuenta las siguientes consideraciones: el número mínimo de núcleos a extraer en cada zona dudosa a estudiar es de tres; se debe escoger en esa zona, la región que menos afecte la capacidad resistente; se debe evitar cortar los aceros de refuerzo. El diámetro de la broca depende del tamaño máximo del agregado empleado. Para diámetros menores a 7,50 cm existen ciertas correcciones en los resultados y ofrecen poca confiabilidad y grandes dispersiones. Las brocas más frecuentemente empleadas son las de 7,50 cm y 10,00 cm. La oquedad dejada por el núcleo al ser extraído del elemento estructural, deberá ser reparada convenientemente mediante una meticulosa limpieza del orificio, impregnación con adherente epóxico y el posterior relleno con mortero de cemento no contráctil o mortero epóxico.

El concreto de los núcleos extraídos no coincide exactamente en su comportamiento con el concreto de las probetas normativas ensayadas en el laboratorio, debido a varias razones entre las cuales destacan los diferentes procesos en la compactación y curado del material, en el procedimiento de obtención de las probetas (cortadas versus moldeadas) en la edad del concreto al momento de los ensayos, entre otras. Las normas consideran que ambos especímenes (núcleos vs. cilindros) no son equivalentes y establecen criterios para la aceptación o el rechazo. Para que estos criterios sean aplicables a los resultados de los núcleos, su ensayo debe ceñirse estrictamente a la citada Norma Venezolana COVENIN 345.

Para el manejo de los datos de los ensayos de los núcleos, se deben aplicar los siguientes principios:

a) La media móvil de cada tres núcleos consecutivos no debe ser inferior al 85% de la resistencia característica. Esta es una de las razones para tomar tres núcleos o más. Es una medida de prudencia tomar la media de los tres de menor resistencia en cada zona.

$$\bar{N}_3 \geq 0,85 F_c \quad (8-1)$$

b) Ninguno de los núcleos debe tener una resistencia por debajo del 75% de la resistencia característica.

$$N_i \geq 0,75 F_c \quad (8-2) \quad \text{Ambos principios son de cumplimiento simultáneo y obligatorio.}$$

COVENIN 1976:2003

Para la interpretación de los resultados, la norma no es totalmente explícita, pero es perfectamente válido aprovechar los principios señalados anteriormente para relacionar los datos del ensayo con la supuesta resistencia del concreto colocado, a través de las siguientes expresiones:

$$F_c = \bar{N}_3 / 0,85 \quad F_c = N_i / 0,75 \quad (8-3) \quad \text{tomando como estimado el menor valor } F_c \text{ obtenido}$$

La toma, ensayo o interpretación de los resultados de los núcleos, requiere una gran fidelidad al procedimiento normativo y un experimentado conocimiento de toda la tecnología involucrada, ya que se sabe que, para una misma zona de una misma pieza estructural, puede haber diferencias en los resultados, de acuerdo a que el núcleo haya sido vertical u horizontal o que el concreto sea de alta o de baja resistencia o que el daño posible de la broca sobre el cilindro extraído provenga de haber usado un diámetro pequeño o una inadecuada fijación del equipo perforador, etc. En los casos de duda de la calidad del concreto en una obra, la decisión de tomar núcleos debe corresponder a profesionales concedores y la contratación de su realización e interpretación debe estar en manos de expertos.

8.2 Ultrasonido

Este ensayo consiste en medir el tiempo que tarda un impulso ultrasónico en atravesar la masa del concreto que se está investigando. En cierto modo se está midiendo el módulo de elasticidad dinámico del concreto el cual, parcialmente, se relaciona con la resistencia mecánica del material.

La técnica más común y confiable es la medición directa que consiste en colocar el emisor y el receptor enfrentados en dos caras opuestas del elemento a estudiar. Ambos terminales deben establecer un buen contacto con la superficie del concreto, evitando vacíos intermedios donde resulta muy baja la Velocidad de propagación. Para lograr ese buen contacto se les unta a los terminales una capa de grasa especial. Ambos terminales están conectados a un aparato que, por interferencia electrónica, indica el tiempo de tránsito del pulso ultrasónico (t) entre la salida y la llegada de la onda. Conocida la distancia (L) entre ambos puntos de medición, se obtiene la velocidad característica (L/t) del concreto en esa zona, expresada en Km/s, o en m/s. A mayor velocidad, mayor módulo de elasticidad y mayor resistencia.

Para que los resultados del ensayo de la velocidad del pulso ultrasónico sean confiables, se deben cuidar los siguientes aspectos:

- El aparato de ensayo debe estar estrictamente calibrado y usarse en la correspondiente escala de apreciación. El equipo se suministra con una barra que hace las veces de patrón de referencia.
- Los terminales deben estar en perfecta oposición. Para lograr eso es bueno mantener fijo un terminal y mover ligeramente el opuesto, hasta determinar la lectura mínima. La medición de la distancia entre terminales (L) debe realizarse con precisión al milímetro.
- Se debe evitar, en lo posible, la presencia del acero de refuerzo en la línea entre los terminales. Por eso es bueno contar previamente con los planos de detalle estructural o con equipos electromagnéticos especiales para detectar la ubicación de las armaduras, conocidos como pachómetros.
- Se debe tener alguna idea del estado de humedad del concreto, ya que ella favorece la velocidad de transmisión.

Los valores de velocidad de pulso ultrasónico no deben convertirse directamente, y de una manera general, en resistencia mecánica del concreto. Sin embargo, estudios detallados de correlación entre resultados de ultrasonido y resultados de probetas normativas o núcleos, representativos del mismo concreto que se está evaluando, pueden autorizar el uso de esas velocidades para estimar la calidad del concreto en otras partes de la misma obra. Al final de este Capítulo se informa sobre esa posibilidad.

Otro uso del ensayo ultrasónico es la detección de posibles defectos internos del concreto, tales como grietas de tamaño importante o macrohuecos.

Igualmente útil es el empleo del ultrasonido para delimitar zonas de una estructura donde el concreto sea homogéneo en términos de velocidad de propagación. Para cumplir esta condición se acepta que la desviación estándar de la velocidad medida sea inferior a 110 m/seg. $S_{vel} \leq 110 \text{ m/s}$

Cada zona podrá ser comparada, en términos de velocidad de propagación, con otra previamente aceptada, en función de la resistencia normativa obtenida por resultados de cilindros o núcleos.

En casos especiales se pueden utilizar otras posiciones de los terminales para el ensayo de ultrasonido: La transmisión semi-directa, cuando los terminales se colocan sobre caras adyacentes de un elemento (superficies en esquina), siempre que mantengan constante la distancia entre los puntos de contacto; y la transmisión indirecta, cuando se colocan sobre el plano de una misma cara. Estas posiciones son útiles para detectar alguna posible falla interna o cercana a la superficie como grietas, delaminaciones, daños por incendio, etc.

8.3 Ubicación del acero de refuerzo

Tanto la extracción de núcleos como la medida ultrasónica requieren evitar lo más posible coincidir con la posición de los aceros de refuerzo, por lo cual es conveniente conocer la ubicación de las armaduras dentro del elemento en estudio. Para ello se emplean equipos denominados magnetómetros o pachómetros, cuyo principio se basa en registrar la alteración de la corriente eléctrica que circula entre dos polos magnéticos, ante la cercanía de un metal.

Estos equipos tienen sensibilidad no sólo sobre la cantidad de metal, sino sobre su dirección, lo cual permite dibujar sobre la superficie del elemento estructural la ubicación y disposición de las armaduras. Existen equipos modernos digitales que permiten también definir el diámetro de las barras o el espesor de recubrimiento, no obstante la precisión es muy limitada.

8.4 Esclerómetro

El esclerómetro o martillo de Schmidt es un aparato que mide la magnitud del rebote de cierta masa de acero que se hace golpear sobre la superficie del concreto. El golpe se produce al liberar la energía de un resorte que impulsa la masa metálica sobre el concreto. El resorte se dispara cuando la presión que ejerce el operador con el aparato sobre la superficie de concreto, llega al punto conveniente. El rebote es medido en una escala graduada, siendo evidente, en general, que a mayor rebote mayor dureza superficial.

El aparato debe colocarse siempre perpendicular a la superficie del concreto y presionarse firme y lentamente hasta lograr el disparo del resorte. El valor del rebote o rechazo, conocido como Índice Esclerométrico, está influido por varias circunstancias. El ángulo que forma el aparato con la horizontal afecta la magnitud del rebote debido a la influencia de la aceleración de la gravedad; por ello el fabricante del equipo ha colocado en el aparato un gráfico con claras instrucciones para la corrección, incluyendo los casos de ejes inclinados.

Otras circunstancias que afectan la magnitud del rebote son de índole particular, como lo fortuito de aplicar el aparato sobre un punto donde se encuentra un poro importante de la masa, con lo cual el rebote dará un resultado poco representativo. O si el disparo es hecho en un punto inmediatamente encima de un grano grueso de piedra o de un refuerzo metálico con muy escaso recubrimiento; tampoco en esos casos el rebote será representativo. Por estas razones, los manuales de uso del esclerómetro permiten, del conjunto de disparos para cada zona, descartar aquellos que se vean notablemente superiores o inferiores al promedio.

Cuando el esclerómetro se usa sobre superficies de elementos de concreto que ya han cumplido una cierta edad expuestas al medio ambiente, se señala en los manuales de uso la necesidad de raspar esa superficie con un esmeril, para eliminar en esa forma la "costra" que sobre el concreto se ha producido por el fenómeno de carbonatación.

El ensayo esclerométrico puede ser considerado como un valioso auxiliar dentro de un plan general de mediciones, pero en sí mismo no puede ser relacionado con la resistencia del concreto, por lo cual no se permitirá utilizar como único ensayo para evaluar cuantitativamente la calidad del concreto endurecido. Para ello se requeriría una minuciosa calibración por correlación contra el concreto que se desea evaluar, correlación no siempre fácil de lograr por las altas dispersiones que produce el esclerómetro.



ESCLERÓMETRO



ULTRASONIDO



NÚCLEOS

Figura 5 – Tipos de Ensayos

8.5 Plan de evaluación

Para determinar la capacidad resistente de las diversas partes de una estructura o de toda una edificación, se debe comenzar con una detallada y bien planificada inspección visual en la cual, con documentación escrita y gráfica se hagan evidentes los defectos más importantes y se señalen las áreas más afectadas, si es el caso.

La acción siguiente consiste en realizar un conjunto de ensayos en forma escalonada. Se deben iniciar con el esclerómetro, dada la rapidez y la sencillez de su manejo. Se hacen numerosas medidas abarcando la mayor proporción de toda la gama de posibles variaciones en la calidad del concreto presente.

De acuerdo a los resultados del índice esclerométrico, las partes estudiadas se deben clasificar en niveles de calidades, estableciendo categorías, separadas entre sí de acuerdo a rangos del índice esclerométrico que se determinen. Sobre este nuevo mapa de calidades se puede proceder más convenientemente a las exploraciones con núcleos y ultrasonidos. Parece lógico comenzar con medidas ultrasónicas, más rápidas y de menor daño estructural. La extracción de núcleos quedaría concentrada a explorar puntualmente estas distintas categorías establecidas con el esclerómetro y el ultrasonido, con lo cual se logra una muestra altamente representativa.

A veces un mismo elemento estructural tiene diferencias de calidad entre sus diversas partes.

La extracción de núcleos se debe hacer en las áreas decididas por la planificación previa. Es lógico extraer, al menos, tres núcleos de las zonas que esclerometría y ultrasonido hayan estimado como de menor calidad. Algunos textos sobre patología recomiendan obtener, además, tres núcleos de la zona intermedia y tres de la mejor. El especialista que dirija el equipo de profesionales dedicado a atender la globalidad del estudio, estará en condiciones de ponderar el número y tipo de ensayos, en función de la importancia de la obra y de la capacidad presupuestaria.

Se calcula el promedio de resistencia de cada grupo de núcleos (\bar{N}), así como el de cada grupo de mediciones ultrasónicas (\bar{V}). Para el caso del ultrasonido, por ejemplo, la ecuación es:

$$R = b \cdot \bar{V}^m \quad (8-4)$$

donde los valores b, m, constantes particulares para ese concreto, se deben establecer por mínimos cuadrados. Si el proceso de evaluación fue adecuadamente ejecutado, los coeficientes de correlación estadística no deben ser inferiores al 95%. Con ese grado de precisión es posible estimar, con bastante seguridad, las resistencias de cualquier zona o parte de un elemento que haya sido evaluado por ultrasonido. En lugar de la ecuación puede trabajarse directamente con la gráfica experimental que relaciona la resistencia con la velocidad.

Mediante estos planteamientos es posible realizar una evaluación precisa y confiable de las estructuras, si bien debemos reconocer que a veces se presentan situaciones especiales que se salen del esquema general indicado. Profesionales de la patología estructural, de reconocida trayectoria y experiencia, estarán en condiciones de aportar ideas para resolver esos puntos específicos.

BIBLIOGRAFÍA

American Concrete Institute. ACI Standard "Recommended Practice for Evaluation of Test Results of Concrete" (ACI 214-77)".

Calavera, J. "Patología de Estructuras de Hormigón Armado y Pretensado". INTEMAC, Madrid, España, 1996.

Fernández C., M. "Patología y Terapéutica del Hormigón Armado". 3ª Edición. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos; Madrid, España, 1994.

Grases, J. y Ramos, C. "Principios de estadística". Curso de materiales y ensayos. Instituto De Materiales Y Modelos Estructurales. Facultad de Ingeniería. Universidad Central de Venezuela, 1972.

Murray R. Spiegel. "Teoría y Problemas de Estadística". Serie de Compendios SCHAUM. Mc Graw - Hill de México, 1970.

Porrero, J. "Complemento a los apuntes de estadística". Idem referencia anterior. 1978.

American Society For Testing And Materials. "Statistical Methods". Part 41, Annual book of ASTM Standards, 1978.

Porrero, J. "Análisis crítico de los estándares del American Concrete Institute (ACI) para el control de calidad del concreto. Boletín IMME, N° 66. 1^{er} Semestre 1981.

Porrero, J.; Salas J., R.; Ramos, C.; Grases, J. Y Velazco, G. "Manual del Concreto". SIDETUR, Caracas, 1996.

DESCRIPTORES: Concreto, diseño del concreto, evaluación del concreto, resistencia del concreto, estadística aplicada al concreto, Núcleos, Ondas Ultrasónicas, Esclerómetro.

Participaron en la revisión de esta norma: Acosta, Mario; Águila, Idalberto; Beauperthuy, José Luis; Camacho, Nelson; Castorina, Alessandro; Delgado, José; Donadi, Lucio; Maniscalco, Agatino; Marcano, Marilina; Montoya, Francisco; Pimentel, Angelo; Pérez R., Hernán; Santana, Matías.

Entidades que participaron en la revisión de esta Norma: AVECRETO; BRS Ingenieros, Cámara Venezolana de la Construcción, Cementos Caribe, Cemex Venezuela, Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción, LAFARGE Venezuela, Lasueconaf, MINFRA, Nueva Casarapa, UCAB, UCV, VIPOSA.

**COVENIN
1976:2003**

**CATEGORÍA
D**

FONDONORMA
Av. Andrés Bello Edif. Torre Fondo Común Pisos 11 y 12
Telf. 575.41.11 Fax: 574.13.12
CARACAS

publicación de: 
FONDONORMA

Depósito Legal: If55520036911771
ICS: 19.020; 91.100.30

RESERVADOS TODOS LOS DERECHOS
Prohibida la reproducción total o parcial, por cualquier medio.

Descriptores: Concreto, evaluación del concreto; método de ensayo del concreto; tecnología del concreto; diseño del concreto; estadística aplicada al concreto; núcleos; ondas ultrasónicas; esclerómetro.

© FONDONORMA 2003