

DECISIONES DERIVADAS DEL CONTROL DE CALIDAD

ROSARIO MARTÍNEZ LEBRUSANT

DRA. CIENCIAS QUÍMICAS

INSTITUTO ESPAÑOL DEL CEMENTO Y SUS APLICACIONES (IECA)

JUAN CARLOS LÓPEZ AGÜÍ

DR. INGENIERO DE CAMINOS

INSTITUTO ESPAÑOL DEL CEMENTO Y SUS APLICACIONES (IECA)

MANUEL BURÓN MAESTRO

DR. INGENIERO DE CAMINOS

INSTITUTO ESPAÑOL DEL CEMENTO Y SUS APLICACIONES (IECA)

El trabajo expone los conceptos básicos del control de calidad del hormigón en el proceso productivo y durante su suministro, de los criterios de aceptación y de la interpretación correcta de los resultados puntuales cuyo valor es inferior al especificado. Todo ello relacionado con la fiabilidad de la estructura controlada, con la posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido y con la influencia de las condiciones en que se realizan los ensayos, representados por los parámetros de repetibilidad y sesgo.

1. Aspectos generales

El conocimiento de la resistencia a compresión del hormigón lo obtenemos a través de la observación realizada mediante ensayos y del análisis estadístico de los resultados obtenidos en dichos ensayos. Tal conocimiento lo expresamos en el valor de la resistencia a compresión estimada (f_{est}) que obtenemos aplicando una formulación, deducida del análisis estadístico, en la que intervienen los

estadísticos muestrales (\bar{x} , s) como estimadores de los parámetros de la población (μ , σ).

No obstante, la redacción de la EHE no es en ocasiones demasiado precisa y puede hacer referencia a σ cuando se refiere a s . σ es un parámetro poblacional desconocido que estimaremos a partir del estadístico muestral s (valor de la desviación típica de la muestra formada por n resultados) conforme a la formulación siguiente:



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

donde:

x_i = valor obtenido en cada uno de los ensayos realizados

n = número total de resultados de los ensayos realizados = N = número de las amasadas ensayadas

Los parámetros estadísticos muestrales dependen del tamaño de la muestra n ; cuando aumenta n mejora el conocimiento estadístico y por ello se debe establecer un número mínimo de ensayos a considerar para calcular estos parámetros \bar{x} y s .

El valor de n empleado para obtener los valores de los estadísticos suele ser, en el caso del hormigón:

$n = N = 35$ para la obtención de (s)

$n = N \geq 15$ para la obtención de (\bar{x})

La calidad del proceso productivo se suele relacionar con la homogeneidad de la producción y está vinculada al valor de s . Por ello el conocimiento de s es previo y necesario para conocer la resistencia a compresión estimada del hormigón fabricado y, por ello, se obtiene con los $n = N = 35$ primeros resultados obtenidos.

Cuando, en las fases iniciales de la fabricación del hormigón, es necesario conocer la resistencia a compresión estimada de dicho hormigón, se puede obtener el valor de s a partir de $N = 15$ resultados y utilizar, para su aplicación, la formulación estadística correspondiente a dicha aplicación.

En general:

$N = 15$ para obtener \bar{x} en series suficientes

$N = 35$ para obtener \bar{x} en series largas

$N = 35$ para obtener s en series que resultan suficientes y largas. Este valor de s suele denominarse s_{35}

Valores de s pequeños corresponden a producciones de hormigón muy uniformes. En un hormigón muy uniforme todos los resultados posibles de obtener al realizar ensayos sobre él, serán valores muy parecidos y poco dispersos, en consecuencia muy parecidos al valor medio (\bar{x}).

Por el contrario, valores de s grandes corresponden a producciones muy poco uniformes, lo que dan lugar a obtener resultados con valores muy dispares y dispersos, muy diferentes del valor medio (\bar{x}).

El "criterio de aceptación", entendido como la regla por la que un código se pronuncia sobre la aceptabilidad de un lote de hormigón en base a los resultados de una muestra, establece que la resistencia estimada sea igual o superior al valor de la resistencia característica a compresión especificada (f_{ck}).

La Instrucción EHE-08 (1) establece, como control estadístico de la resistencia del hormigón durante el suministro, los siguientes criterios de aceptación:

Caso de control estadístico	Criterio de aceptación	Observaciones
Control de Identificación		
1	$x_i \geq f_{ck}$	
control de recepción		
2	$f_{est} = \bar{x} - k_2 r_N$	
3	$f_{est} = x_{(1)} - k_3 s_{35}^*$	Apartir de la amasada 37 ^a A las amasadas anteriores a la 37 ^a , se les aplicará el criterio nº2

donde:

- x_i cada uno de los valores medios obtenidos para cada una de las amasadas
- \bar{x} valor medio de los resultados obtenidos en las N amasadas ensayadas
- r_N valor del recorrido muestral definido como la diferencia entre el valor máximo $x_{(N)}$ y mínimo $x_{(1)}$ de los resultados de las N amasadas
- s_{35}^* valor de la desviación típica muestral, correspondiente a las últimas 35 amasadas
- K_2 y K_3 coeficientes que varían según el número de amasadas controladas

En el caso de hormigones en posesión de un distintivo de calidad oficialmente reconocido con nivel de garantía conforme al apartado 5.1 del Anejo nº 19 de la EHE-08 (caso 1), el control de la conformidad de la resistencia del hormigón en obra, debe entenderse como un control de identificación en el que cada uno de los valores medios obtenidos para cada una de las amasadas (x_i) debe ser superior al valor de la resistencia especificada f_{ck} .

Esta Instrucción establece que este distintivo de calidad debe garantizar que el riesgo del consumidor, entendido como la probabilidad de aceptación de un hormigón estricto ($\theta_{LQ} = 5\%$, fracción subnominal correspondiente a la calidad límite), debe ser inferior al 45% para la resistencia especificada del hormigón, lo que corresponde a rebajar este riesgo del 50%, para un hormigón sin distintivo de calidad, al 45%.

Los casos 2 y 3 corresponden a hormigones sin distintivo siendo en este último caso, los hormigones fabricados de forma continua en central de obra o suministrados de forma continua por la misma central de hormigón preparado.

2. Primeras consideraciones

El conocimiento de tipo estadístico que tenemos de la resistencia del hormigón invita a reflexionar sobre algunos aspectos del mismo.

Criterios a tener en cuenta por el productor en relación a la resistencia media, desviación típica, coeficiente de variación y resistencia característica a compresión especificada

El coeficiente de variación de la muestra sobre la que trabajamos (v) se deduce y, a la vez, relaciona los estimadores muestrales \bar{x} y s a través de la fórmula:

$$v = \frac{s}{\bar{x}}$$

En la práctica, en el caso de un hormigón certificado con Distintivo Oficialmente Reconocido de mayor nivel de garantía para el usuario conforme a la EHE-08, el organismo certificador establece los criterios de aceptación en base a un lote estricto (fracción subnominal, $\theta = 5\%$), a un riesgo del consumidor y teniendo en cuenta la desviación o el coeficiente de variación. De la misma manera, el fabricante establece sus consignas de fabricación en base a la resistencia media y a la desviación mediante un criterio que le proporcione, con el menor riesgo, la conformidad de su producción:

$$\bar{x} - k_p \sigma \geq f_{ck}$$

siendo k_p la constante de aceptabilidad vinculada a un riesgo del consumidor del 45%, que toma el valor de 1,665 para 35 resultados o el valor de 1,677 para 15 resultados (2), y σ la desviación poblacional estimada a partir de la desviación muestral s .

Esta fórmula, para el caso de 35 resultados, también puede escribirse en la forma:

$$\bar{x} (1 - 1'665 v) \geq f_{ck}$$

Del análisis de estas expresiones se deduce que puede existir un hormigón que, con independencia de la calidad de su producción (empleando aquí el término calidad como expresión de homogeneidad o uniformidad) medida por el valor s , sea conforme siempre que presente un valor medio de la resistencia (\bar{x}) suficientemente alto.

No obstante, la fiabilidad estructural crece más cuanto menor sea la dispersión de los resultados obtenida en los ensayos, es decir cuanto menor sea el valor de σ (obtenido a través de s). Los modelos matemáticos de fiabilidad estructural empleados para la calibración de los coeficientes de seguridad son sensibles al valor σ , por ello cuando, en función de la calidad del hormigón se reduce el coeficiente que minorra la resistencia del material, se necesita controlar que el valor σ es inferior a un valor predeterminado.

Este control del valor de σ equivale a controlar el valor de v . El valor especificado en la EHE para un hormigón con una $f_{ck} = 25$ MPa es $v \leq 0'11$ lo que equivale a decir que se debe controlar una relación determinada entre el valor σ y el valor \bar{x} .

Por otra parte, la consideración de que el "criterio de aceptación" expresado conlleva, en el caso de cumplimiento estricto, una probabilidad de aceptación del 45% para el consumidor, hace que ningún productor de hormigón conciba la dosificación del hormigón que fabrica con la fórmula anteriormente citada.

Es decir, nadie produce hormigón para que $\bar{x} - 1'665 \sigma = f_{ck}$, las dosificaciones se concretan para que $\bar{x} - k \sigma = f_{ck}$

donde:

$k =$ coeficiente de cobertura $\geq 1'665$

Variando el valor de k se obtienen diferentes probabilidades de aceptación y el productor de hormigón elige la dosificación que considera más conveniente.

Una receta, o consigna, muy usual es diseñar la dosificación con un valor $k = 2$, es decir $\bar{x} - 2 \sigma = f_{ck}$ que se utiliza en la forma $\bar{x} = f_{ck} + 2 \sigma$ ya que el productor conoce y controla el valor de la desviación (σ estimada a partir de s) de su producción y trata de obtener un valor medio (\bar{x}) suficiente para obtener un hormigón conforme.

Para dejar claro que nos referimos a un hormigón concreto añadimos el subíndice (a):

$$\bar{x}_{(a)} - 2 \sigma_{(a)} = f_{ck}$$

Si este hormigón (a) debe cumplir que $v_{(a)} \leq 0'11$ ocurrirá que

$$\frac{\sigma_{(a)}}{\bar{x}_{(a)}} \leq 0'11$$

Por lo tanto cuando se quiere relacionar la calidad, o uniformidad, de la producción con la resistencia especificada (f_{ck}), mediante la limitación del valor de (σ), es necesario conocer el valor medio (\bar{x}) aceptable, ya que no existe una relación directa entre (σ) y (f_{ck}) en la que no intervenga el valor (\bar{x}).

Por ejemplo, para un hormigón H-25, la limitación de $\sigma \leq 3'60$ MPa y la limitación de $v \leq 0'11$ es coherente con un valor medio

$$\bar{x} = \frac{3'60}{0'11} = 32'73 \text{ MPa}$$

que coincide, sensiblemente, con el valor correspondiente a la receta que emplea $K = 2$

$$\bar{x} = 25 + 2 \cdot 3,60 = 32,20 \text{ MPa}$$

El empleo de un coeficiente de cobertura $K = 2$ es muy frecuente porque un hormigón diseñado con el criterio $\bar{x}_{(a)} = f_{ck} + 2 \sigma_{(a)}$ cuando después de obtener sobre él $N = 15$ resultados de ensayos y aplicar el criterio de aceptación:

$$\bar{x}_{(a)} - 1'665 \sigma_{(a)} \geq f_{ck}$$

la Probabilidad de Aceptación de este hormigón es del orden del 90% y si se actúa de la misma manera pero se utilizan los resultados de $N = 35$ ensayos, dicha probabilidad de aceptación se eleva al 97%.

Una buena herramienta para conocer la probabilidad de aceptación de un hormigón al que se le aplica un criterio de aceptación es la "Simulación de Monte Carlo" (3). El empleo de este método permite, con el auxilio de los ordenadores, visualizar una realidad simulada que reproduce los diferentes resultados que se pueden obtener como consecuencia de la realización de ensayos sobre un determinado hormigón definido por la pareja de valores (\bar{x}, σ) . Este método permite simular independientemente estos valores pudiendo incluso realizar la simulación con distinto número de resultados para \bar{x}_{N1} y s_{N2} .

En el caso del ejemplo anterior, para un hormigón H-25 con las características indicadas, las probabilidades de aceptación (P_A), los valores medios, mínimo y máximo estimados para f_{est} , todos ellos conforme al criterio $f_{est} = \bar{x} - k_p \sigma \geq f_{ck}$ son los reflejados a continuación:

$$\begin{aligned} f_{cm} &= 32,7 \text{ MPa} \\ \sigma &= 3,60 \text{ MPa} \\ v &= 11,0\% \\ \theta &= 1,6\% \text{ (fracción subnominal)} \\ k_p &= 1,665 \text{ (N = 35)} \\ k_p &= 1,677 \text{ (N = 15)} \end{aligned}$$

la fracción subnominal es el porcentaje de la población que presenta valores de la resistencia a compresión inferior a la resistencia característica especificada f_{ck} .

N_1	N_2	P_A	f_{est}	$f_{est \text{ max}}$	$f_{est \text{ min}}$
x_{35}	σ	~99,8%	26,7	29,1	24,2
x_{15}	s_{15}	~89%	26,8	31,9	20,8
x_{15}	s_{35}	~93%	26,8	30,9	21,7
x_{35}	s_{35}	~96,5%	26,8	30,0	23,1

Como podemos observar, obtener más resultados mejora el conocimiento estadístico y, por tanto, eleva la probabilidad

de aceptación (P_A) hasta aproximadamente 96,5%, valor muy aceptable teniendo en cuenta que si conociéramos la desviación poblacional real σ , obtendríamos una $P_A = 99,8\%$. Esta es la razón de que los parámetros fundamentales para el conocimiento del hormigón (\bar{x}, σ) tiendan a establecerse a partir de $N = 35$ resultados de ensayos. También es la razón de que el autocontrol, o control de la producción, se realice sobre $N = 35$ resultados, lo que, sin duda, mejora el conocimiento del hormigón producido.

Criterios a tener en cuenta en el suministro. Valores máximo y mínimo posibles

Supongamos un productor que diseña la dosificación de un hormigón conforme H-25 con un coeficiente de cobertura $k = 2,2$ lo que da lugar a:

$$\begin{aligned} f_{cm} &= 32,9 \text{ MPa} \\ \sigma &= 3,60 \text{ MPa} \\ v &= 10,9\% \\ \theta &= 1,4\% \text{ (fracción subnominal)} \end{aligned}$$

la probabilidades de aceptación P_A del hormigón suministrado, los valores medios, mínimo y máximo para f_{est} estimados mediante Simulación de Montecarlo (3), teniendo en cuenta los tres casos que recoge la EHE-08, son los obtenidos a continuación:

	P_A	f_{est}	$f_{est \text{ max}}$	$f_{est \text{ min}}$	Observaciones
CASO 1	98,4%	32,9	45,5	18,8	
CASO 2	68,8%	26,7	38,4	9,3	N=3 $k_2=1,02$
CASO 3	78,7%	26,8	34,4	14,9	N=6 $k_3=0,43$

la simulación permite constatar que en el hormigón conforme H-25 antes producido pueden darse valores medios (f_{est}), mínimo ($f_{est \text{ min}}$) y máximo ($f_{est \text{ max}}$), en concreto para los casos 2 y 3, muy alarmantes. Es decir se pueden presentar resultados de f_{est} entre el valor mínimo de 9,3 MPa y el valor máximo de 38,4 MPa para el caso 2 (hormigón sin distintivo de calidad).

No obstante, incluso en el caso de tratarse de un hormigón certificado con distintivo de calidad reconocido de mayor nivel de garantía para el usuario, se pueden presentar resul-

tados de ensayos entre el valor mínimo $x_{\min} = 18,8$ MPa y el valor máximo $x_{\max} = 45,5$ MPa. Por tanto, obtener resultados puntuales con valor $x_i \leq 25$ MPa no quiere decir, necesariamente, que el hormigón no sea conforme ya que dichos valores puntuales pueden formar parte de la población de resultados correspondiente a un hormigón conforme.

Cuando se obtiene un valor puntual $x_i \leq f_{ck}$ y se conoce suficientemente bien el hormigón en cuestión, es decir, se conoce el valor de su desviación (σ a través de s_{35}) y un conjunto de resultados N , siendo $N \geq 15$, procede incorporar el valor x_i al conjunto de resultados conocidos y al conjunto de resultados así obtenido, que ahora será de $N \geq (15 + 1)$, aplicar el "criterio de aceptación" que corresponda, en nuestro caso:

$$\bar{x} - 1'665 \sigma \geq f_{ck}$$

donde:

\bar{x} = valor medio de los $N \geq (15 + 1)$ resultados

σ = valor de la desviación típica conocida (s) obtenida previamente con $N = 35$ resultados

La base del conocimiento del hormigón es el control de producción o autocontrol en el que con $N \geq 35$ resultados se determina el valor de σ y el valor de \bar{x} que caracterizan la producción de dicho hormigón.

Si la aplicación del "criterio de aceptación", teniendo en cuenta el valor de $x_i \leq f_{ck}$, es conforme, el hormigón al que pertenece dicho valor puntual también es conforme.

3. Condiciones en las que se realizan los ensayos

Las condiciones en las que se realizan los ensayos no son exactamente iguales en todos los laboratorios en los que se obtienen los resultados de los ensayos realizados.

La diferencia de estas condiciones, que se refieren al procedimiento, a los aparatos y al personal que realiza dichos ensayos, hace que el mismo hormigón pueda dar resultados diferentes cuando es ensayado en laboratorios diferentes, a pesar de que ambos laboratorios realicen los ensayos de modo totalmente correcto.

Suponiendo que conociéramos el valor medio (\bar{x}) de un hormigón, al ser ensayado este hormigón por un laboratorio obtendremos un valor \bar{x}_L diferente de \bar{x} .

La diferencia ($\bar{x}_L - \bar{x}$) es denominada sesgo del laboratorio y es una diferencia sistemática y propia de dicho laboratorio.

El parámetro de repetibilidad que tiene que ver con la dispersión de los resultados de un mismo laboratorio ensayando el mismo hormigón y en las mismas condiciones, incrementa el valor de la desviación típica (σ) del propio hormigón, de modo que dicho valor (σ) siempre es el resultado de ambas desviaciones típicas, la propia del hormigón y la propia del laboratorio, de modo que

$$\sigma_{\text{observada}} = \sqrt{\sigma_{\text{propia del hormigón}}^2 + \sigma_{\text{propia del laboratorio}}^2} = \sigma_{\text{atribuida al hormigón}}$$

El valor de este parámetro no interviene en la diferencia de los valores medios (\bar{x}) obtenidos por dos diferentes laboratorios, a la que se ha denominado "Diferencia entre laboratorios".

Supongamos un hormigón H-25 con las siguientes características:

$$f_{cm} = 32,7 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{propia del hormigón}} = 3,60 \text{ MPa}$$

$$v_{\text{propio del hormigón}} = 11,0\%$$

$$\theta = 1,6\% \text{ (fracción subnominal)}$$

ensayado por distintos laboratorios con diferentes sesgos y desviaciones de repetibilidad, da lugar a distintas correcciones en sus características de tal manera que se ve alterada su probabilidad de aceptación.

En el siguiente cuadro se recogen los valores de la resistencia media corregida por el sesgo del laboratorio ($f_{cm, \text{corr}}$), la desviación observada ($\sigma_{\text{observada}}$) calculada teniendo en cuenta la propia del laboratorio y el coeficiente de variación observado (v_{corr}), a partir de los cuales se obtienen las probabilidades de aceptación P_A del hormigón suministrado, estimadas mediante Simulación de Monte Carlo, teniendo en cuenta el criterio $f_{\text{est}} = \bar{x} - k_{\beta} \sigma \geq f_{ck}$ ($k_{\beta} = 1,665$ para $N = 35$ y $k_{\beta} = 1,677$ para $N = 15$).

	LAB. 0	LAB. 1	LAB. 2	LAB. 3	LAB. 4
SESGO	0	-0,8	0,8	-0,8	0,8
REPETIBILIDAD ($\sigma_{propia\ lab}$)	0	0,0	0,0	1,5	1,5
$f_{cm, corr} =$	32,7	31,9	33,5	31,9	33,5
$\sigma_{observada} =$	3,60	3,60	3,60	3,90	3,90
$V_{corr} =$	11,0%	11,3%	10,7%	12,2%	11,6%
$\theta_{corr} =$	1,6%	2,7%	0,9%	3,8%	1,4%

$\bar{x}_{N1} = 15$ $s_{N2} = 15$					
Pr. Aceptación	~90%	~76%	~96%	~64%	~91%
$\bar{x}_{N1} = 35$ $s_{N2} = 35$					
Pr. Aceptación	~97%	~85%	~99,5%	~68%	~98%

En consecuencia, si el mismo hormigón es ensayado por dos laboratorios diferentes y ambos obtienen, con el mismo número de resultados, el valor medio, el laboratorio 1 obtendrá un valor diferente del que obtenga el laboratorio 2, de modo que

$$\bar{x}_{L1} - \bar{x}_{L2} = \text{Diferencia entre laboratorios}$$

donde:

\bar{x}_{L1} = valor medio obtenido por el laboratorio 1

\bar{x}_{L2} = valor medio obtenido por el laboratorio 2

El valor de la "Diferencia entre laboratorios" es la resta algebraica de los sesgos de los dos laboratorios.

Considerando que valores del sesgo de $\pm 1'5$ MPa corresponden a un funcionamiento correcto, no puede extrañar que los valores medios (\bar{x}) del mismo hormigón, obtenidos por dos laboratorios diferentes que presentan sesgo en distinto sentido con respecto a la media, se diferencien en 3 MPa.

En todos los casos, el hormigón se conoce por los resultados obtenidos por los laboratorios y, en los sistemas de certificación del producto basados en la verificación por contraste de los valores obtenidos por dos laboratorios diferentes, uno es el laboratorio que hace el control de producción o autocontrol y el otro es el laboratorio que hace la verificación. Dichos valores son los valores medios (\bar{x}) que intervienen en el "criterio de aceptación".

Cuando tanto el autocontrol como la verificación se hacen sobre el mismo número de ensayos, es decir con la misma precisión estadística, el criterio de la verificación por contraste es dar como valor verdadero del valor medio del hormigón el que corresponde a la media de los valores medios obtenidos por ambos laboratorios, lo que se realiza corrigiendo el valor dado por el laboratorio de autocontrol en la mitad del valor de la "Diferencia entre laboratorios", en este caso la diferencia entre el laboratorio 1, el que realiza el autocontrol y el laboratorio 2, el que realiza la verificación

\bar{x}_{L1} = valor medio del laboratorio 1

\bar{x}_{L2} = valor medio del laboratorio 2

$\bar{x}_{L1} - \bar{x}_{L2} = D =$ diferencia entre laboratorios

\bar{x} = valor medio del hormigón

\bar{x}

o lo que es lo mismo

$$\bar{x} = \bar{x}_{L1} - 0'5 \cdot D$$

Obviamente, en una verificación normal el número de ensayos de verificación es mucho menor que el número de ensayos de autocontrol y la aplicación del criterio anterior ponderaría en exceso los valores obtenidos por el laboratorio verificador. La ponderación correcta es directamente proporcional al número de ensayos realizados por cada laboratorio en relación con el número de ensayos realizado por ambos (la suma total de los que realiza cada uno de ellos). Por ello, es conveniente obtener el valor (D) de la "Diferencia entre

laboratorios" en un proceso inicial de calibración de ambos laboratorios, antes de comenzar la verificación y con un número igual y representativo de ensayos realizados sobre la misma amasada por ambos laboratorios. Se recomienda $N \geq 15$ resultados de ensayos.

Este proceso de calibración previa, permite introducir en el autocontrol la corrección de contraste ($0,5 \cdot D$) desde el inicio del proceso de certificación, lo que da lugar a un procedimiento de autocontrol ya corregido por el contraste del verificador que ofrece mayores garantías al usuario y, si los valores medios ($\bar{x}_{1,2}$) del laboratorio verificador son menores que los valores medios del laboratorio que realiza el autocontrol ($\bar{x}_{1,1}$) un mayor esfuerzo de calidad del productor del hormigón que descuenta, voluntariamente, la corrección de contraste a sus propios resultados.

4. Conclusiones

La obtención de probabilidades de aceptación altas (del orden $P_A \sim 96,5\%$ para un H-25) en el caso de un hormigón conforme y con distintivo de calidad oficialmente reconocido ($\sigma = 3,60$ MPa, $v = 11,0\%$ y $f_{cm} = 32,7$ MPa), a partir de $N = 35$ resultados de ensayos, es la razón de que los parámetros fundamentales para el conocimiento del hormigón (\bar{x} , σ) por parte de organismo certificador, tiendan a establecerse con este número de datos.

La obtención, durante el control de calidad, de valores puntuales inferiores a la resistencia característica especificada no significa, necesariamente, que el hormigón controlado no sea conforme. El valor puntual debe ser introducido en la serie de $N \geq 15$ resultados conocidos y aplicar el criterio de aceptación a los $N \geq (15 + 1)$ resultados. El valor (σ) a utilizar es el conocido como desviación típica de la producción, deducido de una serie de resultados $N \geq 35$ (s_{35}). Si el "criterio de aceptación" así aplicado da un resultado conforme, el hormigón es conforme aunque en él se haya obtenido un valor puntual inferior a la resistencia característica especificada.

La integración en el "criterio de aceptación" de la corrección de contraste obtenida a partir de la diferencia entre los valores medios de la resistencia a compresión del hormigón obtenidos por el laboratorio que realiza el control de produc-

ción o autocontrol y el laboratorio verificador, lo que supone un esfuerzo de calidad por parte del productor del hormigón, permite ofrecer al usuario de dicho hormigón mayores garantías.



(1) EHE-08. "Instrucción de Hormigón Estructural". Comisión Permanente del Hormigón. 1ª edición revisada. – Madrid: Ministerio de Fomento. Centro de Publicaciones, 2008.

(2) Monografía M-7. "Control Estadístico de Hormigón Estructural". ACHE, 2003.

(3) Juan Carlos López Agüí. "Guía básica para la simulación de Monte Carlo". AENOR, 2008.



Elevadores de cangilones
Transportadores helicoidales
Esclusas de rueda celular
Mezcladores de doble árbol
Equipos de cargamento
Equipos de cierre

Componentes para la Técnica Transportadora
 probadas desde más de 50 años



RUSIG Fördertechnik GmbH & Co. KG
 D-59 269 Beckum · Auf dem Tigge 58
 Tel. +49(0)25 21/140 91 · Fax 136 21
 info@russig.de · www.russig.de