



RECEPCION DE ESTRUCTURAS DE HORMIGON. COMPARACION DE LOS
CRITERIOS ADOPTADOS POR LOS DISTINTOS CODIGOS Y REGLAMENTOS.

SEGUNDA PARTE

Alberto Giovambattista (a)
Hector J .D. R. Bunge (b)
Juan Carlos Galuppo (c)
Marisa Raquel De Giusti (d)
Pablo A. Giovambattista (e)

RESUMEN

Se hace un análisis comparativo de los criterios de evaluación que distintos reglamentos de seguridad estructural aplican para la recepción del hormigón.

Dichos criterios fueron aplicados a ensayos de control de calidad disponibles de diversas obras en las cuales participaron los autores. Comprende hormigones de Clase H-170 a H-500 con desviaciones normales variables entre 25 kgf/cm² y 40 kgf/cm²

Se informan los resultados obtenidos, incluyendo los volúmenes de hormigón rechazados según los diferentes criterios reglamentarios.

- (a) Ingeniero Civil (UNLP). Profesor Titular de la UNLP Ex - Presidente de la AATH.
- (b) Ingeniero Civil (UBA). Ex Profesor Adjunto de la UBA. Ex Director Dpto. Construcciones del INTI. Presidente de la AATH.
- (c) Ingeniero Civil (UBA). Profesor Adjunto de la UBA.
- (d) Ingeniero Electrónico (UNLP). Investigador Adjunto CICPBA. Profesor Titular Int. de la UNLP
- (e) Ingeniero en Construcciones (UNLP).

1. INTRODUCCION

En los reglamentos de seguridad de estructuras de hormigón es habitual encontrar dos criterios para la recepción del material. Ellos son

- a) El análisis con matemática estadística y cartas de control, utilizando un número grande de ensayos. Es de aplicación a obras de volumen importante y producción continua.
- b) El uso de "estimadores" para verificar el cumplimiento de la resistencia característica. Se basan en un número reducido de ensayos (quince o menos), de aplicación en hormigonados puntuales cuando se desconocen los parámetros estadísticos de la producción de la planta elaboradora.

En la construcción de estructuras de edificios resulta casi excluyente el uso de los estimadores mencionados en b). Este trabajo continúa con la comparación de los resultados que se obtienen en la recepción de hormigón aplicando los "estimadores de la resistencia característica", que se iniciara en (7). Se analizaron los estimadores de los siguientes Reglamentos:

CIRSOC 201 Y ANEXOS. (1)

EUROCODE Nº 2. (2)

NORMA EUROPEA - CEN. (3)

ACI- 318. (4) - (5)

El CIRSOC y la normativa europea definen la resistencia característica para el fráctil del 5%. Para el A.C.I., el % de defectuosos que corresponden a f_{ck} es una decisión del proyectista, basada en su propia apreciación de las condiciones que prevalecerán en el proyecto (A.C.I. - 214, actualizado en 1989). Con ese concepto se incluyó en el presente trabajo al estimador del A.C.I., homologándolo a los de los otros Reglamentos para 5% de defectuosos. De todos ellos se tomaron los estimadores utilizados para la recepción de hormigones cuando se toman tres (3), seis (6) y quince (15) ensayos (Cuadro Nº 1).

Para facilitar la exposición se unificó la nomenclatura y las unidades de los distintos Reglamentos, adoptándose las siguientes

- H-170** Denominación de un hormigón de resistencia característica de 170 kgf/cm².
- f'ci** Resultado de un (1) ensayo de resistencia a compresión, obtenido por rotura de dos (2) o más probetas cilíndricas normales de 15,0 cm. de diámetro y 30,0 cm. de altura, moldeadas del mismo pastón. (kgf/cm²)
- f'm** Resistencia media aritmética de rotura a la compresión de los ensayos disponibles. (kgf/cm²)
- f'ck** Resistencia característica del proyecto.(kgf/cm²)
- f'ckest** Resistencia característica de rotura a la compresión del hormigón, calculada por métodos estadísticos utilizando la totalidad de los ensayos disponibles. (kgf/cm²)
- f'ckrec** Resistencia característica de rotura a la compresión del material utilizado, según los estimadores para la recepción de distintos Reglamentos. (kgf/cm²)
- f'm3** Resistencia media móvil de tres (3) ensayos consecutivos. (kgf/cm²).
- f'm6** Resistencia media móvil de seis (6) ensayos consecutivos. (kgf/cm²).
- f'm15** Resistencia media móvil de quince (15) ensayos consecutivos. (kgf/cm²).
- s_N** Desviación normal del total de ensayos disponibles. (kgf/cm²)
- s_n** Desviación normal de los n ensayos del estimador. (kgf/cm²).
- N** Número total de ensayos disponibles.
- n** Número de ensayos utilizado por el estimador.
- t** 1,65, o coeficiente que lo reemplaza si el número total de ensayos es menor de 30.

2. METODOLOGIA DE TRABAJO

El estudio es realizó sobre la producción de plantas cuyo control estuvo a cargo o fué supervisado por alguno de los autores. Se consideraron los hormigones elaborados durante un período continuo durante el cual el análisis estadístico de los ensayos permitió determinar que correspondían a una distribución normal y se podía asumir la inexistencia de variables sesgadas. Las respectivas distribuciones de frecuencias verificaron la prueba del chi-cuadrado. Asimismo, la variación en el tiempo de su resistencia media, indicada por los cambios de pendiente de las curvas CUSUM, se mantuvieron dentro de un orden de $\pm 10\%$.

Se trabajó con siete hormigones, Clases H-170 a H-500. Todos tuvieron control de recepción en planta, cuyos respectivos parámetros estadísticos se dan en el Cuadro No 2. Se aprecia que las s_N están en el orden de 25 kgf/cm² a 40 kgf/cm², habituales en estructuras convencionales de hormigón.

Para la realización del presente trabajo se consideró la hipótesis de que un volumen cualquiera de hormigón de una misma clase puede ir a una obra y constituir un hormigonado puntual que es muestreado para su recepción. Consecuentemente, "n" ensayos consecutivos cualesquiera pueden ser considerados como los representativos de la calidad de un hormigonado puntual ("n" será función del volumen del hormigonado y no menor que el indicado en el reglamento de aplicación). Consecuentemente, se analizaron todas las medias móviles de tres (3), seis (6) y quince (15) ensayos consecutivos, las que fueron representadas conjuntamente con los respectivos límites de los distintos Reglamentos.

A partir de las resistencias individuales y medias móviles que caen por debajo de cada límite, o valor de corte, se calcularon los volúmenes de hormigón de rechazo. Para ello se consideró una relación lineal entre los ensayos comprendidos en aquellos valores de rechazo y la cantidad de hormigón que representan en la obra. El Cuadro N° 2 resume el porcentaje de hormigón rechazado según los diferentes reglamentos.

La metodología de análisis utilizada partió del supuesto que si el control de recepción se hubiera hecho en la planta todo el material sería aceptado ($f_{ck} = f_{ckest}$).

Distribuido en obras diferentes según la hipótesis asumida, un buen estimador debería coincidir con aquel juicio. Sin embargo, la aplicación de los estimadores del CIRSOC, EUROCODE y CEN dan volúmenes de rechazo que llegan al 85%. En cambio, la metodología del ACI rechaza entre el 1 y el 8% del hormigón. Una evaluación más pormenorizada indica que :

a.-El estimador del CIRSOC para el caso de hormigonados con seis pastones o menos, donde se ensayan muestras de todo el material utilizado, produce un volumen importante de rechazo. Ello pese a que la verificación se hace determinística.

b.-Los estimadores de la forma ($f_{ck} + k$) producen rechazos importantes según sea la magnitud de k. Asimismo, este tipo de estimador castiga más al mejor productor. Los hormigones analizados que poseen menor coeficiente de variación son los que tienen mayor rechazo.

c.-En los estimadores del EUROCODE, el uso de 15 ensayos en lugar de 3, en general no reduce la magnitud de los rechazos, como sería de esperar por disponerse de mayor información.

d.-En la normativa del CEN, el uso de estimadores del tipo $(f'_{ck} + t.s_n)$ en lugar de $(f'_{ck} + k)$, aumenta el rechazo cuando la dispersión es alta y lo reduce cuando es baja. Esto estaría marcando una mejor performance de este tipo de estimador. Sin perjuicio de lo cual los rechazos del CEN son mayores que los del EUROCODE.

3. EL RIESGO DE APROBAR LOTES CON EXCESO DE DEFECTUOSOS (MENOR f'_{ck})

En un muestreo pueden cometerse los denominados errores Alfa y Beta, que son función de la muestra. El error Alfa es la probabilidad de rechazar cuando es bueno, y el error Beta la de aceptar cuando es malo (Croquis 1).

En rigor, en el punto 2 precedente, hemos hecho una medición experimental del error Alfa. Fue realizado sobre muestreos reales y está referido a elementos tangibles para el ingeniero.

No obstante, existe otra situación que también debe contemplarse. Cuando se recibe un lote (material utilizado en un hormigonado puntual) y los resultados de su muestreo son superiores al límite de aceptación pero se desconocen los estadísticos del universo al que pertenecen , cabe también la posibilidad de que la f'_{ck} de este último sea menor que la especificada. En este caso aprobaríamos erróneamente con una cantidad de defectuosos mayor que la admisible (error Beta).

En lo que sigue se analizó el error Beta en la recepción del H230 con los diferentes estimadores. El primer paso consistió en hacer una simulación de 1000 ensayos de una distribución normal de media 289 y desvío 37, similares a los del H230. Resultó que tan sólo un 4.7% estaban por debajo del valor de $f'_{ck}=227$.

Luego se realizó el análisis estadístico de los 210 ensayos de ensayos del H230 (210 muestras), sin hacer presunciones respecto de su distribución. Se obtuvieron los siguientes datos de salida

Tamaño Muestral: 210	Kurtosis: 3.32	Mínimo: 175
Desvío standard: 37.39	Varianza: 1398 086	Máximo:385
Coefficiente de variación: 12.93%	Media aritmética: 288 99	Rango: 210
Asimetría: 0.0835	Media geométrica: 286.4567	

El valor de estos datos aparecía como normal en cuanto a la asimetría, los valores de tabla para 200 puntos dan como valor límite 0.403, siendo el valor obtenido mucho menor, no hay indicios de falta de normalidad. El valor de la kurtosis es en cambio exageradamente alto, reflejando un peso en las colas que no se corresponde estrictamente con una normal; sin embargo este peso está localizado mayormente en la cola positiva, lo que para el caso en estudio no ocasiona problema. A continuación se reproduce la parte del histograma que interesa para ver el acumulado por debajo de 227

Intervalo	Frecuencia	Frecuencia acumulada	F _{relativa}	F _{relativa acumulada}
175.00 - 182.48	2	2	0.95	0.95
182.48 - 189.96	1	3	0.48	1.43
189.96 - 197.43	1	4	0.48	1.90
197.43 - 204.91	1	5	0.48	2.38
204.91 - 212.39	1	6	0.48	2.86
212.39 - 219.87	2	8	0.95	3.81
219.87 - 227.35	2	10	0.95	4.76

Esto muestra que el porcentaje acumulado de valores menores de 227 es menor que 4.76 y en lo que hace a la cola inferior, no aparecen diferencias con la normal. El histograma completo es el siguiente:



El análisis realizado se orientó a determinar los valores del error Beta cuando se aplican los criterios de ACI, Eurocode y Cirsoc, cuyos valores de corte son, respectivamente, 227, 257 y 277. Se utilizó la expresión:

$$C = \mu_c + Z_p \cdot \sigma / \sqrt{n} \quad \rightarrow \quad Z_p = (C - \mu_c) \cdot \sigma / \sqrt{n}$$

Y se obtuvo el valor β que corresponde de la Tabla de la Distribución Normal acumulada. Es de hacer notar que C representa aquí el valor de corte de cada norma, es decir será 227 para ACI, 257 para Eurocode y 277 para Cirsoc. De igual modo, μ , representa el promedio móvil (en este caso de tres muestras consecutivas). De este modo, para cada promedio móvil es posible construir la curva de operación característica, donde en abscisas aparece todo el rango de las medias móviles y en ordenadas el error beta obtenido. Este trabajo se realizó con las tres normas, resultando las curvas del gráfico 2. Ellas constituyen una herramienta adecuada para analizar el error Beta cuando la media muestral es igual o ligeramente superior a la f'_{ck} (resistencia de diseño).

El valor más bajo de una media muestral aceptada por un código, es aquel coincidente con el de corte C. Pero cuando analizamos aisladamente dicha muestra podemos cometer un error Beta que será tanto menor cuanto más a la derecha de f'_{ck} se encuentre C. Para nuestro H230, el error de aprobar una muestra (mala) perteneciente a una población de resistencia característica inferior a la especificada, cuando su media muestral es igual al valor de corte del reglamento, es igual al 40% con ACI, 5% con Eurocode y 0,5% con Cirsoc. Ello es válido para una media aislada de tres ensayos y N suficientemente grande (Croquis 2).

Los resultados expuestos explican la utilización de valores de corte mayores que f'_{ck} . No obstante, debe tenerse presente que el error Beta disminuye para medias muestrales con n creciente, y también con el aumento de la razón entre n y la cantidad de lotes. También debe recordarse que, según los códigos se puede exigir un número mínimo de ensayos y que el análisis de las medias móviles puede ser considerando todas las posibles de tres ensayos consecutivos (ACI) ó sin reposición (Eurocode). Un cálculo riguroso del error Beta debe tener en cuenta los aspectos anteriores.

4. ANALISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES PRELIMINARES

El análisis comparativo entre el estimador del ACI y los de los otros tres códigos muestra que el término k o t_s adicionado a la media de n ensayos está actuando como un elemento de mayoración de la resistencia del hormigón a utilizar. Es útil para tener una mayor seguridad en el suministro, reduciendo el error del consumidor de aceptar con exceso de defectuosos. Provoca el consiguiente aumento de costo. Pero está duplicando

esa seguridad ya que el productor también debe aplicar por sobre ella a su propia mayoración para reducir su riesgo de rechazos incorrectos.

Por otra parte, los ensayos de resistencia se realizan con la estructura construida y la aplicación de esos estimadores a los hormigones aquí analizados pueden provocar rechazos no justificados y/o estudios costosos para determinar la aptitud de aquella.

Debe resaltarse la paradoja de pretender reducir el número de ensayos de recepción por su "incidencia en los costos" Ello lleva, necesariamente, a tener que aumentar el valor de corte en relación a f'_{ck} si se desea tener alguna seguridad sobre la medición del ensayo.

Lo expuesto en este trabajo muestra la necesidad de utilizar un estimador que reduzca k para optimizar el costo del suministro. También debe elegirse adecuadamente el número de ensayos en relación a la cantidad de lotes como camino para minimizar el error Beta.

5. BIBLIOGRAFIA

- (1). Reglamento CIRSOC 201 y Anexos. "Proyecto, Cálculo y Ejecución de Estructuras de Hormigón Armado y Pretensado ". 1982.
- (2). EUROCODE Nº 2. "Common Unified Rules for Concrete Structures " Commission of the European Commites. Report EUR 8848, DE, EN, FR. 1989.
- (3). NORMA EUROPEA ENV 206 : 1990. Comité Europeo de Normalización.(CEN) 1990.
- (4). ACI-318-89/318.R-92. "Building Code Requirements for Reinforced Concrete and Commentary " American Concrete Institute. 1994.
- (5). ACI 214.R-92. "Simplified Version of the Recommended Practice for Evaluation of Strength Test Results of Concrete " American Concrete Institute. 1994.
- (6). Irwin Miller - John E. Freund. "Probabilidad y Estadística para Ingenieros " Tercera Edición. Prentice - Hall Inc. 1985.
- (7). A.Giovambattista; H.Bunge; J.C. Galuppo y P.A.Giovambattista. "Recepción de Estructuras de Hormigón. Comparación de los Criterios Adoptados por los Distintos Códigos y Reglamentos. Primera Parte. Memorias de la XII Reunión Técnica "Dra Haydée V Armádola" AATH, La Plata, junio 1995.

CUADRO Nº 1

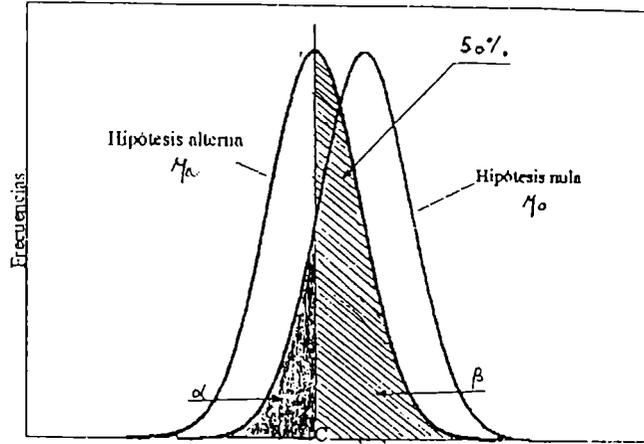
Cantidad de ensayos considerados por el estimador de recepción	Reglamento			
	CIRSOC 201 (1982) (1)	EUROCODE Nº 2 (1989) (2)	CEN (1990) (3)	ACI 318 (1994) (4) - (5)
3	$f'm = f'ck + 20$ $f'm = 1,10 f'ck$	producción en régimen $f'm3 \geq f'ck + 30$ $f'ci \geq f'ck - 30$	$f'm3 \geq f'ck + 50$ $f'ci \geq f'ck - 10$	$f'm3 \geq f'ck$ $f'ci \geq f'ck - 35$
3 a 6	Para hormigones de Clase H-4 a H-17, inclusive: $f'm3 = f'ck + 45$ Para hormigones de Clase H-21 a H-47, inclusive: $f'm3 = f'ck + 50$ $f'ci \geq 0,85 f'ck$		$f'm6 \geq f'ck + 1,87 S_n$ $f'ci \geq f'ck - 30$	

CUADRO N° 2

Parámetros estadísticos		Hormigones de Clase								
Tipo	Unidad	H-170	H-210	H-230	H-300	H-350	H-380	H-500		
Total de ensayos	N°	126	153	210	332	164	252	430		
Resistencia media	kgf/cm ²	232	268	289	337	385	413	559		
Desviación típica	kgf/cm ²	37	38	37	25	27	24	32		
Resistencia característica	kgf/cm ²	171	206	227	296	341	374	506		

Volumen rechazado para cada Clase de hormigón por los distintos reglamentos (en %)											
Reglamento	Media móvil de:	H-170	H-210	H-230	H-300	H-350	H-380	H-500			
CIRSOC 201	3	48	44	40	82	72	81	61			
	6	15	1	12	26	13	24	37			
EUROCODE N° 2	3	19	14	17	41	41	35	31			
	15	12	3	14	42	21	42	39			
CEN	3	48	46	40	82	67	81	62			
	6	58	82	64	48	85	29	41			
ACI - 318	15	52	52	35	37	61	36	43			
	3	4	1	8	2	4	7	3			

CROQUIS N° 1



Resistencias Medias Intervalo kg/cm²

CROQUIS N° 2

Valores de Beta
 Criterios ACI, EUROCODE y CIRSOC

