



Revista de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción

Análisis de concretos con no conformidades: efectos de larga duración

B. Fernandes¹, R. Christ¹, U. Quinino¹, B. Tutikian¹

¹itt Performance, UniversEdad do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), Brasil.

Información del artículo

DOI:

[http://dx.doi.org/10.21041/ra.
v6i3.154](http://dx.doi.org/10.21041/ra.v6i3.154)

Artículo recibido el 03 de Marzo de 2016, revisado bajo las políticas de publicación de la Revista ALCONPAT y aceptado el 19 de Julio de 2016. Cualquier discusión, incluyendo la réplica de los autores, se publicará en el tercer número del año 2017 siempre y cuando la información se reciba antes del cierre del segundo número del año 2017.

© 2016 ALCONPAT Internacional

Información Legal

Revista ALCONPAT, Año 6, No. 3, Septiembre – Diciembre 2016, es una publicación cuatrimestral de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción Internacional, A.C., Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida Yucatán, C.P. 97310, Tel. 5219997385893, alconpat.int@gmail.com, Página Web: www.alconpat.org.

Editor responsable: Dr. Pedro Castro Borges. Reserva de derechos al uso exclusivo No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos otorgados por el Instituto Nacional de Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Unidad de Informática ALCONPAT, Ing. Elizabeth Sabido Maldonado, Km. 6, antigua carretera a Progreso, Mérida Yucatán, C.P. 97310, fecha de publicación: 30 de septiembre de 2016.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor. Queda totalmente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos y imágenes de la publicación sin previa autorización de la ALCONPAT Internacional A.C.

RESUMEN

Este artículo tiene como objetivo contribuir al análisis del concreto en casos de incumplimiento normativo, centrado en los efectos a largo plazo. Se llevó a cabo una encuesta entre los participantes en el análisis de no conformidades: evolución de la resistencia a la compresión, variabilidad de los resultados y criterios de aceptación. Complementariamente, se presenta un caso de estudio de un hormigón en incumplimiento utilizado en una estructura mixta (pilares metálicos rellenos) que mostró una resistencia a 28 días menor que la especificada. Teniendo en cuenta los efectos a largo plazo, se observó una ganancia de resistencia nominal por encima de los límites reglamentarios. Este análisis, junto con una revisión del proyecto y una inspección minuciosa puede ayudar en la toma de decisiones en casos de hormigón en incumplimiento.

Palabras clave: incumplimiento; ganancia de resistencia; seguridad estructural.

ABSTRACT

The aims of this paper is contribute to the analysis of non-conformity concrete, focusing on long time effects. A review of compressive strength evolution, results variability and acceptance criteria was made. In addition, it is presented a case study of a nonconforming concrete used in composite structures (concrete-filled steel columns) that present 28-day strength below the specified. Considering long time effects, a nominal strength gain above the limits considered in technical standards was observed. This analysis, associated with a revision of the structural design and a carefully assessment, could help decision taking in case of non-conformity concretes.

Keywords: non-conforming; strength gain; structural safety.

RESUMO

O presente artigo tem como objetivo contribuir para a análise de concretos com não conformidades, com foco nos efeitos de longa duração. Foi realizado um levantamento dos intervenientes na análise de não conformidades: evolução da resistência à compressão, a variabilidade dos resultados e critérios de aceitação do concreto. De forma complementar, é apresentado o estudo de caso de concretos não conformes empregados em estrutura mista (pilares metálicos preenchidos) que apresentaram resistências abaixo do especificado aos 28 dias. Considerando os efeitos de longa duração, um ganho de resistência nominal acima dos limites normativos foi observado. Esta análise, aliada a uma revisão do projeto e a uma inspeção criteriosa, pode auxiliar na tomada de decisão em casos de concretos não conformes.

Palavras-chave: não conformidade; crescimento de resistência; segurança estrutural.

Autor de contacto: Bernardo Tutikian (bftutikian@unisinos.br)

1. INTRODUCCIÓN

La elevada resistencia mecánica asociada al reducido costo de producción y la facilidad de vaciar para variadas geometrías hace que el concreto sea el material más usado en las construcciones, destacándose frente a los demás materiales en los aspectos técnicos y económicos (Mehta; Monteiro, 2014). En consecuencia, en la medida que hay una aceleración en su consumo se espera que crezca la cantidad de estructuras proyectadas y dimensionadas que necesitan de evaluación de su desempeño frente a las funciones para las cuales fueron destinadas, conciliando los aspectos técnicos referentes a eficiencia. Elegir bien los materiales, así como investigar los efectos de las tecnologías usadas, asociado al perfeccionamiento del sistema estructural son factores importantes para garantizar las condiciones de seguridad.

De manera general la introducción de esta seguridad en el proyecto estructural es implementada por medio de coeficientes que reúnen las imprecisiones inevitables por omisión de carga o por el desvío del comportamiento de las propiedades mecánicas de los materiales. Además de ello, se contemplan las imperfecciones de las tensiones actuantes en virtud de las acciones simultáneas que la estructura debe soportar. Deben ser incluídos en estas incertidumbres los errores en los que se incurre por la adopción de una concepción simplificada o de la capacidad de redistribución de los esfuerzos producidos por los eventuales daños. Cuando esos aspectos y coeficientes no son contemplados de manera adecuada, negligentes o no son debidamente fiscalizados, hay un aumento de las ocurrencias de las no conformidades y de esta manera, promueven la necesidad de ser investigados, pues el resultado puede evidenciar problemas que llevan al cuestionamiento del proyecto estructural, la eventual ejecución de reparaciones o la condenación total y/o parcial de algunos elementos.

En este escenario, diversos son los estudios e investigaciones destinados al entendimiento de las no conformidades en sistemas estructurales de concreto, abordando aspectos relativos a seguridad, confiabilidad y análisis de riesgo (Kausay; Simon, 2007; Pereira, 2008; Caspee; Taerwe, 2011; Helene, 2011; Santiago, 2011; Santiago; Beck, 2011; Caspee; Taerwe, 2014; Larrossa et al, 2014; Magalhaes, 2014; Rao et al, 2014; Couto et al, 2015; Magalhaes et al, 2015). En Brasil, el asunto llevó al surgimiento de un grupo de estudios de la Asociación Brasileña de Ingeniería y Asesoría Estructural (ABECE), que resultó en la recomendación ABECE 001: Análisis de casos de no conformidad del Concreto. Destacándose la verificación de la seguridad de estructuras de concreto con no Conformidades que engloba diversas etapas y métodos, que van desde la extracción núcleos hasta la revisión del proyecto, considerando la nueva resistencia (Silva Filho; Helene, 2011).

El presente artículo tiene como objetivo realizar una revisión de algunos de los principales factores intervenientes en el análisis de no conformidades en concretos. Son abordados aspectos relativos a variabilidad de los resultados de ensayos de compresión axial, de los criterios de aceptación del concreto y de la evolución de la resistencia a compresión tomando en consideración los efectos de larga duración. Esta revisión es complementada con un estudio de caso de una estructura mixta, con pilares de acero llenados con concreto armado, que presentó resistencia a compresión inferior a la especificada por el proyectista. Con este análisis de los efectos del tiempo en la resistencia del concreto, se pretende contribuir con la toma de decisión en el análisis de las no conformidades en estructuras de concreto.

2. ANÁLISIS DE CONCRETOS CON NO CONFORMIDADES

2.1 Consideraciones sobre la evolución de la resistencia a compresión a largo plazo

Uno de los posibles abordajes para la evaluación de la seguridad estructural consiste en el análisis del comportamiento del concreto a largo plazo, considerando los efectos de evolución de la resistencia y de las cargas de larga duración. Al determinar la tensión admisible de compresión, σ_{cd} , son utilizados los coeficientes de ponderación γ_c e β - valores de cálculo obtenidos con base a valores característicos,

definidos a partir de consideraciones probabilísticas para cada tipo de estado límite. El coeficiente γ_c representa las diferencias existentes entre el concreto del núcleo y el material de constitución del elemento estructural en sí, además de considerar incertezas referentes a las solicitudes (Couto *et al*, 2015), mientras que el β es derivado del producto de coeficientes parciales, es decir, por la multiplicación de los efectos benéficos de la evolución de la resistencia a compresión a largo plazo (β_1) por los efectos perjudiciales de las cargas de larga duración (β_2) (Silva Filho; Helene, 2011).

El desarrollo de la resistencia a compresión a largo plazo puede ser calculada mediante uso de modelos matemáticos relacionados a la resistencia a compresión obtenida a los 28 días (Klemczak *et al*, 2015). Se sabe que esta evolución varía en función del tipo de cemento, la temperatura ambiente, así como de las condiciones de curado (CEB, 1990). Mantenidas condiciones de curado ideal y temperatura de 20°C, es posible estimar el desarrollo de la resistencia a compresión a largo plazo, a través de las ecuaciones (1) y (2), establecidas por el *fib Model Code 2010* (CEB, 2012). Destacando que esta fórmula es permitida por la ABNT NBR 6118:2014, para edades inferiores a 28 días.

$$f_{cm}(t) = \beta_1(t) \times f_{cm} \quad (1)$$

$$\beta_1(t) = \exp \left\{ s \left[1 - \sqrt{\left(\frac{28}{t} \right)} \right] \right\} \quad (2)$$

$f_{cm}(t)$: Resistencia a compresión a t días;

f_{cm} : Resistencia a compresión a los 28 días;

$\beta_1(t)$: Coeficiente en función del tiempo (t);

t : Edad en la cual se desea obtener la resistencia a compresión;

s : Coeficiente que depende del tipo de cemento: $s=0,20$: para cementos de alta resistencia y rápido endurecimiento (caso del CPV-ARI en el Brasil); $s=0,25$: para cementos normales y rápido endurecimiento (caso del CPI y CPII en el Brasil); ese $s=0,38$: para cementos de endurecimiento lento (caso del CPIII y CPIV en el Brasil).

La pérdida de capacidad resistente por efecto de la carga duración fue estudiada por Rüsch (1960). Este decrecimiento es constante e independiente del f_{ck} del concreto en estudio, además de ser, como máximo, de 25%. El *fib Model Code 2010* (CEB FIP, 2012) propone la ecuación (3) para la determinación del coeficiente β_2 , siendo que el factor de decremento varía en función del período en el cual la estructura estará cargada.

$$\beta_2 = \frac{f_{c,sus,j}}{f_{c,t0}} = 0.96 - 0.12 \times \sqrt{\ln(0.72 \times (j - t_0))} \quad (3)$$

$f_{c,sus,j}$: Resistencia a compresión del concreto sobre carga mantenida, en la edad de j días, en MPa;

$f_{c,t0}$: Resistencia potencial a compresión del concreto a la edad (Edad) t_0 instantes antes de la aplicación da carga de larga duración, en MPa;

β_2 : Efectos perjudiciales de las cargas de larga duración (t);

t_0 : Edad de aplicación da carga, en días, considerada significativa;

j : Cualquier Edad del concreto a posteriori de t_0 ; expresada en días.

Se estima que la norma brasileña, ABNT NBR 6118:2014, establece valores de 1,16 para β_1 y 0,73 para β_2 , considerando valores de carga desde los 28 días hasta 50 años, resultando en un β de 0,85. Se observa que los valores utilizados son conservadores, visto que admite un desarrollo de resistencia de apenas 16% en un período de 50 años y un valor de decremento mayor que el máximo establecido por Rüsch (1960) (Helene, 2011). De este modo, se vuelve adecuado verificar los valores de β_1 y β_2 ,

considerando la fórmula propuesta por el *fib Model Code 2010* (CEB, 2012) y las consideraciones hechas por Rüsch (1960).

2.2 Consideraciones sobre la variabilidad de los resultados de resistencia a compresión

Otro factor a ser verificado es la variabilidad de los resultados del ensayo de resistencia a compresión. Magalhaes (2014) resalta que todas las etapas de la producción del concreto llevan a la dispersión de los resultados del control tecnológico, siendo que estos pueden ser separados en tres diferentes aspectos: influencia de los materiales, de los mecanismos de producción y del procedimiento de ensayo. La Tabla 1 presenta los principales factores que pueden influenciar el resultado de la resistencia a compresión del concreto, así como la variabilidad máxima del ítem.

Tabla 1. Factores que influyen en el resultado del ensayo de resistencia a compresión

Origen de la variación		Variabilidad máxima
Materiales	Variabilidad de la resistencia del cemento	±12%
	Variabilidad de la cantidad total de agua	±15%
	Variabilidad de los agregados	± 8%
Mano de obra	Variabilidad del tiempo y procedimiento de mezclado	-30%
Equipamiento	Ausencia de ajuste de balanzas	-15%
	Mezcla inicial, sobre la sub carga, correas, etc.	-10%
Procedimiento de ensayo	Recolección imprecisa	-10%
	Densificación inadecuada	-50%
	Curado (efecto considerado a los 28 días o mas)	±10%
	Capeamiento inadecuado	-30% para concavidad; -50% para convexidad
	Ruptura (velocidad de carga)	± 5%

Fuente: Adaptado de Helene y Terzian (1992).

Es posible observar que los diversos procedimientos envueltos en la preparación, de la recolección y del ensayo pueden afectar, directamente, los resultados de los ensayos, pudiendo reducir, en hasta 50%, la resistencia a compresión del concreto analizado. De hecho, esta variabilidad representa su verdadera importancia al observar los datos oriundos de investigaciones y ensayos de laboratorio. Santiago (2011) compiló datos del control tecnológico de más de seis mil núcleos, oriundos de nueve estados Brasileños. El autor identificó porcentajes no conformes de hasta 28%, para concretos de clase C40. Este valor llega a 84%, para concretos de clase C50.

2.3 Consideraciones sobre la aceptación del concreto

Otro punto que debe ser considerado es la recepción y la aceptación del concreto. Al observar las principales normas nacionales e internacionales referentes a estructuras de concreto, se verifican puntos divergentes en relación al método y a los criterios de aceptación (Pacheco; Helene, 2013; Magalhaes, 2014).

La norma nacional, NBR 12655 (ABNT, 2015) presenta dos tipos de control de muestreo: total y parcial. En el muestreo parcial, son vaciados cilindros en apenas algunas mezclas de concreto. En el muestreo total, es realizado el control de todas las mezclas realizadas, siendo el criterio de aceptación que ninguna sea inferior a la resistencia a compresión característica. A pesar del elevado costo, este tipo de muestreo es ampliamente utilizado en Brasil (Pacheco; Helene, 2013).

La norma americana, *ACI 318-11: Building Code Requirements for Structural Concrete*, establece tres diferentes criterios: el promedio de 3 resultados consecutivos debe ser igual o superior a la resistencia

característica definida en el proyecto; ningún resultado individual debe ser inferior a $f_{ck}-3,5\text{ MPa}$ (para concretos con f_{ck} por debajo de 35 MPa) y que ningún resultado individual sea inferior a $0,9^* f_{ck}$ (para concretos con f_{ck} por debajo de 35 MPa) (Magalhaes, 2014). Adicionalmente, la misma norma no tiene previsto el muestreo total, estableciendo criterios mínimos de único ejemplar por dia de vaciado, para cada 115 m^3 de material ó para cada 465 m^2 de área construída (Pacheco; Helene, 2013).

Otra norma ampliamente utilizada, la *BS EN 206:2013 - Concrete. Specification, performance, production and conformity*, presenta diferentes criterios en función del período de la obra: inicio de la producción y producción continua, cuando ya se han realizado mas que 15 resultados (Magalhaes, 2014).

El primer criterio es referente al promedio de resultados, que debe ser mayor o igual a $f_{ck}+4,0\text{ MPa}$, para control inicial, y mayor o igual a $f_{ck}+1,48^*\text{s}$ (desvío patrón de los resultados), para producción continua. El segundo criterio se refiere a los resultados individuales, que, para ambos tipos de producción, deben ser mayores que $f_{ck}-4,0\text{ MPa}$ (Pacheco; Helene, 2013; Magalhaes, 2014).

Larrossa *et al* (2014) realizaron la comparación de los criterios de muestreo de las tres normas citadas, para 32 lotes de concreto. Los autores comentan que la NBR 12655 (ABNT, 2015) es el método más rígido, seguido por la EN 206 e ACI 318-11. De hecho, comparando los procedimientos de aceptación adoptados por las normas internacionales con lo establecido en las recomendaciones de la norma nacional, se verifica que los criterios de aceptación son más restrictivos (Pacheco; Helene, 2013; Magalhaes, 2014).

3. ESTUDIO DE CASO

3.1 Procedimientos metodológicos

En el control tecnológico realizado en una obra, siguiendo el procedimiento establecido por la NBR 12655 (ABNT, 2015), la resistencia a la compresión (f_c) de tres mezclas de volumen de 8m^3 fué inferior al f_{ck} de 40 MPa, especificado por el proyectista. Como la obra presenta impedimentos para la extracción de núcleos, visto que la estructura es de acero relleno con concreto armado, fué realizado un estudio al respecto de la evolución de la resistencia del concreto, de modo de auxiliar en el chequeo de la seguridad estructural de la obra. Cabe resaltar que este análisis es complementario, y debe ser realizado en conjunto con otras verificaciones, como revisión del proyecto estructural considerando f_c obtenido en el ensayo y la realización de ensayos no destructivos. La composición del concreto estudiado está presentada en la Tabla 2.

Tabla 2. Tipos de concreto en estudio

Material	Cantidad	Unidad
Cemento CPV-ARI RS	341	kg
Puzolana	114	kg
Arena fina	284	kg
Arena media	426	kg
Piedra 0	1025	kg
Agua	191	l
Aditivo polifuncional	3,41	kg
Aditivo superplastificante	1,14	kg

Fuente: carta tipo según la empresa responsable del concreto

En los datos especificadas de ensayo, se realizaron los ensayos, en laboratorio acreditado, siguiendo los procedimientos normativos. Todos los núcleos fueron nivelados y los ensayos se realizaron en la prensa máquina universal *EMIC – PC 200 CS*. Los resultados son presentados en la Tabla 3.

Tabla 3. Resultados del ensayo de resistencia a la compresión de las muestras no conformes

Muestras	Abatimiento (mm)	Dato de ruptura	Edad (días)	ϕ (mm)	f_c (MPa)	f_{cp} potencial (MPa)
1	180	18/02/2015	7	100	23,9	23,9
		18/02/2015	7	100	23,3	
		11/03/2015	28	100	35,2	37,1
		11/03/2015	28	100	37,1	
2	230	18/02/2015	7	100	23	24,6
		18/02/2015	7	100	24,6	
		11/03/2015	28	100	37,4	37,4
		11/03/2015	28	100	34,6	
3	200	31/03/2015	7	100	23,3	23,9
		31/03/2015	7	100	23,9	
		21/04/2015	28	100	38,2	38,6
		21/04/2015	28	100	38,6	

Fuente: Adaptado de los informes de ensayo

En lo que se refiere al control tecnológico utilizado en la obra, es importante mencionar que fue ejecutado por muestreo total (100%), en la cual todas las mezclas fueron muestreadas. En este caso, la NBR 12655 (2015) establece que la aceptación del concreto es establecida cuando todos los ejemplares del muestreo alcanzan el valor de f_{ck} especificado por el proyectista. Como puede ser visto en la Tabla 3, las resistencias potenciales, a los 28 días, no presentaron resistencia igual o superior a la definida, de 40 MPa.

Otro punto levantado fue el histórico del desarrollo de la resistencia luego de los 28 días. En un levantamiento realizado por la empresa, en el periodo de un año, el concreto presentó un crecimiento de 32,6% (cemento CPV-ARI resistente a los sulfatos con adición de 22% de pozolona), superior a los 16% considerados por la ABNT NBR 6118:2014.

3.2 Resultados y análisis

A partir de los valores obtenidos, fue realizado el análisis de la evolución de la resistencia a la compresión del concreto. Inicialmente, fueron calculados los valores de β_1 utilizando un coeficiente s de 0,20, visto que el cemento utilizado es tipo CPV-ARI. Así mismo, como fue realizada adición de puzolanas por el de 33% en relación al cemento, se consideró adecuado calcular el β_1 para un cemento del tipo CPIV, ya que éste contiene entre 15 y 50% de puzolana. Por último, se calculó un tercer valor de β_1 , para un valor s intermedio. Los valores de β_1 para 50 años, utilizados en cálculo del β , son presentados en la Tabla 4.

Tabla 4. Coeficientes de β_1 para diferentes tipos de cemento

Valores de β_1 para 50 años	
CPV-ARI	1,21
CP “Intermediário”	1,33
CPIV	1,44
ABNT NBR 6118:2014	1,16

La evolución de la resistencia a la compresión a largo plazo para las tres situaciones (CPV-ARI, CPIV y CP “intermedio”), considerando el menor valor de $f_{ck, est}$ (37,1 MPa) y un período de 365 días, puede ser observada en la Figura 1.

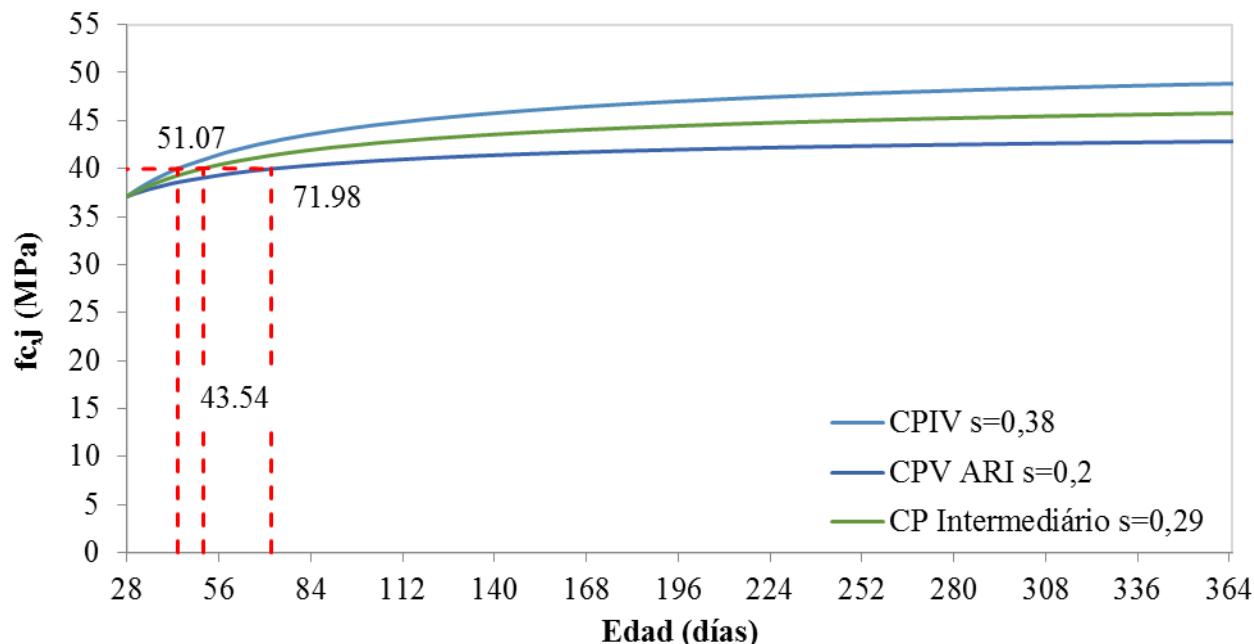


Figura 1. Evolución de la resistencia conforme fib Model Code 2010

En la figura se observa que, para alcanzar los 40 MPa especificados, se llevará 45 días considerando el β_1 para el concreto con CPIV, 51 días para el β_1 considerando CP “intermedio” y 72 días para el β_1 con CPV ARI.

Luego de la definición del β_1 , se calculó el coeficiente β , considerando dos condiciones de β_2 - 0,73, según recomendaciones de la ABNT NBR 6118:2014; y 0,75, máximo valor conforme Rüsch (1960). Los valores están expresados en la Tabla 5.

Tabla 5. Coeficientes de β para diferentes tipos de cemento y carga

Condición	β_1	β_2	β
ABNT NBR 6118:2014	1,16	0,73	0,847
β_1 do CPV-ARI / β_2 da NBR 6118	1,21	0,73	0,885
β_1 do CP “Intermedio” / β_2 da NBR 6118	1,33	0,73	0,968
β_1 do CPIV / β_2 da NBR 6118	1,44	0,73	1,052
β_1 do CPV-ARI / β_2 del máximo - Rusch (1960)	1,21	0,75	0,909
β_1 do CP Inter. / β_2 del máximo - Rusch (1960)	1,33	0,75	0,995
β_1 do CPIV / β_2 del máximo - Rusch (1960)	1,44	0,75	1,081

Para la verificación de la seguridad en el caso de estudio, se calculó la resistencia a la compresión de proyecto del concreto f_{cd} , de acuerdo con la ecuación 4, utilizando los coeficientes calculados en la Tabla 5. Los resultados están expresados en la Tabla 6.

$$f_{cd} = \beta * \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \quad (4)$$

Tabla 6. Tensión a compresión do concreto

Condición	f_c (MPa)	γ_c	β	f_{cd} (MPa)
ABNT NBR 6118:2014 (valor referencia)	40	1,4	0,847	24,2
β_1 do CPV-ARI / β_2 del NBR 6118	37,1	1,4	0,885	23,4
β_1 do CP “Intermedio” / β_2 del NBR 6118			0,968	25,7
β_1 do CPIV / β_2 del NBR 6118			1,052	27,9
β_1 do CPV-ARI / β_2 del máximo - Rusch (1960)			0,909	24,1
β_1 do CP Inter. / β_2 del máximo - Rusch (1960)			0,995	26,4
β_1 do CPIV / β_2 del máximo - Rusch (1960)			1,081	28,6
β_1 do CPV-ARI / β_2 del NBR 6118	37,4	1,4	0,885	23,6
β_1 do CP “Intermedio” / β_2 del NBR 6118			0,968	25,9
β_1 do CPIV / β_2 del NBR 6118			1,052	28,1
β_1 do CPV-ARI / β_2 del máximo - Rusch (1960)			0,909	24,3
β_1 do CP Inter. / β_2 del máximo - Rusch (1960)			0,995	26,6
β_1 do CPIV / β_2 del máximo - Rusch (1960)			1,081	28,9
β_1 do CPV-ARI / β_2 del NBR 6118	38,6	1,4	0,885	24,4
β_1 do CP “Intermedio” / β_2 del NBR 6118			0,968	26,7
β_1 do CPIV / β_2 del NBR 6118			1,052	29,0
β_1 do CPV-ARI / β_2 del máximo - Rusch (1960)			0,909	25,1
β_1 do CP Inter. / β_2 del máximo - Rusch (1960)			0,995	27,4
β_1 do CPIV / β_2 del máximo - Rusch (1960)			1,081	29,8

Los valores obtenidos demuestran que apenas cuando se considera exclusivamente el cemento CPV ARI que la tensión obtenida se presenta por debajo de lo esperado. Para los concretos con cemento con puzolana, como el caso de este estudio, la tensión de cálculo del concreto ya se presenta sobre lo exigido. Se verifica la naturaleza conservadora de la ABNT NBR 6118:2014 – característica esperada de normas técnicas. Entretanto, surge la posibilidad de que el profesional use los conocimientos consolidados en el área y avance en el estudio del desarrollo de la resistencia del concreto luego de los 28 días.

Se resalta que, según la ABNT NBR 6118:2014, en caso que las resistencias continúen por debajo del f_{ck} de proyecto, debería ser realizado un nuevo cálculo estructural con el nuevo valor. Sin embargo si existe la inseguridad debería ser prevista una limitación de uso de ese elemento, elaboración de proyecto de reforzamiento o hasta la demolición parcial o total de las piezas no conformes.

4. CONCLUSIONES

Al analizar el comportamiento de la resistencia a la compresión a largo plazo, así como verificar las recomendaciones de normativas internacionales y demás intervenientes en el control tecnológico del concreto se observa que las prescripciones establecidas en la ABNT NBR 6118:2014 son conservadoras, llevando a un alto grado de seguridad, como es lo esperado en normas técnicas.

Entretanto, algunos de los criterios establecidos por la norma no consideran importantes factores, principalmente en lo que se refiere a la resistencia del concreto a largo plazo, como se observó en el estudio de caso presentado. La referida normativa no considera el comportamiento real del material, visto que no considera el efecto de las adiciones puzolánicas en este desatollo, además de considerar un decrecimiento de la resistencia (*efecto Rüsch*) superior al indicado por Rüsch (1960) (Helene, 2011;

Silva Filho, Helene, 2011). Tales factores pueden afectar, directamente, el factor de ponderación β , que afecta el cálculo estructural.

Cabe destacar que antes del uso de nuevos coeficientes, deben ser realizadas otras etapas, como la revisión del cálculo estructural y la realización de una rigurosa inspección, chequeando con rigor la ejecución, la geometría y la calidad de los materiales. Estas etapas, sumado a la estimación del desempeño frente a los efectos de larga duración, pueden auxiliar en la verificación de la seguridad y en la toma de decisión en los casos de no Conformidad de concretos estructurales.

5. REFERENCIAS

- American Concrete Institute (2011), *ACI 318-11: Building code requirements for structural concrete and commentary*, (Detroit, Michigan, USA: ACI), p.503.
- American Concrete Institute (2011), *ACI 214R-11: Guide to evaluation of strength test results of concrete*, (Detroit, Michigan, USA: ACI), p.16.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas (2015), *NBR 12655: Concreto: controle, preparo e recebimento*, (Rio de Janeiro, Brasil: ABNT), p.23.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas (2015), *NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento*, (Rio de Janeiro, Brasil: ABNT), p.238.
- Caspeele, R., Taerwe, L. (2011), “Statistical comparison of data from concrete families in ready-mixed concrete plants”, *Structural Concrete*, V. 12(3), pp.148-154.
- Caspeele, R., Taerwe, L. (2014), “Influence of concrete strength estimation on the structural safety assessment of existing structures”, *Construction and Building Materials*, V.62, pp.77-84.
- Comité Euro-International du Beton (1993), *Model code 1990: design code*, (Lausanne, Suíça: Thomas Telford Services Ltd), p.437.
- Comité Euro-International du Beton (2012), *Fib model code 2010: final draft Vol 1*, (Lausanne, Suíça: FIB), p.311.
- Couto, D., Carvalho, M., Cintra, A., Helene, P. (2015), “Concrete structures. Contribution to the safety assessment of existing structures”, *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, V. 8(3), pp.365-389.
- British Standards European Standard (2013), “Concrete. Specification, performance, production and conformity”, (BSI), p.98.
- Helene, P. (2011), “Análise da resistência à compressão do concreto em estruturas acabadas com vistas à revisão da segurança estrutural”, *Revista ALCONPAT*. V. 1(1), pp.67-92.
- Helene, P., Terzian, P. (1992), “Manual de dosagem e controle do concreto”, (São Paulo, Brasil: PINI), p.349.
- Kausay, T., Simon, T. K. (2007), “Acceptance of concrete compressive strength”, *Concrete Structures*, V.8, pp.54-63.
- Klemczak, B., Batog, M., Pilch, M. (2016), “Assessment of concrete strength development models with regard to concretes with low clinker cements”, *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, V. 16(2), pp.235-247.
- Larrossa, M. C., Real, M. V., Dias, C. R. R., Magalhães, F. C. (2014), “Statistical analysis and conformity testing of concrete in port construction work”, *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, V.7(3), pp.468-497.
- Magalhães, F. C., Real, M. V., Silva Filho, L. C. P. (2014), “The problem of non-compliant concrete and its influence on the reliability of reinforced concrete columns”, *Materials and Structures*, pp.1-13.
- Magalhães, F. C. (2014), “A problemática dos concretos não conformes e sua influência na confiabilidade de pilares de concreto armado”, Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p.290.
- Mehta, P. K., Monteiro, P. (2014), “Concreto: microestrutura, propriedades e materiais”, (São Paulo: IBRACON), p.782.

- Pereira, M. D. S. (2008), “*Controle da resistência do concreto: paradigmas e variabilidades: estudo de caso*”, Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, p.229.
- Pacheco, J., Helene, P. (2013), “*Boletín Técnico nº 9: Controle da resistência do concreto*”, (Mérida, México: ALCONPAT Internacional), p.20.
- Rao, K. B., Anoop, M. B., Iyer, N. R. (2013), “*Producer’s risk associated with concrete compressive strength acceptance criteria of IS456-2000*”, Journal of The Institution of Engineers (India): Series A, V.94(4), pp.243-249.
- Santiago, W. C. (2011), “*Estudo da (Não-) Conformidade de concretos produzidos no Brasil e sua influência na confiabilidade estrutural*”, Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, p.107.
- Santiago, W. C., Beck, A. T. (2011), “*A study of Brazilian concrete strength (non-) compliance and its effects on reliability of short columns*”, Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, V. 4(4), pp.663-690.
- Silva Filho, L. C. P., Helene, P. (2011), “*Análise de estruturas de concreto com problemas de resistência e fissuração*”, In: Geraldo C. Isaia. (Org.), *Concreto: Ciência e Tecnologia* (São Paulo:IBRACON), pp.1129-1174