

ENTENDIENDO EL CONCRETO

Ing. Enrique Pasquel Carbajal





Ing. Enrique Pasquel Carbajal

Ingeniero Civil, Gerente General de Control Mix Express SAC.- Ensayos en Concreto, Profesor de la Pontificia Universidad Católica del Perú, Profesor de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Honorary Member American Concrete Institute, Fellow American Concrete Institute, Past Presidente del ACI-PERU, Miembro del Comité ACI 318 del American Concrete Institute, Miembro del Comité de la Norma E 060, Instructor Certificado de ASTM para Latinoamérica, Director Ejecutivo de Pasquel Consultores - Especialistas en Concreto



El Sistema Control Mix Express es un servicio integral para el control de calidad de testigos de concreto en obras civiles, constituido por 6 etapas estandarizadas que involucran:

1) Muestreo, 2) Moldeo, 3) Transporte a laboratorio, 4) Almacenaje y Curado controlado, 5) Ensayo en compresión y 6) Remisión online de certificados de resultados de ensayos, en cumplimiento estricto de las normas aplicables.

El Sistema Control Mix Express es de origen totalmente nacional en cuanto a su concepción e implementación, empleando en su configuración las siguientes Normas ASTM de origen norteamericano (USA) especificadas en la NTE E.060 Concreto Armado - 2009 del Reglamento Nacional de Edificaciones como aplicables.

El sistema Control Mix Express cuenta con certificación ISO 9001:2008, siendo el alcance "sistema para el Control de Calidad del concreto de obras en Lima, que incluye conjuntamente los procesos de: Capacitación y certificación en muestreo y moldeo de probetas al personal del cliente, y Control y ensayo: suministro de módulos de muestreo, transporte, curado, ensayo de resistencia a la compresión de probetas de concreto, y emisión y envío de certificados de ensayo en línea"



Empresa especializada en consultoría en Tecnología del Concreto, Patología y Procesos Constructivos Especiales con concreto.

El servicio abarca todo tipo de evaluación de problemas con concreto, desarrollo y optimización de diseños de mezcla de concretos convencionales y especiales, para infraestructura, carreteras, puertos, minería, etc.

Así mismo, se realizan proyectos de investigación en el desarrollo de productos aplicados para la industria de la construcción y desarrollos de cursos de capacitación especializada en concreto in house.

ENTENDIENDO EL CONCRETO

1

FRECUENCIA DE MUESTREO DEL CONCRETO EN OBRA

Se explican los conceptos básicos que sustentan la necesidad de realizar un muestreo estandarizado y sistemático para el control de calidad del concreto en obra, y lo que establecen las Normas Técnicas vigentes al respecto.

1.0 POR QUE MUESTREAR?

Las cosas cotidianas son una herramienta muy útil para entender y explicar los fenómenos y problemas técnicos ya que gran parte de estos son también cotidianos, pero acostumbramos revestirlos de una aureola de explicaciones científicas que algunas veces nos complican el entenderlos antes que colaborar en su asimilación y aplicación práctica.

En el caso del concepto técnico de muestrear o de obtener una muestra, todos los días "muestreamos" productos y servicios sin reparar en ello. Vamos al supermercado y se nos acercan unas señoritas con bandejas de pequeñas cantidades de galletas, embutidos, café, bebidas, licores, etc. donde nos ofrecen porciones o "muestras" de diferentes productos para que los probemos y tomemos una decisión sobre si nos gustan y si los vamos a adquirir.

Entonces el sentido común nos dice que muestrear u obtener una muestra tiene como objetivo probar o medir alguna propiedad de un producto o servicio a través de una pequeña porción de éste, y lleva inevitablemente a una opinión y una decisión en relación al mismo.

Si se trata de un producto muy sencillo que tiene muy

pocos insumos y lo elabora un solo fabricante, como por ejemplo una determinada bebida gaseosa, nos bastará probar un poco del líquido de una botella y ello nos bastará para emitir una opinión. Pero si vamos a un restaurante y queremos pedir un vino y nos traen una lista donde apreciamos diferentes variedades de uva e incluso diferentes combinaciones de variedades y tratamientos y diferentes productores nacionales y extranjeros, la cosa se pone más complicada pues si no hemos "muestreado" y probado previamente una gran cantidad de estos productos no es tan fácil opinar y aún más, elegido el producto nos llevan la botella a la mesa para tomar una "muestra" antes de servirla para aprobarla o desaprobala. ya que su gran variabilidad puede hacer que en algunos casos la botella elegida esté defectuosa.

Esto nos lleva a la conclusión muy sencilla de que en el caso del muestreo, cuando menos variable es el producto o servicio, no se requiere "probarlo" muchas veces para llegar a una conclusión, mientras que en el caso contrario cuando el producto es muy variable el muestreo debe ser frecuente para verificar que las propiedades o bondades se mantienen en el tiempo.



2.0 QUE TAN VARIABLE ES EL CONCRETO?

Recordemos que el concreto moderno es un producto híbrido que tiene 5 insumos básicos : cemento, agua, arena, piedra y aditivos, que por su naturaleza es heterogéneo y variable, dependiendo esta variabilidad de la dispersión que aporta cada uno de sus componentes.

Analicemos en nuestra realidad local que tan variable es cada uno de ellos, donde en principio descartaremos el agua asumiendo que es el insumo en general con menos variación :

En el caso del cemento tenemos actualmente en nuestro país 4 fabricantes locales : Unacem (Cementos Sol + Cemento Andino), Cementos Pacasmayo, Cementos Yura y Caliza Cementos Inca, y empresas que importan clinker y lo muelen como Mixercon y otras que comercializan cemento importado como es el caso de Cemex.

Dentro de este abanico de posibilidades los fabricantes nos ofrecen Cemento Tipo I, Tipo II, Tipo V, Tipo ICo, Tipo MS, Tipo IP, Tipo IPM, Tipo IBA, Tipo IIBA y Tipo GU, donde si consideramos las combinaciones de tipos y marcas representan el empleo potencial de un total de 39 productos con comportamiento diferente pese a cumplir todos las normas de fabricación ya que estas son bastante amplias, dependiendo la variabilidad en cada caso del fabricante en particular así como de la disponibilidad y stock del producto que elijamos o nos hayan especificado .

En lo que corresponde a los agregados, en Lima se cuenta con alrededor de 20 canteras que abastecen de

arena y piedra para la producción de concreto, de las cuales 5 pertenecen a los principales proveedores de concreto premezclado (Unicon, Mixercon y Firth) con características de procesamiento y control industrializado, y en las restantes el procesamiento es sumamente artesanal con muy poco o ningún control. Sin embargo, en épocas de gran demanda de concreto, las canteras formales no se dan abasto y los proveedores de premezclado recurren a mezclar agregados de sus diferentes canteras e incluso usar agregados de canteras artesanales lo que se traduce en un incremento notable de la variabilidad en los concretos debido a la gran dispersión en la piedra y arena. En provincias el problema es similar.

Finalmente en lo que corresponde a aditivos para concreto, existen las empresas transnacionales como BASF, Sika y Euco que concentran el abastecimiento principalmente de la mayor parte del mercado local del concreto premezclado con una gran variedad de productos, pero también tenemos fabricantes locales como Chema, Zeta Aditivos y otros menores que también tienen su cuota del mercado, incorporando un elemento adicional de variabilidad a la ya comentada.

Se puede concluir pues que conceptualmente el concreto es un material muy variable y la realidad local en relación a la variabilidad de sus insumos lo ratifica totalmente, significando que el muestreo para el control de calidad debe ser bastante frecuente, representando un tema sumamente importante.

3.0 QUE DICEN LAS NORMAS EN RELACIÓN A LA FRECUENCIA DE MUESTREO DEL CONCRETO?

Nuestra raíz tecnológica en relación al concreto es norteamericana y proviene del American Concrete Institute - ACI, y principalmente del Código ACI 318 que establece los Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural, siendo el Código privado para diseño en concreto armado mas empleado y referido a nivel mundial. En nuestro país la Norma NTE E.060-2009 Concreto Armado, es el código oficial vigente con fuerza de Ley ya que es emitido y publicado por D.S. del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento y está basado en el Código ACI 318-2005.

En las Figuras N° 1, N° 2 y N° 3 se pueden apreciar en facsimil lo especificado sobre Clase de Concreto y Frecuencia de Muestreo en el acápite 26.12.2 del Código ACI 318-14 (versión vigente) y en los acápites 5.1.7 y 5.6.2 de la NTE E.060-2009 (versión vigente). En la Tabla N° 1 se hace el comparativo de ambas normas para establecer las similitudes y diferencias en cada caso y que comentaremos en detalle.

26.12-2 Frecuencia de los ensayos

26.12.2.1 Requisitos de construcción a cumplir:

(a) Las muestras para los ensayos de resistencia de cada clase de concreto colocado cada día deben tomarse de acuerdo con (1) hasta (3):

- (1) Al menos una vez al día
- (2) Al menos una vez cada 110 m³ de concreto
- (3) Al menos cada 460 m² de superficie de losas o muros.

(b) Cuando en un proyecto dado el volumen total de concreto sea tal que la frecuencia de ensayos proporcione menos de cinco ensayos de resistencia para cada clase dada de concreto, los ensayos deben hacerse por lo menos en cinco tandas de mezclado seleccionadas al azar, o en cada tanda cuando se empleen menos de cinco.

Figura 1. - Acápite 26.12.2 del Código ACI 318-2014 en su versión en español

5.1.7 Para la selección del número de muestras de ensayo, se considerará como “clase de concreto” a:

- (a) Cada una de las diferentes calidades de concreto requeridas por resistencia en compresión.
- (b) Para una misma resistencia en compresión, cada una de las diferentes calidades de concreto obtenidas por variaciones en el tamaño máximo del agregado grueso, modificaciones en la granulométrica del agregado fino o utilización de cualquier tipo de activo.
- (c) El concreto producido por cada uno de los equipos de mezclado utilizados en la obra.

Figura 2 .- Acápites 5.1.7 de la Norma NTE E.060-2009

5.6.2 Frecuencia de los ensayos

5.6.2.1 Las muestras para los ensayos de resistencia de cada clase de concreto colocado cada día deben tomarse no menos de una vez al día, ni menos de una vez por cada 50 m³ de concreto, ni menos de una vez por cada 300 m² de superficie de losas o muros. No deberá tomarse menos de una muestra de ensayo por cada cinco camiones cuando se trate de concreto premezclado.

5.6.2.2 Cuando en un proyecto dado el volumen total de concreto sea tal que la frecuencia de ensayos requerida por 5.6.2.1 proporcione menos de cinco ensayos de resistencia para cada clase dada de concreto, los ensayos deben hacerse por lo menos en cinco tandas de mezclado seleccionadas al azar, o en cada una cuando se empleen menos de cinco tandas.

Figura 3 .- Acápites 5.6.2 de la Norma NTE E.060-2009

ACI 318 - 2014	NTEE 060 - 2009	Observación
Clase de Concreto sólo por Resistencia en compresión.	Clase de Concreto sólo por Resistencia en compresión, Tamaño Máximo de Agregado, Variaciones en arena en Tipo de aditivo y por cada equipo de producción de concreto en obra (por cada planta en el caso de premezclado..	NTE E.060 es más exigente
No menos de 1 Muestra por cada clase de concreto por día.	No menos de 1 Muestra por cada clase de concreto por día.	Criterio similar, pero en NTE E060 hay más clases de concreto, es decir es más exigente.
No menos de 1 Muestra por cada 110 m ³ de concreto de cada clase.	No menos de 1 Muestra por cada 50 m ³ de concreto de cada clase.	NTE E.060 es más exigente
No menos de 1 Muestra por cada 460 m ² de losas o muros.	No menos de 1 Muestra por cada 300 m ² de losas o muros.	NTE E.060 es más exigente
No menos de 5 Muestras por cada clase de concreto en proyectos con poco volumen.	No menos de 5 Muestras por cada clase de concreto en proyectos con poco volumen.	Criterio similar pero en NTE E.060 hay más clases de concreto, es decir, es más exigente.
No indica muestreo mínimo en el caso de premezclado.	No menos de 1 muestra por cada 5 camiones (cada 40 m ³).	NTE E.060 es más exigente.

Tabla N° 1 - Análisis comparativo de las exigencias de ACI 318-2014 vs NTE E.060-2009

Con frecuencia recibo comentarios de algunos colegas locales sobre el porqué si se supone que el ACI 318 es el estado del arte en relación al concreto, nuestra norma NTE E.060 es mucho más exigente "innecesariamente". El suscrito es miembro activo tanto del Comité ACI 318 en USA como del Comité de la Norma NTE E060 local por lo que conocemos de cerca los argumentos para aclarar estos conceptos.

La respuesta es más simple de lo que parece si recordamos por un lado que el Código ACI 318 es una norma desarrollada para la realidad norteamericana, donde sólo se emplean insumos certificados y estandarizados, la industria del premezclado tiene una penetración superior al 95% del consumo de cemento y la cultura técnica y comercial está basada en la confianza del cumplimiento de especificaciones y acuerdos.

En nuestro país, la penetración del concreto premezclado no llega al 25% del consumo de cemento, primando la producción del concreto informal a pie de obra, los agregados tienen serios problemas de calidad y uniformidad, y nuestra cultura desafortunadamente está basada en la tendencia al incumplimiento y saltarse en los posible las normas técnicas y comerciales por fines de lucro.

En este sentido, los miembros del Comité de la Norma E 060 conocedores de esta realidad y de la necesidad de

que en las obras se logre obtener realmente la resistencia del concreto establecida en el diseño estructural, incluyeron especificaciones más exigentes en el muestreo a fin de elevar en nuestro medio el nivel de calidad tanto del concreto a pie de obra, como del concreto premezclado y garantizar la seguridad de las construcciones, sobre todo ante los eventos sísmicos que cada cierto tiempo asolan nuestro país, luego la frecuencia establecida no es arbitraria sino la necesaria para la realidad local.

4.0 CONCLUSIONES

■ ■ ■ La Norma NTE E.060-2009 Concreto Armado vigente tiene fuerza de ley y es de aplicación obligatoria en relación a la frecuencia de muestreo para evaluar la calidad del concreto en obra, siendo el Código ACI 318 sólo la norma de referencia.

■ ■ ■ La NTE E.060 establece que se debe diferenciar las clases de concreto en un proyecto por su resistencia en compresión, pero adicionalmente segmentarlas por variaciones en Tamaño Máximo del agregado, en el tipo y procedencia de la arena, el tipo y marca de aditivo empleado y por cada mezcladora que se emplee en obra y/o por cada planta de producción de premezclado de donde provenga el concreto.

■ ■ ■ Cada clase de concreto empleado en obra debe ser muestreado no menos de 1 vez al día.

■ ■ ■ Cada clase de concreto empleado en obra debe muestrearse no menos de 1 vez cada 50m³ colocados por día, no menos de cada 300 m² de losas o muros vaciados y no menos de cada 5 camiones (cada 40m³) suministrados por día cuando se emplee premezclado.

■ ■ ■ En proyectos con volúmenes totales de concreto menores de los mencionados previamente, deben obtenerse no menos de 5 muestras por cada tipo de concreto durante la ejecución de la obra.



■ ■ ■ Nuestra experiencia en este campo permite estimar para fines prácticos que para cumplir con los requisitos de la Norma NTE E060, la frecuencia de muestreo en obra es del orden de una muestra cada 25 m³ a 30 m³ en el caso del premezclado.



ENTENDIENDO EL CONCRETO

2

CONCRETO EN ESTADO FRESCO EN LA OBRA:

LAS CONFUSIONES ENTRE TIEMPO
DE VIDA ÚTIL, TRABAJABILIDAD, TIEMPO
DE FRAGUA Y TIEMPO DE DESENCOFRADO.

Se explican los conceptos básicos en relación al comportamiento del concreto en estado fresco y las confusiones frecuentes en obra en cuanto al tiempo de vida útil, la trabajabilidad, fraguado y desencofrado, que originan conflictos entre el constructor, supervisor y proveedor de premezclado.

1.0

TIEMPO DE VIDA ÚTIL DEL CONCRETO EN OBRA

Con seguridad le ha ocurrido a algún colega Residente de obra que su Supervisor verifica la guía de remisión del camión de premezclado y basado en un cierto tiempo transcurrido decide que ya no puede usarse argumentando que ya tiene fraguado inicial, o que ya se cumplió el tiempo de vida útil garantizado por el proveedor de premezclado y debe desecharse. Otro caso frecuente es cuando se aprecia que luego de un tiempo el asentamiento o slump ha caído notablemente y también se considera que ya hay fraguado inicial y debe rechazarse el concreto.

El error conceptual proviene fundamentalmente de no entender en que consiste la vida útil del concreto en estado fresco y que parámetros la controlan en cada proceso constructivo.

El estado fresco en el caso del concreto representa la condición en que podemos usarlo en los procesos constructivos mientras se deje mezclar, transportar, colocar y compactar sin "resistirse" a estos procesos y es lo que se denomina técnicamente el estado plástico. En este estado también denominado "periodo latente" aún no empieza el proceso químico de hidratación que activa al cemento como pegante y ocasiona endurecimiento y rigidez permanente, y es la condición en que el constructor emplea esta mezcla para transportarla y colocarla en los encofrados y densificarla mediante la compactación para que adopte una forma definitiva antes de que empiece su proceso químico de endurecimiento y esto ya nos define un criterio de vida útil.

Pero por otro lado preguntémosnos que pasa si el concreto aún no ha iniciado su proceso químico de hidratación, pero se ha vuelto una masa difícil de mezclar, transportar, colocar y compactar, principalmente por evaporación del agua o por pérdida de eficiencia de los aditivos y si lo usa el constructor en esta condición no va a lograr darle la forma, acabado y densificación requeridos y la estructura será rechazada, llevándonos a concluir que la "trabajabilidad" o facilidad de uso es un concepto físico que también define otro criterio de vida útil.

Podemos concluir pues que la vida útil del concreto fresco en obra no sólo depende del tiempo y del inicio del proceso químico de endurecimiento definido técnicamente como fraguado inicial, sino que la facilidad y habilidad de empleo en el proceso desde el punto de vista del mezclado, transporte, colocación y compactación, definido técnicamente como "trabajabilidad", es el otro factor condicionante de esta vida útil y ambos deben verificarse simultáneamente para poderla establecer objetivamente.

Pasaremos a desarrollar con mayor detalle estos conceptos a la luz de las normas y sustento científico.



2.0 ESTADO PLÁSTICO

Condición temporal del concreto fresco de duración variable durante la cual el material puede trasladarse, colocarse y compactarse a voluntad sin tener deformaciones permanentes, no resistiéndose a ser deformado al no haberse desarrollado aún la matriz resistente de la pasta de cemento y la rigidez

correspondiente. Es el estado en que puede usarse sin problemas durante los procesos constructivos. Su duración depende del diseño de mezcla en particular, de la humedad, temperatura del concreto, temperatura ambiente y del tiempo. Se denomina también periodo latente.

3.0 FRAGUADO INICIAL

Condición temporal del concreto fresco de duración variable que marca el inicio del endurecimiento y del proceso químico de desarrollo de la matriz resistente de la pasta de cemento, en la que se originan deformaciones permanentes si se le aplica energía de desplazamiento (mezclado, vibrado, etc.) constituyendo el fin del estado plástico y de su vida útil durante el proceso constructivo. La norma ASTM C 403 y la nacional equivalente NTP 339.082 estandarizan el fraguado inicial como el tiempo en el cual la fracción de

mortero del concreto desarrolla una resistencia a la penetración de 500 lb/plg² (3.5Mpa) con un pin de 25mm de largo. Su duración depende del diseño de mezcla en particular, de la humedad, temperatura del concreto, temperatura ambiente y del tiempo. Una forma práctica aproximada de estimar si un concreto en obra ya está en esta condición, es verificar el momento en que al insertar un vibrador verticalmente por su peso propio y retirarlo lentamente queda un agujero visible (deformación permanente).

4.0 FRAGUADO FINAL

Condición definitiva del concreto fresco de duración variable que marca el endurecimiento completo y la consolidación de la matriz resistente de la pasta de cemento, donde se requiere gran energía de deformación (impacto, percusión, abrasión, etc.) para alterar la estructura formada. La norma ASTM C 403 y la nacional equivalente NTP 339.082 estandarizan el fraguado inicial como el tiempo en el cual la fracción de mortero del concreto desarrolla una resistencia a la

penetración de 4000 lb/plg² (28.0Mpa) con un pin de 25mm de largo. Depende del diseño de mezcla en particular, de la humedad, temperatura del concreto, temperatura ambiente y del tiempo. En la Tabla N° 1 se pueden apreciar los rangos de tiempos de fraguado inicial y final en Lima para los periodos de Verano e Invierno en concreto a pie de obra sin aditivos y concreto industrializado o premezclado con aditivos.

5.0 TRABAJABILIDAD

Condición temporal del concreto de duración variable y apreciación relativa que se define como la mayor o menor facilidad para mezclarlo, transportarlo, colocarlo y compactarlo mientras está en estado plástico. No existe un valor estándar de trabajabilidad, definiéndola el proyectista o el constructor en función de la estructura y el proceso constructivo mediante la exigencia de un valor de slump o asentamiento para el concreto en obra, que da una idea de esta condición sin ser totalmente concluyente, ya que antes que una medida de trabajabilidad es un indicador de uniformidad del

concreto entre tandas. Depende del diseño de mezcla en particular, de la humedad, temperatura del concreto, temperatura ambiente y del tiempo. No necesariamente la pérdida de slump de un concreto es evidencia de haberse llegado a la condición de fraguado inicial ya que son dos conceptos independientes pero que con frecuencia se confunden erradamente en obra. En la Tabla N° 2 se pueden apreciar los rangos de pérdida de trabajabilidad en Lima para los periodos de Verano e Invierno en concreto a pie de obra sin aditivos y concreto industrializado o premezclado con aditivos.

	FRAGUADO INICIAL SIN ADITIVOS EN HORAS	FRAGUADO INICIAL CON ADITIVOS EN HORAS	FRAGUADO FINAL SIN ADITIVOS EN HORAS	FRAGUADO FINAL CON ADITIVOS EN HORAS	RANGO DE TEMPERATURA REFERENCIAL
VERANO	02:05	04:00	04:00	05:38	24°C a 28°C
INVIERNO	05:04	06:10	06:57	08:07	17°C a 18°C

Tabla N° 1 .- Comportamiento Típico del Fraguado de Concreto $f'c=210$ kg/cm² en Lima

	PÉRDIDA DE SLUMP SIN ADITIVOS EN PULGADAS/HORA	PÉRDIDA DE SLUMP CON ADITIVOS EN PULGADAS/HORA	TEMPERATURA REFERENCIAL DEL CONCRETO
VERANO	2.7"	1.7"	29°C
INVIERNO	2.3"	1.5"	17°C

Tabla N° 2 .- Comportamiento Típico de pérdida de slump en Concreto $f'c=210$ kg/cm² en Lima

6.0 RELACIÓN AGUA/CEMENTO Y TRABAJABILIDAD

Todo aquél que tiene conocimientos de Tecnología del Concreto sabe que la Resistencia en compresión depende de la relación Agua/Cemento en peso pero pocos conocen que este parámetro que representa la concentración del pegante tiene una influencia primordial en la trabajabilidad de las mezclas.

En el Gráfico N° 1 podemos apreciar la curva típica $f'c$ vs Agua/Cemento del Comité ACI 211.1 conocida y empleada internacionalmente para hacer diseños de mezcla, donde hemos resaltado valores significativos que vamos a proceder a comentar a continuación.

En el Gráfico N° 2 se muestra como se distribuye la estructura de hidratación de la pasta de cemento vs la relación agua/cemento cuando no se usan aditivos, y que permite entender varios aspectos del comportamiento de los morteros y concretos sobre los

que normalmente no reflexionamos.

Observamos que en dicha estructura hay cemento hidratado (identificado en color verde oscuro), cemento sin hidratar (color verde claro), agua de hidratación (color azul), agua excedente para lubricación (color celeste) y poros capilares (color blanco).

Si recordamos que el concreto $f'c=210$ kg/cm² que es el más usado en nuestro medio, está en el rango de relación Agua/Cemento 0.60 a 0.70, podemos verificar que para los llamados concretos convencionales, $A/C > 0.60$ (210kg/cm², 175kg/cm², 140kg/cm², 120kg/cm², 100kg/cm², etc.), siempre sobra agua para lubricación de la mezcla y ello explica porqué no hay problema en producir estos concretos sin aditivos con asentamientos del orden de 4" pues la estructura de la pasta colabora en esto.

En la medida que requerimos concretos de mayor resistencia y consecuentemente relaciones agua/cemento menores ($A/C < 0.60$ ' 245kg/cm², 280kg/cm², 315kg/cm², etc.), hallamos que cada vez hay menos agua excedente para lubricación, siendo que para una A/C del orden de 0.42 (350kg/cm² a 420kg/cm²) ya no existe esta agua.

En términos prácticos, para relaciones A/C ≥ 0.50 si no se emplean aditivos plastificantes y/o superplastificantes es imposible lograr concretos para obra con la trabajabilidad adecuada pues la estructura de la pasta no permite esto al ya no haber agua

excedente para lubricar y plastificar.

En consecuencia, para estos concretos el aditivo plastificante o superplastificante es el que maneja exclusivamente la trabajabilidad y controla su duración. Sólo en casos particulares como es el de concretos especialmente "secos" para pavimentos viales o industriales o al emplear equipos de compactación de alto rendimiento, o porque las estructuras a vaciar están en pendiente, se deben emplear mezclas con relación A/C baja y bajo asentamiento, afrontándose las dificultades inherentes en el manejo de su trabajabilidad pues así lo requiere el proceso constructivo.

Resistencia en compresión vs Relación Agua/Cemento

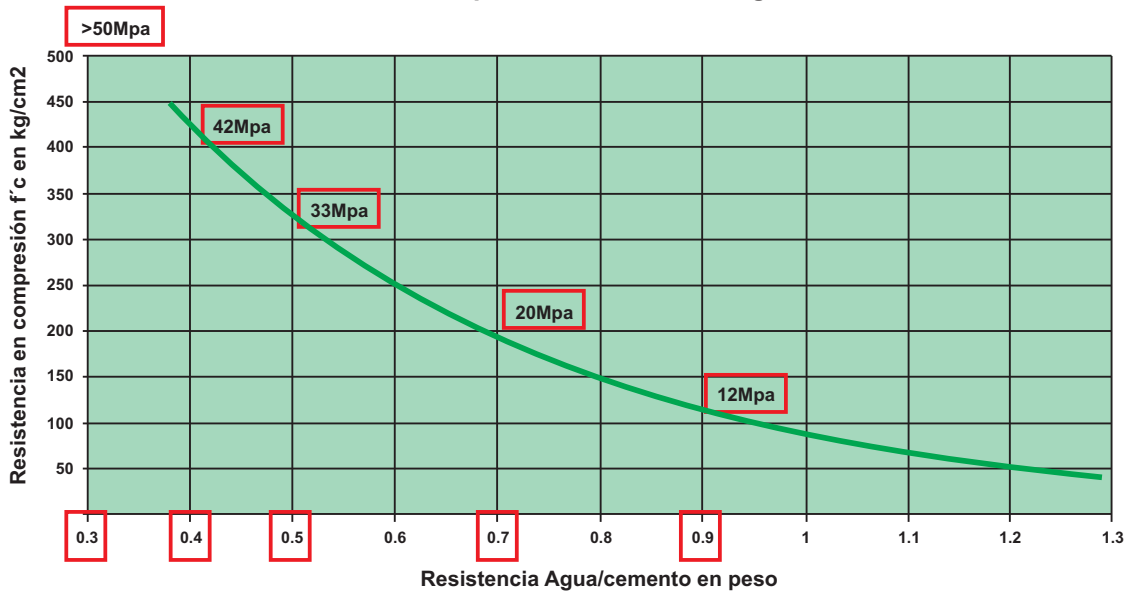


Gráfico N° 1.- f'c vs Agua/Cemento Comité ACI 211.1

Estructura de Hidratación de la pasta vs. Relación Agua/cemento

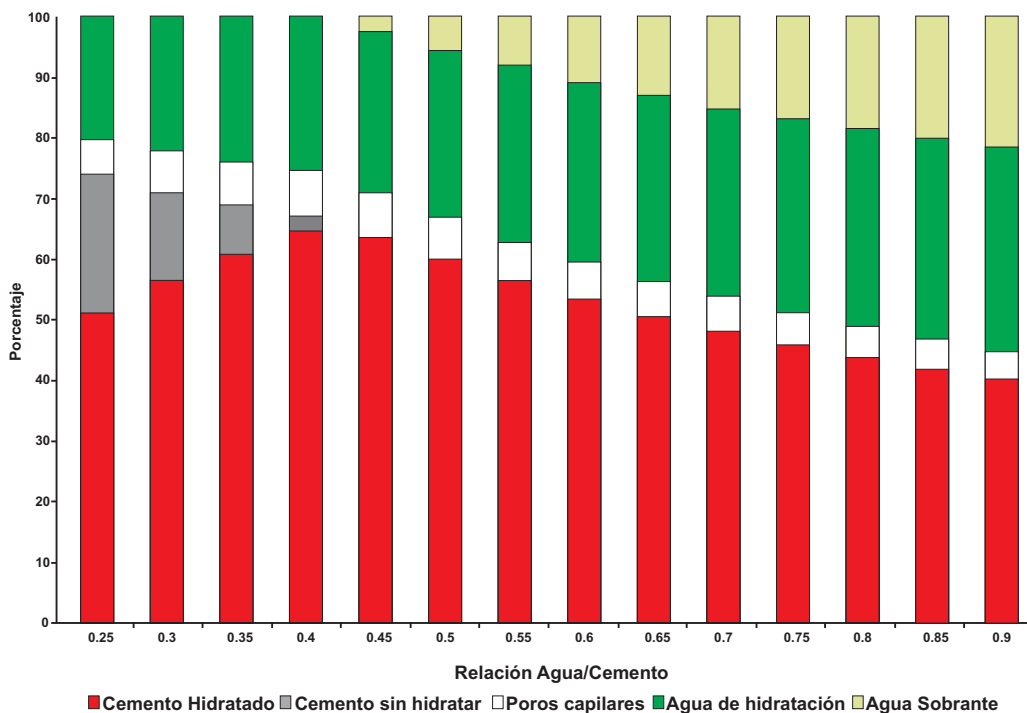


Gráfico N° 2.- Estructura de la pasta de cemento hidratada vs Agua/Cemento

7.0 DESENCOFRADO

Etapa del proceso constructivo que consiste en retirar las formas y soportes que sostienen el concreto durante la construcción cuando el material ya ha desarrollado la suficiente resistencia para soportar su peso propio y las cargas resultantes de las etapas siguientes del proceso. El cuando desencofrar no puede establecerse en base a criterios de endurecimiento, fraguado inicial o sólo tiempo, ya que no tienen estandarización directa con la resistencia, debiendo definirlo el proyectista en función de un % del f_c , que debe ser previamente verificado in-situ para

cada caso particular, pudiéndose con la estadística suficiente correlacionarlo con un tiempo específico.

El criterio práctico válido para desencofrar los costados de elementos verticales es efectuarlo 8 horas después de verificado el fraguado final, que con las tendencias mostradas en la Tabla N° 1 representa hacerlo entre las 13 horas a 16 horas de concluido el vaciado (cuando se emplea concreto premezclado con aditivos), razón por la que muchas especificaciones los establecen en un tiempo mínimo de 24 horas conservadoramente.

8.0 TIEMPO DE EMPLEO DEL CONCRETO SEGÚN NORMAS Y ESPECIFICACIONES

El Código ACI 318 y nuestra Norma NTE E.060 establecen que el concreto premezclado debe mezclarse y entregarse de acuerdo con la norma ASTM C 94 y la NTP 339.114, precisando ambas: "No se podrá emplear concreto que tenga más de 11/2 horas mezclándose desde el momento en que los materiales comenzaron a ingresar al tambor mezclador".

En ninguna de las normas mencionadas se hace referencia a fraguado inicial, sino que establecen un tiempo máximo de uso del concreto desde que se mezcló en la planta para garantizar que aún sea trabajable sin necesidad de agregarle agua in-situ.

Efectivamente, si se leen con cuidado los acápites 12.7 de la NTP 339.114 y 11.7 de ASTM C 94, se podrá encontrar lo siguiente: "Estas limitaciones pueden ser obviadas por el comprador si el concreto tiene un asentamiento tal que después de 11/2 h o después de que se haya alcanzado el límite de 300 revoluciones, éste puede ser colocado sin la adición de agua a la

tanda. En clima cálido o bajo condiciones que contribuyan al rápido endurecimiento del concreto el comprador podrá especificar un tiempo menor de 11/2h".

Abundando aún más, en la publicación especial ASTM STP 169D "Significance of Tests and Properties of Concrete & Concrete - Making Materials" ("Significado de los Ensayos y Propiedades del Concreto y los Materiales para su elaboración") se precisa que este tema está orientado a garantizar trabajabilidad y el control de la adición de agua y no tiene que ver con el fraguado inicial. Esta publicación especializada concluye en lo siguiente: "Las especificaciones ASTM reconocen que muchos de los requerimientos tales como el del tiempo límite de 90 minutos pueden ser obviados por el especificador. Este es el tipo de tema que debería ser discutido en una reunión de coordinación previa al trabajo".

En consecuencia, el definir si se acepta el uso del concreto en obra luego de 90 minutos del inicio del mezclado es potestad absoluta del constructor, que no depende del fraguado inicial sino que éste debe juzgar si



9.0 TIEMPO DE VIDA ÚTIL GARANTIZADO POR LOS PROVEEDORES DE PREMEZCLADO

El tiempo de transporte promedio de un mixer en Lima hasta las obras oscila en promedio entre 30 minutos a 45 minutos, luego, en el caso más crítico con un tiempo de fraguado inicial de 1.5 horas sin el uso de aditivos, el constructor tendría una vida útil antes del fraguado inicial del orden de 45 minutos para el transporte, colocación y compactación del concreto en obra.

El tiempo promedio de espera de los camiones de premezclado en las obras en Lima antes de poder vaciar es del orden 25' y el tiempo de vaciado neto es del orden de 45' en promedio.

Por consiguiente, los constructores insumen en las labores que son de su responsabilidad del orden de 70' en promedio que sumados al promedio de tiempo de transporte nos resulta un total de 115'. El sentido común nos dice que sin el uso de retardador, los constructores deberían desechar a su costo casi todo

el concreto que reciben, dado que o ya se produjo el fraguado inicial o se cumplió el límite de 1 1/2 hora por manejo de trabajabilidad.

Considerando esta realidad, todas las empresas de premezclado en el medio emplean aditivos plastificantes-retardadores en su producción a fin de darle un tiempo de vida útil mayor, tanto en relación al fraguado inicial como al mantenimiento de la trabajabilidad de modo que se reduzca la probabilidad de tener que eliminar concreto. La mayoría de empresas ha establecido como un estándar de vida útil 2.5 horas empleando aditivos, sin embargo hay que tener en cuenta que este es un tiempo de vida comercial ya que se aprecia en la Tabla N° 1 que el fraguado inicial en Lima con aditivos demora no menos de 4 horas y en consecuencia en la práctica el problema luego de 2.5 horas es de pérdida de trabajabilidad y no de fraguado inicial.

10 CONCLUSIONES

■ ■ ■ El tiempo límite de 90 min para el uso del concreto establecido por ACI 318 y la Norma E 060, está referido a su trabajabilidad para emplearlo en el proceso constructivo luego de transcurrido dicho tiempo, dependiendo este criterio exclusivamente de la percepción del constructor y su proceso constructivo.

■ ■ ■ Ambas normas establecen que dicho límite puede ser obviado por el constructor si considera que el concreto continúa trabajable y puede seguir colocándose sin necesidad de retémplarlo con agua.

■ ■ ■ Ninguna norma fija un tiempo mínimo o máximo de fraguado inicial para el concreto, ya que depende del diseño de mezcla, temperatura del concreto, temperatura ambiente, humedad y el tiempo, debiendo ser evaluado en lo aplicable para cada caso particular que así lo requiera aplicando la metodología estandarizada por ASTM C 403 y la nacional equivalente NTP 339.082.

■ ■ ■ La realidad de las condiciones locales en Lima demuestran que el uso de concreto premezclado sin aditivos plastificantes-retardadores ocasionaría que los clientes dispusieran solamente de un tiempo del orden de 30' a 45' para la espera del camión y el proceso de vaciado, periodo que en la práctica es superado ampliamente en la mayoría de las obras.

■ ■ ■ La trabajabilidad de los concretos está influenciada por su relación Agua/Cemento, y a mayor resistencia y menor relación Agua/Cemento, es más trascendente la eficiencia de los aditivos, ya que las mezclas tienden a perder trabajabilidad más rápido, lo

que puede afectar sensiblemente el proceso constructivo y producir estructuras con defectos.

■ ■ ■ Es un error especificar tiempo de desencofrado ya que este es un concepto variable, siendo lo correcto el precisar a que porcentaje del f'c puede efectuarse, lo cual si es medible.



ENTENDIENDO EL CONCRETO

3

TEMPERATURA MAXIMA DE COLOCACION DEL CONCRETO

EN OBRA Y LOS PROBLEMAS QUE PUEDE OCASIONAR

Se explican los conceptos básicos en relación al efecto de la temperatura de colocación del concreto fresco y su influencia en el proceso constructivo, desarrollo de resistencia y defectos superficiales, así como la necesidad de limitarla dependiendo de lo establecido por las normas y las condiciones particulares de la obra.

1.0

COMO AFECTA LA TEMPERATURA AL CONCRETO FRESCO EN CLIMA CALIDO?

Que es el clima cálido? La respuesta a esta pregunta es bastante obvia si se trata de decidir donde queremos ir a vacacionar pues buscamos sol y calor sin preocuparnos mucho de la temperatura, pero no lo es tanto cuando se trata del concreto ya que es un material muy sensible a temperaturas elevadas que afectan sensiblemente su comportamiento en esta fresco, por lo que se debe ser más preciso en relación al clima cálido. En este sentido, encontramos la siguiente definición en el Reporte del Comité ACI 305.1-14, "Especificación para el vaciado de concreto en clima cálido":

Clima Cálido - Una o una combinación de las siguientes condiciones que tienden a perjudicar la calidad del concreto fresco o endurecido acelerando la tasa de pérdida de humedad y la tasa de hidratación del cemento, o por otro lado causando resultados perjudiciales : Alta temperatura ambiente, alta temperatura del concreto, baja humedad relativa y alta velocidad del viento.

Esto nos permite concluir pues que la combinación de temperatura ambiente y temperatura del concreto elevadas son características del clima cálido que lo perjudican, y que en Lima y en muchas otras localidades de nuestro país se dan estacionalmente estas condiciones.

El mismo comité citado nos precisa los problemas potenciales que pueden perjudicar al concreto fresco en clima cálido :

- ● ● Incremento de la demanda de agua y tendencia a disminución de la resistencia.
- ● ● Incremento en la tasa de pérdida de slump y la tendencia correspondiente a añadir agua en obra, afectando la resistencia en compresión.
- ● ● Incremento de la tasa de endurecimiento, resultando en mayor dificultad para manipuleo, compactación y acabado y un mayor riesgo de juntas frías.
- ● ● Incremento en la tendencia de la contracción plástica y fisuración térmica.
- ● ● Dificultad incrementada en controlar el aire incorporado y la uniformidad de la mezcla.
- ● ● Potencial de cangrejeras, segregación, defectos superficiales por variaciones en trabajabilidad.



En las Figuras N° 1, N° 2 y N° 3 provenientes de la publicación mencionada, podemos apreciar el efecto de la temperatura del concreto fresco en el requerimiento de agua de la mezcla, en el tiempo de fraguado y en el

slump y la demanda de agua para modificarlo, apreciándose que cuanto mayor es la temperatura, el efecto es más perjudicial en estos aspectos, representando problemas para el constructor en la obra.

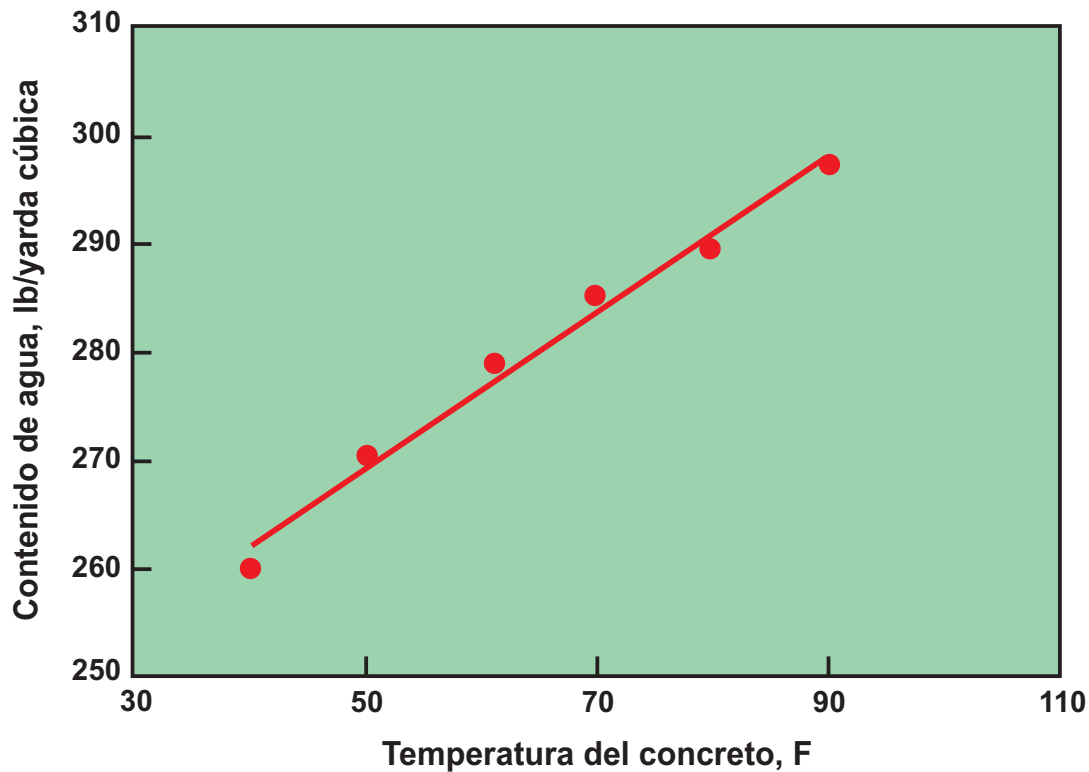


Figura N° 1 - Efecto de la variación de la demanda de agua en el concreto vs su temperatura

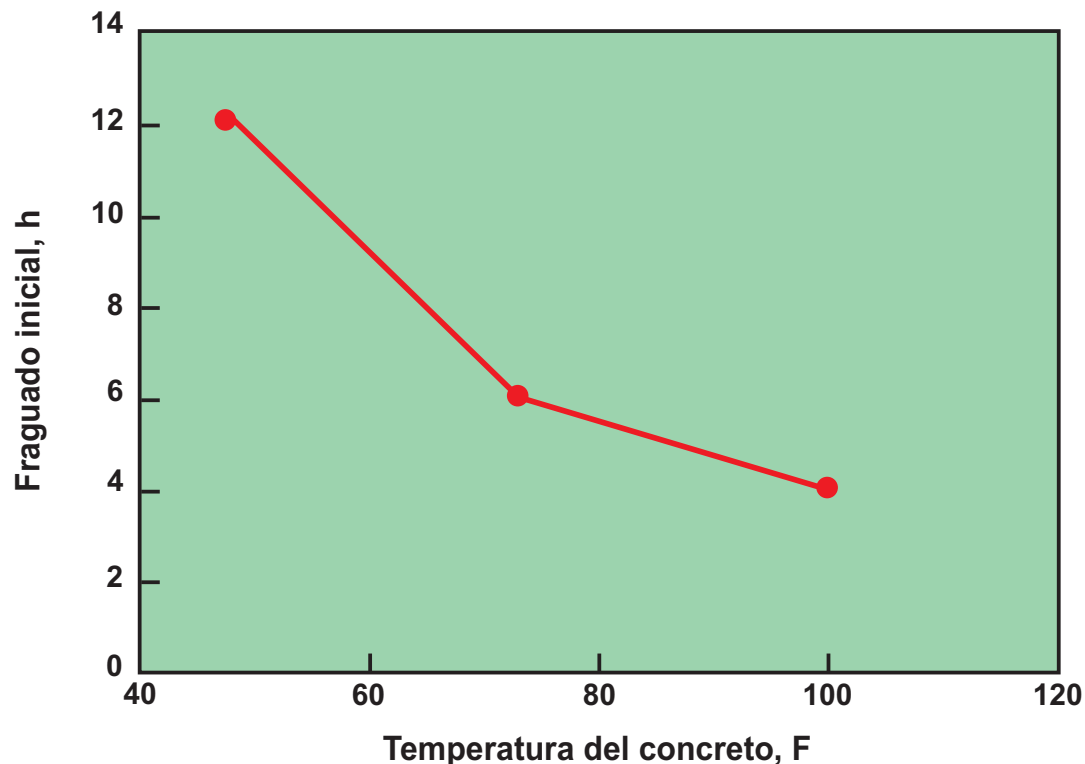


Figura N° 2 - Efecto de la variación del tiempo de fraguado inicial en el concreto vs su temperatura

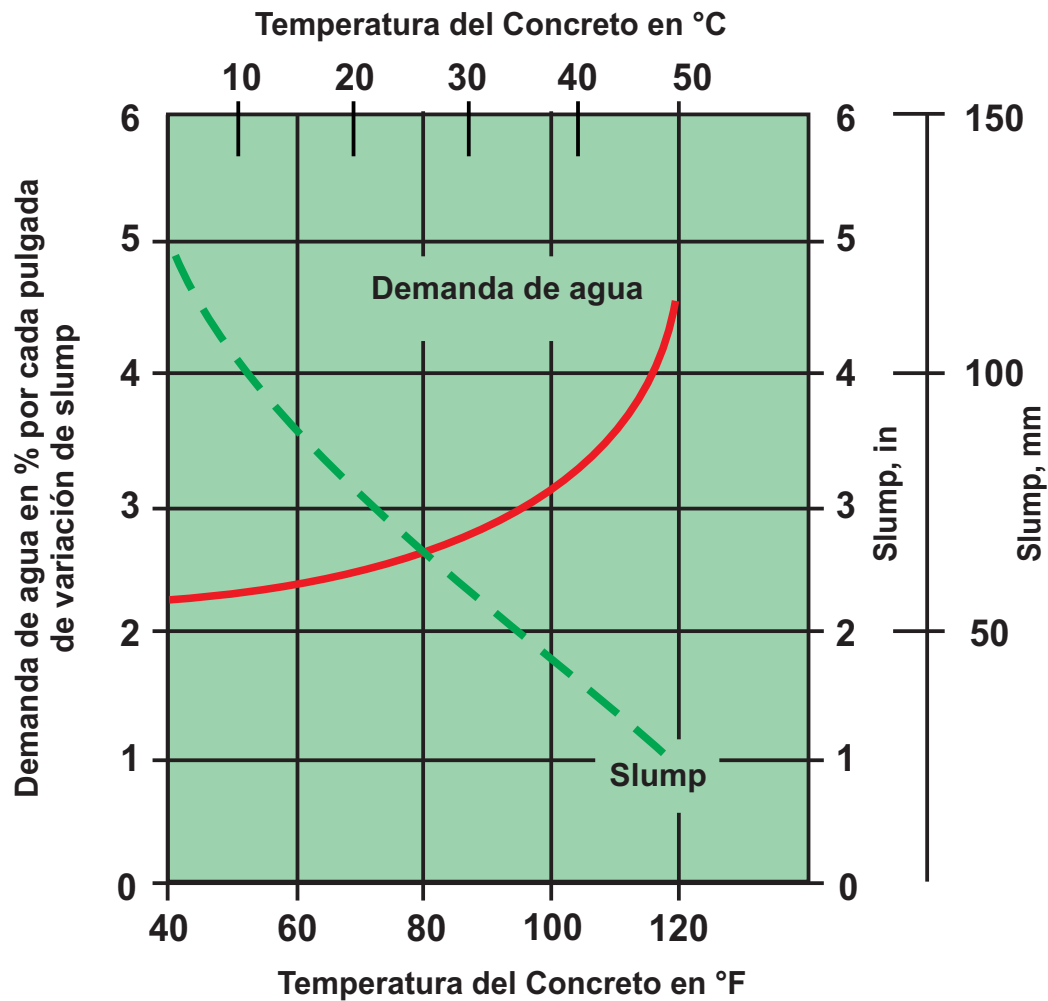


Figura N° 3 - Efecto de la variación del slump y demanda de agua para modificarlo vs la temperatura del concreto

Podemos establecer pues las siguientes conclusiones técnicas en relación a la temperatura máxima de colocación del concreto en estado fresco :

- ● ● Controlar la temperatura de colocación del concreto es fundamental para no tener problemas cuando se dan condiciones de clima cálido.

- ● ● Mientras más alta la temperatura de colocación se generan más problemas potenciales con el concreto en obra que perjudican al constructor.

- ● ● Se debe limitar la temperatura máxima de colocación para evitar los problemas potenciales en obra a fin de prevenir los problemas ya detallados.



2.0 QUE DICEN LAS NORMAS SOBRE LA TEMPERATURA MÁXIMA DE COLOCACIÓN DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO?

La Norma NTE E.060 Concreto Armado, es el Código Oficial para el diseño y construcción en concreto armado en el Perú, de aplicación obligatoria y establece lo siguiente :

5.11.2 La temperatura del concreto al ser colocado no deberá ser tan alta como para causar dificultades debidas a pérdida de asentamiento, fragua instantánea o juntas frías. Además no deberá ser mayor de 32°C.

El suscrito es miembro del Comité de la Norma NTE E.060, habiendo decidido sus integrantes poner este límite obligatorio conservador en la temperatura de colocación del concreto (32°C), en armonía con la Norma NTP 339.114 CONCRETO. Concreto

premezclado, la Norma ASTM C 94 Standard Specification for Ready-Mixed Concrete de donde procede la anterior, y el Reporte ACI 305.1 Specification for Hot Weather Concreting que es referido en ambas como complemento.

Si bien este último reporte de ACI menciona como temperatura máxima de colocación 35°C, el comité consideró este límite excesivo para las condiciones locales en el Perú y la variabilidad en la calidad del concreto en obra, y en el concreto premezclado en comparación con la realidad norteamericana, por lo que lo estableció en 32°C, siendo éste actualmente el límite oficial de aplicación obligatoria, no admitiéndose otras interpretaciones.

3.0 CONCLUSIONES

■ ■ ■ La temperatura máxima de colocación del concreto fresco en el Perú es de 32°C, es de aplicación obligatoria y está establecida en el acápite 5.11.2 de la Norma Técnica de Edificación NTE E 060-2009 Concreto Armado que integra el Reglamento Nacional de Edificaciones y es un documento con fuerza de Ley.

■ ■ ■ La Norma Técnica Peruana NTP 339.114 CONCRETO. Concreto premezclado, establece que en clima cálido el productor de premezclado está obligado a enviar el concreto a la temperatura más baja practicable, pero que debe ser declarada al comprador para su aprobación previamente al despacho.

■ ■ ■ Dado que la temperatura máxima de colocación del concreto en el Perú está establecida en 32°C esto implica que ningún comprador puede aprobar el suministro de concreto con temperatura mayor, en consecuencia la temperatura máxima con que se puede enviar a obra concreto premezclado en el Perú es de 32°C y esto debe ser respetado y aplicado por todos los proveedores de premezclado.

■ ■ ■ El Reporte ACI 305R.1, que no es una norma sino un documento técnico, menciona la temperatura máxima de colocación de 35°C en clima cálido, lo que implica que técnicamente podría ser viable en algunos casos, pero esto es aplicable sólo para la realidad norteamericana, luego, no es un argumento válido en el Perú con las normas vigentes.

■ ■ ■ La NTE E.060 no establece ninguna tolerancia en la temperatura máxima de colocación del concreto fresco, en consecuencia los proveedores de premezclado deben tomar las precauciones para que

no se supere el límite de 32°C del concreto fresco al llegar a la obra, sin que ello represente un costo adicional para el comprador.

■ ■ ■ Es evidente también que ningún comprador le puede exigir a un proveedor de premezclado que suministre concreto por debajo de 32°C, en caso se lo establezcan así las especificaciones particulares de su proyecto, sin asumir el costo de la técnica que emplee el proveedor para bajar la temperatura (hielo, chiller, enfriamiento de agregados, etc.) dado que esto sobrepasa las normas vigentes, luego, el proveedor no está obligado a implementarlo sin un costo adicional.



ENTENDIENDO EL CONCRETO

4

LAS DIFERENCIAS DE VOLUMEN

ENTRE LO CONTRATADO
Y LO RECIBIDO EN OBRA EN EL
CASO DEL CONCRETO PREMEZCLADO

Se explican los conceptos básicos en relación a los parámetros que afectan el volumen neto a ser despachado por los proveedores de concreto premezclado, sobre la base del marco técnico-legal vigente, y se detallan las precauciones y recomendaciones que deben asumir las partes involucradas para evitar conflictos que ocasionen reclamos por concreto faltante en las obras..

1.0 INTRODUCCIÓN

Los reclamos por volumen de concreto faltante constituyen una fuente de dolores de cabeza tanto para los contratistas como para los proveedores de concreto premezclado y paradójicamente se abordan por ambas partes con conceptos distorsionados y/o con desconocimiento de los parámetros que influyen en que no se suministre a la obra el volumen neto contratado.

Por ejemplo, así como cuando compramos un frasco de ketchup, mostaza o mermelada, nunca podemos extraer totalmente el contenido debido a que por la consistencia "pegajosa" de estos productos se adhieren a la superficie interna del recipiente y siempre queda una porción que no podemos retirar, en el caso del concreto es exactamente igual y hay una cantidad que siempre va a quedar en el camión y sólo saldrá cuando se lave internamente y es un desperdicio que nunca podrá usar el contratista.

Por otro lado, cuando un cocinero planifica un plato con una serie de ingredientes para una cantidad específica de comensales, y no toma en cuenta que las carnes y los líquidos se reducen con la cocción o que el aire que atrapan las masas con harina puede fugarse y estas desinflarse, puede darse con la sorpresa que le faltó

una porción para algún cliente, y esto le puede ocurrir al proveedor de premezclado si no domina los parámetros que controlan los diseños de mezcla y su volumen absoluto, y en vez de producir 1 m³ de concreto obtiene en la práctica un volumen menor.

Finalmente, todo aficionado a la repostería que debe usar una batidora sabe que hay una cantidad mínima de ingredientes que debe emplear para que se pueda realizar un mezclado eficiente, de otra manera la masa queda mal integrada y se adhiere una parte en el fondo del recipiente, y aunque parezca mentira, esto es lo que sucede cuando se preparan "saldos" de volumen muy pequeño en un camión de premezclado de 8 m³ y resulta que en el fondo queda concreto que nunca va a recibir el cliente.

Todos estos casos explicados con ejemplos domésticos los vamos a desarrollar y explicar a la luz de las normas y el sustento técnico correspondiente para que se entiendan estos conceptos en profundidad y esto contribuya a que se eviten o reduzcan en las obras los problemas derivados de reclamos por volumen faltante de concreto.



La Norma Técnica Peruana con fuerza de ley que rige el suministro de concreto premezclado en el Perú es la NTP 339.114-2012 "Concreto. Concreto Premezclado", que es de aplicación obligatoria tanto para las empresas como para los usuarios de concreto premezclado en nuestro país.

La norma indicada procede a su vez del estándar

norteamericano ASTM C94/C94M "Standard Specification for Ready-Mixed Concrete" del cual es una traducción casi literal.

En lo concerniente al volumen a ser suministrado adjuntamos el texto del Acápito 5. de la norma aludida que define las pautas a tomarse en cuenta en este aspecto.

NORMA TECNICA
PERUANA

NTP 339.114
6 de 34

5. BASES DE COMPRA

5.1 La unidad de medida, para la compra será el metro cúbico de concreto en estado fresco, tal como se descarga de la unidad de transporte

5.2 El volumen del concreto en estado fresco en una determinada mezcla, se determinará de la masa total de la mezcla dividida entre la densidad del concreto. La masa total de la mezcla se calculará como la masa neta del concreto tal como es despachado, incluyendo el agua total de mezclado, conforme se define en el capítulo 10.3. La densidad se determinará de acuerdo con el método de ensayo NTP 339.046. El rendimiento se determinará como el promedio de por lo menos tres mediciones, cada una sobre muestras tomadas de tres camiones mezcladores diferentes, utilizando el procedimiento dado en la NTP 339.036.

NOTA 1: Se debe considerar el volumen de concreto entregado y no el que se coloca debido al desperdicio, sobreexcavación o deformación de los encofrados, pérdida del aire incorporado o asentamiento de mezclas húmedas, que se pueden presentar, lo que puede aparentar un volumen menor que el esperado, nada de lo cual es responsabilidad del productor.

En cuanto a como se debe evaluar el volumen suministrado, en resumen se desprenden del texto los siguientes conceptos de aplicación obligatoria:

- ● ● La unidad de medida es el m³ en estado fresco.
- ● ● El volumen despachado se evalúa en estado fresco, no siendo aplicable el m³ endurecido.
- ● ● Se debe evaluar el volumen neto entregado por el proveedor, es decir el m³ neto suministrado en estado fresco, debiendo el proveedor de premezclado asumir los desperdicios derivados de su proceso de producción y transporte.
- ● ● El único método válido para verificar el volumen suministrado es mediante la determinación del peso total cargado en el mixer dividido entre el peso unitario medido en el sitio de descarga.
- ● ● No es aplicable para la determinación del volumen los metrados en planos, ni la medición física in-situ de encofrados o elementos endurecidos.
- ● ● Los desperdicios que son consecuencia del proceso constructivo no son responsabilidad del

proveedor de premezclado.

- ● ● El proveedor de premezclado debe demostrar el volumen neto entregado mediante pruebas de rendimiento (mínimo: promedio de 3 pruebas en 3 suministros diferentes del mismo tipo de concreto).



3.0 FUENTES DE SUMINISTRO DE MENOR VOLUMEN DE CONCRETO POR PARTE DEL PROVEEDOR DE PREMEZCLADO

Las fuentes de falta de volumen de concreto en obra atribuibles al proveedor de premezclado se detallan a continuación :

3.1 Errores en las proporciones de la fórmula en los diseños de mezcla como consecuencia de la determinación deficiente de los parámetros físicos de los materiales (pesos específicos, humedades, absorciones, etc.) lo cual es verificable mediante la determinación del peso unitario y el rendimiento.

3.2 Retención de concreto en el mixer por adherencia de mortero en la superficie interna del mezclador.

3.3 Retención de concreto en el mixer por floculación y bolonería debidas a alta temperatura del cemento y

carguío inadecuado en la planta.

3.4 Retención de concreto en el mixer por cargarlo con volumen inferior al mínimo recomendable, produciendo mezclado deficiente y adherencia de mortero en la superficie interna del mezclador.

Uno de los aspectos más importantes a tomar en cuenta es que cuanto mayor es el volumen total despachado, serán más notorios los faltantes de volumen, por lo que lo usual es que estos problemas saltan a la vista al final de proyectos grandes donde el contratista comprueba que ha comprado y consumido más volumen de concreto del que proyectó inicialmente.

Pasaremos a analizar técnicamente cada una de estas fuentes.

3.1 ERRORES EN LAS FORMULAS DE DISEÑO DE MEZCLA QUE UTILIZA EL PROVEEDORS DE PREMEZCLADO

Todos los métodos de diseños de mezcla de concreto se desarrollan sobre la base del balance de los volúmenes absolutos de los ingredientes a fin de lograr que la combinación de estos produzca 1 m³ en estado fresco, para lo cual se determinan en laboratorio sus pesos específicos en condición seca o saturada superficialmente seca y con estos valores se calculan las proporciones aplicando diferentes criterios técnicos.

Un factor adicional que influye también en el balance final es el aire atrapado.

Mientras se emplean los agregados que corresponden a los pesos específicos considerados en el cálculo y se controla que el contenido de aire del diseño de mezcla corresponda con el obtenido en la realidad, el productor de premezclado tiene controlado el volumen despachado.

Sin embargo, cada vez que el proveedor de premezclado utiliza plantas diferentes para el despacho de los concretos, y estas se abastecen de canteras diferentes, e incluso utiliza aditivos de diferentes proveedores, esto introduce mayores

fuentes de error, y si no toma las previsiones para verificar con mucha frecuencia los pesos específicos de los insumos, contenidos de aire y rendimiento de sus mezclas, es usual que pierda el control de éstas y del volumen despachado.

En general los proveedores de premezclado suministran expedientes técnicos a sus clientes con formulaciones de diseños de mezcla muy generales, que no reflejan la realidad de la variabilidad innata a las diferentes plantas de producción, canteras y aditivos que emplean, así como los controles en estado fresco y endurecido que le permitan a sus clientes comprobar en detalle si están controlando adecuadamente sus mezclas y los volúmenes despachados.

Los contratistas tienen todo el derecho de solicitar el diseño de mezcla detallado por cada planta desde la cual le despacharán concreto, así como los controles de concreto fresco, parámetros físicos y rendimiento de las mezclas, de tal forma que puedan verificar en cualquier etapa del proceso de producción si su proveedor de premezclado ejecuta en la práctica el plan de calidad que declara en los documentos y no tendrá problemas por volumen faltante.

3.2 RETENCIÓN DE CONCRETO POR ADHERENCIA DE MORTERO AL INTERIOR DEL MEZCLADOR.

Independientemente del volumen de concreto que se cargue en el mixer, la mezcla fresca tanto al ingresar al mezclador como cuando es descargada, impregna por adherencia y cohesividad la superficie interna del mismo, con una capa de mortero cuyo espesor es

variable pero que se estima que es del orden del Tamaño Máximo de las partículas de arena, que en el caso de concreto premezclado corresponde al tamiz N° 4 de 4.75 mm de abertura.

Los mezcladores sobre camión tienen diferentes capacidades, sin embargo, el más empleado en nuestro medio es el de 8m³ con sección cilíndrica tronco-cónica variable.

Los catálogos de los fabricantes no consignan ni el área interna, ni las dimensiones detalladas del mezclador, pues esto no es requerido por ninguna norma, sin embargo, si indican el volumen geométrico, diámetro de la sección cilíndrica y dimensiones externas generales que nos permiten calcular la superficie interna.

En efecto, en la Fig. 1 se incluyen los datos técnicos de mezcladores de la marca CIFA-Italia muy conocidos en nuestro medio, donde se han empleado los datos geométricos para estimar el área superficial interna asimilando la geometría a un cilindro de igual volumen.

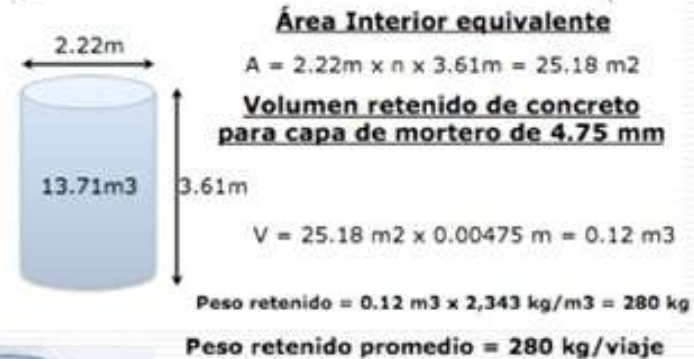
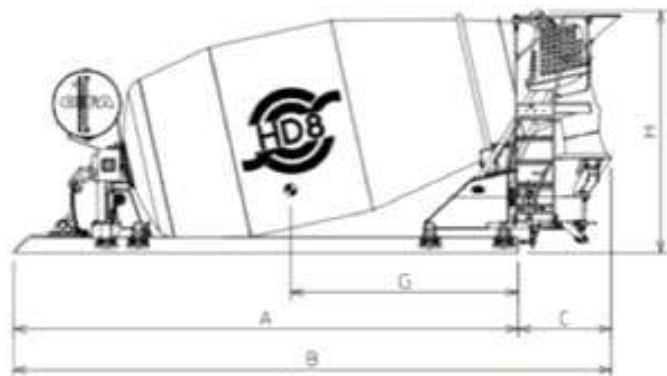
Con este valor referencial hemos calculado el área

interior así como el volumen y peso promedio de concreto que retiene un mixer típico de 8m³ de capacidad independientemente del volumen de carguío y que es del orden de 280 kg/viaje.

Durante los más de 30 años que hemos laborado en la industria del concreto premezclado, hemos hecho verificar muchas veces el peso de los sólidos que quedan como residuo en los mixers de 8 m³ luego de efectuarse el lavado en la planta, oscilando en el rango de 250 kg/viaje a 350 kg/viaje dependiendo de la mezcla, comprobándose en la práctica el cálculo anterior.

Esto nos indica pues que para que el cliente no se perjudique con este desperdicio y cumplir con la norma que obliga a despacho de volumen neto, los proveedores de premezclado deberían incluir en la fórmula del diseño de mezcla un volumen adicional del orden del 1.5% al 3.9% dependiendo del volumen cargado para que no falte concreto en obra.

Truck-Mixer Model		HD 8	HDA 8
Drum			
Nominal capacity	m ³	8	8
Geometric volume	m ³	13,71	13,71
Filling ratio	%	58	58
Water line	m ³	9	9
Rotation speed	r.p.m.	14	14
Diameter	mm	2200	2200
Rollers	n	2	2
Water meter scale	l	0+500	0+500
Water tank capacity	l	800	800
Driven by			
Separate engine/P.T.O.		PTO	separate engine
Required power	kW	63	63
Dimension			
A - min. length of frame	mm	5700	5900
B - min. length of mixer	mm	6870	7070
C - overhang	mm	1170	1170
G - center of gravity	mm	2199	2491
H - max. height	mm	2745	2745
Max width	mm	2345	2345
Total weight (empty)*	Kg	4270	4750



RETENCIÓN DE CONCRETO EN EL MIXER
1.5%(8m³) a 3.9% (3m³)

Figura N° 1 - Cálculo de área interna y volumen de mortero retenido por adherencia.

3.3 RETENCION DE CONCRETO POR FLOCULACION Y BOLONERIA

El fenómeno ocurre cuando se emplea cemento muy fresco con temperatura mayor de 50 °C. que al mezclarse con el agua y los agregados a menor temperatura durante la secuencia de carguío normal en la planta produce floculación y bolonería, evitando el mezclado uniforme.

No se puede calcular cuanto concreto puede quedar retenido en el mixer por adherencia debido a este fenómeno, ya que ello depende de la secuencia específica de carguío y la combinación particular de temperatura elevada del cemento y la de los componentes, habiendo casos en que puede llegar a 1 m3 por viaje.

No obstante, esta fuente de retención de concreto es detectable durante la descarga del concreto en vaciado directo o en concreto bombeado, por los bolones de mezcla seca que son visualmente apreciables en la estructura o en la rejilla de la "batea" de la bomba.

Cada vez que se detecte este problema en obra durante la descarga del concreto hay que considerar que hay un riesgo potencial de falta de volumen, además de las deficiencias obvias en falta de uniformidad y sectores de calidad dudosa si el concreto ingresa a la estructura en esta condición, por lo que no debe aceptarse en la obra concreto premezclado suministrado con estas irregularidades.

3.4 RETENCIÓN DE CONCRETO POR CARGUO INFERIOR AL VOLUMEN MINIMO PARA MEZCLADO EFICIENTE

Esta fuente de retención de concreto en el mixer se origina cuando se carga éste con muy poco volumen y la disposición de las paletas no permite un buen mezclado, y consecuentemente una parte de la mezcla se pega a la superficie interna y no llega a descargarse.

La razón técnica reside en que los mixers mezcladores están diseñados para que si se supera el 63% de su volumen interno no hay el espacio suficiente para que las paletas helicoidales integren eficientemente la mezcla, estableciendo este límite la Norma NTP 339.114-12 en el acápite 12.12, apreciándose en la Figura N° 2 una ilustración de esto para un camión de volumen nominal 8 m3.

Si se recuerda el volumen geométrico reportado de 13.71 m3 para un mixer de volumen nominal 8m3 se comprueba que el fabricante ha aplicado la limitación indicada por la norma : $13.71 \text{ m}^3 \times 0.63 = 8.63 \text{ m}^3$ como volumen máximo de mezclado.

De igual manera, pese a que la Norma indicada no lo precisa, existe un volumen mínimo que puede cargarse en el mixer para que haya mezclado eficiente, por lo que en la Figura N° 3, se puede observar que para un volumen de carguío del orden del 22% de la capacidad interna (3m3 para un camión de volumen nominal 8m3), la mitad de las paletas helicoidales aún pueden efectuar un mezclado eficiente.

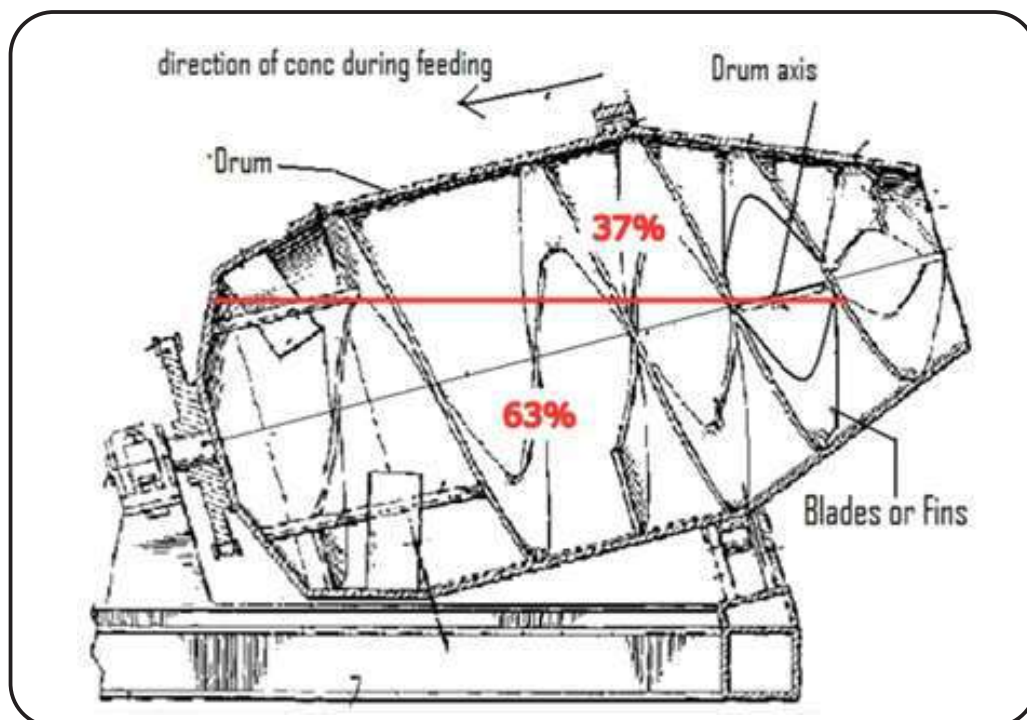


Figura N° 2 - Disposición de carga total de concreto en camión de Volumen Nominal = 8m3

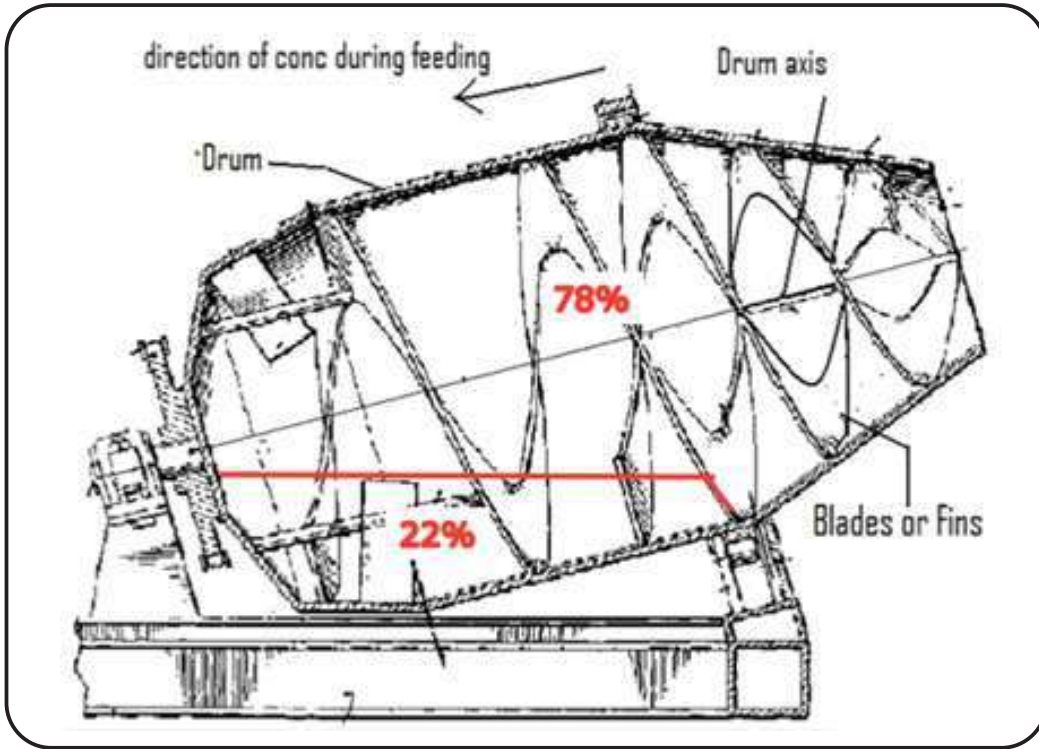


Figura N° 3 - Disposición de carga de 3m³ de concreto en camión de Volumen Nominal = 8m³

Pero cuando se carga un camión de 8m³ con 2m³ o 1m³ (Figuras N° 4 y N° 5) sólo una paleta interviene en

el mezclado no siendo suficiente para que la mezcla resulte uniforme e íntegra totalmente a los componentes.

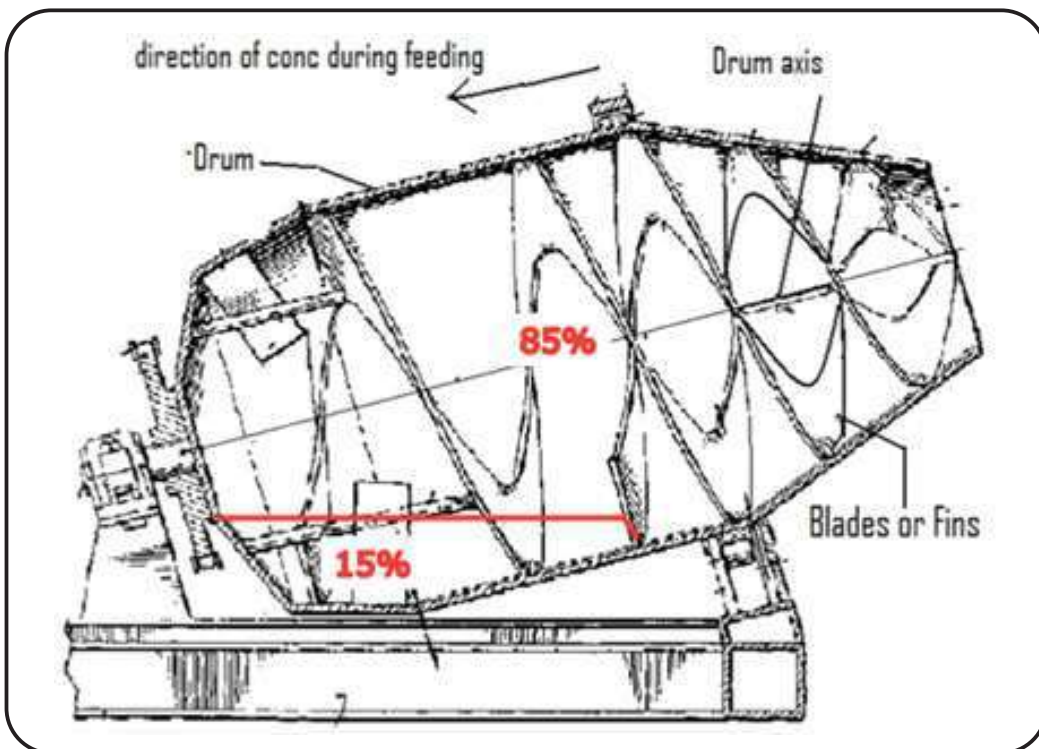


Figura N° 4 - Disposición de carga de 2m³ de concreto en camión de Volumen Nominal = 8m³

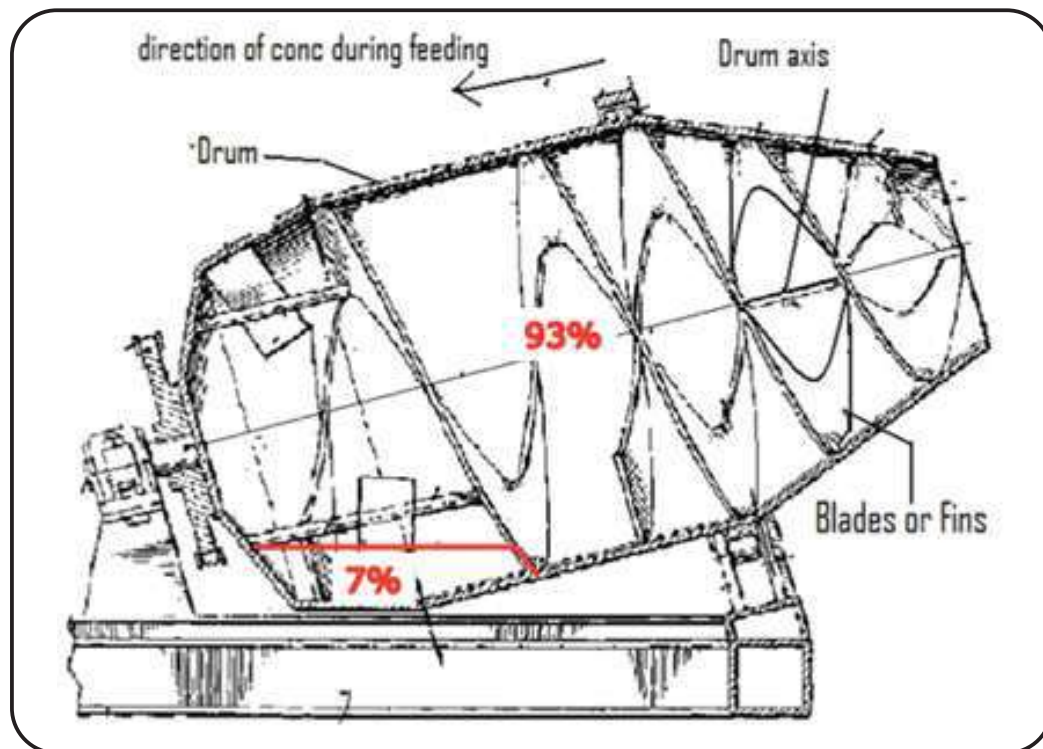


Figura N° 5 - Disposición de carga de 1m3 de concreto en camión de Volumen Nominal = 8m3

Dependiendo del volumen, el diseño de mezcla, técnica de carguío y slump, pueden quedar retenidos

entre 0.5 m3 a 1.0m3 por cada viaje con volumen inferior a 3m3 en un mixer de volumen nominal 8m3.

4.0 FUENTES DE DIFERENCIA EN VOLUMEN POR DESPERDICIOS DE CONCRETO ATRIBUIBLES AL CONSTRUCTOR

Aunque el marco legal constituido por la Norma NTP 339.114 sólo admite la verificación del volumen neto suministrado por el proveedor de premezclado a través de la medición del peso unitario, consideramos que es importante comentar las fuentes de desperdicio que son consecuencia del proceso constructivo, pues de ellas se derivan en muchos casos las diferencias entre los volúmenes teóricos estimados por los constructores y los despachados a la obra.

Las principales fuentes son :

- ● ● Vaciados de estructuras contra terreno (muros de contención con sólo una cara encofrada, sustratos horizontales con poca precisión en nivelación).
- ● ● Vaciados de losas con poca precisión en el nivel de acabado : Una diferencia de 5 mm en el nivel final representa un volumen adicional de 0.5 m3 por cada 100 m2.

- ● ● Vaciados de placas y columnas con deformación del encofrado.
- ● ● Vaciados de aligerados con ladrillos rotos donde ingresa concreto.
- ● ● Vaciados con bomba (se pierde de 0.25m3 a 0.50m3 por vaciado debido al concreto adherido en la tubería y/o en la batea de remezclado).
- ● ● Desperdicios por caída de concreto de la manguera al hacer cambio de posición de la bomba durante los vaciados.
- ● ● Desperdicios por caída de concreto a los lados del encofrado de placas o columnas de sección pequeña.
- ● ● Metrados geométricos errados.



2.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

■ ■ ■ El marco técnico-legal establecido por la Norma NTP 339.114-2012 precisa que el proveedor de premezclado debe suministrar el volumen neto contratado por el cliente, por lo tanto debe asumir los desperdicios y/o concreto que pueda quedar retenido en el equipo de mezclado como consecuencia del proceso de producción.

■ ■ ■ El único método validado por la NTP 339.114-2013 para verificar el volumen realmente despachado por el proveedor de premezclado es mediante la verificación del peso unitario en el sitio de obra, dividiendo el peso total registrado en la planta durante el carguío del mixer entre el peso unitario obtenido in-situ y comparándolo con el volumen teórico cargado.

■ ■ ■ Considerando que un camión de 8 m³ retiene en promedio por adherencia del orden de 300 kg de mezcla independientemente del volumen cargado, el proveedor de premezclado debe considerar en su diseño de mezcla este peso adicional para que el cliente reciba el volumen neto contratado.

■ ■ ■ No se deben admitir carguíos de menos de 3 m³ en mixers con volumen total de 8 m³ ya que ello ocasiona retención de concreto y diferencias de volumen en obra.

■ ■ ■ Sobre la base de lo anterior, es recomendable que los proveedores de premezclado no admitan el envío de saldos inferiores a 3 m³ por las dificultades técnicas mencionadas y en todo caso acuerden previamente con el cliente las implicancias comerciales derivadas.

■ ■ ■ No deben admitirse en obra suministros de concreto que muestren bolonería o porciones floculadas, pues son indicios de problemas potenciales de retención de concreto en el mixer y diferencias de volumen.

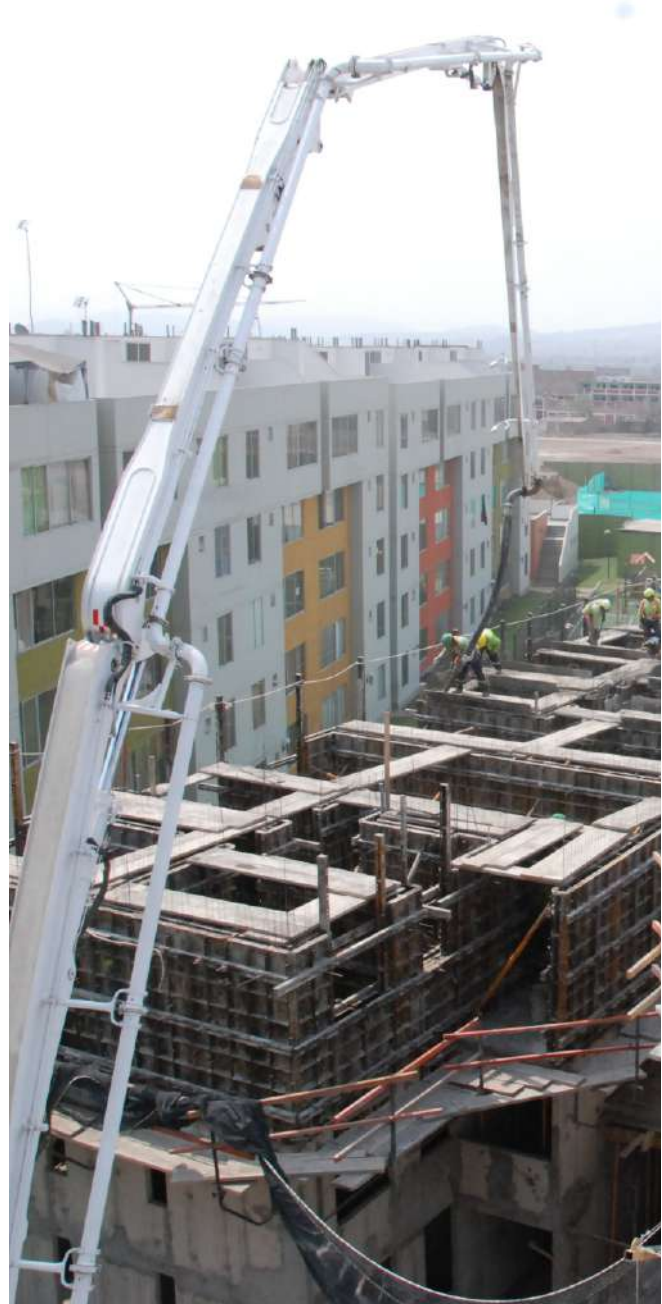
■ ■ ■ En proyectos que involucren el suministro de cientos o miles de m³ de concreto es recomendable que el cliente y el proveedor de premezclado concilien previamente al inicio de los suministros, la rutina y frecuencia de verificación de peso unitario y volúmenes de concreto realmente despachados para evitar problemas de diferencia de volumen posteriores.

■ ■ ■ Es conveniente también que en los proyectos antes mencionados, el proveedor de premezclado haga notar al cliente las fuentes potenciales de diferencia de volumen provenientes del proceso constructivo y que son de su exclusiva responsabilidad, para prevenir reclamos que no están avalados por la Norma NTP 339.114-2013 que sólo admite la verificación mediante el peso unitario en el sitio de obra.

■ ■ ■ Es recomendable que los proveedores de premezclado incluyan en el expediente técnico que deben suministrar a sus clientes, el detalle de los

diseños de mezcla que emplearán en los suministros y las consideraciones técnicas que han tomado para contrarrestar las fuentes de desperdicio y/o retención de concreto en el mixer que se han detallado en el presente artículo, que pueden ocasionar que el cliente no reciba el volumen neto contratado.

■ ■ ■ Es fundamental que los proveedores de premezclado tengan establecida la trazabilidad que permita relacionar los registros de los carguíos en planta con cada suministro que llega a obra y las mediciones de peso unitario in-situ, para demostrar cuando lo requiera el cliente el cumplimiento del despacho del volumen neto determinado por la Norma NTP 339.114-2013.



ENTENDIENDO EL CONCRETO

5

¿QUE ES REALMENTE LA RESISTENCIA EN COMPRESIÓN DEL CONCRETO?

PARTE I

Se explican los conceptos básicos en relación a la resistencia en compresión del concreto y el enfoque del diseñador estructural (Resistencia Característica), el productor del concreto (Resistencia Requerida) y el constructor (Resistencia de la estructura) para su aplicación práctica en las diversas fases de la ejecución de una obra civil con concreto ya que su desconocimiento o tergiversación origina con frecuencia problemas en las obras.

1.0 INTRODUCCIÓN

La idea de escribir este artículo nació con motivo de una comunicación de un cliente, en que me pedía ayuda con su supervisor pues éste le había comunicado que sólo validaría resultados de testigos "curados al costado de las estructuras y en las condiciones de obra" pues eran las "mas representativas de la realidad", ya que "no creía en los testigos curados en condiciones controladas" pues las estructuras no se curaban así.

Esta no era la primera vez que escuchaba argumentos de este tipo, y me llevó a reflexionar en que al margen de lo poco o nada que se toca este tema en los cursos de Tecnología de Concreto o Concreto Armado en las universidades, es una realidad que muchos colegas confunden los conceptos básicos sobre la resistencia en compresión del concreto y ello ocasiona una serie de problemas y conflictos innecesarios en obra.

Imaginémonos que tenemos no uno sino 10 Supervisores como el del cuento en nuestra obra, que según su criterio personal deciden de donde muestrear, como moldear los testigos, donde ubicarlos, como curarlos y algunas veces ordenan que se haga con agua, en otras con curador químico, o quizás que no se curen, pues desde su punto de vista es "más representativo de la realidad".

En esta "realidad", la pregunta que habría que hacerse cuando tengamos obviamente 10 resultados diferentes para el mismo concreto muestreado, moldeado, curado y ensayado en cada caso de manera arbitraria es:

¿A cual valor le hace caso el diseñador estructural cuando tenga que opinar sobre si se cumplen sus hipótesis de diseño para la estructura en cuestión?.

La razón de que se obtengan tantos valores diferentes cuando se deja que el control de la resistencia dependa del criterio de quien la mida se puede apreciar en la Tabla N° 1, donde se transcribe un resumen de las fuentes de dispersión que influyen en que varíe tanto



este parámetro cuando no se evalúa bajo condiciones estandarizadas.

Como los Códigos de Diseño en Concreto y los diseñadores estructurales no pueden depender de un valor arbitrario o aleatorio de la resistencia en compresión para los cálculos, que varíe en función del criterio del Supervisor o de quien haga el control en obra, desde ya hace casi un siglo se estableció el concepto de $f'c$ o Resistencia Característica estandarizada que es el valor de resistencia en compresión del concreto medida en la obra mediante ensayos también estandarizados y que explicaremos en detalle a continuación, junto con los otros tipos de resistencia que se derivan de esta.

TABLA N°1 - FUENTES DE VARIACIÓN EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO

DEBIDO A VARIACIONES EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO	DEBIDO A DEFICIENCIAS EN LOS MÉTODOS DE PRUEBA
1) Cambios en la relación Agua/Cemento. a) Control deficiente de la cantidad de agua. b) Variación excesiva de humedad en los agregados. c) Agua adicional al pie de obra. 2) Variación en los requerimientos de agua de mezcla. a) Gradación de los agregados, absorción y forma. b) Características del Cemento y Aditivos. c) Contenido de aire. d) Tiempo de suministro y temperatura. 3) Variaciones en las características y proporciones de los ingredientes. a) Agregados. b) Cemento. c) Puzolanas. d) Aditivos. 4) Variaciones ocasionadas por el transporte, colocación y compactación. 5) Variaciones en la temperatura y curado.	1) Procedimientos de muestreo inadecuados. a) Falta de capacitación formal del personal de muestreo. 2) Dispersiones debidas a las formas de preparación manipuleo y curado de cilindros de prueba. a) Falta de capacitación formal del personal de muestreo. 3) Mala calidad de los moldes para testigos de prueba 4) Mala calidad de los moldes para cilindros de prueba 5) Defectos de curado: a) Variaciones de temperatura. b) Humedad Variable. c) Demoras en el transporte de los cilindros al laboratorio. 6) Procedimientos de ensayo deficientes. a) En el refrendado (capping) de los cilindros. b) En el ensayo de compresión.

2.0 LOS TIPOS DE RESISTENCIA ESTANDARIZADA EN COMPRESION

Existen 3 tipos de resistencia estandarizada en compresión establecidas por los Códigos de Diseño en Concreto Armado como son nuestra:

NTE E.060 – 2009 y el Código ACI 318-14, de donde proviene conceptualmente, que explicaremos en detalle y que se definen como :

● ● ● $f'c$ = Resistencia Característica en compresión del concreto o valor empleado para el diseño estructural y que figura en los planos.

● ● ● $f'cr$ = Resistencia Requerida en compresión del concreto o valor con sobrediseño establecida por los Códigos, a medirse en los testigos de concreto, y que debe cumplir el productor del concreto para garantizar que se satisfagan los criterios de aceptación del $f'c$.

● ● ● $f's$ = Resistencia en compresión de la estructura medida a través de ensayos estandarizados con núcleos de concreto extraídos con perforadora diamantina, a efectuarse cuando hay dudas sobre la obtención del $f'c$ en obra.

3.0 LA RESISTENCIA CARACTERISTICA EN COMPRESIÓN: $f'c$

Es el valor que elige y emplea el diseñador al efectuar los cálculos estructurales, para que se cumplan todas las hipótesis establecidas al definir las secciones y cuantías que soportarán las cargas y esfuerzos que se derivan de estas, en consecuencia, es fundamental que se

verifique su cumplimiento en la obra para garantizar la estabilidad y seguridad de las edificaciones.

Si se quisiera verificar directamente en las estructuras la obtención del $f'c$, se tendrían que obtener núcleos con

Es el valor que elige y emplea el diseñador al efectuar los cálculos estructurales, para que se cumplan todas las hipótesis establecidas al definir las secciones y cuantías que soportarán las cargas y esfuerzos que se derivan de estas, en consecuencia, es fundamental que se verifique su cumplimiento en la obra para garantizar la estabilidad y seguridad de las edificaciones.

Si se quisiera verificar directamente en las estructuras la obtención del $f'c$, se tendrían que obtener núcleos con perforadora diamantina de manera rutinaria y ensayarlos en compresión con las complicaciones y dificultades prácticas que tiene este proceso, además de ocasionar muchos orificios innecesariamente en los elementos, y no poderse disponer de los resultados con celeridad.

Ante esto, los científicos e investigadores del concreto optaron hace muchos años por recurrir a un valor de resistencia para diseño fácilmente verificable en obra sin recurrir a los núcleos, y que sea estandarizada, es decir que responda a un criterio único, que sea reproducible, repetible y que produzca valores con muy poca dispersión, y le llamaron resistencia característica $f'c$.

Los códigos de diseño citados previamente establecen la siguiente definición para el $f'c$ que resumimos y sintetizamos a continuación :

“Es el valor promedio resultante de ensayar en compresión 2 testigos cilíndricos de 6” de diámetro x

*12” de altura, o 3 testigos cilindros de 4” de diámetro x 8” de altura que han sido **muestreados, moldeados, curados y ensayados bajo condiciones estándar controladas**”.*

Se trata pues de un valor estandarizado para diseño que no es la resistencia del concreto de la estructura, que está sometida a una historia diferente a la de los testigos y muy variable en cuanto a volumen, técnica de vaciado, calor de hidratación, condiciones de exposición, humedad, temperatura etc. pero está íntimamente relacionado con ella y permite correlacionarla.

Efectivamente, al ser el concreto de la estructura el mismo concreto de los testigos, se trata del mismo material pero bajo procedimientos diferentes de colocación, compactación, curado y medición de resistencia que introducen diferencias que son reconocidas por los códigos.

Por las razones antes mencionadas, el valor de $f'c$ medido en testigos estándar es superior al que se obtiene en núcleos de la estructura en alrededor de un 17.6% en promedio, siempre que la estructura se construya en conformidad con las especificaciones técnicas, y esta realidad la toman en cuenta los códigos al afectar el $f'c$ en las fórmulas de cálculo con factores de reducción que varían entre 0.65 a 0.90 dependiendo de la sollicitación y al afectar las cargas actuantes con factores de seguridad que oscilan entre 1.2 y 1.6, luego, es un error conceptual cuando un colega quiere desconocer el $f'c$ y reinventa la manera de verificar la resistencia del concreto en obra apartándose del estándar.

4.0

¿CUALES SON LAS CONDICIONES ESTANDARIZADAS PARA MEDIR EL $f'c$?

Las normas ASTM en su versión más reciente que definen las condiciones estandarizadas sobre como muestrear, moldear, curar y ensayar los testigos para verificar el $f'c$ en la obra son :

ASTM C172/C172M-14^a

“Standard Practice for Sampling Fresh Concrete”

ASTM C31/C31M-15

“Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field”.

ASTM C39/C39M-15^a

“Standard Practice for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens”

Un resumen de los aspectos básicos principales que deben aplicarse en el control estandarizado de los testigos de concreto para cumplir con los Códigos y Normas citadas son :

● ● ● El personal técnico a cargo del moldeo, muestreo, curado y ensayo de los testigos debe ser previamente capacitado y evaluado formalmente en el conocimiento teórico de las normas aplicables y en su habilidad para ejecutar la parte práctica de estas labores, no admitiéndose personal empírico o improvisado, lo que constituye una costumbre muy empleada en nuestro medio que introduce dispersión.

● ● ● El muestreo de los testigos debe efectuarse del tercio central del mezclador o mixer de transporte, introduciendo dispersión el hacerlo al inicio o al final de la descarga en que el concreto tiende a segregar, afectando también los resultados.

● ● ● Los testigos deben moldearse antes de que transcurran 15 minutos de haber sido obtenida la muestra, en moldes estandarizados y en el número de capas y secuencia de varillado y enrasado definidas en la norma aplicable.

● ● ● Los testigos pueden permanecer en obra un máximo 48 horas sin ser trasladados a su condición de curado final, debiendo tomarse medidas para que en esta fase previa llamada curado inicial no pierdan humedad y conservarse en un rango de temperatura de entre 16°C a 27°C para concretos de $f'c < 420 \text{ kg/cm}^2$ y entre 20°C a 26°C para concretos $f'c > 420 \text{ kg/cm}^2$. Cuando no se respetan estas condiciones las resistencias tienden a caer y/o ser muy dispersas.

● ● ● Si no hay laboratorio en obra, los testigos deben transportarse antes de 48 horas al laboratorio en vehículos especialmente acondicionados, y su curado final debe efectuarse a no menos de 95% de humedad y en un rango de temperaturas de entre 21°C a 25°C. El transporte debe durar un máximo de 4 horas para que los testigos no se maltraten y no se alteren sus condiciones estándar.

● ● ● El curado final puede efectuarse indistintamente en pozas o cámaras de curado con temperatura y humedad controladas, debiendo contarse con equipos que registren estas condiciones con una frecuencia mínima de cada 15 minutos.

● ● ● Los ensayos deben efectuarse en prensas motorizadas con certificado de calibración vigente no admitiéndose el empleo de prensas manuales.

● ● ● La velocidad de carga para testigos de 6"x12" debe estar en el rango de 3.53 kN/seg a 5.30 kN/seg y para los testigos de 4"x8" en el rango de 1.57 kN/seg a 2.36 kN/seg.

● ● ● Los testigos deben ensayarse en condición húmeda lo más pronto posible y con una tolerancia máxima de 3 horas desde que se retiran de su curado final.

● ● ● Los testigos deben ensayarse a la edad programada, cumpliendo las siguientes tolerancias en tiempo a partir de la hora de muestreo:

24 horas	± 0.5 h ó 2.1%
3 días	± 2.0 h ó 2.8%
7 días	± 6.0 h ó 3.6%
28 días	± 20.0 h ó 3.0%
90 días	± 2 días ó 2.2%

● ● ● La precisión o diferencia en porcentaje entre el promedio de los testigos y cada resultado individual a esperarse cuando se han cumplido las condiciones estándar son:

	2 Testigos	3 Testigos
Testigos de 6" x 12" en condiciones de laboratorio	6.6 %	7.8 %
Testigos de 6" x 12" en condiciones de laboratorio	8.0 %	9.5 %
Testigos de 4" x 8" en condiciones de laboratorio	9.0 %	10.6 %



5.0 ¿QUE TANTO INFLUYE EN EL $f'c$ EL APARTARSE DE LAS CONDICIONES ESTANDARIZADAS?

Es todavía muy común en nuestro medio que los contratistas efectúen su propio muestreo, curado y ensayo de testigos incumpliendo una o varias de las condiciones estandarizadas, asumiendo que estas desviaciones no tienen gran influencia en la resistencia mientras los testigos se ensayen en el laboratorio de

alguna universidad, ya que esto es una "garantía" en el resultado.

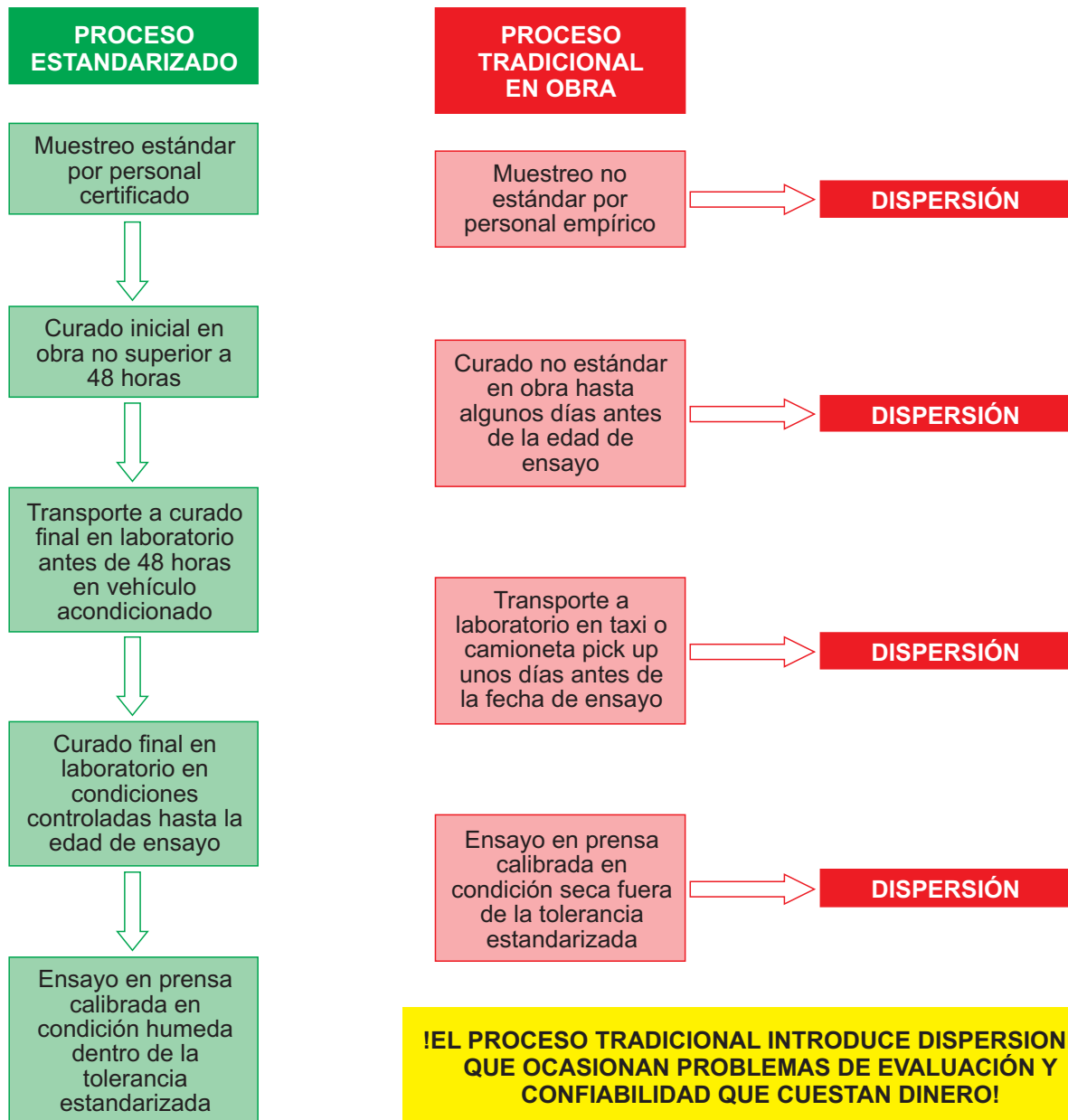
La realidad es que si se revisa cualquier certificado emitido por los laboratorios de las Universidades o Instituciones que solamente ensayan testigos,

apreciarán una Nota aclaratoria donde se indica que no se hacen responsables de las condiciones de muestreo, moldeo y curado de los testigos y su influencia en el resultado, al ser de exclusiva injerencia del cliente, con lo que en la práctica están indicando

que sólo avalan que su prensa está calibrada.

En la Fig. N° 1 podemos apreciar un comparativo de las fases principales del proceso estandarizado vs el proceso tradicional en obra.

FIGURA N° 1 - COMPARATIVO DE PROCESOS DE CONTROL DE TESTIGOS DE CONCRETO



La influencia del apartarse de las condiciones estándar se ha estudiado desde hace casi un siglo, y en la publicación ASTM STP 169D "Significance of Test and Properties of Concrete & Concrete Making Materials" se tratan en detalle entre otros temas los ensayos y procedimientos estandarizados vinculados al control

de calidad de testigos de concreto en obra, habiéndonos permitido elaborar la Tabla N° 2 donde se consigna como puede afectar negativamente la resistencia en compresión el incumplir las principales etapas estandarizadas.

TABLA N° 2 – INFLUENCIA EN LA RESISTENCIA EN COMPRESIÓN POR INCUMPLIMIENTO DE LAS CONDICIONES ESTÁNDAR DE CONTROL DE CALIDAD DE TESTIGOS DE CONCRETO

DESVIACIÓN DE LA CONDICIÓN ESTÁNDAR	EFFECTO APROXIMADO EN EL VALOR DEL ENSAYO DE RESISTENCIA EN PORCENTAJE
No muestrear del tercio central	- 7.5%
Moldeo deficiente por personal no capacitado	- 8.0%
No respetar temperatura estándar las primeras 48 horas (16°C a 27°C)	- 10.0%
No respetar humedad estándar las primeras 48 horas (95% a 100%)	- 10.0%
Curado Final Deficiente (Fuera del rango 21°C a 25°C)	- 15.0%
Transporte deficiente (En vehículo no acondicionado)	- 7.0%
Superficie del testigo o refrentado deficiente	- 5.0%
Velocidad de carga mayor o menor que la estándar	± 5.0%
EFFECTO TOTAL ACUMULADO	- 62.5% a + 67.5%

Se puede apreciar entonces el efecto tan negativo en la resistencia en compresión ocasionado por desviarse de las condiciones estandarizadas, lo que explica la gran cantidad de conflictos que surgen en las obras por las discrepancias en resultados como consecuencia de estas transgresiones.

En la Parte 2 de este artículo trataremos del sustento probabilístico de la resistencia característica en compresión y cómo asegurar la obtención del $f'c$ en obra a través del $f'cr$ o resistencia requerida, garantizando el $f's$ o resistencia de la estructura.



ENTENDIENDO EL CONCRETO

6

¿QUE ES REALMENTE LA RESISTENCIA EN COMPRESIÓN DEL CONCRETO?

PARTE II

En la primera parte de este artículo se explicaron los conceptos relativos a la Resistencia Característica $f'c$ que establece el diseñador estructural en los planos y las condiciones estándar bajo las cuales se debe medir y evaluar en la obra.

En el presente artículo se detalla la Resistencia Requerida $f'cr$ establecida por los códigos para ser aplicada por el productor de concreto, con el fin de garantizar que se obtenga la Resistencia Característica $f'c$ en la obra, de tal modo que las estructuras satisfagan los requerimientos del diseño estructural y se garantice su seguridad y durabilidad. Se explican también las razones de resultados bajos de resistencia en el concreto en obra como consecuencia del desconocimiento o aplicación errada de estos conceptos.

1.0

INTRODUCCIÓN.- PROMEDIO Y DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS EN EL CONCRETO

El promedio es un concepto que usamos con mucha frecuencia en la vida cotidiana y que representa un valor que se ubica aproximadamente en el centro de un cierto comportamiento o manifestación o fenómeno sobre el que nos pronunciamos.

En términos numéricos por ejemplo, un trabajador independiente cuyo ingreso depende de la variabilidad de la demanda de sus clientes nos dirá que gana en promedio S/. 3,000 mensuales pues habrá meses en que gana S/. 2,000 y en otros S/. 4,000 y ello representa que alrededor del promedio se agrupan valores inferiores y valores superiores al promedio dependiendo de lo variable de su mercado.

Muchos fenómenos de la naturaleza se agrupan simétricamente alrededor del promedio de tal manera que la mitad de valores son inferiores a éste y la otra

mitad está por encima, y desde el Siglo XIX a esto se le llama Distribución de Frecuencia Normal o Campana de Gauss (Carl Friedrich Gauss 1777-1885) que es una fórmula matemática que tiene como variables el promedio y una variable definida como la Desviación Estándar.

En el caso del concreto, resulta que hace casi ya 100 años se encontró que los resultados de ensayos de resistencia en compresión de los testigos estándar se agrupan alrededor del promedio siguiendo con bastante aproximación una distribución de frecuencia normal, por lo que podemos estimar con bastante cercanía su comportamiento en compresión conociendo el promedio y la desviación estándar de un grupo de testigos y en ello se basan los códigos para establecer los criterios de aceptación en su comportamiento.



En la Fig. N° 1 podemos apreciar un caso real de estadística cronológica de resultados de resistencia en compresión promedio de 207 muestras de testigos estándar de concreto en un proyecto con $f'c = 420$ kg/cm², un promedio total de 457 kg/cm² y una Desviación Estándar de 20.2 kg/cm².

En la Fig N° 2 se observa la distribución de frecuencias de la estadística mencionada comparada con la distribución probabilística normal calculada para el mismo promedio y Desviación Estándar comprobándose experimentalmente el comportamiento antes mencionado.

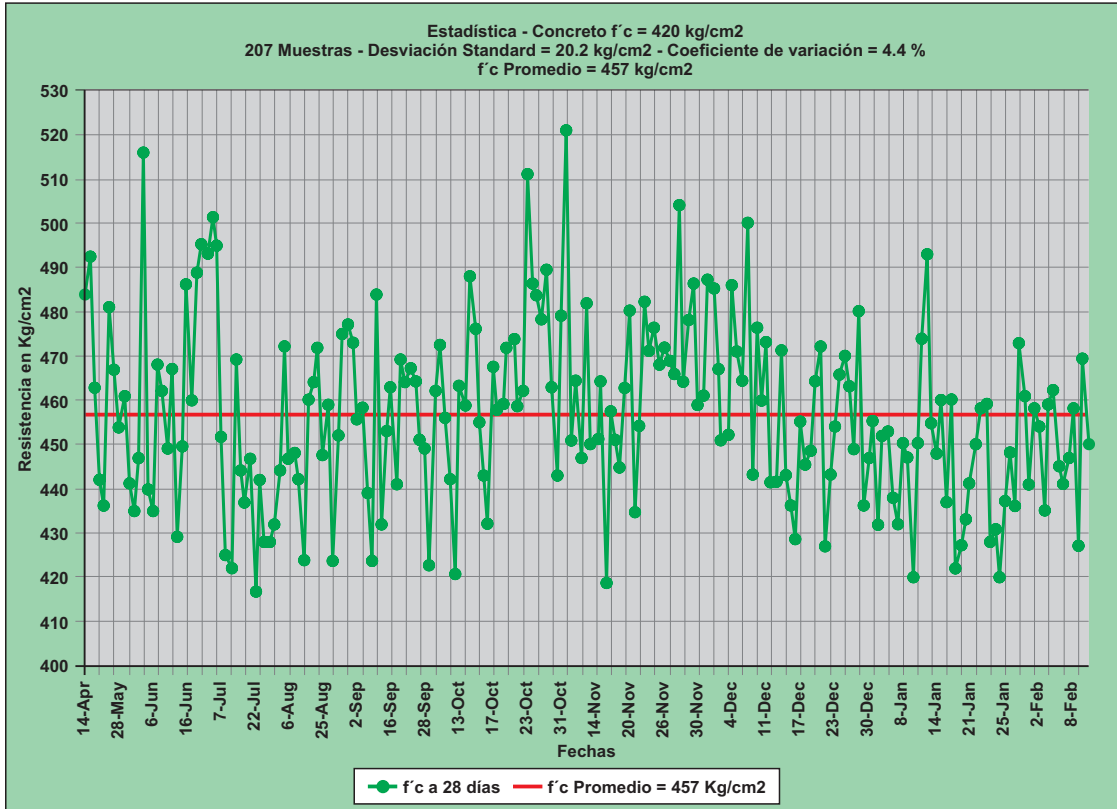


Fig. N° 1 – Estadística cronológica de un conjunto de 207 muestras de concreto

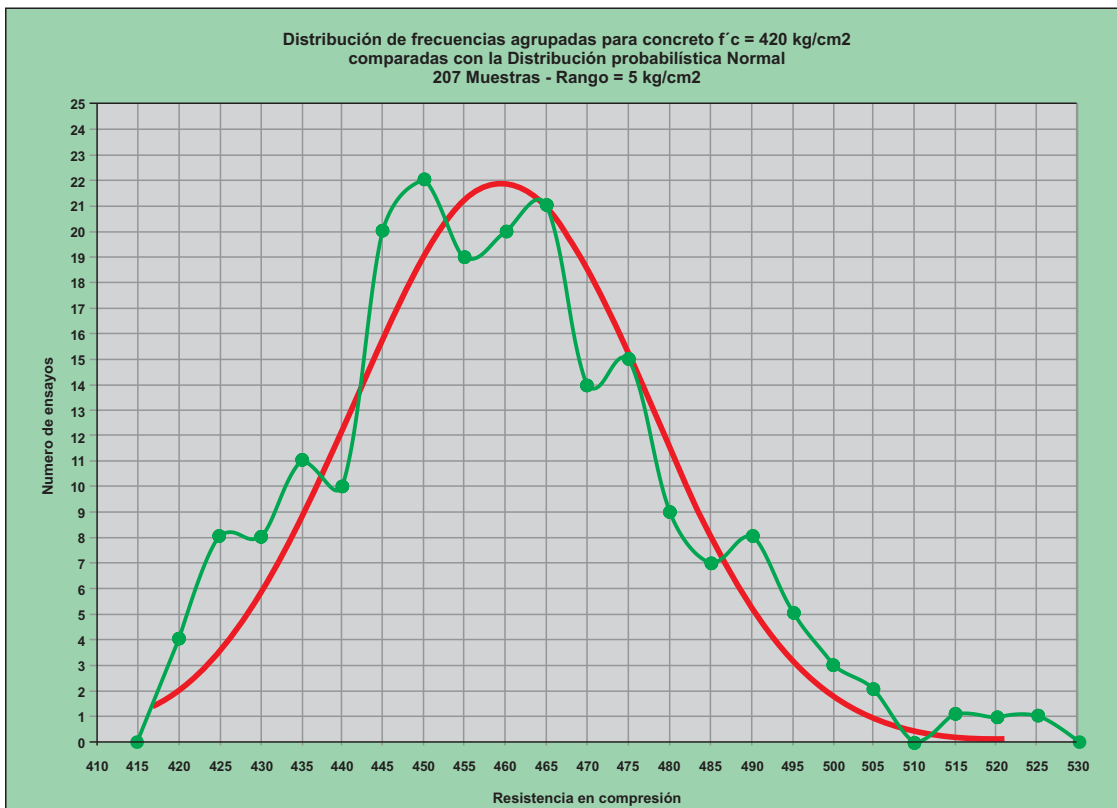


Fig. N° 2 – Distribución de frecuencias de estadística real vs Distribución Probabilística Normal

Lo detallado previamente significa en términos prácticos que si por ejemplo un diseñador estructural establece que el $f'c$ del concreto es 210 kg/cm² y los resultados promedio de los diferentes muestreos de nuestros testigos en obra nos dan en promedio 210 kg/cm², representa que la mitad de muestras estará por encima del $f'c$ y la otra mitad por debajo y en consecuencia, ningún diseñador ni ningún código puede aceptar que sólo el 50% del concreto de la

estructura cumpla con la resistencia característica $f'c$ especificada.

Esto lo podemos evidenciar en la Fig. N° 3 donde apreciamos la estadística cronológica real de 100 muestras de concreto $f'c=210$ kg/cm² donde el promedio de los resultados es 210 kg/cm² y se tiene que 50 valores están por debajo (50%) haciendo que este concreto sea inaceptable.

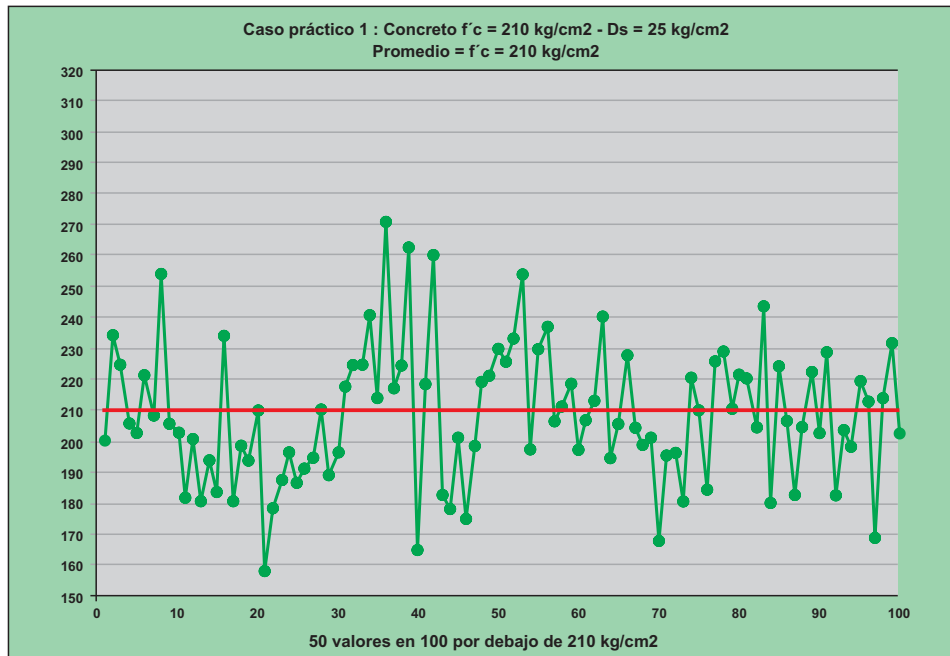


Fig. N° 3 – Estadística con el Promedio = $f'c = 210$ kg/cm² con 50% de incumplimiento

Pero si para fines didácticos tomáramos la estadística inicial ya analizada y le sumáramos a cada dato 20 kg/cm² haciendo que la resistencia promedio subiera a 230 kg/cm² apreciamos en la Fig. N° 4 el resultado de esto, en este caso 20 valores estarían por debajo del $f'c$ especificado (20%). Si continuando el ejercicio le

agregáramos a cada valor 35 kg/cm² para que el promedio subiera a 245 kg/cm², apreciamos en la Fig. N° 5 que sólo 7 valores estarían por debajo del $f'c$ especificado (7%) y si finalmente el promedio lo ubicamos en 265 kg/cm² comprobamos en la Fig. N° 6 que ningún valor estaría por debajo del $f'c$ especificado.

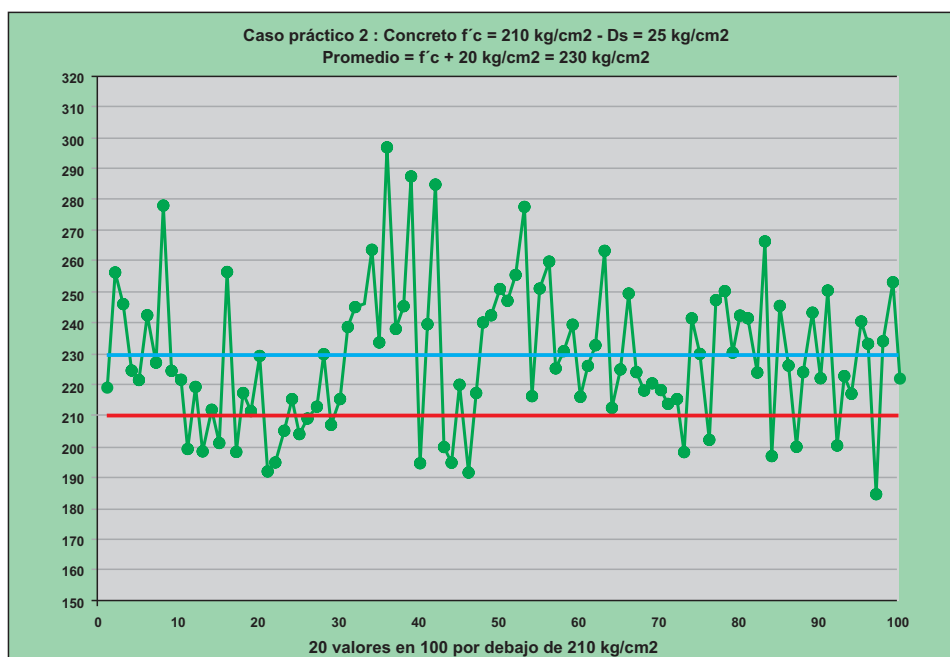


Fig. N° 4 – Estadística con el Promedio = $f'c = 230$ kg/cm² con 20% de incumplimiento

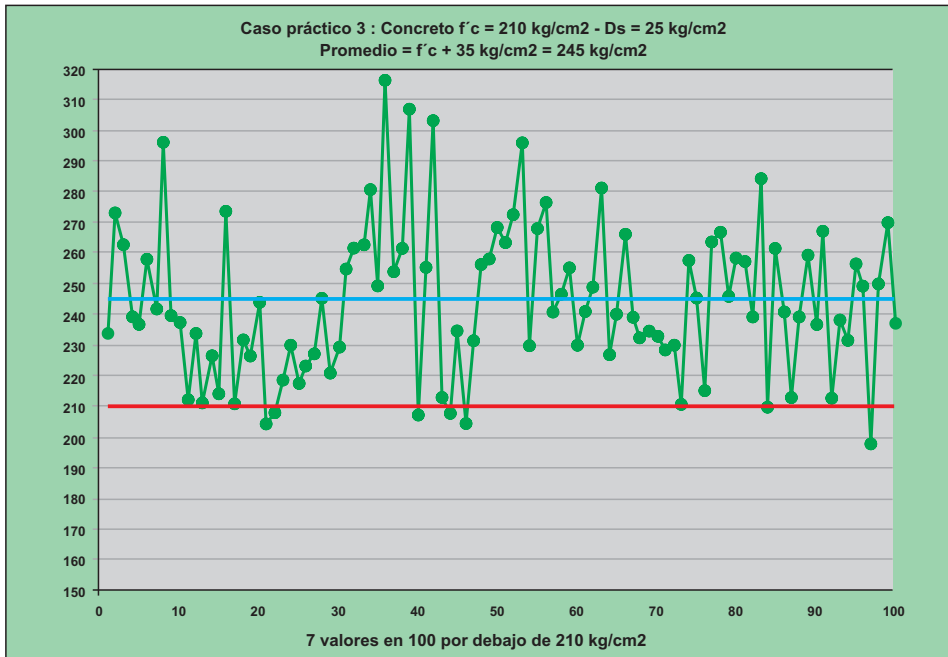


Fig. N° 5 – Estadística con el Promedio = $f'c = 245 \text{ kg/cm}^2$ con 7% de incumplimiento

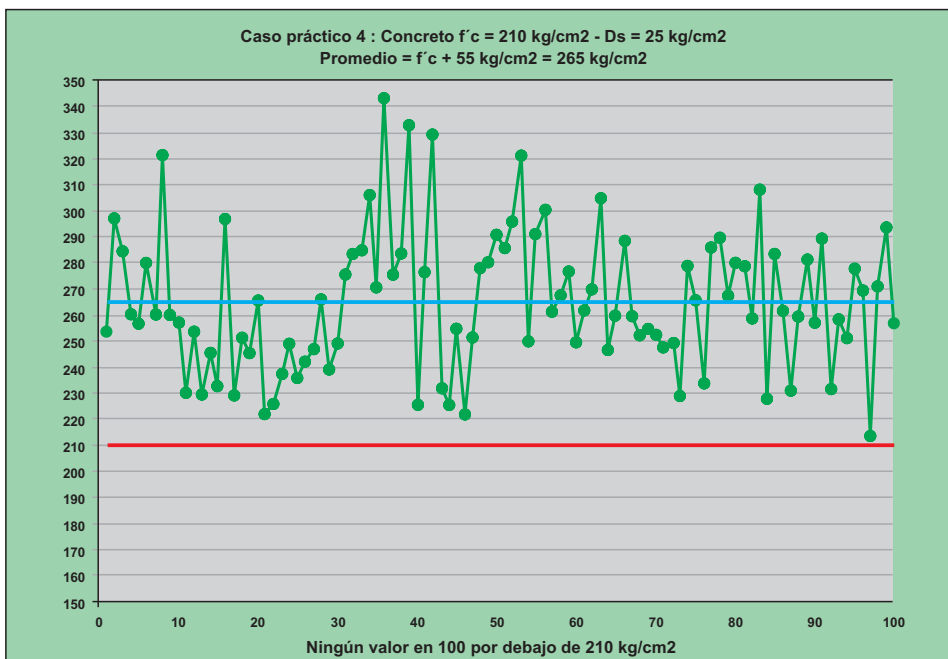


Fig. N° 6 – Estadística con el Promedio = $f'c = 265 \text{ kg/cm}^2$ con 0% de incumplimiento

De este ejercicio práctico intuitivo podemos concluir que para un $f'c$ determinado, mientras mayor sea el valor del promedio de los testigos sobre la resistencia característica $f'c$, habrán menos resultados de muestras que incumplan la resistencia especificada.

Por otro lado un tema que también es muy importante es que el ejercicio anterior lo hemos hecho con un concreto con Desviación Estándar de 25 kg/cm^2 , pero como consecuencia del comportamiento del concreto acorde con la distribución normal, cuanto mayor es la

Desviación Estándar mayor es la dispersión o brecha entre los valores máximo y mínimo y se necesitará aumentar aún más la resistencia promedio para controlar la cantidad de valores por debajo del $f'c$ especificado.

En la Fig. N° 7 apreciamos como lucen las distribuciones normales para un concreto $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$ para desviaciones estándar de 26 kg/cm^2 , 40 kg/cm^2 y 60 kg/cm^2 donde a mayor dispersión el rango entre valores máximo y mínimo cambia radicalmente.

En la práctica la Desviación Estándar en la producción del concreto es un valor variable que depende de cada productor de concreto y/o empresa de concreto premezclado y que está relacionado con los insumos, equipos y recursos humanos que emplean en los diferentes procesos y el grado de conocimiento técnico y control de calidad que aplican en cada una de

estas fases.

Cada productor, planta de concreto, cada grupo humano y cada diseño de mezcla que se emplea en la producción tiene su propia desviación estándar que va variando en el tiempo en función del mayor o menor control en las variables que intervienen.

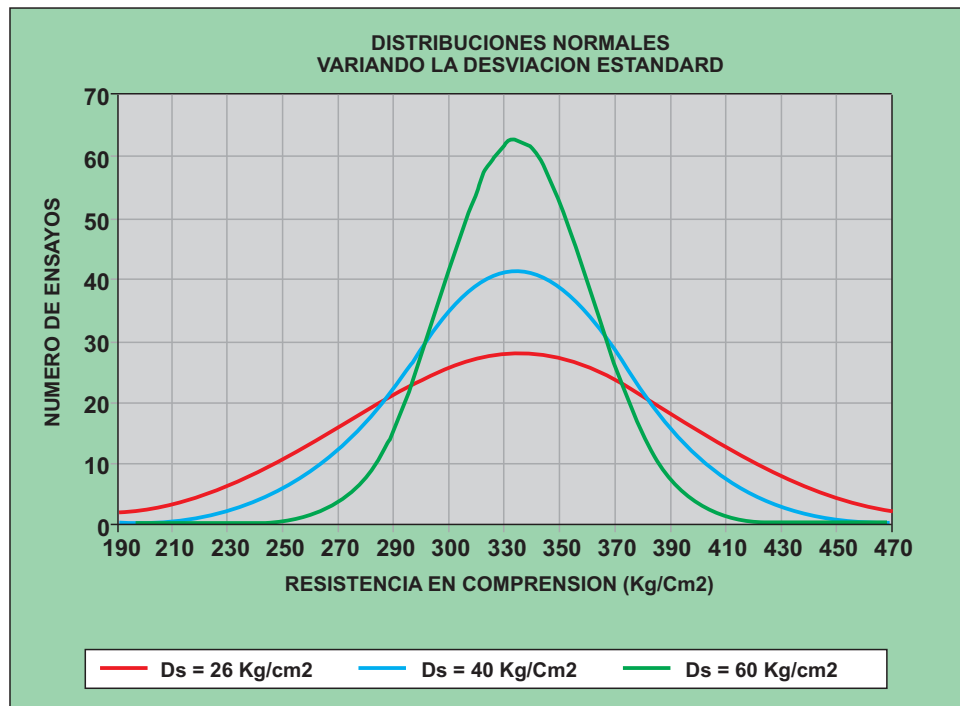


Fig. N° 7 – Distribución Normal y Desviación Estándar

2.0 LA RESISTENCIA REQUERIDA f'_{cr}

Como consecuencia de lo desarrollado en la introducción, el valor del sobrediseño o resistencia promedio incrementada al que deben apuntar los diseños de mezcla y los resultados de los testigos de concreto para que se verifique el f'_c en obra, es el que definen los Códigos como el f'_{cr} o Resistencia Requerida.

Para establecer este parámetro los Códigos recurren a la Distribución Probabilística Normal y limitan la cantidad de resultados por debajo del f'_c así como el

valor máximo de estas caídas de resistencia de tal forma que no se vea afectado el comportamiento integral de las estructuras.

Nuestra Norma NTE E.060 en el acápite 5.3.2.1 y el Código ACI 318 de donde procede establecen las siguientes pautas para definir cual es el f'_{cr} que debe cumplir el productor de concreto y/o el proveedor de concreto premezclado para garantizar que se verifique el f'_c en obra y se satisfagan las hipótesis de diseño donde S_s es la Desviación Estándar en producción :

Resistencia especificada a la compresión, MPa	Resistencia promedio requerida a la compresión, MPa
$f'_c \leq 35$	Usar el mayor valor obtenido de las ecuaciones (5-1) y (5-2) $f'_{cr} = f'_c + 1,34 S_s$ (5-1) $f'_{cr} = f'_c + 2,33 S_s - 3,5$ (5-2)
$f'_c > 35$	Usar el mayor valor obtenido de las ecuaciones (5-1) y (5-3) $f'_{cr} = f'_c + 1,34 S_s$ (5-1) $f'_{cr} = 0,90 f'_c + 2,33 S_s$ (5-3)

Las fórmulas que definen el f'_{cr} están basadas en la distribución probabilística normal y es importante aclarar que admiten que puedan haber algunas caídas de resistencia mientras sean pocas y no bajen de un cierto valor.

El motivo de esto es que no es realista con un material tan heterogéneo como el concreto el pretender que nunca habrán caídas de resistencia, ya que la ley de probabilidades no es absoluta, y en consecuencia tanto nuestra Norma E.060 como el ACI 318 con las fórmulas que establecen para el f'_{cr} admiten aproximadamente un 10% de caídas por debajo del f'_{c} , mientras no caigan

en más de 35 kg/cm² o el 10% f'_{c} , que es bastante conservador si se toma en cuenta que en las fórmulas de diseño se aplican factores de reducción al f'_{c} y se aplican factores de seguridad que incrementan las cargas teóricas calculadas.

Por otro lado, cuando el productor y/o proveedor de premezclado no cuentan o no presentan estadística que demuestre la Desviación Estándar en producción, que debe estar basada en no menos de 10 resultados abarcando un periodo no menor de 45 días, el acápite 5.3.2.2 establece que el f'_{cr} debe cumplir los siguientes requisitos :

Resistencia especificada a la compresión, MPa	Resistencia promedio requerida a la compresión, MPa
$f'_{c} < 21$	$f'_{cr} = f'_{c} + 7,0$
$21 \leq f'_{c} \leq 35$	$f'_{cr} = f'_{c} + 8,5$
$f'_{c} > 35$	$f'_{cr} = 1,1 f'_{c} + 5,0$

3.0

PORQUÉ SE OBTIENEN RESULTADOS BAJOS DE RESISTENCIA SI SE SUPONE QUE LA RESISTENCIA REQUERIDA f'_{cr} PREVIENE ESTO?

La razón proviene de que al ser el valor de f'_{cr} dependiente de la Desviación Estándar S_s , es un parámetro dinámico que cambia en el tiempo en función de las fuentes de variabilidad y dispersión que hemos comentado en artículos previos.

Como consecuencia de esto el proveedor del concreto debe monitorear constantemente la resistencia cronológica promedio de los testigos de concreto y su Desviación Estándar en producción para verificar si está cumpliendo con el f'_{cr} especificado y hacer las correcciones en sus diseños de mezcla para que la expectativa de falla no supere el 10% antes comentado.

Uno de los problemas prácticos en este monitoreo y control reside en que el cemento representa del orden del 60% del costo del m³ de concreto y gran parte del éxito económico del productor de premezclado depende de usar sólo el contenido de cemento necesario para cumplir con el f'_{cr} mínimo que le exigen los códigos, por lo que en ocasiones trabaja con valores límite que no llegan a absorber las fuentes de variabilidad en sus procesos.

Por otro lado, cuando el productor de concreto no realiza este control porque no tiene las herramientas

estadísticas para esto o lo hace extemporáneamente, es muy probable que inadvertidamente incumpla con el valor mínimo de f'_{cr} , por lo que empieza a actuar entonces la ley de probabilidades y se obtienen caídas en mayor cantidad de las aceptables, superando también los límites de 35 kg/cm² o 0.10 f'_{c} considerados por las normas, lo que representa problemas para la obra.

Un caso típico de incremento de variabilidad y problemas potenciales se produce cuando emplea varias canteras simultáneamente sin reajustar los diseños, o utiliza aditivos que no son muy efectivos en mantener la trabajabilidad obligando a muchas regulaciones con agua, o cuando la producción se realiza en época de verano con incremento de temperatura de las mezclas, lo que si no se prevé y regula provoca secado y dificultades en el mezclado, transporte y colocación, afectando los resultados.

En la Parte 3 de este artículo abordaremos los criterios de aceptación del f'_{c} , así como las herramientas para monitorear y evaluar los resultados de resistencia en compresión y los pasos a dar para verificar el f'_{s} o resistencia de la estructura en casos de incumplimiento.



ENTENDIENDO EL CONCRETO

7

¿QUE ES REALMENTE LA RESISTENCIA EN COMPRESIÓN DEL CONCRETO?

PARTE III

En la última parte de este artículo se explican los criterios de aceptación establecidos por los códigos para evaluar los resultados de resistencia en compresión, las herramientas estadísticas que nos permiten monitorear los resultados a edad temprana para proyectar la resistencia a 28 días a fin de tomar decisiones oportunas que eviten caídas graves en la resistencia, y finalmente los protocolos que se recomiendan aplicar para evaluar la resistencia in-situ de las estructuras en los casos de incumplimiento.

1.0

CRITERIOS DE ACEPTACIÓN PARA LOS RESULTADOS DE RESISTENCIA EN COMPRESIÓN DE TESTIGOS DE CONCRETO

La norma NTE E.060 Concreto Armado y el Código ACI 318 de donde proviene establecen los siguientes criterios de aceptación para los resultados de ensayos de testigos de concreto :

Para $f'c \leq 350 \text{ kg/cm}^2$:

- El promedio de 3 ensayos consecutivos debe ser $\geq f'c$
- Ningún valor individual debe ser menor del $f'c$ en más de 35 kg/cm²

Para $f'c > 350 \text{ kg/cm}^2$:

- El promedio de 3 ensayos consecutivos debe ser $\geq f'c$
- Ningún valor individual debe ser menor de $0.90f'c$

Para interpretar correctamente estos criterios hay que entender primero que el ensayo al que se refieren es el valor promedio de ensayar 3 testigos cilíndricos estándar de 4" x 8" o 2 testigos cilíndricos estándar de 6" x 12", y con estos valores hacer la verificación.

A continuación para fines didácticos se muestra un ejemplo de cálculo para ambos casos :

CÁLCULO PARA MUESTRAS DE 3 TESTIGOS DE 4" X 8"

Muestra	Testigo 1 (kg/cm ²)	Testigo 2 (kg/cm ²)	Testigo 3 (kg/cm ²)	Ensayo (Promedio de Testigos 1,2 y 3) (kg/cm ²)	Promedio de 3 Ensayos Consecutivos (kg/cm ²)
1	225	229	231	228	
2	239	242	233	238	
3	254	249	251	251	239
4	244	249	243	245	245
5	265	257	260	261	252
6	233	230	221	228	245
7	215	218	221	218	236

CÁLCULO PARA MUESTRAS DE 2 TESTIGOS DE 6" X 12"				
Muestra	Testigo 1 (kg/cm2)	Testigo 2 (kg/cm2)	Ensayo (Promedio de Testigos 1 y 2) (kg/cm2)	Promedio de 3 Ensayos Consecutivos (kg/cm2)
1	228	231	233	
2	236	240	237	
3	250	255	257	242
4	241	247	250	248
5	262	265	269	259
6	223	233	238	252
7	225	228	231	246

Lo que se deduce inmediatamente de estos ejemplos es que se requieren como mínimo 3 muestreos cronológicos consecutivos para poder aplicar los criterios mencionados y esto conlleva la necesidad de cumplir con la frecuencia de muestreo que establecen los códigos que consiste en obtener no menos de 1 muestra por cada tipo de concreto vaciado cada día, independientemente de su volumen, y se debe aplicar como mínimo 1 muestreo cada 40m3 cuando se trata de vaciados mayores.

El objeto de la verificación del cumplimiento de los criterios indicados es que se compruebe que el concreto colocado en las estructuras satisface las hipótesis de diseño establecidas por el calculista estructural cuando especificó el $f'c$ y se garantiza la seguridad de lo construido.

Cuando se incumple sólo el primer criterio es decir que el promedio de 3 ensayos consecutivos es menor que el $f'c$, pero ningún resultado individual es menor de $f'c - 35$ kg/cm2 o $0.90f'c$, dependiendo del caso en particular, los códigos consideran que si bien la situación no pone aún en peligro el comportamiento estructural integral, es indicativo de que el proveedor de concreto no está cumpliendo con el $f'cr$ o Resistencia requerida de la cual tratamos en detalle en el artículo N° 6.

Si no se toman medidas inmediatas para incrementar la resistencia promedio y de continuar este comportamiento del concreto, empezarán a haber probabilísticamente casos de incumplimiento del segundo criterio y se pone definitivamente en peligro la seguridad de las estructuras.

Las medidas inmediatas a tomar que considera el ACI 318 para estos casos y que debe aplicar el productor del concreto, asumiendo que se han cumplido las condiciones estandarizadas en el control de los testigos son:

- Incremento en el contenido de cemento
- Variación en las dosificaciones
- Mejor control o reducción del asentamiento
- Reducción del tiempo de entrega
- Control más estricto del contenido de aire

En consecuencia, la evaluación de los resultados a la luz de los criterios de aceptación no sirve únicamente para tener el documento que libera una estructura, sino que es una herramienta para medir la uniformidad y calidad del concreto actual y establecer medidas para que el concreto futuro no tenga problemas en lo aplicable.

Cuando se incumplen ambos criterios los códigos exigen que se debe verificar in-situ si se ha visto afectada la integridad estructural debiendo obtenerse un mínimo de 3 núcleos por cada sector donde ingresó el concreto de calidad dudosa, sobre la base de los ensayos en testigos estándar y la trazabilidad.

Al final de este artículo hablaremos de los protocolos recomendados a aplicarse cuando hay que extraer núcleos con perforadora diamantina y los criterios de aceptación.



2.0

HERRAMIENTAS ESTADÍSTICAS PARA EVALUAR RESULTADOS DE RESISTENCIA EN COMPRESIÓN DE TESTIGOS DE CONCRETO.

Para un proyecto en particular que emplee varios tipos de concreto, realice vaciados diariamente e involucre un volumen total de concreto significativo, ello significará que contará con un número importante de muestreos cronológicos secuenciales que requieren ser evaluados con los criterios ya detallados.

Aunque esto podría realizarse mediante una hoja de cálculo tipo Excel o similar, es frecuente que cuando se hace de este modo y sin un control muy estricto de los muestreos, edades de ensayo y trazabilidad, se maneje información confusa e incluso con errores numéricos y de interpretación.

Sin descartar lo anterior, se puede desarrollar software ad-hoc para hacer estas evaluaciones estadísticas, proyectar resultados a 28 días sobre la base de resultados a edad temprana y verificar de manera automatizada el cumplimiento o no de los criterios de aceptación.

Muchas de las empresas proveedoras de concreto premezclado emplean software de este tipo no sólo para demostrarle a sus clientes la calidad del concreto suministrado, sino principalmente para optimizar los diseños de mezcla y los contenidos de cemento y cumplir a la vez con el $f'c$ establecido por los códigos y que es de su responsabilidad.

Es importante también que los contratistas o usuarios del concreto entiendan la implicancia de este manejo estadístico, que no sólo es potestad del proveedor de premezclado sino que deben también dominarlo para poder comprobar a través de su propio control de calidad, si su abastecedor de concreto lo está suministrando cumpliendo con el $f'c$ demandado por los códigos y no compromete la integridad de las estructuras y la continuidad de los procesos constructivos.

Para ilustrar la mecánica de uso de estas herramientas y su gran poder para controlar la calidad de los concretos y prever problemas potenciales, vamos a recurrir al software estadístico Control Data de Control Mix Express S.A.C. donde con varios ejemplos prácticos analizaremos la manera de abordar estos problemas así como la toma de decisiones.

Siendo común en las obras obtener testigos para ensayos a edad temprana con el fin de tener una idea anticipada del desarrollo de la resistencia, y también para ensayos a 28 días que es la edad estandarizada de verificación del $f'c$ vamos a usar para fines didácticos estadística a 7 días y 28 días bajo varios escenarios.

Un aspecto complementario del software Control Data es que también genera Gráficos de resistencia vs Fecha de Ensayo que permiten visualmente establecer tendencias de comportamiento de los concretos.

Nº	Fecha moldeo	Certificado	Nro Orden	Guía Cemión	Edad	Resultado 1 (kg/cm²)	Resultado 2 (kg/cm²)	Resultado 3 (kg/cm²)	Promedio (kg/cm²)	$f'c7/f'c28$
1	14/09/2015	CME-S2115-0129	41451	006125B	7	228	232	232	231	0.83
2	15/09/2015	CME-S2215-0022	41452	0061281	7	234	242	238	238	0.76
3	16/09/2015	CME-S2315-0065	41454	0061373	7	220	213	229	221	0.79
4	17/09/2015	CME-S2415-0099	41458	0061439	7	205	220	213	213	0.79
5	18/09/2015	CME-S2515-0067	41459	0061495	7	244	242	241	242	0.67
6	21/09/2015	CME-S2815-0141	41462	0240554	7	203	200	197	200	0.69
7	23/09/2015	CME-S3015-0060	41464	0061725	7	211	211	225	216	0.73
8	24/09/2015	CME-00115-0026	41465	0061766	7	227	209	224	220	0.80
9	25/09/2015	CME-00215-0091	41466	0061854	7	225	241	232	233	0.84
10	28/09/2015	CME-00515-0007	41467	0061965	7	223	218	213	218	0.79
11	29/09/2015	CME-00615-0037	41468	0061953	7	218	229	228	225	0.80
12	30/09/2015	CME-00715-0060	41471	0062073	7	189	193	185	189	0.75
13	01/10/2015	CME-00915-0107	41472	0062144	7	210	219	187	205	0.77
14	02/10/2015	CME-00915-0180	41473	0062202	7	233	225	228	229	0.81
15	05/10/2015	CME-01215-0067	41477	0062305	7	218	219	228	222	0.82
16	06/10/2015	CME-01315-0108	41478	0062264	7	220	204	225	216	0.80
17	07/10/2015	CME-01415-0032	41479	0062354	7	225	220	223	223	0.76
18	12/10/2015	CME-01915-0077	41480	0062511	7	246	248	225	240	0.82

Prom. general 221 kg/cm2
 Desv. estándar 15.5 kg/cm2
 $f'c$ (ACI 318-14) 231 kg/cm2
 $f'c7/f'c28$ promedio 0.79
 $f'c7$ mínima 166 kg/cm2
 $f'c28$ Proyectada 280 kg/cm2

Conclusión CONCRETO CUMPLIRÍA CON EXPECTATIVA DE FALLA ACI 318-14

Nota 1 PROYECCIÓN ESTIMADA SOBRE RESULTADOS A LA FECHA PARA CEMENTO SOL TIPO I

Nota 2 Los valores en rojo pueden representar problemas potenciales de resistencia a 28 días

Tabla N° 1 – Resultados de Resistencia a 7 días de concreto $f'c = 210$ kg/cm2 que cumple con el $f'c$

En la Tabla y Gráfico N° 1 podemos apreciar un concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con resultados a 7 días que cumplen con la resistencia requerida $f'cr$ proyectada, considerando la tendencia de comportamiento 7días/28 días obtenida de la misma estadística a edad posterior. Cuando aún no se cuenta con información a 28 días el software asume la relación 7días/28días = 0.80.

El software calcula el $f'c$ mínimo a 7 días para que llegue al $f'c$ a 28 días, y resalta en rojo los valores

cuando no se cumple con este valor mínimo, calculando también el $f'cr$ según el Código y lo compara con el $f'c$ proyectado a 28 días.

Para este caso particular el análisis concluye que el concreto cumpliría con la expectativa de falla del Código, es decir los criterios de aceptación, y en consecuencia el concreto es seguro, verificándose visualmente en el Gráfico N° 1 que el concreto es uniforme sin tendencia a caída de resistencia, lo que indica que el proveedor del concreto tiene el producto controlado.

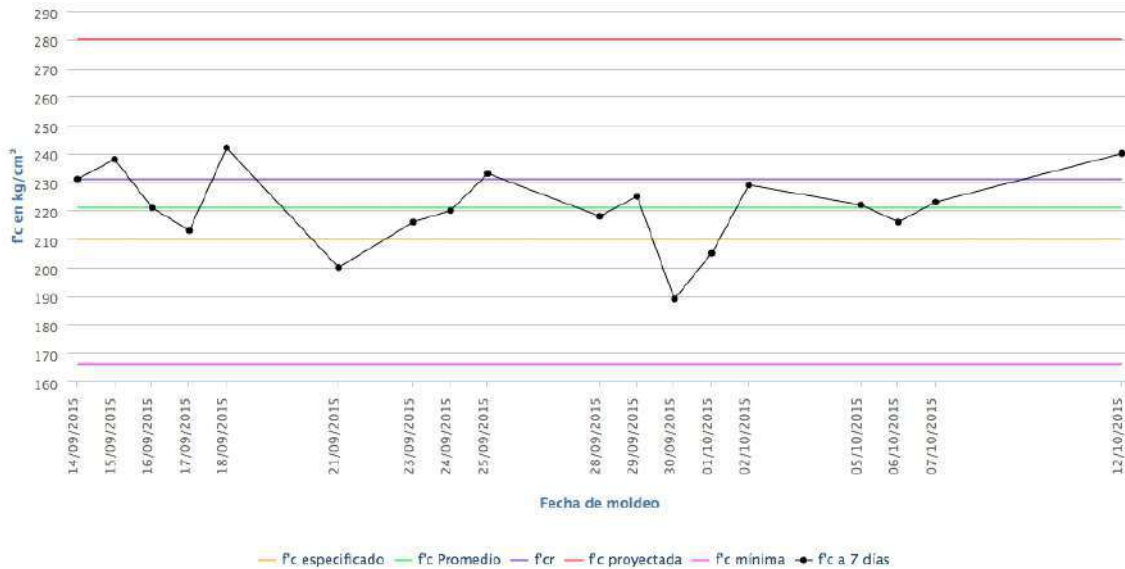


Gráfico N° 1 – Resultados de Resistencia a 7 días de concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ que cumple con el $f'cr$

En la Tabla y Gráfico N° 2 podemos apreciar las mismas muestras de concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con resultados a 28 días que cumplen con la resistencia requerida $f'cr$ tal como se proyectó a 7 días.

El software verifica también en este caso los dos criterios de aceptación en las 2 últimas columnas marcando con un visto en color verde el cumplimiento y con una cruz roja el incumplimiento.

N°	Fecha moldeo	Certificado	Nro Orden	Guía Camión	Edad	Resultado 1 (kg/cm²)	Resultado 2 (kg/cm²)	Resultado 3 (kg/cm²)	Promedio (kg/cm²)	Promedio Corrido (kg/cm²)	≥ f'c	≥ (f'c-35)
1	14/09/2015	CME-01215-0137	41451	006125B	28	277	281	279	279		✓	✓
2	15/09/2015	CME-01315-0070	41452	006128B	28	313	328	298	313		✓	✓
3	16/09/2015	CME-01415-0099	41454	0061373	28	286	286	272	281	291	✓	✓
4	17/09/2015	CME-01515-0061	41458	0061439	28	257	277	280	271	288	✓	✓
5	18/09/2015	CME-01615-0065	41459	0061495	28	272	281	283	279	277	✓	✓
6	21/09/2015	CME-01915-0136	41462	0240554	28	288	285	300	291	280	✓	✓
7	23/09/2015	CME-02115-0123	41464	0061725	28	293	297	295	295	288	✓	✓
8	24/09/2015	CME-02215-0077	41465	0061766	28	288	275	263	275	287	✓	✓
9	25/09/2015	CME-02315-0143	41466	0061854	28	289	288	252	276	282	✓	✓
10	28/09/2015	CME-02615-0125	41467	0061965	28	272	280	274	275	275	✓	✓
11	29/09/2015	CME-02715-0040	41468	0061993	28	271	279	300	283	278	✓	✓
12	30/09/2015	CME-02815-0049	41471	0062073	28	255	261	244	253	270	✓	✓
13	01/10/2015	CME-02915-0128	41472	0062144	28	274	265	265	265	267	✓	✓
14	02/10/2015	CME-03015-0099	41473	0062202	28	285	283	277	282	267	✓	✓
15	05/10/2015	CME-N0215-0029	41477	0062305	28	258	298	261	272	273	✓	✓
16	06/10/2015	CME-N0315-0038	41478	0062264	28	260	267	283	270	275	✓	✓
17	07/10/2015	CME-N0415-0107	41479	0062394	28	308	277	291	292	278	✓	✓
18	12/10/2015	CME-N0915-0023	41480	0062511	28	285	302	286	291	284	✓	✓

Prom. general 280 kg/cm2
Desv. estándar 14.7 kg/cm2
 $f'cr$ (ACI 318-14) 230 kg/cm2
Conclusión CUMPLE EXPECTATIVA DE FALLA ACI 318-14

Tabla N° 2 – Resultados de Resistencia a 28 días de concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ que cumple con el $f'cr$

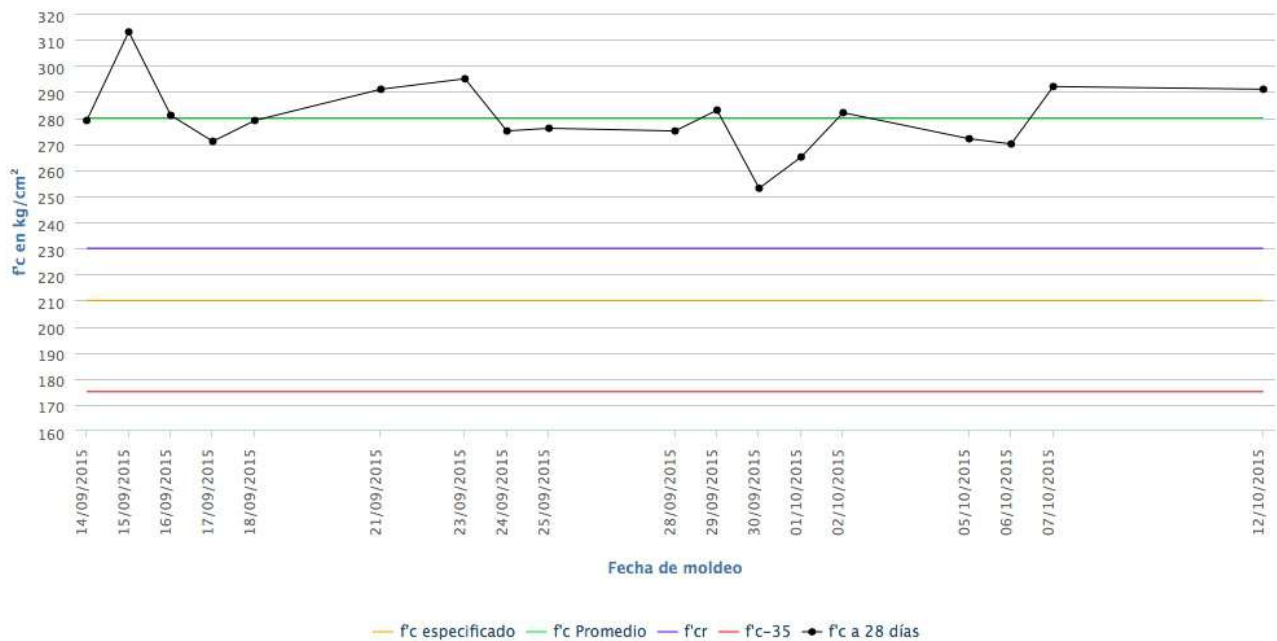


Gráfico N° 2 – Resultados de Resistencia a 28 días de concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ que cumple con el $f'cr$

En la Tabla y Gráfico N° 3 se analizan resultados a 7 días también de concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ pero en este caso la proyección a 28 días indica que no se está cumpliendo con la resistencia requerida $f'cr$ y se tendrán problemas a 28 días.

El Gráfico muestra visualmente la tendencia a la caída en la resistencia. Cuando se detecta esto es urgente solicitar al productor de concreto tomar de inmediato las medidas comentadas anteriormente para incrementar resistencia.

N°	Fecha moldeo	Certificado	Nro Orden	Guía Camión	Edad	Resultado 1 (kg/cm²)	Resultado 2 (kg/cm²)	Resultado 3 (kg/cm²)	Promedio (kg/cm²)	f'c7/ f'c28
1	09/12/2015	CME-D1615-0022	47802	140-0104188	7	168	186	166	173	0.78
2	10/12/2015	CME-D1715-0049	47805	146-0102047	7	187	196	195	193	0.84
3	16/12/2015	CME-D2315-0050	47812	146-0102370	7	169	130	164	161	0.85
4	18/12/2015	CME-D2515-0018	47816	146-0102466	7	286	284	303	291	0.86
5	19/12/2015	CME-D2615-0061	47818	146-0102536	7	168	182	177	176	0.80
6	21/12/2015	CME-D2815-0044	47819	146-0102579	7	169	193	183	182	0.76
7	22/12/2015	CME-D2915-0048	47821	146-0102645	7	191	178	197	189	0.82
8	30/12/2015	CME-E0616-0027	47829	146-0102977	7	190	192	186	189	0.78
9	02/01/2016	CME-E0916-0013	47830	002-0465272	7	187	200	182	190	0.79
10	05/01/2016	CME-E1216-0033	47832	146-0103089	7	191	195	187	191	0.84
11	06/01/2016	CME-E1316-0004	47834	146-0103134	7	211	219	207	212	0.80
12	07/01/2016	CME-E1416-0007	47837	140-0105408	7	179	187	187	184	0.85
13	19/01/2016	CME-E2616-0024	47846	146-0103867	7	151	143	155	150	0.81
14	16/02/2016	CME-F2316-0048	47848	140-0107338	7	154	168	167	166	0.80
15	17/02/2016	CME-F2416-0067	47849	146-0105303	7	147	148	146	147	0.85
16	23/02/2016	CME-M0116-0040	52803	002-0467687	7	153	150	153	152	0.76
17	29/03/2016	CME-A0516-0099	52817	140-0108973	7	149	155	164	156	0.81
18	12/04/2016	CME-A1916-0036	52821	140-0109568	7	183	193	183	186	0.85

Prom. general	183 kg/cm2
Desv. estándar	36 kg/cm2
f'cr (ACI 318-14)	259 kg/cm2
f'c7/f'c28 promedio	0.81
f'c7 mínima	170 kg/cm2
f'c28 Proyectada	226 kg/cm2
Conclusión	CONCRETO NO CUMPLIRÍA CON EXPECTATIVA DE FALLA ACI 318-14
Nota 1	PROYECCIÓN ESTIMADA SOBRE RESULTADOS A LA FECHA PARA CEMENTO SOL TIPO I
Nota 2	Los valores en rojo pueden representar problemas potenciales de resistencia a 28 días

Tabla N° 3 – Resultados de Resistencia a 7 días de concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ que incumple con el $f'cr$

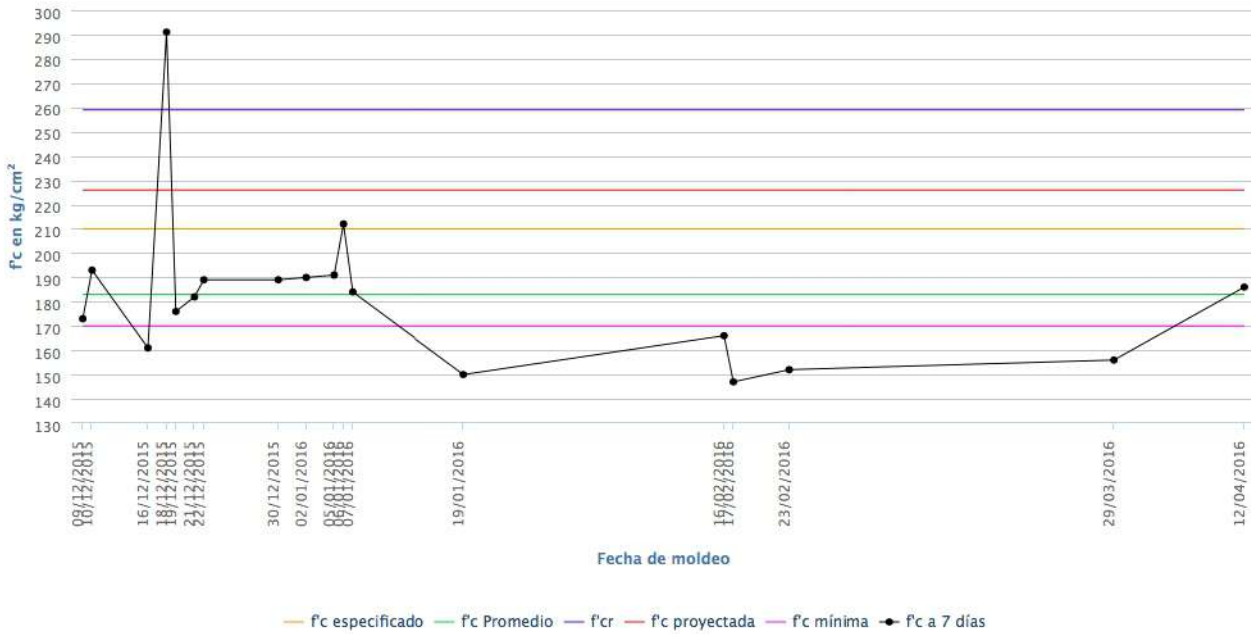


Gráfico N° 3 – Resultados de Resistencia a 7 días de concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ que incumple con el $f'cr$

En la Tabla y Gráfico N° 4 podemos apreciar las mismas muestras de concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con resultados a 28 días que incumplen con la resistencia requerida $f'cr$ tal como se proyectó a 7 días.

El software verifica también en este caso los dos criterios de aceptación en las 2 últimas columnas marcando con un visto en color verde el cumplimiento y con una cruz roja el incumplimiento.

Nº	Fecha moldeo	Certificado	Nro Orden	Guía Cernión	Edad	Resultado 1 (kg/cm²)	Resultado 2 (kg/cm²)	Resultado 3 (kg/cm²)	Promedio (kg/cm²)	Promedio Corrido (kg/cm²)	z f'c	z (f'c-35)
1	09/12/2015	CME-E0616-0019	47802	140-0104188	28	215	216	233	221			✓
2	10/12/2015	CME-E0716-0067	47805	146-0102047	28	224	243	223	230			✓
3	16/12/2015	CME-E1316-0058	47812	146-0102370	28	181	195	195	190	214	✓	✓
4	18/12/2015	CME-E1516-0063	47815	146-0102486	28	333	339	341	338	253	✓	✓
5	19/12/2015	CME-E1616-0077	47818	146-0102536	28	213	225	218	219	249	✓	✓
6	21/12/2015	CME-E1816-0110	47819	146-0102570	28	244	230	239	238	266	✓	✓
7	22/12/2015	CME-E1916-0036	47821	146-0102645	28	235	228	229	231	229	✓	✓
8	30/12/2015	CME-E2716-0089	47829	146-0102977	28	238	244	244	242	237	✓	✓
9	02/01/2016	CME-E3016-0031	47830	002-0465272	28	242	241	234	239	237	✓	✓
10	05/01/2016	CME-F0216-0024	47832	146-0103089	28	220	234	228	227	236	✓	✓
11	06/01/2016	CME-F0316-0039	47834	146-0103134	28	261	265	265	264	243	✓	✓
12	07/01/2016	CME-F0416-0037	47837	140-0105408	28	213	234	202	216	236	✓	✓
13	19/01/2016	CME-F1616-0129	47846	146-0103867	28	192	179	183	185	222	✓	✓
14	16/02/2016	CME-M1516-0063	47848	140-0107338	28	199	211	214	208	203	✗	✓
15	17/02/2016	CME-M1616-0099	47849	146-0105303	28	176	172	169	172	188	✗	✗
16	23/02/2016	CME-M2216-0103	52803	002-0467687	28	193	196	210	200	193	✗	✓
17	29/03/2016	CME-A2616-0076	52817	140-0108973	28	191	192	193	192	188	✗	✓
18	12/04/2016	CME-MY1016-0031	52821	140-0109598	28	205	228	224	219	204	✗	✓

Prom. general 224 kg/cm2
 Desv. estándar 40.7 kg/cm2
 $f'cr$ (ACI 318-14) 270 kg/cm2
 Conclusión NO CUMPLE EXPECTATIVA DE FALLA ACI 318-14

Tabla N° 4 – Resultados de Resistencia a 28 días de concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ que incumple con el $f'cr$

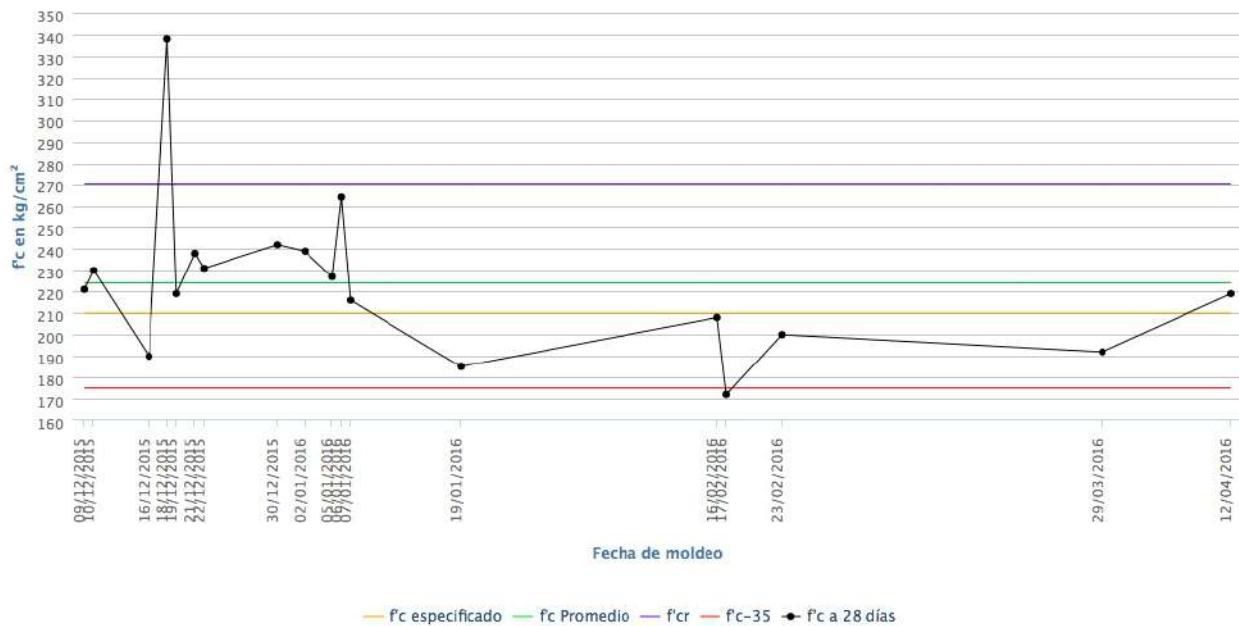


Gráfico N° 4 – Resultados de Resistencia a 28 días de concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ que incumple el $f'cr$

En la muestra N° 15 de la Tabla N° 4 se puede observar el incumplimiento de ambos criterios lo que obliga a la obtención de núcleos para verificar si se ha visto afectada la capacidad estructural de la estructura involucrada, demostrando que el proveedor del concreto ha estado incumpliendo con el $f'c$ exigido por los Códigos.

Es conveniente precisar que por razones prácticas de espacio y edición se han evaluado grupos de 18 muestras pero lo recomendable es en lo posible procesar siempre los últimos 30 muestreos disponibles pues ello afina la precisión en el cálculo y las tendencias.

3.0

PROTOCOLO RECOMENDADO CUANDO SE INCUMPLEN AMBOS CRITERIOS DE ACEPTACIÓN.

Ya hemos mencionado que para estos casos los Códigos establecen que deben obtenerse núcleos para verificar in-situ la calidad del concreto.

Al evaluarse pues núcleos que provienen del concreto colocado y no de testigos muestreados, moldeados, transportados, curados y ensayados bajo condiciones estándar controladas, la norma NTE E.060 y el Código ACI 318 ya no requieren que se obtenga el $f'c$, estableciendo los siguientes criterios de aceptación para núcleos de concreto en edificaciones nuevas :

- El promedio del ensayo de 3 núcleos debe ser $\geq 0.85 f'c$

- Ningún valor individual debe ser inferior a $0.75 f'c$.

Un error común cuando se producen estos problemas es que se incumple la exigencia de 3 núcleos y se hacen evaluaciones extrayendo sólo 1 núcleo o 2 lo cual no sirve para validar los resultados.

Las Normas ASTM C 42 y C 39 establecen todos los requisitos a tomarse en cuenta para la extracción y ensayo de núcleos, escapando del alcance del presente artículo el profundizar en los detalles técnicos involucrados, sin embargo en el protocolo que recomendamos, tocaremos algunos aspectos medulares.



Usualmente en las situaciones que requieren extracción de núcleos hay controversia entre los resultados de los testigos del usuario del concreto vs los de su proveedor, siendo muy excepcional que un proveedor de premezclado de mutuo propio alerte sobre estos problemas o tome iniciativas de verificación, por lo que al haber obviamente conflicto de intereses es muy importante que en todo el proceso de verificación de la resistencia in-situ haya transparencia e imparcialidad.

Basados en nuestra experiencia recomendamos el siguiente protocolo de extracción y ensayo de núcleos :

■ ■ ■ Es fundamental disponer de la trazabilidad precisa de la estructura o zona donde ingresó el concreto en duda antes de obtener los núcleos, de otro modo existe una gran probabilidad que se produzcan resultados que cumplan los criterios por corresponder a concreto diferente al dudoso, distorsionando la realidad del problema.

■ ■ ■ Los Códigos exigen que la extracción y ensayo sea realizado por personal técnico competente capacitado específicamente para esta labor, por lo que es muy importante elegir cuidadosamente la empresa o entidad que haga este trabajo que preferentemente debe ser un tercero sin conflicto de intereses en caso haya controversia.

■ ■ ■ Existen varias empresas e instituciones en nuestro medio que brindan el servicio de extracción y ensayo de núcleos de concreto, sin embargo, pese a que esto no descalifica necesariamente a ninguna, la única institución acreditada a la fecha ante el INACAL (Instituto Nacional de la Calidad) para estas labores es el Laboratorio de Estructuras Antisísmicas de la Universidad Católica del Perú.

■ ■ ■ El diámetro de la broca debe ser en lo posible como mínimo 3 veces el Tamaño Máximo Nominal del agregado grueso empleado en el concreto a evaluarse.

■ ■ ■ Normalmente se emplea agua para lubricar la broca lo que humedece el exterior del núcleo creando un gradiente de humedad que afecta el resultado si se ensayan de inmediato los núcleos, recomendándose un periodo de secado al ambiente de entre 5 días a 7 días luego del recorte de los extremos para eliminar esta

fuente de dispersión.

■ ■ ■ Es muy importante que se aplique durante el ensayo la velocidad de carga correspondiente al diámetro que se esté empleando ya que velocidades mayores incrementan la resistencia y menores la disminuyen.

■ ■ ■ Es recomendable en el caso de controversias que la custodia de los núcleos en todas las etapas del proceso de extracción, secado y ensayo estén a cargo de un tercero para eliminar suspicacias de alteración y/o adulteración de las condiciones establecidas en las normas para los especímenes.

■ ■ ■ Es conveniente en el caso de controversias elaborar un protocolo particular escrito que involucre las recomendaciones antes indicadas, los compromisos y que sea aceptado por las partes involucradas previamente a cualquier acción.

■ ■ ■ Las normas admiten en el caso de mucha variación en resultados la posibilidad de volver a sacar núcleos, recomendándose que se pacte que el resultado de la segunda verificación será el definitivo sin lugar a apelación, ya que no se puede estar perforando continuamente la estructura esperando que el resultado mejore.

■ ■ ■ Los resultados de los ensayos de núcleos deben someterse al diseñador estructural quien según los Códigos es la única persona que puede hacer la evaluación y decidir según su análisis y criterio si está comprometida la capacidad estructural y las medidas consiguientes.

■ ■ ■ Pese a que los Códigos no establecen responsabilidades para los casos en que se llega a verificación in-situ con núcleos, si bien el cumplimiento de los criterios mínimos definidos al inicio de este acápite avalan el comportamiento estructural suficiente, ello no exime al proveedor del concreto de la responsabilidad en el incumplimiento del f'_{cr} y haber provocado la situación límite planteada, que normalmente ocasiona costos en tiempo, pruebas y recursos que en todo caso cada parte que se considere afectada tiene la potestad de reclamar comercialmente.



ENTENDIENDO EL CONCRETO

8

HONGOS O MOHO EN EL CONCRETO, EL PORQUÉ APARECEN Y SU TRASCENDENCIA

En este artículo se detallan los conceptos básicos sobre la aparición de hongos y moho en el concreto en relación con las condiciones de exposición y de servicio de las estructuras, sus implicancias en la durabilidad de las edificaciones, los efectos colaterales en la salud de los usuarios y como prevenir, controlar y/o contrarrestar este fenómeno.

1.0 CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE LOS HONGOS O MOHO EN EL CONCRETO

El moho u hongo microscópico es un organismo vivo que se reproduce en forma de esporas (esferas) y que está presente siempre en el medioambiente en interiores y exteriores, pues contribuye a digerir y eliminar materia orgánica muerta en la naturaleza, haciéndose visible al ojo humano cuando coinciden algunas condiciones de humedad, temperatura, acidez, etc., que provocan que se multiplique.

Se alimentan de microorganismos provenientes de materia orgánica muerta, y se reproducen e

incrementan en presencia de alta humedad, carencia de luz y aire, ambiente ácido e incremento de temperatura. . Un indicador del grado de acidez de las superficies en que se deposita el moho es el valor del pH o potencial de hidrógeno, donde se ha comprobado que se desarrolla y multiplica con mayor intensidad para valores de entre 5 a 9.

Otro factor colaborante para la aparición del moho es la porosidad de la superficie, por lo que las superficies porosas lo retienen y las lisas dificultan su formación.

2.0 LAS CLASES DE MOHO MÁS COMUNES EN EDIFICACIONES CON CONCRETO

Existe una gran cantidad de clases de moho en las edificaciones, sin embargo en la bibliografía especializada se identifica a los 5 grupos más comunes:

Aspergillus, Penicillium, Cladosporium, Stachybotrys, Alternaria

En las Fotos N° 1 a N° 10, se pueden apreciar patrones típicos de como lucen las clases de moho que hemos

mencionado en muros de edificaciones, sin embargo es importante indicar que cada clase tiene muchas especies y es común que aparezcan simultáneamente, por lo que salvo que se efectúe una evaluación microbiológica muy compleja, es prácticamente imposible calificar todos los hongos presentes en un caso en particular, sin embargo, los patrones mostrados permiten identificar visualmente las familias de moho predominantes.



Foto N° 1 Aspergillus en muro
(Fuente : Test America Environmental Microbiology Laboratory Inc.)



Foto N° 2 Aspergillus en base de terma
(Fuente : Building Cleaning Services - California)



Foto N° 3 - Zona 1: Stachybotrys, Zona 2 : Cladosporium, Zona 3 : Aspergillus
 (Fuente : Inspectapedia.com)



Foto N° 4 - Cladosporium en tapa de cisterna
 (Fuente : Inspectapedia.com)



Foto N° 5 - Cladosporium en muro y techo de cocina
 (Fuente : moldremediation.com)



Foto N° 6 - Penicillium (Moho verde) en muro de drywall
 (Fuente : moldremediation.com)

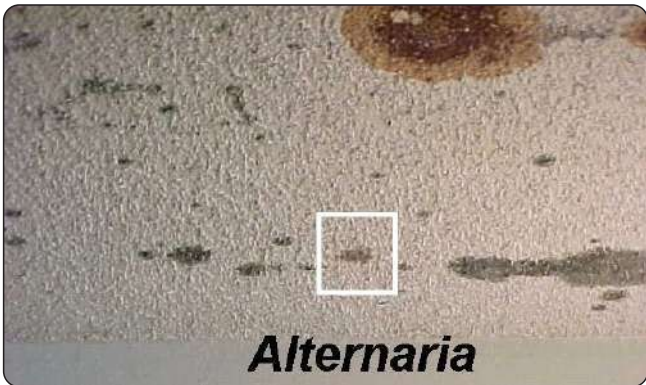


Foto N° 7 - Alternaria en techo escarchado
 (Fuente : Forensic Applications Inc.)



Foto N° 8 - Stachybotrys (Moho Negro) en muro de concreto en sótano inundado
 (Fuente : moldremediation.com)



Foto N° 9 - Stachybotrys (Moho Negro) en muro de drywall con alta condensación
 (Fuente : www.timberwisw.co.uk)



Foto N° 10 - Penicillium (Moho verde) en muro poroso
 (Fuente : www.mold-help.org)

En general el moho en el medioambiente no es tóxico, pero varios tipos de ellos pueden favorecer reacciones alérgicas en algunas personas sensibles si el moho se multiplica intensamente y se inhalan sus

esporas o entran en contacto con la piel, por lo que siempre es recomendable tomar medidas de control y/o eliminación cuando se hacen visibles en las edificaciones.

El moho puede aparecer en edificaciones construidas con diferentes materiales siendo el catalizador para su manifestación visible el incremento de humedad, habiéndose investigado que los ambientes con humedades relativas superiores al 70% tarde o temprano desarrollan algún tipo de moho, por lo que el control de la humedad es fundamental para limitar su aparición.

Por otro lado, la mayoría de tipos de moho se desarrollan cómodamente en temperaturas ambiente

entre 10°C a 35°C por lo que este parámetro es menos trascendente en comparación con la humedad.

En la Tabla 1 proveniente de la publicación "Humedad y Moho" de la Organización Mundial de la Salud:

Dampness and Mold, World Health Organization-Europe, Alemania-2009, se pueden apreciar las humedades relativas altas, intermedias y bajas que provocan la aparición de los diversos tipos de moho más comunes.

Table 1. Moisture levels required for growth of selected microorganisms in construction, finishing and furnishing materials

Moisture level	Category of microorganism
High ($a_w > 0.90$; ERH, > 90%)	Tertiary colonizers (hydrophilic) <i>Alternaria alternata</i> <i>Aspergillus fumigatus</i> <i>Epicoecum</i> spp. <i>Exophiala</i> spp. <i>Fusarium moniliforme</i> <i>Mucor plumbeus</i> <i>Phoma herbarum</i> <i>Phialophora</i> spp. <i>Rhizopus</i> spp. <i>Stachybotrys chartarum</i> (S. atra) <i>Trichoderma</i> spp. <i>Ulocladium consortiale</i> <i>Rhodotorula</i> spp. <i>Sporobolomyces</i> spp. Actinobacteria (or Actinomycetes)
Intermediate (a_w 0.80-0.90; ERH, 80-90%)	Secondary colonizers <i>Aspergillus flavus</i> <i>Aspergillus versicolor</i> ^a <i>Cladosporium cladosporioides</i> <i>Cladosporium herbarum</i> <i>Cladosporium sphaerospermum</i> <i>Mucor circinelloides</i> <i>Rhizopus oryzae</i>
Low ($a_w < 0.80$; ERH, < 80%)	Primary colonizers (xerophilic) <i>Alternaria citri</i> <i>Aspergillus (Eurotium) amstelodami</i> <i>Aspergillus candidus</i> <i>Aspergillus (Eurotium) glaucus</i> <i>Aspergillus niger</i> <i>Aspergillus penicillioides</i> <i>Aspergillus (Eurotium) repens</i> <i>Aspergillus restrictus</i> <i>Aspergillus versicolor</i> ^b <i>Paecilomyces variotii</i> <i>Penicillium aurantiogriseum</i> <i>Penicillium brevicompactum</i> <i>Penicillium chrysogenum</i> <i>Penicillium commune</i> <i>Penicillium expansum</i> <i>Penicillium griseofulvum</i> <i>Walleimia sebi</i>

3.0

LOS TIPOS DE CONCRETO LAS CONDICIONES DE EXPOSICIÓN Y/O SERVICIO Y LA APARICIÓN DE MOHO

Para el caso de edificaciones con concreto, este material tiene una alta alcalinidad (pH de 11.0 a 13.0) al vaciarse y endurecer, por lo que no facilita el desarrollo del moho que como hemos visto requiere un entorno ácido, sin embargo esta condición de alcalinidad se puede ir perdiendo en el tiempo cuando pintamos las estructuras de concreto con pinturas con pH bajo, o si el concreto es arquitectónico y el CO2 del medioambiente reacciona con el Hidróxido de Calcio del cemento y genera Carbonato de Calcio disminuyendo su pH original.

Las zonas geográficas con humedad relativa alta como es el caso de Lima y otras regiones en nuestro país favorecen la retención de humedad que es uno de los factores concomitantes para promover el moho.

Otra particularidad de las superficies de concreto es que la resistencia empleada en la estructura afecta

directamente la porosidad y/o permeabilidad, ya que por ejemplo los concretos estructurales $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$ y $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ tan populares en nuestro medio retienen bastante humedad dependiendo de la humedad relativa del sitio donde construimos, y producen superficies relativamente porosas que tienden a acumular polvo y moho con mayor facilidad, si no se pintan o se hace un mantenimiento periódico.

Los concretos de mayor resistencia y menor relación Agua/Cemento (≤ 0.50) producen una estructura menos permeable y superficies más lisas con menor porosidad dificultando la aparición de los hongos.

Las dimensiones y ventilación de los ambientes también contribuyen a la aparición del moho, pues mientras más pequeños los ambientes, con techos bajos y poca iluminación y ventilación es más frecuente y probable su aparición.

4.0**TRASCENDENCIA DEL MOHO EN LA DURABILIDAD DE LAS EDIFICACIONES Y LA SALUD DE LOS USUARIOS O HABITANTES**

El problema del moho en edificaciones es común a nivel internacional independientemente del tipo de material, siendo la Agencia de Protección del Medioambiente de USA, EPA por sus siglas en inglés (U.S. Environmental Protection Agency) una de las instituciones que ha publicado gran cantidad de artículos y recomendaciones para su evaluación y control, varias de las cuales han sido empleadas en el desarrollo de este artículo, estando disponibles en internet.

En cuanto a la durabilidad de las edificaciones, el moho sólo tiene trascendencia estética y en el incremento del costo de las labores de mantenimiento para eliminarlo, pero no tiene ninguna implicancia física ni química en relación a la agresividad hacia el concreto.

El problema potencial más grave es el riesgo en la salud de los usuarios o habitantes de las edificaciones, pues algunos hongos son más nocivos que otros y pueden ocasionar casos de alergia pulmonar, asma y varios tipos de enfermedades crónicas en las vías respiratorias y en la piel sobre todo en niños y personas de edad avanzada.

Es por ello que en los países desarrollados las agencias responsables del cuidado de la salud y medioambiente monitorean y hacen campañas orientadas a prevenir la aparición de moho en las edificaciones, debido al costo social elevado que puede traer como consecuencia su proliferación.

5.0**MEDIDAS PARA LA PREVENCIÓN Y CONTROL DEL MOHO EN LAS EDIFICACIONES CON CONCRETO**

Hemos participado como consultores en varios proyectos en Lima y Provincias donde se ha manifestado aparición de varios tipos de moho en estructuras de concreto, y sobre la base de esta experiencia y la bibliografía aludida recomendamos las siguientes medidas de prevención y control :

■ ■ ■ En el proyecto arquitectónico favorecer la iluminación natural y la ventilación de los ambientes, principalmente en baños, cocina y lavandería que es donde se presenta el hongo con mayor frecuencia, debido al incremento de humedad ocasionado por la condición de uso y/o servicio.

■ ■ ■ No especificar acabados superficiales porosos o rugosos pues fomentan el desarrollo del moho, su proliferación y dificultan su eliminación.

■ ■ ■ Usar revestimiento cerámico de piso a techo en zonas de alta humedad (duchas, tinas, lavaderos, etc.) lográndose superficies muy lisas que evitan el moho.

■ ■ ■ Seleccionar materiales para empaste, imprimación y pintura que no contengan materia orgánica (cola animal o materia animal) ya que al descomponerse con el tiempo propician la aparición del moho.

■ ■ ■ Emplear biocidas (Cloruro de benzalconio al 3%, Sulfato de Cobre + Nitrato de Cobre al 5%, Peróxido de Hidrógeno) presentes en varios productos de limpieza comerciales, como aditivos en el agua de dilución de la pintura, como elemento de limpieza previamente a la aplicación de las capas de pintura, como agentes para la limpieza de las superficies con moho, y durante el mantenimiento periódico preventivo.

■ ■ ■ Cada tipo de hongo tiene sensibilidad diferente a cada tipo de biocida, por lo que hay que hacer pruebas prácticas para evaluar su efectividad, sin embargo, hemos comprobado que el cloruro de benzalconio al 3% es el de mejor desempeño en

la mayoría de los casos detectados en Lima y Provincias.

■ ■ ■ No usar alfombras en ambientes pequeños con humedad y poca luz y ventilación, ni exagerar en llenarlos con muebles o usarlos como almacenes, ya que esto propicia la aparición del moho.

■ ■ ■ Se debe revisar periódicamente cualquier instalación o accesorio sanitario que tenga fuga de agua o que provoque el humedecimiento no controlado de muros, pisos y techos ya que esta irregularidad provoca la aparición de moho superficial.

■ ■ ■ Efectuar limpieza regular del polvo superficial en muros, techos y pisos con aspiradora o eliminación manual ya que el moho se encuentra presente en dichas partículas a la espera de que exista la humedad necesaria para activarse.

■ ■ ■ Posteriormente a la utilización de la ducha, lavatorio en los baños, cocina o lavandería, sobre todo cuando se emplea agua caliente, se debe abrir la ventana de ventilación, extractor o la puerta el tiempo necesario para que el vapor generado se elimine y no aumente innecesariamente la humedad al interior del ambiente, procurando además secar en lo posible las zonas de muro o techo donde haya salpicado el agua.

■ ■ ■ Si se cuenta con secadora de ropa en un sector cerrado, se deberá abrir ventanas y/o puertas para ventilarlo y eliminar el vapor generado por este equipo y no se incremente innecesariamente la humedad al interior del ambiente y el riesgo de aparición de moho.

■ ■ ■ Emplear deshumedecedores o estufas para bajar la humedad relativa en los ambientes propicios a la reproducción de los hongos.

■ ■ ■ Siempre que se hagan trabajos de limpieza de moho emplear guantes y mascarilla para prevenir problemas en las vías respiratorias y en la piel.

ENTENDIENDO EL CONCRETO

9

EL ORIGEN DE LAS FALLAS EN LAS OBRAS EN CONCRETO Y EL COSTO DE LA PREVENCIÓN VS LA OPORTUNIDAD DE REPARACIÓN

En este artículo se analiza sobre la base de estadísticas reales el origen de las fallas más comunes que se presentan en las obras con concreto, y el costo asociado a su prevención vs la oportunidad en que se detectan y reparan.

1.0 INTRODUCCIÓN

En mi experiencia de más de 35 años en la industria de la construcción con concreto en los roles de constructor, supervisor, productor de concreto premezclado y consultor, el común denominador entre los colegas siempre que se detecta un problema con concreto en la obra es atribuírselo automáticamente al material sin que se establezca ningún sustento en particular, desestimando que pueda prevenir del diseño, la construcción o el mantenimiento hasta que alguien no demuestre lo contrario.

No obstante, al profundizar en este tema ya que la realidad no avalaba este prejuicio, hallé mucha información a nivel internacional que no es muy difundida en nuestro medio y que acaba con varios mitos al respecto, aportando elementos de juicio que pueden ser muy útiles para los grupos de interés

vinculados a la optimización de los costos para resolver estos problemas.

En primer lugar hay que precisar que en nuestro país no existe estadística gubernamental o privada de disposición pública que establezca indicadores de lo que cuesta el resolver las fallas en los proyectos estatales o privados con concreto pese a que es el material de construcción fundamental en las obras de infraestructura y edificación.

Sin embargo es evidente que el Estado y los promotores privados gastan mucho dinero anualmente en diagnóstico y reparación de estructuras en concreto, como se puede percibir eventualmente a través de los medios de comunicación, o lo que trasciende en el ambiente de la ingeniería y la construcción.

2.0 FALLAS TÍPICAS EN LOS PROYECTOS CON CONCRETO

Se considera una falla en concreto cualquier problema que pueda afectar su apariencia, funcionalidad, capacidad estructural o durabilidad.

Estos problemas se evidencian a través de síntomas que pueden responder a varias causas provenientes de procesos internos y/o externos.

Pueden generar solicitudes y/o deterioros de gravedad variable y requieren evaluación, diagnóstico y acciones que pueden ser de tipo estético, de protección, rehabilitación, refuerzo o reposición, que involucran costos imprevistos en las obras. Los síntomas o patologías que revelan las fallas usuales en concreto se pueden resumir en:

- ■ Fisuras
- ■ Defectos en elementos encofrados : Cangrejeras, burbujas, líneas entre capas, manchas juntas frías, etc.
- ■ Deformaciones inesperadas, deformaciones diferenciales, alabeo.
- ■ Desgaste exterior
- ■ Desintegración de origen interno y externo
- ■ Eflorescencias, hongos

3.0 INTRODUCCIÓN

Desde hace más de 20 años se vienen efectuando investigaciones a nivel internacional para establecer en que etapa de desarrollo de los proyectos (diseño, proceso constructivo, materiales, uso, mantenimiento)

se originan los problemas en concreto. En las Figuras N° 1, 2, 3, y en el Cuadro N°1 se muestran los resultados de varios de estos estudios realizados en Europa y Latinoamérica.

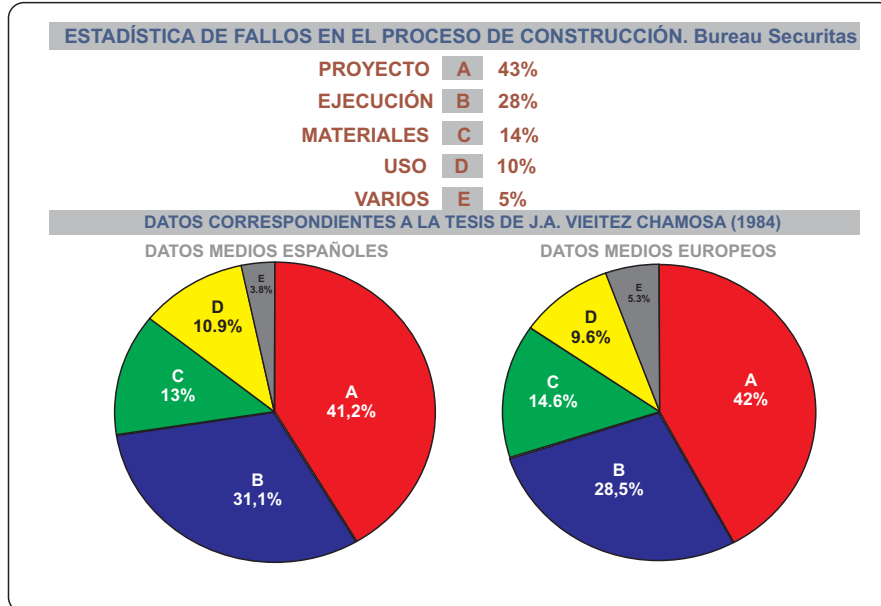


Figura N° 1 – Fuente : "Patología de la construcción en España : Aproximación Estadística", José Antonio Vietez Chamosa, José Luis Ramirez Ortiz, Universidad del País Vasco, España -1984

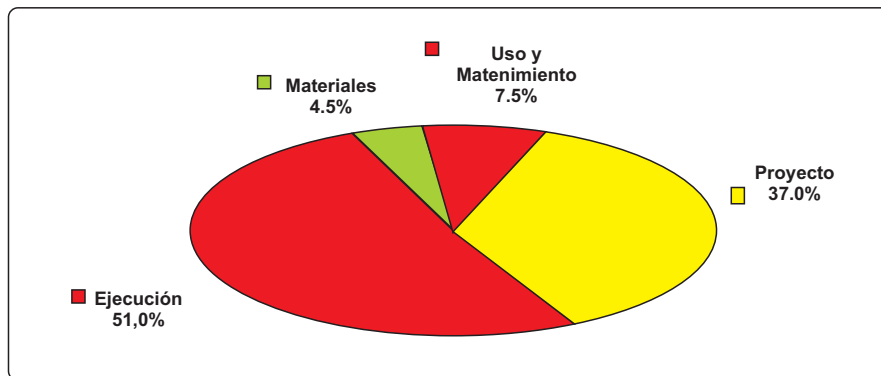


Figura N° 2 – Fuente : José Calavera "Patología de las Estructuras de Ho. Armado y Pretensado" INTEMAC, España, 1996

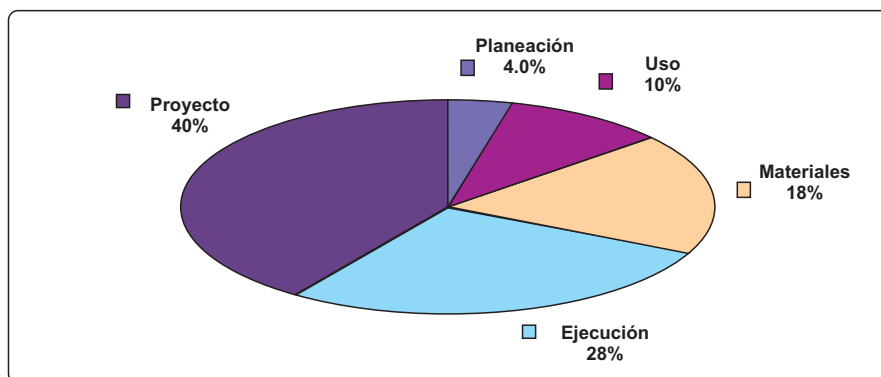


Figura N° 3 - Fuente : Paulo Helene "Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón – CYTED Sao Paulo, Brasil – 2003

PAIS	NÚMERO DE CASOS	CAUSA PRINCIPAL DE PATOLOGÍA (%)				
		PROYECTO	EJECUCIÓN	MATERIALES	USO/MANT.	NATURALES
BRASIL	527	18	52	7	13	—
ALEMANIA	1570	40	29	15	9	7
BÉLGICA	3000	49	24	12	8	7
DINAMARCA	601	37	22	25	9	7
FRANCIA	10000	37	51	5	7	—
R. UNIDO	510	49	29	11	10	1
RUMANIA	832	38	20	23	11	8
ESPAÑA	586	41	31	13	11	3
MEDIA EUROPEA	—	42	28	14	10	6

Cuadro N° 1 – Fuente : "Patología, Reparación y Refuerzo de Estructuras de Hormigón Armado", Alfonso del Río, Universidad Politécnica de Madrid, España - 2007

Se puede apreciar que pese a que las investigaciones reportan resultados de países con realidades e idiosincrasia diferentes, siendo el común denominador el empleo del concreto como material principal en sus obras, se establecen sorprendentemente las siguientes tendencias comunes :

La fuente principal responsable de la mayoría de las fallas se originan a nivel del proyecto o diseño (42% en promedio), ocasionadas principalmente por las siguientes causas :

- Diseño conceptual inadecuado
- Errores de cálculo
- Subestimación de cargas
- Estudio de suelos deficiente
- Selección equivocada de materiales
- Incumplimiento de los Códigos de Diseño
- No especificar esfuerzos para desencofrar
- Especificaciones erradas y/o deficientes
- Anteponer la economía a la durabilidad

La segunda fuente de fallas o patologías es el proceso constructivo (28% en promedio) derivadas de los siguientes motivos :

- Apuntalamiento subdimensionado.
- Desencofrado prematuro.
- Sobrecargas de construcción prematuras.
- Sobrecargas de construcción extremas.
- Usar materiales sin el debido control de calidad.
- No respetar códigos ni especificaciones en relación a empalmes de acero de refuerzo, frecuencias de muestreo del concreto.
- Compactación y curado defectuosos.
- Falta de planificación de los procesos con concreto.
- Falta de conocimiento sobre el comportamiento del concreto.
- Subestimación de los procesos constructivos

con concreto

- Anteponer la economía y la rapidez en la construcción sobre las buenas prácticas

En tercer término encontramos como origen de fallas a la calidad de los materiales (14% en promedio) con lo que se rompe el mito generalizado de asignarle a priori la paternidad de los problemas, y cuyas causas principales son :

- Concreto no cumple Resistencia Característica de diseño $f'c$.
- Acero no cumple fluencia especificada $f'y$.
- Pegantes epóxicos deficientes.
- Componentes metálicos deficientes.
- Usar materiales sin el control de calidad adecuado.
- Usar materiales que incumplen los códigos y/o especificaciones.
- Anteponer la economía sobre la calidad.

En cuarto lugar se hallan las condiciones de uso y/o mantenimiento (10% en promedio) con las siguientes causas :

- Cambio de condición de uso o servicio diferente a la de diseño.
- Permitir mayores cargas o mayor circulación de vehículos en el caso de pavimentos.
- Permitir humedad excesiva en las estructuras
- Falta de mantenimiento preventivo.

Finalmente las causas naturales y/o eventos extremos (6%) que someten a las estructuras a situaciones críticas eventuales :

- Sismo.
- Viento.
- Inundaciones.
- Explosiones, choques, impactos.

Las estadísticas y tendencias comentadas, nos indican que por sentido común se debería invertir más en desarrollar el mejor proyecto a nivel de diseño, pues de ahí van a provenir la mayoría de problemas, sin embargo, es común en nuestro medio que los promotores o inversionistas estatales o privados, regateen en este tema, restringiendo a los diseñadores o consultores en sus propuestas técnicas, privilegiando fundamentalmente la economía y reducción de costos sobre los criterios de durabilidad o las soluciones más seguras y eficientes, en un mercado enfocado

fundamentalmente en el precio.

Esta realidad no es muy diferente en otros países, por lo que fue estudiada a nivel de toda Europa por el investigador holandés Dr. Willem De Sitter en 1984 para cuantificar las consecuencias en costos de no invertir lo suficiente en el momento oportuno, debido a la economía mal entendida comentada previamente.

En la Figura N° 3 se aprecia un esquema conceptual de la denominada internacionalmente la "Ley de los 5 de De Sitter" sobre la base de la estadística que recopiló.

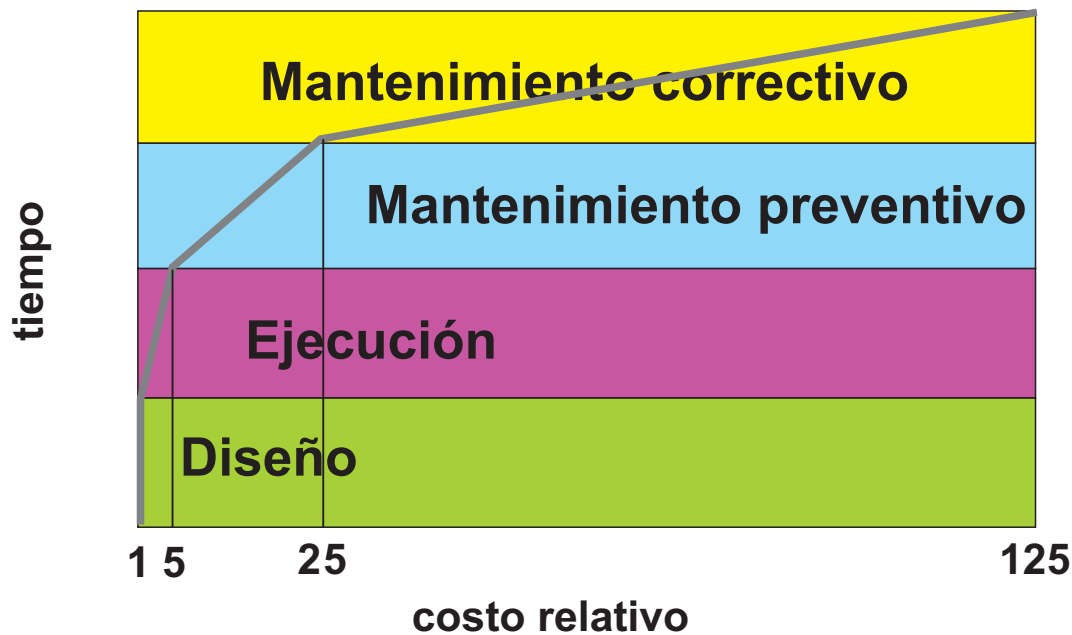


Figura N° 3 - Fuente : W.R. De Sitter Jr. "Costs for service life optimisation the law of fives" - Gráfico publicado en el "Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón – CYTED Sao Paulo, Brasil – 2003

Las conclusiones que se derivan de la Ley de los 5 son las siguientes:

■ ■ ■ La experiencia práctica y la Ley de De Sitter indican que la inversión más rentable para prevenir fallas en las obras con concreto debe hacerse a nivel del proyecto o diseño.

■ ■ ■ Debe tratarse de reducir al mínimo las fallas originadas en el proceso constructivo disponiendo del mejor y más competente personal directivo y operativo en obra en relación a trabajos con concreto, no escatimando en la planificación y el control de calidad de los materiales y procesos, ya que las intervenciones en esta fase para solucionar los problemas que se presenten costarán 5 veces más que a nivel del proyecto.

■ ■ ■ El subestimar los problemas potenciales por

fallas en el concreto, motivando la necesidad de intervenciones posteriores durante la entrega de las obras, el uso, o el mantenimiento de las estructuras, puede incrementar geométricamente con razón 5 los gastos imprevistos por consultorías, paralizaciones de obra, incumplimiento de plazos, rehabilitaciones, reparaciones o reposiciones, poniendo en serio riesgo la rentabilidad final.

■ ■ ■ Es importante romper los paradigmas relativos al costo de los problemas de fallas en los proyectos en concreto en nuestro medio, difundiendo los conceptos detallados en este artículo entre los grupos de interés de la industria de la construcción, incluyendo a las Universidades y Colegios Profesionales, para lograr el cambio cultural que lleve a ahorros importantes a nivel estatal y privado en costos de reparaciones y rehabilitaciones que se pueden prevenir y evitar.

ENTENDIENDO EL CONCRETO

10

MITOS Y REALIDADES DE LOS RESULTADOS DE ENSAYOS DE COMPRESIÓN EN CONCRETO PARTE I

En este artículo se explican y sustentan técnicamente la validez o falsedad de varios "supuestos adquiridos", o apreciaciones que circulan entre los profesionales en relación a los resultados de ensayos de compresión en concreto, que se dan por ciertos pese a que nadie sabe a su origen, sin embargo, en muchos casos sólo están basados en sesgos, conocimientos incompletos o intereses creados, distorsionando innecesariamente la interpretación y aplicación correcta de los Códigos de Diseño Estructural y las normas estandarizadas para el control de calidad del concreto, perjudicando la toma de decisiones oportunas en beneficio de la obra.

1.0 REFLEXIONES PRELIMINARES

REALISMO MÁGICO VS CIENCIA Y TECNOLOGÍA

El "realismo mágico" es el nombre que asignaron los críticos a la corriente literaria que popularizó Gabriel García Márquez cuando en 1967 su obra "Cien años de Soledad" se volvió un fenómeno de ventas en Iberoamérica principalmente y luego a nivel mundial. Se caracteriza por mostrar lo fantástico, exagerado o irreal como algo cotidiano y común, a través de una prosa muy refinada.

Algunos atribuyen el éxito del "realismo mágico" a que la idiosincrasia del latinoamericano está en sintonía con este estilo literario debido a la imaginación superlativa, la superstición y la atribución de interpretaciones fantásticas o desmesuradas a hechos de la vida diaria, que nos son característicos. Se preguntará el lector ¿qué

tiene que ver esto con el concreto?, pero latinos y peruanos como somos, tendemos a aplicar en ocasiones el "realismo mágico" de nuestra idiosincrasia para elaborar juicios y conclusiones sobre este material, dejando de lado nuestra formación profesional y la caja de herramientas que nos suministró la Universidad para darle un sustento científico y tecnológico a aquellos casos que se apartan de lo usual o que no entendemos.

El concepto fundamental entonces es que cuando tengamos una duda técnica, recurramos a las Normas Estándar, los Códigos de Diseño y el sustento objetivo basado en hechos, cálculos o información verificada científicamente para entenderla y explicarla, y dejemos el "realismo mágico" para la literatura.

RESULTADOS ESTÁNDARIZADOS VS RESULTADOS DESEADOS

Si alguna vez el lector ha asistido a alguna consulta médica donde deben medir su estatura y peso, le resultará lo más natural que esto se efectúe bajo un protocolo y condiciones controladas, y de este modo el médico y usted conocerán su altura y cuanto pesa para las evaluaciones que sean aplicables, siendo lo que llamamos resultados estandarizados.

Pero sabía usted que si midiera su estatura colgado de los pies y su peso poniendo la balanza en un ascensor que está bajando, su estatura sería algunos centímetros mayor y pesaría algunos kg menos por efecto de la gravedad, constituyendo

los "resultados deseados" que nos complacen, pero que si el médico los utiliza distorsionaría la evaluación a que hubiera lugar, ya que están fuera del estándar.

Esto se aplica también a los resultados estandarizados de resistencia en concreto, pues en ocasiones se pretende que deben ejecutarse bajo condiciones particulares no estandarizadas, o bajo interpretaciones pseudocientíficas, que provoquen sesgadamente el mayor o el menor valor deseado con el fin de cumplir un formalismo, o salvar una responsabilidad, pero con esto distorsionamos las hipótesis del diseño estructural

que están basadas en condiciones estándar, poniendo en riesgo la seguridad de las estructuras.

Conceptualmente, cada vez que nos apartamos de las condiciones estandarizadas en el control de

CONTROL DE CALIDAD POR CUMPLIMIENTO O POR CONVICCIÓN

La palabra cumplimiento proviene del latín "complementum", acción o efecto de ejecutar o completar una tarea o una meta. Es muy frecuente que en el control de calidad del concreto, el cumplimiento lo asociemos no sólo a las acciones que hay que ejecutar para este fin, sino a la generación de los documentos que lo evidencien, siendo muy afectos en nuestro medio a la cultura del "papelito manda" (parafraseando a un célebre Jefe de la ONPE de hace varios años) y dándole en ocasiones más importancia a la existencia del documento lleno con las firmas y sellos correspondientes, antes que la verificación efectiva y minuciosa de los procesos y acciones que se supone demuestra.

Cuando hacemos control de calidad entendido principalmente como el asegurarse de que se generen y archiven todos los formularios y protocolos aplicables firmados por los "responsables", pero en la práctica se trata sólo de

POR FAVOR NO MATAR AL MENSAJERO !!!

Matar al mensajero es una frase metafórica que se refiere al acto de culpar a una persona que trae malas noticias en vez de al autor de las mismas. Sigmund Freud consideraba el hecho de "matar al mensajero" como "un caso marginal de defensa para enfrentar lo insoportable".

A nadie se le ocurriría echarle la culpa o cuestionar al Laboratorio Clínico Roe o a Suiza Lab en el momento en que luego de varias pruebas nos enteramos que tenemos el colesterol alto, o resultamos positivos en una enfermedad infecciosa, pues cuando se trata de nuestra vida o salud la reacción inmediata es enfrentar el problema y tomar las acciones para curarnos.

Sin embargo, es un acto reflejo muy común entre algunos proveedores de premezclado el "matar al mensajero" al contrastar resultados bajos reiterados de un laboratorio certificado que evidencian dudas en la calidad de su producción, juzgando y sentenciando como culpable "mientras no se pruebe lo contrario" a la entidad que ejecutó los ensayos, o desacreditándola ante su cliente con suposiciones o conjeturas artificiosas, eludiendo de este modo que al ser totalmente responsables de la producción del concreto, es su obligación profesional el demostrar fehacientemente la calidad de su suministro, y no

calidad del concreto, estamos haciendo lo mismo que el señor que se cuelga de los pies para medir su estatura o se pesa dentro de un ascensor en descenso, logrando resultados engañosos.

un acto burocrático, al no ser rigurosos en supervisar al personal y los procesos estandarizados que deben sustentarlos, la palabra cumplimiento se transforma en cumplimiento + miento, pues con frecuencia los documentos "muestran" que el control de calidad se realizó, pero la realidad de los resultados indica lo contrario, y adrede o no, estamos mintiendo, y obviamente no estamos ejecutando o completando a cabalidad la tarea encomendada.

Por otro lado existen los profesionales que ejercen el control de calidad del concreto por convicción, donde además del cumplimiento, se comparte la creencia firme, el convencimiento y el compromiso, tanto en la ejecución supervisada de las tareas a controlarse como en su documentación, y es a lo que deben apuntar los responsables de estas labores en obra para garantizar la seguridad y durabilidad que cautelan los Códigos vigentes, y evitar controversias en resultados.

"ponerse a la defensiva para enfrentar lo insoportable" aludiendo a Freud.

Como concepto fundamental hay que entender que los ensayos de compresión se analizan no sólo por resultados individuales sino por tendencias cronológicas, donde si apreciamos que una, dos, tres o más veces se están produciendo resultados bajos emitidos por una entidad certificada, hay que confiar en la sabiduría popular del "Test del pato": "Si vemos un ave que camina como pato, nada como pato, tiene pico de pato y dice cuá cuá, el sentido común me dice que es muy probable que se trate de un pato".

En consecuencia, la próxima vez que usted reciba resultados bajos sistemáticos de un laboratorio confiable que ponen en duda la calidad del concreto de su proveedor de premezclado, no se confabule en "matar al mensajero" y analice profesionalmente con las herramientas que nos dan los códigos y la ingeniería, si el ave que tiene entre manos es o no el pato que todo indica que es.

En la segunda parte de este artículo desarrollaremos en detalle los principales mitos y realidades de los ensayos de compresión en concreto.

En la Parte 2 de este artículo se explican y sustentan técnicamente la validez o falsedad de los Mitos Y Realidades que circulan entre los profesionales en relación a los resultados de ensayos de compresión en concreto, distorsionando innecesariamente la interpretación y aplicación correcta de los Códigos de Diseño Estructural y las normas estandarizadas para el control de calidad del concreto, perjudicando la toma de decisiones oportunas en beneficio de la obra.

1.0 MITOS Y REALIDADES DE LOS ENSAYOS DE COMPRESIÓN EN CONCRETO

Nº 1) : Cuando no se obtiene en los testigos el $f'c$ especificado se trata definitivamente de un problema muy grave y hay que demoler la estructura.

Falso :

No basta solamente que el $f'c$ en testigos caiga por debajo del especificado, pues mientras la caída no supere 35kg/cm^2 para concretos con $f'c \leq 350\text{ kg/cm}^2$ o $0.10 f'c$ para concretos con $f'c > 350\text{ kg/cm}^2$, el Código ACI 318 y nuestra Norma NTE E.060 consideran que aún no está comprometida la seguridad estructural,

pero el productor del concreto debe tomar medidas inmediatas para que se incremente la resistencia en los siguientes suministros a fin de que no se torne en un problema grave, lo que en la práctica normalmente significa subir cemento, acción a lo que son bastante reacios por el incremento en costo que acarrea.

Nº 2) : Cuando las caídas de resistencia son mayores a 35 kg/cm^2 para concretos con $f'c \leq 350\text{ kg/cm}^2$ o $0.10 f'c$ para concretos con $f'c > 350\text{ kg/cm}^2$, hay que demoler la estructura.

Falso :

Cuando esto ocurre se puede tratar de un problema grave, pero las normas indican que se debe hacer la verificación in-situ obteniendo núcleos con perforadora diamantina (3 testigos por cada sector dudoso), y si se obtiene que el promedio de los 3 ensayos es $\geq 0.85f'c$ y

ningún valor es inferior a $0.75f'c$, no está afectada la integridad estructural, pero si esto no se cumple, el diseñador estructural es el único responsable de cómo proceder.

Nº 3) : Cuando los ensayos en núcleos incumplen que el promedio de los 3 ensayos es $\geq 0.85f'c$ y ningún valor es inferior a $0.75f'c$, hay que demoler la estructura.

Falso :

Los códigos le asignan al diseñador estructural la potestad de evaluar estos resultados, y en ocasiones si el incumplimiento representa una caída no muy significativa, y el análisis estructural del sector afectado arroja que se satisfacen aún los esfuerzos, podrían ser

aceptables. Puede ocurrir incluso que el diseñador determine un refuerzo adicional o incremento de sección para compensar deficiencias. La demolición o reposición es una situación extrema cuando se han agotado todas las alternativas ingenieriles.

Nº 4) : Cuando la dispersión entre testigos es mayor del 8.0% del promedio cuando se ensayan 2 testigos de 6"x12" o es mayor de 10.6% cuando se trata de 3 testigos de 4"x8" significa que deben descartarse los resultados y demuestra que el laboratorio que ha hecho el ensayo es incompetente.

Falso :

La norma ASTM C 39 "Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens" establece la precisión esperada entre testigos antes mencionada, pero en ninguna parte del texto se indica que el incumplimiento invalida los resultados o demuestra incompetencia del laboratorio, sin embargo algunas empresas de premezclado lo usan como argumento sin sustento, cuando los resultados no les favorecen. La publicación especializada ASTM STP

169D "Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete Making Materials" aclara este tema precisando que eventualmente pueden ocurrir estos casos, que no necesariamente proceden de defectos en las condiciones estandarizadas, sino que pueden ser ocasionados también por sesgos o falta de uniformidad en el concreto, luego, si se vuelven reiterativos y sistemáticos hay que evaluar la fuente real de su origen, pero no se deben descartar a priori.

Nº 5) : Los resultados de ensayos son los mismos si se obtiene la muestra de la primera descarga del camión o del tercio central.

Falso :

La Norma ASTM C 172 "Standard Practice for Sampling Freshly Mixed" establece específicamente que el muestreo debe efectuarse de la parte central de la carga del mixer o equipo de mezclado, y nunca del principio o final de la descarga. La publicación ASTM STP 169D antes mencionada indica que de hacerse de este modo las muestras contienen concreto segregado es decir con exceso de gruesos y/o separación de gruesos y finos, perdiendo uniformidad y originando resultados dispersos.

Esta práctica vedada es muy común en algunos constructores y proveedores de premezclado, donde por comprobar el asentamiento o slump antes de proceder a vaciar, obtienen una muestra del inicio de la descarga y "aprovechan" para moldear los testigos y "no perder tiempo después" parando el vaciado a la mitad de la descarga del mixer para muestrear como indica la norma, subestimando el efecto tan negativo que puede ocasionar en los resultados de ensayos.

Nº 6) : Cuando se obtiene el mismo resultado en todos los testigos de una muestra, es "sospechoso" e indica que algo anda mal con el laboratorio, pues equivale a "ganarse la tinka" o el premio en la máquina tragamonedas y es imposible que ocurra en ensayos en concreto.

Falso :

Este es uno de los mitos más sesgados y antitécnicos con el que se tiende a desacreditar al laboratorio de ensayos cuando los resultados son desfavorables, y pasaremos a explicar el "realismo mágico" que contiene.

Si nos acordamos de nuestro curso universitario básico de estadística, es muy fácil calcular que la probabilidad de ganarse la Tinka, consistente en acertar la combinación de 6 números cada uno con 40 posibilidades diferentes, es de 1 en 8`145,060, por lo que es difícilísimo de acertar.

En una máquina tragamonedas de 3 ruedas y 64 figuras por rueda la posibilidad de acertar 3 figuras iguales o jackpot es de $64 \times 64 \times 64 = 1$ en 262,144, por lo que es

muy improbable que ganemos.

Sin embargo, en el caso de ensayar 3 testigos de concreto de 4" x 8" en condiciones estandarizadas hay que recordar que la máxima dispersión entre 2 valores es del orden del 10% y un buen laboratorio tiene una dispersión de alrededor del 5%, por lo que por ejemplo para un concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ la diferencia máxima entre testigos será de 10 kg/cm² y la posibilidad de que un resultado se repita 2 veces más es de $10 \times 10 = 1$ en 100, lo que es más factible que por ejemplo la probabilidad de lograr una escalera jugando poker que es de 1 en 254, y que seguro le ha ocurrido varias veces a los lectores aficionados a las cartas, y no por ello esto resulta "sospechoso".

CONCLUSION

En conclusión, contrariamente a lo que se podría pensar, mientras más controlados tenga sus procesos un laboratorio y sea menor la dispersión entre testigos habrá más probabilidades de que se obtengan los mismos resultados al ensayar un grupo, no teniendo nada de "sospechoso" como

pretende el "realismo mágico".

En la Parte 3 y final de este artículo concluimos con el desarrollo de los Mitos Y Realidades de los ensayos de compresión en concreto.

ENTENDIENDO EL CONCRETO

12

MITOS Y REALIDADES DE LOS RESULTADOS DE ENSAYOS DE COMPRESIÓN EN CONCRETO PARTE III

En la Parte 3 y final de este artículo se concluye con la explicación de la validez o falsedad de los Mitos y Realidades que circulan entre los profesionales en relación a los resultados de ensayos de compresión en concreto, distorsionando innecesariamente la interpretación y aplicación correcta de los Códigos de Diseño Estructural y las normas estandarizadas para el control de calidad del concreto, perjudicando la toma de decisiones oportunas en beneficio de la obra.

2.0 MITOS Y REALIDADES DE LOS ENSAYOS DE COMPRESIÓN EN CONCRETO

Nº 7) La "bolonería" o "grumos" que se detectan eventualmente en las mezclas de concreto premezclado pueden afectar significativamente su calidad.

Verdadero :

Estos grumos se producen cuando el cemento y/o adiciones minerales ingresan a la mezcla con temperaturas superiores a 60°C, y en contacto con el agua fría generan flóculos o bolas que externamente están húmedas, pero internamente tienen agregados y cemento sin hidratar. Evidencian descontrol en la secuencia de carguío y falta de mezclado, y representan sectores potencialmente débiles en las estructuras y tendencia a caídas de resistencia en los testigos, por lo que se recomienda rechazar estos suministros e insistir en que el productor de premezclado controle sus procesos con mayor cuidado.

Cambiar la secuencia de carguío y mezclado en las plantas concretteras para contrarrestar este fenómeno ocasiona que se incremente el ciclo de producción

reduciéndose la productividad, por lo que las empresas de premezclado no son muy afectas a solucionar integralmente este problema, esperando normalmente que se solucione solo, o que el cliente no lo detecte, o no reclame, subestimando el efecto potencial tan negativo en la calidad final del concreto colocado.

El problema es más grave en vaciado directo pues algunas veces la bolonería pasa desapercibida e ingresa sin control, pero en vaciado con bomba, se detecta en la rejilla de la "batea" de recepción del concreto y usualmente el personal auxiliar disgrega la bolonería manualmente con una barreta esperando que se remezcle con las paletas que introducen el concreto a ser bombeado, lo cual si bien es un paliativo, no garantiza que se integre totalmente a la masa.



Nº 8) El curar los testigos en cámaras de curado produce resultados de resistencia más bajos, siendo lo mejor las pozas de curado con inmersión total que producen resultados más altos.

Falso :

La Norma ASTM C 551-13 "Standard Specification for Moisture Rooms, Moist Cabinets, Moist Rooms and Water Storage Tanks used in the Testing of Hydraulic Cements and Concretes" establece que se pueden emplear indistintamente cámaras de curado o pozas de curado para testigos de concreto, **mientras se mantengan las condiciones estandarizadas de humedad y temperatura.**

La norma data del año 1968, es decir que va a cumplir 50 años de vigencia y en todo este tiempo nunca se ha cuestionado que uno u otro método provoque mayores o menores resistencias pues son totalmente equivalentes mientras en ambos casos se cumplan y controlen las condiciones estandarizadas de humedad relativa mayor de 95% y temperatura en el rango de $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.

El curado en cámaras húmedas tiene la ventaja de permitir un almacenaje ordenado y eficiente en anaqueles de una gran cantidad de testigos dentro de un espacio pequeño, y con un mejor control de humedad y temperatura mediante aspersores de neblina con agua en circuito cerrado, estufa y acondicionador de aire, siendo un sistema ecológico. Al ser un

sistema más sofisticado es más caro en su configuración y mantenimiento.

Las pozas de curado requieren mucho más espacio y agua al acomodarse los testigos sólo en una altura, siendo complicada la identificación y ubicación. Requieren saturar el agua con cal hidratada lo que la contamina y dificulta su eliminación ecológica. Usan una gran cantidad de energía para calentar toda el agua de la poza a la temperatura estandarizada y deben tener un agitador constante para que no se produzca lixiviación. Es un sistema más barato en costo inicial pero considerando las limitaciones en espacio y dificultades operativas resulta menos eficiente en productividad y más caro en costo-beneficio.

En ambos sistemas la norma exige monitoreo de humedad y registradores automáticos de temperatura con una frecuencia mínima de registro de cada 15 minutos, que debe ser evidenciada en cualquier auditoría de calidad. Esto último no es cumplido en general en nuestro medio por las empresas de premezclado, contratistas y laboratorios que emplean pozas para curar testigos.



Poza de Curado estandarizada - USA



Poza de curado artesanal – Perú



Cámara de curado estandarizada – USA



Cámara de curado estandarizada - Perú

Finalmente, hay que aclarar que el curado estandarizado no pretende obtener el resultado más alto de los testigos, sino las resistencias que corresponden a las condiciones estándar, ya que por ejemplo curando los testigos a temperaturas

mayores o dejándolos secar adrede más de 3 horas antes de ensayarlos logramos un incremento artificial en resistencia fuera del estándar, y sólo demuestra el sesgo e intención dolosa de quien usa estas prácticas.

Nº 9) La velocidad de ensayo de las prensas es un factor muy importante en los resultados de resistencia.

Verdadero :

La Norma ASTM C 39/C39M-16b "Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens" establece que la velocidad de carga en el ensayo de compresión debe estar en el rango de 0.25 ± 0.05 Mpa y debe aplicarse en no menos

del 50% del ensayo.

Esto en términos sencillos establece las siguientes velocidades de carga dependiendo del diámetro del testigo que se detallan en la siguiente tabla:

VELOCIDADES DE CARGA ENSAYO DE COMPRESIÓN

Rango Velocidad = 0.25 ± 0.05 Mpa/seg			0.20 Mpa/seg	0.30 Mpa/seg
Testigo	Diámetro Nominal cm.	Area cm ² cm ²	Velocidad Mínima kN/seg	Velocidad Máxima kN/seg
2"x4"	5.0	19.64	0.39	0.59
3"x6"	7.5	44.18	0.88	1.33
4"x8"	10.0	78.54	1.57	2.36
6"x12"	15.0	176.72	3.53	5.30

La publicación ASTM STP 169D mencionada varias veces aclara que cuando se ensaya a velocidades mayores de las estandarizadas la resistencia aumenta pues se aproxima a un ensayo de impacto y cuando se efectúa a velocidades menores disminuye. Esto es muy importante pues si el que ensaya los testigos quiere sesgar el resultado a favor basta que aplique una velocidad mayor y se obtienen valores incrementados artificialmente fuera del estándar.

las velocidades estándar, dependiendo de la resistencia y diámetro, por lo que si se ensayan en menor tiempo es indicio de adulteración o incompetencia en la ejecución. Cuando se emplean prensas totalmente automatizadas con velocidad programada, esta posibilidad de error se elimina totalmente.

Como elemento de control cuando presencien alguna vez un ensayo, la duración mínima en el mejor de los casos debe ser del orden de 1 a 2 minutos si se respetan

Un laboratorio calificado y competente no sólo debe decir que hace las cosas bien, sino que debe estar en condiciones de demostrar en cualquier momento además de los certificados de calibración vigentes de las prensas, los medios con que garantiza la aplicación de la velocidad de carga estándar.

Nº 10) Se puede evaluar la validez de resultados de ensayos en concreto a edad temprana empleando curvas foráneas de desarrollo de resistencia vs tiempo.

Falso :

Uno de los argumentos más usados para desacreditar resultados bajos a 28 días es recurrir a curvas foráneas de resistencia vs tiempo, donde aplicando las tasas de desarrollo de resistencia de éstas se trata de justificar que los resultados "reales" son mayores que los reportados y en consecuencia los bajos son inválidos.

Un gráfico que circula mucho tendenciosamente es el que se adjunta a continuación que proviene de la publicación de la Asociación de Cemento Portland Americana – PCA "Design and Control of Concret Mixes" que pasaremos a explicar y comentar.

Por ejemplo, un muestreo de concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ elaborado en Lima con Cemento Sol Tipo I, por un laboratorio certificado arroja en promedio a 7 días 160 kg/cm^2 y a 28 días 193 kg/cm^2 y no cumple lo exigido. No obstante el productor del concreto reporta que sus resultados a 28 días dan 215 kg/cm^2 , argumentando que este es el resultado "real" pues la tasa de desarrollo

de resistencia de la curva mencionada indica que a 7 días se debe obtener el 75% del $f'c$ a 28 días y en consecuencia $160 \text{ kg/cm}^2 / 0.75 = 213 \text{ kg/cm}^2$ muy similar al que reportó, y el resultado del laboratorio certificado no es el correcto debido a que "se deben haber alterado las condiciones estándar de curado, ensayo, etc."

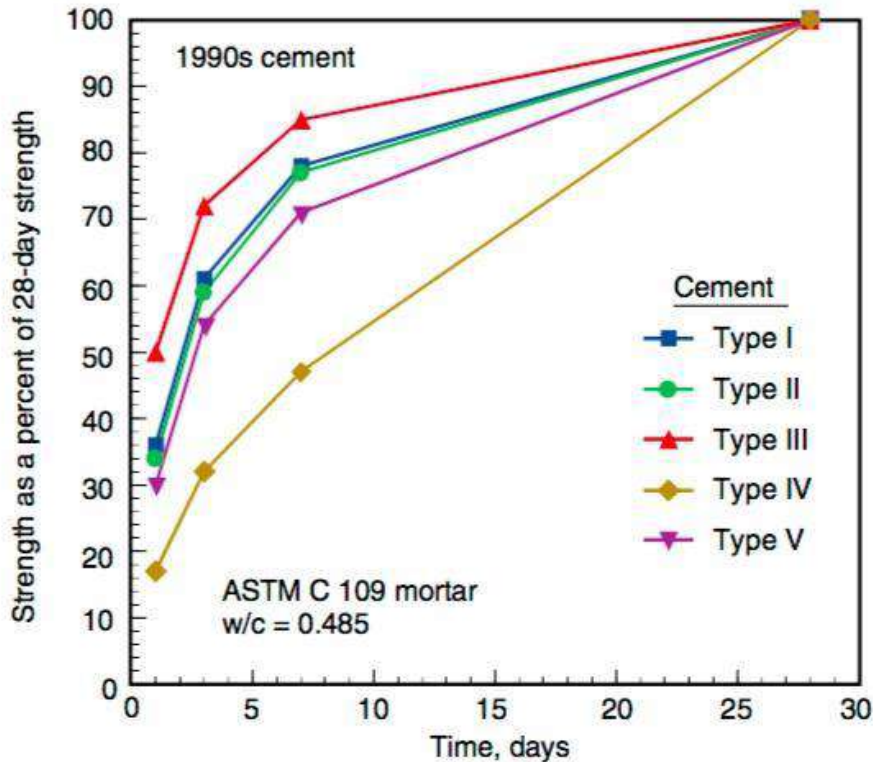


Fig. 2-42. Relative strength development of portland cement mortar cubes as a percentage of 28-day strength. Mean values adapted from Gebhardt 1995.

Si revisamos con cuidado el gráfico que sirve de base para la aseveración anterior vemos que reporta comportamiento de cubos de mortero y no de concreto, usa relación agua/cemento 0.485, y por otro lado analiza el comportamiento de cementos norteamericanos de los años 1990 es decir de hace 37 años!!! que no tienen nada que ver con los cementos peruanos actuales!!!

En conclusión, se alude a curvas de comportamiento de mortero con cementos norteamericanos de hace casi 40 años, que sólo tienen validez académica para mostrar que hay diferencias de comportamiento entre los diferentes tipos de cemento, pero es absurdo, sesgado y tendencioso emplearlas para predecir comportamiento de concreto a 28 días con cementos peruanos, tratándose de sorprender a quién no domina estos temas.

Una pregunta que debe hacerse el lector es el porqué contándose en el mercado del premezclado con empresas que tienen cientos o miles de resultados de

ensayos de testigos a edad temprana y a 28 días, no emplean la curva real y actualizada del desarrollo de resistencia del concreto con el cemento local y se fuerza una conclusión basándose en una curva foránea obsoleta?

Es obvio que lo que se pretende es sembrar una supuesta "duda técnica" para cuestionar los resultados desfavorables, pero que no soporta ningún análisis objetivo, constituyendo otra modalidad de la estrategia de "matar al mensajero".

Finalmente, como dato práctico que puede ser útil, los concretos en Lima producidos con Cemento Sol Tipo I desarrollan actualmente en promedio a 7 días en promedio alrededor del $83\% \pm 15\%$, de la resistencia a 28 días, sin embargo, este valor no es estático y puede tener una variabilidad hasta del orden de $\pm 20\%$ dependiendo del comportamiento estacional de los cementos locales y la variabilidad misma del concreto premezclado, por lo que es recomendable revisarlo al menos semestralmente.

Nº 11) Cuando empiezan a haber caídas sistemáticas y consecutivas de resistencia en una clase de concreto es indicio de problemas con el muestreo, curado o ensayo de los testigos.

Falso:

Cuando el control lo hace un Laboratorio certificado, la ley de probabilidades indica que los problemas proceden del proveedor de premezclado.

Cuando el control lo hace el contratista en obra o un laboratorio incumpliendo una o varias de las etapas estandarizadas, los problemas de caídas probablemente se deban a la dispersión introducida por estas desviaciones, sin descartar la duda en la calidad del concreto por lo que los códigos establecen las verificaciones a realizar en estos casos.

Explicaremos el porqué cuando los resultados provienen de un laboratorio estandarizado las caídas orientan a dudar de la calidad del concreto premezclado.

El control estandarizado de los testigos de concreto tiene 5 procesos estandarizados:

- 1) Muestreo,
- 2) Moldeo,
- 3) Transporte,
- 4) Curado
- 5) Ensayo que son relativamente sencillos de cumplir por un laboratorio certificado que se dedica exclusivamente a esto.

La producción de concreto premezclado tiene no menos de 25 procesos y dentro de ellos hay subprocesos:

- 1) Calificación y pruebas de agregado grueso en cantera.
- 2) Calificación y pruebas de agregado fino en cantera.
- 3) Calificación y pruebas en agua.
- 4) Calificación y pruebas en cemento.
- 5) Calificación y pruebas en aditivos.
- 6) Calificación y pruebas en adiciones minerales.
- 7) Validación de diseño de mezcla en laboratorio.
- 8) Validación de diseño de mezcla en planta.
- 9) Monitoreo y control de agregado grueso en planta.
- 10) Monitoreo y control de agregado fino en planta.
- 11) Monitoreo y control de cemento en planta.

- 12) Monitoreo y control de agua en planta.
- 13) Monitoreo y control de aditivos en planta.
- 14) Monitoreo y control de adiciones minerales en planta.
- 15) Proceso de pesaje en planta.
- 16) Proceso de carguío en planta.
- 17) Proceso de mezclado en mixer o en mezcladora central en planta.
- 18) Inspección y regulación del mixer antes de salir.
- 19) Transporte hasta la obra.
- 20) Descarga del concreto en obra.
- 21) Muestreo del concreto para control de calidad interno.
- 22) Moldeo de testigos para control de calidad interno.
- 23) Transporte de testigos a laboratorio.
- 24) Curado de testigos en laboratorio.
- 25) Ensayo de testigos en laboratorio.
- 26) Evaluación estadística continua de los resultados para cumplir con el sobrediseño normado por los Códigos.

La mayoría de estos procesos en premezclado no son estandarizados, es decir que las normas aplicables le dejan la libertad al proveedor de configurarlos según su criterio en la medida que se satisfagan los requerimientos del producto final.

Por ejemplo en el pesaje, carguío, regulación, transporte y descarga, cada proveedor establece sus propios procedimientos y frecuencia de controles en función de los equipos que emplea y el recurso humano con que cuenta, y ello explica el que cada proveedor y planta de premezclado tienen dispersión diferente en su producción.

En consecuencia, en cada uno de estos procesos hay posibilidad de error humano o descontrol si no se maneja técnicamente la producción y no se emplean los contenidos de cemento necesarios para cumplir con el sobrediseño exigido por los Códigos, luego aquí es donde se dan las mayores probabilidades de falla sistemática y no en el control de calidad de los testigos cuando esto se hace de manera estandarizada.

Nº 12) Los resultados de ensayos de los proveedores de premezclado son más confiables que los de los Laboratorios estandarizados de terceros.

Falso :

En teoría el proveedor de premezclado debe aplicar para su control interno los mismos procesos estandarizados que un Laboratorio certificado, sin embargo, al no ser éste el corazón de su negocio normalmente incumple o ejecuta a medias o defectuosamente el muestreo, moldeo transporte, curado y ensayo, por lo que es poco coherente el que pese a estas deficiencias siempre obtengan resultados "satisfactorios y confiables" en su control de calidad de parte.

No existe actualmente ninguna empresa de premezclado en el país con ISO 9001 que en su campo de certificación incluya específicamente estos procesos, luego, no han sido auditados integralmente y no hay evidencia certificada de su cumplimiento más allá de decir que los cumplen.

Si su proveedor de premezclado muestrea del principio de la descarga y no del tercio central, no protege los testigos con tapas o bolsas para evitar evaporación, no

los protege en invierno contra las bajas temperaturas, no los traslada a su laboratorio antes de 48 horas en vehículos acondicionados para esto y le restringe el acceso a auditar e inspeccionar tanto su sistema de curado y ensayo, como su producción, saque sus propias conclusiones en cuanto a la confiabilidad de los resultados de parte que le reporta.

No obstante, es importante resaltar que gran parte de los contratistas que emplean concreto premezclado realizan su control de calidad directamente en obra, con deficiencias en el muestreo y moldeo, cura los testigos en obra en pozas o cilindros sin cuidados en la temperatura ni en el curado inicial y final y envía los testigos a ensayarse en laboratorios de universidades uno o dos días antes de su fecha programada por lo que se ensayan secos, fuera de estándar y en consecuencia sus resultados son sumamente dudosos, teniendo los proveedores de premezclado todo el derecho de objetarlos cuando estos reportan aparentes caídas de resistencia.

Nº 13) Hay que desconfiar de todas las empresas de premezclado con caídas de resistencia pues sólo se preocupan de la parte comercial.

Falso :

No es ético ni correcto asumir a priori que las empresas de premezclado que tienen problemas en caídas de resistencia son incompetentes o sólo les interesa el aspecto comercial, pues ello sería descalificar a los profesionales que las integran y suponer que actúan deshonestamente.

En Lima ya hay 18 empresas de premezclado con su propia configuración en cuanto al mercado que atienden, equipos y tecnología que aplican y en principio todas tienen el mismo potencial de producir y suministrar concreto con calidad certificada.

Sin embargo, al tratarse de un proceso industrial muy

masivo y con tantas variables para controlar, no es sencillo producir concreto premezclado de calidad uniforme y constante, y por ello los códigos establecen los sobrediseños que está obligado a cumplir el proveedor, y los controles estandarizados a ser realizados por terceros para que las fallas cuando se detecten sean mínimas en cantidad y en su impacto negativo en las estructuras.

Luego, cualquier empresa de premezclado puede producir concreto, pero no necesariamente será de la calidad certificada que cumpla con el f'c especificado, si no aplica y cumple lo exigido por las normas aplicables y es consistente y constante en su forma de trabajar.

CONCLUSION

Para concluir con este artículo, parafraseando a Plutarco en el caso de la mujer del César, una empresa de premezclado competente y sería no sólo debe serlo,

sino que debe parecerlo a través de todas sus acciones y conductas, para la tranquilidad de sus clientes y la confiabilidad en la seguridad de las estructuras.



ENTENDIENDO EL CONCRETO

13

MITOS Y REALIDADES DEL RETARDO DE FRAGUA DEL CONCRETO PREMEZCLADO EN OBRA

En este artículo se aclaran una serie de conceptos y creencias, con frecuencia errados, que se manejan en las obras civiles cuando ocurre un retardo excesivo en el fraguado del concreto premezclado, ocasionando eventualmente problemas en los cronogramas de trabajo y perjuicios económicos para los constructores. Se establecen finalmente recomendaciones de cómo proceder en cada caso para garantizar la calidad de las estructuras de concreto y evitar problemas potenciales mayores.

1.0 CONSIDERACIONES PRELIMINARES

1.1 TIEMPOS DE FRAGUADO USUALES EN PREMEZCLADO VS TIEMPOS DE FRAGUADO EXCESIVOS

En el artículo No 2 de esta serie : "Concreto en Estado Fresco en la Obra : Las confusiones entre Tiempo de Vida Útil, Trabajabilidad, Tiempo de Fragua y Tiempo de Desencofrado" se explicó en detalle, que debido al ciclo de producción, transporte y descarga del concreto premezclado, todas las empresas de este rubro emplean aditivos plastificantes retardadores, de manera que el constructor disponga del tiempo suficiente para efectuar con eficiencia el proceso de colocación y compactación antes de que ocurra el fraguado inicial.

También se indicó, que para concreto premezclado cuando la temperatura ambiente está en el rango de 24°C a 28°C (verano) el fraguado inicial se produce en alrededor de 4 horas y el final a las 5 ½ horas. Cuando el rango de temperatura es del orden de 17°C a 18°C (invierno) el fraguado inicial se incrementa a 6 horas y el final a 8 horas.

Estos tiempos de fragua podemos establecerlos entonces como "usuales" en premezclado, son dependientes de la temperatura ambiente, y el constructor debe adaptarlos a la oportunidad del vaciado y desencofrado para que su proceso constructivo sea programable y continuo. Así pues, es corriente que en elementos verticales se realicen las labores de colocación de acero y encofrado desde las primeras horas de la mañana, se programe el vaciado entre la 1:00 p.m. y 3:00 p.m. y se inicie el desencofrado a partir de las 8:00 a.m. del día siguiente para reiniciar el proceso.

Una recomendación de tipo práctico del ACI indica que las estructuras no deben desencofrarse antes de haber transcurrido 8 horas desde el fraguado final.

Con la secuencia descrita previamente, y empleando concreto premezclado, al desencofrar a las 8:00 a.m. ya habrán transcurrido del orden de 10 horas desde el fraguado final en invierno y 12 horas en verano, con lo que se han satisfecho en exceso las 8 horas desde el fraguado final y el concreto ya tiene la rigidez y resistencia suficientes para poderse desencofrar sin problemas.

No obstante, cada vez que en invierno vaciamos más tarde de las 3:00 p.m., nos arriesgamos a que a las 8:00 a.m. aún no hayan transcurrido 8 horas desde el fraguado final, y haya que esperar de 1 hora a 3 horas o más para desencofrar, no porque el tiempo de fraguado sea excesivo y haya que reclamar al proveedor de premezclado, sino porque el constructor no entiende estos conceptos a cabalidad y no ha adaptado su proceso constructivo al comportamiento usual del concreto en invierno y verano.

Pero cuando por razones ajenas al constructor el concreto premezclado desarrolla tiempos de fraguado inicial y final muy superiores a los usuales, estos se consideran excesivos pues alteran la secuencia de los procesos constructivos antes descritos, y pueden afectar el programa de obra introduciendo costos adicionales y atrasos.

En conclusión, dado que conocer los tiempos de fraguado inicial y final es fundamental para que el constructor pueda programar sus procesos constructivos, es imprescindible que disponga de esta información por parte de su proveedor de premezclado, ya que es un elemento de juicio básico para hacer el programa de obra y evaluar los casos de tiempos de fraguado excesivo y sus consecuencias.

1.2 CAUSAS TÍPICAS DE TIEMPOS DE FRAGUADO EXCESIVOS Y RETARDOS EN OBRA

Sin menoscabo de otras causas menos frecuentes, según nuestra experiencia de más de 35 años en relación constante con la industria de premezclado, en

las facetas de productor, contratista, supervisor y consultor especializado, existen 3 causas típicas de tiempos de fraguado excesivos y retardo :

1.2.1 SOBREDOSIFICACIÓN DE ADITIVO

Esta es quizás la causa más frecuente y ocurre inadvertidamente por : 1) mal funcionamiento de los dosadores de aditivo que son equipos muy sensibles a descalibrarse y que algunos proveedores no verifican con la frecuencia debida, 2) por concentración de sólidos en el aditivo en el tanque de almacenaje debido

a sedimentación, tiempo excesivo de almacenaje y falta de agitación o mezclado para uniformizar la solución, lo que incrementa indirectamente la dosis y 3) errores humanos en dosaje al agregarse el aditivo manualmente, o digitarse mal la dosis en sistemas automatizados.

1.2.2 LOTES DE ADITIVOS DEFECTUOSOS O INCOMPATIBILIDAD ENTRE LOS ADITIVOS

El control de calidad de los lotes de aditivos por los productores de premezclado se limita normalmente a verificar densidad y porcentaje de sólidos, y dada la dinámica del empleo de los insumos en las plantas, rara vez se efectúan pruebas de desempeño de los lotes previamente a su uso, esperándose detectar los problemas en producción cuando el cliente reclame por retardos.

propiedades del concreto fresco en cuanto a tiempos de fraguado y pérdida de trabajabilidad en el tiempo, por lo que pequeñas variaciones en las dosis ocasionan cambios radicales en el comportamiento, con consecuencias que alteran el desempeño usual, afectando a la obra y al constructor.

Otro de los problemas actuales con los aditivos, es que los productores de premezclado en nuestro medio, por reducir sus costos, exigen a los proveedores de aditivos los productos más baratos, que consecuentemente son los menos robustos y eficientes en controlar las

En algunos diseños de mezcla no sólo se usan plastificantes retardadores, sino que para modificar otras propiedades se emplean simultáneamente superplastificantes, incorporadores de aire, modificadores de viscosidad, etc., y eventualmente la acción combinada de estos productos incrementa los tiempos de fraguado.

1.2.3 CONCRETO REPROCESADO

Quizás no todos los lectores conocen esto, pero todas las empresas de premezclado reprocesan concreto que ha sido devuelto a la planta, por tiempo excesivo en obra, slump fuera de tolerancia, saldos no usados, etc., cuando desechar el volumen involucrado representa un costo importante.

Un aspecto muy importante que establecen las normas aludidas es que esto debe ser aprobado previamente por el cliente en el acuerdo comercial, y debe indicarse en la Guía de Remisión que se trata de concreto reprocesado.

Esto lo permite la Norma ASTM C 94/C94M-17a "Standard Specification for Ready-Mixed Concrete", pero debe efectuarse bajo condiciones controladas en conformidad con la Norma ASTM C1798/C1798M-16e1 "Standard Specification for Returned Fresh Concrete for Use in a New Batch of Ready-Mixed Concrete", de tal manera que se garantice que el producto resultante satisfaga los requerimientos técnicos del cliente.

Lo usual localmente es que los proveedores de premezclado realicen esto de manera bastante empírica y sin informar al cliente, aplicando el criterio conservador de enviar el concreto reprocesado para atender un pedido pendiente de resistencia especificada inferior a la del concreto original retornado, y el cliente nunca se entera de si el concreto que ha recibido es producto del reproceso de un despacho devuelto de otra obra, pues esto no se registra en la guía de remisión.



El lector podría estar pensando que mientras le estén dando concreto con una resistencia superior a la que pidió, se está viendo favorecido con esta práctica, sin embargo debe recordar por un lado que poner en una estructura un concreto de resistencia muy superior a la especificada puede originar zonas con mayor rigidez que la que consideró el diseñador, ocasionando problemas potenciales de fallas frágiles y fisuración no controlada, y por otro lado son fuentes potenciales de retardos de fragua.

Efectivamente, cuando retorna un concreto a la planta y se va a reprocesar, se debe recalcular cuidadosamente el diseño en insumos y/o aditivos para ser añadidos al mixer y generar un nuevo despacho, pero usualmente no se tiene el dato preciso del volumen remanente en el camión, por lo que es común que se sobredosifiquen los aditivos y se originen retardos excesivos en los tiempos

de fraguado, debido a esta práctica artesanal. Normalmente el porcentaje de concreto retornado y reprocesado oscila entre el 1% al 5% de la producción total, y depende de factores atribuibles tanto al productor como al constructor, sin embargo el sentido común indica que cuanto mayor producción tenga un productor de premezclado, habrán mayores probabilidades de que tenga concreto retornado y reprocesado.

Si usted alguna vez ha percibido que uno o varios de los despachos de un concreto de cierta resistencia sorpresivamente reportan resultados sumamente altos a edad temprana y a 28 días, es muy probable que le hayan enviado concreto reprocesado sin su conocimiento, y nunca hay que descartar a priori que esto haya ocurrido también cuando tenga la mala suerte de que le toque un retardo de fragua en obra.

2.0

MITOS Y REALIDADES DEL RETARDO DEL CONCRETO PREMEZCLADO EN OBRA

Nº 1) : El retardo de fragua origina problemas de pérdida de resistencia del concreto

Falso : Los aditivos retardadores actúan bloqueando temporalmente la acción del Aluminato Tricálcico y el Silicato Tricálcico del cemento, y al cesar su efecto el proceso de hidratación se inicia de manera normal con la ventaja de que se produce mayor dispersión e hidratación de las partículas de cemento y en consecuencia aumenta la resistencia a 28 días (Ref.: The Chemistry of Cement and Concrete by F.M. Lea Fourth Edition 2,003).

Hemos participado en numerosos casos donde esto se ha demostrado obteniendo núcleos de las estructuras observadas, comprobándose en la práctica el comportamiento antes mencionado.

Nº 2) : Cuando se produce retardo excesivo, el proveedor de premezclado es el que puede indicar cuando endurecerá el concreto.

Falso : Parafraseando el dicho popular, el proveedor de premezclado "es el último en enterarse" cuando hay un problema de retardo de fragua en obra, pues es el constructor quien lo detecta al momento de querer desencofrar, y cuando le reclama el cliente recién se entera del problema.

No existe un solo caso registrado en que un proveedor de premezclado local haya alertado a su cliente de un retardo probable en los tiempos de fraguado usuales, pues como se podrá apreciar en el punto relativo a las causas típicas de retardo, en todas ellas el productor de concreto ha perdido el control o no lo ha efectuado



eficientemente, y en consecuencia no tiene los elementos de juicio técnicos para predecir cuánto durará el retardo, por lo que no crea cuando le dicen con "seguridad" que espere un cierto número de horas y va a poder desencofrar sin problemas.

Nº 3) : Basta proteger el concreto para que no pierda temperatura y no esté expuesto a acciones mecánicas, y al acabar el efecto temporal del retardo no se afectará la calidad.

Verdadero : Si se trata de una estructura que no afecta la ruta crítica del programa de obra y/o mantenerla encofrada no le origina perjuicios económicos, basta proteger el elemento cubriéndolo con plástico u otro material aislante y evitar que el personal lo toque o aplique acciones mecánicas que alteren su integridad, con lo que al acabar el retardo el endurecimiento se dará de manera normal.

Nº 4) : Los retardos de fragua normalmente no duran más de 24 horas.

Falso : Esto es impredecible, y en nuestra experiencia práctica, hemos tenido retardos en obra de hasta 72 horas, debido al empleo de dosis excesivas de superplastificante en concretos autocompactantes, o en concretos reprocesados con dosis elevadas de aditivos plastificante o superplastificantes para incrementar el slump.

Nº 5) : Siempre que no pueda desencofrar el constructor porque el concreto no ha endurecido lo suficiente, se trata de retardo de fragua y es responsabilidad del proveedor de premezclado.

Falso : Cuando el constructor termina de vaciar a partir de las 5:00 p.m. o más tarde en invierno, nunca

va a poder desencofrar a primera hora en la mañana pues con concreto de fraguado normal sin retardo excesivo, no habrán transcurrido 8 horas después del fraguado final antes de las 9:00 a.m. a 10:00 a.m. en el mejor de los casos, no teniendo ninguna responsabilidad en esto el proveedor de premezclado, sino el contratista que no ha tomado en cuenta el comportamiento normal del concreto en su proceso constructivo.

Nº 6) : El constructor tiene el derecho de que el proveedor de concreto premezclado le suministre estacionalmente los tiempos de fraguado inicial y final de los concretos que le esté suministrando para planificar adecuadamente su proceso constructivo.

Verdadero : La Norma ASTM C 94 en cualquiera de sus opciones de compra, le asigna el derecho al comprador de que bajo solicitud escrita, el proveedor de premezclado le suministre toda la información técnica de los insumos, fórmula de la mezcla, estadística de resultados de ensayo de compresión por cada diseño y cada planta, y cualquier dato técnico relativo al desempeño de cada diseño contratado, lo que incluye obviamente los tiempos de fraguado inicial y final bajo diferentes condiciones de humedad y temperatura estacionales.

Nº 7) : Siempre es necesario obtener núcleos con perforadora diamantina para "asegurarse" de que la resistencia del concreto no ha sido afectada por el retardo.

Falso : Si se cuenta con los testigos cilíndricos muestreados del concreto que manifiesta el retardo de fragua, basta proceder a aplicarles el curado estandarizado apenas se produzca el fraguado final, que considera un mínimo 95% de humedad relativa y



temperatura en el rango de 21°C a 25°C hasta la edad de ensayo, y al ensayarlos esta resistencia será totalmente representativa de la estructura, no habiendo razón técnica para exigir núcleos si se cuenta con estos especímenes, obviándose un proceso caro, lento y totalmente innecesario para estos casos.

Nº 8) : El único responsable de retardo excesivo en el concreto es el proveedor de premezclado.

Verdadero : En las opciones de compra previstas en la Norma ASTM C 94 en que el proveedor de premezclado se hace cargo del diseño de mezcla y los insumos, automáticamente es el único responsable de problemas de desempeño como el de retardo excesivo en los tiempos de fraguado, en los que el constructor o usuario no tiene ninguna injerencia.

Nº 9) : Es imposible determinar las causas de retardo excesivo en los tiempos de fraguado para un caso en particular.

Falso : Si el proveedor de premezclado tiene implementado un sistema de control de calidad para los insumos y el producto final, y aún más cuando cuenta con un Sistema de Aseguramiento de la Calidad para todos sus procesos, significa que dispone de las herramientas para que sobre la base de la trazabilidad, pueda reconstruir los procesos y detectar en qué etapa

ocurrió la disconformidad y su causa probable. Lo que sucede en la práctica es que algunas empresas de premezclado para cuidar su imagen y minimizar la trascendencia de la disconformidad, no son transparentes con el cliente y no reportan la causa real del problema. culpando al aditivo, a un hecho fortuito, o a alguna contaminación impredecible, para no perder la confianza del constructor.

Nº 10) : Los problemas de retardo de fragua sólo ocurren en las empresas productoras de premezclado con control de calidad deficiente.

Falso : La producción de concreto premezclado es un proceso complejo con muchas variables y muy sensible a generar desviaciones o disconformidades, incluso con sistemas de aseguramiento de la calidad, ya que muchas de sus etapas dependen de criterios, acciones y decisiones a cargo de personas, luego la posibilidad de error siempre está implícita.

En el caso de los retardos de fragua se aplica el conocido refrán de "al mejor cazador se le escapa la paloma", ya que si revisamos las causas de estos fenómenos, se concluye que eventualmente le puede ocurrir a las mejores empresas, siendo el reto lograr que su frecuencia sea mínima, para no afectar la calidad general de sus productos y procesos, así como su imagen.

3.0

RECOMENDACIONES EN RELACIÓN A RETARDOS DE FRAGUA DEL CONCRETO PREMEZCLADO EN OBRA

A ■ ■ Se debe capacitar al personal de obra responsable del desencofrado de las estructuras, para que dentro de sus protocolos verifique el endurecimiento del concreto antes de proceder a aflojar paneles, puntales y retirarlos, pues cuando ha habido retardo de fragua estas acciones pueden ocasionar deformaciones y/o fisuras que comprometan el desempeño estructural.

B ■ ■ Si han transcurrido 24 horas desde el vaciado, y el concreto aún no tiene fraguado final, siendo que la demora en desencofrar compromete la ruta crítica, es recomendable en elementos verticales (placas, columnas) proceder a desarmar el encofrado, desechar el concreto cuando aún es fácil hacer esto, y reclamar su reposición al proveedor de premezclado retomando el control del proceso, ya que el esperar que endurezca



siendo impredecible el tiempo de espera, probablemente va a traer mayores perjuicios en el cronograma y en los aspectos económicos.

C ■ ■ Si el elemento comprometido con el retardo es una vereda o una losa sobre terreno que no afecta la ruta crítica del proyecto, hay que protegerla con plástico, mantas de yute, bolsas de cemento, etc. para que no pierda humedad y temperatura, cuidando además que no circulen sobre ella peatones o vehículos mientras no se verifique la rigidez total. Una vez endurecido el elemento su calidad y desarrollo de resistencia no se verá afectada.

D ■ ■ Si el elemento comprometido con el retardo es una losa encofrada o una viga y usualmente se decide esperar que endurezca por las complicaciones en desechar el concreto y volverlo a vaciar, hay que protegerla con plástico, mantas de yute, bolsas de cemento, etc. para que no pierda humedad y temperatura, cuidando además que no circulen sobre ella, ni se depositen cargas mientras no se verifique la rigidez total. Una vez endurecido el elemento su calidad y desarrollo de resistencia no se verá afectada.

E ■ ■ Si se dispone de testigos estándar del concreto con retardo, es muy importante también protegerlos hasta que endurezcan y proceder con las condiciones de transporte, curado y ensayo estandarizadas para evidenciar que la resistencia no ha sido afectada.

F ■ ■ Si durante el desarrollo de su proyecto ocurre más de un caso de retardo de fragua, es señal de un problema de calidad sistemático que no puede controlar su proveedor de premezclado, por lo que es recomendable tener siempre la opción de reemplazarlo por otro que le ofrezca más confianza en el control del comportamiento del concreto y la continuidad de su obra.

G ■ ■ Siempre solicite por escrito a su proveedor de premezclado que en su expediente técnico incluya los tiempos de fraguado inicial y final de los concretos contratados, así como las tasas de pérdida de trabajabilidad en pulgadas de slump/hora, tanto para verano como para invierno, ya que con esta información podrá programar mejor sus procesos de vaciado y desencofrado y tendrá los argumentos para hacer el reclamo técnico objetivo al proveedor cuando detecte desconformidades.

H ■ ■ Es recomendable documentar los vaciados de concreto registrando los tiempos de salida del mixer de planta, tiempo de llegada a obra, tiempo de espera antes de vaciar, tiempo de descarga, ubicación del concreto en la estructura vaciada y las propiedades en estado fresco (slump, temperatura, porcentaje de aire, etc.) para disponer de toda la información en caso de retardo u otra desconformidad, donde sea necesario establecer la trazabilidad para identificar el origen del problema y tomar acciones oportunas.

I ■ ■ Esté alerta a variaciones en el comportamiento del concreto, y en particular a retardos de fragua cuando hay cambio de estación de verano a invierno, o viceversa, pues los proveedores de premezclado usan aditivos diferentes en cada caso, y en los periodos de tránsito en que el clima aún es variable no es inusual que ocurran imprevistos en pérdida de slump y/o retardos que afecten el proceso constructivo en obra.

J ■ ■ Siempre recuerde que en el control del concreto, la mejor estrategia es la prevención, y tener los conocimientos técnicos por lo menos iguales, o superiores a los de su proveedor, de otra manera estará en gran desventaja si ocurre que su interlocutor no maneja estos temas con la transparencia y seriedad profesional debida, y le cuenta sólo lo que usted quiere escuchar, o le inventa una excusa sin sustento.

