



XVII Congresso Internacional sobre Patologia e
Reabilitação das Construções

XVII Congreso Internacional sobre Patología y
Rehabilitación de las Construcciones

XVII International Conference on Pathology and
Constructions Rehabilitation

FORTALEZA (Brasil), 3 a 5 de junho de 2021

Ajuste de un método de curado acelerado para Hormigones elaborados con cementos Portland CPC40 y áridos de la zona de Concepcion del Uruguay

Adjustment of an accelerated curing method, for concrete made with Portland CPC40 cement and aggregates from the Concepcion area of Uruguay

María Inés SCHIERLOH¹, Héctor Ricardo, Retamal², Jorge Daniel SOTA³

¹ Universidad Tecnologica Nacional Facultad Regional Concepción del Uruguay, Entre Ríos, Argentina, schierlm@frcu.utn.edu.ar

² Universidad Tecnologica Nacional Facultad Regional Concepción del Uruguay, Entre Ríos, Argentina, retamalr@frcu.utn.edu.ar

³ Universidad Tecnologica Nacional Facultad Regional Concordia, Entre Ríos, Argentina, jdsota@gmail.com

Resumen: En este trabajo, se presentan los resultados obtenidos en la primer etapa del proyecto actualmente en desarrollo denominado “ Predicción de la resistencia del hormigon a los 28 dias usando un metodo acelerado para hormigones con cementos CPC 40, CPF 40 y áridos de la zona”, el cual se enfocó inicialmente, en la obtención de un método propio de la aceleración del curado de probetas de hormigón usando agua en ebullición, para luego ser aplicado en las etapas siguientes del desarrollo de dicho proyecto. Esta metodologia de curado, si bien ha sido contemplada en diferentes normativas como lo son la IRAM 1552 y ASTM C684:73, entre otras, en todas ellas los estudios realizados para obtener los procedimientos se llevaron a cabo con hormigones elaborados usando cementos que no se encuentran en el mercado actualmente en el país.

Vale decir se presenta aquí el procedimiento desarrollado que permitió determinar el menor tiempo al que se alcanzó una proyección de la resistencia a los 28 días aceptable, para este caso, se trabajó con hormigones tipo H15 elaborados con CPC40.

Se comprobó que al modificando levemente los tiempos de desmolde, enfriado y del período de hervido de las probetas, totalizando un tiempo completo entre hormigonado y ensayo de 24 horas, bajando sensiblemente el tiempo adoptado en la norma IRAM 1552 de 28 1/2 horas, fue el método que mejor ajustó.

Se realizaron 8 series de probetas y se verificó que la dispersión no superó el 15%, adoptándose este sistema como método propio o método para desarrollar el proyecto antes citado.

Palabras-claves: Resistencia a compresión simple, Curado del hormigón, Proyección de resistencia, Curado acelerado del hormigón.

Keywords: Resistance to simple compression, Concrete curing, Resistance projection, Accelerated concrete curing.

1. Introducción

La necesidad de proyectar, a partir de edades tempranas, la resistencia característica o especificada del hormigón a los 28 días, es un problema permanente de los Ingenieros y técnicos de la construcción, sobre

todo en obras de gran envergadura, donde predecir dicha resistencia es fundamental para seguir avanzando con los trabajos.

Los métodos para predecir la resistencia característica o especificada se dividen en dos grupos:

1-Metodo natural.

2-Metodos acelerados.

Este trabajo se centró en el estudio de los Métodos acelerados, ya que al igual que otros autores –Cano Olazábal et al.(1976)-, se concluyó, en el desarrollo del trabajo precedente denominado "Evolución de la resistencia del hormigón en el tiempo usando cementos CPC 40 y CPF 40 con áridos de la zona" –Schierloh et al. (2018)- , que los valores de resistencia obtenidos en ensayos realizados sobre probetas a edades menores de 7 días, curadas con procedimiento natural normalizado, son difícilmente relacionables con los obtenidos a 28 días, debido a la gran dispersión que se produce.

La norma que rige este tipo de ensayos en nuestro país, es la IRAM 1552, de septiembre de 1993 – IRAM1552(1993)-, que ha quedado desactualizada debido al cambio en la composición química de los cementos actuales.

Estos métodos acelerados, al suministrar calor al hormigón, producen a las pocas horas un aumento de la resistencia respecto del método natural y una menor dispersión a igual tiempo de ensayo.

Lo cual puede deberse a varios factores que se están estudiando, asociados fundamentalmente al aumento de la cinética de las reacciones por acción de la energía calórica adicionada, que resulta en reacciones más uniformes y seguramente mejor correlacionadas por menores intervalos entre las mismas.

A finales de los años 50, se comenzó a estudiar científicamente la predicción de la resistencia del hormigón a los 28 días, partiendo de ensayos a las pocas horas de hormigonado usando métodos acelerados. Estos métodos acelerados se realizaron desde edades que varían de 3 horas luego de producirse el hormigonado, hasta 72 horas después del mismo. Se efectuaron con el hormigón en los moldes o desmoldados y usando agua a diversas temperaturas (35 grados, 60 grados), incluyendo agua en ebullición y vapor de agua.

En la Argentina en los años 70, en los laboratorios LEMIT, realizaron estudios tomando como base los pronósticos de resistencia por métodos acelerados efectuados por distintos investigadores y laboratorios, y considerando la necesidad de contar con un método práctico capaz de obtener resultados con una variación razonable, optaron por el sistema de usar agua en ebullición, luego del desmoldado a las 23 horas. –Cano Olazábal et al.(1976)-. Dicho método, muy práctico y fácilmente reproducible en obra, permitió obtener valores de resistencia a la edad 28 horas y treinta minutos, los cuales pudieron ser relacionados gráfica y/o analíticamente con los valores de resistencia a compresión del hormigón a los 28 días.

La mayoría de los países, tienen normas específicas respecto de métodos acelerados. Los Estados Unidos la ASTM 684 (2003), Perú la NTP 339.213 (2007), entre otros.

Por otra parte, es sabido que en algunos procedimientos utilizados para acelerar el curado son necesarios equipos sofisticados, sin embargo, se pueden aplicar procedimientos para los cuales se utilizan elementos sencillos y replicables no solo en laboratorio, sino también a pie de obra.

Los estudios sobre métodos de curado acelerados para el hormigón que se han desarrollado hasta el momento en Argentina, fueron realizados para hormigones elaborados con cemento portland normal, muy diferentes a los que actualmente se fabrican en el país.

Partiendo de la revisión realizada, se desarrolló en la primera etapa del proyecto, un análisis que consistió en encontrar y ajustar un método propio para el curado acelerado, fácil de reproducir no solo en laboratorios, sino también en campo a pie de obra, que permitió determinar el menor tiempo al que se alcanza una proyección de resistencia a los 28 días aceptable (con dispersiones menores o iguales al 15%, siguiendo las disposiciones del reglamento CIRSOC201 (2005).

2. Metodología

Ante el desconocimiento del mecanismo de curado, ensayo y resultado probables del método de agua en ebullición por la falta de experiencia previa, lo primero que se realizó fue aplicar la norma IRAM 1552 y los coeficientes encontrados por el LEMIT en sus investigaciones.

La norma IRAM 1552, establece tres tipos de métodos acelerados, (tabla 1). El que se adoptó para emplear fue el Método B del agua hirviendo, el cual tiene un tiempo de colocación de las probetas en agua hirviendo pasadas las 23 hs +/- 15 minutos. El tiempo del curado acelerado es de 3,5 hs +/- 5 minutos y un enfriado mínimo de 1 hora, totalizando un tiempo de 28 1/2 hs +/- 15 minutos para realizar el ensayo.

El método empleado por el LEMIT, es similar en cuanto a tiempos, al presentado en la IRAM 1552, que a su vez se ajusta al de la norma ASTM C648(1973), pero con algunas variantes mínimas introducidas por los investigadores. El tiempo de curado acelerado se mantiene en 3,5 horas +/- 15 minutos y el tiempo total para la realización del ensayo es de 28 ½ hs +/- 15 minutos.

Para ello, se utilizó un equipamiento sencillo (olla y hornalla portátil a gas), y que permitió sumergir las probetas de hormigón en agua en ebullición durante el tiempo que determina el método. Así como también equipamiento de laboratorio (prensa hidráulica, moldes metálicos para probetas, balanzas electrónicas, etc), que posibilitaron la ejecución de los ensayos correspondientes.

El proceso se inició con la elaboración de un pastón de hormigón y se lo colocó en moldes normalizados según norma IRAM 1524(2004). Luego de transcurridas las horas prefijadas se desmolda y se lo coloca en agua en ebullición por el tiempo necesario para ajustar la dispersión de los resultados. Se produce el enfriado de las probetas hasta un tiempo y temperatura a determinar y se las ensaya a compresión simple.

El valor obtenido se relaciona con el valor alcanzado con las probetas ensayadas a 28 días curadas de manera normal en cámara húmeda.

Para el trabajo que aquí se presenta, el objetivo central fue ajustar la metodología (tiempo de desmolde, tiempo de hervido y tiempo de enfriamiento necesario de las probetas), a fin de obtener un “método propio”, de tal manera de alcanzar una predicción de la resistencia a los 28 días aceptable, en el menor tiempo posible.

Para ello se procedió de la siguiente manera:

Inicialmente se caracterizaron los materiales a usar, los resultados se muestran en el **Cuadro 1**, luego se efectuó el cálculo racional del hormigón, que sirvió como testigo para determinar el tiempo de desmolde límite, las horas necesarias de cocción de las probetas y el tiempo mínimo de enfriado de las probetas.

Cuadro 1- Características de los áridos utilizados.

| Áridos | IRAM | Densidad relativa gr/cm ³ | Absorción de agua % | IRAM 1505 | | MF de la Mezcla |
|-------------------------------|------|--------------------------------------|---------------------|------------------|------------------|-----------------|
| | | | | Tamaño Máximo mm | Módulo de Finura | |
| Arena fina del río Uruguay | 1520 | 2,5 | 0,7 | | 1,53 | 5,25 |
| Canto Rodado de arroyo Molino | 1433 | 2,56 | 1,5 | 19 | | |

Se dosificó un hormigón de tensión característica especificada real H15, relación agua material cementicio 0,5, asentamiento 8 cm, utilizando cemento CPC 40 y áridos de la zona. **Cuadro 2.**

Cuadro 2 – Diseño racional de mezcla de hormigón H15 por m³

| Dosificación H15 | | |
|------------------|---------|------------------------|
| Material | Volúmen | Peso Kg/m ³ |
| Cemento | 0,097 | 300 |
| Agua | 0,150 | 150 |
| Canto Rodado | 0,415 | 1050 |
| Arena | 0,338 | 896 |
| Total | 1 | 2395,7 |
| Relación A/C | 0,5 | |

Como no se tenía experiencia previa, se optó por iniciar aplicando la metodología indicada en la norma IRAM 1552. Para lo cual se desmoldaron las probetas a las 23 horas, se las colocó en agua hirviendo durante 3,5

horas, se las dejó enfriar a temperatura ambiente durante dos (2) horas y a continuación se las ensayo a compresión simple, completando un total de **28,5hs**.

Se realizaron 8 series de cuatro probetas cada una. De cada serie ensayada, dos probetas se utilizaron para ser colocarlas en agua en ebullición y posteriormente ensayadas. Las otras dos se dejaron en cámara húmeda con curado normal y ensayadas a los 28 días.

Realizados los ensayos de las ocho series, se determinó la tensión característica o especificada a las 28,5 horas y a los 28 días, estableciéndose la relación $\sigma_t/\sigma_{28 \text{ días}}$ (tensión característica o especificada a la hora de cocción respecto de la tensión característica o especificada a los 28 días), los resultados se muestran en el Cuadro 3 y con las ocho series se determinaron los valores finales que se muestran en el Cuadro 4.

Cuadro 3 – Resultados de los ensayos acelerados de resistencia del Hormigón H15 con CPC40, desmoldado a las 23hs, curado acelerado 3,5hs, enfriamiento y rotura a las 28,5hs.

| Serie | Probetas N° | Días de rotura | Asentamiento (Cm) | Carga rotura (1) (tn) | Carga rotura (2) (tn) | Rotura compresion (1) mpa | Rotura compresion (2) mpa | Diferencia (1) (%) | Diferencia (2) (%) | Carga rotura (tn) | Rotura compresión MPa | Coefficiente "R" $r = \sigma_{1\text{día}}/\sigma_{28\text{días}}$ |
|-------|-------------|----------------|-------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-----------------------|--|
| I | 1 | 1 | 8 | 12,13 | 12,36 | 6,74 | 6,86 | -0,94 | 0,94 | 12,25 | 6,80 | 0,385973207 |
| | 2 | 28 | | 31,81 | 31,64 | 17,66 | 17,57 | 0,27 | -0,27 | 31,73 | 17,62 | |
| II | 1 | 1 | 7,5 | 12,4 | 13,41 | 6,89 | 7,45 | -3,91 | 3,91 | 12,91 | 7,17 | 0,390055917 |
| | 2 | 28 | | 32,51 | 33,66 | 18,05 | 18,69 | -1,74 | 1,74 | 33,09 | 18,37 | |
| III | 1 | 1 | 8 | 11,15 | 11,73 | 6,19 | 6,51 | -2,53 | 2,53 | 11,44 | 6,35 | 0,401544402 |
| | 2 | 28 | | 27,66 | 29,32 | 15,36 | 16,28 | -2,91 | 2,91 | 28,49 | 15,82 | |
| IV | 1 | 1 | 7,5 | 10,9 | 11,58 | 6,05 | 6,43 | -3,02 | 3,02 | 11,24 | 6,24 | 0,381210785 |
| | 2 | 28 | | 28,16 | 30,81 | 15,64 | 17,11 | -4,49 | 4,49 | 29,49 | 16,37 | |
| V | 1 | 1 | 8 | 11,24 | 10,95 | 6,24 | 6,08 | 1,31 | -1,31 | 11,10 | 6,16 | 0,387665968 |
| | 2 | 28 | | 26,33 | 30,91 | 14,62 | 17,16 | -8,00 | 8,00 | 28,62 | 15,89 | |
| VI | 1 | 1 | 8 | 11,09 | 11,28 | 6,16 | 6,26 | -0,85 | 0,85 | 11,19 | 6,21 | 0,362560778 |
| | 2 | 28 | | 31,29 | 30,41 | 17,37 | 16,89 | 1,43 | -1,43 | 30,85 | 17,13 | |
| VII | 1 | 1 | 8 | 10,67 | 11,36 | 5,92 | 6,31 | -3,13 | 3,13 | 11,02 | 6,12 | 0,407434807 |
| | 2 | 28 | | 26,77 | 27,3 | 14,86 | 15,16 | -0,98 | 0,98 | 27,04 | 15,01 | |
| VIII | 1 | 1 | 7,5 | 10,69 | 10,55 | 5,94 | 5,86 | 0,66 | -0,66 | 10,62 | 5,90 | 0,379150303 |
| | 2 | 28 | | 28,41 | 27,61 | 15,77 | 15,33 | 1,43 | -1,43 | 28,01 | 15,55 | |

Cuadro 4- Valores finales obtenidos al aplicar la metodología de la IRAM 1552

| DIAS DE ROTURA | TENSION MEDIA Mpa | DESVIACION ESTÁNDAR | FACTOR K (para n-1) | TENSION CARACTERISTICA Mpa | PORCENTAJE DE RESISTENCIA CARACTERISTICA RESPECTO DE RESISTENCIA A 28 DIAS | COEFICIENTE "R" $r = \sigma_{1\text{día}}/\sigma_{28\text{días}}$ |
|----------------|-------------------|---------------------|---------------------|----------------------------|--|---|
| 1 | 6,37 | 0,41 | 1,42 | 5,78 | 38,93 | 0,3893 |
| 28 | 16,47 | 1,14 | 1,42 | 14,85 | 100,01 | |

A continuación, se realizó un análisis estadístico, partiendo del coeficiente $R = 0,3893$, resultante para las ocho series ensayadas. Se analizaron las series individualmente, comparando los resultados de los ensayos y los resultados aplicando el coeficiente "R" hallado, se observaron las desviaciones individuales que se producen, las que se presentan en el cuadro 5.

Los valore negativos, indican que los valores de ensayo, son mayores a los valores teóricos y viceversa.

Del análisis de los porcentajes de desviación, se observó que individualmente las desviaciones resultaron todas debajo del 15%, siendo la máxima desviación un 7,39%.

Seguidamente el análisis se realizo considerando ensayos individuales y comparando con los índices de las ocho series.

Este estudio, sirvió solo a los fines teóricos, pero no se ajusta a los requerimientos de las normativa vigente, ya que consideran requisito mínimo de tres valores individuales para determinar las tensiones características. Para completar el análisis, se plantearon las desviaciones que podrían haber ocurrido y se calcularon las combinaciones de las 8 series tomadas de a 3. Esto indicó que una de estas 56 combinaciones posibles es la que determinó el mayor desvío posible.

Cuadro 5 – Desviación Individual para las ocho series.

| SERIE | ROTURA COMPRESION | $\sigma_{28\text{días}}$ según GIRE | DIFERENCIA $\sigma_{28\text{ GIRE}} - \sigma_{28}$ | DIFERENCIA EN PORCENTAJE |
|-------|-------------------|-------------------------------------|--|--------------------------|
| I | 6,8 | 17,47 | -0,15 | -0,87 |
| | 17,62 | | | |
| II | 7,17 | 18,42 | 0,05 | 0,26 |
| | 18,37 | | | |
| III | 6,35 | 16,31 | 0,49 | 3,01 |
| | 15,82 | | | |
| IV | 6,24 | 16,03 | -0,34 | -2,13 |
| | 16,37 | | | |
| V | 6,16 | 15,82 | -0,07 | -0,42 |
| | 15,89 | | | |
| VI | 6,21 | 15,95 | -1,18 | -7,39 |
| | 17,13 | | | |
| VII | 6,12 | 15,72 | 0,71 | 4,52 |
| | 15,01 | | | |
| VIII | 5,9 | 15,16 | -0,39 | -2,60 |
| | 15,55 | | | |

La posibilidad de que ello ocurra, resultó ser del 1,78%, vale decir se tiene entonces el 1,78% de probabilidades de que ocurra dicho evento, se previó entonces que el evento ocurriría. Se realizaron las combinaciones y se tabularon. Las mayores desviaciones obtenidas de las 56 combinaciones, se muestran en el cuadro 6.

Cuadro 6 - Desviaciones máximas para tres series al azar.

| MAXIMOS Y MINIMOS | |
|-------------------|--------|
| SERIES 1,2,6 | -10,71 |
| SERIES 3,4,7 | 10,35 |

Se observó que las desviaciones encontradas, en el escenario más desfavorable posible de tres series al azar no superó el 15%, valor máximo previsto por el reglamento CIRSOC 201:05. Por otra parte, se comprobó que, al aumentar el número de series para realizar las combinaciones posibles, las desviaciones disminuían. Comprobándose, de esta manera la hipótesis planteada, respecto a que la situación más desfavorable se daría al tomar las series de a tres. A fin de comprobar el efecto de reducir las horas de cocción de las probetas, se llevó a cabo el mismo análisis con otras ocho series, pero colocándolas en agua hirviendo solo por tres (3) horas. Completando un tiempo final de ensayo de **28 horas**. Los valores finales se observan en los cuadros 7, 8 y 9.

Cuadro 7 – Valores finales para tres horas de hervido.

| DIAS DE ROTURA | TENSION MEDIA Mpa | DESVIACION ESTÁNDAR | FACTOR K (para n-1) | TENSION CARACTERISTICA Mpa | PORCENTAJE DE RESISTENCIA CARACTERISTICA RESPECTO DE RESISTENCIA A 28 DIAS | COEFICIENTE "R" $r = \sigma_{1\text{día}} / \sigma_{28\text{días}}$ |
|----------------|-------------------|---------------------|---------------------|----------------------------|--|---|
| 1 | 6,75 | 0,31 | 1,42 | 6,31 | 38,14 | 0,3881 |
| 28 | 17,03 | 0,54 | 1,42 | 16,26 | 98,26 | |

Cuadro 8 - Desviaciones individuales para las series con tres horas de hervido.

| SERIE | ROTURA COMPRESION | $\sigma_{28\text{días}}$ según GIRE | DIFERENCIA $\sigma_{28\text{ GIRE}} - \sigma_{28}$ | DIFERENCIA EN PORCENTAJE |
|-------|-------------------|-------------------------------------|--|--------------------------|
| I | 6,74 | 17,56 | 0,61 | 3,46 |
| | 16,95 | | | |
| II | 7,03 | 18,31 | 0,89 | 4,87 |
| | 17,42 | | | |
| III | 6,72 | 17,50 | 0,11 | 0,65 |
| | 17,39 | | | |
| IV | 6,61 | 17,22 | 1,30 | 7,54 |
| | 15,92 | | | |
| V | 6,21 | 16,18 | -0,82 | -5,09 |
| | 17 | | | |
| VI | 7,19 | 18,73 | 1,96 | 10,46 |
| | 16,77 | | | |
| VII | 6,55 | 17,06 | 0,00 | 0,01 |
| | 17,06 | | | |
| VIII | 6,95 | 18,10 | 0,39 | 2,17 |
| | 17,71 | | | |

Cuadro 9 - Desviaciones máximas y mínimas para tres series al azar, en el caso de tres horas de hervido.

| MAXIMOS Y MINIMOS | |
|-------------------|-------|
| SERIES 5,6,7 | -13,5 |
| SERIES 1,3,4 | 10,27 |

En esta oportunidad se comprobó que no era muy marcada la diferencia de dispersiones respecto de la cocción durante 3 1/2 horas y las dispersiones obtenidas estuvieron dentro del margen del 15%.

Observando que, al disminuir media hora la cocción, se producía una mayor dispersión y el tiempo disminuido fue de solo media hora, se optó, entonces, por reducir lo más posible el horario de desmolde y enfriado y no disminuir más el horario de cocción.

El desmolde se lo llevo a 20 horas. La colocación de las probetas en agua en ebullición se realizó a las 20,5 horas durante un período de 3 horas y el enfriamiento se lo llevó al mínimo posible de media hora, totalizando un tiempo completo entre elaboración del hormigón y el ensayo a compresión simple de 24 horas, bajando sensiblemente el tiempo adoptado en la norma IRAM 1552 de 28 1/2 horas.

Se realizaron nuevamente otras ocho series de probetas, se siguieron los mismos procedimientos y los resultados se resumen en los cuadros 10, 11 y 12 que se muestran a continuación.

Se verificó que la dispersión resultó menor del 15% considerándose el límite que mejor ajustó, adoptándose este sistema como **método propio**.

Cuadro 10 - Valores finales obtenidos para el método propio.

| DIAS DE ROTURA | TENSION MEDIA Mpa | DESVIACION ESTÁNDAR | FACTOR K (para n-1) | TENSION CARACTERISTICA Mpa | PORCENTAJE DE RESISTENCIA CARACTERISTICA RESPECTO DE RESISTENCIA A 28 DIAS | COEFICIENTE "R" $r = \frac{\sigma_{1\text{día}}}{\sigma_{28\text{días}}}$ |
|----------------|-------------------|---------------------|---------------------|----------------------------|--|---|
| 1 | 6,24 | 0,26 | 1,42 | 5,87 | 39,52 | 0,3905 |
| 28 | 16,04 | 0,72 | 1,42 | 15,03 | 101,20 | |

Cuadro 11 - Desviaciones individuales con tres horas de hervido, en el método propio.

| SERIE | ROTURA COMPRESION | $\sigma_{28\text{días}}$ según GIRE | DIFERENCIA $\sigma_{28\text{ GIRE}}-\sigma_{28}$ | DIFERENCIA EN PORCENTAJE |
|-------|-------------------|-------------------------------------|--|--------------------------|
| I | 6,44 | 16,72 | 1,67 | 9,98 |
| | 15,05 | | | |
| II | 6,69 | 17,37 | 1,96 | 11,27 |
| | 15,41 | | | |
| III | 6,45 | 16,74 | -0,02 | -0,09 |
| | 16,76 | | | |
| IV | 6,22 | 16,15 | 0,89 | 5,50 |
| | 15,26 | | | |
| V | 5,86 | 15,21 | -1,35 | -8,86 |
| | 16,56 | | | |
| VI | 6,05 | 15,71 | -0,69 | -4,42 |
| | 16,4 | | | |
| VII | 6,03 | 15,65 | -0,39 | -2,46 |
| | 16,04 | | | |
| VIII | 5,93 | 15,39 | -1,48 | -9,58 |
| | 16,87 | | | |

Cuadro 12 - Desviaciones máximas para tres series al azar para un cocido de tres horas, en el método propio.

| MAXIMOS Y MINIMOS | |
|-------------------|--------|
| SERIES 3,5,8 | -13,00 |
| SERIES 1,2,3 | 12,43 |

Posteriormente se repitieron los ensayos bajando el horario de cocción, llevándolo a dos horas, con lo cual el tiempo de ensayo acelerado se llevó a **23 horas**.

Se realizaron otras ocho series de probetas, repitiendo los análisis y se comprobó que la dispersión sobrepasaba el límite del 15%. Lo cual demostró que el método ensayado para un total de 24hs, era el límite al que se podía llegar.

Para completar el estudio, se elaboraron ocho series más con desmoldado a las 23 horas y ensayo a las 24 horas, pero sin colocar las probetas en agua en ebullición y se corroboró, una vez más, la gran dispersión que se obtiene entre los resultados, por lo cual resultaría inaplicable.

Con estos últimos ensayos se confirmaron los resultados y conclusiones a las que se llegó con los estudios realizados en el proyecto anterior –Schierloh et al. (2018)- respecto del método natural.

Se confirmó una vez más que a medida que se baja la edad de ensayo de las probetas curadas con el método normal y se lo relaciona con los ensayos a los 28 días, las dispersiones van en aumento. Con estos nuevos estudios, se corroboró que, para edades menores a tres días, la dispersión resultante aumenta.

El total de probetas ensayadas para esta primera etapa, fue de 160, repartidas en ocho series de cuatro probetas cada una

5. Conclusiones

Observando los resultados de los cinco procedimientos ensayados, los que se resumen en el cuadro 13, se pudieron obtener las conclusiones que se describen a continuación.

-El método de la norma IRAM 1552 – LEMIT, fue el que dio las menores desviaciones, pero el tiempo de ensayo fue cuatro horas y media mayor al **método propio** encontrado.

Cuadro 13 - Resumen numérico de los cinco métodos ensayados

| ORDEN | METODO | TENSION CARACTERISTICA ACELERADA [MPa] | TENSION CARACTERISTICA 28 DIAS [MPa] | COEFICIENTE "R" r = $\sigma_{1\text{dia}}/\sigma_{28\text{dias}}$ | DESCIACIONES GRUPALES MAXIMAS [%] |
|-------|--------------------------------------|--|--------------------------------------|---|-----------------------------------|
| 1 | IRAM 1552:03 - LEMIT | 5,78 | 14,85 | 0,3893 | -10,71/+10,35 |
| 2 | IRAM 1552 –LEMIT CON COCCIÓN DE 3HS. | 6,31 | 16,16 | 0,3881 | -13,15/+10,27 |
| 3 | MÉTDO PROPIO | 5,87 | 15,03 | 0,3903 | -13,00/+12,43 |
| 4 | METODO PROPIO CON 2 HS DE COCCIÓN | 4,06 | 13,46 | 0,302 | -21,09/+17,73 |
| 5 | SIN COCCIÓN. ROTURA 24HS | 3,41 | 15,18 | 0,2246 | -39,43/+21,08 |

-El método modificado IRAM 1552 – LEMIT con tres horas de cocción, dio desviaciones mayores al método original y no baja mucho el tiempo de ensayo, apenas media hora.

-El **método propio**, dio desviaciones mayores al método IRAM 1552 –LEMIT, pero dentro del límite aceptable y a su vez disminuyó mucho el tiempo de ensayo, cuatro horas y media.

-El **método propio** con cocción de solo dos horas, dio desviaciones mayores a lo permitido disminuyendo muy poco el tiempo de ensayo, apenas una hora.

-El método sin cocción, dio desviaciones muy elevadas, lo que confirma los resultados obtenidos en el trabajo anteriormente desarrollado Schierloh et al.(2018), respecto a la imposibilidad de ensayar probetas, sin acelerar el proceso de curado, en edades menores a siete días para proyectar la resistencia a los 28 días.

En base a este análisis, se concluyó que el **método propio** sería el adecuado. Si bien es un método con más dispersión que el desarrollado en la norma IRAM 1552, los resultados dieron dispersiones que se encuadran dentro de valores límites razonables, logrando una disminución de cuatro horas y media de tiempo en la aplicación completa del método.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer en primer lugar a las autoridades de la Facultad Regional Concepción del Uruguay de la Universidad Tecnológica Nacional, por su apoyo sin el cual no se hubiese podido desarrollar esta investigación. Al grupo de trabajo, especialmente a los estudiantes Lautaro Alza y Fernando Tauber por su compromiso y alto desempeño.

Referencias Bibliográficas

ASTM C684 (2003). Standard Test Method for Making, Accelerated Curing, and Testing Concrete Compression Test Specimens. EEUU.

Cano Olazábal, W., Traversa, L.P, Giussi, J.H. (1976). Predicción de la resistencia del cemento Portland por el método del curado acelerado, Anales del LEMIT, La Plata, Argentina.

CIRSOC 201 (2005). Reglamento argentino de estructuras de hormigón. Centro de investigación de los reglamentos nacionales de seguridad para las obras civiles, Argentina.

IRAM1552(1993). Hormigón de cemento Portland, ensayo acelerado de la resistencia a la compresión. Argentina.

IRAM 1524:04 Hormigón de cemento. Preparación y curado en obra de probetas para ensayos de compresión y de tracción por compresión diametral. Argentina.

NTP 339.213 (2007) Método de ensayo normalizado para la elaboración, curado acelerado y ensayo en compresión de especímenes de concreto. Perú.

Schierloh, M.I., Retamal, H.R., Deusich L.D., Souchetti, R. (2018). *Evaluación de la relación existente entre la resistencia a la compresión del hormigón a distintas edades y la especificada a los 28 días utilizando cemento compuesto CPC 40 y filerizado CPF 40 con áridos de la zona*. Proyecto desarrollado en la Facultad Regional Concepción del Uruguay de la Universidad Tecnológica Nacional.