

ESTUDIO DE PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO SOMETIDO A LOS EFECTOS DE ALTAS TEMPERATURAS

Ronald Torres¹; Valentina Martínez²; Raíza García²; Luis Rojas²; Enrique Rodríguez¹

¹ Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ingeniería. Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME),. ronald.imme@gmail.com

² Universidad Central de Venezuela. Postgrado Ingeniería Estructural y Sismorresistente

RESUMEN

Los cambios de resistencia mecánica del Hormigón en edificaciones sometidas a altas temperaturas representan una inquietud relevante para los ingenieros; esto debido a que es una prioridad reparar y adecuar las estructuras después de ocurrir un incendio, la implementación de ensayos no destructivos en la evaluación permite agilizar la zonificación de daño y la evaluación de la resistencia mecánica permite establecer los niveles de intervención. En este trabajo de investigación se evalúa la velocidad de pulso ultrasónico y los porcentajes de reducción de resistencia que experimenta el material en un rango de temperaturas desde 100°C hasta 700°C, lo que permite dar respuestas sobre la calidad remanente del hormigón afectado.

Palabras Clave: Concreto, propiedades mecánicas, daños, ultrasonido, deterioro del concreto.

ABSTRACT

Changes in the mechanical strength of concrete in buildings subjected to high temperatures represent a relevant concern for engineers; this is because it is a priority to repair and adapt the structures after a fire has occurred, the implementation of non-destructive tests in the evaluation allows to speed up the zoning of damage and the evaluation of the mechanical resistance allows to establish the levels of intervention. In this research work is evaluated the ultrasonic pulse rate and the percentages of reduction of resistance that the material undergoes in a temperature range from 100°C to 700°C, which allows to give answers about the remaining quality of the affected concrete.

Keywords: Concrete, mechanical properties, damages, ultrasound, deterioration of concrete.

INTRODUCCIÓN

El concreto es un material sensible al agrietamiento y éste daño puede ocurrir por diversas causas físicas o mecánicas, las estructuras elaboradas con este material se pueden ver afectadas por sobrecargas, asentamientos diferenciales, sismos, incendios y otras causas que originen el deterioro, en el caso particular de los incendios, esto se debe a los tiempos de exposición, prolongados o reducidos, a elevadas temperaturas en los cuales la pasta sufre acciones tanto físicas como físico químicas.

En países como el nuestro donde la mayoría de las edificaciones existentes están realizadas en concreto armado es importante conocer cuáles son los daños producidos por la acción de incendios. Estos daños pueden traer distintas consecuencias, en función a la extensión del mismo, que se pueden traducir en pequeñas fisuras o en el peor de los casos en la destrucción o colapso total de la estructura por la pérdida de resistencia de los elementos estructurales.

Las soluciones prácticas a problemas de cambio en las propiedades mecánicas del concreto sometido a altas temperaturas estaban basadas en índices y correlaciones generados con concretos elaborados en otros países y con agregados propios de esas regiones. La relevancia de este trabajo radica en el hecho de generar una base de conocimientos que estará fundamentada en índices y correlaciones propios para concretos elaborados con agregados de roca venezolana y que permitirá dar respuestas sobre la calidad y pérdida de resistencia a compresión del mismo cuando se ve afectado por cambios de temperatura.

Para la validación e incorporación a las referencias actuales se realizaron ensayos a compresión y de registro de la velocidad de pulso ultrasónico (antes y después de las altas temperaturas) en los cuales se supuso que las probetas de concreto originalmente se encontraban completamente íntegras, es decir, que no habían sido afectadas por cambios de temperatura y ya habían alcanzado su resistencia, para ello se ejecutaron vaciados de probetas cilíndricas de dimensiones 15x30 cm con resistencias nominales de 180, 210, 250 y 300 kg/cm², que fueron sometidas a temperaturas de 100, 200, 300, 400, 500, 600 y 700 °C, después de ser sometidas a procesos de secado con la finalidad de simular las condiciones del concreto cuando ya se encuentra colocado.

De los resultados obtenidos se generó una base de conocimiento fundada en los valores de resistencia y temperatura derivados de la experiencia en el laboratorio mencionada anteriormente. Además, se cotejaron los nuevos valores obtenidos con los empleados hasta el momento, todo esto con el objeto de que se pueda tomar decisiones óptimas en lo que se refiere a la adecuación, reparación o destrucción total de las edificaciones y estructuras.

METODOLOGÍA

Para la elaboración de las mezclas de concreto fue importante conocer la procedencia y características de los materiales a utilizar, puesto que los resultados que se iban a generar dependían, en gran medida de sus propiedades. En esta investigación se utilizaron materiales provenientes de diferentes plantas debido a la disposición de los agregados y facilidad de traslado de los mismos. El agregado grueso procede de la cantera “Las Marías”, su composición es de origen Silicio con tamaño máximo 1”. Los agregados finos proviene del Río Tuy y su composición mineralógica es de origen silíceo.

El diseño de mezcla empleado se fundamentó en la metodología expuesta en el "Manual de Concreto Estructural" de Joaquín Porrero (Diseño de mezcla convencional), las variables fundamentales que se consideraron para la ejecución del procedimiento son: dosis de cemento, trabajabilidad, relación agua/cemento y resistencia. En el trabajo se elaboraron diseños de

mezclas para concretos con resistencias a compresión de 180, 210, 250 y 300 kg/cm² alcanzadas a los 28 días.

El curado de los cilindros se realizó almacenándolos en un tanque de agua saturado en cal como lo expresa la norma en el cual permanecieron 28 días. Habiéndose cumplido el tiempo de curado, se retiraron los cilindros del tanque para ser secados al natural, es decir, al aire libre. Luego se introdujeron al horno para garantizar la menor proporción de agua posible dentro de la muestra, requisito indispensable, dentro de la metodología del trabajo, para determinar los efectos de altas temperaturas sobre el concreto

Para la realización de los ensayos se supuso que las probetas de concreto antes de ser sometidas a las distintas temperaturas, se encontraban completamente íntegras, es decir, que no habían sido afectadas por cambios de temperatura y habían alcanzado su resistencia. Todos estos ensayos respaldado por procedimientos experimentales establecidos en la normativa nacional que sirven para verificar los resultados.

La resistencia del concreto se determinó mediante el promedio de los valores de los ensayos válidos, sobre un conjunto de probetas normalizadas, en una fecha determinada y siguiendo un procedimiento establecido. Para que el valor en el ensayo pueda ser tomado como referencia base, se debe cumplir, meticulosamente, todos los procedimientos descritos en la Norma COVENIN 338. “Método para la Elaboración, Curado y Ensayo a Compresión de Cilindros de Concretos”, el tamaño de las probetas cilíndricas utilizadas son de dimensión natural 15 cm de diámetro por 30 cm longitudinales, que son las normalizadas.

Para asegurar la confiabilidad del ensayo de ultrasonido, este debe realizarse según la Norma COVENIN 1976:2003, “Concreto. Evaluación y Métodos de Ensayos”, el mismo consiste en medir el tiempo que tarda un impulso ultrasónico en atravesar la probeta de concreto que se está evaluando. La técnica utilizada consiste en colocar, en las dos caras opuestas de la probeta a estudiar y enfrentados, el emisor y el receptor de las ondas ultrasónicas. Ambos terminales deben establecer excelente contacto con las superficies planas del concreto.

Se realizan ensayos a compresión y de registro de la velocidad de pulso ultrasónico (antes y después de las altas temperaturas) en los cuales se supuso que las probetas de concreto originalmente se encontraban completamente íntegras, es decir, que no habían sido afectadas por cambios de temperatura y ya habían alcanzado su resistencia, para ello se ejecutaron vaciados de probetas de dimensiones 15x30 cm con resistencias nominales de 180, 210, 250 y 300 kg/cm², que fueron sometidas a temperaturas de 100, 200, 300, 400, 500, 600 y 700 °C, después de ser sometidas a procesos de secado con la finalidad de simular las condiciones del concreto cuando ya se encuentra colocado.

Con las probetas elaboradas para cada resistencia se realizaron los ensayos, separándose en grupos de cilindros. Las muestras fueron sometidas a temperaturas de 100, 200, 300, 400, 500, 600 y 700 °C. Para las temperaturas de 100 y 200 °C se utilizó el horno de median capacidad termal, a partir de los 300 hasta 700 °C se empleó una mufla de alta capacidad termal.

Debe señalarse que las temperaturas del ensayo térmico son las nominales ya que la variación de temperatura para el horno empleado es de 20 °C. El tiempo de exposición fue de una hora, debido a que un incendio regularmente no sobrepasa ese valor.

La disposición de los cilindros dentro de los hornos se observan en la figura, cabe destacar que la disposición se realizó de dos maneras diferentes debido a las dimensiones y capacidades de almacenamiento de los hornos. Conocer la distribución de las muestras es relevante a fin de tomar las medidas necesarias al evaluar los cilindros ensayados a lo largo de la investigación.

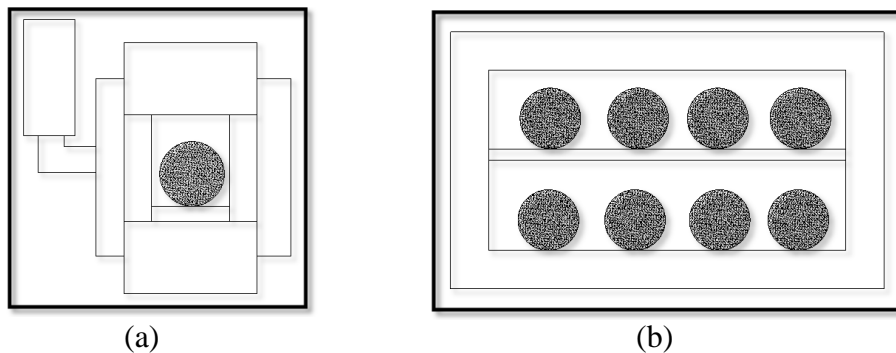


Figura 1.- (a) Disposición de los Cilindros dentro de la Mufla
 (b) Colocación de los Cilindros en el Horno

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Luego de dejar enfriar las probetas por espacio de 24 horas se realizó el ensayo de ultrasonido y de resistencia a la compresión, los valores registrados se encuentran entre los usuales para materiales como el concreto. En las Figuras 2, 3, 4 y 5 se presentan los resultados obtenidos en porcentaje con respecto al valor de la muestra patrón en función de la temperatura, se observa la misma tendencia entre las curvas de pérdida de velocidad de pulso ultrasónico y las de pérdida de resistencia a compresión.

La Velocidad de Pulso Ultrasónico de los Cilindros después de ser Sometidos a Altas Temperaturas presenta una disminución manteniéndose esta tendencia para las cuatro resistencias después de ser sometidas a altas temperaturas.

A 100 °C y 200 °C, las muestras presentan poca variación, esto debido a la evaporación del agua presente en la mezcla, lo que se tradujo en una variación de la densidad y mejor comportamiento del material, a estas temperaturas los coeficientes de dilatación térmica de los elementos constitutivos del concreto no sufrieron cambios considerables en su geometría, con lo cual las microfisuraciones en el concreto no fueron notables, y por consiguiente la homogeneidad del mismo es casi invariable.

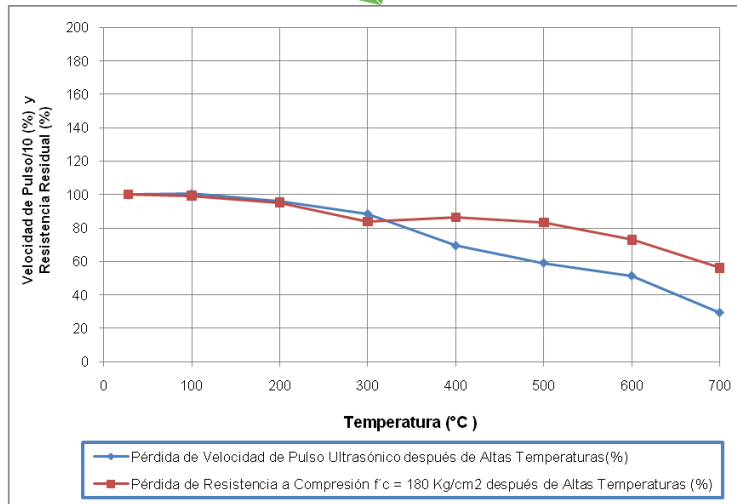


Figura 2.- Pérdida de Velocidad de Pulso Ultrasonico Vs. Pérdida de Resistencia a Compresión para $f'c=180 \text{ Kg/cm}^2$

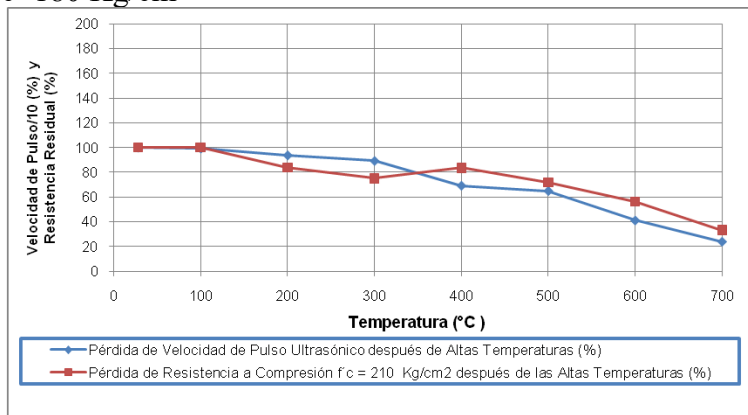


Figura 3.- Pérdida de Velocidad de Pulso Ultrasonico Vs. Pérdida de Resistencia a Compresión para $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$

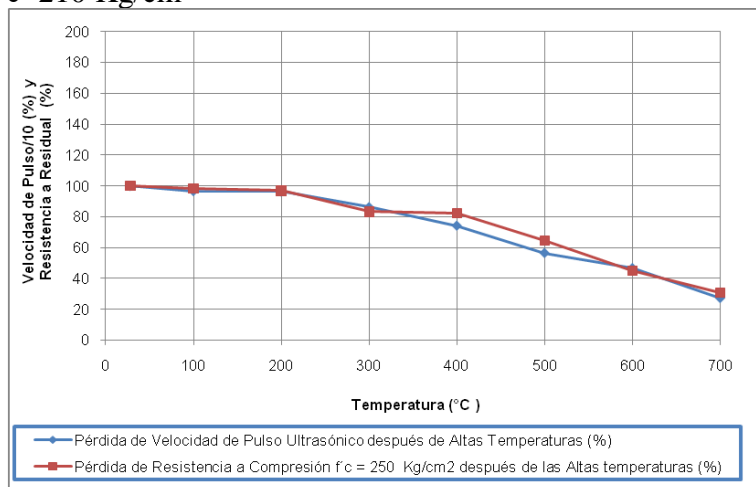


Figura 4.- Pérdida de Velocidad de Pulso Ultrasonico Vs. Pérdida de Resistencia a Compresión para $f'c=250 \text{ Kg/cm}^2$

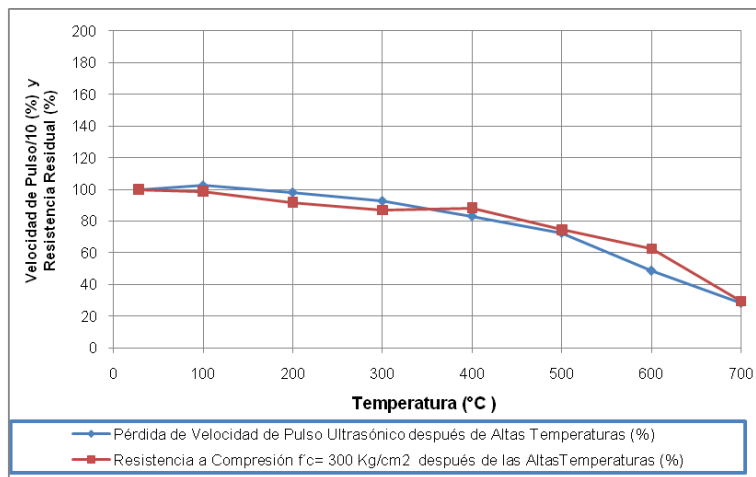


Figura 5.- Pérdida de Velocidad de Pulso Ultrasónico Vs. Pérdida de Resistencia a Compresión para $f'c=300 \text{ Kg/cm}^2$

A $300 \text{ }^\circ\text{C}$, la disminución de la velocidad con respecto a las temperaturas anteriores fue más notoria para 180 Kg/cm^2 y se encontró en el orden de 12% , para 210 Kg/cm^2 de 11% , para 250 Kg/cm^2 de 14% y para 300 Kg/cm^2 de 7% , sin embargo no se observaron microfisuras, pero de acuerdo con la disminución reportada se dedujo que el material empezaba a microfisurarse internamente y evidentemente esto generó un tiempo mayor para el viaje de la onda.

A $400 \text{ }^\circ\text{C}$, la disminución en la velocidad fue más evidente, para 180 kg/cm^2 fue de 31% , para 210 kg/cm^2 de 31% , para 250 kg/cm^2 de 26% , y para 300 kg/cm^2 de 17% , todo esto debido a que el material experimentó cambios volumétricos considerables que produjeron tales microfisuras lo que trajo como consecuencia el aumento del tiempo de recorrido de la onda ultrasónica.

A $500 \text{ }^\circ\text{C}$, aparecieron fisuras a lo largo del cuerpo y bordes de los cilindros, es por esto que la velocidad en gran parte se redujo. Para la resistencia de 180 kg/cm^2 la disminución fue del 40% , para 210 kg/cm^2 fue de 35% , para 250 kg/cm^2 de 44% , y 300 kg/cm^2 de 27% . Al igual que en $400 \text{ }^\circ\text{C}$ el tiempo de recorrido de la onda se prolongó por las fisuras externas e internas, que comenzaron a generarse producto de los cambios volumétricos y tensiones internas experimentadas dentro del material.

A $600 \text{ }^\circ\text{C}$, las probetas ensayadas presentaron múltiples fisuras observadas fácilmente en su cuerpo de forma transversal y longitudinal y se prolongaron desde la cara inferior hasta la parte media del mismo. La reducción para la resistencia de 180 kg/cm^2 fue de 49% , para 210 kg/cm^2 fue 59% , para 250 kg/cm^2 de 53% , y para 300 kg/cm^2 de 51% , debido principalmente a la acción térmica que generó tensiones internas dentro de la masa de concreto y por lo tanto produjo la aparición de las fisuras externas e internas con lo cual el material pierde homogeneidad.

A 700 °C, las muestras ensayadas presentaron bordes débiles producto de las múltiples fisuras observadas principalmente en la parte inferior de las mismas, por lo que los valores de tiempo de recorrido de onda fueron muy prolongados y esto a su vez se tradujo en una disminución importante de la velocidad del pulso ultrasónico que para todas las muestras estuvo mayor al 70%. Esto se debió a que los agregados se expanden fuertemente y con diferente magnitud dando lugar a tensiones internas que empiezan a disgregar el concreto con lo cual el material pierde homogeneidad.

A 100 °C y 200 °C, la pérdida de resistencia es poco apreciable debido a que a esta temperatura se produce la evaporación del agua capilar pero aún no se aprecia cambios en la estructura del cemento hidratado.

A 300 °C, el porcentaje de pérdida de la resistencia a compresión resultó ser de 16, 25, 17 y 13 % para resistencias de 180, 210, 250 y 300 Kg/cm² respectivamente. Esto se produjo por la pérdida de agua de gel del cemento teniendo lugar una sensible disminución de las resistencias.

A 400 °C, el porcentaje de pérdida de la resistencia a compresión resultó ser de 14, 17, 18 y 12 % para resistencias de 180, 210, 250 y 300 Kg/cm² respectivamente, alrededor de los 400 °C existe una recuperación de la resistencia, debido a que el concreto se retrae antes de microfisurarse, pero al igual que las curvas anteriores su tendencia es decreciente.

A 500 °C, la disminución de la pérdida de resistencia se encuentra en el orden de 17, 28, 35 y 26 % para las resistencias de 180, 210, 250 y 300 Kg/cm² respectivamente. La pérdida se debió a que los agregados no poseen el mismo coeficiente de dilatación térmica, entonces se expanden fuertemente y con diferente magnitud dando lugar a tensiones internas que comienzan a disgregar al concreto produciéndose fisuras y grietas disminuyendo la resistencia.

A 600 °C, el porcentaje de pérdida de la resistencia a compresión resultó ser de 27, 44, 55 y 38 % para resistencias de 180, 210, 250 y 300 Kg/cm² respectivamente. El cambio notorio de la pérdida de resistencia se origina por los agregados contenidos en la mezcla, los cuales no tienen el mismo coeficiente de dilatación térmica, se expanden fuertemente generando tensiones internas que empieza a disgregar el concreto, produciendo múltiples fisuras internas y externas en las caras y el cuerpo del cilindro.

A 700 °C, el porcentaje de pérdida de la resistencia a compresión resultó ser de 44, 67, 70 y 70 % para resistencias de 180, 210, 250 y 300 Kg/cm² respectivamente. El cambio notorio de la pérdida de resistencia se origina por los agregados contenidos en la mezcla, los cuales no tienen el mismo coeficiente de dilatación térmica, se expanden fuertemente generando tensiones internas que empieza a disgregar el concreto, produciendo múltiples fisuras internas y externas en las caras y el cuerpo del cilindro. A esta temperatura se observó para probetas de 180 Kg/cm² la aparición de grietas en la cara superior y en los bordes inferiores de las muestras.

CONCLUSIONES

SECRETARÍA DE LAS JORNADAS.

Coordinación de Investigación .Edif. Física Aplicada. Piso 2. Facultad de Ingeniería.

Universidad Central de Venezuela. Ciudad Universitaria de Caracas. 1053

Tel.: +58 212-605 1644 | <http://www.ing.ucv.ve>

La composición de los agregados afecta de manera importante los concretos sometidos a altas temperaturas, la resistencia mecánica del concreto disminuye cuando es sometido a temperatura, estas disminuciones dependen del umbral de las mismas.

El concreto cuando es sometido a temperaturas de 100, 200 y 300 °C tiene un comportamiento generoso brindando la posibilidad de seguir utilizándolo o realizarle reparaciones menores para adecuarlo. Al pasar a temperaturas de 400 y 500 °C permite la posibilidad de realizarle reparaciones mayores y poder adecuarlo con una inversión moderada.

Si llegamos a temperaturas de 600 y 700 °C tiene una reducción significativa en su capacidad resistente y dependiendo de su ubicación puede poner en peligro la estabilidad de la estructura, lo que indica que en caso de presentarse temperaturas mayores o iguales a estas se deben tener previsiones de demoliciones focalizadas y proyectos de reparación extensivos.

De este trabajo y los precedentes se desprende que se puede establecer una correlación entre la velocidad de pulso ultrasónico y la pérdida de resistencia (resistencia residual). Este tipo de relación permitiría caracterizar la afectación de una estructura sometida a alta temperatura (incendio, planta industrial, etc) mediante ensayos de ultrasonido.

De la comparación de las curvas de pérdida de resistencia generadas en esta investigación se observa una misma tendencia a pesar de tener diferentes diseños de mezclas y diferentes tipos de agregados, comparándolas con las curvas generadas en la literatura internacional se observa mayor similitud con las curvas de agregado silicio.

Cabe destacar que las curvas generadas en esta investigación pueden servir para evaluaciones técnicas in situ y permiten determinar los cambios de resistencia para concretos elaborados con agregados locales.

REFERENCIAS

- [1]. NORMA VENEZOLANA COVENIN 338:2002. Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto.
- [2]. NORMA VENEZOLANA COVENIN 1681-80. Método de ensayo para determinar la velocidad de propagación de ondas en el concreto.
- [3]. NORMA VENEZOLANA COVENIN 1976:2003, “Concreto. Evaluación y Métodos de Ensayos”.
- [4] Porrero J. y otros (2004). Manual del concreto estructural conforme con la norma COVENIN 1753:03, Caracas: SIDETUR, 503p.