



CONVENCIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL UCLV 2021

Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas

SIMPOSIO INTERNACIONAL DE CONSTRUCCIONES

**Temática: Desarrollo y utilización de aditivos y adiciones en la
producción sostenible de hormigones**

**Efecto de la adición LC² como medida de mitigación de la fisuración
por retracción en elementos prefabricados en la Cayería Norte de Villa
Clara**

*Effect of the addition of LC² as a measure to mitigate shrinkage cracking
in precast elements in the north key of Villa Clara*

**MSc. Ing. María B. Díaz García¹, Dr. Ing. Yosvany Díaz Cárdenas¹, Dr. Cs. Ing. José F.
Martirena Hernández¹**

¹ Center for Research and Development of Structures and Materials (CIDEM),
Cuba.

mbetania@uclv.cu

RESUMEN

En la actualidad los Materiales Cementicios Suplementarios (MCS) son la vía más efectiva para lograr mayor durabilidad en las estructuras. En Cuba se implementa el uso de dos adiciones como solución alternativa ante esta característica, una es el cemento PP-35 (adición del 15% de tobas zeolíticas) y la otra es Cemento de Bajo Carbono LC³ (adición arcilla calcinada, caliza y yeso LC²). Esta última se comienza a implementar en el 2015 con estudios anteriores en cuanto a las propiedades en pastas, morteros y hormigones. Esta investigación se centra en la introducción de la adición mineral LC² en las construcciones hoteleras de Cayo Santa María, en la provincia de Villa Clara, Cuba, como medida de mitigación en las fisuras que aparecen en los elementos debido a la retracción. Por todo esto se decide evaluar la introducción de la adición LC² en los cambios de volumen en elementos estructurales. El trabajo se divide en tres etapas donde se incluye la adición al 30%. En la primera se realiza la modelación estructural del elemento, donde se tiene en cuenta las características del material, una segunda donde se produce el elemento a escala industrial, bajo las mismas condiciones de la ECOT y una tercera etapa en la que se determinan las propiedades del hormigón y la influencia de la adición en la reducción de fisuras en los elementos. De esta forma, se



pone a disposición un estudio sobre el efecto de la adición mineral LC^2 en elementos producidos en la ECOT Cayo Santa María.

Palabras Claves: Retracción, modelación, fisuración y mitigación

SUMMARY

Currently, Supplementary Cementitious Materials (SCM) are the most effective way to achieve greater durability in structures. In Cuba, the use of two additions is implemented as an alternative solution to this characteristic, one is PP-35 cement (addition of 15% of zeolitic tuffs) and the other is Low Carbon Cement LC^3 (addition of calcined clay, limestone and gypsum LC^2). The latter is starting to be implemented in 2015 with previous studies regarding properties in pastes, mortars and concretes. This research focuses on the introduction of the mineral addition LC^2 in hotel constructions in Cayo Santa María, in the province of Villa Clara, Cuba, as a mitigation measure in the cracks that appear in the elements due to shrinkage. For all these reasons, it was decided to evaluate the introduction of the LC^2 addition in the changes of volume in structural elements. The work is divided into three stages where the addition is included at 30%. In the first one, the structural modeling of the element is carried out, where the characteristics of the material are taken into account, a second one where the element is produced at industrial scale, under the same conditions of the ECOT and a third stage in which the properties of the concrete and the influence of the addition in the reduction of cracks in the elements are determined. In this way, a study on the effect of the LC^2 mineral admixture in elements produced in the ECOT Key Santa María is made available.

Keywords: shrinkage, modeling, cracking and mitigation.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, la durabilidad de las estructuras de hormigón se ha visto comprometida por la aparición de fisuras, causadas principalmente por el fenómeno de retracción, durante el curado de los elementos, que a su vez se debe a los cambios de humedad relativa y otros factores intrínsecos del mismo (Gómez, 2015). La variación de la relación agua-cemento, el uso de aditivos controladores y la adición de Materiales



CONVENCIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL UCLV 2021

Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas

Cementicios Suplementarios (MCS) son factores que tienen gran influencia en la disminución de este fenómeno. (Carrasco, 2014)

En Cuba, como en el resto del mundo, se trabaja en la obtención de hormigones más duraderos mediante diversas vías, una de ellas es el uso de adiciones puzolánicas naturales, como la toba zeolítica, que posibilita refinar la matriz de poros y lograr mayor impermeabilidad en el elemento, siendo así más resistente a las variaciones de humedad y a los propios cambios de volumen (Snellings, 2011). Otro estudio que se está realizando es en base a la adición mineral activa LC², que no es más que una mezcla de arcilla calcinada, caliza y yeso en diferentes proporciones. El uso de adiciones como es el caso del LC², favorece no solo la sustitución parcial del cemento Portland, reduciendo la producción del clínker, sino que brinda ciertas propiedades que hacen más durable el hormigón. (Castillo, 2010)

Como continuidad de estas investigaciones, el Centro de Investigación y Desarrollo de Estructuras y Materiales (CIDEM) propone un estudio sobre la evaluación de la retracción en elementos elaborados con adición mineral LC² al 30% de sustitución del cemento Portland P-35, con el fin de lograr un hormigón más duradero y estable ante las condiciones ambientales agresivas existentes en Cuba.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Materiales

Agregados (áridos): Todos los áridos que se utilizan en la elaboración de los hormigones son procedentes de la cantera Mariano Pérez "El Purio", del municipio Encrucijada, provincia Villa Clara. Son producto de la trituración de rocas calizas, con un tamaño de grano entre 19.0 - 9.50mm para el árido grueso (gravilla) y 4.76 - 0.147mm para el árido fino (arena). Por su Litología es una roca caliza pura organógena, dura, compacta, blanca a crema, masiva o levemente brechosa. Todos cumplen con las normativas exigidas.

Cemento P-35: El cemento a utilizar se produce en la fábrica de cemento Karl Marx de la provincia de Cienfuegos, de acuerdo a la NC: 95, 2011 Cemento Portland-Especificaciones, clasificado como cemento Portland P-35.



CONVENCIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL UCLV 2021

Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas

Adición mineral LC²: La adición mineral se produce en la Prueba Industrial del 2017 en la fábrica de Siguaney, donde se desarrolla la activación térmica de la arcilla mediante la calcinación a 800°C y se mezcla la arcilla con la caliza en proporción 2:1 con un 7% de yeso del total a moler.

Aditivo SikaPlast: Este aditivo libre de cloruros, de rango medio y alta eficiencia, reduce la cantidad de agua y contribuye a la permanencia de la trabajabilidad, con una densidad de 1.13 kg/L

2.2 Dosificaciones

Tabla 1 Muestras

Muestras	Composición
PA(0,4)	P35 + Sika Plast 0,65%
LC65(0,4)	70% P35 + 30% LC2 + Sika Plast 1,00%

Tabla 2 Dosificación para 20Lts

Material	PA(0,4)	LC65(0,4)
Cemento (kg)	8,4	5,88
LC ² (kg)	0	2,52
Arena (kg)	18,7	18,74
Gravilla (kg)	17,82	17,82
Agua (Lts)	3,42	3,41
Aditivo SP (Lts)	0,055	0,084

2.3 Procedimiento

Con la caracterización de los materiales a utilizar se inicia el plan experimental de la investigación, para luego pasar a la realización de los ensayos en cada una de las etapas.

Primera etapa: Definición Modelación de los elementos en SAP2000 v20. En esta etapa se definen las dosificaciones que se desean evaluar en la investigación. Se tiene en cuenta los estudios anteriores en el 2018. Con los valores de resistencia y retracción se realiza la modelación mediante el programa SAP2000 v20 y se obtienen los valores máximos de tensiones en cada una de las muestras. Para ello se define seis elementos para cada una de las variables y se analiza los lugares para la colocación de los insertos para medir los desplazamientos.



CONVENCIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL UCLV 2021

Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas

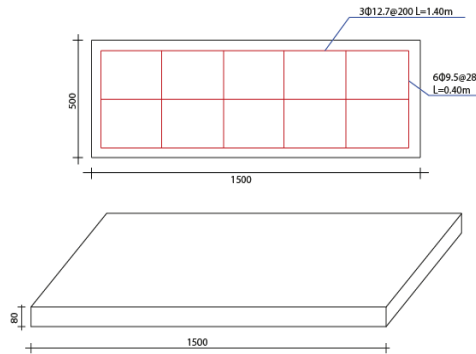


Figura 1 Losa de hormigón armado que se utiliza en la investigación

En el software SAP2000 v20 se crea un nuevo modelo de tipo Grid Only con diferentes características. Se declaran los parámetros de retracción, los cuales son obtenidos del ensayo ASTM-c157 en el 2018 bajo las mismas condiciones y parámetros especificados para la producción en la industria. Los datos se introducen cada día en correspondencia con su deformación en micrómetros. Según se introducen los valores, automáticamente el software muestra la curva de deformación con respecto al tiempo para el material actual obtenido mediante la interpolación de los datos.

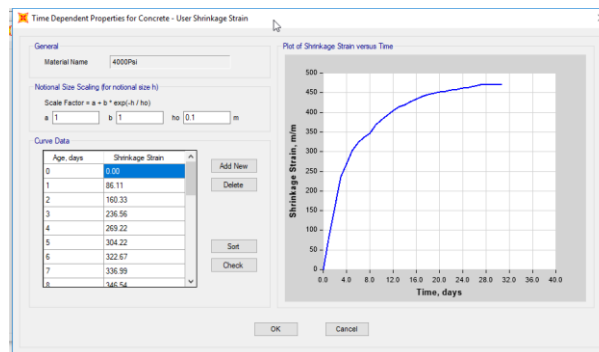


Figura 2 Deformación con respecto al tiempo

Con el objetivo de simular las condiciones reales que experimenta el elemento durante el proceso de hormigonado se establecen las condiciones de apoyo en cada vértice correspondiente a la base del mismo donde se restringe la traslación de los mismos en dos direcciones. Una vez que se desarrollen los modelos correspondientes a cada una de las muestras a analizar se procede a la obtención de los datos deseados.

Segunda etapa: Elaboración del hormigón a escala industrial. En esta etapa se elabora el hormigón según las muestras, tanto de cemento P-35, como de cemento P-35 con la



adición mineral activa LC2 al 30% y se tiene en cuenta el mismo proceso productivo que en la ECOT Cayo Santa María.

Proceso de producción en la industria: El encofrado se realiza en la Planta de Prefabricados, para ello se emplean en la base dos planchas de acero de 10x0,7 metros las cuales se emplean en encofrados de columnas. Para el encofrado longitudinal se emplea por un lado 2 perfiles metálicos de 0,15 metros de altura y 10 metros de largo por un lado y una placa metálica perteneciente a la base por el otro lado. La elaboración del hormigón se procede en la Planta de Hormigón en Cayo Santa María, en el mismo se pesa la adición mineral LC² correspondiente a cada una de las muestras. El sistema es completamente automatizado, el operador introduce las dosificaciones del hormigón en el ordenador y este automáticamente realiza los ajustes. Debido a que la Planta de Hormigón se encuentra a una distancia aproximada de 200 metros de la Planta de Prefabricados en necesario transportar el hormigón en camiones hormigonera con una capacidad de 10m³ hasta la misma. Una vez que se tiene el hormigón en la Planta de Prefabricados se procede al hormigonado de los elementos, para ello se emplea un cubo de 1m³ de capacidad y una grúa torre. Como finalidad de la etapa se realiza la ubicación de los insertos metálicos, para lo cual se tiene en cuenta los resultados obtenidos mediante el análisis estructural, por lo que se colocan en los extremos donde son mayores las tensiones producto de la retracción.

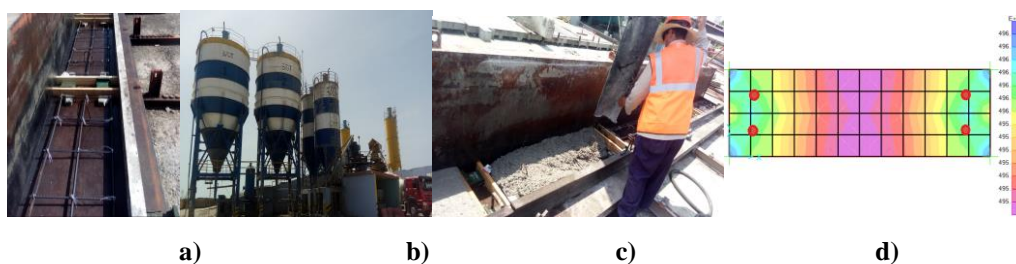


Figura 3 Proceso de producción: a) Encofrado b) Elaboración del hormigón c) Hormigonado d) Lugar donde se colocan los insertos

Tercera etapa: Evaluación de las propiedades y medición de fisuras. En esta etapa, para la evaluación de las propiedades físicas, asentamiento en la hora de producción del hormigón, además de resistencia a los 7 y 28 días. En este mismo periodo se analiza en desplazamiento de los insertos y se controlan las fisuras en cada uno de los elementos, lo cual se realiza mediante la medición del largo y ancho de las fisuras.

2.4 Métodos



CONVENCIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL UCLV 2021

Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas

En estado fresco en el momento de elaboración del hormigón se realiza el **Cono de Abrams** para medir el asentamiento del mismo y definir su consistencia. El procedimiento de ensayo se realiza según la (NC.ISO1920-2, 2010) Ensayos al hormigón Parte 2:Propiedades del hormigón endurecido. Luego en estado endurecido se realiza el ensayo de **Resistencia a Compresión** y se utilizan probetas cilíndricas de 100mm x 200mm confeccionadas con moldes de acero que no reaccionan con los álcalis del cemento. Las probetas a ensayar tienen edades de 28 días. El procedimiento de ensayo se realiza a partir de lo establecido en la (NC:724, 2015) Ensayos de hormigón. Resistencia del hormigón en estado endurecido.

Control y medición de la fisuración en los elementos

Con los resultados del análisis estructural se determina el lugar donde ocurre el mayor número de fisuras, siendo las esquinas del elemento y sus zonas cercanas los lugares más propensos. Para la medición de los mismos se emplea una cinta métrica o un Pie de Rey, siempre que sea posible, para la medición del largo de las fisuras. En el caso del ancho de las fisuras se emplea un Crack Comparator o Pie de Rey de ser posible. Con los elementos listos se procede a la toma de mediciones y observación del comportamiento de los mismos. Para ello se realizan mediciones a las 2 horas posteriores al hormigonado de cada uno de ellos, las próximas mediciones se realizan a las 4, 8, 12 y 24 horas; luego a los 2, 3, 4, 5, 6 y 7 días transcurridos del hormigonado de los elementos.

III. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1 Efecto de la adición LC^2 en los elementos según el programa computacional SAP2000

En correspondencia con los datos obtenidos mediante el análisis estructural se establece una comparación con los resultados de las mediciones efectuadas a los elementos hormigonados en la Planta de Prefabricado en la ECOT Cayo Santa María.

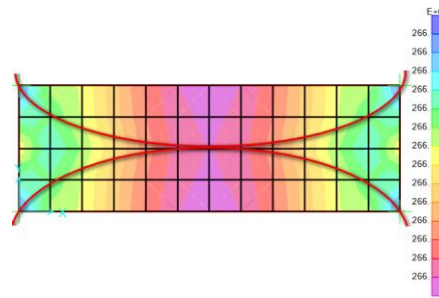


Figura 4 Lugar de máximas tensiones según el model del programa SAP2000

Luego de realizar el análisis de todas las muestras que se modelan, se procede a la interpretación de los resultados obtenidos. Se puede apreciar una similitud entre todas las muestras, para cada uno de los casos se obtiene que las mayores tensiones producidas por la retracción actúan en el sentido de la luz larga, como se observa en la figura 4. Se obtiene también que los elementos con adición mineral LC² se exponen a menos tensiones que la muestra patrón.

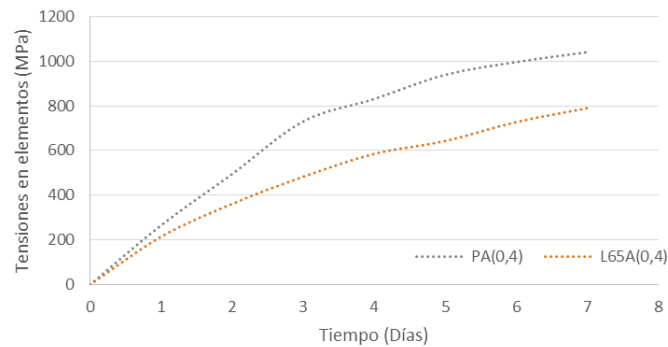


Gráfico 1 Tensiones internas en los primeros 7 días según el modelo SAP2000

Se puede observar en el gráfico 1 como en las primeras edades las tensiones entre las muestras son muy semejantes en el comportamiento. Se observa que en los elementos con LC² disminuyen estas tensiones en casi 300MPa. Se explica que cuando las tensiones internas del hormigón son mayores que las deformaciones que ejerce, se producen las fisuras. Siempre es importante aclarar que cuando se logran deformaciones mayores en las primeras horas de hormigonado el hormigón, no se producen fisuras porque el mismo aún está en el proceso de hidratación y lo que ocurre es un acomodamiento de las fases de hidratación del cemento, lo que mejora la microestructura del mismo.



3.2 Efecto de la adición LC² en las propiedades físicas del hormigón elaborado para los elementos

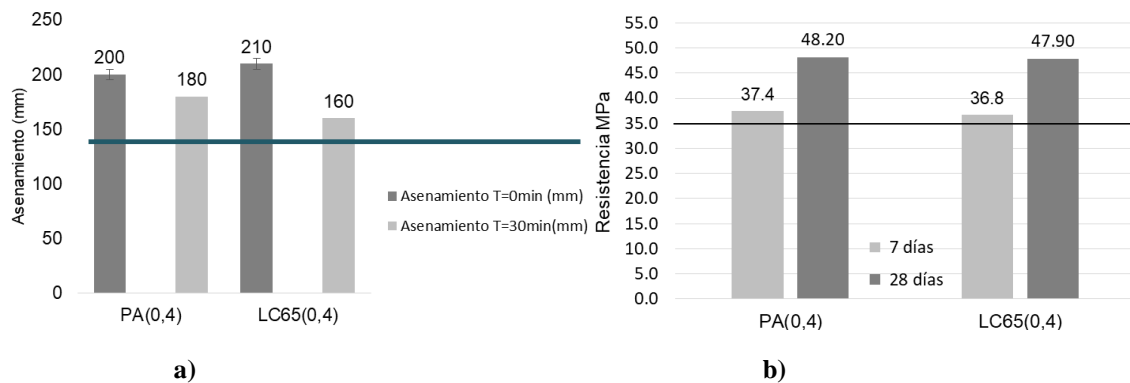


Gráfico 2 Ensayos físicos y mecánicos en las muestras de hormigón: a) Consistencia b) Resistencia a la compresión 7 y 28 días

Como se puede observar en el gráfico 2 a) Consistencia, todas las muestras cumplen con un asentamiento de más de 160mm al ser medidas en la Planta de Hormigón, la cual se necesita para clasificarlo como un hormigón fluido. Cuando ocurre el traslado del material a la Planta de Prefabricado se puede observar que durante el proceso de transportación las mismas sufren una pérdida del asentamiento en un período aproximado de 30 minutos, la pérdida es de un 10% para la muestra PA(0,4), 23% para la muestra LC65(0,4). Esto está dado debido a que la adición absorbe gran cantidad de agua en las primeras horas, lo que reduce el asentamiento. De los resultados obtenidos por medio de los ensayos de resistencia a compresión (Gráfico 2 b) Resistencia a la compresión), que se realiza a cada una de las muestras de hormigón, se observa que todos los valores son mayores a los 7 días que la resistencia característica exigida por los proyectistas de 35MPa, por lo que todas las muestras cumplen con este requerimiento.

3.3 Efecto de la adición LC² en las fisuras producidas en los elementos estructurales

Tras realizar las mediciones correspondientes a cada uno de los elementos, se puede apreciar grandes diferencias entre los resultados obtenidos de ambas muestras, se tiene que la muestra con adición mineral LC² al 30% tiene un comportamiento altamente favorable en comparación con la muestra con cemento Portland.



CONVENCIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL UCLV 2021

Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas

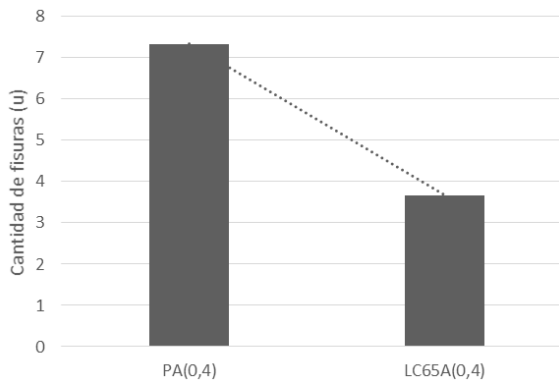


Gráfico 3 Cantidad de fisuras en las losas



Figura 5 Fisuras en la muestra LC65

La muestra LC65(0,4) muestra un mejor comportamiento en cuanto a la cantidad de fisuras producidas por la retracción. En estas muestras solo se manifiestan un máximo de 4 fisuras por elemento, mientras que en la muestra PA(0,4) se llegan a manifestar hasta 9 fisuras en un mismo elemento. Se observa que la mayoría de las fisuras registradas en los elementos correspondientes a la muestra con adición mineral LC² ocurren superficialmente (Figura 5). Con simplemente rasparlas con un elemento las mismas desaparecen puesto que no poseen una profundidad considerable. Esto se debe al alto por ciento de aditivo que se utiliza en las muestras con LC² para alcanzar el asentamiento deseado para los hormigones fluidos.

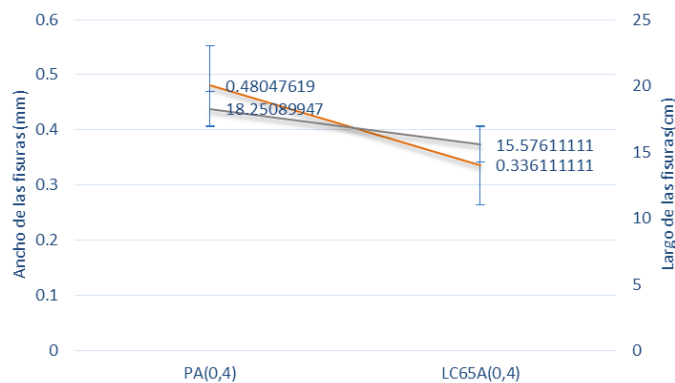


Gráfico 4 Relación entre largo y ancho de las fisuras

Cuando se realiza un promedio entre los seis elementos se observa que el ancho de la LC65 es menor en 10mm con respecto a la PA. Esto es muy importante en el análisis de las fisuras ya que a menor ancho y profundidad, mejor es el comportamiento ante agentes externos que pueden afectar la durabilidad de los elementos. Por otro lado el largo de las fisuras también resulta favorable a los elementos correspondientes a la muestra CON LC², siendo estos los que poseen las grietas con un largo menor. Como se



observa en el gráfico la muestra LC65(0,4) es la que presenta mejor comportamiento ya que la relación entre el ancho y el largo entre el promedio de sus fisuras es menor que en la muestra PA(0,4).

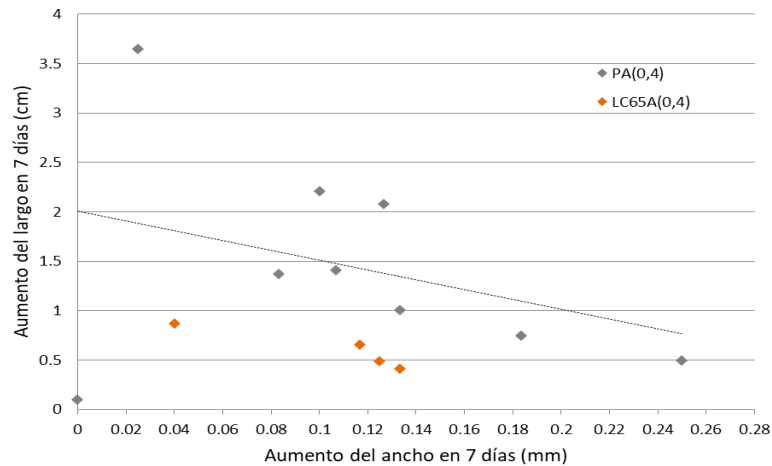


Gráfico 5 Relación del aumento entre el largo y el ancho de las fisuras

En el gráfico 5 se realiza una comparación de cantidad de fisuras, ancho y largo de las mismas entre ambas muestras, y se obtiene que la muestra LC65(0,4) manifiesta un comportamiento significativamente mayor al de la muestra PA(0,4) mostrando una menor evolución de largo y ancho de sus fisuras, así como un menor número de las mismas. Se define también que los elementos con la adición LC², presentan mejores resultados, ya que alcanza una relación entre el aumento del ancho y largo más adecuada que la PA(0,4), a esto va aparejado los resultados de los hormigones en cuanto a la resistencia que alcanza cada una de las muestras. Es importante señalar que los elementos con la adición LC² aumentan el largo y el ancho de las fisuras hasta el séptimo día de hormigonadas las losas, mientras que los elementos con el cemento Portland continúan el aumento hasta alrededor del día catorce, lo que lo hace más propenso a ser afectado por agentes externos, debido a la zona que se encuentran de alta agresividad.

I. CONCLUSIONES

1. En la actualidad se ha generalizado la utilización de materiales cementicios suplementarios, como es el caso de la arcilla calcinada, la caliza y el yeso (LC²),



CONVENCIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL UCLV 2021

Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas

debido a las importantes ventajas técnicas, económicas y ecológicas que poseen en la práctica.

2. Mediante la evaluación en elementos estructurales, como son las losas, se caracteriza el efecto positivo de la adición LC^2 en los hormigones fluidos que se producen en la ECOT Cayo Santa María.
3. Se evidencia el uso del LC^2 como adición en el hormigón y se define tanto matemáticamente como prácticamente la influencia como reductor de las fisuras producidas por cambio de volumen en los hormigones.

II. BIBLIOGRAFÍA

1. Amador, Á. (2015). Hormigones reforzados con Fibras.
2. Betancourt, S. (2013). Tecnología del hormigón.
3. Blazquez, L. B. (2010). Tema 3. Componentes del hormigón.
4. Carrasco, M. F. (2014). Materiales cementicios. Cátedra de Tecnología del Hormigón, Universidad Tecnológica Nacional, Santa Fe, Argentina.
5. Castillo, R. (2010). *Puzolanas de alta reactividad a partir de la activación térmica y mecánica de una arcilla caolinítica de baja pureza*. Universidad Central «Marta Abreu» de Las Villas.
6. Gómez, I. (2015). *Evaluación de la retracción en hormigones para bungalows. Series en el tiempo 2013-2015. Impacto encogimiento autógeno*. Universidad Marta Abreu de las Villas.
7. Massazza, F. (1976). Chemistry of pozzolanic additions and mixed cements. *ILCemento*, 3–38.
8. Snellings, R. (2011). *Mineralogical study of the pozzolanic properties of natural zeolites*. Katholieke Universiteit Leuven.
9. South, W. a. H., I. (2001). *New Zeland Pozzolans-An ancient to a modern dilemma*, en: V.M. Malhotra.
10. Tabares, J. O. C. (2009). *Fluencia y Retracción de Hormigón*. (MsC en Ingeniería), Universidad Politécnica de Valencia.