

FISURACIÓN ORIGINADA POR CAMBIOS DE VOLUMEN EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN HIDRÁULICO.

Ing. Beatriz Martínez Pedraza.

*Universidad de Matanzas, Sede “Camilo Cienfuegos”, Vía Blanca
km.3 1/2, Matanzas, Cuba.*

RESUMEN:

El hormigón hidráulico durante todo el proceso de elaboración, colocación y secado desarrolla una serie de propiedades entre las que se encuentra la retracción, que no es más que los cambios de volumen que experimenta la masa debido a la pérdida de agua en su constitución, proceso que puede darse por diferentes situaciones. El presente trabajo tiene como objetivo analizar el proceso de fisuración originado por estos cambios de volumen en estructuras de hormigón hidráulico, para lo cual se toma objeto de estudio los bungalows de los hoteles de Cayo Santa María al norte de Villa Clara. Como resultado del trabajo se obtuvo que la retracción es una propiedad inherente del hormigón hidráulico, que trae consigo la aparición de fisuras y grietas, que asociadas a un medio ambiente hostil conllevan a un deterioro temprano de la estructura y a su posterior al colapso.

Palabras claves: Hormigón hidráulico; Retracción; Fisuración.

El hormigón hidráulico o concreto es un material compuesto empleado en construcción, formado esencialmente por un aglomerante al que se añade partículas o fragmentos de un agregado, agua y aditivos específicos, el cual se presenta de forma más o menos plástica al ser mezclados sus componentes en las primeras horas, de manera que permite moldearse y es en esta fase que se le conoce como Hormigón fresco. Mientras pasa el tiempo y se produce la hidratación del cemento la masa plástica pasa a ser un material sólido con características pétreas y pasa a conocerse como Hormigón endurecido.

Según expresa Betancourt, (2009), "las propiedades del hormigón en su primera fase influyen grandemente en las propiedades del hormigón endurecido". Y esto se debe a que las propiedades del hormigón en estado fresco es el producto inmediato del amasado de sus componentes, ya que desde el primer momento se están produciendo en su masa reacciones químicas que condicionan sus características finales como material endurecido. Reacciones que se prolongan sustancialmente hasta un años después de su amasado.

Durante la primera fase, el hormigón hidráulico desarrolla una serie de propiedades intrínsecas, las cuales como ya se expresó anteriormente, jugarán un papel fundamental en el desarrollo y comportamiento posterior de este material; estas propiedades son:

- Docilidad o laborabilidad: Se entiende como la aptitud del material para dejarse fabricar, transportar, colocar y compactar, sin que se presenten afectaciones notables en dichas actividades. (NC120: 2014)
- Consistencia del hormigón: grado de deformabilidad del mismo, la cual es un índice indirecto de evaluar la docilidad. Otros índices son la viscosidad dinámica y la cohesión, pero ellos resultan mucho más difíciles de evaluar en la práctica común de producción y empleo de mezclas de hormigón. La consistencia constituye una propiedad muy útil del hormigón, siendo un índice bastante confiable para el control de la cantidad de agua de amasado. (NC 174: 2002)
- Exudación es el Flujo autógeno del agua de amasado interna o emergida de las mezclas de morteros y hormigones frescos causados por el asentamiento de los materiales sólidos componentes de la masa del hormigón. (NC 243: 2003)
- El tiempo de fraguado es el período de tiempo que transcurre entre el amasado del hormigón y el principio del fraguado. Es una propiedad muy importante pues es en el que se puede manipular el hormigón sin merma de sus características. (NC 168: 2002)
- La temperatura de la mezcla de hormigón, es la suma de la temperatura que se genera en el proceso de hidratación del cemento y la condicionada por el ambiente. Esta propiedad depende de muchos factores, unos vinculados con las características propias de la mezcla (cantidad y tipo de cemento, tiempo desde el contacto del cemento con el agua, etc.), otros condicionados por las condiciones ambientales (temperatura de los áridos, cemento y otras materias primas, temperatura ambiente, etc.) y tipo de elemento (forma y dimensiones).
- Contenido de aire y Peso Unitario: Cuando normalmente se efectúa la colocación y compactación de un hormigón en los moldes, siempre queda una cierta cantidad de aire “atrapado”. Bajo condiciones normales, la cantidad de aire atrapado es de alrededor de un 2 % (unos 20 litros/m³). Desde luego que una compactación deficiente dejará la masa de hormigón menos compacta, y pueden quedar coqueas

adicionales al aire atrapado, pero en este caso se refiere al aire que queda en un hormigón “compactado”. Claro que el peso unitario de un hormigón dependerá de su grado de compactación, contenido de aire atrapado y del peso específico de los materiales. (Betancourt 2009)

El hormigón hidráulico durante su estado endurecido desarrolla también una serie de propiedades en gran medida dependiente de las propiedades desarrolladas durante su primera fase como hormigón fresco, explicadas anteriormente. Las propiedades durante esta etapa final son:

- Durabilidad: la capacidad que tiene de resistir a lo largo del tiempo los efectos del medio ambiente y los agentes agresivos que tienden a destruirlo según Betancourt (2009)
- La permeabilidad es la capacidad que tiene el hormigón de permitir el paso a su interior de materiales en disolución, por lo que es una propiedad de importancia en la durabilidad del material.
- El hormigón es un material que resiste a las sollicitaciones de compresión, tracción y flexión. La resistencia que presenta frente a los esfuerzos de compresión es la más elevada de todas, cifrándose en unas 10 veces la de tracción, y es la que más interés presenta en su determinación, dado que en la mayor parte de las aplicaciones del hormigón se hace uso de esa capacidad resistente y a que, por otra parte, la resistencia a compresión es un índice de la magnitud de otras muchas propiedades. (Betancourt, 2009)
- La fatiga: El comportamiento del hormigón sometido a cargas repetidas es distinto al sometido a cargas estáticas. La repetición de millones de cargas durante la vida de un elemento de hormigón puede determinar el fallo del mismo, con una disminución de la resistencia del hormigón. Este fenómeno recibe el nombre de fatiga del hormigón, pues iguales tensiones van provocando cada vez mayores deformaciones. (Michael y Scrivener, 2001)

- La adherencia es una propiedad de particular importancia en el trabajo del hormigón armado, ya que el mismo está basado precisamente en la perfecta unión entre el hormigón y el acero de refuerzo, resistiendo bien el primero los esfuerzos de compresión y el segundo los esfuerzos a tracción. (Hernández y Hernández, 2010)
- La retracción es un fenómeno producto de la desecación que se genera en el hormigón, donde es mayor en las partes exteriores que en las interiores, en los elementos masivos se generan tensiones internas de tracción a causa de la retracción desigual, lo cual conduce a la formación de fisuras en la masa del hormigón, particularmente en la interface árido-pasta. (Michael y Scrivener 2001)

Durante la segunda etapa los hormigones contienen una cantidad de agua que se encuentra normalmente muy por encima de la cantidad de agua necesaria para la reacción del cemento, este exceso es necesario para asegurar la laborabilidad suficiente para su manipulación y compactación, así como asegurar que haya agua suficiente para el fraguado y el endurecimiento del cemento, que depende de la reacción del cemento con el agua y puede demorarse por numerosos meses.

Según Sant (2009) en la mayoría de los casos la pieza de hormigón está en contacto con la atmósfera (la cual no está saturada de agua) provocando la evaporación del agua, que unida a la que se va combinando con el cemento, provocan una más o menos lenta disminución del agua libre en el hormigón.

Como el proceso de la difusión de la humedad del interior del hormigón hacia su superficie es muy lento, la superficie se seca más rápidamente que el interior y, por tanto, la contracción “libre” tienden a desarrollarse principalmente en la periferia de la sección. La distribución irregular de esta contracción “libre” y la deformación plana necesaria, provocan esfuerzos de tensión en las fibras exteriores y de compresión en las fibras interiores. La contracción “aparente” uniforme es el resultado combinado de la contracción “libre” y las deformaciones instantáneas y lentas, producidas por los esfuerzos inducidos. Así, sólo es posible que se produzca contracción sin restricciones en secciones delgadas de hormigón es decir en placas, cuerpo limitado por dos planos, a distancia pequeña en comparación con las otras dimensiones según plantea Holt (2001)

Al continuar el secado se elimina el agua absorbida y el cambio en el volumen de la lechada de cemento en esa etapa es aproximadamente igual a la pérdida de una película de agua cuyo espesor es el de una molécula de la superficie de todas las partículas de gel, en casos ingenieriles se mide la contracción global del hormigón, y ésta es mucho menor que la contracción libre de la pasta pura por el efecto moderador del agregado y la porción interior que no se seca.

Según plantea Basf (2009) Muchos son los factores que modifican la retracción en el hormigón, específicamente en placas, entre los más significativos se encuentran: el cemento, el agua, los áridos, curado, geometría, humedad relativa, entre otros.

Influencia del cemento:

El tipo y la composición del cemento no son factores que influyan en la retracción, si se toma en cuenta la diferente rapidez en la adquisición de la resistencia y se comparan hormigones hechos con diferentes cementos que tengan la misma relación esfuerzo resistencia (es decir, la relación de esfuerzo aplicado a la resistencia en el momento de aplicar la carga).(BASF 2009)

Un alto contenido de cemento puede afectar la retracción, traducido en un incremento del calor de hidratación y la consiguiente evaporación del agua en la superficie del hormigón contribuyendo a la aparición de grietas en la inter fase árido-pasta.

Influencia del contenido de agua:

Añadir un exceso de agua de amasado para conseguir una masa homogénea y trabajable sin un ajuste de la relación a/c implica en cualquier caso un aumento de la porosidad, de la retracción y de la fisuración del hormigón endurecido y una disminución de la resistencia ya que esta agua de amasado escapa en su mayor parte de la masa en un momento u otro durante el endurecimiento.

Influencia del árido:

Un factor importante es el agregado, por su efecto moderador sobre la contracción libre de la pasta de cemento puro. (Betancourt, 2009)

El contenido volumétrico de agregado tiene una influencia considerable en la magnitud de retracción que se produce realmente en el hormigón. El tamaño máximo y la granulometría del agregado no son factores principales y sólo afectan la retracción en cuanto a que controlan la pobreza de la mezcla.

El grado de restricción que presenta el árido depende de sus propiedades elásticas. Por tanto existe una relación directamente proporcional entre la retracción y el módulo de elasticidad del agregado usado.

Muy pocos áridos de los que se usan comúnmente están en sí sujetos a retracción. Los que lo están ordinariamente también tienen una elevada absorción, de manera que se puede usar la prueba de absorción para comprobar la posibilidad de que un árido sea del tipo de los que se retraen. Si la absorción es alta, deberán hacerse pruebas con el agregado sospechoso.(BASF, 2009)

La presencia de arcilla en el agregado disminuye el efecto de restricción a la contracción y como la propia arcilla está sujeta a contracción, el recubrimiento de arcilla en el agregado puede aumentar la retracción hasta en un 20%.(BASF, 2009)

Algunas pruebas han demostrado que la porosidad del agregado influye en las deformaciones plásticas pero, como los agregados con una gran porosidad generalmente tienen un módulo de elasticidad inferior, no es posible separar con facilidad la influencia de estos factores.

Influencia del curado:

Se produce retracción cualquiera que sea la edad a la que comienza el secado y una vez que comienza prosigue durante mucho tiempo: se han observado algunos movimientos aún después de 28 años, pero es posible que parte de la retracción a largo plazo se deba a carbonatación, pero la tasa de contracción a grandes edades es tan lenta que no tiene importancia.

Efecto de la geometría:

Aunque la contracción libre es una propiedad inherente de una mezcla determinada en condiciones específicas, la retracción observada se rige por el grado de secado que se puede producir. Por tanto, es un factor importante el tamaño del miembro de hormigón que se encuentra en proceso de secado.

La influencia del tamaño en la retracción muestra el hecho de que, en cualquier instante, diferentes partes de un elemento de hormigón se secan en mayor o menor medida y, por supuesto, la pérdida de humedad sólo se produce en la superficie. De esta manera, la contracción no es uniforme y es inevitable que el núcleo más húmedo produzca una restricción.(Gomez, 2012)

El efecto del tamaño se puede tomar en cuenta indirectamente por la relación de la superficie de secado al volumen de hormigón que implica. Los elementos en forma de placa aunque poseen un secado más uniforme tienen una superficie de secado de mayor magnitud lo que influye directamente en la evaporación del agua presente en el gel derivando en la retracción de la superficie y aparición de fisuras.(BASF, 2009)

Influencia de la humedad relativa:

La humedad relativa es un factor importante, estrictamente hablando, no es la humedad en sí lo que importa, sino el proceso de secado mientras el hormigón está en proceso de retracción. Por tanto, la humedad relativa carece de importancia si el hormigón ya alcanzó su equilibrio hidráulico ya que en ese momento la retracción es muy pequeña.

La explicación del fenómeno no se hace simplemente en función de una pérdida adicional de agua del hormigón; el mecanismo por el cual la humedad relativa afecta la retracción es relativamente complejo, siendo uno de los factores claves el hecho de que el equilibrio de la presión del vapor del agua absorbida dependa de su estado de esfuerzo.(Betancourt, 2009)

Influencia de la resistencia:

La edad en que el hormigón se carga constituye un factor en la retracción, ya que influye en el grado de hidratación y la adquisición de resistencia. Para un contenido constante de lechada de cemento y los mismos esfuerzos aplicados, la retracción sufrida por el hormigón

es inversamente proporcional a la resistencia del hormigón. La resistencia del hormigón (cualquiera que sea la naturaleza de los factores que la afecten) puede usarse como parámetro global de la retracción.

Según Thomas (2001) existen cuatro tipos de retracción que se clasifican en dependencia de las causas que las originan:

1. Retracción Química.
2. Retracción Plástica.
3. Retracción Autógena.
4. Retracción Seca.

La Retracción Química:

Es el cambio de volumen de sólidos y líquidos asociados a las reacciones de hidratación del hormigón específicamente producida por la hidratación del cemento y por las fuerzas de cohesión y adhesión resultantes. El volumen absoluto de productos hidratados es menor que el volumen de cemento y agua que existía antes de la hidratación. (Michael y Scrivener, 2001)

La retracción química continúa ocurriendo en una escala microscópica mientras dura la hidratación del cemento aunque después del fraguado inicial la pasta no se deforma tanto como cuando estaba en una condición plástica. Un aumento en la hidratación y por consiguiente en la retracción es compensado por la formación de vacíos en la microestructura. La mayor parte de este cambio de volumen es interno y significativamente no cambia las dimensiones externas visibles de un elemento.

Suelen aparecer cuando el hormigón ha finalizado su fraguado. La expansión que produce el calor generado por las reacciones de hidratación del cemento provocan tensiones en las zonas a temperaturas más frías del mismo elemento, por estar en contacto con el ambiente, o con volúmenes de hormigón puestos en obra con anterioridad que van impidiendo su libre movimiento de retracción inicial.

Debido a la retracción química se forman poros permeables que contribuyen a una depresión de la humedad relativa interna. (Cánovas, 1994)

La Retracción Plástica:

Se manifiesta cuando el hormigón está sujeto a una pérdida de humedad muy rápida provocada por una combinación de factores que incluyen las temperaturas del aire y del hormigón, la humedad relativa, la geometría del elemento (mayor en secciones delgadas) y la velocidad del viento en la superficie del hormigón. Estos factores pueden combinarse y provocar niveles altos de evaporación superficial en todo tipo de clima, también se asocia a un alto contenido de cemento y/o baja relación agua-cemento. (Cánovas, 1994)

La Retracción Autógena:

El encogimiento autógeno es la reducción macroscópica (cambio dimensional visible) de volumen de pasta de cemento, mortero, u hormigón armado causada por el proceso de fraguado, es decir son cambios químicos y de auto-deseccación, esta auto-deseccación ocurre por la ausencia de agua externa y el consiguiente consumo del agua de hidratación.

Según Cánovas (1994) es provocada por la tensión que se genera en la masa de hormigón no sujeta a fuerzas externas. Esta retracción es directamente proporcional al contenido de cemento en la pasta e inversamente proporcional a la relación a/c. El encogimiento químico es la fuerza motriz detrás del encogimiento autógeno.

Esta reducción macroscópica de volumen es mucho menor que la reducción absoluta provocada por el encogimiento químico debido a la rigidez que presenta la pasta endurecida.

Algunos investigadores y organizaciones consideran que el principio del encogimiento autógeno ocurre durante el fraguado inicial mientras otros evalúan el encogimiento autógeno a partir del tiempo de colocación.

La Retracción por Secado:

La retracción por secado es provocada por la pérdida de humedad de la pasta cementicia, la cual se puede contraer hasta un 1%. Por fortuna, los agregados proveen una restricción interna que reduce la magnitud de este cambio de volumen a aproximadamente 0,06% (Copeland y Bragg, 2010).

La magnitud de la retracción por secado depende principalmente de la cantidad y tipo de agregados y del contenido de agua de la mezcla. Cuanto mayor sea la cantidad de agregados, menor será la retracción. Según los autores Copeland y Bragg, (2010) Cuanto más rígido sea el agregado, más efectivo será para reducir la retracción del hormigón. Cuanto mayor sea el contenido de agua, mayor será la retracción por secado.

Estos cambios propios del volumen de los elementos de hormigón, conocido como retracción, provocan la aparición de fisuras, las cuales no solo afectan la estética de las edificaciones de hormigón, sino que representan el mal funcionamiento de las mismas.

Las fisuras en el hormigón, son roturas que aparecen generalmente en la superficie del mismo, debido a la existencia de tensiones superiores a su capacidad de resistencia. Cuando la fisura atraviesa de lado a lado el espesor de una pieza, se convierte en grieta (Cánovas, 1994).

Las fisuras son inherentes al hormigón armado y/o pretensado y constituyen un camino rápido de penetración de los agentes agresivos hasta el acero de refuerzo, de aquí la importancia de tener en cuenta en el diseño, la máxima abertura permisible de fisura, desde el punto de vista de la durabilidad. Según la norma NC 250:04 “Requisitos de durabilidad para el diseño y construcción de Edificaciones y Obras Civiles de hormigón estructural” la abertura máxima permisible de fisura está en dependencia la agresividad del lugar donde se encuentre localizada la obra.

Se han identificado tres motivos por los cuales es necesario limitar el ancho de las fisuras en el hormigón. Estos son la apariencia (estética), la corrosión y la impermeabilidad.

La apariencia es importante en el caso del hormigón a la vista y el agrietamiento por tanto tiene un papel muy importante, que justifica un riguroso control del ancho de la fisura.

La corrosión es importante en el caso del hormigón expuesto a ambientes agresivos, condiciones típicas en climas tropicales, como el cubano. Se ha demostrado que para limitar este efecto las medidas más efectivas están en la utilización de hormigones de mejor calidad y aumentando el espesor del recubrimiento de hormigón a las barras de refuerzo, no es la abertura de la fisura un factor decisivo, por lo que las últimas disposiciones del Instituto Americano del Concreto (ACI) no dirigen el control del agrietamiento a limitar el ancho de esta.

La impermeabilidad requiere una severa limitación del ancho de las fisuras, aplicable solamente a elementos que contengan líquidos o granos o que demanden otros requerimientos especiales por la agresividad del medio o por necesidades del estado de la superficie, las exigencias alrededor de la fisuración se incrementan y demandan un tratamiento particular.

Las fisuras pueden clasificarse como fisuras de tipo estructural y fisuras por restricción al movimiento propio del material. Las de tipo estructural suelen aparecer en los elementos de las edificaciones, ya sea por un inadecuado diseño de las juntas entre ellos o por la acción de las cargas a que están sometidos. Las fisuras por restricción se originan debido al impedimento de un elemento estructural, de cambiar libremente de volumen cuando sufren el efecto de fuerzas expansivas y de contracción. Otras fisuras pueden generarse por asentamientos diferenciales de una edificación y como consecuencia de la corrosión del acero de refuerzo (Cánovas, 1994).

Como se explica anteriormente las fisuras se clasifican en dependencia de las causas que las generan y dentro de las producidas por los cambios de volumen se encuentran las fisuras por retracción química, por retracción plástica, por retracción autógena y por secado.

Las fisuras producidas por la retracción química suelen aparecer cuando el hormigón ha finalizado su fraguado. La expansión que produce el calor generado por las reacciones de hidratación del cemento provocan tensiones en las zonas a temperaturas más frías del mismo elemento, por estar en contacto con el ambiente, o con volúmenes de hormigón puestos en obra con anterioridad que van impidiendo su libre movimiento de retracción inicial (Holt, 2001).

Debido a la restricción proporcionada por el hormigón debajo de la capa superficial que se seca, en el hormigón débil, plástico y en proceso de rigidización se desarrollan tensiones de tracción que provocan fisuras poco profundas pero de longitud variable, que pueden formar un patrón poligonal aleatorio, o bien pueden aparecer básicamente paralelas unas a otras (Holt, 2001).

La retracción plástica da lugar a grietas que tienen las siguientes características:

- Se producen en estructuras superficiales de forma horizontal.
- Surgen habitualmente luego que desaparece el brillo del agua.
- Se presentan en grupos.
- En elementos de espesor variable aparecen en las zonas más delgadas.
- Pueden seguir la dirección del hormigonado, en caso que no exista dirección preferente se cortan a 90°.
- No presentan rotura limpia, rodean las piedras y el refuerzo.
- Resultan más intensa y localizada, que extensa y difusa, alcanzando profundidades de 10-40 mm y logran atravesar el espesor del elemento.
- Pueden ser producidas en ocasiones por movimientos del encofrado.

La fisuración por retracción autógena ocurre en los primeros días de la puesta en obra. Son fisuras importantes en muros y piezas de gran longitud que pueden alcanzar de 2 a 4 mm de ancho.

Algunos investigadores y organizaciones consideran que el principio del encogimiento autógeno ocurre durante el fraguado inicial mientras otros evalúan el encogimiento autógeno a partir del tiempo de colocación.

Las fisuras por retracción de secado se producen a consecuencia de las tensiones de tracción creadas en la masa de hormigón al quedar impedida la deformación provocada por

los cambios volumétricos en la retracción de secado. Según Holt (2001) este tipo de fisuras suelen tener una anchura constante y un trazado limpio sin entrecruzarse ni ramificaciones, generalmente tienen una anchura del orden de 0.05 a 0.1mm, su profundidad se encuentra entre los 4 y 10mm. Su dirección es perpendicular a la superficie expuesta al secado y el sentido es ascendente. Pueden aparecer a partir de las dos o tres semanas desde el vertido del hormigón, pero el riesgo de su aparición persiste en condiciones normales hasta un año, retardándose a veces hasta los dos y tres años, en función de las condiciones de sequedad atmosférica.

Teniendo en cuenta que el fenómeno de la fisuración en elementos de hormigón implica un fallo en la estructura, se hace necesaria la aplicación de medidas que mitiguen los efectos de la retracción, lo cual puede lograrse mediante la realización de un diseño apropiado de la obra a ejecutar.

La magnitud de la retracción puede ser controlable mediante la adición de componentes o materiales al hormigón hidráulico que tienen como objetivo mejorar o modificar sus propiedades y por medio de la realización de un buen diseño de la estructura.

Un ejemplo actual de la fisuración producida por los cambios de volumen en estructuras de hormigón se encuentran en los bungalows de los hoteles de cayo Santa María al norte de la provincia de Villa Clara, situación que se ha venido presentando desde hace varios años y ha sido el punto de partida para el desarrollo de una Línea de investigación por parte del Centro de Investigación y Desarrollo de Estructuras y Materiales (CIDEM). Los estudios de esta entidad se iniciaron en el año 2010 con la realización de diagnósticos a estas edificaciones, los cuales permitieron realizar una caracterización de la situación en la que se encontraban los bungalows de cayo Santa María.

El fenómeno de la fisuración se encontró de forma masiva en todas estas edificaciones y los anchos de fisura superaban en muchos casos los anchos máximos exigidos por las normas cubanas, lo que obligaba a repararlas para poder garantizar la vida útil de estas obras, ya que esto podía representar una amenaza para la durabilidad de la estructura por la posibilidad de penetración de agentes externos agresivos.

En el control del proceso tecnológico se encontró que se presentaban indisciplinas en la colocación de hormigón, especialmente la temprana retirada de los moldes metálicos, momentos en los cuales el fraguado y endurecimiento del hormigón está ocurriendo, y el material no es capaz de auto-sustentarse, provocando el pandeo de los muros y produciendo a su vez ligeros esfuerzos de tracción que generaban las grietas horizontales.

Las grietas verticales se producían de forma mayoritaria en las zonas debilitadas por las canalizaciones de electricidad y corrientes débiles, que son colocadas muy cerca de la superficie, y disminuyen la capacidad resistente del hormigón a edades tempranas (donde su resistencia es baja) ante tensiones de retracción química o autógena. En dependencia de la posición de las canalizaciones, estas grietas podían ser pasantes o no y esto unido al exceso de hormigón utilizado provocaba un incremento de la retracción química y autógena.

En los muros también aparecían grietas verticales producto de la retracción que se generaban en el proceso de secado del elemento, esto ocurre cuando se crean diferencias de humedad relativa entre el interior del hormigón y el medio ambiente que lo rodea, provocado en el momento en que el edificio entra en explotación y son conectados los aires acondicionados, por lo que se experimentan cambios de humedad relativa en diferentes zonas de los muros, provocando un encogimiento de estos y la consiguiente fisuración o agrandamiento de las grietas ya existente por causas anteriores.

Derivado de este diagnóstico y como resultado de la línea de investigación desarrollada por el CIDEM se tomaron medidas para la mitigación de la retracción por secado y así disminuir la fisuración de los muros de hormigón de los edificios conocidos como bungalows en los hoteles de Cayo Santa María, dentro de las que estuvieron:

- Aumento de la cuantía de acero estructural en muros de bungalows.
- Control de la calidad de los materiales y del proceso de colocación del hormigón.
- Uso de aditivos reductores de la retracción.
- Uso de adiciones como la zeolita.

Como cierre de una larga y exhaustiva etapa de investigación, en el año 2015 se realiza un corte evaluativo que permitió valorar los resultados obtenidos con la implementación de cada una de las medidas de mitigación. Según Martínez, (2015) la medida de aumentar el acero estructural en muros no eran eficientes ya que no estaban dando los resultados esperados y el ambiente hostil al que se encontraban expuestas estas edificaciones sumado una serie de indisciplinas por parte de los obreros durante todo el proceso de producción y colocación del hormigón hidráulico en la obra, agravaban la situación puesto que ambos influían grandemente en el aumento de la retracción y por lo tanto en la aparición de fisuras a edades tempranas de las estructuras.

Teniendo en cuenta los estudios realizados por el CIDEM hasta la actualidad sobre el tema de la fisuración causada por los cambios de volumen del hormigón, se puede concluir que aun cuando la retracción es una propiedad inherente de este material que siempre produce un cierto grado de fisuración en la estructura, no se debe ignorar el hecho de que un medio ambiente hostil, un mal control la calidad de los materiales y del proceso de colocación del hormigón, incrementan el grado de fisuración de la estructura lo que conlleva al deterioro temprano de la estructura y a su posterior al colapso.

BIBLIOGRAFÍA:

1. Betancourt, S., 2009. *Materiales y Productos de la construcción*.. Villa Clara: s.n.
2. Copeland, L. E. & Bragg, R. H., 2010. *Self Desiccation in Portland Cement Pastes*. s.l.:PCA.
3. Fernández Cánovas, M., 1994. *Patologías y Terapéuticas del Hormigón Armado*. Tercera Edición ed. Madrid: Colección Escuelas.
4. Gayoso, R., 1994. *Cracking Prevention in Ferrocement using natural zeolite lightweight aggregate*.. s.l.:Journal of Ferrocement.
5. Hernández Caneiro, J. A. & Hernández Santana, J. J., 2010. *Hormigón Estructural. Diseño por Estados Límites*.. s.l.:s.n.
6. Heyman, J., 2001. *La ciencia de las estructuras*. s.l.:s.n.
7. Holt, E. E., 2001. *Early Age Autocongenous Shrinkage of Concrete*. s.l.:Espoo.
8. Michael, T. & Scrivener, K., 2001. *Doctoral Course "Concrete Durabilit"*. Lausanne: Switzerland.
9. NC/CTN22, 2001. *NC 95: 2001Cemento Portland. Especificaciones*.. s.l.:Oficina Nacional de Normalización (NC): Impreso en La Habana..
10. NC/CTN22, 2002. *NC 168: 2002 Hormigón fresco. Determinación del tiempo de fraguado por resistencia a la penetración*.. s.l.: Oficina Nacional de Normalización (NC): Impreso en La Habana..
11. NC/CTN22, 2002. *NC 174: 2002 Hormigón fresco. Medición del asentamiento por el cono*.. s.l.:Oficina Nacional de Normalización (NC): Impreso en La Habana..
12. NC/CTN22, 2003. *NC 243: 2003 Hormigón. Pérdida de agua por exudación*.. s.l.:Oficina Nacional de Normalización (NC): Impreso en La Habana..

13. NC/CTN22, 2004. *NC 353: 2004 Aguas para el amasado y curado del hormigón y los morteros. Especificaciones.* s.l.:Oficina Nacional de Normalización (NC): Impreso en La Habana..
14. NC/CTN22, 2005. *NC 228-1: 2005 Aditivos para hormigones, morteros y pastas. Parte -1: Aditivos para hormigón. Especificaciones.* s.l.:Oficina Nacional de Normalización (NC): Impreso en La Habana..
15. NC/CTN22, 2005. *NC 251: 2005 Áridos para hormigones hidráulicos. Requisitos.* s.l.:Oficina Nacional de Normalización (NC): Impreso en La Habana..
16. NC/CTN22, 2014. *NC 120 : 2014 Hormigón hidráulico. Especificaciones.* s.l.:Oficina Nacional de Normalización (NC): Impreso en La Habana..
17. NC/CTN22, N. 2., 2012. *Pastas de cemento. Determinación de la plasticidad y su variación en el tiempo por el método del minicono.* s.l.:Oficina Nacional de Normalización: Impreso en Cuba.
18. Sant, G., 2009. *Fundamental Investigations Related to the Mitigation of the Mitigation of Volume Changes in cement- Based Materials at Early Ages.* s.l.:s.n.
19. Strike, J., 2004. *De la construcción a los proyectos.* s.l.:s.n.