

# PRINCIPALES TIPOS DE CONTRACCIÓN, EFECTOS SOBRE EL CONCRETO Y SUS MÉTODOS DE MITIGACIÓN



**JUAN FELIPE MAURELLO PORRAS**  
**KAREN NATHALIA MONDRAGON AGUJA**  
**JUAN CAMILO ROMERO MORA**

**ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO**  
**PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**BOGOTÁ D.C., 23 DE SEPTIEMBRE 2020**

## **Resumen**

El fenómeno de la contracción es uno de los principales factores que afectan la durabilidad del concreto. Este se presenta como consecuencia de la pérdida de humedad generada en los procesos de hidratación del cemento, además de la afectación de factores internos, como la composición química de los componentes que conforman la mezcla; y factores externos, ya sea condiciones ambientales o prácticas constructivas. La contracción del concreto se divide primordialmente en tres etapas principales: contracción autógena, presentada en las primeras horas de la hidratación del cemento; contracción plástica, presentada después de las 24 horas hasta la etapa de secado (28 días) y contracción por secado desde los 28 días hasta los 56 días. Existen recomendaciones de buena práctica para mitigar las consecuencias negativas de la contracción en cada una de sus etapas, ya sea, utilizando proporciones adecuadas de sus diferentes componentes de la mezcla adecuados con la composición química del cemento, la relación de agua-cemento, aditivos para la reducción de la contracción, el tipo de agregado fino y grueso o, por otro lado, el uso e implementación apropiado del acero de refuerzo, ubicación de juntas constructivas, juntas de contracción, juntas de expansión y métodos de curado. Como resultado de la investigación realizada, se evidenció que, en las prácticas de mitigación de la contracción autógena en el concreto, una opción muy efectiva es el uso de agregados que permitan el curado interno del concreto, práctica que consiste en un aporte interno de agua gracias a agregados saturados, otras opciones utilizan aditivos reductores de contracción o expansivos e incluso una combinación de estos o el uso de fibras. En los métodos para mitigar la contracción plástica se encontró que el uso de fibras de polipropileno al igual que el uso de aditivos como reductores de contracción, reducen potencialmente el desarrollo de fisuras, gracias a que las fibras aportan resistencia a la contracción de la pasta, además de una mayor capacidad de tracción. Por último, en los métodos para mitigar la contracción por secado se encontró que los diseños del refuerzo de los elementos deben estar concentrados en zonas críticas de esfuerzos de tensión como las esquinas o bordes de las secciones transversales; el uso de aditivos reductores debe seguir las dosificaciones recomendadas y la idoneidad de aditivos reductores de la contracción en entornos de congelación y descongelación; así mismo, agregados de mayor rigidez no permitirán grandes contracciones, esta condición estará representada en términos del módulo secante de los agregados; y utilizar valores de contenido agua cemento menores a 0,50.

## **Palabras claves**

Contracción, Contracción autógena, contracción plástica, contracción por secado, métodos de control

## **Abstract**

The phenomenon of the shrinkage is one of the main factors that affect the durability of concrete, this is presented as a consequence of the loss of moisture generated in the processes of hydration of cement, in addition to the interference of internal factors, as the chemical composition of the components that make up the mixture, and external factors, whether environmental conditions or construction practices. The shrinkage of the concrete is divided primarily into three main stages: Autologous shrinkage, presented in the first hours of the hydration of the cement; plastic shrinkage, presented after 24 hours until the drying stage (28 days) and shrinkage from 28 days to 56 days. There are good practice recommendations to mitigate the negative consequences of total shrinkage at each of its stages, either by using proportions of components of the mixture appropriate to the composition of the cement, the water content-cement, additives for shrinkage reduction, the type of fine and coarse aggregate or, on the other hand, the appropriate use and implementation of steel reinforcement, location of construction joints, contraction joints, expansion joints and curing methods. Within the research it was found that in the mitigation practices of autologous shrinkage in the concrete a very effective option is the use of aggregates that allow the internal curing of the concrete, practice consisting of an internal supply of water thanks to saturated aggregates, other options use shrinking or expanding additives and even a combination of these. Methods to mitigate plastic shrinkage found that the use of polypropylene fibers as well as the use of additives as shrinkage reducers, potentially reduce the development of cracks, thanks to the fact that the fibers provide resistance to the contraction of the paste, in addition to a greater traction capacity. Finally, in the methods to mitigate drying contraction it was found that the reinforcement designs of the elements should be concentrated in critical stress areas such as the corners or edges of the cross sections; practice consisting of an internal supply of water thanks to saturated aggregates, other options use shrinking or expanding additives and even a combination of these. Methods to mitigate plastic shrinkage found that the use of polypropylene fibers as well as the use of additives as shrinkage reducers, potentially reduce the development of cracks, thanks to the fact that the fibers provide resistance to the contraction of the paste, in addition to a greater traction capacity. Finally, in the methods to mitigate drying contraction it was found that the reinforcement designs of the elements should be concentrated in critical stress areas such as the corners or edges of the cross sections; the use of reducing additives.

## **Key words**

Shrinkage, Autogenous shrinkage, Plastic shrinkage, Drying shrinkage, control methods.

# Contenido

|   |    |
|---|----|
| Resumen.....  | 2  |
| Palabras claves.....  | 2  |
| Abstract.....   | 3  |
| Key words.....  | 3  |
| Introducción .....  | 8  |
| 1. Marco teórico .....  | 9  |
| 1.1. Conglomerados .....  | 9  |
| 1.2. Cemento.....   | 9  |
| 1.2.1. Composición química del cemento .....                          | 9  |
| 1.2.2. Hidratación del cemento: .....                                 | 10 |
| 1.3. Agregados.....   | 10 |
| 1.4. Concreto .....   | 11 |
| 1.5. Aditivos.....  | 11 |
| 1.6. Adiciones .....  | 12 |
| 1.6.1. Propiedades del concreto afectadas por adiciones .....         | 12 |
| 2. Contracción .....  | 13 |
| • Los agregados:.....   | 13 |
| • Relación agua-cemento:.....   | 14 |
| • Tamaño de elementos de concreto: .....                              | 14 |
| • Condiciones medio ambientales: .....                                | 14 |
| • Cantidad de refuerzo .....  | 14 |
| • Aditivos .....  | 14 |
| • Tipo de cemento: .....  | 15 |
| 3. Tipos de contracción del concreto .....                            | 15 |
| 3.1. Contracción autógena .....                                       | 15 |
| 3.1.1. Factores que afectan la contracción autógena.....              | 16 |
| 3.1.2. Antecedentes .....   | 16 |
| 3.1.3. Medición de la contracción autógena .....                      | 26 |
| 3.1.4. Tratamientos para la reducción de la contracción autógena..... | 27 |
| 3.2. Contracción plástica.....  | 28 |
| 3.2.1. Factores que afectan a la contracción plástica .....           | 30 |
| 3.2.2. Antecedentes .....   | 30 |
| 3.2.3. Medición de la contracción plástica .....                      | 35 |
| 3.2.4. Tratamiento para la reducción de la contracción plástica ..... | 37 |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>3.3. Contracción por secado .....</b>                                | <b>38</b> |
| <b>3.3.1. Factores que afectan a la contracción por secado.....</b>     | <b>38</b> |
| <b>3.3.2. Antecedentes .....</b>  | <b>38</b> |
| <b>3.3.3. Medición de la contracción por secado .....</b>               | <b>44</b> |
| <b>3.3.4. Tratamientos para reducir la contracción por secado .....</b> | <b>45</b> |
| <b>4. Juntas de Control.....</b>  | <b>47</b> |
| <b>4.1. Juntas de construcción.....</b>                                 | <b>47</b> |
| <b>4.2. Juntas de contracción.....</b>                                  | <b>47</b> |
| <b>4.3. Juntas de expansión .....</b>                                   | <b>48</b> |
| <b>5. Conclusiones.....</b>   | <b>49</b> |
| <b>Bibliografía .....</b>   | <b>50</b> |

## Lista de figuras

|   |    |
|---|----|
| Ilustración 1. Seddick M, Sato R. (2010). Efectos del uso del PCCA en la contracción autogena. [Ilustración]. Recuperado de: ACI Materials Journal, title no. 107-M10. ....   | 19 |
| Ilustración 2: Seddick M, Sato R. (2010). Efectos del uso de EX y SRA en la contracción autógena. [Ilustración]. Recuperado de: ACI Materials Journal, title no. 107-M10. ....  | 19 |
| Ilustración 3. Seddick M, Sato R. (2010). Esfuerzos autoinducidos dentro de las probetas de ensayo. [Ilustración]. Recuperado de: ACI Materials Journal, title no. 107-M10.....   | 20 |
| Ilustración 4: Markandeya et al(2019). Resultados de la medición de temperatura y esfuerzos autoinducidos. [Ilustración]. Recuperado de: ACI Materials Journal, title no. 116-M52. ....   | 23 |
| Ilustración 5: Resultados de contracción en la pasta de cemento. [Tabla]. Recuperado de: ACI Materials Journal, title no. 115.M55.....  | 25 |
| Ilustración 6: Resultados de contracción en el mortero. [Tabla]. Recuperado de: ACI Materials Journal, title no. 115.M55.....   | 25 |
| Ilustración 7: Resultados de contracción en el mortero de alta resistencia. [Tabla]. Recuperado de: ACI Materials Journal, title no. 115.M55.....   | 26 |
| Ilustración 8. Esquema de medición con transductor .....  | 27 |
| Ilustración 9. Factores que inciden en la contracción plástica. Fuente: <a href="http://www.polpaicoconexion.cl/uploads/docXobra/pdf200711213221.pdf">http://www.polpaicoconexion.cl/uploads/docXobra/pdf200711213221.pdf</a> .....               | 29 |
| Ilustración 10. Fisuras por contracción plástica. Fuente: <a href="http://www.polpaicoconexion.cl/uploads/docXobra/pdf200711213221.pdf">http://www.polpaicoconexion.cl/uploads/docXobra/pdf200711213221.pdf</a> .....                             | 30 |
| Ilustración 11. Gráfica de la longitud de la fisura vs. de tiempo para un espécimen representativo. Fuente: Revista de materiales ACI.....  | 32 |
| Ilustración 12. Evaluación de la resistencia a las fisuras en campo. a) después de la colocación y b) después de 56 días.....   | 34 |
| Ilustración 13. Configuración del método de ensayo del anillo para determinar la tendencia al agrietamiento por encogimiento del plástico, basado en Löfgren et al.....   | 35 |
| Ilustración 14. Tipos de espécimen de ensayo de contracción plástica. Fuente: <a href="http://www.imcyc.com/revistacyt/dic11/arttecnologia.html">http://www.imcyc.com/revistacyt/dic11/arttecnologia.html</a> .....                               | 37 |
| Ilustración 15. Interacción entre el contenido a/c y contracción por secado. Fuente: (Sadati, 2020) .....   | 39 |
| Ilustración 16. Muestras de ensayo de contracción: (a) proceso de rociado y (b) probetas prismáticas. Fuente: (Menu, Influence of Curing Methods on Moisture Loss and Drying Shrinkage of Shotcrete at Early Age, 2020) .....                     | 41 |
| Ilustración 17. Contracción por secado para diferentes tipos de curado con un contenido agua-cemento 0.31 (a) y 0.42 (b). Fuente: (Menu, Influence of Curing Methods on Moisture Loss and Drying Shrinkage of Shotcrete at Early Age, 2020) ..... | 41 |
| Ilustración 18.. Valores de contracción por secado para cada una de las muestras. Fuente: (Mardani-Aghabaglou A. Y.-Ç., 2015).....  | 43 |

## Lista de tablas

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1. Límites de composición del cemento (Rivera G. , 2013) .....   | 10 |
| Tabla 2: Seddick M, Sato R. (2010). Tabla de composiciones de la mezcla. [Tabla].<br>Recuperado de: ACI Materials Jornal, title no. 107-M10.....                               | 18 |
| Tabla 3. Markandeya et al(2019). Composiciones de las mezclas para evlauer la contracción autogena [Ilustración]. Recuperado de: ACI Materials Jornal, title no. 116-M52. .... | 22 |
| Tabla 4: Yuan Gao et al. Composiciones de las mezclas ensayadas. [Tabla]. Recuperado de: ACI Materials Jornal, title no. 115.M55. ....   | 24 |
| Tabla 5. Propiedades de los agregados. Fuente:(Sadati, 2020).....  | 39 |

## **Introducción**

La contracción del concreto es una de las causas más frecuentes por la cual se genera la mayoría de las fisuras o grietas presentes en las estructuras. Pese a esto, hay un gran desconocimiento sobre el propio fenómeno y sus causas.

Este fenómeno que se presenta sobre la superficie del concreto y se desarrolla cuando en las mezclas de este último se sobrepasan en la cantidad de agua requerida para su hidratación o, por el contrario, cuando la cantidad de agua no es suficiente, como en el caso de la contracción autógena. Por otro lado, en el caso en el que el agua queda libre y se evapora trascurrido cierto intervalo de tiempo, dependiendo de la velocidad y el fraguado del concreto se habla de la contracción plástica y por secado.

Esta cantidad de agua que se evapora dependerá directamente de la temperatura del ambiente, la humedad en la mezcla, y la calidad y forma de los agregados presentes en la mezcla de concreto, debido a que si no son controlados estos factores se generarán fisuras o grietas irremediables para el funcionamiento de las estructuras. (Osorio, s.f.)

Además de los factores mencionados anteriormente, existen factores externos al material que dirigen la contracción del concreto como lo son: la humedad relativa, la velocidad del viento y la radiación solar. Sin embargo, se puede intervenir en la dosificación de los materiales componentes de la mezcla, considerando su composición para así lograr disminuir el fenómeno de contracción. (Hermida et al., 2005)

El presente trabajo se concentra en exponer los diferentes tipos de contracción que se desarrollan en el concreto como lo son la autógena, plástica y por secado. Se mencionan las características y las causas por las que se producen dichas contracciones, dependiendo del estado en el que el concreto se encuentra, así como los factores a considerar para evitar o disminuir dichas contracciones.

# 1. Marco teórico

El presente capítulo está orientado a definir algunos conceptos fundamentales que contextualizarán el objetivo de la investigación, los cuales están basados en la bibliografía consultada. A continuación, se presentan los componentes de las mezclas de concreto que al ser modificadas pueden generar contracciones sobre la superficie de este.

## 1.1. Conglomerados

En el sector de la construcción, se utiliza la expresión “**conglomerante**” para explicar toda una variedad de materiales capaces de incorporarse a otros y proporcionar cohesión al mezclado, por efectos de transformaciones químicas que se producen en su masa.(Á. Sanjuán & Chinchón, 2006)

Los conglomerantes son clasificados en dos grupos:

1. **Conglomerantes aéreos:** son aquellos que fraguan y endurecen al aire, pero estos no originan mezclas estables en contacto con el agua. Algunos ejemplos son; arcilla, yeso, cales aéreas.
2. **Conglomerantes hidráulicos:** son los que fraguan y endurecen tanto al aire como sumergidos en agua, siendo los productos resultantes estables en ambos medios. Los ejemplos más claros son; Cemento y cales hidráulicas.

## 1.2. Cemento

Según la norma europea UNE-EN 197-1:2011 los cementos “son conglomerantes hidráulicos, esto es, materiales artificiales de naturaleza inorgánica y mineral, que finamente molidos y convenientemente amasados con agua forman pastas que fraguan y endurecen a causa de las reacciones de hidrólisis e hidratación de sus constituyentes, dando lugar a productos hidratados mecánicamente resistentes y estables, tanto al aire como al agua” (M. A. Sanjuán & Argiz, 2012)

### 1.2.1. Composición química del cemento

Los compuestos principales del cemento se forman a partir del óxido de calcio ( $CaO$ ), dióxido de silicio ( $SiO_2$ ), óxido de aluminio ( $Al_2O_3$ ), trióxido de hierro ( $Fe_2O_3$ ), óxido de magnesio ( $MgO$ ). Estos compuestos se forman a temperaturas altas dentro del horno, cuando la mezcla

cruda es transformada en un líquido pastoso, que después en el momento de ser enfriado da origen a sustancias cristalinas de estos compuestos. Estos compuestos no se presentan aislados, por lo tanto, se habla de “fases” que los contienen en una gran proporción junto con algunas impurezas, por lo cual no son verdaderos compuestos en el sentido químico.

| OXIDO                          | CONTENIDO(%) |
|--------------------------------|--------------|
| CaO                            | 60 - 67      |
| SiO <sub>2</sub>               | 17 - 25      |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 3 - 8        |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,5 - 6,0    |
| MgO                            | 0,1 - 4,0    |
| Álcalis                        | 0,2 - 1,3    |
| SO <sub>3</sub>                | 1 - 3        |

Tabla 1. Límites de composición del cemento (Rivera G. , 2013)

### 1.2.2. Hidratación del cemento:

“Es un proceso exotérmico y cada uno de los componentes tiene un característico calor de hidratación que contribuye al total de calor de hidratación liberado. Generalmente la cantidad de calor de hidratación depende de las cantidades relativas de cada uno de los constituyentes del cemento. El calor de hidratación que se produce en un cemento normal es del orden de 85 a 100 cal/g.”(ICP, 2014)

El proceso de hidratación transforma el cemento en un agente aglomerante debido a los procesos químicos responsables de la formación de nuevos compuestos debido a las reacciones químicas, generando propiedades mecánicas útiles en las aplicaciones estructurales. La pasta de cemento pues, se obtiene como resultado de las reacciones químicas del cemento con el agua. Las propiedades de la masa resultante dependerán de las condiciones de hidratación, (temperatura, humedad) y conformará un sistema dinámico que cambia con el tiempo. (Bernal, 2012)

### 1.3. Agregados

También llamados agregados son materiales granulares formados por la mezcla de fragmentos de roca y arena. Estos son la fase discontinua del concreto y están embebidos en la pasta, ocupando aproximadamente el 75% del volumen de la unidad cubica del concreto por lo tanto son los responsables de las características del concreto. (Teconcreto, 2015)

Asimismo, se pueden considerar a los agregados, como todos aquellos materiales que, teniendo una resistencia propia suficiente, no perturben ni afecten desfavorablemente las propiedades y características de las mezclas y garanticen una adherencia suficiente con la pasta endurecida del cemento Portland.

Por lo general, al ser un material inerte, los agregados no siempre desarrollan algún tipo de reacciones con los demás componentes de las mezclas, especialmente con el cemento; sin embargo, existen algunos agregados cuya fracción más fina presenta actividad en virtud de sus propiedades hidráulicas colaborando con el desarrollo de la resistencia mecánica.

Por otro lado, hay algunos otros agregados, que presentan elementos nocivos o eventualmente inconvenientes que reaccionan afectando la estructura interna del concreto y su durabilidad, como, por ejemplo, los agregados que contienen elementos álcali insolubles que reaccionan con el hidróxido de calcio del cemento hidratado contribuyendo el fenómeno nocivo de álcali-agregado, los agregados que contienen partículas pulverulentas más finas o aquellas que se encuentran en descomposición latente como algunas pizarras. (Rivera G. , s.f.)

#### **1.4. Concreto**

El concreto es uno de los materiales más utilizados en la construcción, es elaborado a partir de la mezcla entre agregados, arena y un agente aglutinante comúnmente como lo es el, cemento y, si es necesario, se le agregan aditivos con el fin de mejorar las propiedades del material. Esta mezcla puede tomar una gran variedad de formas. Las propiedades del concreto endurecido dependerán de la proporción de los componentes con la que se fabrique como el agregado que se emplee, las adiciones que contenga o los aditivos que se le agreguen. También se puede ver afectada la calidad y apariencia por el modo en que se utilice el concreto y el tratamiento que reciba este en su superficie. (Terreros-Roojas & Carvajal-Corredor, 2016)

#### **1.5. Aditivos**

Según (Flores, 2019), los aditivos son componentes químicos, los cuales, en la etapa de mezclado del concreto se agregan para modificar las propiedades de la mezcla, sin que puedan ser considerados como sustitutos para un buen diseño de esta.

Se implementa el uso de aditivos sobre las mezclas de concreto para incrementar la trabajabilidad sin que exista un cambio en el contenido de agua de este, así mismo, existen otros que no modifican la variación de la trabajabilidad si se reduce el contenido de agua. Además, los aditivos cumplen con la función de ajustar el tiempo de fraguado, reducir la

segregación, mejorar la bombeabilidad, acelerar la tasa de resistencia a edades tempranas, incrementar la resistencia y mejorar la durabilidad potencial logrando reducir la permeabilidad de la mezcla de concreto.

## **1.6. Adiciones**

El concreto está constituido principalmente por arena, cemento portland, agregado grueso y agua. Sin embargo, la mayoría de las mezclas contienen adiciones que constituyen una gran parte del material cementante en el concreto. Generalmente, estos materiales son subproductos de otros materiales o procesos de origen natural, los cuales pueden ser o no procesados antes de utilizarlos en los concretos.

Para el uso de las adiciones se deben cumplir ciertos requerimientos establecidos por norma, estos pueden ser utilizados individualmente o en combinaciones en la mezcla de concreto. Pueden ser agregados como un cemento que contenga la adición o como un ingrediente dosificado separadamente en la planta de concreto premezclado. (MRMCA, 2020)

### **1.6.1. Propiedades del concreto afectadas por adiciones**

#### **Tiempo de fraguado**

El tiempo de fraguado puede ser retardado debido a la implementación de elevados porcentajes de adiciones, lo que puede ser beneficioso en climas calientes, sin embargo, puede ser eliminado este retardo en climas muy fríos lo que conlleva a reducir los porcentajes de adiciones. (MRMCA, 2020)

#### **Resistencia**

Las mezclas de concreto establecen proporciones adecuadas para producir la resistencia requerida y la velocidad de ganancia de resistencia que sea necesaria para la aplicación. Sin embargo, al implementar las adiciones la velocidad de ganancia de resistencia puede ser inicialmente muy baja, pero en periodos de tiempo más largos logra presentar resistencias últimas más altas. (MRMCA, 2020)

#### **Durabilidad**

Se pueden utilizar las adiciones para reducir el calor asociado con la hidratación del cemento y reducir el potencial de fisuración térmica en elementos estructurales masivos. Esto debido a

que las adiciones cambian la microestructura del concreto y disminuyen su permeabilidad por lo que reducen la penetración de agua. Asimismo, la impermeabilidad del concreto reducirá varias formas de deterioro de este, tales como la corrosión del acero de refuerzo y el ataque químico. (MRMCA, 2020)

## 2. Contracción

La contracción del concreto es la reducción que experimenta el concreto durante los procesos de fraguado, este proceso genera un fenómeno el cual es producido por las altas pérdidas de humedad que se desarrollan durante la evaporación del exceso de agua de mezclado que es proporcionada para la elaboración de este.

Estrictamente hablando el fenómeno de la contracción se define como una deformación tridimensional, expresada habitualmente como una deformación lineal ya que se ha comprobado que en la mayoría de los elementos de concreto que están expuesto al ambiente, presentan una contracción mayor en su dimensión más grande con respecto a las demás dimensiones. (Diaz, s.f.)

Este fenómeno del concreto se puede ver afectado por diferentes variables como lo son:

- **Los agregados:** más conocidos como el esqueleto pétreo del concreto, son fundamentales para el desarrollo de la mezcla de concreto, ya que, cada mineral empleado en el diseño del material va a presentar un comportamiento particular debido a la estructura mineralógica que posee. Si estos agregados adicionados para la generación de la mezcla no son empleados de la manera correcta o no son adecuados, van a proporcionar una estructura porosa en el material por lo que se va a producir una retención de agua en la superficie y va a causar efectos de contracción. Asimismo, el agua restante de la matriz del concreto generará tensiones internas dentro de ella misma, logrando también proporcionar los mismos efectos de contracción dentro del material.

Sin embargo, en muchos casos se adicionan agregados alternativos para el diseño de la mezcla del concreto como por ejemplo los materiales derivados del canto rodado o materiales de ríos y quebradas, los cuales contienen altas cantidades de silicatos que al presentar propiedades de alta dureza va a proporcionar alta resistencia por lo que son casi impenetrables por el agua siendo un componente fundamental para las mezclas ya que cumple con el papel de restringir la contracción de la pasta de cemento.

- **Relación agua-cemento:** cómo se mencionó anteriormente, esta relación se define como la razón entre el contenido efectivo de agua el cual consiste en la diferencia del agua total presente en la mezcla seca y el agua absorbida por la mezcla, y el contenido de cemento en la masa fresca. La influencia de esta relación de agua-cemento presenta una relación directamente proporcional entre esta y la contracción presentada en la pasta debido a que a medida que aumenta dicha relación, mayores van a ser los efectos de contracción sobre la pasta.
- **Tamaño de elementos de concreto:** este factor es indirectamente proporcional a la contracción debido a que a medida que la magnitud de la contracción disminuye se va a generar un aumento en el volumen de los elementos de concreto.
- **Condiciones medio ambientales:** las propiedades del concreto están directamente relacionadas con el medio que rodea todos los procesos de elaboración de este, así como las condiciones que se presentan durante el vaciado las cuales cuentan con factores como la velocidad del viento, la humedad relativa y la temperatura, que están actuando sobre el material, y que, adicionadas a la temperatura del concreto, definirán el comportamiento final frente a la contracción de la mezcla ya que entre más altas son los factores el valor de la contracción será más bajo.

Cabe resaltar que la magnitud de la contracción depende del resultado de la humedad relativa y adicionalmente la velocidad a la que ocurre la contracción es modificada por el efecto de la temperatura. Es decir, a humedades relativas muy bajas y temperaturas muy elevadas el concreto se va a contraer más y con mayor rapidez.

- **Cantidad de refuerzo:** el concreto reforzado presenta mejores propiedades que el concreto simple debido a que este supera ciertas limitaciones mecánicas del material original, una de estas propiedades es la contracción debido a que el concreto reforzado tiende a una contracción menor que la del concreto simple debido a que el acero que este contiene está en función de la cantidad de refuerzo. La función del acero de refuerzo consiste en darle una rigidez interna al elemento que impide en cierta medida que el elemento sufra grandes cambios volumétricos.
- **Aditivos:** El uso de cierto tipo de aditivos tales como los acelerantes que contienen cloruro de calcio, sirven para acelerar el endurecimiento del concreto haciendo que su colocación también deba ser más rápida, incrementan la magnitud de la contracción hasta en un 50%; por otro lado, aditivos como los fluidificantes o reductores de agua no

parecen tener algún tipo de efecto sobre la contracción.

- **Tipo de cemento:** Dentro de los cinco tipos de cemento portland, el cemento portland tipo III el cual adquiere su máxima resistencia rápidamente, también se ha evidenciado que tiende a contraerse un 10% más que un cemento portland tipo I o un cemento modificado portland tipo II.

### **3. Tipos de contracción del concreto**

En este capítulo se expone una recopilación de las investigaciones, artículos, publicaciones y material científico más destacado relacionado con los tipos de contracción del concreto, a su vez estas investigaciones fueron agrupadas de acuerdo con el estado del concreto pasando de fresco a endurecido, como lo es la contracción autógena, plástica y de secado, los factores por las que se producen y los tratamientos para disminuir o evitar este fenómeno generado en el concreto.

#### **3.1. Contracción autógena**

La contracción autógena se caracteriza por ser el primer paso de la contracción total de un elemento de concreto, pues se inicia una vez se combina el agua, el cemento y los agregados pétreos. Este tipo de contracción también se denomina contracción por auto desecación y se debe principalmente a la hidratación del cemento. La contracción autógena involucra todos aquellos procesos internos dentro de la pasta de cemento y no agentes externos como la interacción con el medio ambiente.

Cuando el cemento entra en contacto con el agua, éste se combina químicamente en un proceso llamado hidratación, que es el proceso en el que se conforma el compuesto CSH (silicato de calcio hidratado), principal responsable de las propiedades mecánicas del concreto, este proceso químico involucra un cambio de volumen debido al agua que se absorbe y pasa a conformar parte de los productos de hidratación. (Giani , Navarrete, & Bustos, 2008), señalan que el orden de magnitud de la contracción autógena varía entre 50 y 100 micrones por metro., Sin embargo, este valor puede ser más grande para concretos con una menor relación agua cemento ya que al tener menos agua disponible para la hidratación se conforma un volumen

considerable de poros en la masa de concreto y consigo fuerzas capilares que pueden generar contracción.

El efecto de la contracción autógena toma mayor importancia en los concretos de alta resistencia (HPC), por sus siglas en inglés, puesto que éstos al conformarse con alta cantidad de productos cementantes y la menor relación agua cemento, ocurre el efecto mencionado anteriormente. Adicionalmente las solicitaciones que se requieren en un comportamiento de concreto de alta resistencia hacen que el diseño de la mezcla sencilla como se conoce normalmente no sea capaz de aportar la resistencia requerida, por lo cual es necesario adicionar uno o más compuestos extras como reemplazo parcial del cemento y/o aditivos que mejoren la mezcla. Además, los concretos HPC tienen una mayor cantidad de cemento que los concretos normales por lo cual la contracción autógena es mayor porque hay más pasta que se contrae.

### **3.1.1. Factores que afectan la contracción autógena**

- La principal variable que afecta la contracción autógena es la relación agua cemento, porque una pasta con alto contenido de cemento requiere más agua para el proceso de hidratación, esto conlleva a mayores fuerzas autoinducidas y por ende mayor contracción.
- El tipo de cemento que se utiliza en el concreto también tiene una influencia en la contracción autógena, esto se debe a que existen tipos de cemento con mayor generación de calor durante la hidratación debido a la composición química con la que está conformado.
- La gradación del agregado pétreo que se está usando en el concreto también influye en la contracción autógena, entre más porcentaje de agregado fino se esté usando mayor será la contracción. Entre mayor porcentaje de agregados gruesos se use menor será la contracción debido a que los agregados actúan como una restricción interna.

### **3.1.2. Antecedentes Contracción autógena**

Como se mencionó anteriormente, la contracción autógena es un problema muy ligado a la elaboración de concretos de alta resistencia, debido a las implicaciones que esto trae en la preparación de las mezclas, principalmente, por su baja relación agua cemento. Este fenómeno ha llevado a muchos investigadores a evaluar las posibles soluciones que se le puede dar al fenómeno de la contracción autógena, desde el momento de elaboración de la mezcla y la etapa de curado, de modo que esta contracción se pueda controlar, reduciendo así el potencial

agrietamiento que puedan sufrir los elementos de concreto además de problemas derivados de esto como la pérdida de resistencia y durabilidad.

La adición de compuestos puzolánicos como el humo de sílice, usado como reemplazo parcial del cemento, el uso de nuevos materiales empleados como agregados y aditivos especiales, han surgido como respuesta al problema de la contracción autógena. El comportamiento que tiene el humo de sílice como mitigador de la contracción autógena, bajo distintos métodos de curado, ha sido estudiado y puesto a prueba por *Mohammed Seddik y Ryoichi Sato (febrero 2010) Effect of Curing Methods on Autogenous Shrinkage and Self-Induced Stress of High-Performance Concrete.*

En su estudio, los investigadores evaluaron el efecto que tienen distintos métodos de curado en concretos de alta resistencia con la utilización de distintos aditivos, en la investigación se trataron distintos métodos de curado los cuales fueron;

La combinación de un aditivo anti-reducción (SRA) y un aditivo expansivo (EX), otro con un sistema de curado interno con la utilización de la cerámica porosa reciclada presaturada (PCCA) junto con aditivos SRA y EX y finalmente solo la incorporación del PCCA.

El ensayo realizado consistió en la conformación de 6 mezclas diferentes en las cuales se emplearon los distintos métodos de curado y aditivos mencionados previamente, dentro de las 6 mezclas se incluyeron 2 mezclas de control. La dosificación se hizo para que cumpliera una relación agua cemento de 0.15. ya que, “la efectividad de cada sistema de curado que pueda lograrse en tales condiciones (w/b muy bajo y HPC con SF) debería ser más eficiente y podría validarse fácilmente en condiciones convencionales y prácticas)” (Seddik, Sato, 2010 p.67). Las proporciones de las mezclas se presentan en la *tabla 2*.

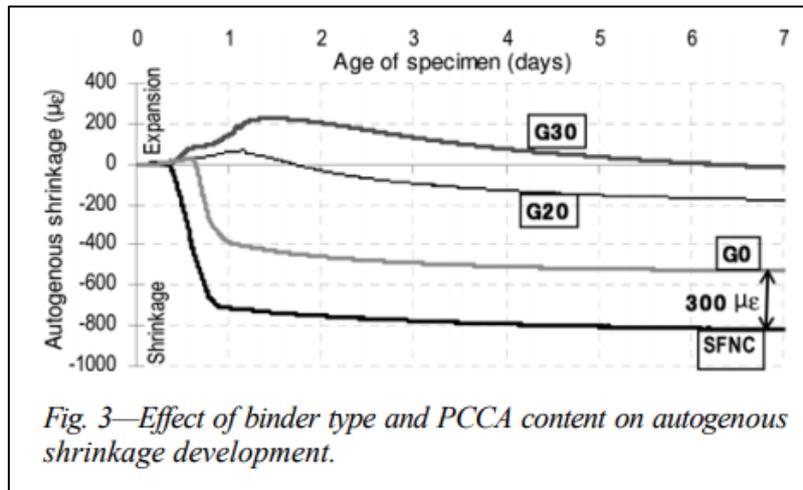
| Constituent,<br>kg/m <sup>3</sup> | Mixture designation |       |       |       |         |          |
|-----------------------------------|---------------------|-------|-------|-------|---------|----------|
|                                   | SFNC                | G0    | G20   | G30   | G0-EX-R | G20-EX-R |
| NC                                | 924                 | —     | —     | —     | —       | —        |
| SFLC                              | —                   | 1033  | 1033  | 1033  | 1018    | 1018     |
| SF                                | 109                 | 0     | 0     | 0     | 0       | 0        |
| EX                                | 0                   | 0     | 0     | 0     | 15      | 15       |
| Water                             | 155                 | 155   | 155   | 155   | 149     | 149      |
| NCA                               | 944                 | 944   | 745   | 652   | 944     | 745      |
| PCCA                              | 0                   | 0     | 145   | 213   | 0       | 145      |
| Sand                              | 445                 | 445   | 445   | 445   | 445     | 445      |
| AFA                               | 0.103               | 0.021 | 0.021 | 0.021 | 0.021   | 0.021    |
| HRWRA                             | 36.2                | 25.8  | 25.8  | 26.9  | 25.8    | 25.8     |
| SRA                               | 0                   | 0     | 0     | 0     | 6       | 6        |
| Slump flow,<br>mm                 | 430                 | 600   | 560   | 615   | 530     | 590      |
| Air, %                            | 2.5                 | 1.8   | 1.9   | 2.2   | 1.6     | 1.9      |

Note: AFA is anti-foaming agent; 1 kg/m<sup>3</sup> = 1.686 lb/yd<sup>3</sup>; and 1 mm = 0.0394 in.

Tabla 2: Seddick M, Sato R. (2010). Tabla de composiciones de la mezcla. [Tabla]. Recuperado de: ACI Materials Journal, title no. 107-M10.

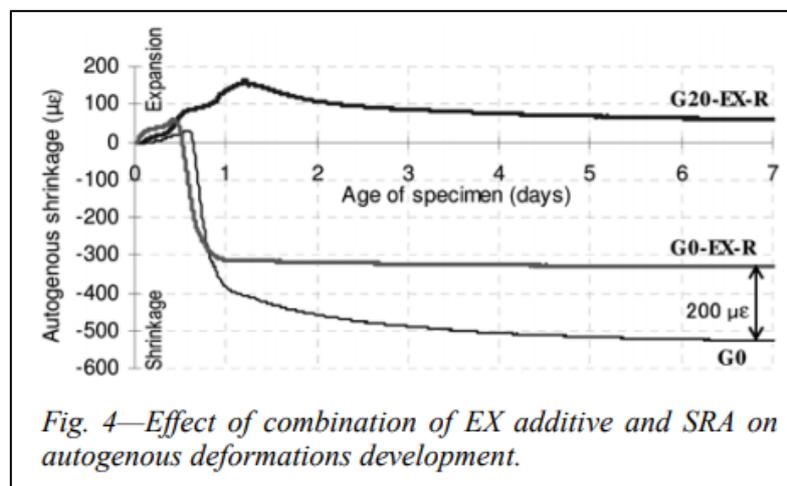
Los resultados de las mediciones de la contracción autógena se muestran en las *ilustraciones 1 a 3*, dónde se puede ver la deformación que sufrieron las probetas a lo largo del tiempo.

El primer resultado, *ilustración 1*, para evaluar la contracción autógena se muestra en los cementos de referencia (G0 y SFNC), se puede observar que el cemento normal, sin ningún método de curado ni aditivo fue el que más contracción autógena sufrió, llegando a poco más de 800 micro deformaciones. se observa como el tipo de conglomerante utilizado influye en la magnitud y el tiempo de desarrollo de la contracción autógena, gracias a que el cemento con alto contenido de belita genera un menor calor de hidratación, además el bajo contenido de C<sub>3</sub>A induce a una menor contracción autógena, también se puede observar que en ambos concretos la contracción autógena tiene significancia los primeros 3 días, ya que después de ese periodo, la contracción se estabilizó.



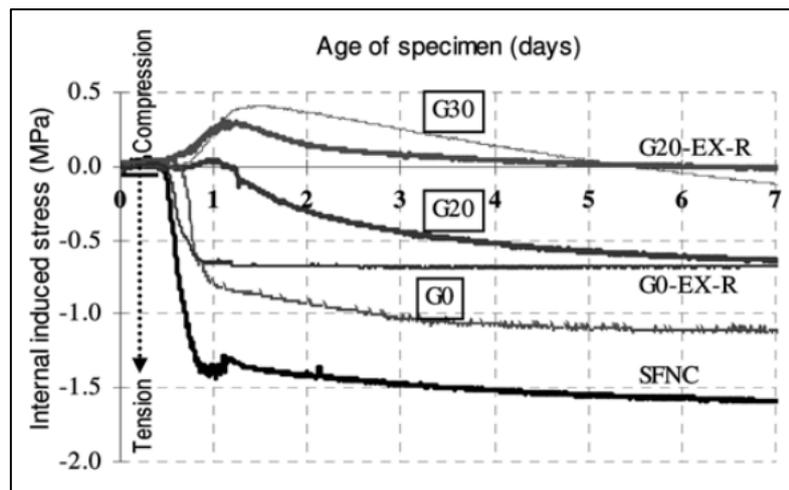
*Ilustración 1. Seddick M, Sato R. (2010). Efectos del uso del PCCA en la contracción autógena. [Ilustración]. Recuperado de: ACI Materials Journal, title no. 107-M10.*

En las probetas en las que se realizó el reemplazo parcial de agregado grueso por PCCA (*ilustración 2*), se puede observar que hay una reducción significativa en la contracción autógena respecto a la probeta de referencia, en términos de reducción el método más eficaz sin dudas fue la mezcla con 30% de PCCA, ya que como se puede observar logró reducir casi por completo la contracción autógena a los 7 días, sin embargo la incidencia que éste método tuvo sobre los esfuerzos autoinducidos en la probeta no fueron tan eficaces, en la (*ilustración 3*) se muestran los esfuerzos autoinducidos dentro de las probetas, dónde se puede observar que la mezcla G20-EX-R fue la que tuvo una menor generación de esfuerzos dentro de las probetas incluso más que la utilización de los agentes SRA y EX por sí solos y combinados sin PCCA.



*Ilustración 2: Seddick M, Sato R. (2010). Efectos del uso de EX y SRA en la contracción autógena. [Ilustración]. Recuperado de: ACI Materials Journal, title no. 107-M10.*

Las muestras en las que se usó el sistema combinado de agente anti-reducción (SRA) y agente expansivo (EX) con y sin remplazo del agregado grueso por PCCA como método de curado interno se muestran en la *ilustración 3*, se puede observar que la combinación de los agentes muestra una reducción del 60% de la contracción autógena respecto a la muestra de control G0, cuando a este sistema se le agregó el PCCA como método de curado interno, la muestra en vez de sufrir una contracción, se expandió llegando a un valor pico de 151 micro deformaciones, posteriormente comenzó a sufrir una contracción que, “se deba a la probable absorción del SRA por los productos de hidratación del cemento”. (Seddick y Sato 2010, p.70)



*Ilustración 3. Seddick M, Sato R. (2010). Esfuerzos autoinducidos dentro de las probetas de ensayo. [Ilustración]. Recuperado de: ACI Materials Journal, title no. 107-M10.*

Finalmente, el estudio logró demostrar que la combinación de los agentes reductores de contracción, como los agentes expansivos usados simultáneamente, brindan una alta eficiencia para reducir la contracción autógena, y el uso del PCCA como reemplazo parcial del agregado grueso, como método de curado interno, gracias a su porosidad y alta retención de agua lograron aún más, tener un efecto positivo, tanto en la reducción de la contracción autógena, la reducción de los esfuerzos autoinducidos e incluso en la resistencia de los concretos HPC, así mismo se demostró que el uso del PCCA sólo, logra tener un efecto positivo en la reducción de la contracción autógena, sin embargo en los esfuerzos autoinducidos no tiene el mismo efecto.

También se resalta que una nueva proporción de PCCA junto con una combinación de SRA y EX lograrían llegar a controlar por completo la contracción autógena, con un mayor control en la generación de esfuerzos autoinducidos e incluso un aumento en la resistencia, hecho que hace que el concreto HPC tenga una baja sensibilidad al agrietamiento y por ende una mayor durabilidad.

Seddick y Sato (2010), afirman: “con respecto a la efectividad de la reducción de la contracción en el concreto, el PCCA parece ser una técnica de curado interno y podría ser un valioso material alternativo para el uso de LWA convencional”. (pg. 72). El LWA, agregados ligeros prehumedecidos, es otra técnica de curado interno del concreto, que se menciona más adelante.

### **Resistencia a la contracción química y al agrietamiento de concreto de metacaolín**

(A. Markandeya, et al 2019 *Chemical Shrinkage and Cracking Resilience of Metakaolin Concrete*). Llevaron cabo una investigación sobre el agrietamiento y la contracción autógena de mezclas con adición de metacaolín, adicionalmente midió la efectividad del uso de agregados ligeros prehumedecidos LWA, por sus siglas en inglés, como método de curado interno en el proceso de curado de la mezcla.

En la metodología de ensayo se realizaron 3 probetas para medir la contracción autógena, una probeta de control, una con 10 y otra con 20 % de reemplazo de cemento por MK (metacaolín), reemplazo en masa, con el fin de observar el comportamiento de la contracción autógena a lo largo del periodo de curado. En la *tabla 3*, se muestran las dosificaciones de las mezclas.

| Material  | CN    | CN-LWA | 10MK  | 10MK-LWA |
|---|-------|--------|-------|----------|
| Cement, kg  | 395   | 395    | 355   | 355      |
| Metakaolin, kg                                    | —     | —      | 40    | 40       |
| Coarse aggregate<br>No. 57 limestone<br>(SSD), kg | 1047  | 1047   | 1047  | 1047     |
| Fine aggregate<br>(SSD), kg                       | 696   | 375    | 696   | 317      |
| Lightweight<br>aggregate (SSD), kg                | —     | 203    | —     | 239      |
| HRWR, (mL/100 kg)                                 | 365   | 489    | 730   | 619      |
| AEA (mL/100 kg)                                   | 6.5   | 6.5    | 6.5   | 6.5      |
| w/b   | 0.385 | 0.385  | 0.385 | 0.385    |

Note: 1 m<sup>3</sup> = 1.3 yd<sup>3</sup>; 1 kg = 2.2 lb; 1 mL = 0.0338 fl. oz.

Tabla 3. Markandeya et al(2019). Composiciones de las mezclas para evaluar la contracción autogena [Ilustración].  
Recuperado de: ACI Materials Journal, title no. 116-M52.

Las mezclas se dosificaron de tal modo que tuvieran una relación agua cemento de 0.385 y las muestras en las que se usó el LWA, se logró determinar que la adición de este material como método de curado interno lograba reducir en gran medida los esfuerzos autoinducidos dentro de las mezclas, como se puede observar en la *ilustración 5* este resultado mostró que la relación tensión -resistencia bajó un 48% y la temperatura disminuyó en 7.5°C, hecho que resulta favorable en las mezclas ya que disminuye la tendencia de agrietamiento en las mezclas.

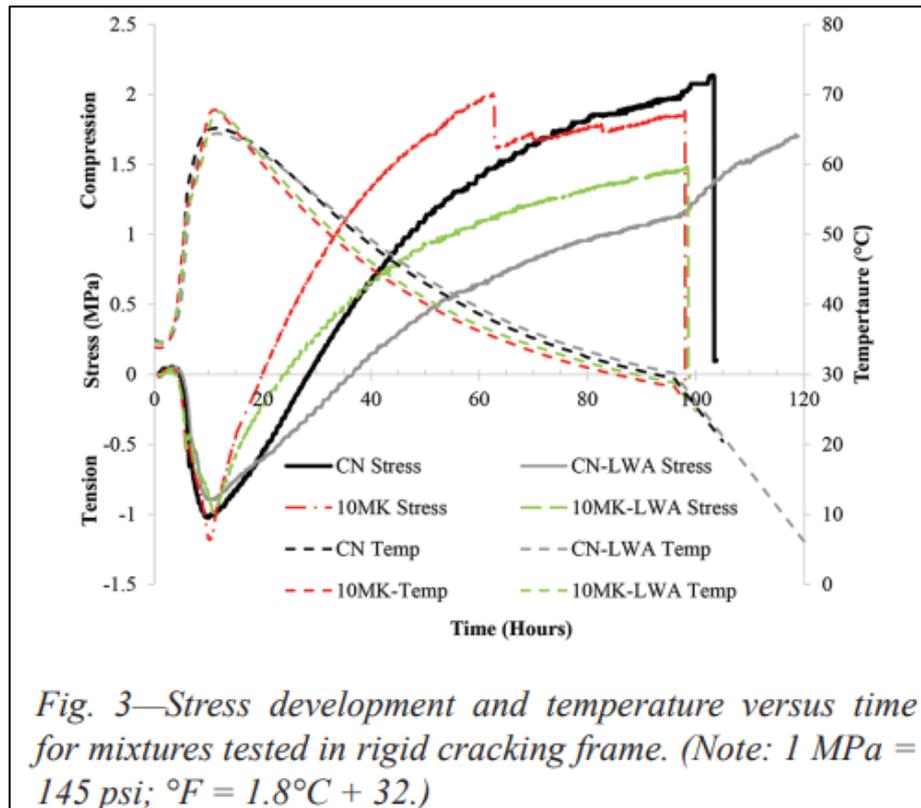


Ilustración 4: Markandeya et al(2019). Resultados de la medición de temperatura y esfuerzos autoinducidos. [Ilustración].  
Recuperado de: ACI Materials Journal, title no. 116-M52.

El uso de aditivos o materiales como reemplazo de los agregados no han sido las únicas alternativas que han surgido para mitigar la contracción y los efectos negativos que esto tiene sobre la conformación de estructuras de concreto, la adición de nanofibras ha sido también una alternativa estudiada que ayuda a mitigar estos efectos, además de ayudar a tener un concreto con mejor desempeño.

### **Efecto de las nanofibras de carbono sobre la contracción autógena y agrietamiento por contracción de nanocompuestos cementosos**

La adición de nanofibras de carbono CNF en el concreto fue estudiada por (Gao Y, Corr D, Konsta-Gdoutos M, Shah S 2018 *Effect of Carbon Nanofibers on Autogenous Shrinkage and Shrinkage Cracking of Cementitious Nanocomposites*) en morteros de cemento ha sido el objeto de estudio de Yuan Gao et al. (2018) en donde estudian la influencia del CNF sobre la contracción autógena y el agrietamiento en morteros de cemento.

El estudio consistió en la conformación de distintas muestras de mortero y pasta de cemento reforzado con CFN así como las muestras de referencia (sin CFN) todas con la adición de reductor de agua de alto rango (HRWRA, por sus siglas en ingles), para garantizar una buena

dispersión del CNF ya que es de naturaleza hidrofóbica, las proporciones de las mezclas se muestran en la *tabla 3*, todas la muestras se hicieron para cumplir con una relación a/c de 0.4 y una dosificación de CNF de 0.08% por peso de cemento.

| Mixture      | w/c  | s/c  | CNF (wt% of PC) | HRWRA (wt% of PC) | Fiber count           |
|--------------|------|------|-----------------|-------------------|-----------------------|
| Plain paste  | 0.40 | 0    | 0               | 0.32              | 0                     |
| Paste + CNF  | 0.40 | 0    | 0.08            | 0.32              | $3.49 \times 10^{10}$ |
| Plain mortar | 0.40 | 2.75 | 0               | 0.32              | 0                     |
| Mortar + CNF | 0.40 | 2.75 | 0.08            | 0.32              | $1.41 \times 10^{10}$ |
| Plain HPM    | 0.34 | 1.75 | 0               | 0.2               | 0                     |
| HPM + CNF    | 0.34 | 1.75 | 0.05            | 0.2               | $1.19 \times 10^{10}$ |

Tabla 4: Yuan Gao et al. Composiciones de las mezclas ensayadas. [Tabla]. Recuperado de: ACI Materials Journal, title no. 115.M55.

Para medir la contracción de las mezclas realizadas, se utilizó un tubo hueco de aproximadamente 43 cm de largo, el cual tiene un indicador digital electrónico conectado, que permite tomar las lecturas cada 30 segundos en un computador, la mezcla se introduce dentro del tubo y se vibra para sacar las inclusiones de aire, luego se sella en ambos extremos para evitar la pérdida de agua en la muestra, la toma de lecturas dura 3 días,

Los resultados de los ensayos se pueden ver en las *ilustraciones 8, 9 y 10*, donde se observa la contracción que sufre cada muestra reforzada con CNF respecto a su muestra de referencia (sin refuerzo de CNF)

En estos resultados se puede observar que la adición de CNF, logró reducir en gran medida la contracción autógena en las mezclas, el mortero simple es el que exhibe la mayor contracción autógena al final del ensayo, posiblemente gracias a su contenido puro de cemento y en la mezcla de mortero es menor la contracción autógena ya que la arena se comporta como una restricción de contracción en la matriz de cemento.

Este estudio logro demostrar que la adición de una nanofibra, en este caso carbono (CNF), logró reducir la contracción autógena que sufre el cemento en el proceso de curado y como se ha visto anteriormente, es indispensable controlar este fenómeno en la conformación de elementos de concreto, en especial, de alta resistencia, este estudio demuestra la existencia y efectividad de otros métodos para controlar el fenómeno, hecho que brinda una amplia gama de soluciones en conjunto con las anteriores, que permiten versatilidad según la disponibilidad

de materiales que se tenga en el sitio, además brinda una nueva ventana hacia métodos nuevos y posiblemente más efectivos.

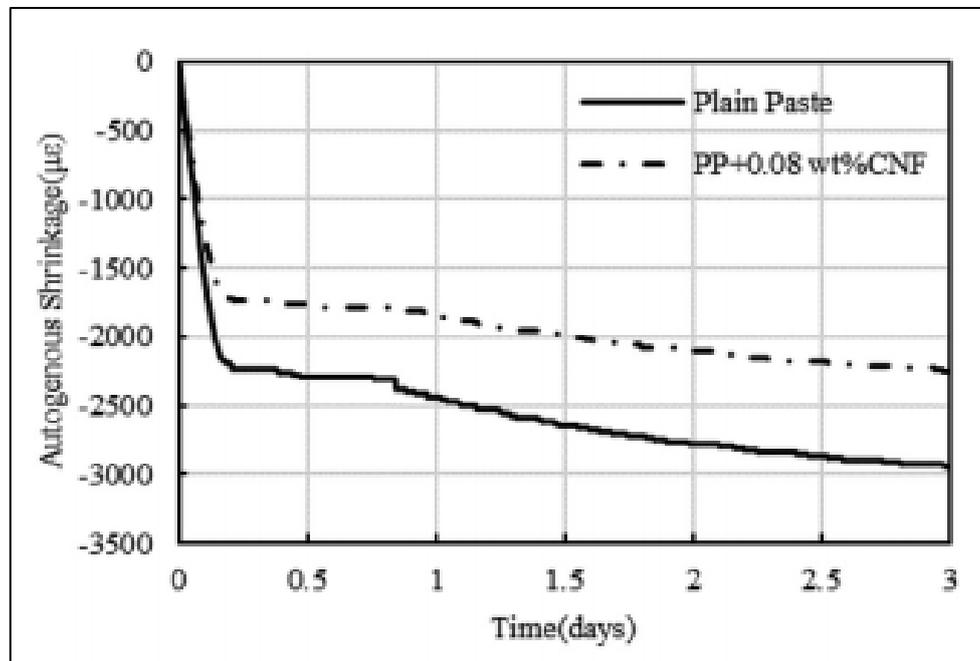


Ilustración 5: Resultados de contracción en la pasta de cemento. [Tabla]. Recuperado de: ACI Materials Journal, title no. 115.M55.

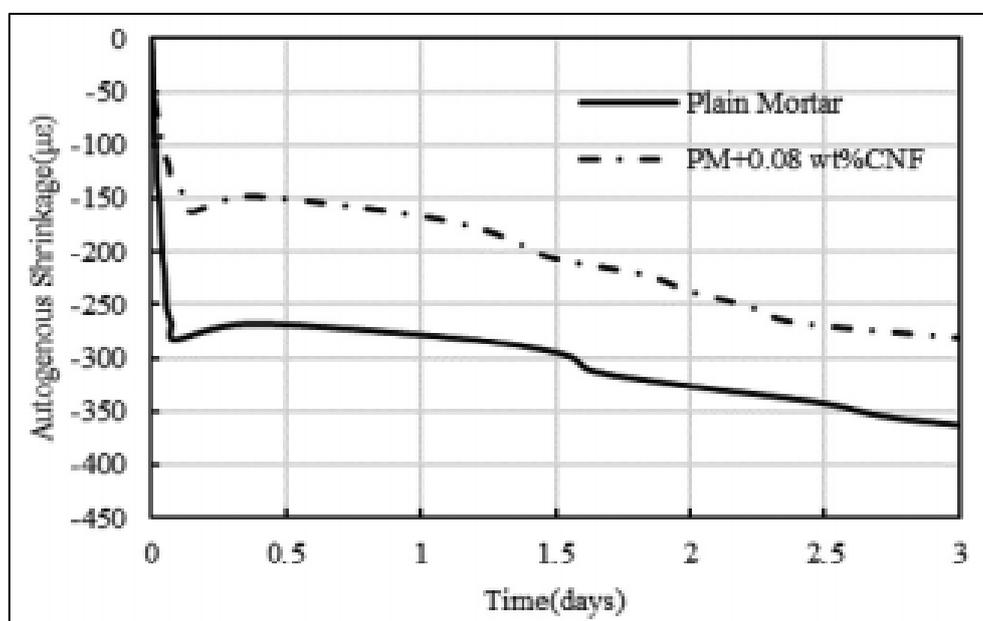


Ilustración 6: Resultados de contracción en el mortero. [Tabla]. Recuperado de: ACI Materials Journal, title no. 115.M55.

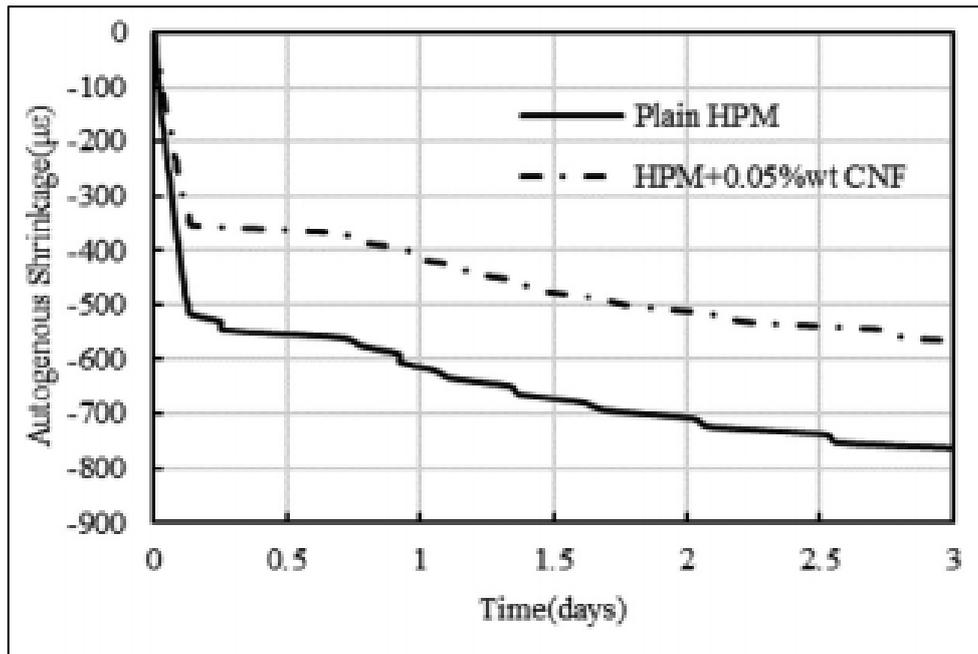


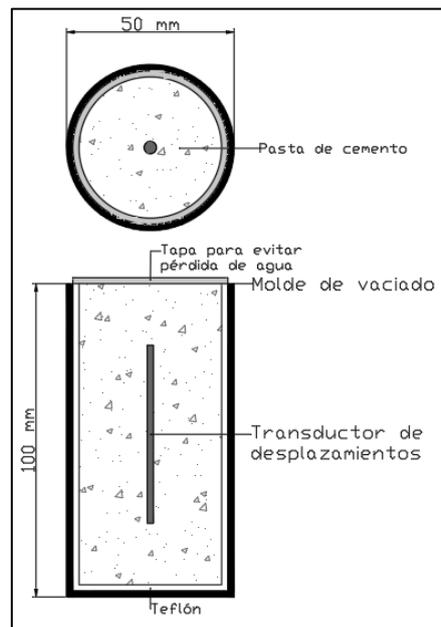
Ilustración 7: Resultados de contracción en el mortero de alta resistencia. [Tabla]. Recuperado de: *ACI Materials Journal*, title no. 115.M55.

### 3.1.3. Medición de la contracción autógena

La medición de la contracción autógena se basa en medir el cambio volumétrico o la variación longitudinal en una probeta de concreto después de ser mezclada y vaciada en un molde.

El primer método para medir el cambio volumétrico consiste en vaciar la muestra de concreto en un globo de goma y sumergirlo en agua, medir la contracción de la muestra de concreto consiste pues, en medir la reducción del volumen de agua en el recipiente. El problema de este método es que la presión hidrostática del fluido sobre el globo puede producir una contracción adicional.

El segundo método para medir la contracción autógena consiste en la implementación de un transductor de desplazamientos introducido en el centro de una probeta recién vaciada, en un molde especial adecuado para esta medición. El molde en sus paredes internas está recubierto de teflón que reduce la fricción entre la masa de concreto y las paredes del molde y en la parte superior está dispuesto de una lámina que impide la pérdida de agua de la muestra. (*Ilustración 1*). El método del transductor interno de desplazamientos es comúnmente el más usado ya que permite conocer las deformaciones del elemento de concreto desde el momento que es vaciado y no se ve afectado por agentes internos como la presión de agua como en el método de inmersión.



*Ilustración 8. Esquema de medición con transductor*

### **3.1.4. Tratamientos para la reducción de la contracción autógena**

- Asegurarse que haya un aporte externo de agua que compense la reducción del volumen por el agua absorbida y se reduzcan las fuerzas internas, esto se puede hacer mediante los agregados saturados como métodos de curado interno en el concreto.
- Controlar la temperatura durante las primeras horas de endurecimiento del concreto ya que el calor generado en el proceso de hidratación influye directamente en la contracción del concreto.
- La incorporación de nanofibras en las mezclas también ha demostrado ser efectivo para controlar la contracción autógena en las pastas de cemento.
- El uso de aditivos como el EX y el SRA solos y en conjunto también demostró que ayuda a mitigar la contracción autógena, además su combinación un sistema de curado interno con agregados presaturados que incorporen agua en el proceso de curado, también demostró ser una forma efectiva de controlar la contracción autógena.

### 3.2. Contracción plástica

Uno de los fenómenos más frecuentes que se presenta sobre la superficie del concreto, es el de la contracción plástica el cual produce fisuras superficiales en la estructura de concreto.

Esta fisuración puede afectar la capacidad de servicio, calidad, durabilidad o estética de una estructura de concreto, y son por tanto de gran importancia económica en la industria de la construcción. Tales fisuras pueden ocurrir incluso cuando se han tomado las precauciones estándar para prevenir su formación.

Este tipo de contracción se presenta cuando el concreto está sujeto a una pérdida muy rápida de humedad generada inmediatamente después de haber colocado la capa de material, mientras este permanece en estado plástico. Este comportamiento se presenta generalmente sobre la superficie expuesta a condiciones climáticas desfavorables como en exteriores.

Mientras la pasta de cemento se encuentra en estado semi plástico y la exudación ha terminado, la evaporación del agua exudada seca la superficie causando la contracción, ya que se excede la capacidad de deformación de la superficie de concreto y causa las fisuras propias de la contracción plástica. (Grupo Polpaico, 2007)

Asimismo, este tipo de fisuras es generado cuando la velocidad de evaporación es mucho mayor que la velocidad de exudación del agua contenida dentro de la pasta de concreto, dicha evaporación va a producir una gran pérdida de volumen en la superficie con respecto al resto de masa del concreto, la diferencia de estos volúmenes va a producir una contracción superficial sobre el concreto por lo que se van a generar tensiones y como este material se encuentra en estado fresco, no va a ser capaz de resistir dichas fuerzas de tensión por lo que se va a tender a fallar respecto a estas y se van a desarrollar las fisuras sobre la superficie del concreto.

En la *ilustración 10*. Se puede observar factores como la temperatura, la humedad relativa, la temperatura del concreto y la velocidad del viento que pueden modificar la mezcla generando en ella fisuras a la hora del secado. Analizando la gráfica se puede notar que a medida que la temperatura del aire es igual de baja a la del concreto y la humedad relativa, la pasta va a tender a secarse con mayor rapidez por lo que el potencial de la fisuración va a aumentar debido a que se van a provocar altos niveles de evaporación superficial y altas pérdidas de agua antes de que

el concreto haya fraguado. Sin embargo, si la temperatura del aire aumenta es decir cuando se está en climas más cálidos, la temperatura del concreto va a aumentar logrando con esto disminuir la rapidez de secado por lo que habrá una menor aparición de fisuras sobre la pasta de concreto.

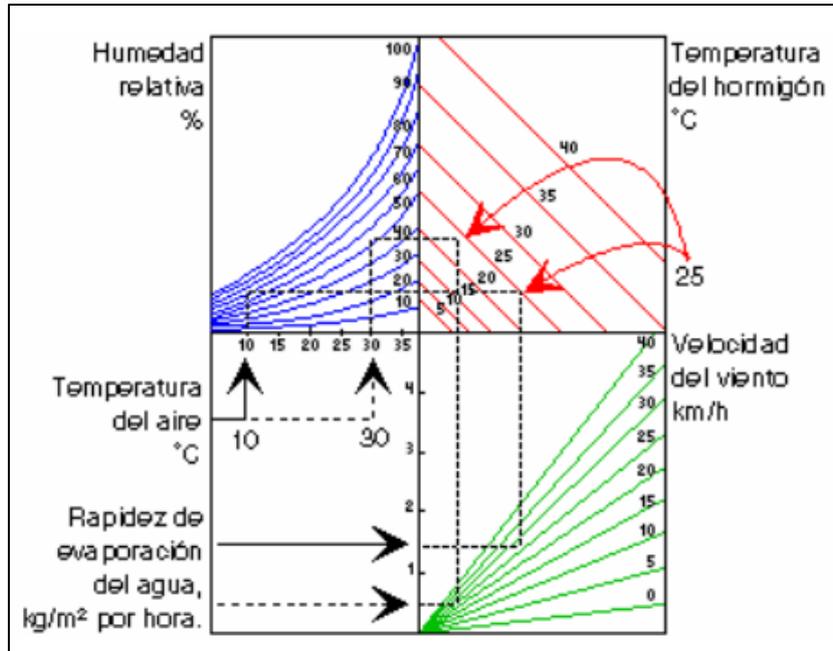
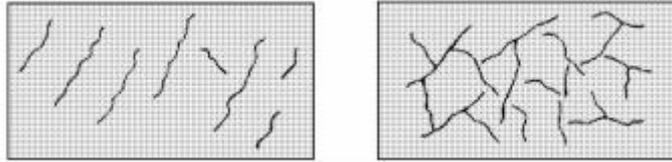


Ilustración 9. Factores que inciden en la contracción plástica. Fuente: <http://www.polpaicoconexion.cl/uploads/docXobra/pdf200711213221.pdf>.

Por lo general, este tipo de contracción va a presentar fisuras con una profundidad de 2 mm a 6 mm y de 10 cm a 3 m de longitud orientadas con la dirección del viento y paralelas entre sí, además cuentan con un espaciamiento entre 30 cm a 90 cm desarrolladas fundamentalmente en superficies horizontales.

Debido a que estas fisuras son superficiales, se puede formar entre ellas un patrón poligonal o parecer que están alineadas paralelamente entre ellas, teniendo en cuenta que presentan anchos muy grandes, y su longitud y separación es mínima. Ilustración 11.



*Ilustración 10. Fisuras por contracción plástica. Fuente:*  
<http://www.polpaicoconexion.cl/uploads/docXobra/pdf200711213221.pdf>

### **3.2.1. Factores que afectan a la contracción plástica**

Las fisuras generadas por la contracción plástica en muy pocas ocasiones afectan la resistencia y durabilidad de las estructuras de concreto. Sin embargo, si a través de estas fisuras ingresan sustancias nocivas para la mezcla pueden afectar el desempeño de la estructura disminuyendo su durabilidad. Es por esta razón por lo que se hace necesario controlar, evaluar y evitar la aparición de fisuras por contracción plástica para lograr estructuras más durables que logren cumplir un ciclo de servicio aceptable con el menor costo de mantenimiento.

Para reducir la contracción plástica se deben controlar los siguientes factores de generación de fisuras para este tipo de contracción:

1. Controlar la rápida pérdida de agua de la superficie de concreto.
2. Evaluar las condiciones críticas cuando la velocidad de evaporación de la humedad superficial sobrepasa la tasa de exudación del agua.
3. Tomar en consideración factores como la velocidad del viento, la humedad relativa, las temperaturas ambientales y del concreto, para que no se generen altas tasas de evaporación incrementando la posibilidad de contracciones plásticas.

### **3.2.2. Antecedentes**

El estudio de la fisuración por contracción plástica es complejo debido a las propiedades del material que determinan la formación de estas fisuras. Tales propiedades dependen principalmente del tiempo las cuales cambian rápidamente como lo son: la velocidad a la que se pierde agua del concreto en respuesta a condiciones de evaporación; el grado en que la pérdida de agua resulta en una reducción del volumen; la consistencia o rigidez de la mezcla; y el desarrollo y la capacidad de tensión del material.

## **Influencia de las proporciones y operaciones de la construcción en el desarrollo de fisuras por contracción plástica**

El estudio realizado por (Shaeles & Hover, 1988) parte de la simulación de fisuración realizada por el método de Kraai, en el que se investigó sobre la influencia de las proporciones y las operaciones efectuadas en la construcción que generan el desarrollo de fisuras por contracción plástica. Como ya se sabe existen varios métodos empleados en obra para prevenir o reducir la fisuración sobre la superficie de las mezclas como: el uso de rociadores de niebla, corta vientos o una reprogramación de la colocación de concreto hasta que las condiciones ambientales sean lo más favorables posibles para que no se desarrolle la contracción.

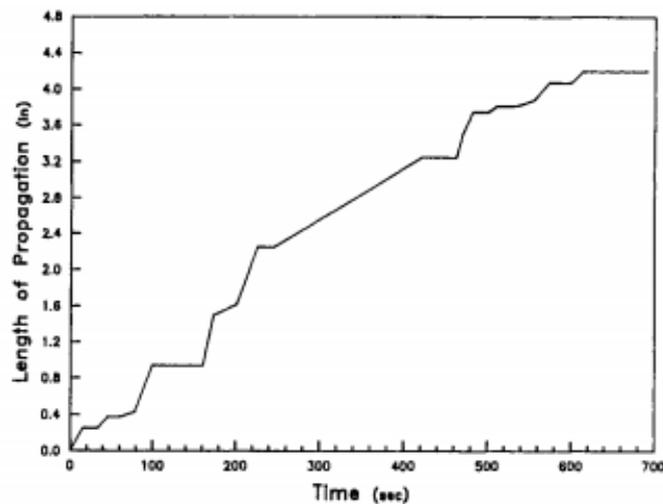
A pesar de esto, se desarrolló una investigación con el fin de evaluar el efecto de las fibras en la reducción de la fisuración por contracción plástica en losas de concreto, en este procedimiento se evaluaron dos losas expuestas a condiciones ambientales idénticas, al igual que su humedad relativa y velocidad del viento, estos factores fueron controlados simulando condiciones de construcción de climas cálidos. Sin embargo, para cada una de las muestras se varió su composición de la mezcla (relación agua – cemento y relación agua-arena) así como la manipulación de estas.

La mezcla del cemento y la arena se hizo primero en seco durante 2 minutos, seguido de 5 minutos adicionales de mezcla después de agregar agua. Durante los siguientes 15 min, se determinó la consistencia en la mesa de flujo (ASTM C 230 “Especificación estándar para la tabla de flujo para uso en ensayos de cemento hidráulico”). La mezcla se colocó y niveló con una regla de madera humedecida. No se aplicó un acabado posterior de la superficie, tratamiento o procedimiento de curado. Los ventiladores para el ensayo se encendieron 30 minutos después del comienzo de la mezcla.

Una vez terminado el ensayo, se logró observar que la consistencia y temperatura del mortero si influye en el momento en que aparecen las primeras fisuras y en el intervalo de tiempo durante el cual continúa dicha fisuración. Asimismo, el uso de mezclas más rígidas y temperaturas del aire más altas generó la aparición temprana de las fisuras y una disminución en la duración del período durante el cual se produjeron dichas fisuras.

Se obtuvo que el tiempo en que aparecieron las fisuras fue de tan solo 45 minutos después de la exposición al viento, seguido de un intervalo de sólo 60 minutos hasta que las fisuras cesaron para mezclas rígidas y temperaturas del aire superiores a 29 °C. Sin embargo, para mezclas fluidas fundidas en temperaturas del aire inferiores a 26 °C, las primeras fisuras ocurrieron 100

minutos después de la exposición al viento, y la fisuración continuó durante intervalos de hasta 150 min.



*Ilustración 11. Gráfica de la longitud de la fisura vs. de tiempo para un espécimen representativo. Fuente: Revista de materiales ACI.*

### **Aplicación de fibras de polipropileno fibrilado para restricción de fisuras por contracción plástica**

La investigación realizada por (Bayasi & McIntyre, 2002) tuvo como objetivo analizar los efectos de las fibras de polipropileno fibrilado sobre las mezclas de concreto para disminuir las contracciones que se generan sobre la superficie del concreto. Las fibras tienen la función de frenar las fisuras al promover la retención de agua y aumentar la capacidad de tracción de las mezclas de concreto.

Este procedimiento se realizó a partir de la prueba de agrietamiento por el método de Kraai, para el que se realizaron dos muestras, con fibras y sin fibras, sometidas a condiciones climáticas uniformes (temperatura, humedad y velocidad de viento). Una vez colocada la muestra sobre el molde, se enrasó la superficie del concreto y se aplicó flotación manual para que la losa tuviera un aspecto denso. Se midió la fisuración por contracción plástica 5 horas después de haber colocado la muestra sobre el molde, así como la tasa de evaporación de la superficie de agua.

Los investigadores lograron demostrar en este estudio que el uso de las fibras de polipropileno fibrilado reduce el volumen de la contracción en aproximadamente un 50% comparado con los resultados obtenidos por la losa sin fibras, ya que las partículas de agregado grueso tendían a

permanecer más cerca de la superficie, dando como resultado una menor exudación en la losa de concreto. Asimismo, se logró reducir el tiempo de fraguado en aproximadamente un 10% para el ajuste inicial y un 25% para el ajuste final; La tasa de evaporación del agua de concreto fresco se redujo en aproximadamente 10 a 15% como resultado de la aplicación de fibras.

### **Durabilidad del concreto modificado con látex mezclado con un agente reductor de contracción para pavimento de cubierta de Puente**

(Lee & Kim, 2018) exponen en su artículo la viabilidad de aplicar un agente reductor de contracción para reducir las fisuras por contracción plástica a una edad temprana del concreto, asegurando la durabilidad sin afectar las propiedades en estado fresco y endurecido del concreto modificado con látex.

Con el fin de evaluar las propiedades del concreto modificado con látex mezclado con el agente reductor de la contracción, se revisó previamente la proporción aplicada en la mezcla del concreto de agente reductor utilizado en un concreto ordinario y se decidieron las relaciones que se iban a aplicar en la mezcla (0, 1.0, 2.0, 3.0, 5.0%) en comparación con el peso del aglutinante.

Una vez obtenida la proporción, se realizaron diversos estudios sobre los especímenes respecto a la resistencia y rendimiento de la mezcla frente a el comportamiento de la contracción, sin embargo, los resultados más relevantes se generaron sobre el estudio del rendimiento de durabilidad del concreto modificado con látex respecto al cambio de longitud del concreto. Se logra demostrar que la mezcla simple sin el agente reductor de contracción produce una contracción más grande, y la contracción más pequeña se presentó cuando se mezcló con el agente reductor de la contracción en una cantidad de 0.3%.

Las fisuras se observaron visualmente a través del monitoreo hasta la edad de 56 días y como resultado del experimento, no se encontró ninguna fisura en la losa, lo que indica que se confirma el rendimiento del agente reductor de la contracción.



*Ilustración 12. Evaluación de la resistencia a las fisuras en campo. a) después de la colocación y b) después de 56 días.*

Como se pudo ver con anterioridad, se logró demostrar que el uso de reductores de contracción sobre la mezcla reduce la tensión capilar durante el secado, por tanto, presenta una reducción considerable de la contracción y fisuración producidas sobre la superficie (Park et al. 2013; Qian et al. 2006). Dichos resultados se obtuvieron a partir del análisis de las propiedades mecánicas y el rendimiento de durabilidad del concreto para cada proporción de mezcla de agente reductor de contracción.

### **Efecto de los aditivos sobre el mecanismo de fisuras por contracción plástica en Concreto autocosolidable**

(Sayahi, Emborg, Hedlund, & Cwirzen, 2020) publicaron un artículo basado en el estudio del efecto producido por los aditivos sobre la mezcla de concreto, como el retardador, estabilizador, agente incorporador de aire y aditivo reductor de la contracción sobre las fisuras por contracción plástica en concreto autoconsolidante.

Para desarrollar este estudio, se elaboraron mezclas con cemento portland y se midió la tendencia a la fisuración de acuerdo con el método de la prueba de anillo, destinado para determinar la influencia de los constituyentes de la mezcla en el potencial de fisuración del concreto fresco. Se elaboraron tres moldes idénticos, cada uno con dos anillos concéntricos de acero, soldados a las paredes laterales interiores de los anillos, proporcionando puntos de iniciación de fisuras. Después del vaciado del concreto, los moldes se cubrieron con un embudo de aire transparente unido a un ventilador de succión, generando un viento de  $8 \pm 0,5$  m/s de velocidad. La superficie de concreto se inspeccionó visualmente cada 30 minutos para determinar el momento en que comenzaron a desarrollarse las fisuras.

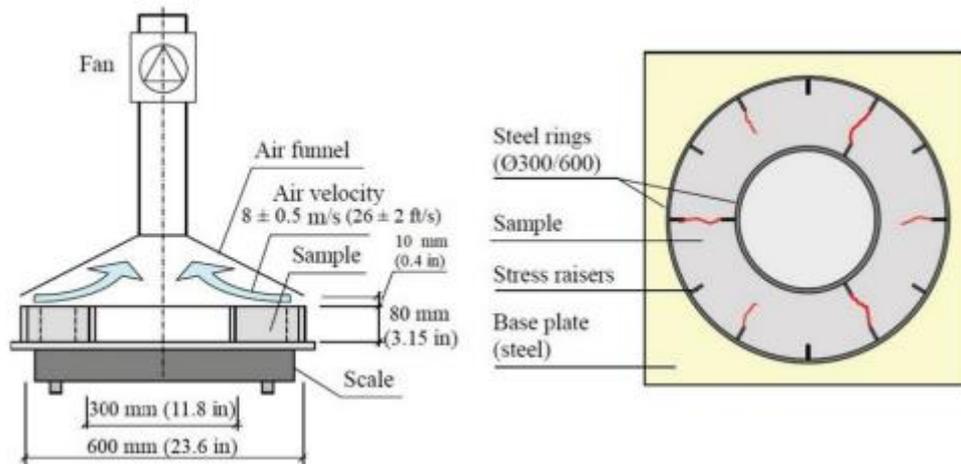


Ilustración 13. Configuración del método de ensayo del anillo para determinar la tendencia al agrietamiento por encogimiento del plástico, basado en Löfgren et al

Una vez desarrollado el ensayo, se analizó el efecto de los aditivos sobre de la mezcla y se obtuvo que el acelerador aumentó la tendencia a la fisuración, la tasa de acumulación de presión capilar y la contracción horizontal, mientras que la evaporación y el asentamiento se redujeron y se acortó el período de inactividad. Asimismo, el estabilizador retrasó la contracción horizontal, redujo la tendencia al agrietamiento y disminuyó la evaporación acumulada. Adicionalmente, al aumentar la viscosidad del fluido de los poros, el estabilizador disminuyó la permeabilidad y la tasa de acumulación de presión capilar.

A pesar del aumento del área de fisuras observadas después de agregar el retardador, el tiempo de inicio de la fisura se retrasó. Además, el retardador disminuyó la tasa de acumulación de presión capilar y aumentó el asentamiento. Por último, se determinó que la contracción horizontal continuó durante más tiempo, ya que el período de inactividad fue significativamente prolongado.

### 3.2.3. Medición de la contracción plástica

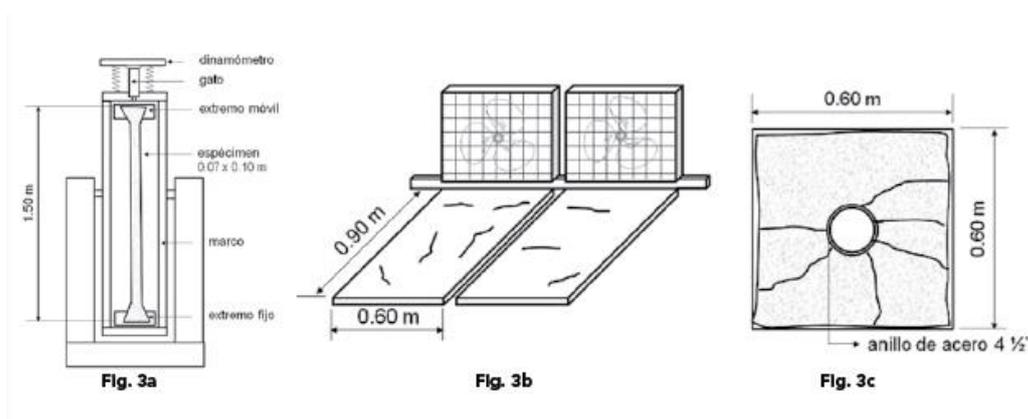
Existen varias técnicas para estudiar la fisuración por contracción plástica inducida en el concreto. Uno de estos métodos es la prueba de panel rectangular ASTM C1579 (Standard test method for evaluating plastic shrinkage cracking of reinforced concrete using a steel form insert) el cual consiste en someter paneles rectangulares de concreto a velocidades de viento de 4 m/s en una cámara de condiciones constantes de humedad (Humedad relativa del 30 %) y temperatura (36 °C). El parámetro de mayor importancia es la velocidad de evaporación del agua, que se debe mantener en un valor mínimo de 1 kg/m<sup>2</sup>/h para asegurar la generación de

la fisura. La prueba termina cuando se completa el fraguado final del concreto, que se determina de acuerdo con la ASTM C403, sin embargo, el espesor de fisura final se determina a las 24 horas de iniciado el mezclado. (Aire, 2011)

Otro de los métodos para medir la contracción plástica es el método de prueba del anillo presentado en el ACI 544.2R (Measurement of properties of fiber reinforced concrete). La prueba consiste en moldear una muestra de concreto entre dos anillos metálicos para formar un anillo de concreto de 15 cm de espesor y 8 cm de altura. La mezcla de concreto se moldea en una sola capa y la compactación se hace sobre una mesa de vibrado. Todo el conjunto se somete a un flujo de aire constante (4 m/s) en un ambiente controlado de humedad (40% de Humedad relativa) y temperatura (20° C). (Aire, 2011)

Por último, se presenta el método de ensayo de Kraai es un ensayo de resistencia climática a la fisuración destinada a materiales de construcción. El ensayo consiste en la realización de un curado por secado superficial acelerado a las probetas, con el fin de crear la retracción plástica de los materiales constituyentes.

El ensayo se realiza en una cámara climodinámica capaz de generar una velocidad de aire uniforme y regulable, sobre toda la superficie longitudinal de las probetas, no menor de 4,7 m/s, de tal manera que permita mantener un nivel de evaporación de 1kg/m<sup>2</sup>h y deberá de estar dotada de sensores de temperatura (exactitud de 0,5°C), humedad relativa (exactitud de 1%HR) y velocidad de aire (exactitud de 1m/s), colocados a 100±5 mm sobre cada una de las probetas. Desde que comienza la prueba y a intervalos de 30 minutos se deben registrar automáticamente los valores de los tres parámetros mencionados. (CCI Control de Calidad, s.f.)



*Ilustración 14. Tipos de espécimen de ensayo de contracción plástica. Fuente:  
<http://www.imcyc.com/revistacyt/dic11/arttecnologia.html>*

### **3.2.4. Tratamiento**

Si sobre el concreto se generan fisuras debido a la contracción plástica se van a presentar diferentes tipos de tratamientos para casos especiales con lo que se pretende lograr disminuirlas y que los elementos no produzcan daños futuros.

1. Si las fisuras por contracción plástica se generan durante el acabado final, el operario puede cerrarlas volviendo a rellenar dichas fisuras presentes en la superficie, con la mezcla de concreto.
2. Si las fisuras se quieren reparar cuando ya el concreto ha fraguado, las cuales corresponden a fisuras superficiales se deben utilizar sistemas de base de resina bajos en contenidos sólidos y de baja viscosidad.
3. Se puede realizar el revibrado sobre el concreto antes de que este adquiera cierta rigidez. Al realizar este procedimiento el concreto vuelve a un estado fresco y bajo la acción de la vibración, las fisuras generadas en la superficie puedan cerrarse completamente. Sin embargo, si el revibrado se aplica muy tarde, el concreto va a comenzar a endurecer y la adherencia de las armaduras puede ser dañada o puede reducir su resistencia potencial. El tiempo óptimo debe definirse en obra. (Horpas, s.f.)
4. En el caso que las fisuras plásticas aparecieran durante el acabado, se debe tratar la superficie con llana o fratás, esto se debe hacer alisando la fisura con una llana y proceder al acabado nuevamente para poder cerrar las fisuras definitivamente. (Horpas, s.f.)

### **3.3 Contracción por secado**

La contracción por secado representa una porción total de la deformación generada en un elemento del concreto durante el proceso de curado y secado, por lo que, el tiempo juega un factor clave. Cabe aclarar que esta contracción no es inducida netamente por la carga, sino por el intercambio de la humedad relativa en el ambiente. En ambientes de humedad relativa baja, el gradiente resultante actúa como una fuerza impulsora para el flujo de humedad atrapado en el concreto, seguido de una reducción del volumen en los poros del material.

#### **3.3.1. Factores que afectan a la contracción por secado**

Una vez que el concreto termine su proceso de fraguado y se haya endurecido se generan las mayores contracciones. Se considera que la causa de este fenómeno se da principalmente por la pérdida de agua. En primer lugar, el agua que está retenida por absorción en los poros capilares se evapora rápidamente. Luego, se genera la evaporación del agua retenida por adsorción en los poros de gel, los cuales son formados gracias a las fuerzas electroquímicas generados en los meniscos y en conjunto con la tensión superficial del agua, los poros adyacentes son atraídos entre sí, dando como resultado final una reducción en el volumen. A continuación, se expondrán artículos de investigación de la revista “*Material Journal*” donde se evaluará el comportamiento de la contracción por secado haciendo uso de distintos materiales para la mezcla del concreto, así como, diferentes métodos de secado aplicados en obra.

#### **3.3.2. Antecedentes**

##### **Efectos del agregado reciclado para su implemento en pavimento de concreto:**

(Sadati, 2020) realizó una investigación comparando propiedades mecánicas entre los agregados de concreto reciclado (RCA por sus siglas en ingles) y agregado virgen. Para ello, dispusieron de 38 probetas de mezclas concreto para pavimento en donde utilizaron 6 tipos de agregados reciclados y 2 tipos de agregado virgen, cuyas propiedades como la gravedad específica, absorción, abrasión en máquina de los ángeles, residuo de mortero, porcentaje de material nocivo y tamaño máximo nominal (NMA en sus siglas en inglés) se muestran en la tabla 5:

| Aggregate       | Source                         | Specific gravity | Absorption, % | Los Angeles abrasion, % | Residual mortar content, % mass | Deleterious materials, %/type | NMAS, mm |
|-----------------|--------------------------------|------------------|---------------|-------------------------|---------------------------------|-------------------------------|----------|
| Virgin coarse 1 | Dolomite (DOL1)                | 2.73             | 0.80          | 28                      | —                               | NA                            | 19       |
| Virgin coarse 2 | Dolomite (DOL2)                | 2.72             | 0.98          | 43                      | —                               | NA                            | 19       |
| Sand            | River-bed sand                 | 2.63             | 0.40          | —                       | —                               | NA                            | 4        |
| RCA 1           | Laboratory-produced RCA        | 2.35             | 4.56          | 41                      | 21                              | 0.3/NA                        | 19       |
| RCA 2           | Residual concrete, airfield    | 2.35             | 4.46          | 33                      | 19                              | 4.0/bituminous                | 19       |
| RCA 3           | Commercial recycling, Missouri | 2.25             | 5.75          | 39                      | 36                              | 4.5/masonry                   | 19       |
| RCA 4           | Commercial recycling, Kansas   | 2.24             | 6.05          | 38                      | 17                              | 2.2/masonry                   | 19       |
| RCA 5           | Commercial recycling, Missouri | 2.17             | 7.58          | 44                      | 23                              | 1.3/masonry                   | 19       |
| RCA 6           | Commercial recycling, Missouri | 2.21             | 7.13          | 53                      | 40                              | 1.9/masonry                   | 12.5     |

Tabla 5. Propiedades de los agregados. Fuente: (Sadati, 2020)

En cada probeta los contenidos de agua-cemento variaron entre 0.37, 0.4 y 0.45. Además, aplicaron un tiempo de curado entre 7, 28, 56 y 90 días. Fueron empleados dos sistemas aglutinantes, un sistema binario con un 25% de cenizas volantes de clase C y un sistema ternario con 35% de cenizas volantes y 15% de escoria. Por último, la contracción por secado se monitoreo utilizando prismas de 75 x 75 x 285 mm de acuerdo con ASTM C157.24 (“Método estándar para el cambio de longitud de mortero y concreto de cemento hidráulico endurecido”). Se utilizó una mesa vibratoria para asegurar la consolidación adecuada del concreto y los especímenes fueron cubiertos con arpillera húmeda. y láminas de plástico hasta 24 horas después de la colación de la mezcla. En la ilustración 17 se presentan las variaciones de la contracción por secado en función del sistema aglutinante binario y tercero, además del tipo de agregado que se utilizó y su contenido de agua-cemento.

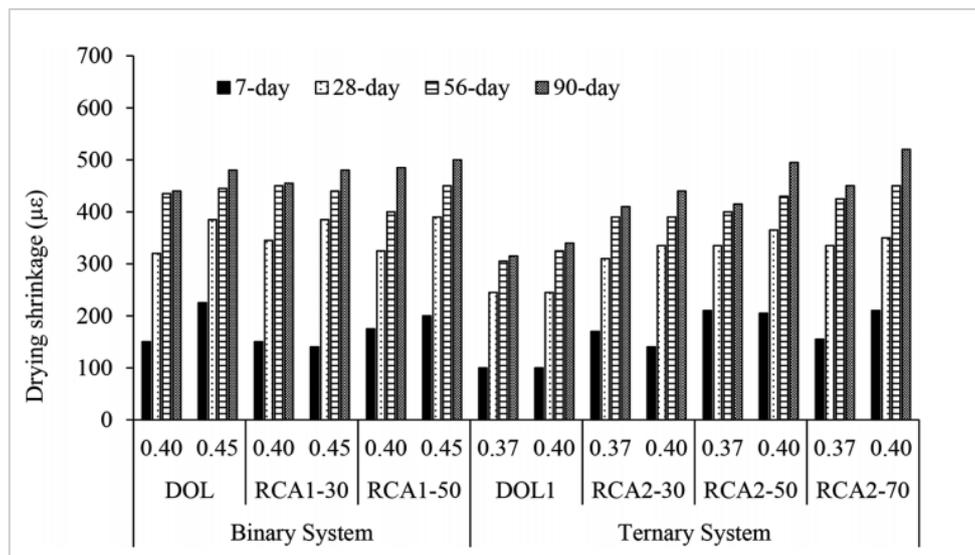


Ilustración 15. Interacción entre el contenido a/c y contracción por secado. Fuente: (Sadati, 2020)

Se determinó, como era de esperarse, que las muestra con agregado virgen (DOL y DOL1) con un contenido de agua-cemento menor obtuvieron resultados de contracción por secado menores. Adicionalmente, el uso de cemento ternario en el concreto elaborado con agregado virgen (DOL1-T-40) redujo la contracción a  $340 \mu\epsilon$  a los 90 días en comparación con el concreto hecho con agregado grueso de dolomita (DOL1-B-40), proporcionado con cemento binario. Dicho la anterior, se concluye que se debe reducir, en lo posible, el uso de agregado que presenten valores de absorción mayores a 1%, desgaste en la máquina de los ángeles muy altos o una gravedad específica baja, ya que tendrán como resultado valores de contracción por secado a los 90 días mayores a los esperados con un agregado de mejor comportamiento mecánico.

### **Influencia de los métodos de curado en la pérdida de humedad y contracción por secado en concretos proyectados**

(Menu, Influence of Curing Methods on Moisture Loss and Drying Shrinkage of Shotcrete at Early Age, 2020) realizo una investigación cuyo objetivo era cuantificar la influencia de los métodos de curado en edad temprana en las contracciones por secado para concretos proyectados, es decir, concretos que son disparados en estado líquido a velocidades muy altas por medio de proyectores semiautomáticos en grandes superficies. Generalmente, el concreto proyectado es utilizado en la construcción de túneles, reparaciones, estabilización de taludes y otras actividades para las que los métodos de colocación convencionales serían menos económicos o eficientes. Dicho lo anterior, los investigadores decidieron comparar los métodos de curado en seco (o al aire), curado sellado, aplicación de un compuesto de curado y curado húmedo (con arpillera húmeda y lámina de polietileno). variando el contenido agua-cemento entre 0.37 y 0.42. Se llevaron a cabo experimentos de cambio de longitud utilizando muestras prismáticas de 75 x 75 x 285 mm. Las muestras se probaron de acuerdo con ASTM C157(“*Método estándar para el cambio de longitud de mortero y concreto de cemento hidráulico endurecido*”), excepto que se modificaron los métodos de curado, incluido el período de curado húmedo. Las muestras se controlaron simultáneamente para determinar el cambio de longitud y el cambio de peso como se muestra en la siguiente figura:

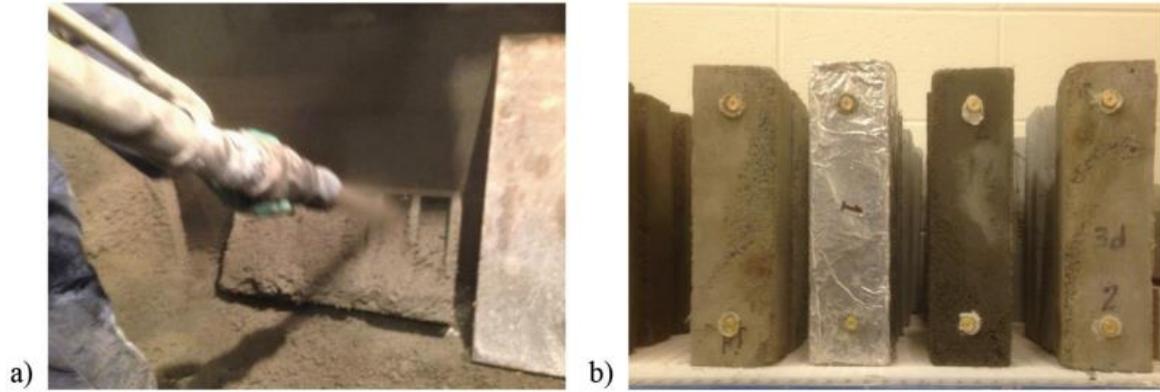


Ilustración 16. Muestras de ensayo de contracción: (a) proceso de rociado y (b) probetas prismáticas. Fuente: (Menu, Influence of Curing Methods on Moisture Loss and Drying Shrinkage of Shotcrete at Early Age, 2020)

Se determinó que los especímenes curados en húmedo continuamente durante 7 días exhibieron la contracción más baja en ambas mezclas, seguido por el curado húmedo de 3 días como se puede ver en la ilustración 19, el cual presenta los valores de la contracción para especímenes con dos contenidos de agua-cemento a lo largo de 28 días de secado.

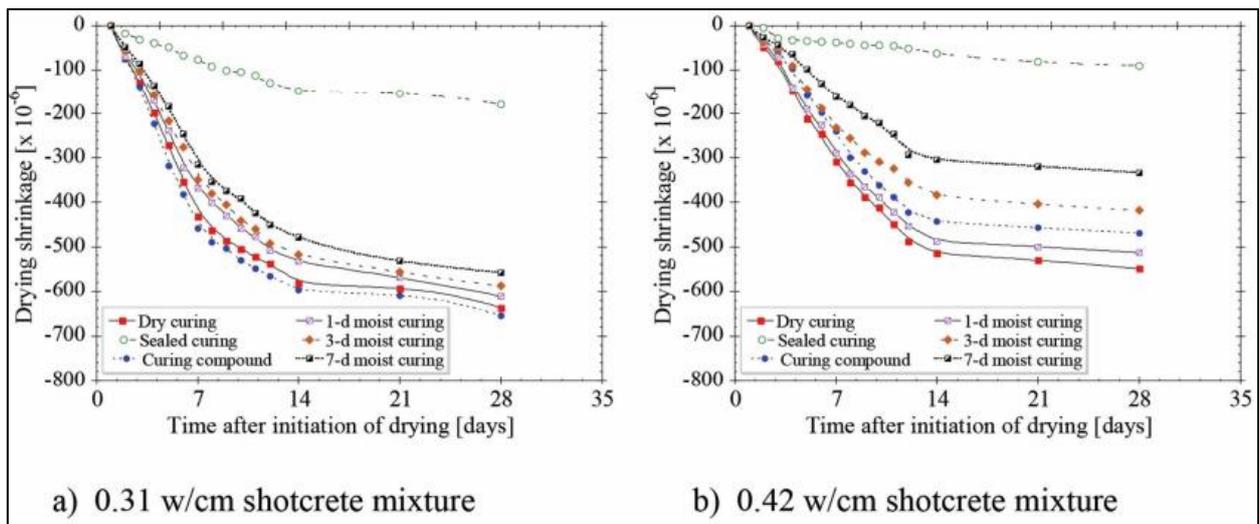


Ilustración 17. Contracción por secado para diferentes tipos de curado con un contenido agua-cemento 0.31 (a) y 0.42 (b). Fuente: (Menu, Influence of Curing Methods on Moisture Loss and Drying Shrinkage of Shotcrete at Early Age, 2020)

Como conclusión se determinó que un curado húmedo prolongado en el tiempo permite que el concreto absorba agua libre, el cual retrasa el inicio de contracción por secado al reemplazar parte del agua de poros usada en la etapa de hidratación del cemento. Por lo tanto, extender el periodo de curado húmedo genera mayor resistencia del concreto, es decir, un mayor módulo de elasticidad y menor fluencia, y resistencia antes de que se produzca el secado.

## **Efectos del cemento con escoria en la contracción por secado del concreto**

(Yuan, 2015) evalúa la influencia de la escoria grado 100 y grado 120, en la contracción total durante su periodo de secado. Para ello realizaron muestras con cemento tipo I y II, agregados grueso de caliza, granito y cuarzo, agregados finos con arenas de río y una relación agua-cemento entre 0,42 y 0,44. Con los resultados obtuvieron que para una mezcla con 30% de reemplazo en masa de cemento con escoria y un curado durante 14 días exhibe una contracción del 21% menor a los 30 días y 11% menor a los 365 días en comparación con las mezclas que contenían solo cemento Portland y una mezclas con 60% de reemplazo en volumen de cemento con escoria, en promedio arrojó una reducción del 29% a los 30 días y 16% a los 365 días en comparación con las mezclas con cemento Portland. De igual modo, los investigadores observaron que un reemplazo parcial de cemento Portland por cemento con escoria disminuye la contracción por secado en comparación con las mezclas que contienen 100% del cemento portland. Las mayores reducciones se observan generalmente en edades tempranas y aumentan a medida que se reemplaza mayor cantidad de cemento con escoria. Por lo tanto, se concluye que el uso del cemento con escoria cualquiera junto con agregados de caliza poroso y un proceso de curado interno, podría conseguir una mayor reducción de la contracción libre comparación con el cemento convencional portland.

## **Flujo de agua de concreto ligero con diferentes niveles de saturación de agregados**

(Mardani-Aghabaglou A. Y.-Ç., 2015) presenta la evaluación de los efectos del grado de saturación en dos tipos de agregado liviano a diferentes características de absorción comparadas con un agregado de caliza. Los investigadores realizaron pruebas en 9 especímenes divididos en 3 grupos; el primero usando cemento Portland con agregados de caliza (NW-L), el segundo, usando concreto liviano con un tipo de agregado de piedra pómez indicado como agregado K (LW-K) y el tercero, usando concreto liviano con un tipo de agregado de piedra pómez indicado como agregado M (LW-M). En cada uno de los grupos, se realizó una variación según el tipo de saturación; Secado al horno (OD), Secado al aire (AD) y Secado superficial saturado al 50% (SSD) todos los especímenes de concreto fueron mezclados con un contenido de agua-cemento constante de 0,43. Para mantener los efectos de la contracción iguales en todos los especímenes se optaron por realizar el método presentado en la EN 1367-4 (*“Ensayos para determinar las propiedades térmicas y de alteración de los agregados. Parte 4: Determinación de la retracción por secado”*). Adicionalmente se aplicó a todos los especímenes un curado con agua de 28 días. En la ilustración 20, se evidencia los datos obtenidos del porcentaje de contracción por secado en comparación con los diferentes agregados y el tipo de saturación utilizado:

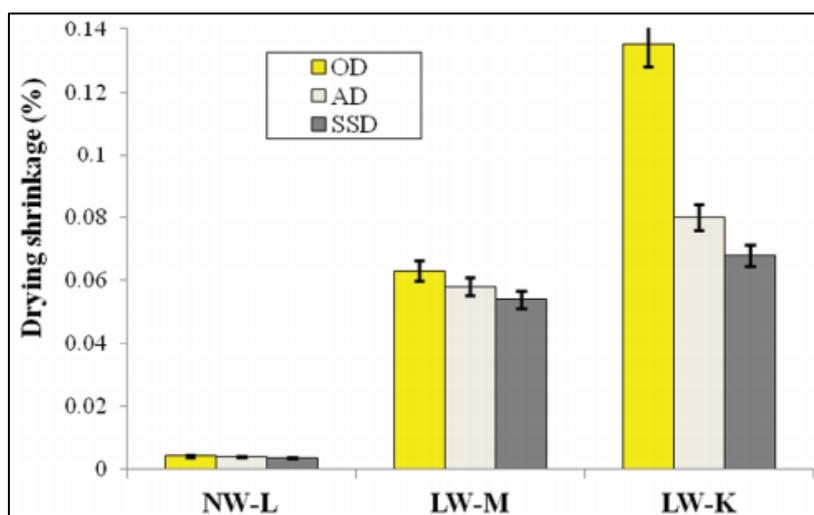


Ilustración 18.. Valores de contracción por secado para cada una de las muestras. Fuente: (Mardani-Aghabaglou A. Y.-Ç., 2015)

Los investigadores determinaron que las muestras de concreto que contienen agregado de piedra pómez K muestran la mayor cantidad de valores de contracción por secado, esto se debe a que su estructura altamente porosa contribuye a la contracción por secado. Además, para el mismo tipo de agregado, la cantidad de contracción por secado aumentó al disminuir el nivel de saturación del agregado. Por lo tanto, se concluye que los agregados livianos saturados superficialmente actúan como agentes de curado interno en el concreto, especialmente, en las primeras etapas de hidratación, las cuales, previene mayores contracciones por secado. Adicionalmente, el grado de porosidad del agregado es una variable que afectan significativamente las características de la magnitud de la contracción, donde a mayor porosidad, mayor contracción.

### **Efecto de la composición de mezcla en la fisuración por contracción restringida en concreto autocompactante utilizado en reparaciones.**

En el artículo (Mardani-Aghabaglou A. Y.-Ç., 2008) se emprendió un programa experimental para determinar la influencia de varios parámetros de mezcla sobre las fisuraciones generadas por la contracción por secado en concreto autocompactante (SSC) de alto rendimiento para reparaciones estructurales. Entre los parámetros se incluye aditivos reductores de agua de alto rango (HRWRA), aditivos para la reducción por contracción (SRA), fibras sintéticas y fibras híbridas (HF). La contracción por secado fue determinada con base en la ASTM 157 “*Método estándar para el cambio de longitud de mortero y concreto de cemento hidráulico endurecido*”, utilizando probetas prismáticas. Después de desmoldar a las 24 horas de haber colocado la muestra, se sumerge en agua durante 6 días y se monitorea la contracción durante 56 días a una temperatura y humedad relativa ajustada. Los resultados que obtuvieron muestran que al

aumentar el volumen de fibras sintéticas o híbridas, contribuye a la disminución en el potencial de agrietamiento del concreto. En promedio, utilizar entre 0 a 0.25% y 0.25% a 0.5% del volumen en fibras sintéticas ayudara a incrementar en aproximadamente un 40% el tiempo transcurrido antes de iniciar el agrietamiento por contracción restringida. Particularmente, los investigadores determinaron que con los valores de la contracción por secado después de los 7 y 56 días de secado sometidos a una humedad relativa del 50% en el ambiente y el valor del módulo de elasticidad al principio del proceso de secado pueden ser utilizados para estimar el tiempo transcurrido para que se presenten fisuras por contracción restringida. En conclusión, se puede afirmar que el uso del concreto autocompactante en conjunto con una alta dosis de aditivos para la reducción de la contracción desarrollará menor magnitud de la contracción por secado presentada cerca a los 56 días de secado en comparación con un concreto de normal desempeño.

### **3.3.3. Medición de la contracción por secado**

La norma ASTM C 157 “Método estándar para el cambio de longitud de mortero y concreto de cemento hidráulico endurecido” es particularmente útil para la evaluación comparativa de este potencial en diferentes mezclas de concreto o mortero de cemento hidráulico. Este se basa en la medición del cambio de longitud, el cual permite evaluar el potencial de expansión o contracción volumétrica del mortero u hormigón debido a varias causas distintas de la fuerza aplicada o el cambio de temperatura.

El procedimiento consiste en monitorear los cambios dimensionales en general con ayuda de dos tornillos embebidos en los extremos sobre los que se registra sistemáticamente la longitud de una viga de concreto de aproximadamente 10 cm × 10 cm × 28.5 cm. Luego de coladas a las 24 horas, se descimbran y sumergen en agua a  $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  para posteriormente tomar la primera medida de longitud. Una vez se registre la primera medida, se sumergen durante 28 días en agua combinada con cal. Durante esta etapa de curado, las vigas se expandirán y al cabo de este periodo, se retirarán del agua y se volverán a medir para luego almacenarse al aire en unas condiciones atmosféricas y de evaporación controladas ( $50\% \pm 4\%$ ,  $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Sin embargo, la norma menciona que el concreto en estudio puede curarse y/o almacenarse bajo otras condiciones diferentes a las descritas en el método, siempre y cuando, señalar correlaciones, en lo posible, entre las contracciones obtenidas bajo las condiciones ensayadas frente a las normalizadas. Por último, según los estadísticos presentados en la norma, la contracción a los 28 días de secado (con o sin curado), alcanza un valor entre el 10% al 25%

de la contracción final (que en secado permanente se alcanza a los 10 años) de acuerdo a los modelos CEB-FIB-90, ACI-209 y Bazant-B3.

### **3.3.4. Tratamientos para reducir la contracción por secado**

#### *3.3.4.1 Refuerzo adecuado:*

El porcentaje de cuantía de refuerzo y sus características de adherencia son variables que influyen considerablemente en el agrietamiento, espaciamiento y abertura de la fisuración por contracción. Es importante realizar un diseño adecuado de provisión y ubicación, sobre todo en losas sobre el terreno o cambios de la sección transversal de elementos longitudinales, para distribuir adecuadamente la resistencia de los esfuerzos de tensión. Sin embargo, el refuerzo no siempre evita por completo la fisuración, pero si se asegura que las fisuras presenten una menor espaciamiento y abertura.

#### *3.3.4.2 Aditivos:*

Algunos aditivos pueden ser de gran beneficio para la reducción de la contracción por secado. La mayoría de estos están basados en material orgánico de propilenglicol o componentes relacionados con reducir la tensión superficial del agua en los poros capilares formados en la matriz de la superficie del concreto. Este modo de acción no debe ser confundido con los materiales compensadores de contracción como lo son cementos tipo K. Cuando se vaya a implementar estos aditivos se deben seguir las recomendaciones del fabricante con respecto a la dosis y la idoneidad de aditivos reductores de la contracción para uso en entornos de congelación y descongelación. (Bentz, 2005)

#### *3.3.4.3 Prácticas de Construcción:*

Es de vital importancia implementar medidas apropiadas de curado y secado una vez se haya fundido el concreto en sitio. Particularmente, se recomienda evitar hacer un tratamiento de secado en la superficie del concreto especialmente en condiciones de clima caliente.

#### *3.3.4.4 Contenido de Agua:*

El diseño de un concreto con una alta relación agua-cemento terminará con una resistencia final inferior y un módulo de elasticidad insuficiente para generar fluencia en el elemento, por tanto, tendrá una mayor tendencia a la contracción debido a su incapacidad de resistir fuerzas de tensión internas. Es por eso por lo que se recomienda utilizar valores de contenido agua cemento menores a 0,5.

#### *3.3.4.5 Agregados:*

Se ha demostrado en campo que agregados caracterizados por una baja absorción tiene un mejor comportamiento hacia la contracción por secado. Por eso se recomienda aumentar la fracción del volumen del agregado, ya que, el elemento se contrae a una menor magnitud que la pasta y restringe la capacidad de contracción. Adicionalmente, cuando se cuenta con agregados de mayor rigidez, este permitirá una menor contracción del concreto, generalmente este efecto está representado en términos del módulo de secante de los agregados. Particularmente, se debe tener cuidado al utilizar un concreto liviano porque el efecto de la contracción se va a evidenciar en mayor magnitud para este tipo de elementos.

#### *3.3.4.6 Cemento:*

Los cementos con altos contenidos de  $C_3A$  y álcali son mucho más propensos a presentar contracciones por secado mayores. Estos componentes tienen una reacción muy fuerte con el yeso del cemento, generando un calor de hidratación capaz de aumentar la velocidad por evaporación y permitiendo una pérdida de volumen significativa.

## **4. Juntas de Control**

Este capítulo tiene el propósito de explicar y describir las juntas de control como métodos de control más utilizados para la mitigación de la contracción generada en el concreto, empleados con el fin de disminuir este fenómeno en la construcción.

En el campo de las construcciones de concreto se tienen especificados tres tipos de juntas: juntas de construcción, juntas de contracción y juntas de expansión.

### **4.1. Juntas de construcción**

La colocación de juntas de construcción garantizar en mayor medida la reducción de los incrementos de los esfuerzos internos en los materiales producidos por la dilatación térmica. No obstante, se recomienda el uso de refuerzo de acero, el cual absorbe las tensiones producidas por la contracción en el interior de la estructura con el objetivo de controlar las fisuras y los desplazamientos relativos. Es de vital importancia la provisión y ubicación de dichas juntas donde se tiene mayor probabilidad de concentración de esfuerzos generalmente en las aberturas, cambios en la sección transversal, muros de gran longitud y grandes áreas de losas de pavimento de concreto, generalmente donde se usan para dividir el concreto en bahías de sección cuadrada. Por otro lado, existe la probabilidad de que se presentarse juntas por daños de los equipos de colocación, lluvias permanentes o suspensión del suministro de concreto, estas se conocerán como juntas de construcción imprevistas. (Silva, 2020)

### **4.2. Juntas de contracción**

La localización y control de las grietas es un factor importante a tener en cuenta, ya sea por estética o un apropiado nivel de servicio, por lo que, el propósito de las juntas de contracción es establecer previamente dichas grietas o fisuras en sitios concretos. Por lo general, la ubicación de las juntas de contracción utilizadas en placas de contrapiso dependerá en mayor medida de las dimensiones de la losa, la probabilidad de contracción, la fuerza de fricción con la subrasante, condiciones ambientales como la humedad relativa y la cantidad de acero de refuerzo. Un concreto de desempeño normal de contracción presenta valores de magnitud entre 0,02% y 0,07%.

Se recomienda una separación de juntas, de 24 a 36 veces el espesor de la losa, de acuerdo con lo establecido en la ACI 302. De igual manera, se recomienda tableros continuos, no escalonados ni alternadas y en lo posible de sección cuadrada, pues los tableros que presentan

relaciones de largo y ancho excesivas, es decir, mayores de 1,5 a 1, o tableros de forma “L”, tenderán a agrietarse en su zona media.

### **4.3. Juntas de expansión**

El aumento de la temperatura en un elemento de concreto induce un incremento en su volumen. Por lo general, en pisos y pavimentos es más propenso el incremento en el ancho y largo, pero si el elemento posee un refuerzo que impida la expansión, hecho que induce a esfuerzos de compresión, se generaran problemas relacionados con estructuras colindantes o problemas de alabeo en las losas. Para amortiguar estos efectos, los elementos de losas y pavimento de concreto son provistos de unas juntas con cierta separación que les permita tener desplazamientos relativos entre sí y no se presenten efectos indeseados. Estas juntas de expansión no se pueden dejar libres y permitirán el paso de agentes nocivos a la base del pavimento o a la misma estructura de concreto, por tal razón estas juntas son selladas con un material que impida el paso de líquidos, principalmente, esto se hace con un sellante de juntas que debe cumplir según las especificaciones de la norma ASTM D-994.

## 5. Conclusiones

- Controlar la contracción autógena del concreto es uno de los principales pasos para evitar la tendencia de agrietamiento de las superficies expuestas, esto permitirá prevenir el desarrollo de fisuras más grandes que afecten el comportamiento del concreto por infiltración de agentes nocivos, esto se puede hacer con el uso de agregados presaturados como el PCCA o el LWA que funcionen como un agente de curado interno en el concreto con la adición de agua durante el proceso de endurecimiento del concreto.
- Para evitar la generación de fisuras mientras el concreto se encuentra en estado plástico se deben emplear métodos para evitar que la tasa de exudación sea sobrepasada por grandes velocidades de evaporación, para esto se hace necesario el uso de aditivos, fibras de polipropileno y reductores de contracción. Además, se deben controlar diferentes factores como: humedad relativa, temperatura a la que se encuentre la mezcla del concreto, la temperatura del aire y la velocidad del viento para que estas fisuras no aparezcan sobre la superficie del concreto y produzcan daños afectando la capacidad de servicio, calidad durabilidad y estética de las estructuras.
- Por último, una vez se haya completado el fraguado e inicie proceso de secado, es importante controlar la temperatura interna y la humedad relativa del concreto para evitar, en su mayoría, la pérdida de agua, ya que es la principal causa de la contracción por secado. Ahora bien, los métodos de control recomendados para dicha contracción se basan, generalmente, en los componentes de mezcla que se utilicen y los métodos de curado. Principalmente, no se recomienda el uso de agregados livianos, ni tampoco agregados que contengan adsorciones mayores al 1%. Para mitigar los efectos de la fisuración, presentadas después de la etapa de secado, se recomienda el uso de aditivos reductores de contracción en la mezcla, teniendo en cuenta las dosis recomendadas según el fabricante, o también el uso de escoria; Esta tendrá mejores resultados si se acompaña con métodos de curados húmedos continuos durante 7 días o más.

## Bibliografía

(201). Colombia: Universidad del Cauca.

A. Markandeya, D. G. (2019). Chemical Shrinkage and Cracking Resilience of. *ACI MATERIALS JOURNAL*, pp. 99 -105. Obtenido de <https://www.concrete.org/publications/internationalconcreteabstractsportal.aspx?m=details&i=51716714>

Aire, C. (Diciembre de 2011). *Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.* Obtenido de <http://www.imcyc.com/revistacyt/dic11/arttecnologia.html>

Bayasi, Z., & McIntyre, M. (Julio de 2002). Aplicación de fibras de polipropileno fibrilado para restricción de grietas por contracción plástica en el concreto. *Revista de materiales de ACI*, pág. 8.

Bentz, D. P. (2005). *Curing with Shrinkage- Reducing admixture*. Concrete International .

Bernal, A. (23 de Octubre de 2012). *sites.google*. Obtenido de <https://sites.google.com/site/cemyhor/el-cemento-portland-componentes/proceso-de-hidratacion>

CCI Control de Calidad. (s.f.). *www.cci-calidad.com*. Obtenido de <http://www.cci-calidad.com/articulos2418.htm>

Civil Geeks. (20 de 02 de 2011). *Civil Geeks*. Obtenido de <https://civilgeeks.com/2011/02/20/agrietamiento-por-contraccion-plastica/>

Diaz, M. (s.f.). *Catarina*. Obtenido de [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lic/diaz\\_m\\_f/capitulo1.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/diaz_m_f/capitulo1.pdf)

Flores, D. U. (6 de Agosto de 2019). *Blog de la construcción* . Obtenido de <https://www.yura.com.pe/blog/los-aditivos-para-el-concreto/>

Giani , R., Navarrete, B., & Bustos, J. (30 de 10 de 2008). *Redalyc*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/1276/127612584006.pdf>

GIANI, R., NAVARRETE, B., & BUSTOS, J. (2008). La Retracción Autógena y su Relación con la Tendencia a la Fisuración a Temprana Edad en. *Revista de la Construcción*, 7(2), 9. Recuperado el 11 de 2020, de <https://www.redalyc.org/pdf/1276/127612584006.pdf>

Grupo Polpaico. (21 de Noviembre de 2007). Obtenido de <http://www.polpaicoconexion.cl/uploads/docXobra/pdf200711213221.pdf>

Guiani, R., Navarrete, B., & Bustos, J. (2008). La Retracción Autógena y su Relación con la Tendencia a la Fisuración a Temprana Edad en. *Revista de la Construcción*, 7(2), pp. 62-71. Recuperado el 2020, de <https://www.redalyc.org/pdf/1276/127612584006.pdf>

Horpas. (s.f.). *Horpas.com.ar*. Obtenido de <http://www.horpas.com.ar/wp-content/uploads/2016/08/Fisuraci%C3%B3n-por-contracci%C3%B3n-pl%C3%A1stica.pdf>

- Lee, B. J., & Kim, Y. Y. (9 de Febrero de 2018). Durabilidad del concreto modificado con látex mezclado con agente reductor de contracción. *Revista internacional de estructuras y materiales de Concreto*, pág. 9.
- M, D. (s.f.). *Catarina*. Obtenido de [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lic/diaz\\_m\\_f/capitulo1.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/diaz_m_f/capitulo1.pdf)
- Mardani-Aghabaglou, A. Y.-Ç. (1 de septiembre de 2008). Effect of Mixture Composition on Restrained Shrinkage Cracking of Self-Consolidating Concrete Used in Repair. *Materials Journal*, 105.
- Mardani-Aghabaglou, A. Y.-Ç. (1 de septiembre de 2015). Water Transport of Lightweight Concrete with Different Aggregate Saturation Levels. *Materials Journal*, 105.
- Menu, B. J.-V. (1 de julio de 2020). Influence of Curing Methods on Moisture Loss and Drying Shrinkage of Shotcrete at Early Age. *Materials Journal*.
- Menu, B. J.-V. (1 de Julio de 2020). Influence of Curing Methods on Moisture Loss and Drying Shrinkage of Shotcrete at Early Age. *Materials Journal*.
- MRMCA. (Abril de 2020). [www.nrmca.org](http://www.nrmca.org). Obtenido de <https://www.nrmca.org/wp-content/uploads/2020/04/CIP5es.pdf>
- NRMCA. (s.f.). [www.nrmca.org](http://www.nrmca.org). Obtenido de <https://www.nrmca.org/wp-content/uploads/2020/04/CIP5es.pdf>
- Osorio, J. D. (s.f.). *Argos*. Obtenido de <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/como-medir-la-contraccion-del-concreto>
- Rivera, G. (2013). *Tecnología del Concreto* (Vol. Concreto Simple). Colombia: Universidad del Cauca.
- Rivera, G. (s.f.). *Unicauca*. Obtenido de [ftp://ftp.unicauca.edu.co/Documentos\\_Publicos/Facultades/FIC/IngCivil/Geotecnia/profesor\\_gerardo\\_rivera/FIC%20y%20GEOTEC%20SEM%202%20de%202009/Tecnolog%EDa%20del%20Concreto%20-%20%20PDF%20ver.%20%202009/Cap.%2002%20-%20Agregados%20para%20mortero%20y%20con](ftp://ftp.unicauca.edu.co/Documentos_Publicos/Facultades/FIC/IngCivil/Geotecnia/profesor_gerardo_rivera/FIC%20y%20GEOTEC%20SEM%202%20de%202009/Tecnolog%EDa%20del%20Concreto%20-%20%20PDF%20ver.%20%202009/Cap.%2002%20-%20Agregados%20para%20mortero%20y%20con)
- Sadati, S. &. ( 1 de marzo de 2020). Effect of Recycled Aggregate Characteristics on Drying Shrinkage of Paving Concrete. *Materials Journal*.
- Sato, M. S. (2010). Effect of Curing Methods on Autogenous Shrinkage. *ACI MATERIALS JOURNAL*, pp. 65 -73. Obtenido de <https://www.concrete.org/publications/internationalconcreteabstractsportal.aspx?m=details&id=51663467>
- Sayahi, F., Emborg, M., Hedlund, H., & Cwirzen, A. (Septiembre de 2020). Efecto de los aditivos sobre el mecanismo de contracción plástica en concreto autoconsolidable. *Revista de materiales de ACI*, pág. 10.

- Shaeles, C. A., & Hover, K. C. (Noviembre de 1988). Influencia de las proporciones mixtas y las operaciones de construcción en fisuras por contracción plástica sobre losas delgadas. *Revista de materiales de ACI*, pág. 10.
- Silva, O. J. (2020). *Argos*. Obtenido de <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/tipos-de-juntas-en-muros-pisos-de-concreto>
- Teconcreto. (1 de Abril de 2015). *Blogspot*. Obtenido de <http://teconcreto123.blogspot.com/p/los-agregados.html>
- Yuan Gao, D. J.-G. (2018). Effect of Carbon Nanofibers on Autogenous Shrinkage and. *ACI MATERIALS JOURNAL*, 8.
- Yuan Gao, D. J.-G. (2018). Effect of Carbon Nanofibers on Autogenous Shrinkage and. *ACI MATERIALS JOURNAL*, 8.
- Yuan Gao, D. J.-G. (2018). Effect of Carbon Nanofibers on Autogenous Shrinkage and. *ACI MATERIALS JOURNAL*, pp. 615-621. Obtenido de <https://www.concrete.org/publications/internationalconcreteabstractsportal.aspx?m=details&i=51702196>
- Yuan, J. L. (1 de marzo de 2015). Effect of Slag Cement on Drying Shrinkage of Concrete. *Materials Journal*.
- Quiroga, P. N. (2020). *Tecnología de concreto avanzada-durabilidad*. 1–59.
- Sanjuán, Á., & Chinchón, S. (2006). Introducción a la fabricación y normalización del Cemento Portland. In *Nucleic Acids Research* (Vol. 34, Issue 11). <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/45347>
- Sanjuán, M. A., & Argiz, C. (2012). Nota técnica: La nueva norma Europea de especificaciones de cementos comunes UNE-EN 197-1:2011. *Materiales de Construcción*, 62(307), 425–430. <https://doi.org/10.3989/mc.2012.07711>
- Terreros-Roojas, L. E., & Carvajal-Corredor, I. L. (2016). Análisis de las propiedades mecánicas de un concreto convencional adicionando fibra de cáñamo. *Universidad Católica de Colombia*, 84.
- Cement Concrete and Aggregates Australia. (2002, junio). Drying Shrinkage of Cement and Concrete. Recuperado de [https://www.ccaa.com.au/imis\\_prod/documents/Library%20Documents/CCAA%20Data sheets/DS2002DryingShrinkage.pdf](https://www.ccaa.com.au/imis_prod/documents/Library%20Documents/CCAA%20Data%20sheets/DS2002DryingShrinkage.pdf)
- Welch, G B, Creep and Drying Shrinkage Characteristics of NSW Concrete Concrete Institute of Australia, Special Publication No. 1, Shrinkage and Creep, 1978.
- Greene, T. M. (2013). Chemical Admixture for Concrete. ACI Educational Bulletin E4-12, 12-13. Recuperado de [https://www.concrete.org/store/productdetail.aspx?ItemID=E412&Language=English&Units=US\\_Units](https://www.concrete.org/store/productdetail.aspx?ItemID=E412&Language=English&Units=US_Units)