

Uso de microfibras de vidrio para el control de la retracción autógena en compuesto cementicio

L. Onghero ⁽¹⁾, W.L. Repette ⁽¹⁾ y L.A. Gómez ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Federal de Santa Catarina, Brasil.

DOI: <http://dx.doi.org/10.4995/HAC2018.2018.6300>

RESUMEN

Este trabajo tuvo como objetivo evaluar los efectos de la incorporación de microfibras de vidrio en hormigón de alto rendimiento (HAR). Por lo tanto, en esta investigación se realizaron ensayos de retracción libre, ensayo de retracción restringida y adicionalmente ensayos para caracterización en estado fresco y en estado endurecido. Los HAR se prepararon con una relación agua/ligante (a/l) 0.25; y las adiciones de fibra ocurrieron en contenidos de 0,20%; 0,25% y 0,30% del volumen de hormigón. Como resultados se obtuvo la disminución de la deformación hasta un 50% en comparación con la muestra de referencia en el ensayo de retracción autógena libre. Cuando se restringía, se pudo observar que, al añadir fibra, el hormigón tenía menos deformación causada por la retracción, pero no hubo diferencias significativas entre las mezclas en cuanto al tiempo requerido para la fisuración. En cuanto a las propiedades mecánicas, los valores de resistencia a la compresión y módulo de elasticidad de las mezclas con microfibras disminuyeron hasta 7 días. Fue visto que, un alto contenido de fibra daba lugar a un aumento en el contenido de aire incorporado en la mezcla, lo que resulta en una disminución de las propiedades mecánicas de los hormigones de alto rendimiento reforzado con fibras (HARRF). Para las mezclas estudiadas, se concluyó que la incorporación de fibra ayudó a la reducción de la deformación debida a la retracción.

PALABRAS CLAVE: Retracción autógena, hormigón de alto rendimiento reforzado con fibra, durabilidad, microfibra de vidrio.

1.- INTRODUCCIÓN

Los elementos de hormigón son altamente susceptibles a daños estructurales adversos, principalmente cuando están expuestos a ambientes agresivos. Con el fin de mejorar la durabilidad del hormigón y disminuir la porosidad de las mezclas de concreto se utiliza una relación agua/cemento (A/C) reducida, esto se logra con el uso de agentes reductores de agua. Dentro de esta premisa, el hormigón de alto rendimiento (HAR) presenta bajas relaciones A/Ag. Sin embargo, estas mezclas suelen exhibir un alto consumo de ligante,

haciéndolo más vulnerables a los efectos de la retracción autógena y, consecuentemente, sujetos al craqueo del hormigón.

Con el agrietamiento de la capa de hormigón el acero de la estructura está menos protegido y de esta manera, estará sujeto al avance de agentes agresivos presentes en el entorno, reduciendo así la vida útil del elemento estructural.

Por lo anterior, se ha utilizado la adición de fibras al hormigón para reforzar el material, mejorando sus características, especialmente las propiedades mecánicas después del agrietamiento de la matriz. Varios estudios demuestran que la adición de fibras en volúmenes suficientes daría lugar a una mayor reducción del agrietamiento y retracción. [1]

La propiedad de adhesión de la fibra con la matriz de cemento adquiere una gran importancia, ya que la fibra sirve como puente entre las caras de la grieta, controlando deformaciones de alto encogimiento y aumentando la resistencia del hormigón a la flexión.[2]

Con la adición de las fibras, el hormigón de alto rendimiento reforzado con fibra (HARRF) muestra una reducción de la fragilidad, que es característica de las mezclas de hormigón, presentando un comportamiento pseudo dúctil y, tras el agrietamiento, permitiendo una redistribución de las tensiones aplicadas en el material.[3]

Los estudios han demostrado que el módulo de elasticidad de las fibras tiene una gran influencia sobre el esfuerzo de retracción del compuesto, y las fibras con módulos de elasticidad elevados presentan mayor resistencia a la tracción en los primeros días.[4] Los resultados mostraron que la fibra de polipropileno reduce considerablemente el encogimiento de hormigón autógeno y total.

Otros estudios demuestran los efectos del uso de diferentes fibras con diferentes índices de aspecto en las propiedades de agrietamiento[5] y también que, la utilización de fibras puede reducir la retracción HARRF hasta en un 65%.[6], [7]

A pesar del hecho de que incluso con fibras, el hormigón presenta agrietamiento, el tamaño y distribución de las grietas se altera, con reducciones de hasta 88% en tamaño de fisura debido al efecto de transmisión de tensión. Sin embargo, el hormigón presenta una mayor cantidad de pequeñas grietas [8]. Otros autores han demostrado que el uso de fibras con alto módulo de elasticidad también puede ser eficaz para el control de la retracción autógena.[9], [10]

Cuando se utilizan hormigón con baja relación A/Ag, como consecuencia del agrietamiento, las fibras ofrecen una capacidad de auto curación debido a la sinergia entre los materiales (matriz de fibras). Esto es posible porque al agrietarse se exponen los granos de cemento no hidratado, haciendo posibles reacciones debido a su contacto con la humedad del ambiente. También se observó la recuperación del comportamiento mecánico de las muestras y fue posible correlacionar una Estimación del cierre de la grieta, Basado en el rendimiento mecánico de la muestra.[7]

La incorporación de microfibras es una alternativa interesante, ya que el uso de fibras en la matriz cimenticia da como resultado el aumento de la tenacidad y la resistencia del material compuesto a la grieta, debido a que absorbe las deformaciones de encogimiento de la matriz, la ocurrencia de pérdida de propiedades mecánicas. Finalmente, la red de bloqueo formada por la fibra evitará la sedimentación de las partículas más grandes, reduciendo así la cantidad de agua exudada y aumentando la resistencia a la tracción del concreto.[8]

2.- OBJETIVO

Evaluar el efecto de la incorporación de microfibras de vidrio como agente de combate a la retracción en hormigones de alto rendimiento reforzado con microfibra de vidrio

3.- PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

3.1. Materiales

Para el desarrollo del estudio en HARRF, se utilizó el cemento portland tipo 3 de acuerdo con los requisitos de ASTM C 150[11]. Este material se eligió porque, entre los cimientos disponibles y utilizados por el mercado, presenta bajo contenido de las incorporaciones de mineral en la composición.

Para fortalecer la microestructura del hormigón, se utilizó una micro sílice activa con 95% de pureza y masa específica de 2,22 kg /dm³.

En la determinación de los agregados y su proporción a utilizar, se buscó materiales normalmente utilizados en la producción de hormigones.

Con el fin de alcanzar buena trabajabilidad, fue necesario realizar la composición entre las dos arenas disponibles, obteniendo así una curva granulométrica cercana a la zona óptima determinada por ASTM C33[12]. De este modo, se utilizó una composición entre una arena fina de origen de cuarzo originada en dunas, con módulo de finura de 0,90 y masa específica de 2,66 Kg/dm³. La otra arena se presenta como arena media según ASTM C33[12], con módulo de finura de 2,97 y una masa específica de 2,60 kg/dm³. El porcentaje retenido acumulado de cada agregado se muestra en la Tabla 1.

El gran agregado grueso utilizado en la dosificación del HARRF era de origen granítico, perteneciente a la zona granulométrica de 4,75 y 12,5. Las pruebas de clasificación de agregados gruesos compradas se realizaron sobre la base de los procedimientos descritos en ASTM C 136[13] y los resultados se evaluaron con los requisitos de ASTM C 33 [12]. La masa específica de la grava fue de 2,61 kg/dm³, con módulo de finura igual a 5,95. El porcentaje retenido acumulado de cada agregado se muestra en la Figura 1.

El refuerzo de fibra elegido para este estudio fue la microfibra de vidrio y sus características se pueden observar en la Tabla 1.

Tabla 1 - Características de la micro fibra de vidrio.

Módulo de Young	Resistencia a la tracción	Diámetro	Extensión	Extensión / Diámetro	Deformación	Masa específica
72 GPa	1698 MPa	0,02 mm	13 mm	650	2 - 3,5%	2,68 g/cm ³

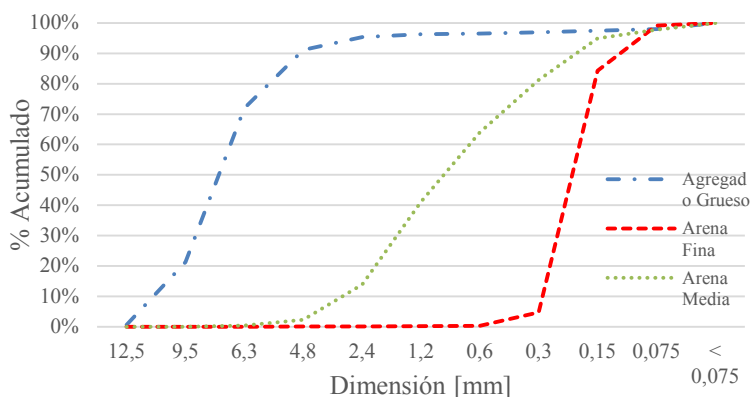


Figura 1 – Distribución Granulométrica de los agregados.

En la fabricación de hormigón, se utilizó el agua potable suministrada por el abastecimiento urbano. Se usó una mezcla superplastificante a base de policarboxilato para obtener la fluidez deseada para la mezcla. Su masa específica es 1,04 g/cm³, con un contenido de sólidos del 30% y su uso se recomienda en hormigón prefabricado y autocompactante.

3.2. Métodos

Para el cumplimiento del objetivo principal fue necesario establecer una dosificación para alcanzar la propiedad de mezcla autocompactante. Claramente también se tuvo la necesidad usar una relación A/Ag inferiores a 0,40; siendo 0,25 el valor escogido, y sobre en esta mezcla se añadió microfibra de vidrio en tres proporciones: 0,20%; 0,25% y 0,30% con relación al volumen de hormigón producido. En Tabla 2 se muestra el consumo de material de todas las mezclas.

Tabla 2 - Consumo de material de mezclas de hormigón (kg/m³).

Mezcla	Cemento	Sílice	Arena Fina	Arena Media	Agregado grueso	Microfibra de vidrio	Agua
0% MFV	706	78	309	202	922	0	196
0,20% MFV	705	78	309	202	920	5,36	196
0,25% MFV	704	78	309	202	920	6,7	196
0,30% MFV	704	78	309	201	919	8,04	196

La preparación del hormigón se realizó en un mezclador de eje inclinado y el procedimiento fue el siguiente: inicialmente se mezclaron los aglutinantes (cemento y sílice), 80% del agua y parte de la mezcla. Una vez que la pasta de cemento se estabiliza, el agregado grueso es incluido, homogeneizando durante 1 minuto, después se incorpora las arenas y la microfibras, y es homogeneizada una vez más la mezcla y, en ese momento, se lleva a cabo, si es necesario. La adición de fibra ocurrió lentamente, de modo que se evitó la formación de aglomerados de fibras en la mezcla.

Como la intención de esta investigación fue evaluar la retracción del hormigón reforzado con fibra, la proporción entre los materiales constituyentes se mantuvo constante, eliminando así una posible variable del resultado obtenido.

3.2.1. Caracterización de las mezclas

Para cada mezcla de hormigón, se realizaron ensayos para la caracterización del estado fresco, retracción restringida, retracción libre, resistencia a la compresión, módulo de elasticidad dinámica y módulo de compresión en estado endurecido. La Tabla 3 registra el resumen de los ensayos realizados, la normatividad seguida y las dimensiones de las probetas.

Tabla 3 - Resumen de los ensayos realizados.

<i>Ensayo</i>	<i>Muestra</i>	<i>Dimensiones (mm)</i>	<i>Standard</i>
Slump	Fresco	-	ASTM C1611[14]
Masa específica	Fresco	150x150x150	NBR 9833 [15]
Resistencia a la compresión	Cilindro	100x 200	ASTM C39[16]
Módulo estático de Young	Cilindro	100x200	ASTM C469 [17]
Módulo dinámico de Young	Cilindro	100x200	ASTM E1876[18]
Retracción libre	Prisma	75x75x285 330 (Interno)	ASTM C490 [19]
Retracción restringida	Anillo	406 (Externo) 152 (Altura)	ASTM C1581[20]

4.- RESULTADOS Y DISCUSIONES

El efecto de la adición de las fibras en las propiedades es presentado en la Tabla 4. Es posible observar la restricción impuesta por las fibras, tanto que no fue posible alcanzar valores predeterminados para el slump flujo de prueba, aunque la mezcla fue llevada a su límite de estabilidad y, cualquier adición de aditivo podría resultar en la segregación de la mezcla. Así mismo, con la incorporación de la microfibras es posible para comprobar la reducción de la masa específica de la mezcla y la elevación del contenido de aire en las mezclas con mayor contenido de la microfibras.

Tabla 4 - Resultado de las pruebas realizadas en estado fresco.

Mixture	Slump [mm]	Masa específica [kg/m ³]	Contenido de aire[%]
0% MFV	650	2398	0,38
0,20% MFV	240	2369	1,61
0,25% MFV	220	2358	2,08
0,30% MFV	230	2345	2,63

En el caso de la resistencia a la compresión, es posible observar a una disminución en el rendimiento mecánico, especialmente en las tempranas edades y esta caída de la resistencia es directamente proporcional para el contenido de microfibra utilizado, como se puede observar en la Figura 4. Este efecto se atribuye a la alta viscosidad de la mezcla y la elevada cantidad de microfibra incorporada, resultando en heterogeneidad de la mezcla.[21]

Además, al trabajar con altos contenidos de fibras se produce el aumento del aire incorporado en la mezcla [22], como se obtuvo en los ensayos en estado fresco, explicando el descenso del resultado de resistencia mecánica.

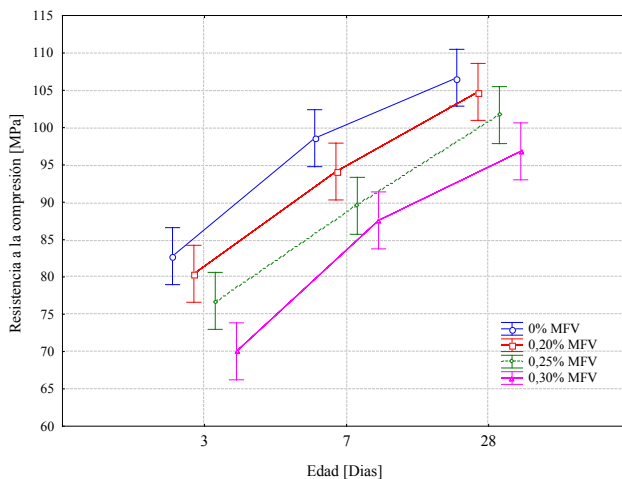


Figura 2 - Ensayo de compresión.

La incorporación de las microfibras de vidrio resultó en la disminución del módulo de elasticidad dinámico de las muestras en las primeras edades. A los 28 días, las mezclas tienen un gran aumento en el valor del módulo dinámico, como se muestra en la Figura 3.

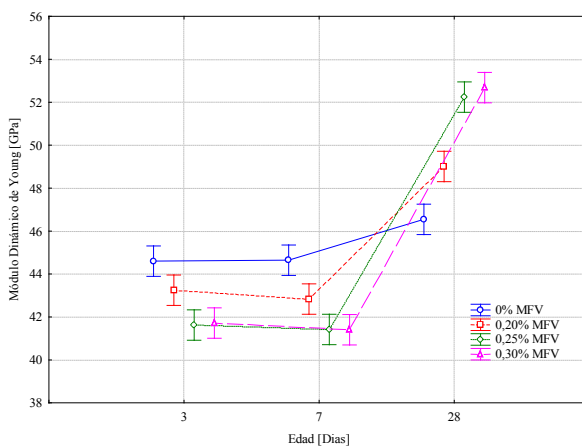


Figura 3 - Resultados del ensayo de módulo dinámico del Young.

Como en los resultados discutidos anteriormente, la diferencia es más significativa en las mezclas a los 28 días. Sin embargo, después de realizar un análisis estadístico a través del método ANOVA, es posible observar que los contenidos ensayados no se diferencian entre ellos, como se puede observar en la Tabla 5 y la Figura 4, asociados a los ensayos de módulo de elasticidad estático.

Tabla 5 - Teste de ANOVA para ensayo de modulo estático de Young.

Efecto	SS	Grau de liberad	MS	F	p
MFV [%]	56,7	3	18,9	7,6	0,001
Edad [Días]	671,1	2	335,6	134,7	0,000
MFV[%]*Edad[Días]	107,8	6	18,0	7,2	0,000

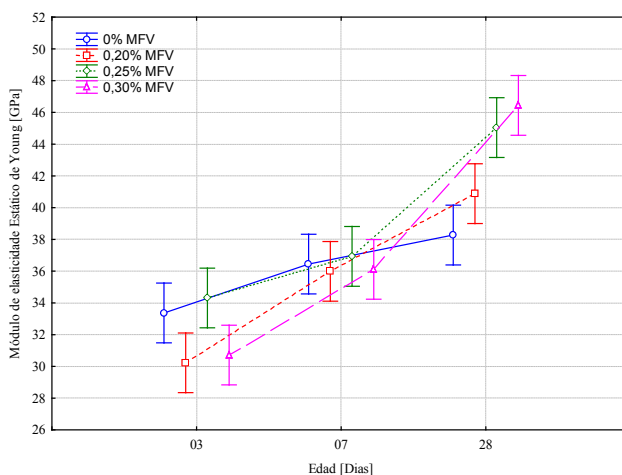


Figura 4 - Resultados del ensayo de módulo estático del Young.

Los resultados con relación a los ensayos de retracción libre se registran en la Figura 5, donde se muestra la deformación media de cada muestra. La deformación obtenida por retracción libre disminuye cuando las microfibras se añaden a la mezcla, en comparación con la muestra de referencia.

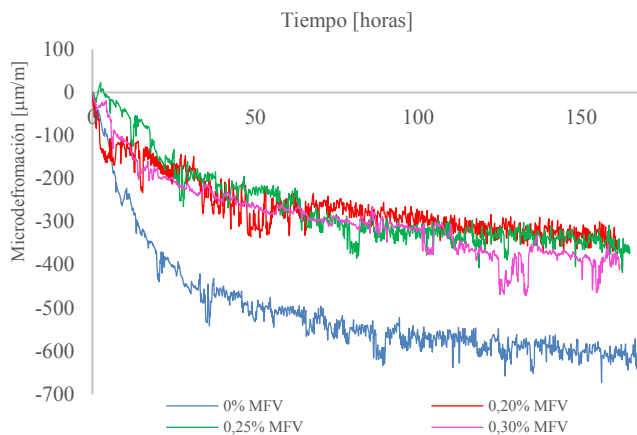


Figura 5 - Resultados del ensayo de Retracción libre.

En la Figura 6 es presentado el resultado medio de los últimos resultados obtenidos de la retracción autógena libre realizada en los tres prismas de cada hormigón estudiado. Este enfoque descuida el comportamiento de la curva de retracción, comparando las mezclas.

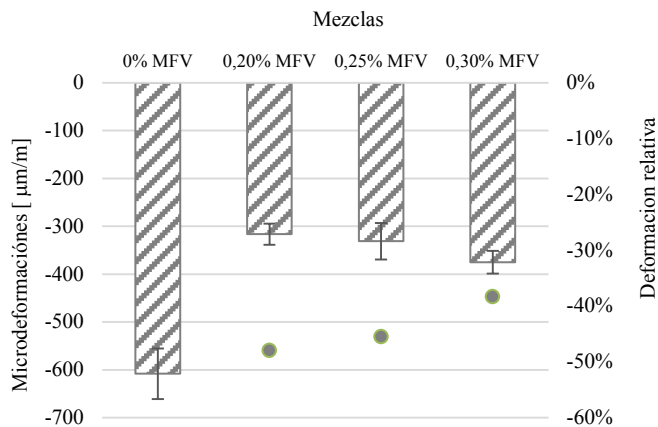


Figura 6 – Última lectura obtenida en el ensayo de Retracción libre y su diferencia obtenida con relación a la referencia.

Se pudo observar que la adición de microfibras resulta en una reducción de la deformación de las muestras, pero no distingue entre ellas. Las mezclas de referencia (0% MFV)

presentaron los valores más altos de retracción libre a los siete días (-608,21 $\mu\text{m} / \text{m}$). La reducción máxima de la deformación obtenida con la adición de fibras en relación con su respectiva referencia fue del 48% para la mezcla 0,20% MFV. Estas mezclas presentaron una deformación final de -316,49 $\mu\text{m}/\text{m}$. Esto puede atribuirse al hecho de que el contenido más bajo incorporado resulta en la menor separación entre las fibras, de manera que presenta eficiencia, así el aumento de la cantidad de fibra no resulta en la mejora de esta propiedad.

Los resultados de las pruebas de retracción restringida realizadas se presentan en la Figura 7. A través de los resultados obtenidos se puede ver que, al ser incorporada fibra se obtiene la disminución de la deformación causada por la retracción autógena, lo que resulta en disminución de la tensión generada por la restricción y que se transmite al hormigón. La mayoría de las mezclas mostraron rotura de concreto antes de 7 días, pero fue posible observar que las composiciones que contienen 0.30% de fibra retrasaron la aparición de fisuras significativamente. Se pudo observar una relación entre el tiempo requerido para la ruptura de la muestra y la lectura de deformación del acero obtenido. En cuanto al tiempo requerido para la fisura del hormigón, este intervalo fue muy variable, con la cantidad de muestra utilizada en este ensayo, no fue posible concluir la influencia de la fibra sobre la edad de craqueo.

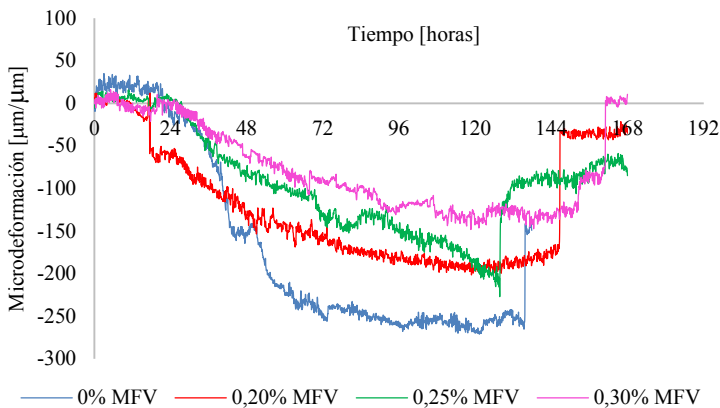


Figura 7 - Resultados del ensayo de Retracción restringida.

5. CONCLUSIONES

- Puede ser concluido que la incorporación de fibra ayuda en la reducción de la deformación debida a la retracción autógena libre, registrando una disminución de la deformación hasta un 48% en relación con su referencia.
- Debido a la restricción impuesta por las fibras en la prueba de retracción libre, se observó que, al añadir fibras, el hormigón presentaba menor deformación.

- En cuanto a las propiedades mecánicas, al incorporar fibra, los valores de la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad de la mezcla disminuyeron hasta los 7 días. Esta disminución de la fuerza puede atribuirse al fracaso de la preparación de la muestra debido a la alta viscosidad de la mezcla y alta cantidad de fibra incorporada, resultando en heterogeneidad de HARRF.
- Es posible afirmar que, aunque la deformación por retracción de la mezcla se reduce con la incorporación de microfibras de vidrio, la capacidad del hormigón para soportar el esfuerzo de tracción generado por esta deformación no muestra una diferencia significativa entre los contenidos usados, demostrando así que para estos niveles de adición no hay diferencia significativa en la capacidad de tensiones de tracción en las edades tempranas.
- La incorporación de fibras tiene una influencia significativa en las propiedades mecánicas. Sin embargo, es necesario estudiar mejor el volumen de fibra a incorporar, ya que altos contenidos pueden provocar pérdida de eficiencia mecánica, como se muestra en este documento, por lo que no proporciona el beneficio buscado al incorporar las fibras en el hormigón.

REFERENCIAS

- [1] C. L. Hwang, V. A. Tran, J. W. Hong, and Y. C. Hsieh, “Effects of short coconut fiber on the mechanical properties, plastic cracking behavior, and impact resistance of cementitious composites,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 127, pp. 984–992, Nov. 2016.
- [2] L. Liu, X. Wang, H. Chen, and C. Wan, “Microstructure-based modelling of drying shrinkage and microcracking of cement paste at high relative humidity,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 126, pp. 410–425, 2016.
- [3] A. D. de Figueiredo, “Concreto reforçado com fibras,” Universidade de São Paulo, 2011.
- [4] N. Yousefieh, A. Joshaghani, E. Hajibandeh, and M. Shekarchi, “Influence of fibers on drying shrinkage in restrained concrete,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 148, pp. 833–845, 2017.
- [5] A. Mazzoli, S. Monosi, and E. S. Plescia, “Evaluation of the early-age-shrinkage of Fiber Reinforced Concrete (FRC) using image analysis methods,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 101, pp. 596–601, 2015.
- [6] W. Sun, H. Chen, X. Luo, and H. Qian, “The effect of hybrid fibers and expansive agent on the shrinkage and permeability of high-performance concrete,” *Cem. Concr. Res.*, vol. 31, no. 4, pp. 595–601, 2001.
- [7] R. P. Borg, O. Baldacchino, and L. Ferrara, “Early age performance and mechanical characteristics of recycled PET fibre reinforced concrete,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 108, pp. 29–47, 2016.

- [8] Y. Ma, B. Zhu, M. Tan, and K. Wu, “Effect of Y type polypropylene fiber on plastic shrinkage cracking of cement mortar,” *Mater. Struct.*, vol. 37, no. March, pp. 92–95, 2004.
- [9] E. TazaWa;, EtsuoSakai;, S. Ryoichi, and S. Miyazawa, “Work of JCI Committee on autogenous shrinkage,” in *PRO 17: International RILEM Workshop on Shrinkage of Concrete - “Shrinkage 2000,”* 2000.
- [10] V. Corinaldesi and G. Moriconi, “Characterization of self-compacting concretes prepared with different fibers and mineral additions,” *Cem. Concr. Compos.*, vol. 33, no. 5, pp. 596–601, 2011.
- [11] ASTM Committee C01.10, “ASTM C150/C150M–16 Standard Specification for Portland Cement,” in *Annual Book of ASTM Standards Volume 04.01*, 2016, pp. 1–8.
- [12] ASTM International, *ASTM Standard C33/C33-Me1, Standard Specification for Concrete Aggregates*. 2016.
- [13] ASTM International, *ASTM Standard ASTM C136/C136M-14, Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates*. 2014.
- [14] ASTM International, “ASTM Standard, C1611/C1611M-14 - Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates.” p. 5, 2014.
- [15] Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, “Nbr 9833 - Concreto Fresco - Determinação da massa específica, do rendimento e do teor de ar pelo método gravimétrico.” Rio de Janeiro, p. 7, 2009.
- [16] ASTM International, *ASTM Standard, C39 / C39M-17a, Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. 2017.
- [17] ASTM Standard C469/C469M, “Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson’s Ratio of Concrete in Compression,” *ASTM Int.*, pp. 1–5, 2014.
- [18] ASTM E1876, “ASTM E1876 Standard Test Method for Dynamic Young’s Modulus, Shear Modulus, and Poisson’s Ratio by Impulse Excitation of Vibration 1,” in *Annual Book of ASTM Standards*, 1876, pp. 1–15.
- [19] ASTM International, “ASTM Standard, C490 -17, Standard Practice for Use of Apparatus for the Determination of Length Change of Hardened Cement Paste, Mortar, and Concrete 1.”
- [20] American Society for Testing and Materials ASTM C 1581, “Standard Test Method for Determining Age at Cracking and Induced Tensile Stress Characteristics of Mortar and Concrete under Restrained Shrinkage,” in *ASTM International*, 2009, pp. 1–7.

Uso de microfibras de vidrio en el control de la retracción autógena en compuesto cimenticio

HAC2018 | V Congreso Iberoamericano de Hormigón Autocompactante y Hormigones Especiales

- [21] “Khan, 1016 -Use of glass and nylon fibers in concrete for controlling early age micro cracking in bridge decks_000.pdf.” .
- [22] “Yehia - 2016 - Mechanical and durability evaluation of fiber-reinforced self-compacting concrete_000.pdf.” .