

MATERIALES TRANSLÚCIDOS DE MATRIZ CEMENTICIA

Agustina Robles¹, Gustavo Arenas² Pablo Stefani³

¹ Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Mar del Plata (UNMdP), Mar del Plata, Argentina. e-mail: juliagustinarobles@gmail.com

² Instituto de Investigaciones Científicas y Tecnológicas en Electrónica (ICYTE), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Mar del Plata (UNMdP), Mar del Plata, Argentina. e-mail: garenas@fi.mdp.edu.ar

³ Instituto de Investigaciones en Ciencia y Tecnología de Materiales (INTEMA), Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Mar del Plata (UNMdP), Mar del Plata, Argentina. e-mail: pmstefan@fi.mdp.edu.ar

RESUMEN

Se obtuvieron materiales cementicios translúcidos (MCT) incorporando fibras ópticas poliméricas (FOP) en un mortero autocompactante (MAC). Se diseñó el MAC siguiendo los procedimientos y criterios europeos, utilizando cemento Portland, arena silíceo fina y reductores de agua de alto y medio rango. MCT con un porcentaje volumétrico de FOP constante (5 %) pero con diferentes diámetros de fibra (0,75, 1 y 1,5 mm), se obtuvieron colando el MAC sobre un molde diseñado ad hoc para mantener fijas y alineadas las fibras. La capacidad de transmisión de luz de los MCT se midió utilizando una fuente de luz blanca y un sensor de potencia óptica colocado dentro de una caja oscura. En particular se evaluó el efecto del diámetro de la FOP y de la distancia entre muestra y detector sobre la potencia óptica medida. El MAC endurecido alcanzó un valor de resistencia a la compresión a los 28 días de 69 MPa, mientras que los MCTs mantuvieron una resistencia suficiente para tener capacidad portante.

Palabras claves: morteros autocompactantes, fibras ópticas, materiales translúcidos, propiedades ópticas, propiedades mecánicas.

INTRODUCCIÓN

El uso de luz artificial con propósitos de iluminación dentro de las edificaciones consume una gran cantidad de energía. Una manera de minimizar el consumo, es potenciar el diseño de construcciones ambientalmente sostenibles que utilicen materiales de construcción transparentes o translúcidos que permitan el paso de la luz natural [1, 2]. Las alternativas existentes en cuanto a materiales que permitan el paso de la luz complementan, pero no sustituyen, a los materiales de construcción convencionales. El profesional debe decidir entre materiales que aportan resistencia estructural o materiales translúcidos, limitando significativamente el área disponible para materiales que permitan el paso de la luz natural para iluminación de espacios interiores en las edificaciones residenciales o industriales [3]. Una manera de mejorar la iluminación de edificios y promover el ahorro energético consiste en la utilización de un material cementicio translúcido con capacidad portante (MCT). El primer MCT comercialmente conocido como Litracon fue diseñado por el arquitecto húngaro Aron Losonczi en el año 2002 [4]. Se trata de un nuevo tipo de material compuesto que permite la transmisión de luz sin necesidad de limitar el espesor de la pieza. Consta de una matriz de mortero cementicio de alta resistencia y un número de fibras ópticas que

se incorporan en la matriz con una disposición espacial específica para aprovechar sus características ópticas [4, 5].

Hoy en día, las fibras ópticas más utilizadas para producir los MCT son poliméricas [6]. Se puede modificar la transmitancia del MCT cambiando la fracción volumétrica de las fibras en la matriz, su diámetro o su patrón de disposición espacial. Ajustando estos parámetros y la composición de la matriz de cemento, el MCT puede formar diversas texturas, colores y generar efectos ópticos muy originales [2]. Por otra parte, la fracción volumétrica de fibras ópticas incorporadas es relativamente pequeña, < 6 % con lo cual no se reduce en forma significativa la resistencia de la matriz y puede ser utilizado en muchos casos como estructura portante en viviendas [6, 7]. Otra ventaja de este material es su capacidad para producir una luz tenue y suave sin necesidad de implementar cortinas o persianas. Se trata de una luz “inteligente”, no invasiva, que otorga calidez a los ambientes y permite establecer una interacción permanente entre el interior y el exterior. Se han propuesto diferentes aplicaciones para los MCT como por ejemplo en salidas de emergencia de edificios, hospitales o cárceles, donde ante una situación de emergencia como un apagón o incendio es imprescindible iluminar desde el exterior con luz natural o artificial. Lo mismo ocurriría en el caso de estaciones de metro y estacionamientos subterráneos, donde su uso permitiría mejorar considerablemente la calidad de la iluminación. También puede incorporarse en pavimentos para resaltar zonas con indicaciones de colores iluminándolos por debajo lo cual contribuye a la seguridad vial de una urbe moderna [8].

A pesar de la potencialidad del MCT para ser utilizado en diversas aplicaciones constructivas, algunos de los aspectos vinculados al comportamiento óptico y a la optimización de los procesos de fabricación, no han sido completamente explorados [8]. Liu et al [9] patentaron un método de preparación de los MCT utilizando fibras ópticas distribuidas paralelamente. Otra patente propuso la utilización de tejidos de fibra óptica cuya versatilidad permite diseños arquitectónicamente atractivos con buenas propiedades de transmisión de luz [10]. Sin embargo, los mismos autores informaron algunos inconvenientes asociados a procesos de fisuración por contracción, alto costo y la complejidad del método de preparación. Es evidente que el principal inconveniente que presentan ambos sistemas patentados se vincula al posicionamiento de las fibras y al proceso de llenado de los bloques con el mortero cementicio. Aun para una baja fracción volumétrica de fibras ópticas, y más aún cuando se utiliza un tejido soporte, se requiere utilizar un mortero con baja viscosidad [7].

En este sentido, el uso de un mortero autocompactante (MAC) se presenta como una alternativa plausible para la producción de MCT. El MAC se diseña específicamente para que pueda ser colocado en el encofrado o molde sin necesidad de compactación interna ni externa y no ocurra segregación de sus materiales componentes [11, 12]. Los morteros cementicios presentan un comportamiento reológico tipo Bingham. Así los parámetros reológicos que caracterizan su trabajabilidad son la tensión de corte umbral que corresponde a la tensión requerida para iniciar el flujo y la viscosidad. Para alcanzar la condición de autocompactibilidad se deben lograr muy bajos valores de tensión umbral sin pérdidas significativas de la viscosidad con el fin de proveer una adecuada resistencia a la segregación de los componentes [13, 14]. De esta manera, se podría obtener un mortero que al deformarse por su propio peso pueda fluir fácilmente entre las fibras sin alterar su distribución espacial en la matriz y no se segregue.

El objetivo de este trabajo es diseñar un MCT utilizando un MAC como matriz cementicia para obtener piezas translucidas de buena calidad. A su vez evaluar el efecto de la incorporación de fibras ópticas de diferente diámetro sobre las propiedades ópticas y el comportamiento mecánico en estado endurecido del producto.

PARTE EXPERIMENTAL

Materiales y caracterización

Se utilizó cemento pórtland fillerizado (CPF40) que cumplió los requisitos de la norma IRAM 50000:2000 [15]. Como agregado se usó arena silíceo fina de médano libre de sustancias perjudiciales según la norma IRAM 1512:2013 [16]. Se descartó por tamizado en seco la fracción de tamaño retenido por el tamiz IRAM #30 (con abertura nominal de 0,63 mm) y se generó un único acopio de arena refinada. Se extrajeron muestras para análisis de este acopio según los procedimientos definidos en la norma IRAM 1509-1987 [17]. En la Tabla 1 se resumen los valores de densidad, porcentaje de absorción según IRAM 1520-2002 [18] y módulo de fineza (IRAM 1505-2019) [19]. El agua de amasado utilizada cumplió los requisitos de la norma IRAM 1601:2012 [20]. Como aditivos se utilizaron: un reductor de agua de alto rango (hiperfluidificante) y un reductor de agua de medio rango (fluidificante). Ambos aditivos son productos comerciales con probada compatibilidad con el cemento y cumplen con las especificaciones de la norma IRAM 1663:2002 [21]. Para la preparación de los MCT se utilizaron FOP basadas en polimetilmetacrilato con diámetros 0,75, 1 y 1,5 mm. La tasa de pérdida de transmitancia de la FOP fue inferior a 250 dB/km y con una apertura numérica de 0.5. El rango de temperatura de funcionamiento recomendado por el fabricante es entre - 50 y 70 °C. Además, se determinó la temperatura de transición vítrea (T_g) por calorimetría diferencial de barrido (DSC50 Shimadzu) a 10 °C/min y con corriente de N₂ (20 ml/min). El valor de T_g medido fue de 84 °C. Este valor indica la máxima temperatura a la que la fibra puede ser usada sin afectar su comportamiento mecánico y óptico.

Tabla 1: Propiedades del agregado fino refinado: Densidad aparente saturado superficie seca (ρ_{SSS}), Densidad aparente del agregado seco (ρ_s), módulo de fineza (MF) y porcentaje de absorción (%A)

ρ_{SSS}	ρ_s	MF	%A
2,67±0,02	2,64±0,01	1,18	0,92±0,05

Preparación y caracterización del MAC

Todos los ensayos para evaluar el comportamiento en estado fresco de los morteros se realizaron según los protocolos propuestos por la EFNARC [22]. Se determinó el diámetro de extendido promedio (D_{ext}) a partir del ensayo de mini-cono, y el tiempo de vaciado (t_v) mediante el mini-embudo en V (Figura 1). Además, se buscó evidencia de separación de la pasta (una medida cualitativa de segregación) en el frente del flujo del ensayo de mini-cono. Siguiendo las recomendaciones informadas en la literatura y nuestros trabajos previos [11, 13-15] se preparó un primer pastón de mortero utilizando una relación agua cemento en peso $a/c = 0,4$, una fracción volumétrica de arena en el mortero $f_a = 0,5$ y se incorporó 0,4 % de fluidificante respecto a la masa de cemento. Para lograr la condición de autocompactibilidad se prepararon pastones variando los siguientes parámetros: dosis de hiperfluidificante, relación a/c , y f_a . Se mantuvo constante en todos los casos el porcentaje de fluidificante respecto a la masa de cemento. Se seleccionó como formulación para el MAC aquella que alcanzó simultáneamente los valores objetivo $D_{ext} = 25 \pm 1$ cm y $t_v = 9 \pm 2$ s en los ensayos de extendido en mini-cono y min embudo en V respectivamente, y no mostraron evidencia visual de segregación. Se midió el contenido de aire del mortero según IRAM 1634:1963 [23]. La formulación obtenida fue colada en moldes de acero de 40x40x160 mm y curadas en cámara ambiental a 23 ± 2 °C y 95 % HR según lo establece la norma IRAM 1534:1985 [24]. Se evaluó la resistencia a la flexión y a la compresión a 7 y 28 días siguiendo los procedimientos y condiciones definidas en la norma IRAM 1622:2002 [25]. Para los ensayos de flexión se utilizó una maquina universal INSTRON

EMIC 23-50 mientras que los ensayos de compresión se llevaron a cabo en una prensa MOHR & FEDERHAFF instrumentada.

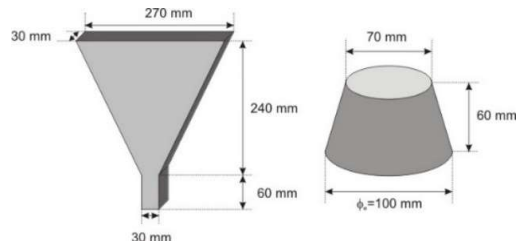


Figura 1: Dimensiones de mini embudo en V y mini cono según EFNARC.

Preparación y caracterización del MCT

Se construyó un molde ad hoc para sujetar las FOP previo al colado del MAC. Como se observa en la Figura 2a el mismo está conformado por una base y paredes recubiertos y placas poliméricas agujereadas mediante corte láser. Las placas poliméricas se montan fácilmente en una ranura presente sobre la base y las paredes del molde. Esta hace de sistema de sujeción e impide que las placas se desplacen durante el llenado. Además, permite intercambiar las placas y, en consecuencia, el diámetro de fibra a utilizar, en forma rápida. Por último, también cuenta con un sistema de paredes móviles en los dos extremos facilitando la operación de desmolde del prototipo. Se prepararon muestras colando el MAC en el molde usando diámetros de FOP de 0.75, 1 y 1,5 mm, pero manteniendo la fracción volumétrica constante (5 %). De este modo se obtuvieron muestras de 120x160x40 mm con las fibras orientadas en la dirección del espesor. Las muestras fueron curadas durante 28 días de igual manera que los morteros. Luego los bordes de las fibras fueron cortadas al ras con un bisturí según un procedimiento previamente informado [6]. Se prepararon probetas de 40x40x160 mm y se determinó la resistencia a la flexión y compresión a 28 días de igual manera que los MAC. Es importante destacar que en los ensayos de flexión y compresión las FOP están en dirección perpendicular a la carga aplicada (Figura 2b).

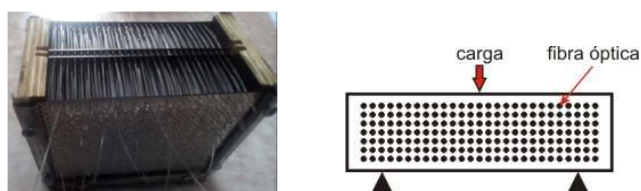


Figura 2: (a) Sistemas de sujeción de las fibras en el molde. (b) Esquema de ensayo de flexión de MCT.

La capacidad de transmitir luz de los MCT se evaluó midiendo potencia óptica. Se utilizó una fuente de luz blanca (lámpara LED - Luz cálida de 7 W), a 30 cm de la muestra y se situó un medidor de potencia óptica con un detector de silicio con área activa de 1 cm de diámetro, dentro de una caja oscura. La muestra se apoyó sobre la caja oscura frente a un orificio de 5 cm de diámetro. Un esquema del sistema de medición se muestra en la Figura 3. Se midió la potencia óptica detectada por el sensor variando la distancia a la muestra entre 0 y 35 cm.

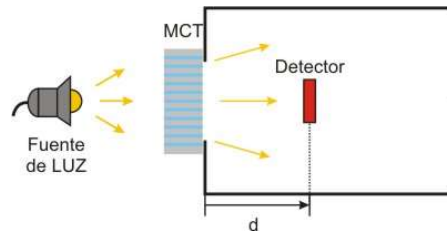


Figura 3: Esquema del sistema para medición de propiedades ópticas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Morteros autocompactantes (MAC)

En base a la metodología de diseño se probaron seis dosificaciones hasta encontrar aquella que cumple la condición de autocompactabilidad según los valores objetivo definidos de D_{ext} y t_v para los ensayos de extendido en mini-cono y mini embudo en V respectivamente, y sin evidencia visual de segregación en el frente de flujo de extendido. En la Tabla 2 se resume la dosificación en estado saturado superficie seca para 1 m³ de mortero.

Tabla 2: Dosificación que cumple la condición de autocompactabilidad para 1 m³ de mortero y agregados en estado saturado superficie seca

	Masa (kg)	ρ_{SS}	Volumen (l)
CPF40	645	3,10	208,1
Arena refinada	1257	2,67	472,2
Agua	295	1	295
Fluidificante	2,57	1,15	2,2
Hiperfluidificante	2,67	1,08	2,5
Aire	-	-	20
a/c		0,457 *	
% Fluidificante		0,40	
Fracción volumétrica de arena en mortero, f_a^{**}		0,472	

* Cumple lo sugerido por Okamura (1995) $a/c < 0,5$

** Comprendida en el rango sugerido por Okamura (1995) $0,4 > f_a > 0,5$

Se determinó el contenido de aire en los diferentes pastones de prueba realizados obteniéndose en todos los casos un valor cercano al 2 %. Este valor fue utilizado para el diseño. Pevio a la preparación de cada pastón se determinó el contenido de humedad del agregado para realizar las correcciones correspondientes. La evaluación continua de la humedad es un factor clave al formular MAC ya que su comportamiento reológico es muy sensible a leves cambios de humedad, lo que es de esperar cuando el acopio del agregado se lleva a cabo a cielo abierto [14]. Cabe destacar que la relación a/c y la f_a del MAC se encuentra dentro de los rangos sugeridos por Okamura [11]

Tabla 3: Propiedades en estado fresco y endurecido del MAC

Estado fresco		Estado endurecido			
D_{ext} (cm)	t_v (s)	σ_F (MPa)*		σ_C (MPa)*	
		7 d	28 d	7 d	28 d
24,5	8	8,9 ± 1,3	12,1 ± 2,1	58,2 ± 2,1	69,3 ± 1,6

*Resistencia a la flexión (σ_F) y compresión (σ_C)

En la Tabla 3 se resumen las propiedades en estados fresco y endurecido del MAC obtenido. Las propiedades en estado fresco son las esperadas ya que el mortero se diseña

para alcanzar estos valores objetivo. De forma complementaria, en la Figura 4 se muestra la imagen del ensayo de extendido para el MAC donde no hay evidencia de separación de la pasta en el frente de flujo. Respecto a las propiedades en estado endurecido, los valores de σ_F y σ_C a 7 días de maduración alcanzaron aproximadamente un 75 % de la resistencia a los 28 días. Además, los valores de resistencia medidos a 28 días son similares a los informados para otros morteros utilizados en la producción de MCT. Li et al [6] informó valores de $\sigma_F = 11,8$ MPa y $\sigma_C = 69,1$ MPa para sus morteros, mientras que Henriques et al [8] informó un valor de $\sigma_C = 56,2$ MPa. Se requiere que los morteros de base posean una alta resistencia dado que al incorporar las FOP la resistencia del MCT debe ser suficiente para no perder su carácter estructural.

Morteros cementicios translúcidos (MCT)

El diseño de los MCT requiere de un balance adecuado entre la capacidad de transmitir luz y la resistencia mecánica. De acuerdo a lo informado por varios autores, con una fracción volumétrica de aproximadamente 5 % de POM en el MCT se logra un compromiso adecuado entre el comportamiento mecánico y óptico [4, 6, 26, 27]. Con una fracción volumétrica de FOP mayor a 5 % crecería la transmitancia, pero incrementaría la probabilidad que se formen oquedades o defectos que reduzcan la resistencia mecánica del MCT. En este sentido, para todos los MCT preparados en este trabajo se utilizó una fracción volumétrica constante de 5% y se redujo el tamaño máximo del agregado utilizado en el MAC para facilitar el proceso de llenado. Esto último es particularmente crítico a medida que baja el diámetro de FOP (D_{FOP}) dado que aumenta el número de fibras. En la Figura 5a se muestra una imagen de la superficie del bloque de MCT obtenido con fibras de $D_{FOP} = 0,75$ mm. Se observa una superficie lisa sin defectos como burbujas y con excelente terminación superficial lo cual está directamente asociado a la fluidez y alto contenido de finos del MAC. Es importante destacar que contrario a lo observado por Li y col [6] no se evidenció la presencia de fisuras macroscópicas como producto de la contracción del mortero alrededor de las FOP. Este comportamiento estaría asociado a la baja contracción del MAC y las condiciones de curado utilizadas.



Figura 4: Imagen del ensayo de extendido del MAC



Figura 5: (a) Imagen de la superficie del MCT con $D_{FOP} = 0,75$ mm. (b) Imagen de falla en compresión de probeta de MCT con $D_{FOP} = 1,5$ mm

En la Tabla 4 se resumen los valores de resistencia a la compresión y flexión de los MCT obtenidos. Como se esperaba todos los MCT mostraron valores resistentes menores que

el MAC aunque retuvieron un % considerable de su resistencia. Se observa además que tanto σ_F como σ_C crecen a medida que el D_{FOP} aumenta. En estos sistemas la falla se inicia en la zona de transición de la interface entre la FOP y el mortero como se evidencia en la Figura 5b. Es una interface débil debido a la baja rugosidad de la FOP. Los valores más altos de σ_F como σ_C a medida que crece el D_{FOP} estaría asociado a la reducción en el área de la interfase [4, 6, 25].

Tabla 4: Propiedades mecánicas de los MCT

D_{FOP} (mm)	σ_F (MPa)	% σ_F (MAC)*	σ_C (MPa)	% σ_C (MAC)*
1.5	$5,8 \pm 0,9$	48	$42,3 \pm 3,1$	61
1	$4,5 \pm 1,1$	37	$29,2 \pm 2,2$	43
0.75	$3,7 \pm 2,2$	31	$25,4 \pm 2,9$	37

* % σ_F (MAC) y % σ_C (MAC) porcentaje retenido del valor de referencia del MAC

En cuanto al comportamiento óptico, en la Figura 6a se muestran para los MCT con diferente D_{FOP} la variación de la potencia óptica en función de la distancia al detector. Se puede ver que a medida que aumenta la distancia entre el detector y la muestra (d en esquema de la Figura 4) la potencia óptica decrece gradualmente [6]. Al alejarse, el efecto de los distintos D_{FOP} desaparece, tendiendo todas las curvas a un mismo valor. Esto ocurre porque el detector recibe la superposición de luz de los ángulos sólidos de todas las fibras individuales según su apertura numérica como si se tratara de una sola fuente, perdiendo su efecto individual [4, 6, 8].

Por último, desde el punto de vista arquitectónico es muy importante observar el efecto del D_{FOP} sobre la definición de la sombra de la imagen. Como se ve en la Figura 6b, se logra una mejor precisión del contorno de la imagen al disminuir el D_{FOP} . Este tipo de efectos deben ser considerados de cara a su aplicación en sistemas de señalética o diseño arquitectónico.

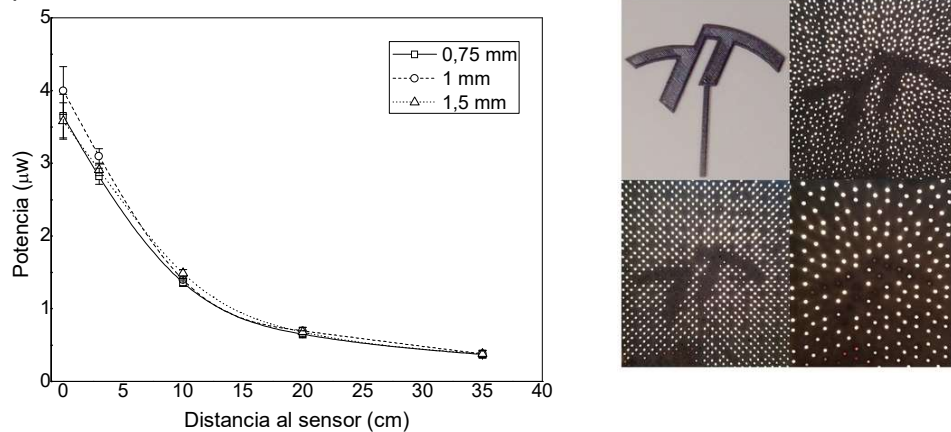


Figura 6: (a) Variación de la potencia óptica en función de la distancia al detector (b) Efecto del diámetro de fibra sobre la definición de contorno

CONCLUSIONES

Se obtuvieron MCT incorporando fibras ópticas poliméricas a un MAC de alta resistencia. Las características reológicas y resistentes del MAC permitieron obtener mediante un proceso simple piezas de MCT con buena terminación superficial, sin defectos y con propiedades mecánicas suficientes para un uso estructural.

El control de la distribución y tamaño de las fibras permite obtener diseños originales con efectos ópticos diversos para aplicaciones en construcciones, señalética y artísticas entre otras.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a CONICET y ANPCyT (PICT 2016 0445) por el financiamiento recibido. Un especial agradecimiento al Ing. Juan Belmonte y el Lic. Andrés Torres por su asistencia en los ensayos mecánicos.

REFERENCIAS

- [1] Ahuja A, Musalman K, "Evaluating energy consumption saving from translucent concrete building envelope", *Energy and Buildings* 153 (2017) 448–460.
- [2] Kamdi A B, "Transparent concrete as a green material for building," *International Journal of Structural and Civil Engineering Research*, 2 (2013) 172–175.
- [3] Hoyos A. A., "Concreto translúcido. Transmisión de luz visible a través de morteros con fluorita como agregado fino" Tesis de Magister. Universidad Nacional de Colombia. Medellín (2012) 72
- [4] Li Y, Li J, Guo H, Preparation and study of light transmitting properties of sulfoaluminate ,cement-based materials *Materials & Design* 83 (2015) 185–192.
- [5] Altomate A, Alatshan F, Mashiri F, Jadan M, "Experimental study of light-transmitting concrete," *International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development*, 7 (2016) 133–139.
- [6] Li Y, Li J, Wan Y, Xu Z, Experimental study of light transmitting cement-based material (LTCM), *Construction and Building Materials* 96 (2015) 319–325.
- [7] Yadav A, Shekhar S, Anand A, Badal A, Zaman B, "An investigating study on a new innovative material: transparent concrete," *International Journal of Engineering Research and Advanced Development*, 4 (2018) 64-72.
- [8] Henriques T, Dal Molin D, Masuero A, "Study of the influence of sorted polymeric optical fibers (POFs) in samples of a light-transmitting cement-based material (LTCM)", *Construction and Building Materials* 161 (2018) 305–315.
- [9] Liu X, Liu L, "A light transmitting concrete component and its manufacturing process," *China Patent CN101906836A* (2010).
- [10] Li Y, Xu Z, Guo Z, Bao Z, "Preparation method of light transmitting concrete using optical fiber fabrics," *China Patent ZL201110022019.2* (2012).
- [11] Okamura H, Ouchi M, "Self Compacting Concrete. *Journal of Advance Concrete Technology*, 1 (2003) 5-15.
- [12] Fornasier G, Fava C, Zitzer L, "Design of Self Compacting Concrete for Durability of Prescriptive vs. Performance-Based Specifications" *Symposium Paper*, 212 (2003) 197-210
- [13] Schiopetto F, Stefani PM "Self-compacting concrete containing silica fume: evaluation of mortar properties" *International Conference on Science and Technology of Composite Materials COMAT, 2015* (2015).
- [14] Faccin F, Pascuzzi N, Alvarez G, Belmonte J, Stefani PM, "Diseño de hormigones autocompactantes (hac) con agregados de la región sudeste de la provincia de buenos aires", *CAIQ2017* (2017).
- [15] IRAM 50000. Cementos. Cementos para uso general. Composición y requisitos (2000).
- [16] IRAM 1512. Agregado fino para hormigón de cemento. Requisitos (2013).
- [17] IRAM 1509 Agregados para hormigones. Muestreo(1987).
- [18] IRAM 1520 Agregados finos. Métodos de laboratorio para la determinación de la densidad relativa real, de la densidad relativa aparente y de la absorción de agua (2002).
- [19] IRAM 1505. Agregados. Análisis granulométrico. (2019).
- [20] IRAM 1601 Agua para hormigones (2012).
- [21] IRAM 1663 Hormigón de cemento. Aditivos químicos. (2002).
- [22] EFNARC European Federation of Producers and Applicators of Specialist Products for Structures "Specification and guidelines for self-compacting concret". Disponible online en <http://efnarc.org> (2002).
- [23] IRAM 1634. Método para la determinación del contenido de aire en morteros (1963).
- [24] IRAM 1534. Hormigón de cemento pórtland. Preparación y curado de probetas para ensayos en laboratorios.(1985)
- [25] IRAM 1622. Determinación de resistencias mecánicas (2002)
- [26] Salih S A, Hamodi H, Mohamed SA, "Effect of Plastic Optical Fiber on Some Properties of Translucent Concrete" *Eng. &Tech.Journal*, 32 (2014) 2846-2861
- [27] Sangshetty PR, Dhawale AW, "An Overview of energy Efficiency of Translucent Concrete", *International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management*, 6 (2017) 37-40.