

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE LA UTILIZACIÓN DE TAMICES MOLECULARES EN MEZCLAS CEMENTICEAS

Rocío Peralta Ring¹, Carla Priano¹, Nestor F. Ortega¹

¹ Instituto de Ingeniería, Dep. de Ingeniería, Universidad Nacional del Sur, Av. Alem 1253, Bahía Blanca, Argentina, rocio.peraltar@hotmail.com

RESUMEN

Los tamices moleculares son desechos obtenidos de una empresa de transporte de gas, detectados en un relevamiento de residuos industriales, realizado en la ciudad de Bahía Blanca. Este material granular se utiliza en torres de adsorción, para filtrar los hidrocarburos contenidos en el gas y concluida su vida útil, son desechados en un relleno de seguridad. El objetivo de este trabajo es analizar la factibilidad de reciclar los tamices moleculares mediante su incorporación, como reemplazo de agregados, en matrices cementiceas. Se realizó su caracterización mediante un ensayo granulométrico, determinación de la densidad a granel, densidad relativa, absorción de agua y difracción de rayos X. Además, se evaluaron las resistencias a compresión y flexión de morteros, incorporando los tamices moleculares como reemplazo parcial del agregado fino. Se encontró que este residuo tiene una interesante potencialidad de uso para ser incorporado en matrices cementiceas, como paso previo al estudio en hormigón.

Palabras claves: residuos, tamices moleculares, morteros.

INTRODUCCION

En un trabajo previo [1] se efectuó un relevamiento de los desechos generados por diferentes empresas, de la zona de influencia de la ciudad de Bahía Blanca, donde se encontraron residuos industriales con la posibilidad de ser incorporados en matrices cementiceas. Entre ellos se hallaron tamices moleculares (Figura 1), ampliamente utilizados en procesos industriales para el filtrado de gases y líquidos.

Una de las empresas relevadas se encarga de gestionar el gas que llega desde un gasoducto proveniente del Sur Argentino, extrayendo Butano, Propano, Etano y Gasolina, para distribuirlos tanto en fábricas del Polo Petroquímico local y a la Central Termoeléctrica Piedrabuena como al consumo domiciliario. En la planta se realiza el proceso de deshidratación del gas mediante torres que contienen tamices moleculares, para retener los posibles hidrocarburos presentes en el gas. En ciertos períodos, los tamices se recambian debido a que se genera hielo en ellos, por la baja temperatura del gas de entrada, impidiendo que las esferas cumplan su función principal.

A diferencia de un filtro tradicional, estos tamices operan a nivel molecular. Consisten en minerales de aluminosilicatos, arcillas, carbones microporosos, zeolitas o compuestos sintetizados que tienen una estructura abierta, a través de las cuales pueden difundir moléculas. La eficiencia de los tamices moleculares se ve afectada por las condiciones de operación, pero se estima que su vida en servicio es de aproximadamente 5 años. El

volumen de estos residuos es importante, algunos autores han reportado 106 toneladas de residuos como desecho sólido en ese período para una sola industria [2]. Según la información obtenida por parte de la empresa en el relevamiento realizado, el caudal de gas a tratar por día es de quince millones de metros cúbicos. En los períodos de recambio, que generalmente, suceden cada 2 años, se obtienen 25 m³ de tamices que ya cumplieron su vida útil. Una empresa cuya planta se encuentra a 18 km de la ciudad de Bahía Blanca, es la encargada del tratamiento de los residuos especiales (peligrosos) y no especiales generados por las industrias de la zona, realizando su disposición final en un relleno de seguridad.



Figura 1: Tamices moleculares.

La escasez de arenas naturales aptas para la elaboración de hormigones es una problemática que se presenta habitualmente en la provincia de Buenos Aires, poniendo de manifiesto la necesidad de utilizar arenas de trituración o agregados reciclados [3]. Por esta razón, el reciclado de desechos para la elaboración de nuevos productos ha tomado un rol importante en la industria de la construcción [4, 5] y permite que su ciclo de vida sea más eficiente y acorde con las tendencias actuales de protección del ambiente.

No se tienen datos de la utilización de tamices moleculares en mezclas cementicias, pero si existen trabajos donde se estudian las propiedades mecánicas de morteros con zeolitas naturales trituradas que demuestran que la presencia de éstas en la mezcla, incluso cuando aumenta su proporción, favorece la ganancia de resistencias mecánicas a largo plazo. Esto se debe a la capacidad altamente reactiva de las zeolitas que se comportan como un material puzolánico [6-9]. Esta actividad puzolánica está estrechamente vinculada al tamaño de la zeolita tras su trituración, ya que a medida que aumenta la superficie específica de las partículas, se registra una mayor puzolanidad [10].

También se ha demostrado la posibilidad del empleo de zeolitas naturales trituradas como agregado de bajo peso unitario, para elaborar morteros y hormigones estructurales livianos [11, 12]. Debido a su elevada porosidad, se han utilizado zeolitas naturales como agentes de curado interno, para mejorar la permeabilidad de hormigones convencionales, a largo plazo [13]. La absorción del agregado, así como su porosidad pueden influir en la adherencia con la pasta de cemento, en la resistencia al congelamiento y deshielo y en la resistencia a la abrasión. La pasta de cemento, por su viscosidad, sólo puede penetrar en los poros más grandes del agregado. Sin embargo, el agua también ingresa en los huecos más pequeños. La cantidad de agua que se adhiere depende del volumen total, el tamaño y la continuidad de poros [14].

Un factor que puede modificar la consistencia de una mezcla en estado fresco, es la absorción del agregado dado que, si es utilizado con una humedad menor a la correspondiente a su condición saturado superficie seca, podría absorber parte del agua de mezclado, resultando en una pérdida de trabajabilidad de la mezcla, en el tiempo. Sin embargo, es posible que, al utilizar el agregado seco, éste se cubra rápidamente con una

capa de pasta de cemento, lo cual impide que la totalidad del agua necesaria para su saturación ingrese en él [14]. Es por ello que, cuando se proyectan hormigones o morteros cementíceos con agregados de elevada absorción, como el caso de una arena de trituración, es una práctica habitual utilizarlos en estado seco y adicionar al agua de mezclado la cantidad correspondiente a parte de la absorción del agregado [15].

El objetivo del presente trabajo es evaluar la influencia de la incorporación de tamices moleculares, obtenidos como desechos de una empresa transportadora de gas, como reemplazo parcial del agregado fino en morteros cementíceos, como paso previo a realizar el estudio de su uso en hormigones.

MATERIALES Y METODOS

En la primera etapa de trabajo, se caracterizaron los tamices moleculares (TM), obtenidos en un relevamiento previo en una empresa transportadora de gas. Se realizó un ensayo granulométrico según Norma IRAM 1505 [16], determinación de la densidad a granel según Norma IRAM 1548 [17], densidad relativa y absorción de agua según Norma IRAM 1520 [18] y difracción de rayos X mediante un Difractómetro Rigaku D-Max III C, con radiación de Cu K α y monocromador de grafito a 35 Kv y 15 mA.

Una vez caracterizados los tamices moleculares, se decidió utilizarlos como reemplazo del agregado fino de morteros cementíceos, Para la elaboración de las mezclas se utilizó agua desmineralizada (para mezclado y curado), cemento proveniente de una fábrica de la provincia de Buenos Aires, caratulado como pórtland normal CPN40 y como agregado fino, una arena natural cuarcítica. Los tamices moleculares fueron incorporados en tres proporciones diferentes de reemplazo de la arena: 25 % (TM25), 50 % (TM50) y 75 % (TM75), respecto al volumen de agregado, para comparar resultados con una muestra de referencia, sin incorporación del residuo (P).

Se dosificaron morteros con relación agua/cemento de 0,50 y los TM se incorporaron en dos condiciones de humedad, secos (TM25_s, TM50_s, TM75_s) y con el 50 % del agua de absorción (TM25_A, TM50_A, TM75_A), puesto que es un material muy poroso. Se evaluó la fluidez en las mezclas frescas, siguiendo lo establecido en la Norma IRAM 1634 [19]. A fin de establecer la influencia del estado de humedad de los TM, se midió la fluidez en dos instancias: al concluir el mezclado (t_0) y a los 20 minutos de finalizado el mismo (t_{20}).

Dada la dificultad de manejo de las mezclas con los TM en estado seco, se decidió para la segunda etapa del trabajo, en la cual se evaluarían propiedades en estado endurecido, dosificar morteros con una relación agua/cemento de 0,50, pero agregando además el 50 % del agua de absorción. Se moldearon así, 3 juegos de 3 probetas prismáticas de 4x4x16 cm para cada uno de los reemplazos de TM. Para evaluar el desempeño mecánico de los morteros cementíceos, se realizaron ensayos de resistencia a flexión y compresión, según la metodología indicada en la norma IRAM 1622 [20], a la edad de 7 y 28 días.

RESULTADOS Y DISCUSION

Análisis granulométrico

A partir del análisis granulométrico de una muestra representativa de los tamices (Tabla 1), se determinó que el tamaño nominal de las partículas varía entre 1,2 y 4,8 mm, por esta razón se incorporaron a las mezclas cementíceas, como reemplazo parcial del agregado fino.

Tabla 1: Análisis granulométrico.

Tamiz	Retenido Acumulado (%)
N°4	-
N°8	91
N°16	100

Densidad a granel, densidad relativa y absorción de agua

Los resultados de las determinaciones de densidad a granel (PU) en estado seco, densidad relativa real (d_1) y absorción (A) se detallan en la Tabla 2. Estos parámetros fueron de gran importancia para realizar las diferentes dosificaciones de los morteros.

Tabla 2: Densidad a granel en estado seco, densidad relativa real y absorción de TM.

PU (kg/m ³)	d_1	A (%)
880	1,84	13,6

Debido a la baja densidad de los tamices moleculares, podrían ser utilizados como un agregado liviano, teniendo especial cuidado en la elevada absorción de agua que presentan. La naturaleza porosa de este material y su estructura interna de retículos y canales interconectados entre sí, es un parámetro a tener en cuenta en la elaboración de las mezclas, ya que podría influir en la relación agua/cemento efectiva a utilizar, incrementar la masa del agregado por el agua absorbida y reducir la pasta del mortero.

Rayos X

En la Figura 2, se muestra el espectro obtenido mediante difracción de rayos X de los tamices moleculares. Se observa una estructura cristalina coincidente a una zeolita sintética de tipo A ($\text{Na}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7\text{H}_2\text{O}$), compuesta por sodio, aluminio y sílice.

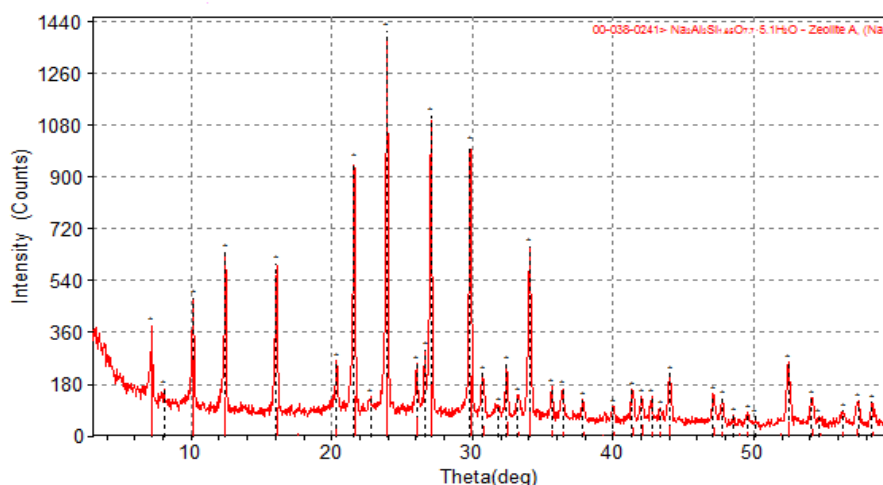


Figura 2: Espectro de RX de los TM.

Fluidez

Las Figuras 3 y 4 muestran los valores de fluidez de los morteros, una vez finalizado el mezclado (t_0) y luego de 20 minutos (t_{20}), respectivamente. Las barras color dorado representan la fluidez de los morteros con los TM en estado seco y las azules con la incorporación del 50 % del agua de absorción.

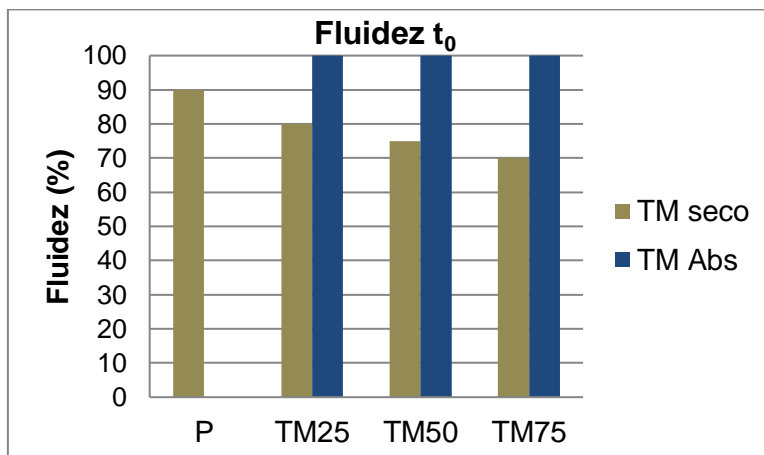


Figura 3: Fluidez de las muestras al finalizar el mezclado.

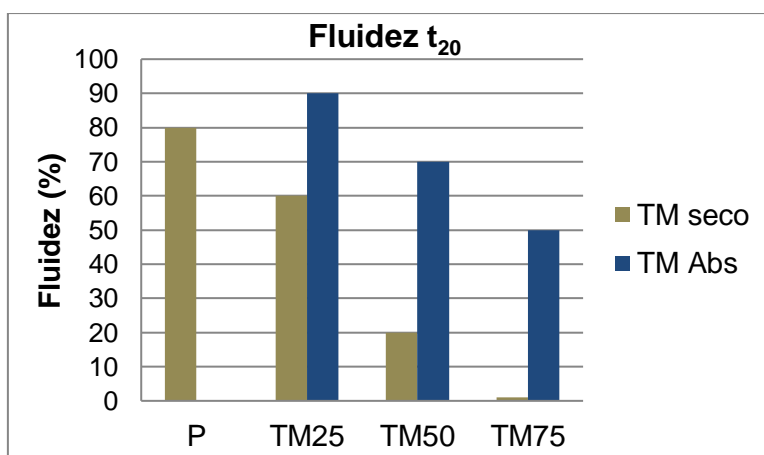


Figura 4: Fluidez de las muestras luego de 20 minutos.

En los dos tiempos estudiados (t_0 y t_{20}) se puede observar que para los morteros en los que se utilizó los TM en estado seco, a medida que aumenta el porcentaje de TM incorporados, se verifica un menor extendido de las mezclas. El mortero elaborado con un 75 % de TM fue el que registró la mayor pérdida de fluidez en t_0 , respecto al mortero patrón (22 %). Este efecto se acentúa en las mediciones luego de 20 minutos de finalizado el mezclado, respecto del medido inicialmente, en las que la pérdida de fluidez llega a un máximo para las mezclas con el mayor porcentaje de reemplazo de TM (TM75s). Este hecho puede atribuirse a la elevada absorción que presentan los TM utilizados en estado seco, que se manifiesta en una menor disponibilidad de agua en la pasta, disminuyendo su fluidez.

El comportamiento de los morteros elaborados con TM con el 50 % del agua de absorción, fue diferente. Al momento de concluir el mezclado, mediciones t_0 , la fluidez de todas las muestras aumentó respecto al patrón en un 11 %, independientemente, del porcentaje de TM incorporados.

En las mediciones t_{20} , realizadas 20 minutos después del mezclado, se verificó una disminución de la fluidez de todas las mezclas, respecto a las mediciones iniciales, siendo mayor la pérdida a medida que se incrementa el porcentaje de TM incorporados. El exceso de agua disponible, en un primer momento, generó el aumento del extendido de las mezclas, pero esta disponibilidad se redujo pasados los 20 minutos, debido a la elevada absorción de los TM. Aún así, al incorporar un 50 % del agua de absorción se puede trabajar con los morteros de mayor porcentaje de reemplazo (TM75), con una pérdida en su fluidez del 38 % respecto al mortero patrón, cuando utilizados en estado seco, la pérdida es del 100 %.

Teniendo en cuenta este comportamiento en morteros, sería recomendable utilizar un aditivo plastificante al momento de comenzar a trabajar con hormigones, previsto en una segunda etapa de esta línea de investigación.

Resistencias

Se realizaron ensayos de resistencia a flexión y compresión a 7 y 28 días de edad, solo sobre las barras de mortero elaboradas con TM con el 50 % del agua de absorción. Al momento del moldeado de los prismas, se verificó la presencia de gran cantidad de burbujas de aire aflorando en la superficie y cierta dificultad para su terminación. Este inconveniente se acentuó a medida que el porcentaje de TM incorporados aumentaba, de manera tal que fue necesario volver a enrasar las barras, debido al incremento de volumen registrado. Este fenómeno podría estar relacionado con algún elemento presente en los TM y será oportunamente estudiado previo a pasar a la etapa de utilizarlos en hormigón.

En las Figuras 5 y 6 se representan las resistencias a compresión y flexión, respectivamente, de todas las mezclas para las dos edades ensayadas.

Se puede observar que, tanto para las resistencias a compresión como a flexión, el reemplazo de TM por la arena natural genera una disminución significativa, respecto al mortero patrón, para ambas edades ensayadas. Esta importante merma se produce para el menor de los porcentajes de reemplazo (25 %) y crece a medida que éste aumenta, registrándose la mayor pérdida en las muestras TM75_A, con un valor de resistencia a compresión y a flexión a los 28 días de edad, del 27 % y 35 %, respectivamente, de las muestras patrón.

Esta considerable disminución en las resistencias mecánicas, puede atribuirse a dos factores: el posible incremento de la relación a/c efectiva en los morteros, en los que se adicionó el 50 % del agua de absorción y a la presencia de un alto contenido de burbujas de aire. Teniendo en cuenta este comportamiento en morteros, sería fundamental evaluar el aire incorporado en hormigones, previsto en una segunda etapa de esta línea de investigación.

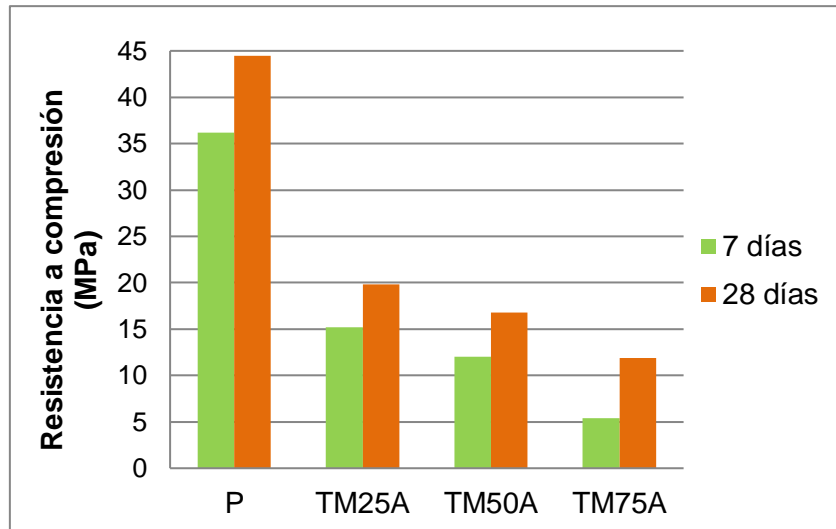


Figura 5: Resistencias a Compresión.

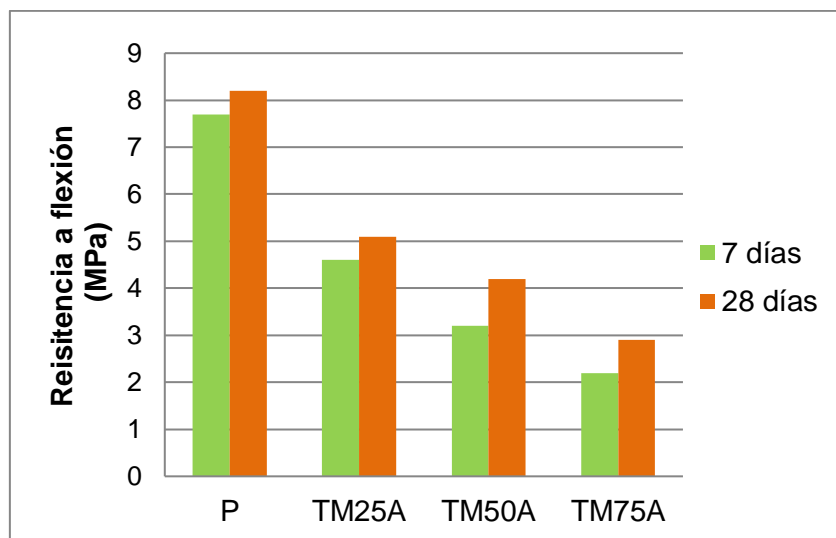


Figura 6: Resistencias a Flexión.

CONCLUSIONES

En este trabajo de investigación se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- El reemplazo de agregado fino natural por tamices moleculares afectó significativamente las características y propiedades de las mezclas cementicias analizadas.
- La elevada absorción que presentan los TM utilizados en estado seco genera una disminución en la fluidez de los morteros, con ellos elaborados. Este efecto podría compensarse con la incorporación de parte del agua de absorción de los TM y con el uso de aditivos reductores de agua.
- No sería recomendable el uso de TM en mezclas cementicias con fines estructurales, debido a la considerable disminución en las resistencias mecánicas de los morteros con ellos elaborados.
- Una alternativa de uso consistiría en incorporarlos en matrices de relleno para contrapisos o paneles livianos aislantes, aprovechando la baja densidad de los TM reciclados y la gran cantidad de aire generado en los morteros.
- La incorporación de TM en mezclas cementicias es una alternativa posible, para realizar la disposición final de un desecho sin afectar al ambiente.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Departamento de Ingeniería y a la Secretaría General de Ciencia y Tecnología Universidad Nacional del Sur y a la CIC de la Provincia de Buenos Aires por el apoyo brindado en estas investigaciones.

REFERENCIAS

- [1] Peralta Ring R, Ortega NF, Priano C, "Relevamiento de residuos industriales factibles de reciclar, para uso en hormigón", IV Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología Ambiental AA2019, (2019), p6.
- [2] Zangana M, "Study the efficiency of molecular sieve type 4^a as drying agent", Msc. Thesis, Baghdad University, (2004).
- [3] Cabrera OA, Traversa LP, Ortega NF, "Effect of crushed sand on mortar and concrete rheology", *Construction Materials*, 61, 303, (2011), 401-416.
- [4] Zega CJ, "Hormigones reciclados: caracterización de los agregados gruesos reciclados", Mg. Tesis, UNCPBA, Olavarría, (2008), 135p.
- [5] Moro JM, Meneses R, Ortega NF, Chapter 1: "Variants in Recycled Concrete Elaboration to Improve their Durability", *Concrete and Concrete Structures. A Review and Directions for Research*; Editors: Dorian T and Pascual V, Nova Publishers, (2017), 1-42.
- [6] Costafreda J, Rosell M, Calvo B, "Estudio del comportamiento puzolánico de algunas zeolitas de Iberoamérica empleando el método de la conductividad eléctrica", VII Congreso Ibérico. X Congreso Nacional de Geoquímica. Soria, España, (2009), 21-23.
- [7] Andrada R, Baronetto C, Positieri M, Oshiro A, Raggiotti B, Sánchez Soloaga I, "Evaluación térmica de morteros elaborados con zeolita como porcentaje de sustitución de aglomerante", *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 16, (2012), 223-230.
- [8] Valipour M, Pargar F, Shekarchi M, Khani S, "Comparing a natural pozzolan, zeolite, to metakaolin and silica fume in terms of their effect on the durability characteristics of concrete: A laboratory study", *Construction and Building Materials*, 41, (2013), 879-888.
- [9] Burris L, Juenger M, "The effect of acid treatment on the reactivity of natural zeolites used as supplementary cementitious materials", *Cement and Concrete Research*, 79, (2016), 185-193.
- [10] Costafreda J, Díaz J, Calvo B, "Propiedades físicas, mecánicas y químicas de algunas zeolitas naturales procedentes de México, Cuba y España", IV Convención Cubana de Ciencias de la Tierra, GEOCIENCIAS'2011, La Habana, (2011), p9.
- [11] Gayoso Blanco R, "Diseño de hormigones y morteros ligeros de alta resistencia empleando zeolitas naturales sin presaturación. Propiedades físico-mecánicas y estructurales", VI Congreso Int. sobre patología y recuperación de estructuras CINPAR 2010, Córdoba, (2010).
- [12] Khalaf A, Nooman M, Kohail M, Nasr E, "The Effect of zeolite on the properties of the LightWeight", *Concrete international journal of scientific and engineering research*, 9 (6), (2018), 303-308.
- [13] Zhang J, Ding X, Wang Q, Zheng, "Effective solution for low shrinkage and low permeability of normal strength concrete using calcined zeolite particles", *Construction and Building Materials*, 160, (2018), 57-65.
- [14] Neville A, "Tecnología del Concreto", 1^a edición. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C., México D.F. (1999).
- [15] Sosa ME, "Estudio de la contracción por secado en morteros y hormigones elaborados con agregados finos reciclados", Tesis Doctoral, UNLP, (2018), 254p.
- [16] IRAM 1505, "Agregados. Análisis granulométrico", Instituto Argentino de Normalización y Certificación, (2019), 20p.
- [17] IRAM 1548, "Agregados. Determinación de la densidad a granel y de los espacios vacíos", Instituto Argentino de Normalización y Certificación, (2003), 11p.
- [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", Instituto Argentino de Normalización y Certificación, (2002), 14p.
- [19] IRAM 1634, "Cemento portland. Método para la determinación del contenido de aire en morteros", Instituto Argentino de Normalización y Certificación, (1963), 5p.
- [20] IRAM 1622, "Cemento portland. Determinación de resistencias mecánicas", Instituto Argentino de Normalización y Certificación, (2006), 25p.