

EMPLEO DE AGUA DE REUSO EN LA ELABORACIÓN DE MORTEROS DE CEMENTO

BOAGLIO, ÁNGELES; DI NANNO, MARÍA PÍA Y MENÉNDEZ, GUSTAVO.¹

1: Grupo Energía, Materiales y Sustentabilidad (GEMyS).
Facultad Regional Chubut - Universidad Tecnológica Nacional
Av. del Trabajo 1536, Puerto Madryn, Chubut, Argentina
e-mail: menendezgustavo@gmail.com

Resumen. *En el ámbito de la construcción, los morteros y hormigones continúan siendo dos de los materiales más utilizados. Aunque las características finales de ambos están influenciadas por el tipo y clase del cemento empleado, no es posible obtener morteros y hormigones sin incorporar agua en la mezcla, debido a que conjuntamente generan los productos de hidratación.*

En Chubut, los efluentes cloacales tratados se emplean en supresión de polvo en caminos, combate de incendios, y riego de distintos cultivos. El Decreto N° 1540/2016, establece requisitos de calidad para distintos usos del agua de reuso.

En este trabajo se estudia la incorporación de agua de reuso, subproducto proveniente del circuito cloacal de la ciudad de Puerto Madryn, como reemplazo del agua de mezcla en la elaboración de morteros.

Los resultados obtenidos indican que su uso permite obtener morteros con tiempo de fraguado, resistencia a compresión y grado de hidratación similar al elaborado con agua potable, mientras que la tasa de absorción no se muestra afectada contribuyendo así, con la disminución en el uso de recursos naturales.

Adicionalmente, se discuten las implicancias legales derivadas del nuevo uso propuesto, así como la importancia de la propuesta para reducir la huella hídrica de la industria de la construcción.

Palabras clave: Morteros de Cemento, Agua de reuso, Resistencia, Tasa de absorción, Normativa.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Panorama global

Hace un poco más de 100 años, la población mundial alcanzaba los 1500 millones de habitantes, mientras que al final de siglo esta cifra trepó a 6000 millones de habitantes. Como consecuencia, los cambios sociales originados por este aumento además de las innumerables revoluciones tecnológicas, la evolución en la industrialización y la urbanización del mundo entero, generaron una serie de actividades que van en detrimento de la conservación del planeta.

A pesar del avance creciente en el desarrollo de nuevos materiales y metodologías de construcción, los morteros y hormigones continúan siendo dos de los materiales más ampliamente utilizados, destinados a la construcción de la infraestructura necesaria para albergar la población mundial creciente. Durante el siglo XX, el hormigón a base de cemento, fue el material elegido para llevar a cabo gran parte de las obras arquitectónicas [1].

La industria del hormigón en el mundo, utiliza anualmente cerca de 1.600 millones de toneladas de cemento, 10.000 millones de toneladas de agregados y 1.000 millones de toneladas de agua. Es decir, se utilizan como materia prima alrededor de 12.600 millones de toneladas de recursos naturales, además de la energía requerida para la producción del hormigón. Si se tiene en cuenta que está previsto hacia el año 2050 un incremento de la población cercano al 50% del valor actual, el desafío será lograr que las necesidades de infraestructura (autopistas, viaductos, viviendas, canales, obras hidráulicas, elementos electromecánicos, etc.) puedan ser satisfechas sin comprometer las necesidades de las generaciones posteriores [2].

En este sentido, se realizan esfuerzos para reducir el consumo de energía, proteger los recursos minerales naturales y disminuir las emisiones de gases que contribuyen al efecto invernadero. Desde hace algunos años se ha incrementado el uso de adiciones minerales como reemplazo parcial del clinker, por constituirse en una alternativa para mitigar el impacto ambiental que produce la fabricación de cemento [1]. Es conocido además que las características finales de los morteros y hormigones están muy influenciadas por el tipo y clase de este material componente, no obstante, aunque parezca una obviedad, no es posible obtener morteros y hormigones sin la incorporación de agua en la mezcla. Esto debido a que junto con el cemento, son los responsables de generar los productos de hidratación. Para ello, es más que frecuente el uso de agua potable como agua de mezclado en la elaboración de morteros y hormigones dado que por el sólo hecho de ser potable, el agua puede utilizarse sin otro requerimiento adicional como material componente de la mezcla [3].

1.2. Panorama regional y local

En nuestra región patagónica, más precisamente en la ciudad de Puerto Madryn, el consumo de agua potable, desde un punto de vista ecológico y su alto costo de disponibilidad, debiera ser cada vez más cuidado y destinarse sólo a cubrir necesidades esenciales. Por esta razón, el empleo de agua potable en las distintas etapas del proceso productivo de morteros y hormigones, contrasta con la idea de un manejo cada vez más eficiente de los recursos naturales y por lo tanto es necesario explorar alternativas para su reemplazo.

En la zona, el reuso de efluentes es promovido por las autoridades municipales y provinciales. La localidad de Puerto Madryn fue pionera en reuso de efluentes líquidos, no obstante, no es el único ejemplo en la provincia. También existen proyectos con distintos grados de avance en las localidades de El Maitén, Las Plumas, Gaiman y Dolavon, entre otras, destinados al riego de forestaciones.

De acuerdo a los datos oficiales del censo 2010 [4], en el Departamento de Biedma, donde se ubica la localidad de Puerto Madryn, hay un 86% de cobertura cloacal que incluye a 21050 hogares. En ese entonces la población total del Departamento alcanzaba casi los 83 mil

habitantes [4]. Tomando como base un consumo promedio de 250 litros/día*persona [5], la cantidad de efluentes cloacales generados en la zona superaría los 20 mil metros cúbicos diarios. Los efluentes cloacales antes eran volcados al Golfo Nuevo, generando problemas de eutrofización por la escasa renovación anual de aguas del mismo. Actualmente, con una política de cero vertido al Golfo de efluentes cloacales, los mismos son derivados a dos sistemas de tratamiento independientes [6]. Un sistema lagunar, denominado “Cota 130”, construido en 2001, que consta de lagunas facultativas y de maduración; y otra planta del año 1981 consistente en lagunas aireadas [6]. El efluente tratado por ambos sistemas es empleado por distintos usuarios, para supresión de polvo en caminos, combate de incendios, y riego de distintos cultivos, constituyendo una demanda interesante.

En Argentina la Norma IRAM 1601:2012 establece los requerimientos de calidad del agua a emplear en elaboración de morteros y hormigones.

En particular, en Chubut, el reciente Decreto N° 1540/2016 -conocido como el Decreto de vuelcos-, que reglamenta la Ley XI N° 35 y la Ley XVII N° 88, establece requisitos de calidad para distintos usos del agua de reuso contemplando lo destinado a: riego, bebida de ganado y aves de corral, combate de incendios, supresión y control de polvo y compactación de suelo, y descarga de inodoros y urinarios. El artículo 48 del citado decreto establece que *“Otros reúsos potenciales serán evaluados y autorizados por la Autoridad de Aplicación”*. El reuso en producción de hormigón o incluso en lavado de camiones mixer, no fue considerado de manera específica en esta versión de la norma.

La Ordenanza 6301 de la Municipalidad de Puerto Madryn de 2006, por otro lado, aprueba la reglamentación del reuso de efluentes cloacales tratados para riego. En los considerandos indica que el reuso permite minimizar el consumo de agua potable y a la vez evitar el vertido al Golfo.

Esta Ordenanza, como la normativa provincial vigente, no establece criterios o límites de calidad para el reuso considerado en el presente trabajo.

1.3. Antecedentes normativos a nivel mundial

A nivel mundial, Estados Unidos a través de su Agencia de Protección Ambiental [7] establece criterios diferenciales según el acceso del público en general al agua de reuso. Para el caso de acceso restringido, y uso potencial de agua de reuso en tareas de construcción como compactación de suelo, control de polvo, lavado de agregados, y preparación de concreto, indica que el pH debe estar entre 6 y 9, DBO5 ≤ 30 mg/L; SST ≤ 30 mg/L; coliformes fecales $\leq 200/100$ ml y un mínimo de cloro residual de 1 mg/L.

Cabe destacar que las mismas son recomendaciones y que la obligación de legislar sobre el particular corresponde a los Estados y municipios. La EPA indica que si la exposición del empleado será frecuente, el nivel de desinfección debería aumentarse para lograr ≤ 14 coliformes fecales/100 ml.

En el presente trabajo se ha estudiado la incorporación de agua de reuso como agua de mezcla, subproducto proveniente del circuito cloacal de la ciudad de Puerto Madryn, en la elaboración de morteros y su efecto sobre el comportamiento resistente y, durable.

2. MATERIALES Y METODOLOGÍA DE ENSAYOS

En este trabajo se utilizó cemento portland normal (IRAM 50000) [8] sin adiciones para todos los morteros. Como agregado fino se utilizó arena natural silíceo de acuerdo a la norma IRAM 1633 [9]. Se realizaron dos series de morteros compuestas por 6 probetas cada una, por una parte la serie P (patrón) fue elaborada utilizando agua potable como agua de amasado, mientras que la serie R se elaboró reemplazando el agua potable por agua de reuso. El curado para cada serie se realizó utilizando el agua de amasado correspondiente. El agua de reuso empleada en este caso provino del sistema lagunar descrito anteriormente

El análisis químico del agua tratada se realizó de acuerdo a la norma IRAM 1601[3]. En la tabla 1 se muestran los resultados obtenidos para la muestra de agua de reuso y se incluyen además los valores límites establecidos por la norma.

Con estos materiales se elaboraron prismas de morteros con relación agua - cemento de 0.5 y una fluidez comprendida entre 60 y 65 %.

El programa de ensayos incluyó el estudio del tiempo de fraguado (IRAM 1619) [10], la resistencia a la compresión (IRAM 1622) [11], la tasa de absorción a la edad de 28 días [12] y el grado de hidratación (α) determinado a partir del método de agua combinada [13], a las edades de 2, 7 y 28 días.

Requisito	Mínimo	Máximo	Valor obtenido muestra
Residuo Sólido (mg/l)	-	5000	1722
Materia orgánica (mg O2/l)	-	3	7
pH	4	-	7.2
Sulfato, expresado como SO_4^{-2} (mg/l)	-	2000	153.5
Cloruro expresado como Cl^- (mg/l)	-	500	198.9
Hierro, expresado como Fe^{+3} (mg/l)	-	1	0.31

Tabla 1: Resultado del análisis químico del agua tratada.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3. 1. Tiempo de fraguado

En la figura 1 se muestra el desarrollo del fraguado de ambas series de morteros (P, R). En la misma puede observarse que no se producen modificaciones sustanciales entre los tiempos de fraguado del mortero patrón y el mortero elaborado con agua tratada, siendo de 182 y 186 minutos el tiempo inicial de fraguado, respectivamente. El final de fraguado en el mortero P se alcanza a los 378 minutos mientras que en el mortero R se alcanza a los 367 minutos.

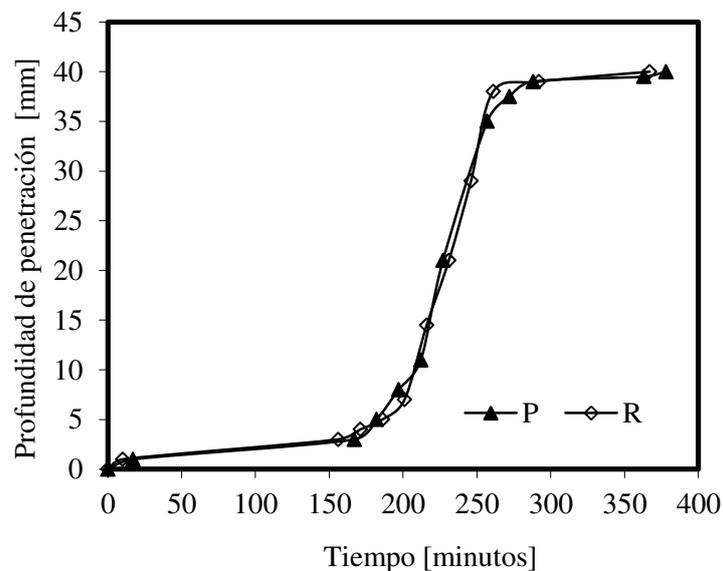


Fig.1: Tiempo de fraguado de los morteros.

3.2. Resistencia a compresión

La figura 2 muestra la resistencia a compresión de los morteros elaborados con y sin agua tratada. Se puede observar que en las distintas edades de ensayo los valores de ambas series presentan valores similares, mostrándose la máxima pérdida de resistencia a la edad de 28 días, donde la resistencia del mortero R alcanza un valor del 95 % de la resistencia del mortero patrón.

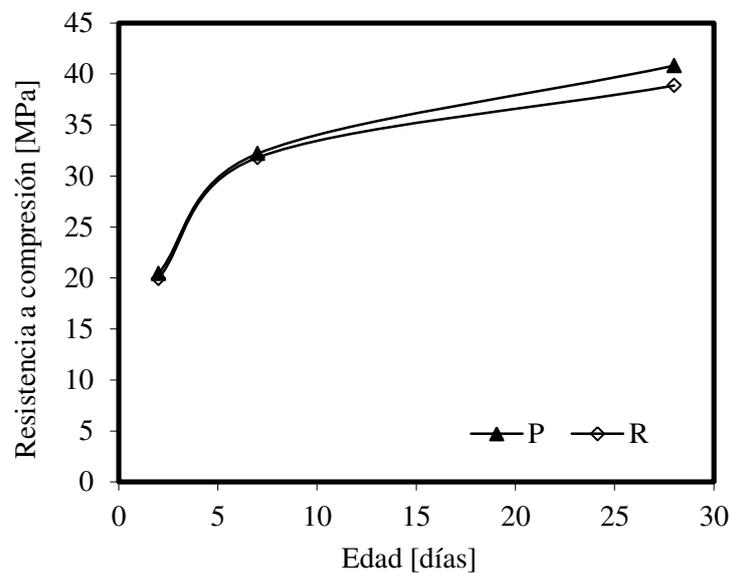


Fig. 2: Resistencia a compresión de los morteros a 2, 7 y 28 días.

3.3. Tasa de absorción

En la figura 3 se presenta la tasa o velocidad de absorción (Sorptivity) para las series P y R. Se puede observar que las pendientes de ambas series son semejantes, indicando que los morteros estudiados poseen una tasa de absorción similar. Por otra parte, el valor de absorción alcanzado a las 48 hrs de ensayo es de 0.6188 con un desvío estándar de 0.0108 y 0.5875 gr/cm^2 con un desvío estándar de 0.0300 para el mortero P y R, respectivamente.

3.4. Grado de hidratación

La tabla 2 muestra el grado de hidratación alcanzado por ambas series de morteros. Es posible observar que el grado de hidratación alcanzado por el mortero R es superior que el correspondiente al mortero P en las diferentes edades estudiadas.

Muestra	Edad		
	2d	7d	28d
P	51	64	75
R	52	67	77

Tabla 2: Grado de Hidratación (α) de ambas series a la edad de 2, 7 y 28 días.

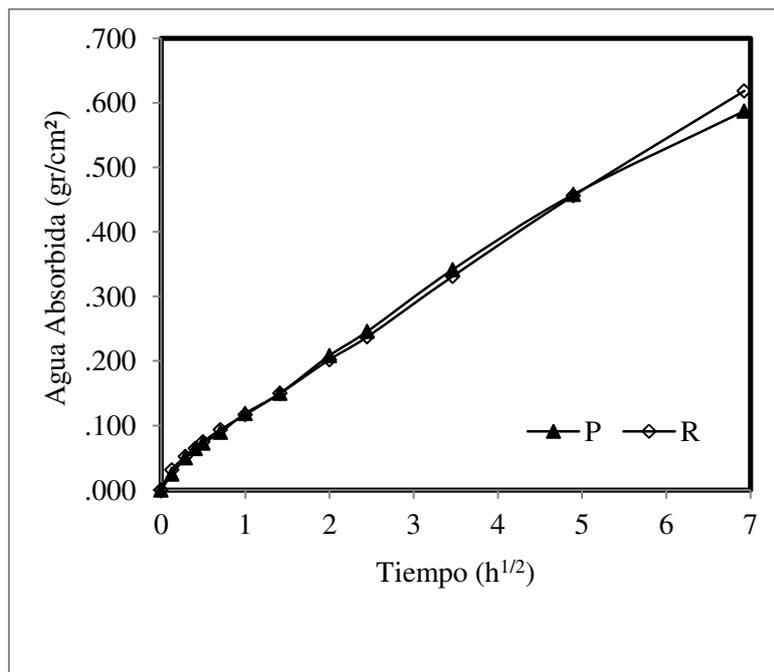


Fig. 3: Tasa de Absorción de los morteros a 28 días.

3.5. Análisis conjunto de los parámetros

Puede observarse en la tabla 1 que desde el punto de vista químico, el agua tratada utilizada en este estudio cumple con los límites impuestos por los requisitos químicos excepto con lo determinado para el contenido de materia orgánica.

Es conocido que la materia orgánica puede disolverse durante el mezclado (debido al pH alcalino que adquiere el agua al mezclarse con el cemento), retardando el fraguado y el desarrollo de la resistencia al interferir en la hidratación del cemento. Adicionalmente, la presencia de materia orgánica puede incorporar cantidades elevadas de aire en la matriz produciendo la reducción de la resistencia [14].

Por ello, para los casos donde el agua a emplear supera el contenido máximo de materia orgánica establecido por la Norma IRAM 1601[3], la propia norma prevé la realización de

ensayos físicos y mecánicos que permiten, en base a los resultados obtenidos, habilitar el uso de las mismas comparando el tiempo de fraguado y la resistencia a compresión de los morteros elaborados con el agua tratada respecto de los elaborados con agua potable.

Respecto al tiempo de fraguado, los resultados obtenidos (figura 1) en ambas series de morteros muestran que el tiempo inicial y final de fraguado no es afectado y, se encuentra dentro de los límites establecidos por la norma IRAM 1601[3], a pesar de la presencia de una mayor cantidad de materia orgánica en el agua tratada. Adicionalmente, ambos morteros presentan un tiempo de fraguado inicial superior a los 45 minutos y un tiempo de fraguado final menor a las 12 horas.

Por otra parte, en referencia al desarrollo de la resistencia, la Norma IRAM 1601[3] establece que al efectuar el ensayo de compresión no debe producirse una reducción mayor al 10 % en los valores medidos a los 7 días, obtenidos sobre probetas preparadas con el agua en estudio, respecto de los obtenidos con las probetas incorporando el agua patrón. A 7 días, la resistencia a compresión fue de 32.19 MPa con un desvío estándar de 0.45 y 31.80 MPa con un desvío estándar de 1.50 para el mortero P y R, respectivamente. En base a ello, la reducción de resistencia respecto al mortero patrón resultó sólo del 2.4 %.

La tasa de absorción es una medida de la velocidad a la que puede ingresar un líquido en un material determinado, y ésta depende fundamentalmente del tamaño y distribución de poros [15]. La figura 3 muestra que a pesar del cambio en el agua de mezclado, ambos morteros presentan una tasa de absorción similar evidenciando una estructura de poros similar.

Finalmente, a pesar que el agua tratada posee una cantidad de materia orgánica superior al máximo establecido, los resultados obtenidos permiten inferir que el mayor grado de hidratación alcanzado en el mortero R en todas las edades estudiadas, compensaría el efecto negativo que produce una mayor presencia de materia orgánica, sobre el tiempo de fraguado y la resistencia a compresión.

4. CONCLUSIONES

En función de los resultados obtenidos puede concluirse que el uso del agua tratada utilizada en este trabajo puede reemplazar el agua potable como agua de mezcla en morteros, sin afectar el tiempo de fraguado inicial y final, la tasa de absorción y la resistencia a compresión de los mismos.

Adicionalmente, el reemplazo de agua potable por agua de reuso, contribuye con un uso más eficiente de los recursos naturales sin comprometer las propiedades del material final.

A nivel normativo, la legislación vigente aplicable en Puerto Madryn y Chubut no contempla requerimientos específicos para el reuso en la industria de la construcción. Se desprende de ello que teniendo en cuenta el art. 48 del Decreto N° 1540/16, debería remitirse propuesta a la autoridad de contralor para evaluar el presente caso de reuso en particular.

Por último, es necesario tener en cuenta que por el tipo de sistema de tratamiento de efluentes empleado, existe una variación estacional en la calidad del agua de reuso que puede producir variabilidad de sus parámetros. Este punto ha sido incluido en los trabajos de investigación futuros.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer el apoyo y colaboración otorgado por el Laboratorio de Materiales perteneciente a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires y a la Facultad Regional Chubut perteneciente a la Universidad Tecnológica Nacional.

REFERENCIAS

- [1] Menéndez, G. “Aplicación del Diseño de Experimentos en la Formulación de Cementos Compuestos”, Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería – UNCPBA (2006).
- [2] Mehta, P. K., “Greening of the Concrete Industry for Sustainable Development”, *Concrete International*, Vol. 4, N° 7, pp. 23-28, (2002).
- [3] Norma IRAM 1601 “Agua para Morteros y Hormigones de Cemento” (2012).
- [4] INDEC. Censo 2010 (2010).
- [5] Metcalf & Eddy. *Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización*. McGraw Hill. Tercera Edición, (1995)
- [6] Faleschini, M. “Sistema de lagunas de estabilización en Puerto Madryn. Tratamiento de Aguas Residuales y Opciones para su Reuso”. Tesis Doctoral: Universidad Nacional del Comahue (2012).
- [7] Environmental Protection Agency (EPA) Guidelines for Water Reuse. Office of Wastewater Management. EPA/600/R-12/618 (2012).
- [8] Norma IRAM 50000 “Cemento para uso general. Composición, características, evaluación de la conformidad y condiciones de recepción.” (2014).
- [9] Norma IRAM 1633 “Arena Normalizada” (2011).
- [10] Norma IRAM 1619 “Método de ensayo para la determinación del tiempo de fraguado” (2006).
- [11] Norma IRAM 1622 “Determinación de resistencias mecánicas” (2006).
- [12] G. Menéndez, V. L. Bonavetti y E. F. Irassar. “Ternary blend cements concrete. Part II: Transport mechanism”, *Materiales de Construcción*, Vol.57, N°285, pp.31-43 (2007).
- [13] Bonavetti, V. “*Cementos con Filler Calcáreo*”, Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería – UNCPBA (1998).
- [14] Rahhal, V. “*Ese Material llamado Hormigón*” Capítulo 4 “Aguas”. Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón. Buenos Aires (2012).
- [15] Camarini, G.; Balayssac, J. P. y Detriché, Ch. H.: “*Influence of cement type and curing conditions on initial absorption of concrete*”, Proc. 2° CANMET/ACI, ACI SP-186, Gramado, Brazil pp. 427-431, (1999).