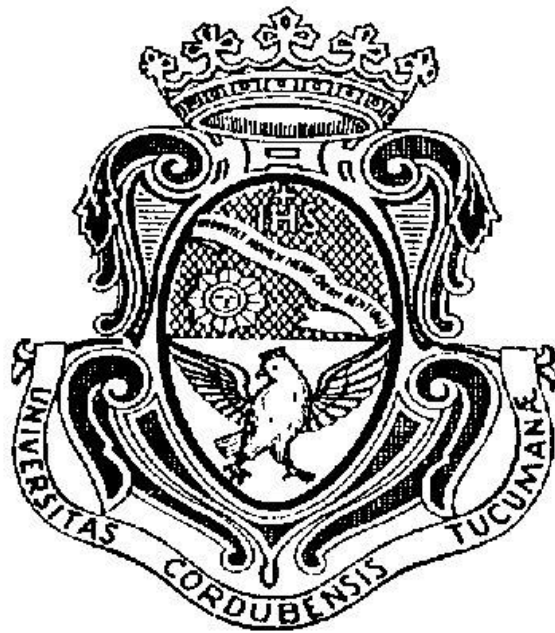


UNIVERSIDAD NACIONAL DE CORDOBA
Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales



PRÁCTICA SUPERVISADA

Dosificación de morteros con árido proveniente de reciclaje.

Baudino Matías Benjamín

Tutora interna: Ing. Patricia Irico

Tutor externo: Ing. Pablo Stumpf

Fecha: Junio de 2018

ÍNDICE

Resumen	3
Introducción.....	4
Primera Parte: El mortero	6
Introducción.....	6
Propiedades.....	7
Mortero en estado fresco.....	7
Mortero en estado endurecido	8
Clasificación y requisitos.....	9
Segunda Parte: Caracterización de los agregados.	11
Introducción.....	11
Requisitos	11
Resultados	12
Densidad, absorción y densidad a granel	15
Tercera Parte: Dosificación.....	17
Pastones Objetivo.....	17
Factor de Pastón – Definición y cálculo.....	18
Dosificaciones finales	23
Ensayos y resultados.....	25
Cuarta parte: Conclusiones.	31
Bibliografía.....	32

Resumen

En la presente práctica supervisada, se busca encontrar, a pedido de la empresa **Eco Áridos**¹ al Laboratorio de Estructuras de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba, la dosificación óptima para morteros que poseen arena proveniente de reciclado de distintas fuentes como uno de sus materiales constituyentes. Estos morteros serán utilizados para revoques y como mortero de asiento para muros no portantes.

En base a este objetivo, se recurrirá a la normativa IRAM vigente para establecer requisitos y ensayos, con el fin de plantear una comparativa basada en propiedades definibles y mensurables.

Numerosos son los estudios a nivel mundial que constatan que utilizar arena proveniente del reciclado es una práctica viable. A largo del trabajo iré citando y mencionando las diferentes fuentes, en las cuales se estableció que utilizar únicamente arena reciclada traía aparejados problemas de fisuración producto del efecto de la retracción por secado junto con mayores requerimientos de agua para alcanzar las mismas trabajabilidades. Los valores óptimos de reemplazo variaban entre el 10% y el 25%², en donde se encontraban las mejores performances, inclusive superando en algunas propiedades a los morteros que únicamente poseían arena como árido constituyente.

En base a lo dicho trabajaré tres porcentajes de reemplazo, con el fin de encontrar el rango en el cual se encuentra la dosificación óptima, los cuales serán el 20%, el 50% y el 80%.

¹ Eco Áridos - <https://www.facebook.com/ecoaridos/>

² Using Fine Recycled Concrete Aggregate for Mortar Production – Catarina Neno, Jorge de Brito, Rosario Viga – DECivil-IST, Technical University of Lisbon – Lisboa, Portugal.

Introducción

Hoy en día, el rubro de la construcción no solo es uno de los mayores generadores de desechos del planeta, sino que además consume aproximadamente el 40% de los materiales extraídos de los recursos naturales³. Según datos obtenidos de CEMINCOR⁴ (cámara minera empresaria de Córdoba), *la provincia de Córdoba se posiciona como uno de los productores de minerales más importantes de Argentina participando en el 20% de la producción minera total, la cual alcanza 49.5 millones de toneladas anuales*. Tomando en cuenta esto, resulta imperativo reincorporar los materiales de estructuras que han cumplido ya su vida útil, para disminuir así el impacto sobre el medio ambiente y los recursos no renovables del mismo. En la mayoría de Europa la tasa de reciclado tiene niveles promedio del 50%, e inclusive, en países como Dinamarca, Estonia y Holanda han alcanzado más del 90% del uso de materiales reciclados de la construcción⁵, demostrando que estas prácticas son viables.

Otra ventaja indiscutible del hecho de reciclar residuos de la construcción es el enorme ahorro en espacios que se produce, debido a que elementos como container o montículos de residuos desaparecen de la zona de obra.

Para la producción de los áridos reciclados, la empresa utiliza dos maquinas de molienda de distinta índole, una de rodillos y la otra de mandíbula, dependiendo del tipo de material que se este buscando reciclar. En este caso, los elementos reciclados fueron de dos procedencias distintas, uno proveniente de la demolición de la estructura que previamente ocupaba el predio de la obra y el otro, de los residuos generados en el proceso de construcción. Uno de los principales inconvenientes de estos materiales es su heterogeneidad.



Imagen 1 - Trituradora de rodillo

³ Environment and sustainable construction – Pinheiro MD – Ambient Institute - Amadora, Portugal.

⁴ CEMINCOR - <http://cemincor.org.ar/>

⁵ Characterization and influence of fine recycled aggregates on masonry mortars properties – P. Saiz Martinez, M. Conzalez-Cortina, F. Fernandez-Martinez – Technical University School of Architecture, Madrid Polutechnic University – Madrid, España.



Imagen 2 - Trituradora de mandíbula.

A lo largo del trabajo desarrollaré la caracterización de las diferentes muestras obtenidas, en base a criterios establecidos por la normativa vigente en lo que respecta a morteros.

Primera Parte: El mortero

Introducción

La norma IRAM 1569 define al mortero como una mezcla constituida por conglomerante, agregado fino, agua y eventualmente aditivos químicos y adiciones. La norma IRAM 1676 establece que el propósito primario del mortero en la mampostería es unir los mampuestos como un conjunto, actuando como un elemento integral, el cual debe tener las características funcionales deseadas.

Para el caso que nos compete, el aglomerante utilizado será el **cemento de albañilería**, cuyo uso fue dispuesto por la empresa Eco Áridos en concordancia con las prácticas usuales de obra. Realizar los morteros con cemento portland como único agregado los haría extremadamente duros (resistentes), pero quebradizos⁶, con presencia de grietas causadas por la tendencia, propia del cemento, de contraerse. Por este motivo, y además debido a que la resistencia no es la principal prioridad a la hora de definir las propiedades deseadas de un mortero, es que se recurre al cemento de albañilería; generalmente una mezcla de 40%-60% de cemento portland con piedra calcárea pulverizada y una pequeña cantidad de sustancias llamadas incorporadores de aire encargadas de mejorar la plasticidad imposible de alcanzar de otro modo únicamente con cemento y arena.

A continuación se definirán las propiedades que la norma considera importantes en el mortero junto con comentarios sobre las mismas extraídas de diferentes referencias bibliográficas. Será en base a estas propiedades que se fijarán los requisitos que se buscan en nuestro mortero, lo que dará lugar a las dosificaciones, que son el verdadero objetivo de este trabajo.

⁶ Morteros para mampostería – Alejandro José Tanco – Revista Vivienda 319 – Córdoba, Argentina.

Propiedades

La norma IRAM establece las propiedades que se buscan de un mortero, dejando también en claro que muchas de las propiedades del mortero no son cuantitativamente definibles en términos precisos debido a la falta de métodos de medición normalizados. Por esta y otras razones, no existen normas sobre morteros que estén totalmente fundamentadas en su comportamiento, siendo este el motivo, en la mayoría de los casos, de la continuidad en el uso de especificaciones tradicionales.

Ninguna combinación de los componentes proporciona un mortero que cumpla con todas las propiedades deseables. Los factores que mejoran una propiedad generalmente actúan a expensas de otras.

Sin embargo, a modo ilustrativo, haré mención de las propiedades que se citan en la norma, las cuales se encuentran divididas en propiedades del mortero fresco y del mortero endurecido.

Mortero en estado fresco

Trabajabilidad: es la propiedad más importante del mortero fresco. Un mortero trabajable se extiende fácilmente con la cuchara sobre los mampuestos, resiste el peso de ellos durante la colocación y facilita el alineamiento. La trabajabilidad es una combinación de varias propiedades, siendo las de mayor influencia la plasticidad, la consistencia, la cohesión y la adhesión. También es el resultado del efecto del rodamiento de las partículas de los agregados lubricados por la pasta aglomerante. Si bien depende considerablemente de la granulometría de los agregados, de las proporciones de los materiales y del contenido de aire, el ajuste final de la trabajabilidad depende básicamente del contenido de agua.

Consistencia: es una propiedad del mortero medida en laboratorio que indica el incremento porcentual en el diámetro de la base de un cono truncado de mortero, cuando se lo coloca en una mesa de escurrimiento, dejándolo caer 25 veces en 15 s desde una altura de 12,7 mm. En base a esta propiedad se establecerán las cantidades de agua a ser utilizadas en las mezclas (consistencia de 110% +/- 5%).

Saiz Martínez y Gonzalez-Cortina definen a la consistencia como el ensayo que determina la cantidad de agua necesaria para obtener una trabajabilidad adecuada⁷. Su enfoque consistió en utilizar la misma cantidad de agua para todos los morteros y ver como variaba su consistencia, obteniendo que para los morteros con agregado reciclado las consistencias disminuían considerablemente, por lo que se recurría a la utilización de aditivos para facilitar la trabajabilidad. Esto está en concordancia con el aumento de finos que trae aparejado este agregado. Resultados similares fueron obtenidos por Neno y de Brito.

⁷ Characterization and influence of fine recycled aggregates on masonry mortars properties – P. Saiz Martínez, M. Conzalez-Cortina, F. Fernandez-Martinez – Technical University School of Architecture, Madrid Politechnic University – Madrid, España

La interpretación que se puede realizar a partir de estos datos es que los morteros con agregado reciclado tienen mayores requerimientos de agua durante su mezclado para alcanzar las mismas consistencias⁸.

Retención de agua: es una medida de la capacidad de un mortero bajo succión de retener el agua de mezclado. Esta propiedad permite al albañil disponer de tiempo suficiente para colocar y ajustar el mampuesto sin que el mortero pierda su plasticidad. La norma establece que una opción para aumentar esta propiedad es incrementando las cantidades de árido fino, tal como se da en nuestro caso.

Fraguado: la pérdida de plasticidad del mortero fresco está relacionado con sus características de fraguado, y se pone de manifiesto por la resistencia a la deformación durante su aplicación.

Mortero en estado endurecido

Adherencia: Es la más importante de las propiedades físicas del mortero endurecido. Es también la más inconstante e impredecible. Normalmente tiene 3 aspectos: resistencia, extensión y durabilidad. Debido a las diversas variables que afectan a la adherencia, es difícil desarrollar un ensayo de laboratorio para cada uno de estos aspectos que produzca resultados reproducibles en forma consistente, y que se aproxime a los resultados de obra. Estas variables incluyen: contenido de aire y cohesión del mortero, tiempo transcurrido entre que se extiende el mortero y se coloca el mampuesto, succión del mampuesto, retención de agua del mortero, presión aplicada en la junta durante la colocación, tomado de juntas, textura de la superficie de apoyo del mampuesto y condiciones de curado. En general la adherencia de los morteros de laboratorio se incrementa con el aumento del contenido de cemento.

Extensibilidad: es la máxima deformación unitaria o elongación posible a tracción hasta rotura. Los morteros de baja resistencia, los cuales tienen módulos de elasticidad muy bajos, son más deformables que aquellos con mayor módulo de elasticidad a igual relación pasta/agregado.

Resistencia a la compresión: la resistencia a la compresión se utiliza con frecuencia como el principal criterio de selección del tipo de mortero, puesto que es relativamente fácil de medir y se la relaciona comúnmente con otras propiedades, tales como resistencia a la tracción y absorción del mortero. En todos los estudios similares observados, el agregado de material reciclado en los morteros ha contribuido a aumentos de resistencia a la compresión. Las principales teorías sobre este hecho apuntan a que el reciclado aporta un efecto filler, sumado a que las partículas de hormigón del reciclado tienen una superficie específica mayor y son más porosas que la arena, por lo que el vínculo que se genera con la pasta cementicia en la mezcla es mayor. En adición, estos reciclados podrían contener partículas de cemento aun no hidratadas que completan su reacción hidráulica cuando entran en contacto con el agua de mezclado, llevando a una mayor cohesión entre las partículas y una mayor resistencia⁹.

⁸ Using Fine Recycled Concrete Aggregate for Mortar Production - Catarina Neno, Jorge de Brito, Rosário Viga – DECivil-IST, Technical University of Lisbon – Lisboa, Portugal.

⁹ Using Fine Recycled Concrete Aggregate for Mortar Production - Catarina Neno, Jorge de Brito, Rosário Viga – DECivil-IST, Technical University of Lisbon – Lisboa, Portugal.

Durabilidad: las mamposterías en servicio expuestas a ambientes secos en general no presentan inconvenientes a lo largo de su vida útil. Por lo general, el contenido de aire aumenta la durabilidad del mortero para mampostería. El exceso de mezclado o el exceso de arena perjudican la durabilidad, así como el uso de mampuestos altamente absorbentes.

Clasificación y requisitos

Como se mencionó anteriormente, como muchas de las propiedades de los morteros no son cuantificables, la norma utiliza tres de ellos para clasificarlos en cuatro tipos distintos de mortero. Estas propiedades son la resistencia a la compresión, la retención de agua y la cantidad de aire incorporado. Para cada una de estas características la norma además establece los ensayos con los cuales definirlos y los requisitos que debe cumplir para cada caso.

En este trabajo solo se analizarán dos de estas propiedades; la resistencia a la compresión y la cantidad de aire. Los motivos que me llevan a tomar esta decisión son dos: en primer lugar, la bibliografía analizada establece, en base a estudios, que las arenas recicladas debido a su composición (que normalmente cuenta con contenidos de materiales cementantes como la cal elevados) y debido a su fineza, mejoran la retención de agua considerablemente con respecto a los morteros convencionales; y la segunda es que no se cuenta con los dispositivos para realizar los ensayos necesarios en el laboratorio de la Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales.

Según lo establecido por la norma IRAM 1676, los morteros, según su tipo, deben cumplir con los requisitos indicados en el siguiente cuadro:

Requisitos	Unidad	Mortero Tipo			
		E	I	N	Np
Resistencia a la compresión promedio mínima, a los 28 d	MPA	15	10	5	2,5
Retención de agua, mínimo	%	55	55	55	55
Contenido de aire, máximo	%	12	12	14	14

Siendo los tipos de mortero establecidos por la norma los siguientes:

- E: mortero de calidad resistente elevada;
- I: mortero de calidad resistente intermedia;
- N: mortero de calidad resistente normal;
- Np: mortero de calidad resistente no portante.

La norma además de los requisitos establece también algunos usos recomendados para los diferentes tipos de mortero que se han definido. Para este caso (mortero de asiento para muros no portantes y revoques), el mortero que más se adecua a los usos buscados es el de Np (mortero de calidad resistente no portante). Para este mortero, la norma establece una dosificación de referencia que puede observarse en el cuadro siguiente.

Mortero	Tipo	Calidad resistente	Proporciones en Volumen (materiales conglomerantes)			Proporción de finos (respecto a la suma de los volúmenes de los conglomerantes)
			Cemento Portland	Cemento de albañilería	Cal hidrata	
Cemento-cal	E	Elevada	1	-	0 a 0,25	2,25 a 3
	I	Intermedia	1	-	0,25 a 0,5	2,75 a 3,75
	N	Normal	1	-	0,5 a 1,25	
	Np	No portante	1	-	1,25 a 2,5	
Cemento de albañilería	E	Elevada	1	1	-	2,25 a 3
	I	Intermedia	0,5	1	-	
	N	Normal	-	1	-	
	Np	No portante	-	1	-	2,75 a 3,75

Elegiré para nuestro mortero una porción de cemento de albañilería por tres de proporción de finos. Esta dosificación cae dentro tanto de Np, como N, como puede observarse.

Estas dosificaciones son de carácter orientativo. Se harán las dosificaciones definitivas en función de los pesos de los materiales constituyentes en lugar de su volumen, mediante la utilización de una herramienta llamada *factor de pastón* que establece la norma para los trabajos de laboratorio con los morteros, la cual será definida más adelante. Para la utilización de dicho factor, son necesarias las densidades y humedades de los agregados utilizados, información que se presentará en la siguiente parte.

Segunda Parte: Caracterización de los agregados.

Introducción

En este apartado, se definirán cuales son los requisitos que establece la norma que deben cumplir los áridos a ser utilizados en el mortero, como así también los resultados de los ensayos establecidos por la norma para cuantificar esos requisitos junto con la norma de referencia en la cual se baso dicho ensayo.

Requisitos

La norma IRAM 1676 establece que los áridos a utilizar deben cumplir lo siguiente.

1. La composición granulométrica debe estar comprendida entre los siguientes límites; todos los ensayos granulométricos fueron hechos según la norma IRAM 1505;

Tamiz IRAM	Porcentaje que pasa	
	Arena natural	Arena de trituración
4,75 mm	100	100
2,36 mm	95 a 100	95 a 100
1,18 mm	70 a 100	70 a 100
630 µm	40 a 75	40 a 75
300 µm	10 a 50	20 a 40
150 µm	2 a 10	10 a 25
75 µm	0 a 5	0 a 10

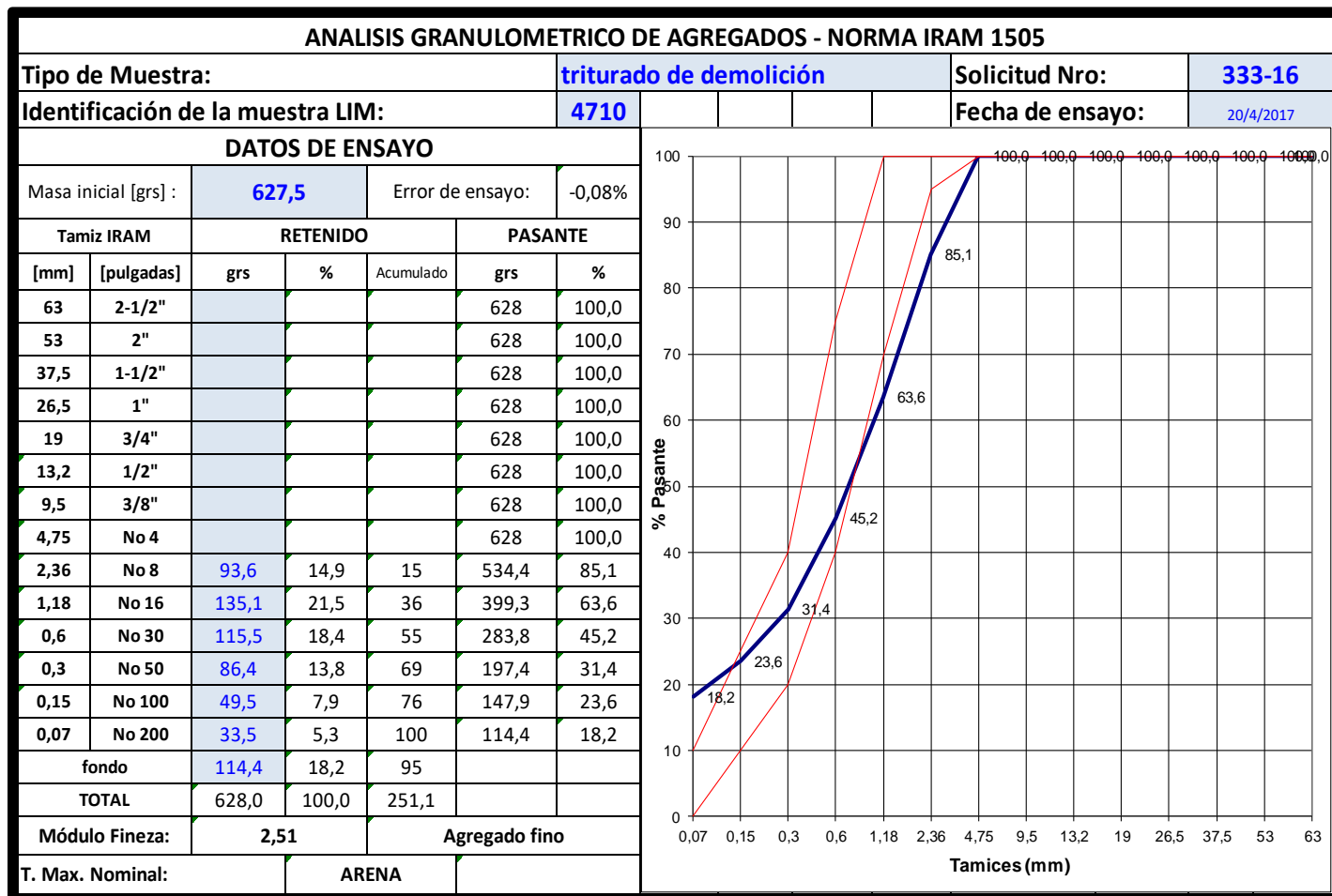
2. En lo que respecta a sustancias nocivas, la norma las limita debido a que son aquellas que reaccionan de manera tal que afectan las propiedades buscadas en los morteros de diferentes maneras. En la siguiente tabla quedan expresados los límites y las respectivas normas de ensayo que fueron consultadas.

Requisitos	Unidad	Máximo admisible	Método de ensayo
Terrones de arcilla y partículas friables	g/100 g	3	IRAM 1647
Materias carbonosas	g/100 g	1	
Materia orgánica	mg/kg	500	
Estabilidad frente a una solución de sulfato de sodio	g/100 g	10	IRAM 1525

Resultados

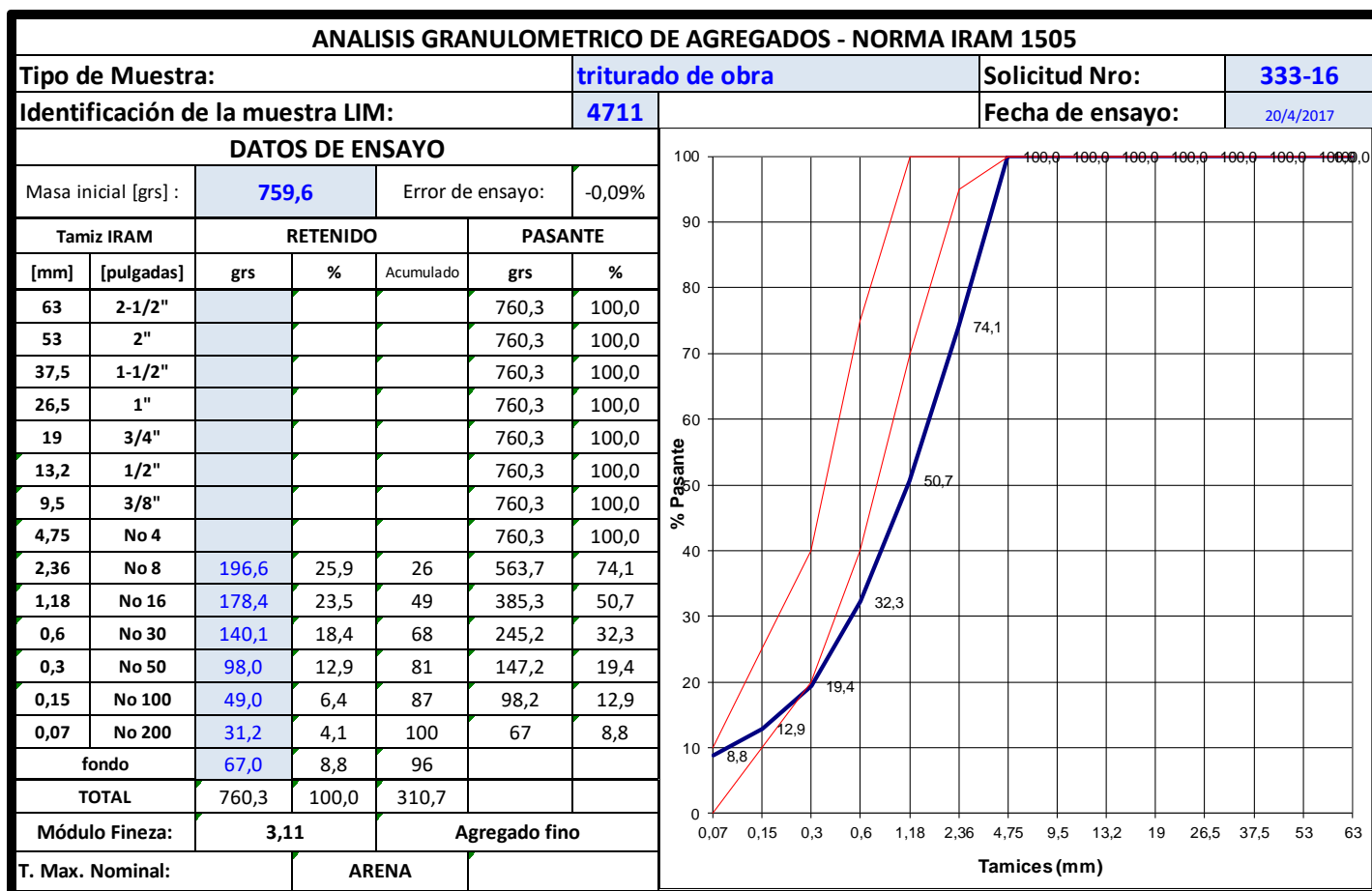
En base a la procedencia de los áridos, se consideró estudiarlos por separado, siendo denominadas los dos materiales como “triturado de obra” y “triturado de demolición”.

Con respecto a las granulometrías los resultados fueron los siguientes:



En el gráfico anterior se presenta la curva granulométrica en una línea azul, y los límites establecidos en la norma IRAM 1676 en líneas rojas.

Como puede observarse, este árido presenta una curva granulométrica que se desplaza ligeramente por debajo del límite inferior en los tamices 8 y 16, para luego ubicarse entre los límites hasta el tamiz número 100, finalizando su recorrido por sobre el límite superior en el tamiz 200.



En lo que respecta a la curva granulométrica del triturado de obra puede observarse que continúa la tendencia de ubicarse por debajo del límite inferior. Sin embargo, si comparamos los módulos de fineza de nuestras muestras con módulos obtenidos en otras investigaciones similares¹⁰, vemos que estamos por debajo del promedio para materiales reciclados.

Cabe destacar que ambos áridos presentan distribuciones de tamaño continuas, lo cual se verá reflejado en mezclas más compactas, trabajables y fuertes.

Muestra	Módulo de fineza
triturado de obra	3,11
triturado de demolición	2,51
RA 1	4,77
RA 2	4,12
RA 3	4,26
EAFIT	3,38

¹⁰Characterization and influence of fine recycled aggregates on masonry mortars properties – P. Saiz Martínez, M. Conzalez-Cortina, F. Fernandez-Martinez – Technical University School of Architecture, Madrid Politechnic University – Madrid, España.

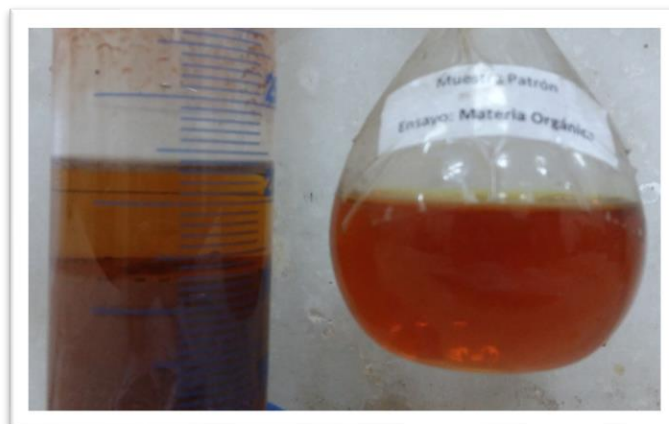
En nuestro estudio, tenemos conocimiento de donde surgen los materiales con que se trabaja, por lo que se puede estimar sin la posibilidad de cometer errores groseros, que la presencia de materias carbonosas y la estabilidad frente a una solución de sulfato de sodio se encuentran por debajo de los máximos admisibles. Esta suposición se basa en relevamientos del proceso en donde se pudo constatar que, en el caso del triturado de demolición, los materiales presentes son hormigón, mortero, ladrillos y cerámicos, y en lo que respecta al triturado de obra únicamente se encontraron restos de ladrillos, morteros y arenas. Tomando lo anterior en cuenta se procedió entonces únicamente a verificar el cumplimiento de los terrones de arcilla y partículas friables y materia orgánica.

Analizando estudios similares a nivel mundial se encontró que esta etapa de la caracterización no es tomada en cuenta, salvo en el estudio número 3 de las referencias, en donde se procedió a realizar un análisis de fluorescencia por rayos X, con lo que se obtuvo las composiciones químicas de los materiales utilizados. Sus resultados se pueden ver a continuación, en la ilustración 10, teniendo en cuenta que sus materiales tienen procedencias similares a los que nos competen.

Muestras	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	SiO ₂	MnO	TiO ₂	SO ₃	P ₂ O ₅	Na ₂ O
RA-1	10,3	16,9	2,85	2,36	149	43,5	-	0,37	4,32	0,12	0,82
RA-2	6,18	11,4	1,57	2,17	0,61	67,5	0,024	0,17	-	0,08	0,35
RA-3	6,98	10,67	1,22	2,16	0,54	68,2	0,022	0,15	-	0,1	0,22

Como puede observarse, las muestras de dicho estudio estaban principalmente compuestas por silicatos. Los materiales tienen las siguientes procedencias: RA-1 y RA-2 surgen de una planta cuyos procesos consistían en reciclados de cerámicos y hormigón, respectivamente; en lo que respecta a RA-3, era originario de una planta que únicamente reciclaba concreto¹¹.

Los resultados de los ensayos para determinar la materia orgánica y los terrones de arcilla y partículas friables resultaron satisfactorios en ambos casos, siendo los porcentajes de terrones de arcilla de 2g/100g para ambos materiales y el contenido de materia orgánica por debajo de los 500 mg/kg, como puede observarse en la figura.



¹¹ Characterization and influence of fine recycled aggregates on masonry mortars properties – P. Saiz Martínez, M. Conzalez-Cortina, F. Fernandez-Martinez – Technical University School of Architecture, Madrid Politechnic University – Madrid, España.

Densidad, absorción y densidad a granel

Este ensayo fue realizado en base a lo establecido en la norma IRAM 1533. No existe en los requisitos de la norma IRAM 1676 mención sobre este aspecto en los áridos a utilizar, sin embargo, se realizaron los ensayos ya que las densidades son datos vitales para las dosificaciones en base al factor de pastón que será detallado más adelante, en el apartado correspondiente.

ms Masa Sat. Sup. Seca [grs]:		500
Vol Volumen [cm ³]:	[lectura - 200]:	208
m Masa Seca [grs]		470
Densidad relativa seca	[m / Vol]	2,26
Densidad relativa SSS	[ms / Vol]	2,40
Densidad reiativa real	[m / (Vol - ms + m)]	2,64
Absorción	[grs] [ms - m]	30
	% [(ms - m) / m] * 100]	6,38%

1Densidad y absorción del triturado de demolición

ms Masa Sat. Sup. Seca [grs]:		500
Vol Volumen [cm ³]:	[lectura - 200]:	222,5
m Masa Seca [grs]		444
Densidad relativa seca	[m / Vol]	2,00
Densidad relativa SSS	[ms / Vol]	2,25
Densidad reiativa real	[m / (Vol - ms + m)]	2,67
Absorción	[grs] [ms - m]	56
	% [(ms - m) / m] * 100]	12,61%

2Densidad y absorción del triturado de obra

Como puede apreciarse, la absorción de uno es casi el doble que la del otro, en concordancia con la cantidad de finos presentes en las dos muestras. El triturado de obra presentaba una curva granulométrica por debajo de la del triturado de demolición.

Los valores del triturado de demolición se corresponden con los observados en estudios similares.

Densidad		Muestra	
		Triturado de demolición	Triturado de obra
Relativa Real	d1	2,64	2,67
Relativa seca	d2	2,26	2,00
Relativa SSS	d3	2,40	2,67

En lo que respecta a la densidad a granel, dato que se utilizará luego en las dosificaciones, se procedió según la norma IRAM 1548-10, con el método C para su determinación. A continuación, se muestran los resultados obtenidos, los cuales son el promedio de los resultados individuales obtenidos en tres determinaciones (valor mínimo de repeticiones), según lo estipulado por la norma. Además, se verificó que cada resultado individual no presentara un desvío mayor que el 1% con relación al promedio.

Identificación	Triturado de demolición	Triturado de obra
Peso húmedo (grs)	511,3	534,4
Peso seco (grs)	491,1	502,9
Humedad H (%)	4,11	5,89
Peso del recipiente mr (Kg)	3,489	3,489
Volumen del recipiente V (m3)	$2,79 * 10^{-3}$	$2,79 * 10^{-3}$
P.R. + Material compactado mar (Kg)	7,272	7,009
Material compactado mar - mr (Kg)	3,783	3,52
Densidad a Granel pap $= (mar - mr) / V$ (Kg/m3)	1355,91	1261,65

Tercera Parte: Dosificación

Pastones Objetivo

En base a las recomendaciones establecidas por la norma, y los usos que se buscan para los morteros en cuestión (mortero de asiento y para revoques), es que he definido que la dosificación a utilizar será 1:3 (una parte de cemento de albañilería, 3 partes de agregado fino), la cual se encuentra entre la normal (N) y la no portante (Np). Esta diferenciación se establecerá en base a los resultados de los ensayos a compresión de las mezclas, ya que los demás requisitos son los mismos para los dos tipos de mezclas.

Como el objetivo de este trabajo es encontrar los valores de reemplazo de los materiales reciclados con respecto al árido total de la mezcla, es que, en base a la bibliografía analizada, se proponen 6 tipos de mezclas diferentes:

- 1- **P000:** Pastón patrón, únicamente contará con arena y cemento de albañilería;
- 2- **P120:** Pastón de prueba número 1 con 20% de reemplazo de la arena natural con el reciclado de demolición;
- 3- **P150:** Pastón de prueba número 2 con 50% de reemplazo de la arena natural con el reciclado de demolición;
- 4- **P180:** Pastón de prueba número 3 con 80% de reemplazo de la arena natural con el reciclado de demolición;
- 5- **P220:** Pastón de prueba número 4 con 20% de reemplazo de la arena natural con el reciclado de obra;
- 6- **P250:** Pastón de prueba número 5 con 50% de reemplazo de la arena natural con el reciclado de obra;
- 7- **P280:** Pastón de prueba número 6 con 80% de reemplazo de la arena natural con el reciclado de obra.

Estos serán los elementos sujetos a las pruebas establecidas por los requisitos de la norma IRAM 1676, que me permitirán establecer cuál es la dosificación que mejor se comporta con los reemplazos. Los resultados a los que apunta esta práctica supervisada son de carácter orientativo. Cabe destacar que los porcentajes de reemplazo representan intervalos entre los cuales seguramente se podrá encontrar un valor más óptimo por sobre los alcanzados en este trabajo. Como dato de carácter informativo, algunos de los estudios analizados encontraron que la dosificación que mejor comportamiento presenta se encuentra con un porcentaje de reemplazo de 27% aproximadamente. Se debe tener en cuenta que este tipo de materiales presentan heterogeneidades importantes, lo que me lleva a concluir que lo que funciona en otra parte del mundo no necesariamente es lo óptimo en nuestra región.

Una vez establecida las proporciones de volumen que corresponde a cada constituyente, queda por realizar una dosificación más ajustada, acorde al trabajo de laboratorio, es decir, mediante la obtención de pesos exactos de cada material. Para esto, la norma define un parámetro denominado factor de pastón, mediante el cual, se pueden establecer las masas de cada elemento.

Factor de Pastón – Definición y cálculo.

Si bien el mortero es un material que se dosifica en obra a partir de volúmenes conocidos en las proporciones que sean necesarias (para nuestro caso 1:3), la norma IRAM 1676 establece que la dosificación en laboratorio se debe efectuar en masa, pudiéndose convertir las proporciones dadas en volumen aparente a proporciones en peso empleando el factor de pastón, que se calcula de la siguiente manera:

$$f_p = \frac{2000 \text{ grs}}{\left(\frac{\rho_{afh}}{1 + \frac{H}{100}} \right) * P_v}$$

Siendo:

f_p el factor de pastón, en decímetros cúbicos;

P_v la proporción en volumen del total del agregado fino;

ρ_{afh} la densidad aparente (o densidad a granel) del agregado fino en estado suelto y húmedo, determinada según la norma IRAM 1548(método C), en gramos por decímetro cúbico;

H el contenido de humedad del agregado fino en gramos por cada 100 gramos.

El valor de 2000 gramos es la cantidad de arena utilizada en un pastón, para lograr realizarle al mismo todos los ensayos establecidos en la norma.

Utilizando el factor anteriormente presentado, la norma procede para pasar de volumen a masa multiplicando dicho factor por la porción en volumen del material constituyente que se quiere establecer y por su densidad aparente. Este método se basa en el hecho de que todos los materiales deberían poseer un factor de pastón similar, por lo que planteando la masa inicial de la arena para calcularlo, luego despejaríamos las masas de los demás componentes en esta ecuación. Se debe tener en cuenta que los otros materiales serán los ligantes, por lo que su humedad al momento de ser usados tenderá a cero.

A modo de ejemplo, supongamos que quisiéramos calcular, de la relación 1:3 que se ha planteado como nuestra dosificación, la masa necesaria de cemento de albañilería. Tomaré como agregado fino una arena normal con humedad del 4,5%, de densidad igual a 1300, solo a los fines de ilustrar mejor este ejemplo. Luego la ecuación nos quedará:

$$f_p = \frac{2000 \text{ grs}}{\left(\frac{1300}{1 + 0.045} \right) * 3} = 0.536 = \frac{\text{masa del cemento}}{1000 * 1}$$

En donde la densidad aparente del cemento de albañilería fue tomada igual a 1000 g/dm³ y su porción en volumen igual a 0. Despejando nos queda que la masa del cemento para este caso será de 536 gramos.

En resumen, el método establece que, una vez estipulada que la masa del agregado fino debe ser de 2000 gramos para satisfacer todos los ensayos necesarios, se obtiene de él un factor de pastón, el cual es una relación entre la masa, la densidad aparente y

la porción en volumen del mismo en la mezcla. Una vez obtenido este factor, se lo multiplica por la proporción en volumen y la densidad aparente de cada constituyente complementario para ir obteniendo las masas de cada uno de los mismos.

En nuestro caso, la parte ocupada por el agregado fino será una mezcla de dos materiales que en definición son diferentes. Por un lado tendremos las arenas naturales de cantera y por otro las arenas obtenidas del reciclado, que a su vez, provienen de dos diversas fuentes, y poseen marcadas diferencias por lo que me ha llevado a considerarlas como dos materiales diferentes. Tomando esto en mente es que planteo dos posibilidades para calcular el factor de pastón en base los siguientes requisitos:

- La suma total del agregado fino debe ser igual a los 2000 gramos establecidos en la norma como la masa suficiente;
- Se deben respetar las proporciones establecidas para las mezclas definidas en el inciso 3.4.2.

La primera posibilidad, que llamaré **factor de pastón 1**, es tomar un factor de pastón de cada material, considerando a cada masa como un porcentaje de los 2000 gramos iniciales para luego tomar con ellos un promedio ponderado en base a sus participaciones en la cantidad total de agregado.

La segunda posibilidad que establezco, que llamaré consecuentemente **factor de pastón 2**, consistirá en calcular el factor de pastón con la masa total, pero dividiéndolo por la suma de las densidades de cada material multiplicadas por sus respectivas proporciones de participación.

A continuación, ilustraré la metodología de cálculo adoptada, realizando paso a paso, la obtención del factor de pastón por cada posibilidad para la mezcla que denominé P120. El resto de los resultados serán detallados en sus respectivas tablas de resultados.

Los datos que necesitamos para estos cálculos son los siguientes:

	humedad	4,11
	densidad a granel	1355,91
	absorción	4,33
	densidad relativa aparente seca	2287
	Cantidad de árido del mortero	2000
	Porción de reciclado	20%
dosificación P120	porción en volumen	0,6
	peso en masa	400
	porción vol arena	2,4
	porción de la arena	1600
	densidad a granel arena	1550
	humedad arena	5
	f1a	0,4516
	f1r	0,5119
	factor de paston 1	0,4637
	factor de paston 2	0,4625
	diferencia entre ambos	1,0025 0,0025 0,25%

Donde se tiene, recordando las fórmulas establecidas para el factor de pastón, y las proporciones determinadas para esta dosificación:

$$f_{1a} = \frac{1600}{\left(\frac{1550}{1 + \frac{5}{100}}\right) * 2,4} = 0,4516$$

$$f_{1r} = \frac{400}{\left(\frac{1355,91}{1 + \frac{4,11}{100}}\right) * 0,6} = 0,5119$$

$$f_{p1} = 0,8 * 0,4516 + 0,2 * 0,5119 = 0,4637$$

$$f_{p2} = \frac{400 + 1600}{\left(\frac{1355,91}{1 + \frac{4,11}{100}}\right) * 0,6 + \left(\frac{1550}{1 + \frac{5}{100}}\right) * 2,4} = 0,4625$$

f_{1a} = factor de pastón de la arena;

f_{1r} = factor de pastón del reciclado;

f_{p1} = factor de pastón 1 (según una de las alternativas propuestas);

f_{p2} = factor de pastón 2 (según la otra alternativa propuesta).

Como se puede apreciar, se obtuvo, de dos maneras diferentes, un único factor de pastón para el agregado fino, y estas dos alternativas difieren entre ellas en menos de un 1%. En ambos casos se consideró que la suma total del peso del árido debía ser de 2000 gramos. En todos los casos las diferencias entre las dos formas propuestas para calcular el factor de pastón se mantuvieron por debajo del 1,2%, por lo que llego a la conclusión de que adoptar uno u otra para las dosificaciones sería indistinto. En este caso he seleccionado el factor de pastón número 2, que en los próximos apartados será denominado directamente como factor de pastón, debido a que en una sola ecuación se incluyen todas las variables.

A continuación, se detallan los resultados obtenidos de los factores de pastón para todas las dosificaciones propuestas.

	humedad	4,11	
	densidad a granel	1355,91	
	absorción	4,33	
	densidad relativa aparente seca	2287	
	Cantidad de árido del mortero	2000	
	Porción de reciclado	50%	
dosificación P150	porción en volumen	1,5	
	peso en masa	1000	
	porción vol arena	1,5	
	porción de la arena	1000	
	densidad a granel arena	1550	
	humedad arena	5	
	f _{1a}	0,4516	
	f _{1r}	0,5119	
	factor de paston 1	0,4817	
	factor de paston 2	0,4799	
	diferencia entre ambos		1,0039
			0,0039
		0,39%	

humedad		4,11	
densidad a granel		1355,91	
absorcion		4,33	
densidad relativa aparente seca		2287	
Cantidad de árido del mortero		2000	
Porcion de reciclado		80%	
dosificacion P180	porcion en volumen	2,4	
	peso en masa	1600	
	porcion vol arena	0,6	
	porcion de la arena	400	
	densidad a granel arena	1550	
	humedad arena	5	
	f1a	0,4516	
	f1r	0,5119	
	factor de paston 1	0,4998	
	factor de paston 2	0,4986	
	diferencia entre ambos		1,0025
			0,0025
		0,25%	

humedad		5,89	
densidad a granel		1261,65	
absorcion		11,31	
densidad relativa aparente seca		2032	
Cantidad de árido del mortero		2000	
Porcion de reciclado		20%	
dosificacion P220	porcion en volumen	0,6	
	peso en masa	400	
	porcion vol arena	2,4	
	porcion de la arena	1600	
	densidad a granel arena	1550	
	humedad arena	5	
	f1a	0,4516	
	f1r	0,5595	
	factor de paston 1	0,4732	
	factor de paston 2	0,4697	
	diferencia entre ambos		1,0074
			0,0074
		0,74%	

humedad	5,89	
densidad a granel	1261,65	
absorcion	11,31	
densidad relativa aparente seca	2032	
Cantidad de árido del mortero	2000	
Porcion de reciclado	50%	
dosificacion P250	porcion en volumen	1,5
	peso en masa	1000
	porcion vol arena	1,5
	porcion de la arena	1000
	densidad a granel arena	1550
	humedad arena	5
	f1a	0,4516
	f1r	0,5595
	factor de paston 1	0,5056
	factor de paston 2	0,4998
	diferencia entre ambos	1,0115
0,0115		
1,15%		

humedad	5,89	
densidad a granel	1261,65	
absorcion	11,31	
densidad relativa aparente seca	2032	
Cantidad de árido del mortero	2000	
Porcion de reciclado	80%	
dosificacion P280	porcion en volumen	2,4
	peso en masa	1600
	porcion vol arena	0,6
	porcion de la arena	400
	densidad a granel arena	1550
	humedad arena	5
	f1a	0,4516
	f1r	0,5595
	factor de paston 1	0,5379
	factor de paston 2	0,5340
	diferencia entre ambos	1,0074
0,0074		
0,74%		

Como puede apreciarse, las cantidades de agregado fino en cada caso suman los 2000 gramos, valor estipulado por la norma como el necesario para que con los pastones se puedan realizar los ensayos establecidos. Otro dato de interés es que a medida que se aumenta el porcentaje de reemplazo en los pastones, las cantidades necesarias de cemento de albañilería, según el método del factor de pastón, van en aumento, alcanzando en entre un 7% y 15% según sea reciclado de demolición o de obra, respectivamente.

Dosificaciones finales

Habiendo establecido que es el factor de pastón, como se calcula y las dos alternativas que se han propuesto para este caso, junto con todos los resultados obtenidos de dichos cálculos, procedo ahora a utilizar esta información para establecer qué cantidad de cemento de albañilería se dispondrá en cada pastón.

P120				
	porcion en volumen	densidad aparente	factor de paston	masa del material
Arena	2,4	1550	0,463	1600
Reciclado 4710	0,6	1355,91	0,463	400
Cemento de albañilería	1	1000	0,463	463
P150				
	porcion en volumen	densidad aparente	factor de paston	masa del material
Arena	1,5	1550	0,480	1000
Reciclado 4710	1,5	1355,91	0,480	1000
Cemento de albañilería	1	1000	0,480	480
P180				
	porcion en volumen	densidad aparente	factor de paston	masa del material
Arena	0,6	1550	0,499	400
Reciclado 4710	2,4	1355,91	0,499	1600
Cemento de albañilería	1	1000	0,499	499

P220				
	porcion en volumen	densidad aparente	factor de paston	masa del material
Arena	2,4	1550	0,470	1600
Reciclado 4711	0,6	1261,65	0,470	400
Cemento de albañilería	1	1000	0,470	470
P250				
	porcion en volumen	densidad aparente	factor de paston	masa del material
Arena	1,5	1550	0,500	1000
Reciclado 4711	1,5	1261,65	0,500	1000
Cemento de albañilería	1	1000	0,500	500
P280				
	porcion en volumen	densidad aparente	factor de paston	masa del material
Arena	0,6	1550	0,534	400
Reciclado 4711	2,4	1261,65	0,534	1600
Cemento de albañilería	1	1000	0,534	534

Como se puede apreciar en las tablas listadas anteriormente, lo primero que se destaca es que a medida que fue aumentando la cantidad de arena de reciclado, el método de dosificación del factor de pastón llevo a un incremento caso a caso del cemento de albañilería. Esto puede deberse a que el reciclado posee una menor densidad con respecto a la arena normal, por lo que el

Pastón	Relacion a/c	Consistencia	Agua dosif. (grs)
P000	0,88	114	397,76
P120	0,90	113	416,70
P150	0,88	109	422,40
P180	0,90	110	449,10
P220	0,90	109	423,16
P250	0,90	115	450,10
P280	0,87	108	464,58

método busca llenar la cantidad de vacíos generada por las proporciones de los materiales.

El agua de amasado para cada caso será la necesaria para alcanzar una consistencia del 110% (+/- 5%) según lo establecido por la norma. Para obtener dicha cantidad de agua se realizaron pastones de prueba en los que se hizo variar el agua por tanteos hasta encontrar las cantidades que cumplen con los requisitos propuestos. Se comenzó con relaciones agua cemento de 0,7 en los primeros pastones, haciendo variaciones cada 0,02. Los resultados obtenidos se encontraron todos entre 0,88 y 0,90. Este requisito de la norma se basa en el hecho de que normalmente los albañiles preparan los morteros con consistencias mayores, del orden del 150%, pero que una vez que se coloca el mismo en el mampuesto, una parte del agua de amasado se pierde, tanto por evaporación como por absorción, por lo que el mortero remanente tiene la consistencia de los ensayos.

Las consistencias fueron obtenidas según la norma IRAM 1679.



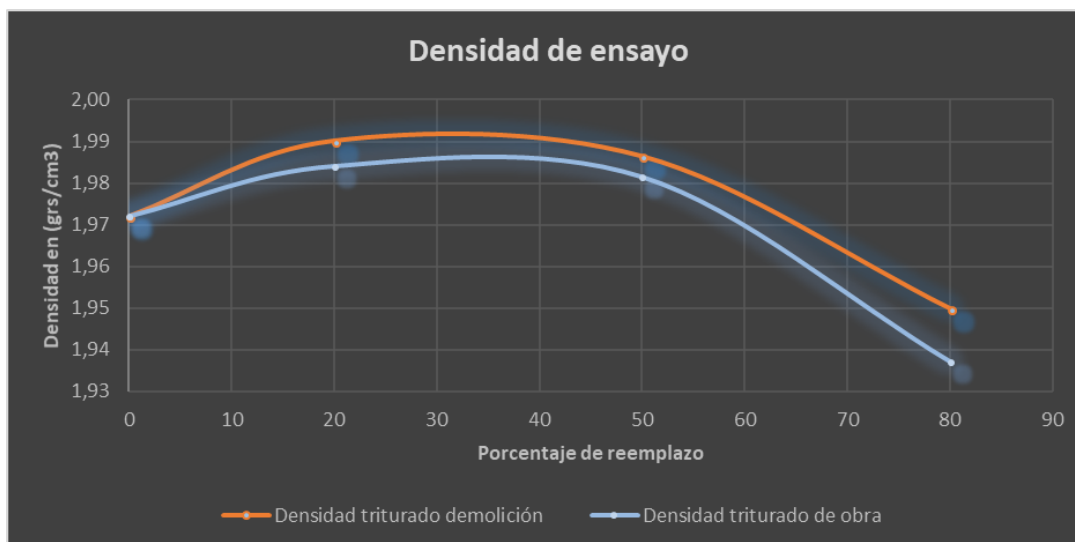
En consistencia con los datos obtenidos en la caracterización de los áridos, la mayor fineza del reciclado de obra hizo que los requisitos de agua fueran un poco mayores, como así también las densidades obtenidas fueron consistentes con las de los diferentes áridos, encontrándose que en una primera etapa del reemplazo hay un aumento de la densidad para luego disminuir a valores inferiores a los del mortero sin reemplazo.

Ensayos y resultados

Sobre los morteros en estado fresco se realizaron ensayos de consistencia mediante la utilización de la mesa de Flow, procedimiento que se utilizó para la dosificación y cuyos resultados ya fueron expuestos en el apartado anterior. Además, se midió la densidad utilizando el procedimiento establecido en la norma IRAM 1679. Los resultados obtenidos se detallan a continuación.

Mortero	Peso + recipiente	Peso mortero	Densidad
P000	2547,50	2287,5	1,972
P120	2568,60	2308,6	1,990
P150	2564,30	2304,3	1,986
P180	2521,80	2261,8	1,950
P220	2561,50	2301,5	1,984
P250	2558,50	2298,5	1,981
P280	2507,00	2247	1,937

En el gráfico siguiente se puede observar claramente el comportamiento de las densidades a medida que se iba aumentando la cantidad de reciclado de reemplazo.



Ambas muestras tuvieron comportamientos similares a medida que se aumentaban los porcentajes de reemplazo, teniendo el triturado de obra una menor densidad en todo el recorrido de la curva graficada. Para rangos de reemplazo del 20 %, se puede observar que la densidad alcanzaba un máximo para luego volver a descender, incluso por valores inferiores a los del mortero sin reemplazo. Esto se debe al incremento de aire incorporado, que se podrá apreciar más adelante.

En lo que respecta al aire incorporado, el cual era un requisito establecido y limitado en 12%, se obtuvo mediante los procedimientos definidos en la norma IRAM 1676. Los resultados se detallan a continuación en la siguiente tabla.

Mortero	Densidad Aparente	Densidad absoluta	Contenido de aire
P000	1,97	1,92	2,58
P120	1,99	1,88	5,41
P150	1,99	1,84	7,33
P180	1,95	1,79	8,14
P220	1,98	1,88	5,36
P250	1,98	1,82	7,96
P280	1,94	1,78	8,12

Como puede apreciarse, también se incluyeron los valores de la densidad absoluta, definidos por la norma como la división entre la suma de todas las masas de los materiales componentes dividido por la sumatoria de las divisiones de las masas por cada densidad:

$$\rho = \frac{m_1 + m_2 + m_3 + m_A}{\frac{m_1}{\rho_1} + \frac{m_2}{\rho_2} + \frac{m_3}{\rho_3} + V_A}$$

En donde:

P = densidad absoluta del mortero;

m_1 = masa del cemento de albañilería;

m_2 = masa de la arena;

m_3 = masa del reciclado de obra;

m_A = masa del agua;

ρ_1 = densidad absoluta del cemento de albañilería;

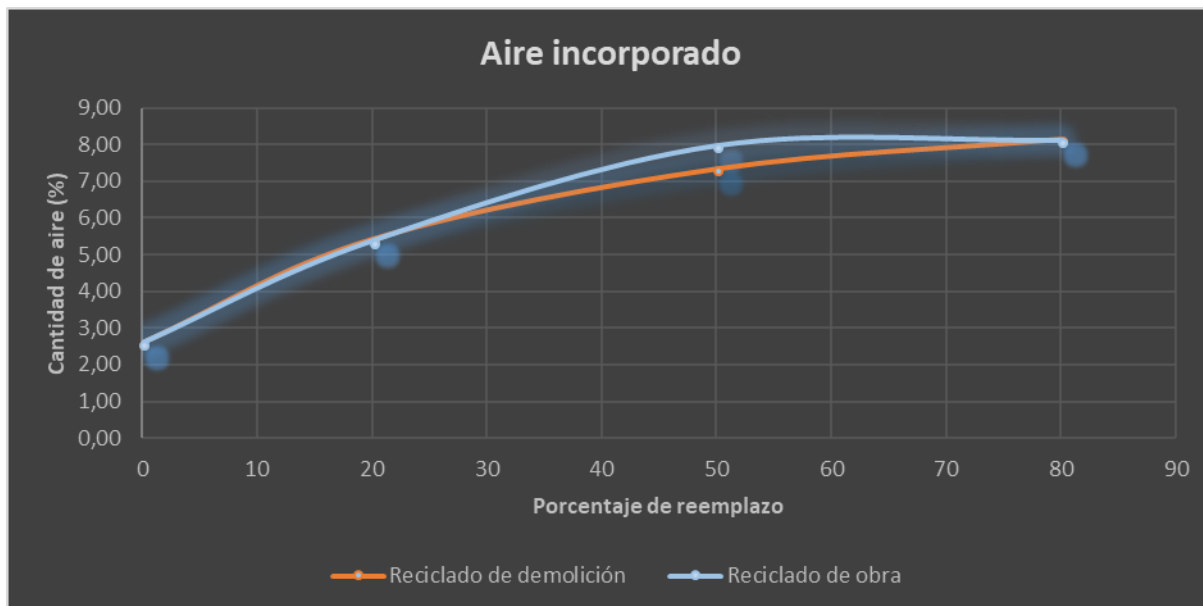
ρ_2 = densidad absoluta de la arena;

ρ_3 = densidad absoluta del agregado reciclado;

V_A = volumen de agua.

Luego, el aire incorporado vendría dado por:

$$A = 100 * \left(1 - \frac{\rho}{\rho_{ap}}\right)$$



Como puede apreciarse, el aire incorporado fue en aumento a medida que los porcentajes de reemplazo se iban incrementando, pero siempre se mantuvieron por debajo de el límite establecido por la norma, el cual era igual a 12 %. Una mayor cantidad de aire le confiere al mortero una mejor trabajabilidad, pero a expensas de la resistencia.

Una vez realizado todos los ensayos sobre el mortero en estado fresco, se procedió a confeccionar las probetas para los ensayos a compresión, mediante los protocolos establecidos en la norma IRAM 1679. El curado de las mismas fue realizado según la

norma IRAM 1676, el cual difiere de la norma 1679, con el objetivo de obtener un material que refleje de manera más fiel las condiciones de obra¹².



Los moldes utilizados en base a los requisitos de la norma se pueden observar en la figura de la izquierda. Con estos se obtienen tres probetas por pastón, tal como puede apreciarse debajo.

Sobre cada probeta se realizó un ensayo de flexión y dos a compresión con los pedazos que surgieron del ensayo a flexión. La norma únicamente tiene requisitos en los respecta a la resistencia a compresión de los pastones, pero se realizó también el ensayo de flexión debido a que es parte del mismo ensayo. Una vez que se alcanza la rotura a flexión, se generan dos pedazos de probeta, de dimensiones aproximadamente similar, las cuales son ensayadas a compresión, y el resultado será luego el promedio de ambos ensayos. Puede observarse esto en la última imagen de la página.

La distancia entre apoyos era de 100 mm en concordancia con lo establecido por la norma IRAM.



¹² En la norma 1679 el curado se realiza mediante la inmersión de la probetas en agua, mientras que en la norma 1676 se hacen permanecer las mismas en una cámara húmeda durante todo el tiempo que transcurre desde desmoldadas hasta el momento del ensayo.



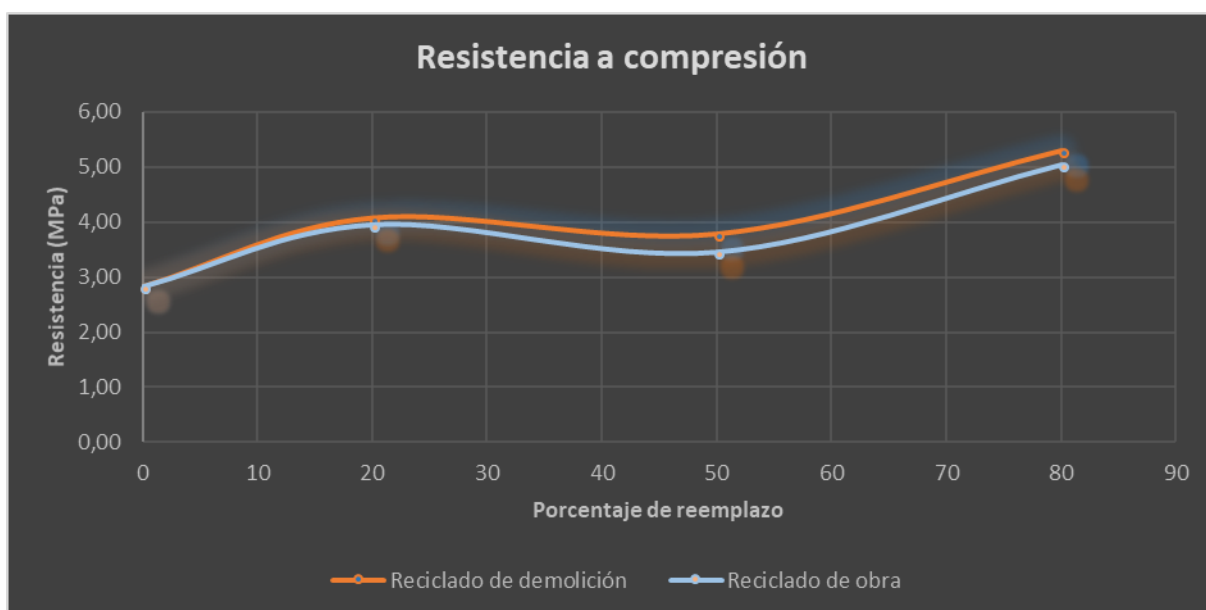
Los resultados de los ensayos a compresión se detallan en la siguiente tabla:

Ensayo	Probeta	Peso (grs)	Flexion (kgf/cm ²)	Comp. 1 (kgf)	Comp. 2 (kgf)	Promedio (kgf)	Promedio (Mpa)	Resultado de paston
1	P000-1	487,00	2,28	398,83	469,21	434,02	2,71	2,82
2	P000-2	494,50	1,83	480,94	469,52	475,23	2,97	
3	P000-3	493,50	2,28	467,25	426,20	446,73	2,79	
4	P120-1	492,00	3,62	646,71	664,98	655,85	4,10	4,07
5	P120-2	495,50	3,69	658,23	677,65	667,94	4,17	
6	P120-3	494,50	3,67	633,86	628,44	631,15	3,94	
7	P150-1	498,50	3,39	603,91	621,71	612,81	3,83	3,78
8	P150-2	496,00	3,43	610,32	588,32	599,32	3,75	
9	P150-3	496,00	3,36	598,40	607,71	603,06	3,77	
10	P180-1	497,00	4,85	863,83	874,51	869,17	5,43	5,29
11	P180-2	495,50	4,73	842,32	861,43	851,88	5,32	
12	P180-3	496,00	4,55	809,37	829,62	819,50	5,12	
13	P220-1	493,50	3,66	684,26	601,56	642,91	4,02	3,95
14	P220-2	495,50	3,66	586,51	453,57	520,04	3,25	
15	P220-3	498,00	3,66	629,52	609,97	619,75	3,87	
16	P250-1	486,00	3,12	586,51	551,32	568,92	3,56	3,45
17	P250-2	489,50	3,28	590,41	543,50	566,96	3,54	
18	P250-3	489,00	3,00	531,77	508,31	520,04	3,25	
19	P280-1	469,00	4,24	754,64	766,37	760,51	4,75	5,03
20	P280-2	486,00	5,01	891,50	789,83	840,67	5,25	
21	P280-3	487,50	4,61	821,11	805,47	813,29	5,08	

El ensayo número catorce fue descartado (hecho estipulado por la norma IRAM 1679) del análisis por presentar una diferencia mayor al 10 por ciento con respecto a los otros valores.

Como puede apreciarse en los valores resultados, en comparación con el pastón patrón (P000), todos los pastones con agregado reciclado presentan mejoras en la resistencia, aunque sin embargo solo dos de ellos, el P180 y el P280, muestran resistencias que pueden permitir catalogar a dichos pastones como **N** (mortero de calidad resistente normal). Los demás pastones cumplieron con los requisitos para pastones tipo **Np** (morteros de calidad resistente no portante).

En el gráfico siguiente se observa que existe un primer crecimiento de resistencia seguido por una pequeña disminución para luego volver a retomar dicho incremento. Este comportamiento puede deberse al hecho de que, si bien el aumento en el reemplazo de reciclado trae aparejado un aumento en las cantidades de cemento de albañilería, aparece también un incremento en el aire incorporado, el cual atenta contra la resistencia. En el último pastón, este aumento de aire no es tan marcado con respecto al acrecentamiento de la resistencia producto del cemento de albañilería extra.



En concordancia con otros estudios similares^{13 14}, las mayores resistencias se obtuvieron cuando se realizaron los mayores porcentajes de reemplazo. En dichos estudios se observó que los morteros con mayor cantidad de agregado reciclado presentaban una tendencia más pronunciada a fisurarse, hecho que no ha podido ser verificado en este estudio y quedará pendiente para trabajos posteriores.

A continuación, se presenta un resumen de todos los resultados obtenidos.

¹³Characterization and influence of fine recycled aggregates on masonry mortars properties – P. Saiz Martínez, M. Conzalez-Cortina, F. Fernandez-Martinez – Technical University School of Architecture, Madrid Politechnic University – Madrid, España.

¹⁴ Using Fine Recycled Concrete Aggregate for Mortar Production - Catarina Neno, Jorge de Brito, Rosário Viga – DECivil-IST, Technical University of Lisbon – Lisboa, Portugal.

		Los pesos de los áridos están en condición saturada superficialmente seca											
	Fecha de moldeo	Fecha de rotura	Arena (grs)	Reciclado (grs)	Cemento (grs)	Agua (grs)	a/c	Consistencia	Densidad Aparente	Densidad absoluta	Contenido de aire	Porcentaje de reemplazo	Resistencia (Mpa)
P000	15/5/2018	12/6/2018	2000	0	452	398	0,88	114	1,97	1,92	2,58	0	2,82
P120	9/5/2018	6/6/2018	1600	400	463	417	0,90	113	1,99	1,88	5,41	20	4,07
P150	10/5/2018	7/6/2018	1000	1000	480	422	0,88	109	1,99	1,84	7,33	50	3,78
P180	14/5/2018	11/6/2018	400	1600	499	449	0,90	110	1,95	1,79	8,14	80	5,29
P220	11/5/2018	8/6/2018	1599	400	470	423	0,90	109	1,98	1,88	5,36	20	3,95
P250	16/5/2018	13/6/2018	1000	1000	500	450	0,90	115	1,98	1,82	7,96	50	3,45
P280	17/5/2018	14/6/2018	400	1600	534	465	0,87	108	1,94	1,78	8,12	80	5,03

Cuarta parte: Conclusiones.

Como pudo apreciarse en los resultados detallados anteriormente, todos los morteros con agregado reciclado de reemplazo cumplieron de manera satisfactoria los requisitos establecidos por la norma IRAM 1676, para morteros del tipo **Np** y solo dos para el mortero tipo **N**.

Si bien cada aumento en los porcentajes de reemplazo traía aparejadas modificaciones a diferentes escalas, ambos áridos reciclados obtuvieron similares características y comportamientos en los morteros, a pesar de haber sido tan diferentes en la caracterización. Esto me lleva a establecer que cualquiera de los dos podría ser utilizado, indistintamente, para los fines que fueron dispuestos en un principio por la empresa Eco Árido.

La relación agua cemento se mantuvo aproximadamente estable a lo largo de cada pastón, sin embargo, a medida que aumentaba el porcentaje de reemplazo en cada intervalo, el método utilizado para dosificar llevaba a valores de cemento crecientes. Las resistencias vieron reflejadas este hecho, salvo en los reemplazos del 50 %, en donde el aumento del contenido de aire contrarrestaba los efectos producidos por el incremento del cemento de albañilería.

Como se mencionó anteriormente, las máximas resistencias se dieron con los mayores reemplazos. Este hecho estuvo en concordancia con distintos trabajos analizados sobre cuestiones similares, aunque en dichos estudios, estos porcentajes de reemplazo eran descartados por presentarse en sus pastones problemas de encogimiento, junto con agrietamientos y fisuras. Estas cuestiones no fueron comprendidas en esta práctica supervisada, por lo que queda para futuros trabajos, verificar problemas de fisuración como así también problemas asociados al tiempo de uso, ya que en este trabajo tampoco se analizó la variación de los morteros con el paso del tiempo.

En lo que respecta al porcentaje donde se encuentra el rango más óptimo establezco que es el de 20 % para ambos materiales, en base a los resultados obtenidos junto con los antecedentes recabados. En este dosaje se encontraron las mayores densidades de todos los morteros, inclusive mayor que el mortero de referencia sin árido reciclado. También conto con el menor porcentaje de aire incluido en comparación con los otros morteros de reciclado, junto con la segunda mayor resistencia de todos los reemplazos.

Bibliografía

1. Normas IRAM – Norma Argentina;
2. Characterization and influence of fine recycled aggregates on masonry mortars properties – P. Saiz Martinez, M. Conzalez-Cortina, F. Fernandez-Martinez – Technical University School of Architecture, Madrid Politechnic University – Madrid, España.
3. Propiedades en estado fresco de morteros con árido reciclado de hormigón y efecto de la relación agua cemento – Francisca Guadalupe Cabrera-Covarrubias, José Manuel Gómez-Soberón, Jorge Luis Almaral-Sanchez, Susana Paola Arredondo-Rea, María Consolidación Gómez-Soberón, José Miguel Mendivil-Escalante – Universidad del Norte – Barranquilla, Colombia.
4. Caracterización tecnológica de morteros con escombros de albañilería molido – Ruben Alberto López, Marcelo Masckauchan, Carlos Alberto Di Salvo, José Luis Verga, Alfredo Graich – Universidad Tecnológica de Buenos Aires – Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.
5. Agregado reciclado para morteros – Ángela María Hincapié Henao, Elisa Andrea Aguja López – Universidad EAFIT – Medellín, Colombia.
6. Using fine recycled concrete aggregate for mortar production – Catarina Neno, Jorge de Brito, Rosario Veiga – Technical University of Lisbon – Lisboa, Portugal.
7. Una contribución a la determinación y la influencia de la adherencia entre ladrillos sílico-calcáreo y morteros – Peter Thormann – Revista materiales de construcción Vol. 21, n° 141 – España.
8. Morteros para mampostería – Alejandro José Tanco – Revista Vivienda 319 – Córdoba, Argentina.