
NOTAS TECNICAS

EMPLEO DE PUZOLANA EN VEZ DE ARENA EN MORTEROS

Introducción

Casi todos los trabajos sobre puzolanas se refieren a su mezcla con cal o cemento, siendo poca la literatura que se encuentra sobre su empleo como agregado. Hay antecedentes del empleo como árido de la puzolana natural¹ y de las cenizas volantes²; sin embargo, las puzolanas requirieron trituración -se trataba de puzolana francesa con 45% de SiO₂ y falta por completo de finos- mientras que las cenizas volantes necesitaron nodularse.

Dada la gran abundancia de puzolana en los alrededores de Santiago, consideramos interesante un estudio sobre la sustitución de arena por puzolana en los morteros de cemento, para ver si producían mejoras en las propiedades de los mismos. Puzolana se puede encontrar en distintos lugares como Maipú, Las Vertientes, Melipilla, Cerrillos, etc. Los yacimientos de esta ceniza volcánica son, a primera vista, extensos y homogéneos.

Materiales

Para la confección de morteros puzolánicos son necesarios los siguientes materiales: cemento, puzolana y agua. Se empleó un cemento nacional de alta resistencia y puzolana de la zona de Cerrillos, de los mismos terrenos en que está ubicada la planta piloto de IDIEM para fabricación de cementos, empleándose para el amasado agua potable.

Las puzolanas de la provincia de Santiago son de un color amarillento o rosáceo, con un peso específico de 2,4 a 2,6 y una densidad aparente comprendida entre 1,0 y 1,2 g/cm³, con una composición química muy similar (Tabla I). Estas puzolanas son una mezcla de vidrio volcánico, en alto porcentaje, y otros materiales que provienen de la destrucción de distintos tipos de rocas. Al microscopio se observan las siguientes especies mineralógicas: vidrio volcánico en un porcentaje superior al 70%; feldespato y cuarzo en proporciones variables entre 2% y 20% en conjunto; masa fundamental de lavas en cantidad pequeña, y minerales opacos, en muy pequeñas proporciones.

TABLA I

ANÁLISIS QUÍMICO DE ALGUNAS PUZOLANAS DE LA PROVINCIA DE SANTIAGO

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P.F. ^x	N.D. ^{xx}
Cerrillos	70,46	9,34	6,48	1,86	0,52	3,70	2,70	4,85	0,09
Las Vertientes	70,30	11,51	4,49	1,10	0,71	3,45	3,65	4,74	0,05
Melipilla	72,10	12,80	3,10	1,45	0,16	3,30	2,40	4,63	0,06
Mampinga	71,95	12,90	3,40	1,35	-	3,45	2,05	4,83	0,07
Las Cabras	72,10	11,50	3,55	0,72	-	3,30	4,05	4,70	0,08
Pudahuel	73,20	10,70	3,40	0,45	-	3,75	3,60	4,85	0,05
Maipú	72,01	9,30	5,55	1,70	0,30	3,50	2,80	4,80	0,04

x Pérdida al fuego

xx No dosificados

TABLA II

COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA DE LA PUZOLANA

Tamiz ASTM Nº	Pasa %	Norma ASTM de arena para morteros Pasa %
4	97	95 - 100
8	92	80 - 100
16	86	50 - 85
30	78	30 - 50
50	69	10 - 30
100	52	2 - 10
200	23	menor que 5

Para el análisis granulométrico, la puzolana fue tamizada previamente por malla $\frac{1}{2}$ "', quedando retenido aproximadamente el 2% del total.

Si estudiásemos la puzolana de Cerrillos como una arena —sin otras particularidades— tendríamos que despreciarla, por la alta cantidad de finos (Tabla II), ya que no cumpliría con las normas ASTM ni INDITECNOR de composición granulométrica, particularmente en lo relativo al tamiz N° 100 ASTM, por el cual se exige pasar

una cantidad comprendida entre el 2% y 10%. De nuestra puzolana pasa el 52% lo que nos ahorra mayores comentarios.

Métodos y resultados

Nuestro trabajo consistió en la confección de diez tipos de mezclas que iban de 1 : 30 en volumen aparente (cemento: puzolana + gravilla) hasta 1 : 4, la mezcla más altamente dosificada en cemento. La totalidad de las mezclas vienen dadas en la Tabla III.

En todas las mezclas la relación gravilla puzolana fue 1 : 9 en volumen aparente. La gravilla era de tamaño máximo de $\frac{1}{2}$ "'.

El amasado del mortero se hizo a pala, en laboratorio, siendo la confección de los ladrillos realizada en una máquina manual a presión, marca CINVRAM, para ladrillos de 30 x 15 x 10 cm.

TABLA III

DOSIFICACIONES Y RESISTENCIAS A LA COMPRESION DE LAS MEZCLAS

Nº	Cemento Litros	Gravilla Litros	Puzolana Litros	Relación Cemento/agre- gado	Agua Litros	a/c peso	Dosificación aprox. kg/m ³	Resist. a 28 días kg/cm ²
1	1,00	3	27	1 : 30	5,30	4,77	37	20,5
2	1,50	3	27	1 : 20	5,30	3,17	55	35,5
3	1,85	3	27	1 : 16	5,33	2,59	70	50,5
4	2,50	3	27	1 : 12	5,33	1,92	93	76,0
5	3,00	3	27	1 : 10	5,33	1,60	111	90,5
6	3,73	3	27	1 : 8	5,34	1,29	139	125,0
7	4,29	3	27	1 : 7	5,34	1,12	155	150,0
8	5,00	3	27	1 : 6	5,34	0,96	181	176,5
9	6,00	3	27	1 : 5	5,35	0,80	218	215,0
10	7,50	3	27	1 : 4	5,35	0,63	271	280,0

El curado se realizó de la forma siguiente: a los dos días se desmoldaron las probetas y se metieron en agua; a los veinte días (18 después de meterlos en agua) se sacaron, y se dejaron a la sombra los ocho días restantes.

No se midió con instrumento alguno la consistencia del mortero basándonos simplemente en una trabajabilidad aparente y en la posibilidad de fabricación de los ladrillos, ya que la máquina no los producía con consistencia excesivamente seca; por este motivo se fue aumentando la cantidad de agua en forma paulatina hasta conseguir una consistencia adecuada para que la máquina fuese capaz de producir ladrillos.

Se puede ver en la Tabla III la poca variación del agua de amasado, (5,30 l mínimo y 5,35 l máximo); sin embargo, se observa también que la cantidad de cemento varía entre 1 litro mínimo y 7,5 l máximo, con una diferencia de 6,5 l equivalentes a 7,22 kg de cemento; se tomó para la densidad aparente un valor de 1,11 g/cm³ (se echó el cemento en una probeta, sin apisonar o agitar). Si se tratase de un mortero corriente (cemento, arena y agua), las variaciones de agua debidas al aumento de la dosis de cemento serían considerables, ya que, prácticamente, el agua de amasado se emplea en su mayor parte para la formación de la pasta de cemento. Sin embargo, en el mortero de puzolana, debido a la enorme capacidad de absorción de la misma, el agua de amasado varía tanto con el cemento como con la puzolana.

De aquí que, a pesar de las grandes variaciones en la cantidad de cemento, el agua de amasado permanezca prácticamente invariable, lo cual redundará en una disminución del valor de la relación agua/cemento.

En la Figura 1 se han representado los resultados de ensayo a compresión a 28 días en relación a la dosis de cemento. Como se ve, se les puede ajustar una línea recta.

La Figura 2 nos muestra la representación de los ensayos a la compresión en relación con la razón agua/cemento.

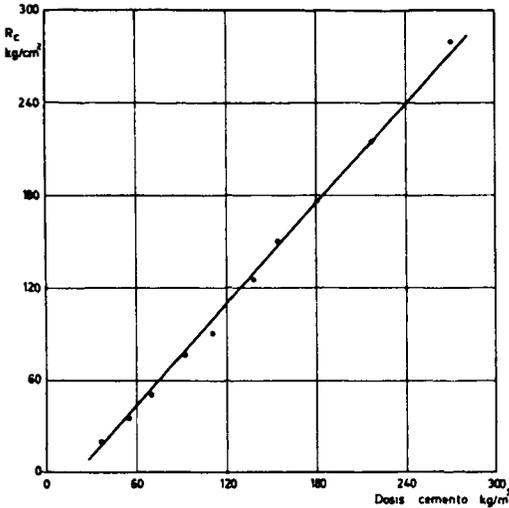


Fig. 1. Resistencia a la compresión a 28 días en función de la dosis de cemento.

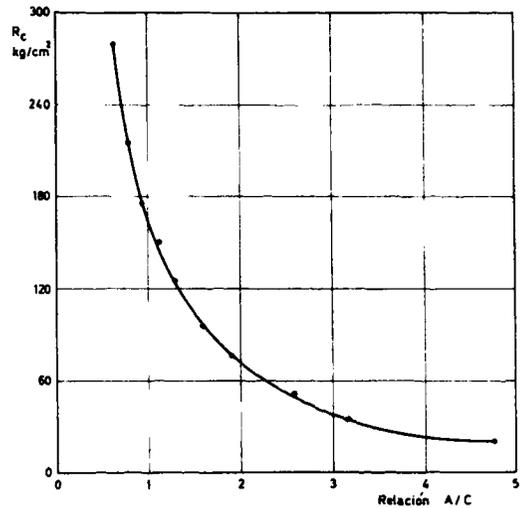


Fig. 2. Resistencia a la compresión a 28 días en función de la razón agua-cemento.

Todos los valores de resistencia a la compresión fueron conseguidos con ladrillos de 30 x 15 x 10 cm. No hubo dispersión considerable entre los valores, y los resultados de la Tabla III son los valores medios, en cada caso, de tres ladrillos.

También se hicieron en una bloquera manual, por apisonado, con mezcla 1 : 8 (cemento : puzolana), 6 bloques huecos de 40 x 20 x 20 cm (el volumen aproximado de huecos fue del 50%). Se obtuvieron resistencias que oscilaban entre los 45 y 60 kg/cm²; estos valores los clasifican⁴ en el tipo A. Para conseguir estos resultados en la misma bloquera, fue necesario una mezcla de 1 : 5 (cemento : arena). Esto muestra que con el empleo de puzolana hay un ahorro del 30% aproximadamente en la cantidad de cemento a emplear.

Otras ventajas, además de la señalada, que se obtienen con el uso de la puzolana son la disminución de peso en el bloque y la poca absorción de agua del mortero puzolánico. El peso de un bloque de 40 x 20 x 20 cm fabricado con cemento y arena, es aproximadamente de 20 kg, mientras que el mismo con puzolana tiene un peso de 13 kg. El peso es importante en el cálculo de la obra, y también en la colocación, ya que un obrero colocará más bloques cuanto más livianos sean. También se economizará en el transporte, ya que debido al menor peso del bloque, permitirá para el mismo camión llevar mayor número de

bloques (el 50% más aproximadamente). De la absorción diremos que los bloques y ladrillos puzolánicos se cubren de una capa exterior de unos 2 a 3 mm de espesor, casi impermeable; esta capa hace que la absorción sea prácticamente nula. Es por esto que para que un bloque o ladrillo puzolánico cumpla con las normas INDITECNOR⁴, necesitará exclusivamente llegar a las resistencias exigidas, ya que la absorción de agua dentro de los límites exigidos se obtiene con el carácter semi-impermeable de la mezcla cemento, puzolana y agua.

Debido a las variaciones de los precios no podemos hacer comparaciones de los ladrillos puzolánicos con los de arcilla, pero haciendo una consideración superficial diremos que el precio de los puzolánicos no será superior a los de arcilla económicos (tipo chonchón) teniendo estos últimos el inconveniente que solamente se pueden fabricar durante los meses de verano, mientras que los puzolánicos se pueden hacer durante todo el año.

Conclusiones

1. Con la riqueza tan grande en puzolana de la provincia de Santiago sería de gran beneficio económico el empleo de la misma en la fabricación de bloques, ladrillos o mortero.
2. Hay un ahorro en la cantidad de cemento a emplear de más del 30% del total, lo cual significa en forma aproximada un ahorro de 0,5 a 0,7 kg de cemento por bloque hueco de 40 x 20 x 20 cm.
3. Debido a la disminución en el peso del bloque, se aumentará el rendimiento del obrero y quedará rebajado el costo del flete en una cantidad cercana al 30%.

REFERENCIAS

1. LE LAN, Fabricación de aglomerantes de puzolana. *Ultimos Avances*, nº 9, pp. 32-34 (sin fecha).
2. JARRIGE A., Les cendres volantes et leur utilisation. *Revue des Matériaux*, nº 513, 1958, pp. 173-179.
3. INDITECNOR, 30-37. *Calidad y composición granulométrica de los agregados pétreos para hormigones*.
4. INDITECNOR, 30-152. *Bloques huecos de hormigón de cemento*.

Guillermo ADAMS LLANEZA

Sección Investigación Química del IDIEM