

descubierto, mientras se efectuaba la operación de quitar la vigueta de madera, colocar en su lugar la metálica y presentar los arriostramientos y demás piezas de hierro.

Se terminó la obra sin que hubiera que lamentar el más ligero accidente.

Sobre las viguetas de hierro van colocados una serie de largueros de madera de 0,20 por 0,16, que han sustituido á los antiguos, que carecían de la resistencia necesaria para las cargas que actualmente circulan.

La transformación del puente se llevó á cabo en 1888 y su coste total ha sido de 43.387,86 pesetas, distribuidas en los conceptos siguientes:

	Pesetas.
Material de hierro puesto } 55.454 toneladas de hierro.	31.032,10
al pie de la obra. } 7.495 idem de fundición.	
140 largueros de 4,70 metros de longitud y $0,20 \times 0,16$	3.120,00
180 tablonos de 5,10 metros de longitud y $0,25 \times 0,07$	
Tornillos para el piso.	821,86
Jornales empleados en el montaje de la parte metálica y ejecución del piso.	6.697,36
Andamiajes, carbón, accesorios y pintura.	1.716,54
TOTAL.	43.387,86

Con la transformación efectuada, los gastos de conservación del puente han disminuido considerablemente, y no hay que añadir cuánto ha ganado en estabilidad, rigidez y buen aspecto.

Huesca, 10 de Julio de 1890.

JOAQUÍN PANO.

NOTAS SOBRE LA PUZOLANA

POR EL INGENIERO ALAIMO VOLPATO

Inspector Jefe en el Ministerio de Trabajos públicos en Roma.

I.—*Empleo que hacían los antiguos Romanos de la puzolana para los trabajos de albañilería en general, y para las obras marítimas de Ostia, Civita-vecchia y Porto de Anzio.*

Las más antiguas construcciones demuestran evidentemente que los Romanos conocían no solo el uso de la puzolana, sino también la manera de emplearla. Ciertó es, asimismo, que en Roma, mezclada ella á la cal,

era preferida á cualquier otro material, constituyendo así el excelente mortero que servía para la construcción de aquellas gigantescas obras, dignas siempre de admiración.

La Cloaca Máxima, el Panteón de Agripa, los Mausoleos de Augusto y de Adriano, el Anfiteatro Flavio, el Teatro de Marcelo, el Palacio de los Césares; los circos, los faros, las termas, los acueductos, los puentes, etcétera, son otros tantos monumentos que atestiguan siempre que, en todas las grandes construcciones para uso público ó privado, los Romanos emplearon solo la puzolana para formar sus morteros; y ésta servía tanto para las paredes ó murallas, como para las fundaciones sobre terrenos secos ó húmedos y bajo el agua. Hay que notar, sin embargo, que del examen de todas las construcciones antiguas conservadas hasta el día, resulta que los Romanos jamás hicieron con la puzolana tubos ó morrillos, etc., semejantes á los contruidos ahora de cimientos. Con todo, los paramentos de las paredes planas destinados á recibir pinturas, se construían con morteros de cal grasa y puzolana.

La cualidad característica de las puzolanas es formar siempre excelentes morteros hidráulicos con las cales y grasas y las magras, que estando sumergidas en aguas comunes ó saladas se iban siempre endureciendo con el tiempo, lo que los antiguos conocían perfectamente. Esto está demostrado por los puentes que aún existen, por ejemplo, el de la Cloaca Máxima, y los restos del puente de Nerón en Ansio, el de Claudio en Ostia y el de Civita-vecchia.

II.—*Empleo posterior de la puzolana desde los Romanos hasta la época presente.*

El empleo de la puzolana en la misma forma que la usaban los Romanos, se ha conservado en todas las épocas posteriores. También es indudable que hoy, lo mismo que en los tiempos pasados, todas las construcciones de Roma, sean bajo ó sobre tierra, hidráulicas ó en seco, de betún ordinario, de morrillos ó de piedra de talla, ú ordinaria, todas, todas, han sido ejecutadas con mezcla de cal y puzolana.

Es digno de notarse que esta propiedad principal que distingue á la puzolana, de formar mezclas hidráulicas de calidad tan notablemente superior á las demás, haya demorado tanto tiempo para ser apreciada fuera de Roma; y es solo desde hace poco tiempo que el uso de esta sustancia se ha extendido en Italia y en el extranjero, y que ella se ha hecho objeto de considerable exportación.

Puede decirse, que siempre que se ejecutan obras destinadas á resistir la acción violenta de las aguas, el empleo de la puzolana producirá muy

buenos efectos. No es, pues, de extrañar los grandes y frecuentes pedidos de puzolana que se hacen para construcciones, tanto italianas como extranjeras, principalmente para obras situadas á orillas del mar y de los ríos, y para la formación de cantos artificiales empleados en los puentes, como en Argel y en Génova y particularmente en Spezia, en sus nuevas obras de carenero y aumento decretado de su arsenal marítimo.

III.—*De dónde provienen las puzolanas. Su estado de conservación en las obras.*

Las puzolanas mezcladas con cales se unen íntimamente para formar una verdadera combinación química; de suerte que después de cierto tiempo ni es posible distinguir una sustancia de otra, ni separarlas. El práctico que se sirve de ellas puede distinguir fácilmente el mortero hecho con puzolana de cualquiera otro distinto, ya por el color que tiende al violáceo, ya por los pequeños núcleos de puzolana existentes en la pasta, que no entran fácilmente en combinación con la cal.

Las procedencias de la buena puzolana están limitadas á Italia, y en ella la suministran solamente dos provincias, á saber: la de Roma y la de Nápoles: la proveniente de la primera de estas provincias es la mejor y la más solicitada.

En Nápoles la hay de dos especies: la negra, sacada en las Canteras de la *Torre de la Anunciata*, y la blanca de *Bacoli*.

En Roma tenemos la roja, la negra y la gris: todas estas variedades son excelentes, pero la preferida es la roja, porque exige menor cantidad de cal para mezclarse.

IV.—*Canteras de puzolana de los alrededores de Roma.*

En los alrededores de Roma, llamados *campiña romana*, se encuentran por todas partes bancos considerables de puzolana cubiertos por una ligera capa de tierra vegetal, y á través de los que se practican minas ó canteras inagotables, por decirlo así, vista la enorme cantidad que ya se ha extraído y la inmensidad de la que aún queda por sacarse.

Las mejores canteras, casi siempre rojas, son las de *Grottarossa* en Roma, próxima á la Vía Nacional Flaminia, y la de *San Pablo*, que se explota en la propiedad llamada *Tre-Fontane*.

Se encuentra también del lado de *Ansio* en la propiedad de *Carocceto*. Es igualmente muy buena la negra, existente en la Comunidad de *Vicovaro*, pero se halla en pequeña cantidad.

Ordinariamente se explotan las canteras haciendo grandes cortes del suelo, ó abriendo una gran cantidad de galerías en todas direcciones.

V.—*Yacimiento, carácter mineralógico y geológico de las puzolanas. Su modo de formación.*

Es este un capítulo que podría dar materia para formar volúmenes, y se comprende así lo difícil que será reasumirlo en pocas palabras. Sin embargo, hé aquí los datos sucintos que pueden darse sobre las puzolanas de Roma.

La formación volcánica de la provincia de Roma se remonta á la época glacial, es decir, á la era cuaternaria, durante la que se formaron los glaciares en la Alta-Italia. De esta formación hacen parte las diferentes especies de tufos (litoide, homogéneo, granular, escoriáceo y arcilloso) de los que provienen en general las puzolanas. La romana debe considerarse como derivada del tufo escoriáceo, porque está formada, como éste, de pequeñas escorias con piedra pómez, y núcleos de leucita con mica y piroxeno. El color rojo intenso que este mineral incoherente presenta en algunos yacimientos, es debido al ocre que contiene.

VI.—*Estudios científicos, ensayos físicos y análisis químico de las puzolanas.*

Por lo que respecta á las dos primeras cuestiones, no es tan fácil resolverlas. Se ha dicho mucho sobre los usos de las puzolanas; pero no se ha tratado lo bastante esta materia en su carácter de mineral, y sería bueno consultar acerca de este particular los estudios del Sr. Senador Ponzi. Lo que podemos decir sobre esto, es que la puzolana no se altera al contacto de los agentes atmosféricos y que en el agua no adquiere la menor cohesión; su peso específico varía de 1,2 á 1,3.

Se han hecho análisis sobre diversas variedades de puzolana. La roja, por ejemplo, ha dado los resultados siguientes:

	Gramos.
Agua higroscópica.	3,631
Agua de composición con trazas de materias orgánicas.	3,245
Minerales solubles en agua destilada.	0,080
Alúmina.	12,775
Oxido de fierro.	14,052
Idem de manganeso (trazas).. . . .	—
Cal.	8,061
Magnesia.	3,014
Potasa.. . . .	2,333
Soda.	7,759
Cloruros alcalinos.	1,150
Acido carbónico.. . . .	0,811
Idem sulfúrico.	0,984
Idem silícico.	39,334
Idem fosfórico.	0,044
Material indeterminado y pérdidas.	2,727
	100,000

Otra puzolana de color gris, recientemente analizada, ha dado los siguientes resultados:

	Gramos.
Agua higroscópica.	6,301
Materias orgánicas y agua de combinación.	5,029

MATERIAS SOLUBLES.

	Gramos.	
Sílice soluble.	2,430	} 24,391
Oxido de fierro.	1,593	
Alúmina.	10,067	
Cal.	0,430	
Magnesia.	0,297	
Material indeterminado y pérdidas.	5,574	

MATERIAS INSOLUBLES.

	Gramos.	
Anhidrido silícico.	50,148	} 64,279
Oxido de fierro.	1,171	
Alúmina.	3,543	
Cal.	2,054	
Magnesia.	0,339	
Cloruros alcalinos.	3,697	
Material indeterminado y pérdidas.	3,317	
	100,000	

Cien gramos de puzolana quitan al agua de cal 0,245 gramos de cal.

La puzolana gris, que difiere por su aspecto de la ordinaria, haría dudar de sus propiedades. La experiencia ha demostrado lo contrario, y hoy se hace gran uso de ella, sobre todo en las albañilerías en seco; pero formada principalmente de silicato de alúmina y de fierro y conteniendo apenas cal, es de suponer que podría también servir para las construcciones hidráulicas.

VII.—*Estudios y ensayos prácticos y observaciones sobre las combinaciones de las puzolanas con las cales grasas empleadas en los trabajos fuera del suelo y en el agua dulce ó del mar.*

Se han hecho experiencias y ensayos prácticos en diversos morteros formados de puzolanas de Roma y de cales grasas. Vicat no es de los últimos que ha efectuado estos ensayos; pero sería inútil repetir todo lo que él ha escrito al respecto.

Nos limitaremos á reunir los resultados obtenidos recientemente por *Le Bureau de Ingenieros Civiles del Estado* para los trabajos de corrección del Tiber. Esta Oficina ha experimentado las dos mejores variedades de puzolana, á saber: la Grottarossa y la de San Pablo. Ha amasado la puzolana con la cal grasa y ha llenado pequeñas cajas de $0,15 \times 0,10 \times 0,10$ m, y colocándolas en el agua dulce por nueve días. Las ha ensayado en seguida con la aguja de Vicat.

Hé aquí los resultados de 160 ensayos:

CAL EN PASTA.	PUZOLANA.	RESISTENCIA A LA PERFORACIÓN.
1 vol.	Grottarossa. 2 vol.	1,844 kg.
1 »	San Pablo. . 2 »	3,363 »
1 »	Grottarossa. 3 »	2,181 »
1 »	San Pablo. . 3 »	5,149 »
1 »	Grottarossa. 4 »	5,331 »
1 »	San Pablo. . 4 »	6,069 »
1 »	Grottarossa. 5 »	2,281 »
1 »	San Pablo. . 5 »	4,888 »

Según esta tabla se vé que el mejor mortero para las construcciones hidráulicas se obtiene con 1 volumen de cal grasa en pasta, con 4 volúmenes de puzolana. Pero considerando que los morteros formados así serían demasiado flojos, se prefiere en la práctica la mezcla de 1 de cal y 3 de puzolana. Si en vez de nueve días se hubiera tenido el mortero en agua durante un mes (lo que no se ha hecho), el esfuerzo á la perforación con la aguja Vicat habría sido cuatro veces más fuerte, y después de seis meses

la perforación habría sido imposible, porque los morteros habrían adquirido entonces la consistencia de los tufos volcánicos.

En las construcciones al aire libre los morteros de puzolana exigen más tiempo para endurecerse, es decir, que es menester un tiempo cuatro veces mayor que en el agua ó en el aire húmedo.

En algunos cimientos húmedos donde ha sido necesario hacer vacíos, se ha tenido que cortar el mortero á golpe de cincel, porque ofrecía una resistencia igual á la de los tufos.

En seco las proporciones habituales de los elementos del mortero son de uno de cal por dos y medio de puzolana.

Con las cales magras, la puzolana pega igualmente bien, pero es necesario entonces disminuir su volumen á dos partes por una de cal.

La experiencia ha confirmado también, que los morteros de puzolana se comportan de la misma manera en el agua dulce que en la del mar.

VIII.—*Tiempo para la pega en seco, en el agua dulce ó salada. Resistencia á la compresión.*

Lo que acaba de decirse sirve para dar idea del tiempo que es necesario en los tres casos.

Por lo que respecta á la resistencia á la compresión de los macizos artificiales, puede decirse que será casi igual á la de las calizas.

IX.—*Método para la confección de macizos artificiales, imitación de piedras, pulido de las superficies, arreglo de ornamentos, etc. Pavimentos coloreados.*

Los macizos artificiales son enteramente de betún, hecho mediante piedras chancadas y de mortero, de una parte de cal por dos de puzolana. El betún se reúne en cajones de forma de paralelepípedo, con paredes móviles. Se le echa y se deja hasta que se solidifique. Para cada m^3 de macizo es necesario cerca de medio m^3 de mortero.

La puzolana no se emplea para imitar las piedras destinadas al pulido ó recibir ornamentos; sin embargo, sirve para cubrir las paredes hechas con mortero solo. Para el revestimiento de los depósitos de agua se mezcla el mortero ordinario con *coccio* molido, como hacían los antiguos.

Sobre las paredes preparadas como acabamos de decirlo, se pasa una mano de agua de cal, después dos de tintura compuesta de agua de cal, cola y tierra colorante.

MADRID: 1890.

ESTABLECIMIENTO TIPOGRÁFICO DE GREGORIO JUSTE.

Calle de Pizarro, número 15, bajo.