

GRANITO DE O CARQUEIXO, ARIDO TRITURADO PARA HORMIGONES

RQUIBAS G. (*), FERNANDEZ M. (**), SANTOS M.J. (**), MARTINEZ A. (**)
(*) Prebetong Lugo, S.A. (Lugo)
(**) Cementos Cosmos, S.A. (OURAL-Lugo)



Resumen

Hoy el hormigón es un material imprescindible en la construcción de viviendas y obras públicas. Los áridos representan aproximadamente el 80% de su masa.

Habrán de ser resistentes, estables y duraderos. No reaccionar con el agua intersticial saturada en iones calcio y fuertemente concentrada en iones potasio y sodio disuelto durante la hidratación del cemento y que permanece ocluida en los poros del hormigón.

Resistir a la acción agresiva de los agentes externos (eventuales aguas con sulfatos y cloruros, heladas, oxidación y carbonatación).

Por razones de economía conviene extraerlos en la proximidad del lugar en que se apliquen.

D. Isidro Parga, ya en su "Mapa Petrográfico Estructural de Galicia", año 1.963, en las cercanías de Lugo -ocupando aproximadamente el 20% de las cuadrículas 73 y 98 (unos 200 Km².)- describe una gran formación de roca granítica que clasifica como granitos de biotita.

Siguiendo metodos establecidos por las normas españolas y ASTM, hemos estudiado los áridos obtenidos al triturar a escala industrial en la cantera de O Carqueixo, el granito de biotita de esta procedencia y determinamos sus principales propiedades. Describimos las operaciones de extracción y reducción de tamaño. Resumimos las realizaciones prácticas en 17 años de aplicación.

En la proximidad de Lucus Augusti se dispone de material de calidad para realizar obras duraderas.

Résumé

Actuellement le béton est un matériel indis-

pensable pour la construction de longements et pour les travaux publics.

Les agrégats représentent environ le 80% de sa masse. Ils devront être résistants, stables et durables; ne pas réagir avec l'eau interstitielle saturée d'ions de calcium et fortement concentrée d'ions de potassium et sodium dissouts pendant l'hydratation du ciment et qui reste occluse dans les pores du béton.

Ils devront être résistants à l'action agressive des agents extérieurs (éventuellement de l'eau contenant des sulfates et des chlorures, des gelées, l'oxydation et la carbonatation).

Pour des raisons d'économie, il convient de les extraire à proximité de l'endroit où l'on veut les employer.

En 1963, M. Isidro Parga décrivait déjà dans sa "Carte Pétrographique Structurale de la Galice", une grande formation de roches granitiques, qu'il classifie comme des granites à biotite, située à proximité de Lugo et couvrant à peu près le 20% des quadrillages 73 et 98 (quelques 200 Km²).

Employant des méthodes établies dans les normes espagnoles et ASTM, nous avons étudié les agrégats obtenus en triturant à échelle industrielle, dans les carrières du Carqueixo, le granite de biotite, dont nous venons de parler, et nous déterminons leurs principales propriétés. Nous décrivons le processus d'extraction et de réduction de taille. Nous résumons les réalisations pratiques de 17 ans d'application.

Pas loin de Lucus Augusti on dispose du matériel de qualité nécessaire à la réalisation d'ouvrages durables.

1. INTRODUCCION

El hormigón es hoy un material imprescindible en la construcción de viviendas y obras públicas. En Galicia se utilizan unos 4'5 millones de metros cúbicos por año. Los áridos representan aproximadamente el 80% de su masa (unos 8 millones de Tm/año).

En consecuencia al valor del transporte conviene disponer de áridos de calidad en las proximidades de sus puntos de aplicación (obras importantes, núcleos de población, etc.). El precio medio de un árido triturado, clasificado por tamaños para evitar segregaciones, cargado sobre camión en instala-

ciones de tamaño medio situadas en las inmediaciones de las canteras, tiene un valor equivalente a lo que costaría transportarlo a una distancia aproximada de 85 Km.

2. CONSIDERACIONES CIENTIFICAS

El hormigón habrá de resistir esfuerzos mecánicos a compresión. Deberá tener una buena durabilidad, es decir, deberá mantener sus propiedades mecánicas y su estabilidad de volumen a lo largo del tiempo, haciendo frente a las agresiones del medio ambiente que le rodea, dando lugar a un material que resista la acción del agua y del hielo, del fuego y de las posibles sales disueltas en las aguas que estén en contacto con él.

También será importante que sus componentes, por si mismos o por interacción de unos con los otros, no den lugar a procesos químicos que alteren la estabilidad y resistencia mecánica del conjunto monolítico. En la mayoría de los casos se incluyen armaduras de acero que harán posible que el hormigón sea, no solo un material que pueda resistir grandes esfuerzos a compresión, sino que además presente importantes resistencias a flexotracción. Las armaduras, situadas a una profundidad de recubrimiento razonable, deberán permanecer protegidas de la oxidación, por tanto los áridos no podrán aportar componentes o generar circunstancias que ocasionen o faciliten la corrosión.

Las normas de los distintos países han venido recogiendo ensayos, sancionados por la experiencia, que permiten conocer si los áridos que vamos a utilizar en una obra determinada aportan las propiedades que deseamos, y no dan lugar por otro lado, a fenómenos físicos o químicos que ocasionen con el tiempo el deterioro de la misma.

3. GRANITO DE O CARQUEIXO

A uno y otro lado de la carretera de Lugo a Fonsagrada, en su primer tramo hasta Castroverde (longitud aproximada 18 Km) se extiende una importante formación de granito a la cual se da la siguiente designación:

- Roca granítica, granito de biotita, según D. Isidro Parga Pondal en su Mapa Petrográfico Estructural de Galicia, año 1963 (extensión aproximada 200 Km², cuadrícula nº. 73 y 98).

- Roche granitique hercynienne, granite calco-alcalin à biotite (jeune). Carte Géologique du Nord-Ouest de la Péninsule Ibérique (hercynien et ante-

-hercynien), Profesor I. Parga Pondal, edition 1.967.

- Roca granítica herciniana, serie calco alcalina. Granodioritas y monzogranitos tardíos. Mapa Geológico del Macizo Hesperico, Profesor Isidro Parga Pondal, coordinador José Ramón Parga Peinador (+) continuada por Ramón Vegas y Alberto Marcos, primera edición 1.982, publicación da Area de Xeoloxía e Minería do Seminario de Estudos Galegos, Edicios do Castro.

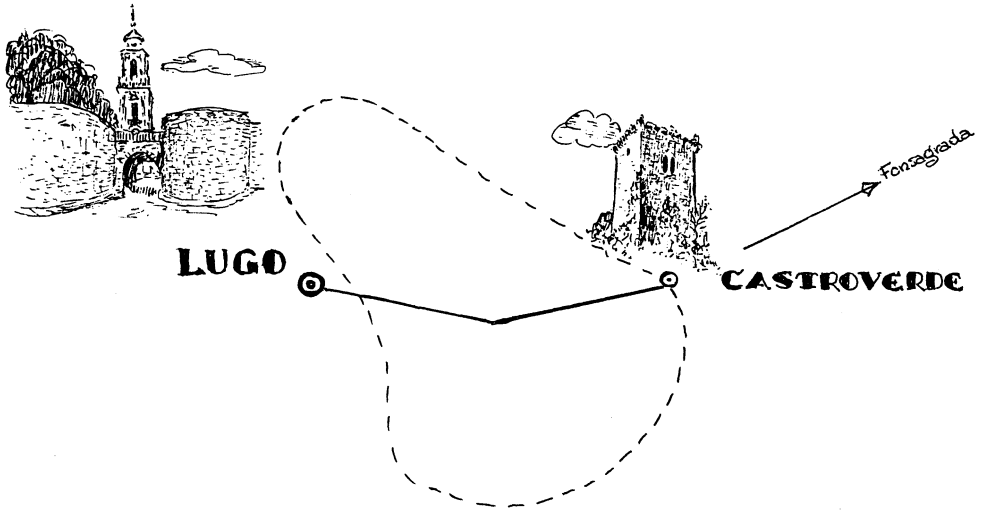


Fig. 1.- Situación de la formación de granito.

A 7 Km. del centro de la ciudad de Lugo (lugar de O Carqueixo) la explotación puede realizarse con facilidad, figura 2.

Las propiedades de esta roca, directamente relacionadas con su aptitud para ser empleada como árido de hormigón, van a ser el objeto de este estudio.



Fig. 2.- Cantera de O Carqueixo.

3.1 RESISTENCIAS MECANICAS A COMPRESION Y FLEXOTRACCION

3.1.1 De fragmentos de roca de tamaño comprendido entre 0,5 y 2,0 m³., procedentes de las voladuras del frente de cantera, y mediante la utilización de una sonda a la que se le adaptó una corona de 10 cm. de diámetro con polvo de diamante como abrasivo, se llevó a cabo la extracción de testigos para su ensayo a compresión. La toma de muestra se realizó procurando que fuera lo mas representativa posible de todo el frente de cantera (Fig.3).

Con una cortadora equipada con un disco de diamante se prepararon probetas de relación altura/diámetro 2/1.

A fin de mejorar el paralelismo de las bases y su perpendicularidad al eje, se refrentaron las probetas con una mezcla fundida de azufre y arena utilizando un molde y guía apropiado.

Con un nivel de burbuja se determinó el paralelismo alcanzado.

Se midieron al menos cuatro posiciones. En aquellos casos en los que la falta de paralelismo no era inferior al 0,5%, se repitió la operación de refrentado hasta alcanzar este valor limite permitido.

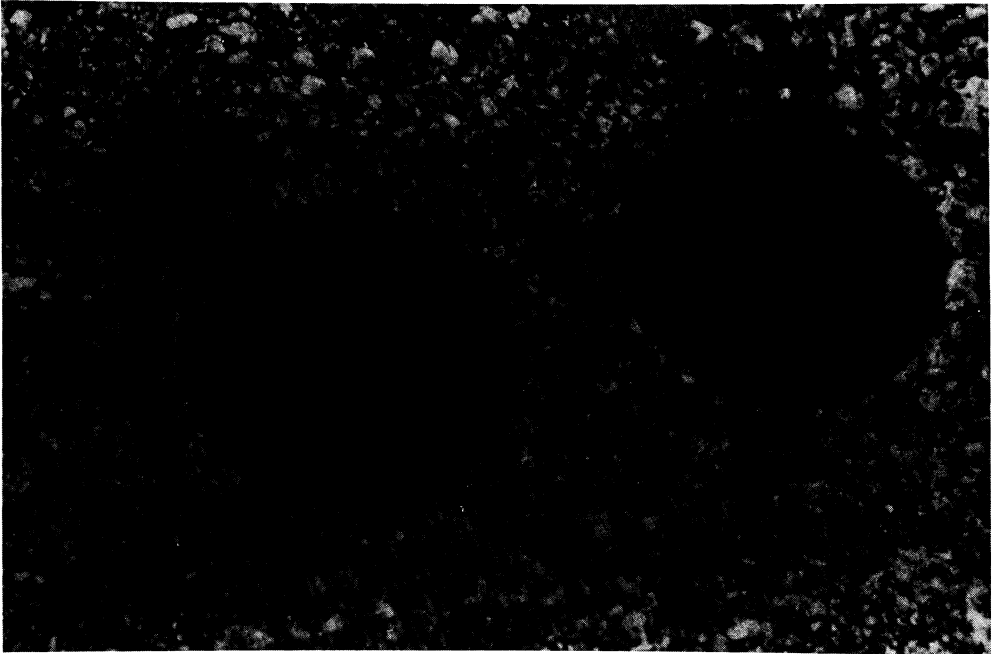


Fig. 3.- Extracción de testigos.

Posteriormente las ensayamos a compresión en una prensa hidráulica, equipada con manómetro pendular y cadenciómetro, velocidad de carga 6 Kg/cm^2 . por segundo. Escala de medida 0 a 150 Tm.

Resistencia media a compresion (Rm)	1.120 Kg/cm^2 .
Desviación típica (s)	128 Kg/cm^2 .
Coficiente de variación (s/Rm x 100)	11'4 %

Los áridos procedentes de esta roca se están empleando en la fabricación de hormigones cuya resistencia a compresión a la edad de 28 dias - determinada siguiendo la misma técnica - está comprendida entre 150 y 450 Kg/cm^2 .

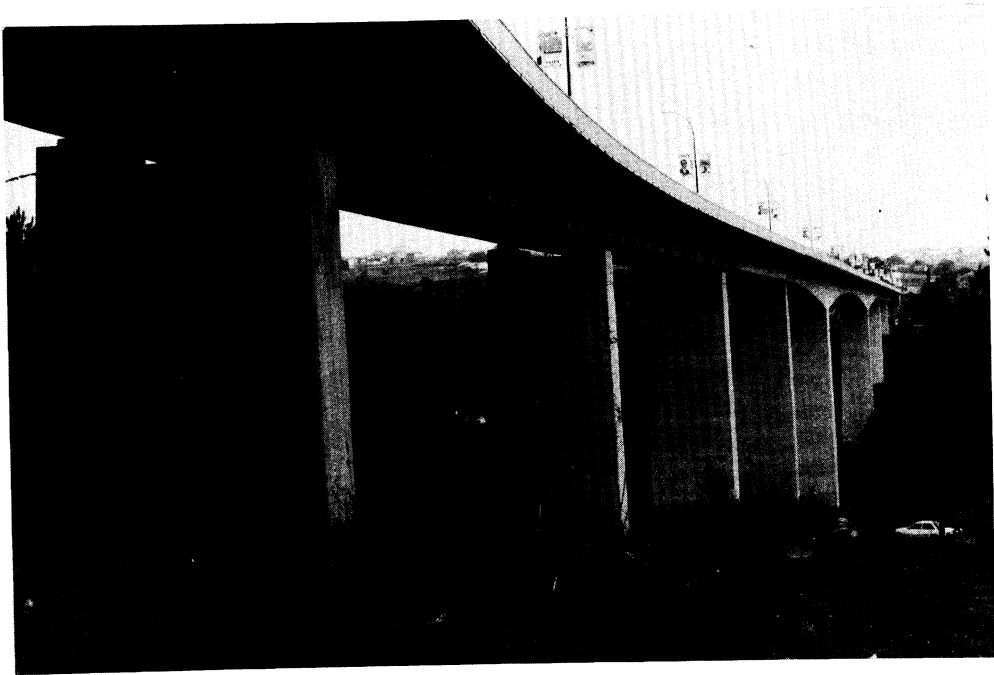


Fig. 4.- Puente sobre el rio Miño (Lugo).

3.1.2	Resistencia media a flexotracción (R_m)	144	Kg/cm^2 .
	Desviación típica (s)	22'8	Kg/cm^2 .
	Coefficiente de variación ($s/R_m \times 100$)	15'4	%

Probetas de 4 x 4 x 16 cm. preparadas con una cortadora partiendo de fragmentos de roca que habían pasado por la trituradora primaria (tamaño comprendido entre 1'5 y 3'5 dm^3), ensayada con dispositivo de tres puntos (Fig. 5), velocidad de carga 5 ± 1 Kg/seg.

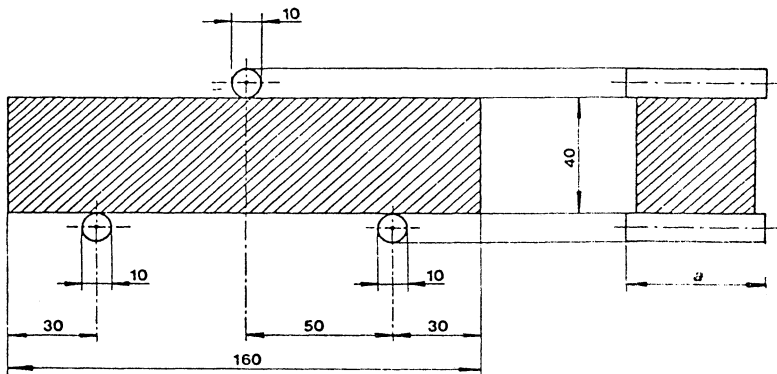


Fig. 5.- Dispositivo de tres puntos utilizado.

$$R = 3/2 \frac{W L}{b d^2} = 3/2 \times \frac{10}{4 \times 4^2} W = 0'234 W$$

- W - Fuerza aplicada en Kg
- b - Ancho en cm.
- d - Espesor en cm.
- L - Distancia entre apoyos en cm.

3.2 RESISTENCIA A LA DEGRADACION POR ABRASION E IMPACTO. Ensayo máquina los Angles, norma NLT 149/72, ASTM C 131 y C 535.

Este ensayo nos ofrece información acerca del resquebrajamiento que puede esperarse durante el proceso de almacenamiento en pilas, manejo y transporte.

Es de importancia en obras sometidas a efectos de abrasión, tales como pavimentos de carretera.

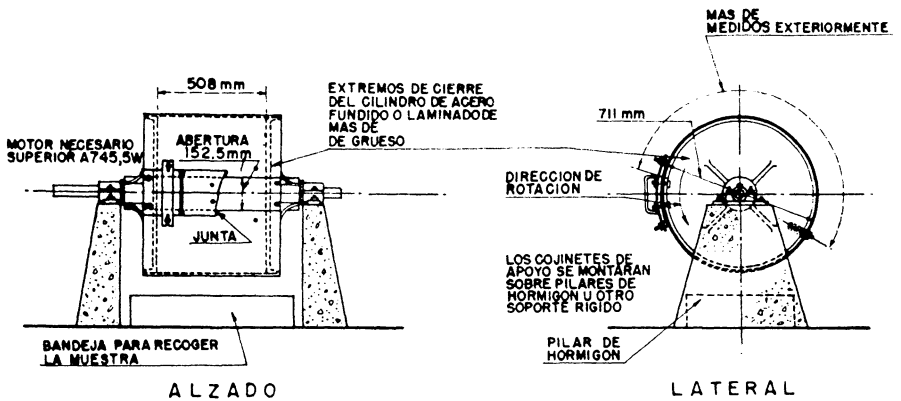


Fig. 6.- Máquina de desgaste Los Angeles

Consiste en introducir un peso de árido de una determinada granulometría, en un molino de bolas que gira a 33 r.p.m. (figura 6). Al cabo de un número de vueltas fijado, se determina la cantidad de material interior a 1'6 mm. que se produce y se expresa como porcentaje del valor de partida, dándole la designación coeficiente de desgaste.

Ensayamos las granulometrías:

	<u>Tamaño mm.</u>	<u>Coef. de desgaste</u>
A	de 10 a 40 mm.	41%
B	de 10 a 20 mm.	42%
C	de 4 a 10 mm.	38%
G	de 20 a 40 mm.	43%

La norma ASTM C 33/84 cifra como limite máximo el 50%.

Para pavimentos de hormigón el pliego vigente estable un coeficiente de desgaste inferior al 35%.

3.3 COEFICIENTE DE FORMA

Una propiedad importante del hormigón es la de adaptarse con facilidad a la forma definida por los encofrados, fluir entre las armaduras y no perder cohesión.

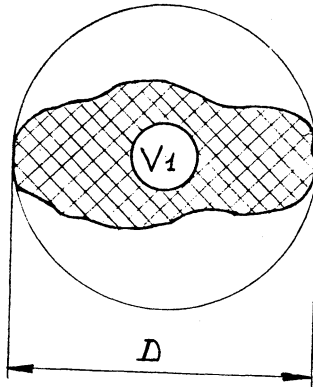
Cuanto más se aproximen lo áridos a la forma esférica, con mayor facilidad se consiguen hormigones trabajables.

Las normas definen el coeficiente de forma como: la relación entre el volumen de un elemento de árido y el volumen de la esfera que tiene como diámetro la mayor dimensión del mismo.

Según EH-80 apartado 7.3., no deberá ser inferior a 0'15.

El granito de O Carqueixo triturado en las instalaciones que describiremos, presentan los siguientes valores:

<u>Tamaños mm.</u>	<u>Coef. de forma</u>
25'4/38'1	0'23
19'1/25'4	0'23
12'7/19'1	0'20
9'52/12'7	0'24
6'3/9'52	0'21
4'76/6'3	0'23



$$\text{Coef. forma} = \frac{V_1}{\frac{4}{3} \pi (D/2)^3}$$

Fig. 7

3.4 PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DE AGUA (según norma UNE 7083)

El peso específico de las gravas saturadas en agua - despues de rodarlas sobre una bayeta húmeda hasta que las gotas superficiales hayan desaparecido - está comprendida entre 2'62 y 2'63 gr/cm³.

El peso de agua que pueden absorber, determinado en las condiciones que indica la norma, oscila entre 0'4% y 0'6% del peso del material seco.

3.5 ADHERENCIA ENTRE GRANITO DE O CARQUEIXO Y CEMENTO HIDRATADO

Esta propiedad tiene gran importancia en la resistencia de los morteros y hormigones.

3.5.1 Para determinarla ensayamos tres morteros, todos ellos con relación cemento/arena 1/3 y relación agua/cemento 0'50.

- a/ Con arena natural definida por la norma ISO para el control de los cementos difundida por toda Europa y hoy material disponible que conviene todos empleemos como término comparativo.
- b/ Con la arena que se obtiene en la instalación que describimos en el apartado 4.2.5 de este trabajo, con su granulometría original (ver figura 8).
- c/ Con la obtenida a escala de laboratorio partiendo de la arena b, separando sus distintas fracciones granulométricas y recomponiéndolas para obtener una granulometría equidistante entre los límites establecidos por la

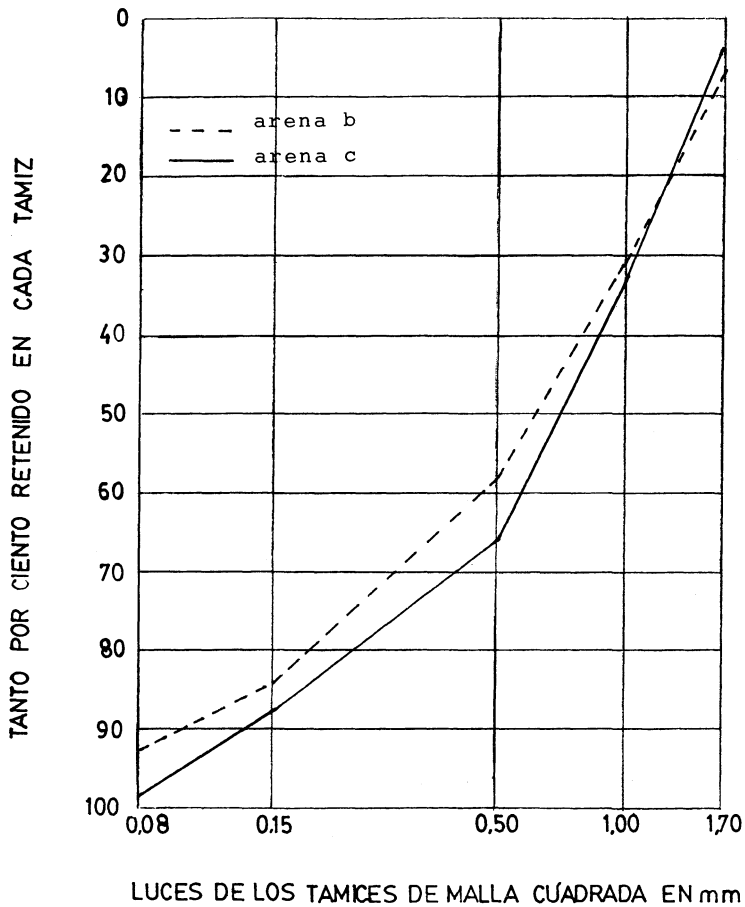


Fig. 8.- Granulometría de las arenas

norma (figura 8)

Las resistencias mecánicas de estos tres morteros son prácticamente iguales. Ello prueba la buena adherencia entre los hidratos de cemento y esta roca.

3.5.2 Sin embargo la demanda de agua de las arenas b y c es mayor y si deseamos obtener el mismo escurrimiento que con la arena natural ISO sin modificar la dosificación de cemento, es necesario aumentar la cantidad de agua de amasado. La relación agua/cemento se incrementa de 0'5 a 0'59 y en consecuencia las resistencias mecánicas a compresión y flexotracción descienden aproximadamente un 20%.

3.6 ESTABILIDAD DE LOS ARIDOS FRENTE A DISOLUCIONES DE SULFATO SODICO Y MAGNESICO. Según UNE 7136 (equivalente a la norma ASTM C 88).

Este ensayo permite evaluar la resistencia a la desintegración frente a disoluciones saturadas de sulfato sódico o magnésico.

Es una ayuda para preveer el probable comportamiento del árido tras largas exposiciones a ambientes severos (heladas, etc.)

Se consideran estables los que despues de cinco ciclos de inmersión en las disoluciones e inmediato secado a 100 °C., se degradan en menos de:

12% frente al sulfato sódico

18% frente al sulfato magnésico

Los procedentes de la cantera de O Carqueixo se degradan en una cuantía inferior al 2% en ambos casos.

3.7 COMPUESTOS DE AZUFRE

El azufre puede encontrarse:

a/ en forma oxidada (sulfatos)

b/ en forma reducida (sulfuros más o menos reactivos).

Las normas limitan el contenido total de compuestos de azufre (1'20% expresado como $SO_4^{=}$).

Cuando existen sulfuros poco estables hay que cuidar su correcta determinación. Realizamos fusiones alcalinas oxidantes, prestando especial atención a fijar todo el azufre en forma de sulfato para su posterior determinación por gravimetría.

En los áridos procedentes de O Carqueixo no hemos detectado compuestos de azufre que puedan poner en peligro la estabilidad del hormigón.

3.8 REACCION DE LOS ARIDOS CON LOS ALCALIS

Existen áridos de naturaleza silícica que formando parte del hormigón, al estar rodeados del agua intersticial saturada en iones calcio y con fuertes concentraciones de óxidos sódico y potásico, reaccionan con estos iones dando lugar a geles de sílice que, por fenómenos de ósmosis y difusión, ocasionan importantes emigraciones y acumulaciones de agua en su entorno creandose tensiones capaces de fisurar el hormigón (figura 9).

Se han desarrollado dos tipos de ensayo para conocer si un determinado

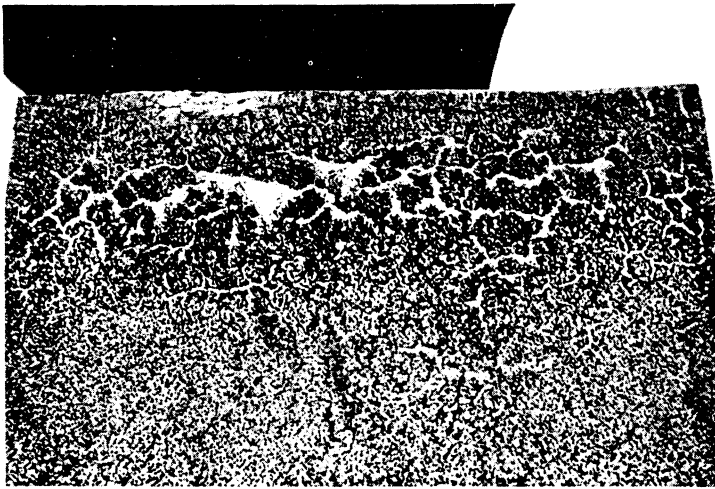


Fig. 9.- Hormigón que presenta reacción álcali-árido

árido puede dar lugar a procesos de este tipo.

a/ Norma española UNE 7137, equivalente a la ASTM C 289. Es un ensayo químico preventivo. Consiste en acelerar el proceso tratado con hidróxido sódico 1 N a 80° C. durante 24 horas, gránulos de árido de tamaño comprendido entre 0'3 y 0'15 mm.

Se valora la reducción de la alcalinidad y se determina la sílice que se ha disuelto. Estos dos valores fijan un punto en el gráfico de la figura 10 que puede estar situado en la zona de áridos inocuos, deletéreos o potencialmente deletéreos.

Los áridos de O Carqueixo, en numerosos ensayos con ellos realizados, han dado siempre valores que definen puntos de la zona considerada como no reactiva, muy próximos a los valores medios:

Reducción de la alcalinidad total (Rc) = 28 milimoles/litro

Sílice soluble (Sc) = 14 milimoles/litro.

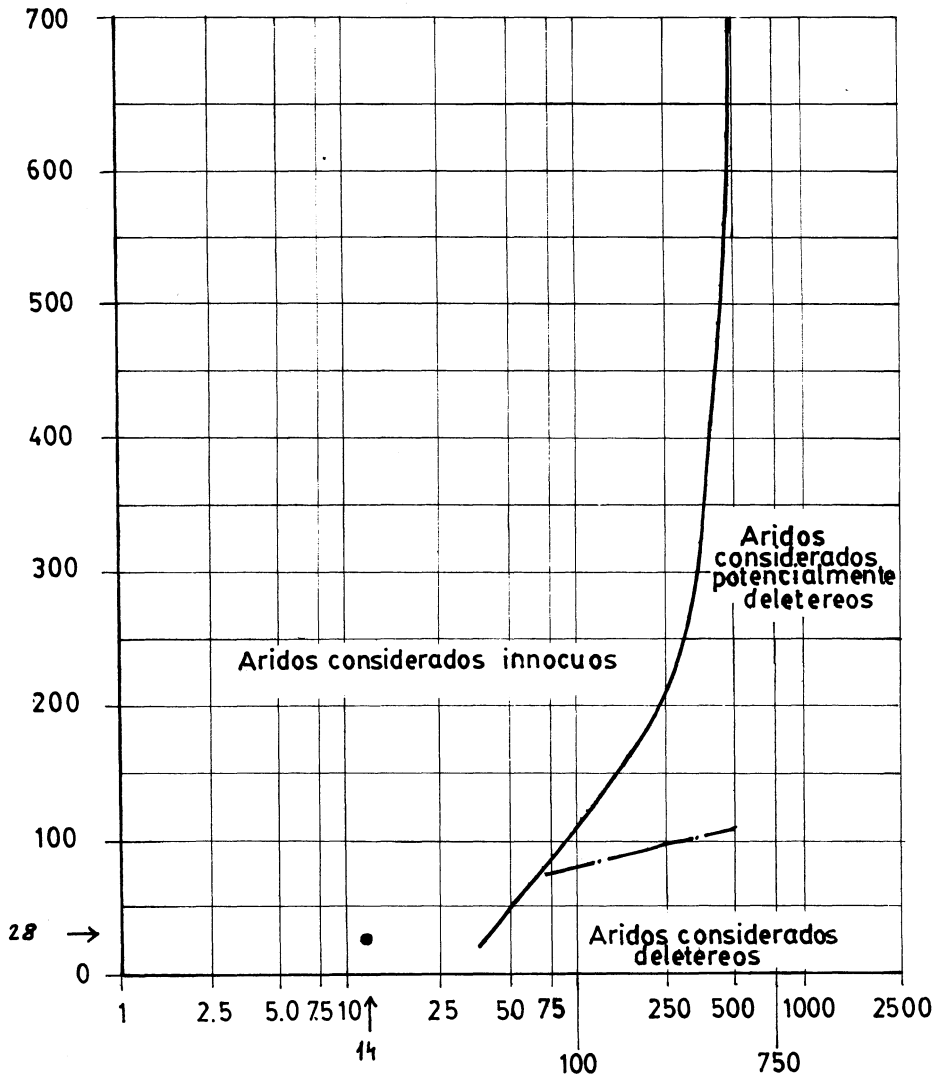


Fig. 10.- Gráfico que delimita zonas inocuas de mayor o menor reactividad

b/ Cuando el ensayo a advierte de la potencial reactividad, se deben medir los efectos expansivos.

La norma ASTM C 227 describe ensayos de control de longitud de probetas de morteros preparados con el cemento que se va a emplear y una arena de 4 mm. a 0'14 mm. obtenida por trituración del árido.

Las probetas se conservan en recipientes herméticos en los que, para activar el proceso, se mantiene una atmósfera saturada de humedad a 38 C.

3.9 La cantidad de otras sustancias perjudiciales que pueden presentar los áridos no excederá de los siguientes límites (según EH-80, apartado 7.3)

	<u>árido fino</u>	<u>árido grueso</u>
Terrones de arcilla (según UNE 7133)	1'00 %	0'25 %
Partículas blandas (según UNE 7134)	-'	5'00 %
Material retenido en el tamiz 0'063 que flo- ta en un líquido de peso específico 2 (se- gún UNE 7244)	0'50%	1'00 %

No se utilizarán aquellos áridos finos que presenten una proporción de materia orgánica tal que, ensayados con arreglo al método indicado en la norma UNE 7082, produzcan un color mas oscuro que el de la sustancia patrón.

Los áridos de O Carqueixo están exentos de estas sustancias.

4. EXTRACCION Y TRITURACION

4.1 DATOS EXPERIMENTALES DE LA CANTERA

4.1.1 Perforación

Se realiza con una máquina accionada neumáticamente, marca ATLAS COPCO con martillo de cabeza tipo BBC-120 para un varillaje de 1 1/2" y bocas de 3" (76 mm.), a una presión de 7 Kg/cm².

4.1.2 Voladura

Banco	12'5 metros
Sobre-perforación	0'90 metros
Retacado	1'85 metros
Cuadrícula	21 Tm x m.l.

Explosivos empleado por barreno

	<u>peso Kg.</u>	<u>ocupa mts.</u>	<u>gr/Tm.</u>
Goma 2 EC 65 mm.	12'5	2'70	220
Nagolita-granel	32	8'85	172
Retacado	-	1'85	-

La Piedra en rama procedente de la voladura es cargada con una excavado-

ra hidráulica de carga frontal marca Orestein & Koppel tipo RH-12-600 HD con un peso de 32 Tm.

4.2 DESCRIPCION DE LA PLANTA DE TRITURACION

4.2.1 Trituradora primaria

Machacadora de mandíbulas de simple efecto con dimensiones de boca 1.000 x 800 mm. Tamaño de salida entre 0 y 150 mm.

4.2.2 Molino secundario

Tipo SYMONS 3", cabeza extragruosa, que recibe material 70 - 150 mm. reduciendo a tamaños de 0 a 40 mm.

4.2.3 Molino terciario

Tipo SYMONS 2", cabeza corta. Material de entrada 25 - 40 mm. Material de salida 0 - 25 mm.

4.2.4 Se obtienen cinco productos finales de tamaños:

0 - 6, 6 - 12, 12 - 25, 25 - 40, 40 - 70

Cribas: una GRASSET CU-150 y otra MOGENSEN.

4.2.5 Planta para preparación de arena tamaño 0 - 2 mm.

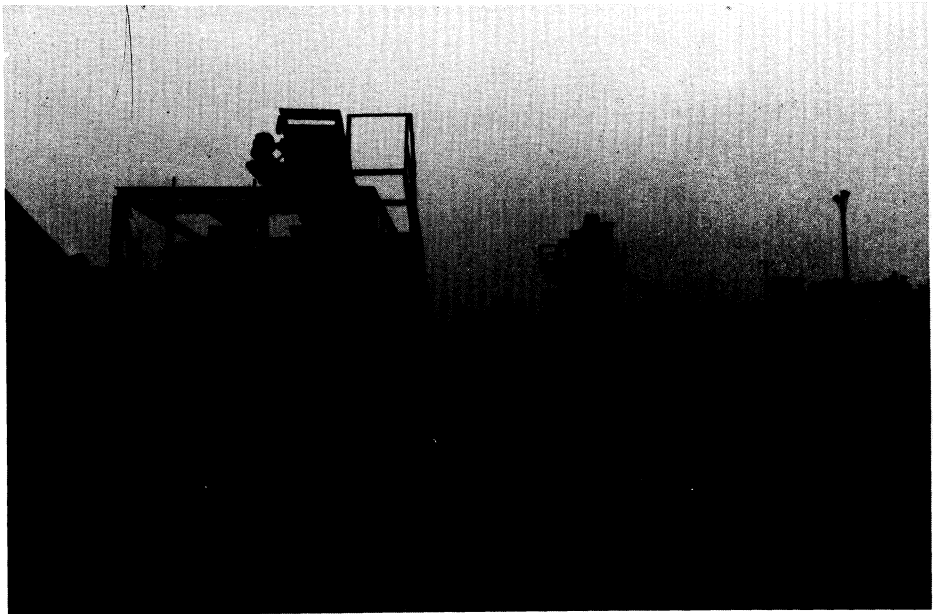


Fig. 11.- Planta de trituración.

Consta de un molino SYMONS GYRADISCS — 36 y dos cribas MOGENSEN. Tritura material clasificado.

4.3 Se inició la explotación de la cantera en el año 1.968.

Desde entonces se han producido cerca de 2 millones de Tm. de árido de excelente calidad.

Con aproximadamente la mitad de ellos, en la planta de hormigón preparado de Prebetong Lugo, S.A. (Polígono del CEAO), se han fabricado mas de medio millon de m³. de hormigón, de los cuales 22 mil se emplearon en el puente sobre el rio Miño en Lugo, para el que se exigía una resistencia característica de 400 Kg/cm². (figura 4).

Con las arenas procedentes de la trituración de este granito, convenientemente clasificadas y secas, se fabrican morteros secos ensacados, cemento-cola, morteros con fibra de vidrio, etc.

En Lugo, el espíritu creador del hombre que hace casi dos milenios construyó la muralla y hace casi uno inició las mas bellas partes de su catedral, hoy tiene muy próximos materiales de calidad con los que, siguiendo técnicas sancionadas por la experiencia y consideradas por el estado actual del conocimiento humano como idóneas, puede realizar obras duraderas capaces de mantener su belleza y utilidad a lo largo de los siglos venideros.

BIBLIOGRAFIA

Memoria año 1.984 de Prebetong Lugo, S.A.

Parga I., Mapa Petrográfico Estructural de Galicia año 1.963.

Parga I., Carte Géologique du Nord-Ouest de la Péninsule Ibérique (Hercynien et ante-Hercynien) edition 1.962.

Parga I., Mapa Geológico del Macizo Hesperico Primera edición 1.982. Seminario de Estudios Galegos, edicios do Castro.

Proyecto de norma UNE 83.111

Norma ASTM C 283

Norma NLT 149/72

Norma ASTM C 131

Norma ASTM C 535

Norma UEN 7.238

Norma UNE 7.083

Norma CEN prEN 196, part 1

Norma UNE 7.136

Norma ASTM C 88

Instrucción EH-80

Norma ASTM C 289

Norma ASTM C 227