

COMPORTAMIENTO DE LAS ROCAS BASÁLTICAS COMO AGREGADOS PÉTREOS EN HORMIGÓN, FRENTE A LA REACCIÓN ÁLCALI-SÍLICE

Madsen Lenís* ^{1,2}; Marfil Silvina ^{1,2}; Maiza Pedro ^{1,2}

¹Departamento de Geología. UNS. San Juan 670. (8000) Bahía Blanca.

*lenismad@gmail.com smarfil@uns.edu.ar, pmaiza@uns.edu.ar.

² CGAMA-CIC de la Prov. de Bs. As.

RESUMEN

Se estudió la aptitud de rocas basálticas para su utilización como agregado para hormigón. Se evaluaron las características físicas y petrográficas y se analizó la potencial reactividad frente a la reacción álcali-sílice (RAS)

Estos resultados pueden extrapolarse a la problemática de la RAS en el sur de la provincia de Buenos Aires ya que estas rocas constituyen más del 50 % de los componentes clásticos de arenas y cantos rodados.

La determinación de la calidad de los materiales es fundamental para dosificaciones correctas de los hormigones para ser utilizados en estructuras que brinden una óptima prestación durante su vida útil.

PALABRAS CLAVE: agregados - basaltos – RAS

INTRODUCCIÓN

Las rocas basálticas son las vulcanitas aflorantes más abundantes, en Argentina e incluso a nivel mundial. Su uso como agregado pétreo (piedra partida) es muy frecuente ya que cubren grandes extensiones en diferentes regiones de Argentina, en especial en la mesopotamia y patagonia.

Estructuras de hormigón de gran envergadura se han construido en Argentina utilizando basaltos como agregado, tales como los diques Yacyretá y Salto Grande, puentes, pistas de aeropuertos y pavimentos y son muchas las que los usaron en otras partes del mundo. En algunos casos, las obras, presentaron problemas por el deterioro prematuro debido al desarrollo de la reacción álcali - sílice (RAS) mientras que en otras no se manifestaron signos de degradación.

Las rocas volcánicas constituyen más del 50 % de las arenas y canto rodado en el sur de la provincia de Buenos Aires y un porcentaje importante están integrados por vulcanitas básicas. Estos materiales son utilizados en la zona de Bahía Blanca y fueron evaluados en trabajos previos calificándolos como potencialmente reactivos. Además existen antecedentes de estructuras en la región afectadas por RAS. Por ello es importante entender el comportamiento de las vulcanitas, determinar la presencia de vidrio volcánico en la pasta y los procesos de alteración que han sufrido para evaluar su aptitud como agregado. Esto contribuirá a la construcción de hormigones que mantengan su prestación durante su vida útil.

Considerando las características físico-mecánicas de este tipo de rocas, las mismas constituyen un material aceptable para hormigón, sin embargo la presencia de

especies deletéreas distribuidas irregularmente lo califica como un material, como mínimo, potencialmente deletéreo. El vidrio volcánico, (fresco o alterado, principalmente a minerales arcillosos) y sílice micro y/o criptocristalina (ópalo, tridimita, cristobalita y cuarzo secundario) pueden afectar su aptitud. Por lo tanto la adecuada identificación de los minerales y rocas constituyentes de los agregados es de vital importancia para predecir su comportamiento en servicio y tomar recaudos para minimizar los riesgos.

Además de la composición hay que considerar su estabilidad en un medio fuertemente agresivo como puede ser el hormigón de cemento portland. Otro factor a tener en cuenta es el grado de exposición y humedad a la que estará sometida la obra. Agregados de este tipo, pueden aportar sílice y reaccionar con los álcalis dando como resultado el desarrollo de procesos deletéreos (Shayan et al. 1988).

El propósito del presente trabajo es evaluar el comportamiento de las rocas basálticas de las provincias de Corrientes y Entre Ríos como agregados, principalmente material de trituración, para hormigón frente a la reacción álcali-sílice. La roca explotada forma parte de la cuenca Chacoparanaense (Montaño *et al.* 1998, Silva Busso 1999). La sucesión basáltica denominada Formación Serra Geral, está integrada por potentes derrames basálticos e interestratificados con sedimentitas clásticas (Favetto y Pomposiello 2010). El basalto aflora junto al río Uruguay en el este de Misiones y Corrientes y NE de Entre Ríos. El espesor varía entre 800 y 1000 metros alcanzando los 1930 metros en Brasil (Fili *et al.* 1998). Son basaltos toleíticos con textura dominante de grano fino, mayormente compactos y con tonalidades gris oscura a negra (Pezzi y Mozetic 1989).

MATERIALES Y METODOS

El mayor número de canteras estudiadas se localizan en la provincia de Corrientes, dos al oeste de la localidad de Mercedes (canteras 3 y 5) y dos en cercanías de Curuzú Cuatía (canteras 1 y 4). La restante se encuentra en la provincia de Entre Ríos, al sur de Concordia, sobre la localidad Puerto Yerúá (cantera 2) (Figura 1). Se tomaron muestras del triturado 6-20 mm proveniente de los acopios.

Se confeccionaron cortes delgados para el estudio con microscopio óptico. Para ello se utilizó un microscopio Olympus, trinocular BH-2.

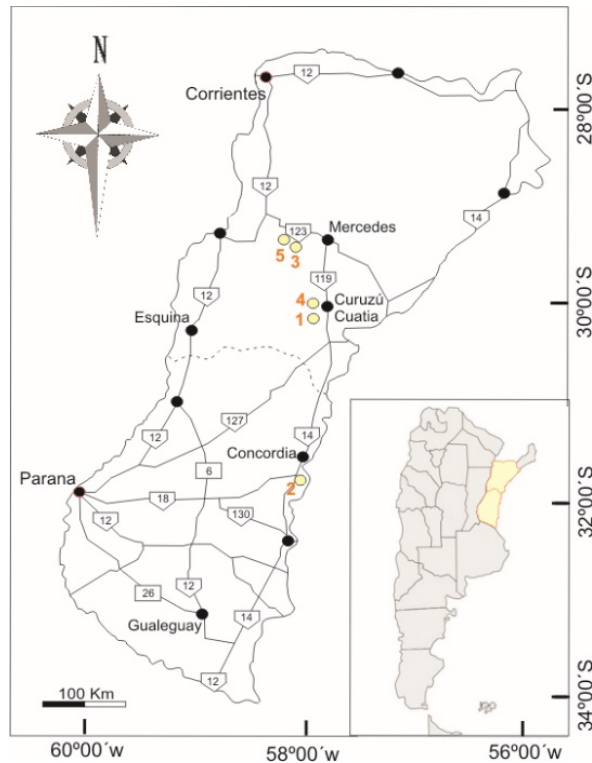


Figura 1: Localización de las canteras estudiadas.

CONSIDERACIONES PETROGRAFICAS

Las rocas ígneas contienen minerales máficos que son generalmente alúminosilicatos de hierro y/o magnesio. Estos minerales incluyen el grupo de los piroxenos (el más común es la augita), anfíboles y olivinos. Si bien estos minerales son metaestables en el ambiente exógeno, no provocan reacciones deletéreas cuando constituyen agregados para hormigón, al hidrolizarse liberarán hierro y magnesio dando lugar a la cristalización de cloritas. Están asociados a óxidos (magnetita (Fe_3O_4) y hematita (Fe_2O_3)) e hidróxidos de hierro (goetita ($\text{FeO}(\text{OH})$)) que se presentan comúnmente como minerales accesorios y secundarios.

Los feldespatos (plagioclasas) constituyen un grupo muy abundante y son el principal formador de rocas basálticas. Son muy estables en medio alcalino y suelen presentarse alteradas a minerales arcillosos del grupo de la illita y/o caolinita, ya que se hidrolizan en medio ácido.

La montmorillonita, muy común en basaltos, tiene alta capacidad de intercambio catiónico y cambia de volumen por humedecimiento y secado. Esta propiedad lo torna un material peligroso cuando constituye parte de los agregados pétreos. Su identificación es dificultosa ya que su cristalinidad es pobre y su estructura no siempre es uniforme.

ALTERACIONES

Las rocas expuestas en el ambiente exógeno, casi siempre muestran evidencias de alteración, por acción de procesos erosivos, sean estos físicos, químicos y biológicos. La roca se verá afectada a distinta profundidad, dependiendo de la permeabilidad, del grado de fracturamiento y de su composición mineralógica y textura. Los principales procesos químicos que se desarrollan son hidratación e hidrólisis, oxidación y reducción, carbonatación y disolución.

Los minerales primarios y el vidrio volcánico al ser afectados por estos procesos, pueden sufrir un aumento de volumen o aportarán iones al medio que lo tornará más agresivo. El aporte de aniones y cationes dependiendo las condiciones químicas originarán arcillas (si el medio es ácido, se formarán caolines; si el medio es alcalino, montmorillonita/smectitas, zeolitas y si es neutro a levemente alcalino, illita). La cristalización de las nuevas especies mineralógicas consumirá parcialmente la sílice disponible y el exceso puede migrar como complejo o precipitar en alguna de las formas de sílice, desde totalmente estable como cuarzo a una forma lábil como el ópalo. En general los minerales secundarios se encuentran principalmente como relleno de cavidades o en el interior de las fisuras.

Estas especies en medios fuertemente agresivos como es el pH elevado del hormigón tienden a solubilizarse (hidrolizarse), liberando sílice y elementos alcalinos que se combinan para formar en principio geles que luego cristalizan en estructuras zeolíticas con el consecuente incremento de volumen y desarrollo de presiones que superan la resistencia a la tracción del hormigón.

Por lo mencionado deben identificarse todas las especies mineralógicas, ya que pueden participar activamente en la reacciones del hormigón

ADHERENCIAS SUPERFICIALES

Deben considerarse las adherencias superficiales que pueden presentar los fragmentos de rocas, cuando se trata de minerales arcillosos en especial materiales expansivos del tipo montmorillonita, sílice criptocristalina libre o asociada con carbonatos. La piedra partida, por lo general presenta material pulverulento de la misma composición que la roca, generada por el proceso de trituración.

ENSAYOS NORMALIZADOS

Existen normas que especifican los requisitos a tener en cuenta para realizar los estudios petrográficos de los materiales a ser utilizados como agregados gruesos. Entre ellas puede citarse la norma IRAM 1649 (Áridos para hormigón. Examen petrográfico), e IRAM 1531 (Áridos gruesos para hormigones de cemento portland)

Para que el agregado grueso sea aceptado no debe contener sustancias nocivas en proporciones mayores a las indicadas en la tabla 1 (IRAM 1531) y la suma de los valores obtenidos no deberá superar el 5%.

Para evaluar la durabilidad, el agregado debe ser sometido al ensayo por ataque con sulfato de sodio según la norma IRAM 1525 al ensayo de desgaste “Los Ángeles” (IRAM 1532).

Petrográficamente debe ser analizado desde el punto de vista de la reacción álcali agregado, en especial cuando la obra estará sometida a la acción de humedad. Para ser aceptado el contenido de especies deletéreas no debe superar los porcentajes indicados en la tabla 2 (IRAM 1531).

Tabla 1: sustancias nocivas (IRAM 1531)

Requisitos	Unidad	Máximo admisible	Método de ensayo
Terrones de arcilla y partículas friables	g/100 g	2,0	IRAM 1647
Finos que pasan el tamiz IRAM 75 µm		1,0	IRAM 1540
– Agregados gruesos naturales			
– Agregados gruesos de trituración, libres de arcilla (ver 5.1.2.2)		1,5	
Materias carbonosas:		0,5	IRAM 1647
a) Cuando es importante el aspecto superficial			
b) Otros casos		1,0	
Sulfatos, expresados como SO ₃		0,075	
Otras Sales solubles		1,5	
Filita (chert) como impureza:		1,0	IRAM 1649
En exposiciones C1, C2 ¹⁾			
En climas de exposiciones distintas a las correspondientes exposiciones C1, C2 ¹⁾	2,0		
Otras sustancias perjudiciales:	2,0		
▪ Pizarras			
▪ Micas como principal componente de la partícula			
▪ Fragmentos blandos en escamas desmenuzables			
▪ Partículas cubiertas por películas superficiales			
▪ Esmeclitas, piritas, serpentinitas, zeolitas			

¹⁾ En clases específicas de exposiciones que pueden producir degradación distinta de la corrosión de armaduras, C1, C2, se encuentran detalladas en el anexo D de la norma IRAM 1531.

Tabla 2: minerales y rocas potencialmente reactivas

Reacción	Minerales / Rocas	Contenido máximo (%)
Reacción álcali-sílice (RAS)	Cuarzo fuertemente tensionado, microfracturado	5,0
	Cuarzo microcristalino (tamaño de grano promedio menor que 62 µm)	
	Ftanita, chert	3,0
	Calcedonia	
	Tridimita	1,0
	Cristobalita	
	Ópalo	0,5
	Vidrio volcánico contenido en rocas volcánicas	3,0

RESULTADOS

CARACTERIZACION PETROGRAFICA

A nivel macroscópico, la piedra partida 6-20 mm, está constituida por rocas volcánicas masivas, compactas, de grano fino, color gris oscuro, moteadas, con tamaño de grano variable, textura afanítica a microgranular, con sectores porfíricos. Se observan algunas zonas desferrizadas de formas lenticulares. Están constituidas por tablillas de plagioclasa y piroxenos en una pasta muy fina parcialmente argilizada. Los sectores oscuros que originan las partes moteadas están constituidos por óxidos de hierro que hacia su periferia se hidratan y argilizan. También, relacionados a estos sitios, se desarrollan núcleos de arcilla que frecuentemente reemplazan a la pasta de la roca y a los sectores vitreos.

A nivel microscópico las rocas se califican como basalto toleíticos. Están compuestas principalmente por tablillas macladas de plagioclasa (andesina cálcica) distribuidas sin un alineamiento preferencial, débilmente argilizadas (Figura 2a y 2b).

Los espacios intercristalinos están ocupados principalmente por pequeños gránulos aglutinados de augita titanífera y minerales opacos. El mafito presenta débil cloritización (Figura 2c), en los sectores máficos. También es común observar procesos de desferrización que originan hidróxidos de hierro, principalmente goetita.

Los espacios intergranulares se destacan por la presencia de un material criptocristalino, integrado por minerales arcillosos tipo nontronita y/o saponita (montmorillonita férrica y magnesiana respectivamente), cristales aciculares de apatito y óxidos de hierro, generados a partir de la alteración del vidrio volcánico (Figura 2d). Son poco frecuentes los sectores con palagonita (vidrio volcánico aún isótropo).

La roca incluye xenolitos constituidos por augita y plagioclasa (labradorita) con textura gruesa y cristales aislados de plagioclasa y augita parcialmente corroídos. Estos minerales alcanzan el mm, su zona periférica está parcialmente reabsorbida pero su masa aún no se presenta alterada.

La textura de las rocas es intersertal con sectores intergranulares.

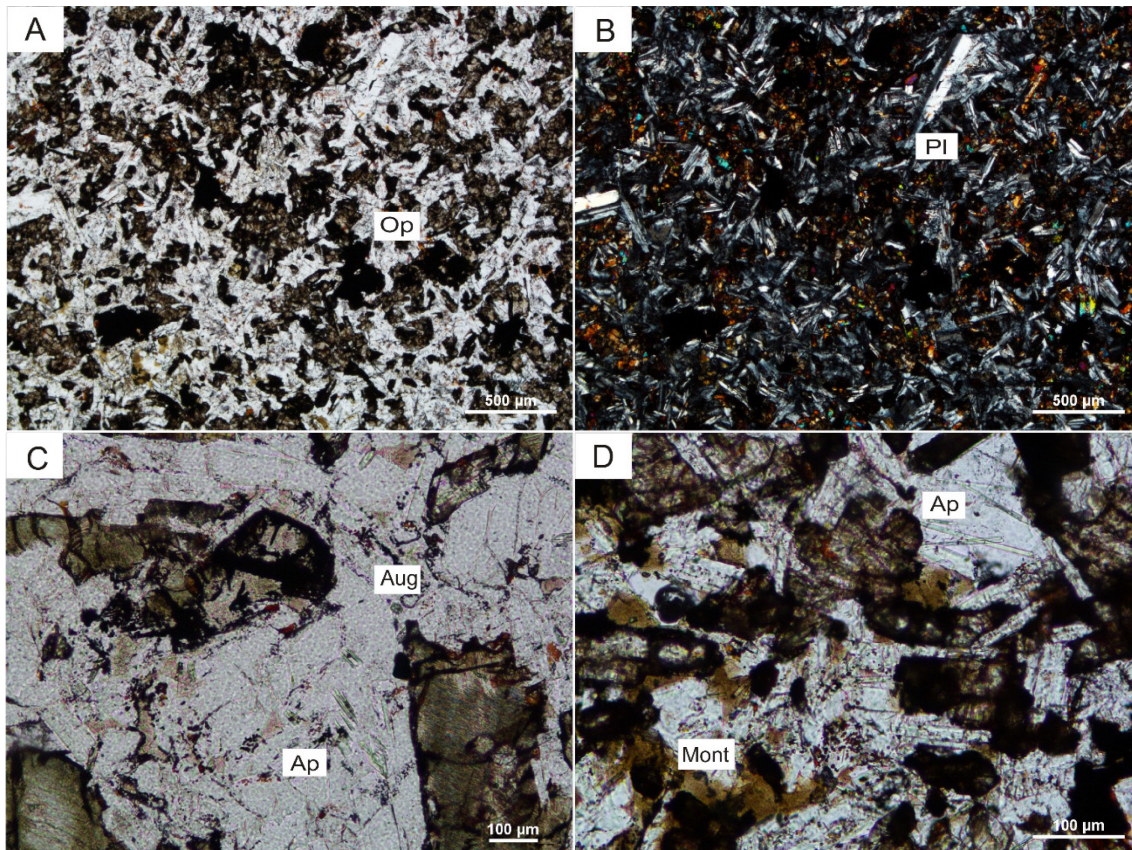


Figura 2: Fotomicrografías. a y b: textura general de la roca sin y con analizador, respectivamente. c- Augita cloritizada. d- Ajujas de apatito y material arcilloso producto de la alteración del vidrio volcánico. Op: minerales opacos; Pl: Plagioclasa; Ap: Apatitos; Aug: Augita; Mont: Montmorillonita.

CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

La caracterización geotécnica de los agregados fue realizada sobre la fracción gruesa, triturado 6-20 mm. Según su forma, las partículas pueden clasificarse en redondeadas, cúbicas, lajas y agujas. Las lajas son partículas planas, con una dimensión muy inferior a las otras dos; las agujas son partículas muy alargadas, con una dimensión muy superior a las dos restantes. Las lajas y agujas (partículas planares) pueden romperse con facilidad durante la compactación o después bajo la acción del tráfico, modificando con ello la granulometría del árido. En consecuencia, deben imponerse limitaciones en el contenido de partículas con mala forma; en términos generales, en una fracción de árido no se debe sobrepasar del orden del 30% en peso. En La tabla 3 se expresan los valores porcentuales para cada agregado estudiado.

Tabla 3: Forma

CANTERA	IRREGULARES EQUIDIMENSIONALES	PARTÍCULAS PLANARES	APTITUD
1	87%	13%	Apta
2	77%	23%	Apta
3	83%	17%	Apta
4	93%	7%	Apta
5	76%	24%	Apta

CONCLUSIONES

- Los basaltos son rocas aptas para ser usadas como agregado en hormigón cuando sus pastas se presentan totalmente recristalizadas. Si contienen vidrio volcánico fresco o alterado a minerales arcillosos aportarán sílice al medio y elementos alcalinos los que pueden provocar reacciones deletéreas en el hormigón.
- El análisis petrográfico de los materiales pétreos, constituye un paso imprescindible en la etapa de proyecto de una obra.
- El estudio petrográfico-mineralógico muestra que todas las rocas basálticas estudiadas contienen materiales susceptibles de reaccionar frente a los álcalis, como vidrio volcánico, sílice microcristalina y arcillas del grupo de la montmorillonita.
- Los resultados obtenidos indican que todas las muestras estudiadas deben ser consideradas potencialmente reactivas frente a los álcalis contenidos en el hormigón. Es aconsejable realizar ensayos complementarios normalizados (tales como el método químico y barras de mortero).
- Las características físicas del material, lo definen como apto en su uso para hormigón.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Dpto.de Geología de la UNS, y CGAMA-CIC de la Prov. de Bs. As. por el apoyo brindado.

REFERENCIAS

- Favetto, A., y Pomposiello, C. 2010. Modelo geoelectrico de la cuenca chacoparanense en Santa Fe-Entre Ríos a partir de un estudio magnetotelúrico. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 67(1):130-138.
- Fili, M., Da Rosa Filho, E., Auge, M., Montañó Xavier, J. y Tujchneider, O. 1998. El acuífero Guaraní. Un recurso compartido por Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay (América del Sur). Instituto Tecnológico Geominero de España. *Boletín Geológico y Minero* 109(4): 389-394.
- IRAM 1525, 1985. Agregados. Método de ensayo de durabilidad por ataque con sulfato de sodio.
- IRAM 1531, 1968. Aridos gruesos para hormigones de cemento portland.
- IRAM 1532, 2000. Agregados gruesos. Método de ensayo de resistencia al desgaste con la máquina "Los Angeles".
- IRAM 1649, 1968. Reactividad alcalina potencial en áridos. Exámen petrográfico.
- Montañó, J., Tujchneider, O., Auge, M., Fili, M., Paris, M., D'elia, M., Perez, M., Nagy, M.I., Collazo, P. y Decoud, P. 1998. Sistema Acuífero Guaraní. Capítulo argentino-uruguayo. *Acuíferos regionales en América Latina*. Centro de Publicaciones, Universidad Nacional del Litoral. 217 p., Santa Fe.
- Pezzi, E.E., y Mozetic, M.E. 1989. Cuencas sedimentarias de la región chacoparanense. *Cuencas Sedimentarias Argentinas, Serie Correlación Geológica* 6: 65-78.
- Shayan, A.; Quick, G. W. (1988) An alkali – reactive basalt from Queensland, Australia. *International Journal of Cement Composites and lightweight Concrete*, 10 (4): 209-214.
- Silva Busso, A. 1999. Contribución al Conocimiento de la Geología e Hidrogeología del Sistema Acuífero Termal de la Cuenca Chacoparanense Oriental Argentina. Tesis doctoral, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.