

## ESTUDIO PETROLOGICO Y ENSAYOS FISICOS DE LAS ROCAS ALCALINAS DEL SUR DE LAS PROVINCIAS DE CORDOBA Y SAN LUIS

CESAR R. CORTELEZZI<sup>1</sup>, LUIS TRAVERSA<sup>2</sup> y ROBERTO R. PAVLICEVIC<sup>3</sup>

### RESUMEN

Para este trabajo se muestrearon las canteras "El Quebracho" y "La Garrapata" estudiándose también rocas de la cantera "Los Cóndores", a fin de obtener datos comparativos con los ya existentes en la bibliografía sobre esta zona.

Se realizaron los ensayos especificados en las distintas normas a fin de verificar la aptitud de estas rocas para su empleo en la ejecución de estructuras de hormigón; además se estudió el comportamiento de las mismas antes los álcalis presentes en los cementos portland.

Sobre la cantera "La Garrapata" se realizó un estudio petrológico detallado, pues se encontraron estructuras peculiares, similares a las que presentan los derrames de lavas en almohadillas.

Petrográficamente estas rocas alcalinas corresponden a basanita nefelina leucita, de edad Cretácica, determinada por el método K-Ar; contrariamente a la opinión generalizada que las consideraba de edad cuaternaria.

### ABSTRACT

For the present work the quarries "El Quebracho" and "La Garrapata" were sampled, being also studied rocks from the quarry "Los Cóndores", in order to obtain comparative data to the already existing information in the literature on this zone.

Specif tests from different standards were performed to verify the aptitude of these rocks for its use in concrete structures. The behaviour of these rocks in the presence of alkalis from the Portland cements were also studied.

A detailed petrologic study was performed on "La Garrapata" quarry, since peculiar structures were there found, similar to those shown by pillow-lava flows.

Petrologically these alkaline rocks correspond to a nepheline-leucite basanite, of Cretaceous age, determined by the K-Ar method, which is at variance with the general opinion that considered these rocks of a Quaternary age.

<sup>1</sup> Investigador de la CIC Provincia de Buenos Aires e IMPSEG — Fac. C. Nat. La Plata.

<sup>2</sup> CIC-LEMIT Provincia de Buenos Aires.

<sup>3</sup> CONICET-BUENOS AIRES.

## INTRODUCCION

El estudio de las rocas volcánicas de las canteras que figuran en este trabajo, se inició por motivos puramente técnicos, en la necesidad de conocer la petrografía de los agregados usados para obras públicas en el noroeste de la provincia de Buenos Aires, los cuales provenían de las canteras ubicadas al sur de las provincias de San Luis y Córdoba.

Los agregados usados en general en la provincia de Buenos Aires, son areniscas silíceas, rocas graníticas y rodados de cuarzo y calcedonia; curiosamente se suman a éstas en algunas áreas de nuestra provincia, agregados compuestos por rocas volcánicas.

La roca volcánica del sur de las provincias de San Luis y Córdoba, fueron estudiadas desde fines del siglo pasado, especialmente por el trabajo de Avé-Lallement (1875) quien realizó una prolija descripción de estas rocas entre Río Cuarto y Villa Mercedes. Al tratar las rocas del cerro La Leoncita, los denomina basalto-nefelina, y en su composición mineralógica, determinada por observación microscópica, menciona además de augita, olivina y nefelina, leucita como mineral esencial.

Es de destacar que considera al "*Fierro magnético*" un constituyente importante del basalto de este cerro y menciona noseanita y melilita que nosotros no hemos encontrado.

Bodembender (1907) describe las rocas del cerro La Garrapata y menciona la posible presencia de nefelina, mientras que, en el cerro Leoncito (sic), determina también como minerales accesorios espinela o perowskita parda.

También estudió las vulcanitas de Córdoba y al hablar del cerro Quebracho, las considera meláfiro de grano fino, con augita, olivina, biotita, minerales opacos y vidrio incoloro, que según este autor, tiene composición de feldespato; afirma también que la pasta es igual a la de las rocas llamadas basanitoideas.

Pandolfi (1943) realizó un completo estudio petrográfico geológico, de la región de Chaján y estudió los afloramientos de basalto en los cerros La Garrapata, Madera y La Leoncita. Las rocas las clasifica como basaltos nefelínicos. Debe destacarse que la Dra. Pandolfi describe la perowskita como un mineral relativamente abundante y fresco, al cual lo ha observado "en todas las preparaciones de las rocas basálticas de la región".

Debemos consignar que a pesar de los numerosos cortes delgados que estudiamos, de las rocas basálticas del área que nos ocupa, no pudimos determinar la presencia de este mineral. Pero, como lo haremos notar más adelante, es posible que en las partes superiores de los cerros, antes de abrirse las canteras, las rocas tuviesen perowskita ya que hemos sido testigos de cambios mineralógicos, en el desarrollo de los frentes de canteras. Llama la atención que no encontrara leucita, a pesar de haber sido mencionada por Avé-Lallement (*op. cit.*), ya que en La Garrapata es abundante.

Gordillo (1971) estudia la petrografía y las propiedades técnicas de

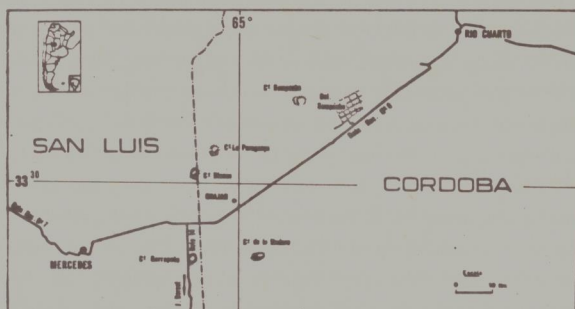
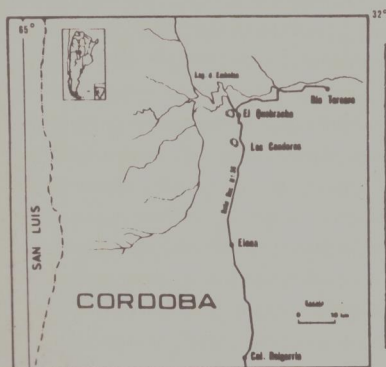
las rocas que se explotan para áridos en la provincia de Córdoba. Es interesante acotar que éste es uno de los pocos trabajos en los cuales se habla de la elevada resistencia a la compresión de las rocas basálticas, tenacidad y durabilidad; y que las mismas dependen de varios factores, como son el estado de conservación de las rocas, composición mineral, textura y estructura.

En su trabajo incluye también una tabla comparativa con ensayos físicos de rocas basálticas de distintas canteras, entre las que se encuentra la del cerro Los Cóndores (Cantera Basalto) también estudiada por nosotros.

## DESCRIPCION Y PETROGRAFIA DE LAS CANTERAS

La primera cantera estudiada, está ubicada en el cerro La Garrapata, situada a 18 km al norte de Justo Darac, provincia de San Luis, cuya acceso se realiza por la Ruta Provincial N° 14.

El cerro tiene una altura de 531,90 m s.n.m., según el relevamiento topográfico del I.G.M. Se trata de un cerro extenso, alargado en dirección este-oeste. Está formado por tres elevaciones, correspondiendo la mayor altura a la central.



Se encuentra constituido exclusivamente por rocas volcánicas, con la parte baja de las laderas cubierta por sedimentos cuaternarios. En las tres elevaciones se abrieron canteras, trabajándose actualmente sólo en las dos ubicadas más al este. Por esta razón nuestras observaciones fueron realizadas con más detalle en ellas.

El frente de la cantera situada en la elevación central (frente 2) tiene una dirección noreste-suroeste de aproximadamente 12 m de alto y 100 m de extensión.

Las rocas volcánicas muestran una estructura poco frecuente en otros afloramientos similares, estudiados en nuestro país. Se trata de coladas formadas por "bochones" de distinto tamaño, predominan los

de 1,80 m de diámetro medio, correspondiendo los mayores al actual piso de la cantera y los más pequeños a la parte superior del cerro. Estos cuerpos de forma subredondeada, se encuentra superpuestos unos a otros y distribuídos en forma regular.

En algunos casos, entre ellos se observan sectores de rocas volcánicas, comprimidos por la presión de los mismos.

Los frentes de las Canteras, como se pueden ver en la foto N° 1, semejan a las clásicas estructuras en almohadillas; pero, no hemos observado ninguna de las características consignadas como típicas de ellas, como por ejemplo, grietas radiadas, diferenciaciones en la composición petrográfica desde los bordes hacia el centro, presencia de texturas vítreas, etc.

Pandolfi (*op. cit.*) al visitar esta cantera, consigna al referirse a las formas de división circulares, "las cuales rodea una partición interna radiada concéntrica, que hace presumir condiciones particulares de enfriamiento".

También se ha observado en las inmediaciones del cerro, sedimentos marinos que avalen el concepto de un origen subácueo de esta estructura.

No es éste un trabajo en el cual se pretenda discutir el origen y la terminología empleada, para designar las estructuras en almohadilla, especialmente teniendo en cuenta la abundante bibliografía al respecto. Puede consultarse, el trabajo de Snyder y Fraser (1963) quien publicó una revisión bibliográfica sobre este tema, hasta la fecha de su publicación; pero es importante citar textualmente sus palabras, al referirse a las evidencias del origen intrusivo de algunas almohadillas "como muchos de los argumentos acerca del origen de las almohadillas se han referido con evidencias o no, al origen subácueo, muchos geólogos han aceptado como axioma su origen extrusivo y algunos pocos lo han considerado intrusivo..." El mismo problema se refiere a la composición de las rocas, la mayoría de los geólogos consideran que la formación de estructuras en almohadilla son más comunes en lavas subsilíceas, algunos las restringen a basálticas o similares de tipo básico; pero entre los años 1928 y 1930 el Departamento de Minas de Ontario publicó no menos de 30 trabajos, los cuales describen estructuras en almohadillas en andesitas, y alrededor de 14 trabajos en traquitas; por lo cual Snyder y Fraser (*op. cit.*) consideran, que si bien las estructuras en almohadilla son comunes en rocas ígneas subsilíceas, pueden encontrarse en rocas de amplio espectro de composición petrográfica.

Para concluir sobre este tipo peculiar de estructura, diremos que las presentes en la cantera La Garrapata, semejan estructuras en almohadilla.

#### *Petrografía:*

*Descripción megascópica:* Las rocas poseen grano fino, compactas, de color gris oscuro a verdoso, sin que se observen alteraciones en las mismas.



Foto 1.— Aspecto de un sector del frente 2, de la cantera La Garrapata.

*Descripción microscópica:* La textura de la roca es holocristalina, porfírica.

Los fenocristales predominantes, corresponden a olivinas, los cuales sólo se pueden reconocer por su forma (prismática-bipiramidal), ya que se encuentran total o parcialmente reemplazadas por crisotilo, de fibras cortas y color amarillo verdoso. Los bordes de estos cristales y a lo largo de sus fracturas se observan depositados minerales opacos, producto de la alteración de las olivinas que corresponden a magnetita.

En algunas secciones de olivinas con sectores no alterados, se pudo determinar mediante platina universal, el ángulo  $2 V_x = 64^\circ$ , correspondiendo a ferroortonolita 70 % Fa.

En menor proporción, encontramos secciones subhedrales, color verde claro, con abundantes líneas de fracturas, de piroxenos, que corresponden a egirina-augita;  $x \wedge c = 28^\circ$  y el  $2 V_x = 88^\circ$ . Para la determinación de los piroxenos, se siguió el método de Nemoto (1938).

Entre los minerales anteriores, se observan escasas secciones subhedrales a anhedrales de nefelina, fresca, en general de menor tamaño que el resto de los fenocristales.

La pasta está compuesta casi exclusivamente por microlitos y gránulos de piroxenos de color verde claro, frescos dispuestos sin ordenamiento que corresponden a egirina-augita  $x \wedge c = 36^\circ$ .

También observaremos leucita, en abundantes secciones subhedrales y escasas anhedrales, con hábito equidimensional, algunos presentan inclusiones concéntricas. La confirmación de este mineral, que en algu-

nos casos se observa en secciones muy pequeñas, se realizó por teñido con cobaltinitrito de sodio, lo cual facilitó su recuento.

En la pasta, también se observaron abundantes secciones anhedrales de nefelina y subhedrales de olivina, generalmente reemplazadas por serpetinas y magnetita.

Entre los minerales citados anteriormente se disponen escasas láminas de biotita, color castaño rojizo, muy pleocroicos, del castaño claro al castaño rojizo, sin alteración visible.

Por último debemos citar entre los minerales de la pasta, abundantes minerales opacos, los cuales se estudiaron en muestras pulidas, con luz reflejada. Se trata en su mayor parte, de secciones anhedrales a subhedrales de magnetita titanífera; de color rosado y totalmente isótropa. En menor proporción aparecen secciones subhedrales y algunas anhedrales, de un mineral semitransparente, de alto índice de refracción, con reflejos internos de color castaño rojizo a verde violáceo, que corresponden a rutilo. La moda se determinó, por recuento mediante el contador de puntos Swift y arrojó los siguientes valores:

Piroxenos .....	51,28 %
Olivina .....	8,87 %
Nefelina .....	10,15 %
Leucita .....	16,27 %
Biotita .....	2,36 %
Minerales opacos .....	11,07 %

Por su composición, la roca corresponde a una basanita nefelina leucita, Teruggi (1980).

La segunda cantera estudiada, El Quebracho, se encuentra situada en el km 699, de la Ruta Nacional N° 36, en las proximidades de Berrotarán, provincia de Córdoba.

El frente tiene una dirección noreste-suroeste, de aproximadamente 100 metros de extensión por 8 metros de alto.

Se trata de una colada, constituyendo un manto sobre areniscas rojas, a las cuales Bodembender (*op. cit.*) les asigna edad permotriásica.

El manto basáltico se encuentra dividido en bloques por diaclasas, correspondiendo a las principales rumbo norte-sur e inclinaciones de 10° al noreste.

### *Petrografía:*

*Descripción megascópica:* Se trata de una roca de grano fino, muy compacta, de color castaño oscuro, sin alteraciones, ni hoquedades.

*Descripción microscópica:* La roca posee una textura hipocristalina, porfírica.

Predominan los fenoscristales de olivinas, de un tamaño medio de 315 x 210 micrones. Las secciones en general anhedrales a subhedrales, se encuentran casi totalmente reemplazadas por crisotilo, quedando inal-

terados los núcleos; como producto de esa alteración, alrededor de los bordes se deposita hematita, que a menudo penetra por las fracturas reemplazándola totalmente.

Por su ángulo  $2V_x = 86^\circ$ , corresponde a crisolito 23 % Fa.

También se observan fenocristales de piroxenos, en secciones subhedrales frescas, de un tamaño medio de 400 x 150 micrones, su color es verde claro.

Es frecuente observar secciones macladas según (100); y en ocasiones, estructuras del tipo reloj de arena,  $X_c = 45^\circ$  y  $2V_z = 60^\circ$ , corresponden a aguita.

La pasta está compuesta predominantemente por microlitos de piroxenos cuyas características ópticas, son similares a las consignadas para los fenocristales.

Distribuidas irregularmente entre ellas se observan secciones anhedrales, frescas, de nefelina; y escasas láminas de biotita color castaño, muy pleocroicas.

Los abundantes minerales opacos presentes corresponden a magnetita titanífera de color rosado intenso, en la cual se observa una fina desmezcla de ilmenita en vetas muy delgadas.

El vidrio se encuentra irregularmente distribuido en la roca, en general es de color castaño claro a incoloro y se presenta sin alteración.

Rellenando cavidades, observaremos un mineral incoloro, isótropo, en algunos sectores con débil anisotropía. Se presenta en pequeños cristales, dispuestos en agregados irregulares, corresponde a analcita.

La moda es la siguiente:

Piroxenos .....	53,49 %
Olivinas .....	11,36 %
Nefelinas .....	9,51 %
Vidrio volcánico .....	13,43 %
Biotitas .....	1,36 %
Analcitas .....	1,50 %
Minerales opacos .....	9,35 %

La roca se clasifica como basanita nefelínica.

La última cantera estudiada está ubicada en la sierra de Los Cóndores, provincia de Córdoba en los cruces de las rutas 5 y 36.

La geología de la zona y la descripción de la cantera fue realizada por Gordillo (*op. cit.*), por lo tanto dado que en el momento de nuestra visita, las características se mantenían similares a las ya descriptas, consideramos que no es necesario repetir las.

Durante nuestra estada tuvimos oportunidad de observar ciertas diferencias petrográficas en el frente explotado, lo cual fue comprobado por los ensayos que realizamos.

### *Petrografía:*

*Descripción megascópica:* Roca de grano medio, color castaño rojiza, con bandas más intenso. Presenta numerosas cavidades en parte rellenas por cuarzo, el cual también se encuentra en finas venas. La roca no presenta alteración.

*Descripción microscópica:* La roca estudiada tiene una textura hipocristalina. Aplicando el término de Teruggi (1964), travecular; constituida por cristales tabulares de plagioclasas cuya longitud media es de 3 mm y primas cortos de piroxenos y anfíboles ordenados, dejando entre sí espacios triangulares o trapezoidales, rellenos por pasta y vidrio volcánico en menor proporción. Algunos de los espacios mencionados, también han sido rellenos por cuarzo y piroxenos de origen hidrotermal.

En algunos sectores, los cristales tabulares de plagioclasas se agrupan en forma de abanico.

La roca presenta un sector que corresponde a un xenolito, con textura perihalina, compuesta por abundante vidrio volcánico de color castaño claro, y microlitos y gránulos de piroxenos.

El mineral predominante corresponde a plagioclasas, que como se ha dicho, se trata de tablillas con las dimensiones consignadas. Se observan en ellas maclas polisintéticas de albita. Corresponden a andesina 32 % de An. en la mayoría de los casos presentan numerosas fracturas. En ellas y en los planos de clivaje se alojan abundantes inclusiones de minerales opacos, hematita. En las tablillas mayores se observa un incipiente zonación. No se presentan alteradas.

Siguen en abundancia los piroxenos, observándose secciones subhedrales a anhedrales, de color verde claro con numerosas fracturas;  $Z \wedge c = 85^\circ$ ,  $2Vx = 60^\circ$ , corresponden a egirina-augita.

En los bordes y partes de las secciones se encuentran alterados en un mineral verde oscuro, poco pleocroico, X = verde claro, Z = verde oliva;  $Z \wedge c = 12^\circ$ , corresponde a actinolita, originado como producto de la alteración hidrotermal de los piroxenos.

El piroxeno que rellena los espacios intercristalinos tiene un hábito acicular; el color, en algunos es verde claro; pero en la mayoría de los casos son de color verde oliva, presentando un pleocroísmo similar al descrito para los cristales mayores, esto nos indica que también se trata de actinolita formada por la alteración de los piroxenos.

Los anfíboles, escasos, se presentan en secciones subhedrales de color castaño claro, con pleocroísmo marcado, Z = castaño amarillento, X = castaño verdoso  $X \wedge c = 50^\circ$ ,  $2-Vx = 40^\circ$ , corresponde a un anfíbol alcalino, arfvedsonita.

En general presentan numerosas fracturas y por su borde se encuentran asociados con los piroxenos que rellenan las cavidades.

La pasta dispuesta entre los cristales mayores, está compuesta casi exclusivamente por un agregado de pequeñas secciones anhedrales y subhedrales de ortoclasa, poco alterada. En la zona central de algunas cavidades rellenas por pasta, se observaron sectores irregulares ocupados

por vidrio volcánico; de color castaño claro con un índice de refracción mayor que el del bálsamo.

Finalmente como relleno de algunos huecos o cavidades, se observa abundantes cuarzo microcristalino.

Los abundantes minerales opacos que posee la roca, corresponden a magnetita y en menor proporción a hematita. En general se presentan como inclusiones dentro de las plagioclasas.

La roca estudiada corresponde a una diabasa de composición monzodiorítica.

La moda de la roca es la siguiente:

Plagioclasas . . . . .	45 %
Piroxenos . . . . .	26 %
Anfiboles . . . . .	9 %
Minerales opacos . . . . .	7 %
Ortoclusas . . . . .	6 %
Cuarzo . . . . .	5 %
Vidrio volcánico . . . . .	2 %

### ANALISIS QUIMICOS

Las muestras seleccionadas para los análisis químicos, corresponden a las canteras La Garrapata (1) y El Quebracho (2). Los análisis fueron realizados en la Sección Química Analítica del LEMIT, por el Tco. Químico Rodolfo R. Iasi.

Además, hemos incluido el análisis realizado por el Dr. Gordillo (*op. cit.*), de la cantera Los Cóndores (3) y el realizado por el Dr. Chaudet, de la cantera La Garrapata (4), publicado por Pandolfi (*op. cit.*), a fin de comparar los resultados obtenidos, figuran en la Tabla 1.

T A B L A 1

	1	2	3	4
SiO <sub>2</sub>	39,70	43,00	44,92	39,00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,76	10,36	5,67	6,40
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,39	15,50	4,15	6,10
CaO	9,50	7,75	12,17	10,77
MgO	18,50	11,40	8,20	11,10
MnO	0,19	0,19	9,57	11,00
TiO <sub>2</sub>	2,66	2,33	0,12	—
Na <sub>2</sub> O	3,12	3,56	2,95	2,90
K <sub>2</sub> O	2,60	1,50	4,24	5,40
CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,00	0,00	2,13	2,58
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	0,00	0,00	0,00	0,00
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,00	0,00	0,00	—
Pérdida por			1,15	0,90
Calcinación	2,10	4,88	1,00	3,38
Humedad	0,47	0,62	3,90	

En base a los análisis químicos, hemos calculado los índices que figuran en la Tabla 2.

T A B L A 2

	1	2	3	4
Índice de alcalinidad Según Wright (1869)	1,80	1,20	1,91	2,14
Índice de alterabilidad Según Parker (1970)	109	84	93	113

De acuerdo al gráfico utilizado por Wright (*op. cit.*) para delimitar los campos de los distintos tipos de rocas alcalinas, en base a los porcentajes obtenidos los índices de alcalinidad y los contenidos de SiO<sub>2</sub>, todas las muestras consignadas más arriba, caerían dentro del campo de las rocas peralcalinas.

Con el índice de alterabilidad se puede establecer el grado de susceptibilidad a la alteración de las distintas rocas; según Parker (*op. cit.*) los más susceptibles de alterarse serán los de índice mayor, y a la inversa. En nuestras muestras, las que se alterarían con mayor facilidad serían las de la cantera La Garrapata y los que tendrían más dificultad para ello, las de la cantera El Quebracho.

### ALGUNAS CONSIDERACIONES TECNOLOGICAS SOBRE LA APLICACION DE LOS BASALTOS EN ESTUDIO EN LA ELABORACION DE HORMIGONES DE CEMENTO PORTLAND

#### *Generalidades:*

Los agregados empleados en la elaboración de hormigón de cemento portland influye en el comportamiento del mismo. Sus propiedades físicas, químicas y térmicas deben ser estudiadas considerando que las mismas pueden originar inconvenientes en el hormigón y consecuentemente en la estructura de la cual forma parte. Los áridos empleados en la ejecución de hormigones provienen de la fragmentación natural o artificial (trituración), de una roca original, que es la que le confiere algunas de las propiedades que interesan desde el punto de vista tecnológico como ser la composición química, densidad, resistencia, absorción, etc. Otras corresponden solamente al árido y no a la roca de origen, como ser forma y tamaño de las partículas, textura superficial, etc., las cuales se originan en los procesos de fragmentación.

Por tal motivo si bien los yacimientos deben ser estudiados en forma sistemática a fin de tener un conocimiento de las características de la roca, es necesario realizar estudios previos a la ejecución de cada obra con los áridos precedentes de la cantera conjuntamente con el cemento a utilizar y eventualmente los aditivos que se desean incorporar. Puede concluirse diciendo que los estudios sobre las características de

las rocas muestreadas en cantera y trituradas en laboratorio para su ensayo solamente ayudan a evaluar si las mismas son inadecuadas para la elaboración de hormigones de cemento portland y que los ensayos sobre el hormigón dosificado para resistir las condiciones de exposición de la estructura, con los áridos que se desean evaluar, indicarán si los mismos son aptos para ser utilizados.

Existe un amplio espectro de rocas que son utilizadas habitualmente en la elaboración de hormigones de cemento portland, a las que debe agregarse algunos desechos industriales como ser la escoria de alto horno y áridos obtenidos mediante procesos industriales como ser las arcillas expandidas por cocción. La elección de los áridos, depende de una primera instancia de las características del hormigón que se desea obtener (densidad, trabajabilidad, etc.) y de factores de orden económico. Entre dos áridos de características físico-mecánicas semejantes, siempre es preferible la utilización de aquél cuya cantera está próxima a la obra.

Los áridos naturales clasificados como basalto (Grupo Basáltico, Norma B.S.812.1967) son utilizados en la Argentina en la ejecución fundamentalmente de mezclas asfálticas y como balasto para ferrocarril. Es conocido el hecho de que los basaltos son hidrófobos y se adhieren fuertemente al asfalto. En la Tabla 3 se indican los resultados del ensayo de adherencia Nicholson, realizado sobre muestras de cuarcita, magnetita, rocas graníticas y basalto. Este ensayo muestra para distintas

T A B L A 3

## ENSAYOS DE ADHERENCIA AGREGADO-BETUN NICHOLSON - (MODIFICADO)

Temp. °C	Tiempo de observación	AGREGADO		
		Cuarcita	Mig. Granítica	Basalto
25	después de 1 min	S.D.	S.D.	S.D.
	3 min	S.D.	S.D.	S.D.
	5 min	M.L.D.	M.L.D.	S.D.
	10 min	M.L.D.	M.L.D.	S.D.
	15 min	M.L.D.	M.L.D.	S.D.
	30 min	L.D.	L.D.	S.D.
38	después de 15 min	L.D.	F.D.	S.D.
49	después de 15 min	L.D.	M.F.D.	S.D.

NOTA: S.D. : Sin descubrimiento.

M.L.D.: Muy ligero descubrimiento (15 %).

F.D. : Fuerte descubrimiento (25 %).

M.F.D.: Muy fuerte descubrimiento (80 %).

La rotación de la muestra se realiza en agua a las temperaturas indicadas, los tiempos de rotación con temperatura mayor son acumulativos a los anteriores.

temperaturas, el desprendimiento del betún adherido a la piedra. La adherencia puede ser mejorada utilizando aditivos especiales.

Con respecto al empleo de rocas basálticas como balasto, las muestras de distintas canteras ensayadas en el LEMIT, ha demostrado que las mismas cumplen las especificaciones redactadas por Ferrocarriles Argentinos, (DN y M F.A.7040).

Los áridos de origen basáltico son empleados además y en forma generalizada en obras próximas a los yacimientos, en la elaboración de hormigones de cemento portland.

#### *Ensayos sobre agregados para hormigones. Normalización:*

El país ha normalizado desde hace muchos años a través del Instituto de Racionalización de Materiales (IRAM), los ensayos a ejecutar sobre áridos para hormigón de cemento portland (Norma IRAM 1512 y 1531 para agregado fino y grueso respectivamente).

Es conocido el hecho que algunos minerales presentes en las rocas pueden llegar a reaccionar con los álcalis del cemento ( $\text{Na}_2\text{O}$  y  $\text{K}_2\text{O}$ ), formando un gel que aumenta de volumen al incorporar agua, apareciendo presiones internas que pueden producir expansión, agrietamiento y rotura del hormigón. La presencia de humedad es imprescindible para que la reacción se produzca y la misma es acelerada en condición de secado y mojado de la estructura. Por tal motivo es recomendable la realización de estudios petrográficos que indiquen los porcentajes en



Foto 2.— Detalle de los bochones apilados para trituration en la cantera La Garrapata.

que se encuentran los minerales que se consideran reactivos (opalo y ftanita opalizada, riolitas vitreas o criptocristalinas, dacitas, lacitas o andesitas y sus correspondientes tobas; y vidrio volcánico). Si el porcen-

taje de estos minerales es mayor que el indicado en norma, deberá considerarse "potencialmente reactivo", a menos que sea comprobada su no reactividad mediante el "método de la barra de mortero".

Considerando la presencia en algunos tipos de basaltos existentes en el país de arcillas expansivas, del grupo de las montmorillonitas, se ha incorporado al nuevo Reglamento para Estructuras Civiles (CIRSOC-1980), un ensayo de estabilidad de basaltos. El mismo fue desarrollado primeramente en U.S. Army Corps of Engineers y posteriormente publicado en el Handbook for Concrete and Cement, de la institución, en el año 1969 (CRD-C-148-69). Este ensayo es considerado como equivalente a uno de mojado y secado realizado en forma acelerada y ha sido utilizado con éxito para determinar la presencia de arcilla expansiva en basaltos de Volta Grande y Porto Colombia. La experiencia nacional existente hasta el momento se halla referida a los basaltos empleados en las obras de Salto Grande, Alto Uruguay y Yaciretá.

Puede concluirse diciendo que en el país existe un amplio conjunto de normas que posibilitan la caracterización correcta de los agregados a emplear en la elaboración de hormigón de cemento portland.

#### *Análisis de los resultados de ensayos realizados:*

En la Tabla 4 se informan las características determinadas sobre las tres muestras de basalto provenientes de las canteras Los Cóndores, El Quebracho y La Garratapa, siguiendo los lineamientos especificados en la norma IRAM 1531. Las mismas fueron muestreadas por personal técnico del LEMIT, durante los meses de junio de 1979.

T A B L A 4

	Los Cóndores	El Quebracho	La Garrapata
Peso específico (saturado y sup. seca)	2.74	2.79	3.12
Absorción de agua 42 horas % en peso	3.20	1.53	1.80
P.U. Volumen, seco y suelto (t/m <sup>3</sup> )	1.47	1.57	1.63
Porcentaje de vacíos (%)	46	45	48
Material que pasa T 74 N° 200, % en peso	2.50	2.20	3.36
Desgaste "Los Angeles", % en peso	18.2	13.0	12.5
Lajas, % en peso	8	10	9
Cubicidad ( )	0.72	0.62	0.72

En la Tabla 5 se informan los contenidos de sales solubles, sulfatos y cloruros presentes en las muestras ensayadas. Se observa la ausencia de cloruros y sulfatos y un porcentaje mínimo, de sales solubles, comparado con el máximo permitido por la norma IRAM 1531.

En la Tabla 6 se indican las durabilidades de las muestras cuando las mismas son sometidas al ataque por una solución de sulfato de sodio. Se observa que los valores hallados se encuentran por debajo de los máximos especificados.

T A B L A 5

ANÁLISIS QUÍMICO. Porcentajes de cloruros, sulfatos y otras sales solubles.			
Basalto	Sulfatos (SO <sub>4</sub> )	Cloruros (Cl <sup>-</sup> )	Otras sales solubles
Los Cóndores	0.00	0.00	0.017
El Quebracho	0.00	0.00	0.007
La Garrapata	0.00	0.00	0.005

Es necesario mencionar que en una muestra ensayada con anterioridad en este laboratorio, perteneciente a la cantera Los Cóndores, fue determinado un porcentaje muy elevado de pérdida en peso (aproximadamente 20 %), lo cual podría indicar que se ha ensayado un basalto descripto petrográficamente como diabasa, con una elevada porosidad. Esto confirma la existencia de rocas de distinto tipo en la cantera, mientras que la muestra basáltica que figura en la Tabla correspondería al basalto descripto por Gordillo (*op. cit.*) que presenta características físicas semejantes.

T A B L A 6

DURABILIDAD. Por ataque con sulfatos de sodio. Norma IRAM 1525.	
Basalto	Pérdida en peso %
Los Cóndores	7.15
El Quebracho	5.49
La Garrapata	3.61

El ensayo de inmersión en etilen-glicol confirma la no presencia de arcillas expansivas coincidentemente con el análisis petrográfico.

En la Tabla 7 se indican los resultados del ensayo de barras de morteros para determinar la expansión por reacción álcali agregados. Puede observarse que los valores hallados no indican que se haya producido, hasta la edad de ensayo, reacción. El ensayo se continúa y se informarán con posterioridad los resultados a la edad de 6 meses y 1 año.

T A B L A 7

Cantera	Estudio de la reacción álcali-agregado. Norma IRAM 1637.					
	Variación de longitud en % a la edad: (meses)					
	1	2	3	4	5	6
La Garrapata	+0.024	-0.007	-0.008	-0.008	-0.021	-
El Quebracho	+0.022	-0.016	-0.018	-0.018	-0.034	-
Los Cóndores	+0.010	-0.035	-0.043	-0.050	-0.063	-

Nota:

- Se utilizó para el estudio cemento portland marca CORCEMAR N° Lab. 11.009-76, con un contenido de álcalis, total expresado en óxido de sodio (ONa<sub>2</sub>) de 1,48 %.
- Los resultados son promedio de 5 determinaciones.

En la Tabla 8 se consignan los valores de resistencia cilíndrica de rotura a compresión determinada sobre probetas de 5 cm de diámetro y 10 cm de altura. Se indica además el módulo de elasticidad determinado sobre probetas de iguales dimensiones. Las probetas fueron ensayadas en estado seco.

T A B L A 8

Basalto	Resistencia a compresión y módulo de elasticidad			Módulo de elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )
	Resistencia a compresión R (kg/cm <sup>2</sup> )	(%)	n	
Los Cóndores	1.328	19	10	470.000
El Quebracho	2.215	21	12	820.000
La Garrapata	1.208	16	8	530.000

Se informan además los valores del coeficiente de variación y de las resistencias calculado mediante la expresión  $\delta = S/m$  y el número de probetas ensayadas por yacimiento.

#### DATAACION RADIMETRICA DE LAS ROCAS

La determinación de la edad absoluta de las rocas se realizó mediante el método K-Ar, sobre muestra total; en el INGEIS, Buenos Aires.

En primer término se analizó una de las muestras de la cantera El Quebracho, cuyos datos analíticos son los siguientes:

K : 1,31 %

Ar<sup>40</sup> : 2,74 x 10<sup>-10</sup> mol/g

K<sup>40</sup> : 3,91 x 10<sup>-8</sup> mol/g

RAD

Ar<sup>40</sup> : 14,6 %

ATM

Edad : 117 ± 5 m.a.

El otro análisis corresponde a una muestra de la cantera La Garrapata. Los datos analíticos son los siguientes:

K : 2,01 %

Ar<sup>40</sup> : 2,10 x 10<sup>-10</sup> mol/g

K<sup>40</sup> : 6,00 x 10<sup>-8</sup> mol/g

RAD

Ar<sup>40</sup> : 12,4 %

ATM

Edad : 59 ± 3 m.a.

La primera datación corresponde a Cretácico inferior, piso Barremiano; para su ubicación, hemos usado la escala propuesta por Casey, (1964), en su cronología del período Cretácico.

Como podrá apreciarse, el valor obtenido es similar al publicado por Gordillo-Lencinas (1967), quienes para fechados realizados con rocas de la Sierra de Los Cóndores, con el mismo método usado por nosotros, obtuvieron valores entre 112 a 128 m.a.

La muestra de la cantera La Garrapata corresponde al Terciario inferior, Paleoceno, según las divisiones establecidas por Dunnel

(1964). Este fechado, único conocido por nosotros de las rocas volcánicas de la "Zona de Chaján", nos indica que las suposiciones del Dr. F. Pastore, retomadas luego por Pandolfi (*op. cit.*), sobre la edad cuaternaria de las mismas no eran exactas. Esto nos deja un interrogante sobre las estructuras de las rocas. Debemos investigar en el futuro la presencia de niveles "Lagunares" en las cercanías de los afloramientos, los cuales en contacto con las lavas alcalinas, podrían originar estructuras similares a las anteriormente descritas.

## CONCLUSIONES

Los estudios generales realizados sobre las muestras de los yacimientos Los Cóndores y El Quebracho de la provincia de Córdoba y La Garrapata de la provincia de San Luis, indican que los agregados provenientes de dichas canteras verifican los límites específicos en las distintas normas vigentes en el país.

Debe recordarse, sin embargo, que siempre antes de iniciar una obra debe verificarse con el conjunto de materiales a emplear (áridos, cemento, agua y aditivos); si se puede obtener el hormigón que reúna las condiciones de resistencia y durabilidad especificadas.

En el caso de la cantera "Los Cóndores", es necesaria la realización de un estudio petrográfico antes de su utilización en obra ya que la cantera no es homogénea y por tal motivo puede obtenerse agregados de muy distintas características. Se ha comprobado que la presencia de analcita, en las proporciones determinadas, no produce efectos relacionados con la reacción álcali-agregado, lo mismo ocurre con los feldespatoides estudiados según surge de los resultados obtenidos hasta la fecha en el ensayo de reactividad realizado.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a las autoridades de la BASALTO Ind. y Com. S.R.L., por la autorización para realizar este trabajo en sus canteras, como así también por las atenciones brindadas durante nuestra permanencia en las mismas.

## LISTA DE TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Avé-Lallement, P. G., 1875. *Estudio micromineralógico hecho en las rocas de la Pcia. de San Luis, República Argentina*. Acta de la Acad. Nac. Ciencias Exactas de la Universidad de Córdoba I, 141-154.
- Bodembender, G., 1907. *J. Petrografía. 1 - Meláfiros basaltos y andesitas de la Sierra de Córdoba y Precordillera*. Anales Min. Agricultura II, 3. Buenos Aires.

- Casey, R., 1964. *The Cretaceous period*. En *The Phanerozoic Time-Scale*. A. Symposium. The Quart. Jour. Geol. Soc. London. CXXS, 193-202.
- Funell, B. M., 1964. *The Tertiary period*. En *The Phanerozoic Time-Scale*. A. Symposium. The Quart. Jour. Geol. Soc. London. CXXS, 179-191.
- Gordillo, C. E. y A. N. Lencinas, 1967. *Geología y Petrología del extremo norte de la Sierra de Los Cóndores, Córdoba*. Bol. Acad. Nacional de Ciencias, XVI, E. 1º, 72-108.
- Gordillo, C. E., 1971. *Petrografía y propiedades técnicas de las rocas que se explotan para áridos en la provincia de Córdoba*. Bol. Asoc. Geol. de Córdoba. I, 71-76.
- Nemot, O. T., 1938. *A new method of determining the extinction angle of monoclinic minerals, especially of proxenes and amphiboles, by means of random sections*. Jour. Fac. Scien. Hokkaido Univ. Ser. IV, 107-112.
- Pandolfi de, C. L., 1943. *Estudio petrográfico y bosquejo geológico de la región de Chaján (Córdoba)*. Direc. Min. y Geol. Bol. N° 54. Buenos Aires.
- Parker, A., 1970. *An index of weathering for silicate rocks*. Geol. Mag. 107, 501-504.
- Snyder, G. L., y G. D. Fraser, 1963. *Pillowed lavas, I: Intrusive layered lava pods and pillowed lavas Unalaska Island, Alaska and Pillowed lavas, II: A Review of Selected Recent Literature*. Geol. Surv. Prof. Paper 454. B.C. Washington.
- Teruggi, M. E., 1964. *Differentiated zeolite and nepheline syenites in basic sills of Central patagonia*. Inst. Geol. Congress. Rep. XXII Session. India 1964. Part. VII, 22-34. New Delhi.
- Teruggi, N. E., 1980. *Clasificación de las rocas ígneas*. Colec. C. de la Tierra. Est. N° 1, Edit. Cient. Arg. Librart, Buenos Aires.
- Troger, W. E., 1955. *Optische Eigenschaften und Bestimmung der Wichtigsten gesteinsbildenden Minerale*. En Freund, H.B. IV, T. I, 51-319, Umschau Verlag, Frankfurt am Main.
- Troger, W. E., 1956. *Optische Bestimmung der Gesteinsbildenden Minerale*. Teil 1. Nagele u. Obermiller, Stuttgart.
- Wright, J. B., 1969. *A simple alkalinity ratio and its application to questions of mon-orogenic granite genesis*. Geol. Mag. 106, 372-384.

