

Geotecnia de agregados

Relación entre las características petrográficas y geotécnicas de agregados de la provincia de Buenos Aires

Dra. Correa, María J., Docente
LEMAC, Argentina / mjcorrea@frfp.utn.edu.ar
García Eiler, Luciana, Becaria
LEMAC, Argentina / luciana_garciaeiler@hotmail.com
Botasso, Hugo G., Mg. Ingeniería
LEMAC, Argentina / gbotasso@frfp.utn.edu.ar
Soengas, Cecilia, J. Ingeniero Civil
LEMAC, Argentina / csoengas@frfp.utn.edu.ar
Rebollo, Oscar, Ingeniero Civil
LEMAC, Argentina / orebollo@frfp.utn.edu.ar

Fecha de recepción:

Fecha de aprobación:

Resumen

En este trabajo se presentan las relaciones encontradas entre los primeros resultados geotécnicos y las características geológicas y petrográficas estudiadas en áridos de la provincia de Buenos Aires (Argentina). Las muestras provienen de las principales canteras productoras de áridos de las Sierras Septentrionales, en las proximidades de las ciudades de Olavarría y Tandil. Las observaciones indican que los resultados geotécnicos dependen no sólo de la mineralogía de la roca, sino que también es de suma importancia su textura, la cual está directamente vinculada con su origen geológico. Por otra parte se estima que las tecnologías de trituración empleadas en las plantas, deben adecuarse a las características mencionadas de la roca para potenciar sus propiedades y obtener agregados que cumplan con las necesidades del mercado.

Palabras clave:

Agregados – petrografía – geotecnia – Provincia de Buenos Aires

Abstract

In this paper are presented the relationships found between first geotechnical results and geologic and petrography characteristics studied in aggregates of Buenos Aires province (Argentina). Samples are coming from main aggregates quarries of Sierras Septentrionales near Olavarría and Tandil city. The observations indicate that geotechnical results are not only dependent on the mineralogy of the rock, but also it performs supreme importance its texture, which is directly linked by the geological origin. On the other hand is estimated that crushing technology used at cracking plants must be adapted to the characteristics mentioned of the rock to promote their properties and to obtained aggregates which expire with the needs of the market.

Key words:

Aggregates – petrography – geotechnical - Buenos Aires province

Introducción y objetivos

La provincia de Buenos Aires es una de las principales productoras mineras en lo que hace a la extracción de rocas de aplicación que son consumidas principalmente por la industria de la construcción, obras viales y civiles. Su explotación ha crecido notablemente en los últimos años, llegando a superar en el período 2010, los 30

millones de toneladas entre los diferentes materiales extraídos, principalmente: granitos, calizas, arenas, tosca y arcillas, representando aproximadamente el 35% de la producción nacional, según la información suministrada por la Dirección Provincial de Minería de la provincia de Buenos Aires. En la provincia de Buenos Aires el 60% de la producción de rocas de aplicación proviene de las Sierras Septentrionales.

Dentro del sector productivo se agrupan bajo el término "granitos" rocas de diferentes orígenes tales como ígneas y metamórficas de textura granuda, cuyas diferencias mineralógicas y texturas relacionadas con sus diversos mecanismos de formación, se ven reflejadas en su comportamiento físico y mecánico al ser utilizadas como agregados.

Los áridos provenientes de las Sierras Septentrionales son rocas que pertenecen al basamento ígneo – metamórfico, siendo los principales tipos litológicos gneisses, migmatitas y granitos que presentan características geológicas y petrográficas diferentes.

En este trabajo se identifican y describen los tipos litológicos principales observados en cinco canteras ubicadas en las proximidades de Olavarría y Tandil tanto desde el punto de vista geológico como geotécnico y se relacionan ambos resultados.

Inicialmente se realizaron trabajos de campo que incluyeron la toma de muestras, relevamiento de datos y observaciones de campo.

Los ensayos de caracterización geotécnica realizados fueron la determinación de los parámetros de forma tales como: índice de lajas, índice de agujas, cubicidad y por otra parte desgaste Los Ángeles, polvo adherido, peso específico y peso por unidad de volumen (PUV). Estos análisis permiten caracterizar y evaluar las propiedades del árido desde el punto de vista de su aptitud como materiales de uso vial.

Por otra parte se realizaron estudios geológicos y petrográficos con el fin de determinar las litologías, estructuras, composiciones mineralógicas, texturas y rasgos microscópicos que permitan establecer una relación entre los parámetros geotécnicos y las características propias de las rocas. A su vez, las propiedades y rasgos analizados fueron evaluados desde el punto de vista tecnológico en relación con los equipamientos y métodos de trituración que se aplican en las canteras.

Geología regional y local

La zona de trabajo pertenece al sistema de Tandilia, también denominadas Sierras Septentrionales de la provincia de Buenos Aires. Esta provincia geológica se caracteriza por presentar serranías y suaves lomadas que alcanzan unos 500 metros sobre el nivel del mar. Presenta una orientación NO – SE y se extiende por aproximadamente 350 km desde las Sierras de Quillalauquén (Blanca Grande) hasta Cabo Corrientes (Mar del Plata), con una forma de “uso” es decir más ancho en la parte central (aproximadamente 60 km de ancho a la altura de Tandil) y más delgada en los extremos, aproximadamente 6 kilómetros. (Figura 1).

Localmente en las canteras visitadas se observaron diferentes tipos de rocas, que corresponden a rocas del basamento cristalino del Complejo Buenos Aires.

De las canteras presentadas en este trabajo, una de ellas corresponde a un granito porfiroide de color gris y las cuatro restantes corresponden a gneisses y migmatitas con diferentes tipos de texturas bandeadas. En el caso del granito estudiado en este trabajo (cantera N° 1) se puede observar una textura granuda a porfiroide con desarrollo de grandes cristales de feldespato potásico de varios centímetros de longitud. Se trata de una roca muy homogénea en la que se distingue la presencia de escasos “xenolitos” de grano fino y composición máfica (Figura 2a).

Desde el punto de vista estructural la roca presenta una densidad moderada de juegos de diaclasas subverticales y subhorizontales que delimitan bloques de grandes dimensiones. Los procesos de meteorización provocan un redondeamiento de los bloques dando un aspecto de “bochones” lisos (Figura 2b). En general la roca se encuentra escasamente meteorizada y solamente en algunos sectores se puede apreciar el desarrollo de un regolito en forma de manto sobre la roca, que puede alcanzar un espesor máximo de 4 a 5 metros aproximadamente.

Mapa de ubicación de las zonas de estudio

Figura 1

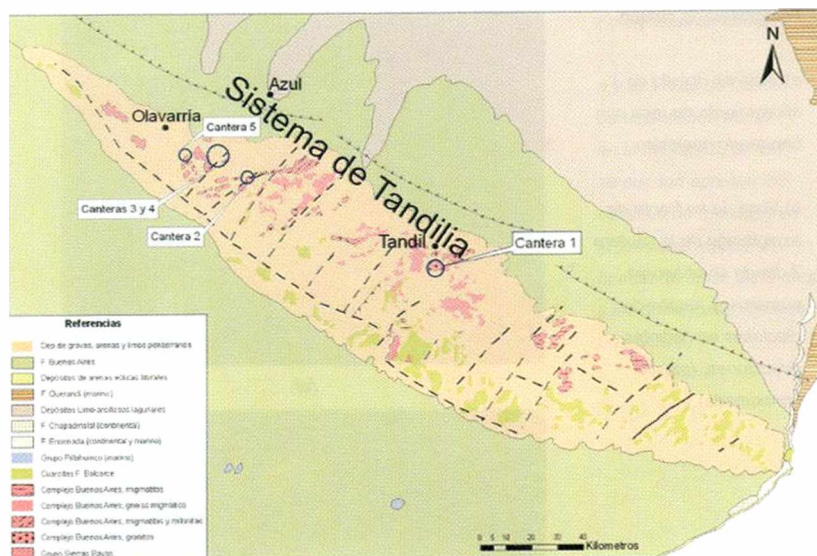


Figura 2

Fotografías de campo



(a)



(b)

a) detalle de afloramiento de granito con xenolitos máficos.

b) Vista panorámica de la cantera 1, donde se observan los bloques de roca redondeados por la meteorización a través de diaclasas.

La roca que se presenta en la cantera N° 2, corresponde a una metamorfito de tipo gneiss a migmatita. Si bien se trata de una roca de características bastante homogéneas presenta la típica diferenciación de este tipo de roca en zonas o bandeados leucocráticos (ricos en cuarzo y feldespato potásico) y melanocráticos (ricos

Figura 3

Fotografías de campo

a) Vista en detalle de afloramiento de roca con bandeado gneissico.

b) Vista de un frente de explotación de la cantera 2 donde se observan numerosos juegos de diaclasas en distintas direcciones, (escala aproximada).



(a)



(b)

Figura 4

Fotografías de campo

a) Vista de un frente abandonado con agua en su interior en la cantera 3, donde se observa el tipo de explotación por bancos.

b) Vista de un frente de explotación actual en la cantera 4, donde se observan numerosos juegos de diaclasas y un manto de meteorización de espesor irregular.



(a)



(b)

en minerales máficos). (Figura 3a). Desde el punto de vista estructural se reconocen varios juegos de diaclasas oblicuas, subverticales y subhorizontales como puede apreciarse en la Figura 3b. Los rasgos geomorfológicos de la zona muestran un relieve ondulado muy suave con desarrollo de una cubierta vegetal bastante homogénea. Es posible observar en los frentes de cantera el desarrollo de un horizonte de meteorización sobre la roca y un horizonte de suelo de escaso desarrollo. El espesor de este nivel de meteorización es de aproximadamente 4 a 5 metros en casi toda la extensión de la cantera, siendo en algunos sectores algo menor (2 o 3 metros).

La cantera N° 3 se encuentra ubicada dentro del partido de Olavarría. Se trata de una de las de mayor tamaño en la zona y cuenta con un antiguo frente de explotación actualmente abandonado y un frente de explotación en actividad. Estos frentes están formados por tres bancos de 15 metros de altura cada uno.

La roca es un gneiss de color gris, bastante homogéneo desde el punto de vista textural que se encuentra escasamente fracturado y diaclasado, como puede observarse en la Figura 4a.

Presenta una moderada cobertura de suelo y este material junto con el regolito, en algunos sectores puede alcanzar un espesor de hasta 7 metros.

En el caso de la cantera N° 4 se trata de un gneiss de grano grueso, con textura granuda y cierto grado de cataclasis, es decir zonas con signos de ruptura por acción mecánica. Como parte de esta textura se observan "ojos" formados por granos de cuarzo y feldespato potásico que se distinguen por su mayor tamaño y son característicos de este tipo de rocas. Además se observa una incipiente planaridad dada por la orientación preferencial de minerales laminares como la biotita.

Como puede apreciarse en la Figura 4b en algunos sectores existe una importante cobertura de roca meteorizada o regolito de aproximadamente 7 metros de espesor. Por otra parte existe un fuerte desarrollo de sistemas de diaclasas distribuidas regularmente que fracturan la roca tanto en forma vertical como subhorizontal.

La cantera N° 5 se encuentra ubicada 23 km. al Este de la ciudad de Olavarría, el tipo de roca que posee es un gneiss migmatítico donde se identifican dos facies bien diferenciadas una de tipo granodiorítica de tamaño de

grano medio y color gris verdoso, y otra de composición granítica de coloración rosada, como se observa en la Figura 5a. Así como en el caso anterior también se distinguen numerosos juegos de diaclasas oblicuas, subverticales y suhorizontales (Figura 5b). Los bancos de explotación presentan una altura que varía entre los 16 y 24 metros.

Metodologías de estudio

Caracterización geotécnica:

La caracterización geotécnica de los agregados fue realizada sobre la fracción gruesa, es decir aquellos que son retenidos por el tamiz IRAM 4,75 mm. (Nº 4) llamado tamiz de corte.

La forma de las partículas del árido grueso afecta fundamentalmente al esqueleto mineral del conjunto de agregados que conforman la capa de un firme. Según su forma, las partículas pueden clasificarse como: redondas, cúbicas, lajas o agujas. Las lajas y agujas 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 este tipo de partículas y en términos generales, en una fracción de árido no se debe sobrepasar del orden del 30% en peso de partículas con mala forma.

Para la determinación de la forma de las partículas se realizan tres ensayos: Índice de lajas (Norma IRAM 1687-1), Índice de agujas (Norma IRAM 1687-2) y Cubicidad (Norma IRAM 1681).

Por otra parte la determinación de la resistencia al desgaste mecánico del esqueleto mineral permite estimar el comportamiento y durabilidad de una capa asfáltica una vez puesta en servicio. Existen diversos ensayos de laboratorio que evalúan este parámetro, uno de los más representativos es el Desgaste Los Ángeles (Norma IRAM 1532), que en forma indirecta proporciona información de la resistencia mecánica del material, en función del porcentaje de agregado que se pierde durante el ensayo. El resultado es la diferencia entre el peso original de la muestra y el peso de la misma al final del ensayo, expresada en tanto por ciento del peso inicial. A este valor numérico se lo denomina Coeficiente de Desgaste Los Ángeles. En general, se puede decir que coeficientes superiores a 50 corresponden a áridos de mala calidad, no aptos para la construcción de capas de firme. Por el contrario,

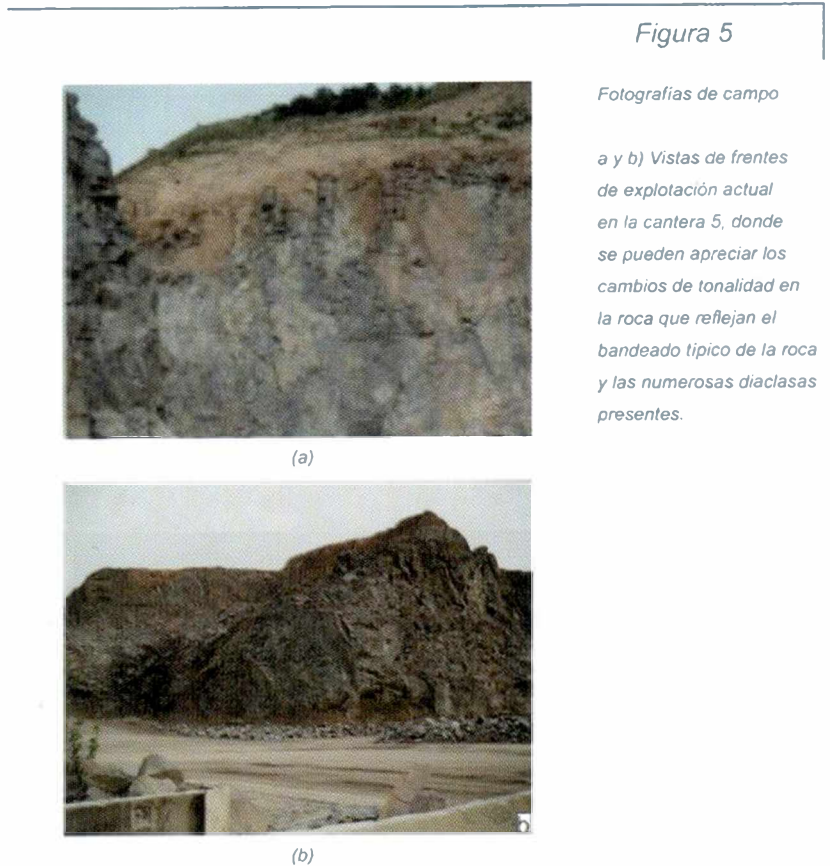


Figura 5

Fotografías de campo

a y b) Vistas de frentes de explotación actual en la cantera 5, donde se pueden apreciar los cambios de tonalidad en la roca que reflejan el bandeo típico de la roca y las numerosas diaclasas presentes.

coeficientes inferiores a 20 corresponden a áridos con resistencia al desgaste suficiente para cualquier posible aplicación y, en particular, para capas de rodadura bituminosas que han de soportar tráfico pesado.

Otros parámetros que son de fundamental importancia cualquiera sea la aplicación que se le va a dar al árido, son la limpieza y adhesividad (Normas IRAM 1533 y VN E 68-75, respectivamente). La limpieza superficial es de importancia ya que cuando los áridos presentan partículas de polvo, arcillas o cualquier otro material extraño son susceptibles a la acción del agua, que puede dañar o generar desprendimientos en su adhesividad con el ligante. En cuanto a la absorción puede indicarse que es la cantidad de agua que puede ser retenida por los poros de un material durante un periodo de tiempo determinado y su valor debe ser tenido en cuenta al momento de realizar las dosificaciones de las mezclas. En la Tabla 1, se presenta un resumen con los valores obtenidos de los ensayos realizados.

Los ensayos que no se pudieron determinar fueron a causa de que el tamaño de la muestra no era suficiente para obtener las fracciones pedidas por norma.

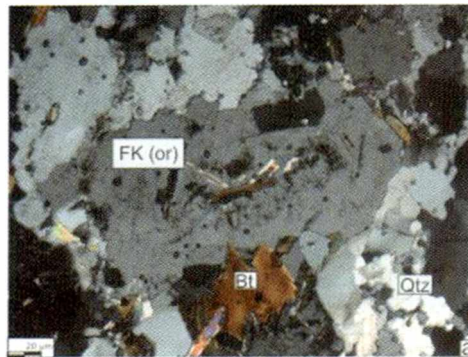
Tabla 1 Resumen de resultados. nd: no determinado.

Cantera	Nº 1	Nº 2	Nº 3	Nº 4	Nº 5
Granulometría	6:20	6:20	6:20	6:20	6:20
Lajosidad	16.6	19.9	27	11	18.6
Elongación	24.3	19.9	nd	nd	nd
Cubicidad	0.83	0.83	nd	nd	nd
Desgaste Los Ángeles	27.7	23.8	25	26.4	24
Densidad relativa media	2.69	2.74	2.77	2.73	2.70
Absorción	0.38	0.21	0.5	0.3	0.2
Polvo adherido	1.3	nd	0.3	0.4	0.4

Figura 6

Fotomicrografías

a) Fenocristal de feldespato tipo ortosa (FK) con inclusiones de biotita (Bt), matriz de grano medio de cuarzo (Qtz) con bordes irregulares.



(a)

b) Fenocristales de feldespato potásico peritico (FK), en matriz de cuarzo con extinción ondulante (Qtz), intersticialmente cristales pequeños de muscovita (Mv). Nícoles cruzados, 5x.



(b)

Caracterización petrográfica:

Además de la caracterización geotécnica se realizó la clasificación petrográfica y geológica de los materiales. Para ello se realizaron observaciones de campo y toma de muestras representativas de los afloramientos y frentes de explotación. Sobre estas muestras se realizaron cortes delgados para la observación microscópica, siguiendo las indicaciones especificadas en las normas IRAM 1702 y 1703. Para la misma se utilizó un microscopio petrográfico modelo Olympus BX 51, con cámara fotográfica digital modelo Olympus Q Color 3, y programa de computación para el tratamiento

digital de las imágenes Image Pro.

La observación microscópica permitió definir las composiciones mineralógicas y texturas de los agregados bajo estudio. El término textura desde el punto de vista geológico se refiere a la relación que existe entre los granos de minerales entre sí, es decir la forma y tamaño de los cristales individuales y su relación entre límites de granos.

A continuación se presenta una descripción petrográfica de las rocas observadas en cada cantera.

Cantera Nº1:

Se trata de un granito porfiroide con signos de cataclasis. La textura de la roca es granuda de grano medio a grueso, porfírica formada principalmente por cuarzo y feldespato potásico. Los cristales de mayor tamaño que se observan corresponden a feldespato potásico (ortosa), dentro de los cuales se observan inclusiones de biotita. El cuarzo forma una textura en mosaico con bordes entre granos que evidencian recristalización, en algunos casos también se observa extinción ondulante. (Figura 6a).

Además de ortosa se observan otros cristales de feldespato potásico de tipo peritico y en algunos casos con macla de tipo periclino. Se distingue la presencia de biotita ocupando espacios intergranulares y escasa muscovita (Figura 6b). También se reconocen algunos cristales de plagioclasa, aproximadamente un 3% de composición Albita- Oligoclasa. Como minerales accesorios se distingue la presencia de titanita.

Cantera Nº 2:

El estudio microscópico permitió definir las siguientes características. Se trata de una roca de textura porfiroblástica, compuesta por una matriz de grano fino y composición cuarzo feldespática. Esta textura refleja un marcado metamorfismo dinámico, es decir se trata de una zona que ha sido sometida a esfuerzos tectónicos que provocaron molienda y recristalización de algunos de sus minerales como el cuarzo.

En ella se destacan porfiroblastos redondeados de cuarzo y otros de contornos irregulares de gran tamaño de hornblenda. También se reconoce la presencia de cristales de edenita de color azul verdoso (miembro de la serie de la hornblenda). Este mineral resulta típico de ambientes metamórficos. (Figuras 7 a y b).

Ocupando espacios intergranulares entre los porfiroclastos de cuarzo se encuentran escamas de muscovita. Como minerales accesorios también se destaca la presencia de turmalina y abundante circón.

Cantera 3:

Al microscopio se observa una textura granuda de grano grueso formada por cristales de cuarzo con importantes signos de cataclasis, junto con cristales de feldespato potásico levemente alterados.

Los cristales de cuarzo de tamaño variable, y orientados según una lineación preferencial, pueden alcanzar los 50 µm de diámetro y presentan textura ondulante y uniones triples. Estas características son típicas de cataclasis y re-cristalización. La proporción aproximada de cuarzo es de un 30 %. Entre los granos de cuarzo y feldespato de mayor tamaño, se desarrollan cristales de biotita muy fracturados y de menor tamaño. También se observan grandes cristales de plagioclasa con alteración argílica débil, selectiva, en bordes y a través de planos de debilidad y en forma de "parches". En algunos casos donde se observa macla de albita, la alteración se presenta a través de planos de macla. (Figura 8a).

En una proporción de aproximadamente 35% se observan grandes cristales de feldespato potásico peritítico (más de 100 µm) en algunos casos con macla de microclino, inmersos en una matriz de cuarzo (Figura 8b).

Cantera 4:

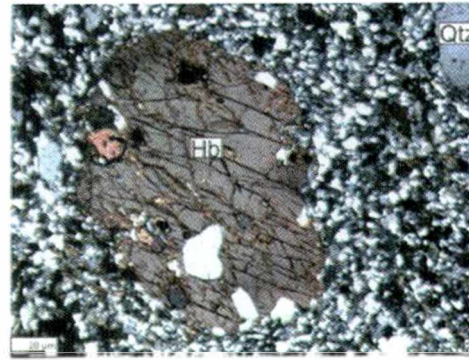
Se trata de una roca con textura granuda de grano grueso y cierto grado de cataclasis. Se observan texturas de "ojos" formados por granos de cuarzo y feldespato potásico característicos de gneisses.

Se observa una incipiente planaridad dada por la orientación de minerales laminares como la biotita. El cuarzo presenta extinción ondulante y texturas cataclásticas en mosaico con presencia de uniones triples. Rellenando los espacios entre cristales mayores se desarrollan granos de cuarzo y feldespato con textura en mosaico de grano muy fino (inferior a 5 µm) con moderada alteración argílica. (Figura 9a).

También se reconocen grandes cristales de plagioclasa con macla de albita, con alteración argílica de moderada a fuerte, en forma de parches y en algunos casos esa alteración se presenta de manera diferencial

Figura 7

Fotomicrografías



(a)



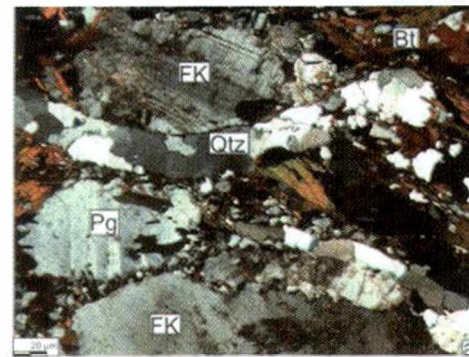
(b)

a) Porfiroblasto de Hornblenda de bordes subredondeados a irregulares, en matriz cuarzo feldespática de grano fino.

b) Porfiroblasto de edenita de bordes muy irregulares en matriz de cuarzo, feldespato y hornblenda de menor tamaño. Nícoles cruzados, 5x.

Figura 8

Fotomicrografías



(a)



(b)

a) Fenocristales de Feldespato potásico (FK) con alteración argílica, venilla de cuarzo (Qtz) con uniones triples y extinción ondulante, biotita intersticial (Bt).

b) Gran cristal de feldespato potásico peritítico (FK) rodeado por cristales de cuarzo (Qtz) con signos de recristalización y deformación, Nícoles cruzados, 5x.

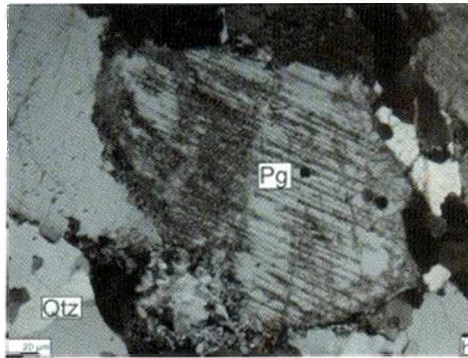
Figura 9

Fotomicrografías

a) Porfiroblastos de Feldespato potásico (FK) con alteración argílica débil, desarrollo intersticial de mosaico de cuarzo (Qtz) y feldespato con uniones triples y extinción ondulante.



b) Gran cristal de plagioclasa (Pg) con alteración argílica de moderada a fuerte, mosaico de cristales de cuarzo (Qtz) con uniones triples en diferentes tamaños. Nícoles cruzados. 5x.



en los cristales maclados donde la argilización afecta solamente a un grupo de individuos, muy probablemente los de composición más cálcica. (Figura 9b).

Ocupando los espacios intercristalinos y acompañando la forma de los cristales de mayor tamaño se encuentran cristales de biotita con una leve alteración a clorita. Cabe mencionar que además se observan abundantes inclusiones de micas en las plagioclasas y feldespatos. Como mineral accesorio se reconoce abundante apatita.

Cantera N° 5:

Se trata de una roca de textura bandeada tipo migmatita o gneiss de grano fino donde se reconocen bandas delgadas de color rosado, compuestas por feldespato potásico y predominio de un mosaico granudo gris formado principalmente por cuarzo. En menor proporción se observa biotita distribuida homogéneamente y ocupando espacios intergranulares.

Al microscopio puede distinguirse dos dominios de tamaño de grano, uno de grano medio a grueso con cristales de aproximadamente entre 30-50 μm y otro formado por un dominio bandeado de menor tamaño de grano con cristales de aproximadamente entre 5 y 20 μm (Figura 10a). En ambos casos formando un mosaico granular de cuarzo, feldespato potásico y plagioclasas. El feldespato potásico es de tipo perítico y presenta alteración argílica moderada, a través de planos de debilidad y en los bordes de los cristales. Las plagioclasas con macla de albita de tabillas finas, presentan una alteración argílica moderada, selectiva a través de planos de maclas y en forma de parches. (Figura 10b).

En menor proporción se observa biotita (aproximadamente un 1%) fuertemente alterada a clorita y desferritizada, como subproducto de este proceso se observa hematita. Además se observa la presencia de hornblenda y como minerales accesorios circón y apatita.

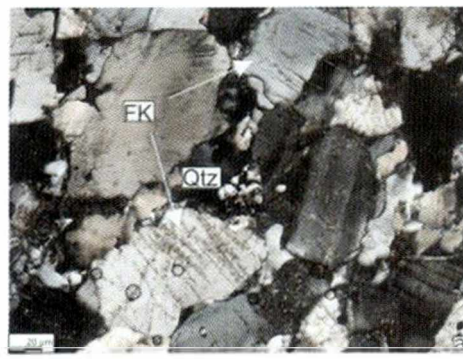
Discusión y conclusiones

De acuerdo con los ensayos y análisis realizados se ha podido observar que las propiedades físicas de la roca son determinantes en las formas que se obtienen de las partículas cuando los agregados son sometidos a procesos de trituración.

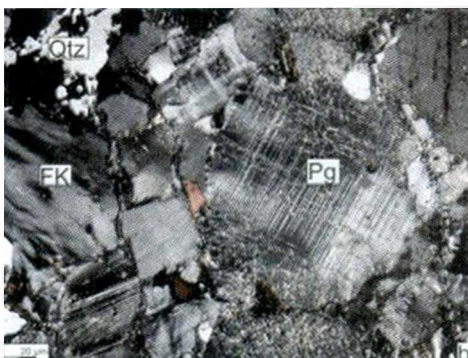
Figura 10

Fotomicrografías

a) Cristales de gran tamaño de Feldespato potásico (FK) con alteración argílica débil, y mosaico de cuarzo (Qtz) de menor tamaño y extinción ondulante.



b) Feldespato potásico perítico (FK), y plagioclasa (Pg) con alteración argílica de moderada a fuerte, con bordes irregulares. Mosaico intergranular de cuarzo (Qtz). Nícoles cruzados. 5x.



En el caso de la cantera 1, cuya roca es un granito de textura homogénea los índices de lajas y elongación son mucho más favorables que en los casos de las canteras 2 y 3, (ver tabla 1) en los que las rocas presentan variaciones de composición, textura y numerosas discontinuidades tectónicas que representan superficies de debilidad preexistentes por donde la roca tiende a fracturarse. Así mismo se observa un mejor valor de índice de lajosidad en la cantera 4, la cual presenta propiedades geológicas similares a las canteras 3 y 5. En la cantera 4, la obtención de partículas de formas más cúbicas se estima que es debido a la tecnología de trituración empleada en la planta de tratamiento. Como se ha podido observar las trituradoras empleadas son más veloces, lo cual evita la formación de partículas lajosas. Esto también se ve favorecido por la alta dureza de la roca.

Las observaciones realizadas en este estudio permiten indicar que si bien la composición mineralógica de los agregados define, entre otros parámetros, la resistencia al desgaste de los mismos, para agregados con una misma composición mineralógica y diferente origen geológico, los parámetros geotécnicos van a estar afectados por la textura y estructura de la roca. En los ejemplos estudiados donde predomina una composición cuarzo – feldespática, queda demostrado que una roca con textura genéssica y tendencia porfiroblástica como en el caso de la cantera 2, ofrece mayor heterogeneidad en sus propiedades físicas, por lo tanto los parámetros de forma se alejan del ideal cúbico. Si bien esta sería una característica indeseable desde el punto de vista de la utilidad del agregado como material para uso vial,

también se deduce que es la textura metamórfica la que ofrece una mayor resistencia al desgaste (Tabla 1). De lo expresado se interpreta que las rocas de origen metamórfico al haber estado sometidas a altas temperaturas y presiones durante su formación, poseen estructuras cristalinas más resistentes que en el caso de las rocas de origen ígneo.

Por lo tanto y en base a lo observado en este trabajo se interpreta que en el caso de estar trabajando con rocas que presenten texturas profídicas y bandeados metamórficos es recomendable utilizar una tecnología de trituración de alta velocidad, o bien incorporar a las trituradoras de mandíbulas los denominados "impactores", (Correa et al., 2010) que provocan el choque entre fragmentos de roca al ingresar a la trituradora, favoreciendo la formación de partículas de formas más cúbicas.

Bibliografía

Correa, María J., Botasso, Hugo, Soengas Cecilia., Rebollo, Oscar. García Eiler Luciana. (2010). Primeras observaciones que relacionan las tecnologías de trituración y los tipos litológicos de algunas canteras productoras de áridos en las Sierras Septentrionales, Provincia de Buenos Aires. XXVI Reunión de la Comisión Permanente del Asfalto. Actas en CD.

Normas del Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM):

1681: "Método de determinación del factor de Cubicidad"

1532: "Método de ensayo de resistencia al desgaste con la máquina 'Los Ángeles'"

1687-2: "Determinación del Índice de Elongación"

1687-1: "Determinación del Índice de Lajosidad"