

ESTUDIO PETROGRÁFICO DE ROCAS GRANÍTICAS Y MIGMATITAS DEL SISTEMA DE TANDILIA UTILIZADOS COMO AGREGADOS PARA HORMIGÓN EN LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES

**Pérez Marfil, Paula¹; Locati, Francisco²; Marfil, Silvina^{1, 3};
Lescano, Leticia^{1, 3}; y Maiza, Pedro^{1, 3}**

¹CGAMA (CIC-UNS), Bahía Blanca. Prov. de Bs. As.
paulaperezmarfil@gmail.com

²CICTERRA(CONICET-UNC). Av. Vélez Sarsfield 1611, Córdoba.
locatifrancisco@gmail.com

³Dpto. de Geol. UNS, San Juan 670, Bahía Blanca.
smarfil@uns.edu.ar, leticia.lescano@uns.edu.ar

Palabras claves: agregados, migmatitas, petrografía.

Resumen

Si bien existen antecedentes sobre la potencial reactividad de “rocas graníticas” de la provincia de Buenos Aires, es necesario llevar a cabo estudios petrográficos de detalle, a fin de avanzar sobre los factores que determinan su comportamiento en el hormigón. La norma IRAM 1531 establece que la petrografía debe realizarse según la IRAM 1649 y que los agregados deben contener menos del 5 % de cuarzo fuertemente tensionado, microfracturado y/o microcristalino con un tamaño de grano promedio menor que 62 µm para ser considerados como no reactivos. Sin embargo, no se especifica ninguna metodología particular para calcular ese porcentaje. En este trabajo, se presentan los resultados de análisis petrográficos efectuados sobre 7 muestras de triturados 6-20 mm provenientes de canteras de las sierras septentrionales de la provincia de Buenos Aires y se realizan algunas consideraciones en relación con las normativas vigentes. De las canteras evaluadas 6 cumplen con los requisitos establecidos en la norma IRAM 1531 y corresponden a mezclas de migmatitas y granitoides. La única cantera con porcentajes de componentes potencialmente reactivos por encima de los límites estipulados por norma corresponde a una roca milonítica. Para este caso, se recomiendan estudios complementarios mediante el ensayo del prisma de hormigón.

1. Introducción

En la industria de la construcción, es común la utilización del término "rocas graníticas" para hacer referencia a aquellas litologías de textura por lo general homogénea, sin bandeado aparente y compuestas principalmente por cuarzo, feldespatos y micas. Sin embargo, es importante aclarar que dentro de este grupo se pueden encontrar mayoritariamente rocas plutónicas de origen ígneo, de composición principalmente ácidas, como granitos, granodioritas, dioritas cuarcíferas y migmatitas. Estas últimas, corresponden a un grupo de rocas denominadas de mezcla, ya que si bien presentan características propias de las rocas metamórficas, también poseen sectores que experimentaron procesos de fusión-cristalización. Las rocas ígneas ácidas, por lo general no tienen deformación y constituyen materiales aptos para ser utilizados como agregados en hormigón, pero cuando han sufrido procesos de deformación, el cuarzo puede comportarse de manera inestable en condiciones alcalinas[1]. Por otro lado, las migmatitas se forman en ambientes metamórficos de medio a alto grado pudiendo ser heterogéneas u homogéneas. Generalmente tienen texturas variables, con evidencias de deformación (cuarzo tensionado con desarrollo de lamelas o bandas de deformación, subgranado, cuarzo microcristalino recrystalizado) y evidencias de fusión parcial-cristalización (cuarzo de forma irregular entre contactos intergranulares o desarrollo de venas con cuarzo sin deformación). Debido a estas características, pueden comportarse como potencialmente reactivas frente a la reacción álcali-sílice (RAS) y suelen ser calificadas dentro de los denominados agregados de reacción lenta o lenta/diferida por el tiempo prolongado en el que se manifiesta el deterioro de las estructuras de hormigón[2].

Las principales canteras productoras de piedra partida para agregados pétreos se concentran en la provincia de Buenos Aires, en cercanías a las localidades de Olavarría, Azul, Balcarce y Mar del Plata (Sierras Septentrionales) y próximas a Torquinst y Pigüé (Sierras Australes).

El área de estudio corresponde al sistema de Tandilia que constituye uno de los dos cordones serranos de la provincia de Buenos Aires. Las rocas estudiadas pertenecen al basamento cristalino más antiguo de Argentina y fueron denominadas por Marchese y Di Paola (1975) [3] como Complejo Buenos Aires. Se encuentra integrado principalmente por gneises graníticos a tonalíticos, migmatitas, anfíbolitas, esquistos, mármoles, plutones graníticos, metavulcanitas y diques básicos.

Las migmatitas son muy frecuentes en Tandilia, aparecen en afloramientos reducidos en las sierras, principalmente en la localidad de Balcarce y Azul en Punta Tota y Cerro La Crespa, respectivamente.

Las rocas de naturaleza granítica predominan en la porción noroccidental (Ej: los granitos rojos de la Sierra Chica en Olavarría y Azul), en las estribaciones orientales del basamento (Ej: cerro El Cristo) y a lo largo del borde austral de las sierras de Tandil. Las rocas de composición mayormente tonalítica y granodiorítica predominan en el sector central y hacia el borde septentrional.

El análisis petrográfico IRAM 1649 [4] es el primer ensayo que generalmente se aplica para estudiar la potencial reactividad de un agregado para hormigón o para evaluar las rocas de una cantera a explotar. La norma abarca los procedimientos para el muestreo de los agregados, la descripción, clasificación y determinación de las cantidades relativas de los constituyentes de la muestra. La norma IRAM 1531 [5] (agregado grueso para hormigón de cemento) establece que el agregado que contenga más del 5 % de cuarzo fuertemente tensionado, microfracturado y/o microcristalino (con un tamaño promedio menor a 62µm), 3 % de chert, 3 % de calcedonia, 1 % de detridimita, 1 % de cristobalita, 0,5 % de ópalo, o 3 % de vidrio volcánico, debe ser considerado potencialmente reactivo. Si contiene más de una de estas especies se calificará como no apto, independientemente del contenido individual de cada una. Cuando el agregado grueso esté constituido por una mezcla de dos o más fracciones de diferente granulometría y composición, los contenidos mencionados deberán ser aplicados a cada una de las fracciones individualmente.

Si del análisis petrográfico el agregado es calificado como potencialmente reactivo, debe comprobarse su reactividad mediante algún método acelerado (IRAM 1674 [6] o IRAM 1700 [7] a 60 °C) o por el método tradicional del prisma de hormigón (IRAM 1700 a 38 °C). Por el contrario, si el agregado es calificado como no reactivo, puede ser utilizado sin restricciones por la RAS. Sin embargo, la normativa no establece ninguna metodología particular para calcular esos porcentajes.

El propósito del presente trabajo es realizar un análisis petrográfico del agregado extraído de las pilas de acopio de siete canteras ubicadas en proximidades a las ciudades de Olavarría, Azul y Balcarce a fin de evaluar su potencial uso como agregado para hormigón. Además, se discuten algunos aspectos de la normativa vigente.

2. Materiales y métodos

Se relevaron y muestrearon siete canteras productoras de agregados pétreos de la provincia de Buenos Aires, (cuatro en el área de Olavarría (denominadas 1, 2, 3, y 4), una en Balcarce (cantera 5) y dos en Azul (6 y 7) (Fig.1). Se tomaron muestras del triturado 6-20 mm proveniente del material de acopio de cada cantera. Se realizaron estudios petrográficos macro y microscópicos según lo establecido en la norma IRAM 1649 [4]. Para ello se utilizó un estereomicroscopio trinocular Olympus SZ-CTV y un microscopio Olympus, trinocular BH-2. Posteriormente las muestras fueron analizadas según lo establecido en la norma IRAM 1531 [5].

Para realizar el estudio petrográfico se procedió al cuarteo de cada muestra (piedra partida 6-20 obtenida de las pilas de acopio) y posterior tamizado utilizando tamices IRAM #4, 3/8" y 1/2". Luego se agruparon en tipos litológicos por fracción mediante descripción macroscópica. Finalmente, se tomó una muestra de cada tipo litológico y a fin de realizar análisis petrográficos sobre secciones delgadas. Como la norma no establece

critérios para determinar el grado de deformación de los granos de cuarzo para determinar el contenido de "cuarzo fuertemente tensionado" ni tampoco un método para medir el porcentaje de cuarzo microcristalino, en este trabajo se adoptó el siguiente criterio. Se dividió el área que ocupa el agregado en la sección delgada en campos (aproximadamente 10 campos) y se realizó un análisis modal en cada campo determinando el porcentaje de cuarzo presente en cada sector, el porcentaje de cuarzo microcristalino y se midió el ángulo de extinción ondulante [8] sobre los granos de cuarzo mayores a $62\mu\text{m}$. Luego se ponderaron los valores considerando el porcentaje que representa cada tipo litológico en cada fracción y sobre el total de la muestra.

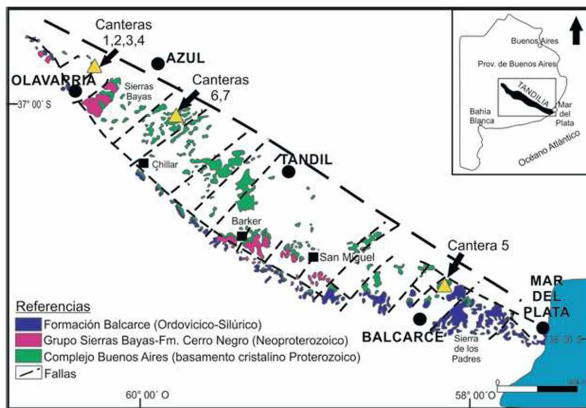


Figura 1. Ubicación de las canteras estudiadas (modificado de Ingoniani 2010 [9])

3. Resultados y discusión

Cantera 1:

Descripción macroscópica:

El material es heterogéneo desde el punto de vista litológico y morfológico. El proceso de trituración generó el 93 % de formas irregulares equidimensionales y 7 % de irregulares planares. El 27 % del total presenta abundante material pulverulento adherido a la superficie, de litología semejante a la roca triturada.

El 80 % de las partículas tiene abundante contenido de minerales ferromagnesianos (principalmente anfíboles) dispuestos en bandas subparalelas. Son masivas, de color gris oscuro a negro y bien conformados. Entre los fenocristales mencionados, cristalizó plagioclasa (gris a levemente verdosa) de varios milímetros, subhedral, orientada, con cuarzo anhedral. La roca presenta un leve bandeamiento. El 20 % restante se diferencia por la presencia de fenocristales de color rosado, con buen desarrollo cristalino con clivaje en 3 direcciones, en tamaños que pueden alcanzar algunos centímetros. Por lo general se concentran en los sectores félsicos de la masa rocosa. Los minerales máficos son principalmente anfíboles. Los minerales de alteración identificados son caolinita y calcita. El proceso de alteración es incipiente y no afecta las características físicas del agregado.

Descripción microscópica:

El litotipo más abundante está constituido principalmente por minerales máficos (hornblenda y biotita). Éstos se encuentran fracturados, flexurados, deformados, orientados y alterados (desferrizados y cloritizados). En menor proporción se identificó cuarzo y cristales de feldspatos (microclino y plagioclasa) estos últimos subhedrales y alterados a illita y caolinita. El cuarzo es principalmente de grano fino ($\sim 300\mu\text{m}$), aunque también se observan cristales que alcanzan los 1,8 mm, presenta morfología anhedral y extinción ondulante (AEO promedio 11°). Es frecuente la presencia de carbonato de calcio de grano fino formando aglutinaciones en la roca. En la figura 2a se observa el abundante contenido de minerales máficos.

El segundo litotipo está constituido por cuarzo, feldspatos (plagioclasa y feldespato potásico) y minerales máficos (hornblenda y biotita), estos últimos dispuestos en bandas. Como minerales de alteración se identificó illita, caolinita y carbonato de calcio. El cuarzo presenta tamaño variable, desde grano muy fino ($<62\mu\text{m}$) a grueso ($\sim 500\mu\text{m}$). El primero forma diferenciados junto con el feldespato y el carbonato de calcio. Los cristales de mayor tamaño son anhedrales a subhedrales y algunos presentan extinción ondulante (AEO promedio 16°). En la figura 2b se muestra las características petrográficas y texturales de la roca.

Ambos tipos litológicos tienen textura granolepidoblástica y se califican como migmatita.

Cantera 2:

Descripción macroscópica:

El agregado está constituido por partículas de una roca granular heterogénea de grano medio con evidencias poco definidas de bandeamiento, caracterizado por la concentración localizada de minerales félsicos y máficos. El proceso de trituración generó 87 % de formas irregulares equidimensionales y 13 % de irregulares planares. Además produjo moderada cantidad de material pulverulento adherido a la superficie de las partículas, de litología semejante.

Se destacan dos grupos diferenciados mineralógicamente. El 69 % corresponde a una roca rica en feldespato potásico (microclino + ortosa) con menor cantidad de plagioclasa. El cuarzo es anhedral intersticial. El mafito más abundante es biotita con hornblenda parcialmente cloritizada. Los minerales accesorios más abundantes son apatito y óxidos de hierro. El 31 % restante son fragmentos de rocas con abundante contenido de mafitos (principalmente biotita y hornblenda), de textura más fina y con menor cantidad de cuarzo y feldespato. La alteración es incipiente destacándose la desferrización de la biotita y la argilización de los feldspatos.

Descripción microscópica:

De los dos tipos litológicos descriptos, el más abundante presenta textura granular hipidiomórfica con leve deformación en los minerales máficos y la plagioclasa. Está formado por feldespato potásico, plagioclasa,

cuarzo, hornblenda, biotita, apatito y minerales opacos. Como minerales de alteración se identificó illita, caolinita y carbonato de calcio. El cuarzo es granular, con un tamaño que varía entre 300 μm y 1,4 mm, de morfología anhedral a subhedral y extinción ondulante (AOE promedio 15°). El contenido de cuarzo microcristalino es muy escaso (< 0,1 %). En algunos sectores se observó textura micrográfica. La hornblenda y biotita están levemente deformadas y orientadas. En la figura 2 c y d se muestra la textura de la roca.

El otro tipo presenta textura granular hipidiomórfica con leve deformación. Está compuesto por minerales máficos cuarzo, plagioclasa y feldespato potásico. Predominan la hornblenda y biotita los cuales se presentan fracturados, cloritizados y desferrizados. El cuarzo es de grano grueso (hasta 2 mm), con morfología anhedral a subhedral y no se observa cuarzo microcristalino. Presenta extinción ondulante (ángulo de extinción ondulante AEO promedio 13°). Los cristales de plagioclasa están fracturados y argilizados. Presentan morfología anhedral a subhedral y un tamaño que llega hasta los 800 μm . El feldespato potásico está fracturado, argilizado, presenta morfología anhedral y tamaño de hasta 3 mm. Los principales minerales de alteración identificados son clorita e illita. En la figura 2d se observa el abundante contenido de minerales máficos respecto del tipo litológico mayoritario. Ambos tipos litológicos se califican como granitoides.

Cantera 3:

Descripción macroscópica:

El agregado está constituido por una roca granular de color gris oscuro, con sectores rosados, debido a la concentración de feldespato potásico. El proceso de trituración generó 83 % de formas irregulares equidimensionales y 17 % irregulares planares. Presenta moderada cantidad de material pulverulento que se adhiere a la superficie de la roca. Está constituida por feldespato potásico (microclino y ortosa) y plagioclasa de hábito subhedral, levemente argilizados (sericitizados y caolinizados). Algunas partículas presentan débil tinción superficial por la precipitación de óxidos de hierro, y acumulaciones de calcita. En menor proporción se observó cuarzo anhedral de grano fino. Los minerales máficos son principalmente hornblenda y biotita levemente desferrizados.

Descripción microscópica:

La roca presenta textura granolepidoblástica con cristales de cuarzo y plagioclasa sin orientación. La asociación ferromagnésiana presenta leve orientación. La roca está compuesta por cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa, anfíbol y biotita. Como minerales de alteración se identificó carbonato de calcio, illita y caolinita.

El feldespato y la plagioclasa se encuentran alterados, argilizados, fracturados y levemente deformados. El cuarzo presenta extinción ondulante (AOE promedio 15°) y tamaño de grano variable (desde < 62 μm a 1,2 mm), este último es el más abundante y está dispuesto en masas junto con cristales de carbonato de calcio y feldespato. Los minerales máficos (anfíboles y biotita) se encuentran levemente deformados. La biotita presenta morfología

subhedral, está desferrizada y levemente deformada. La roca se clasifica como migmatita. En la figura 2 e y f se muestra la textura de la roca.

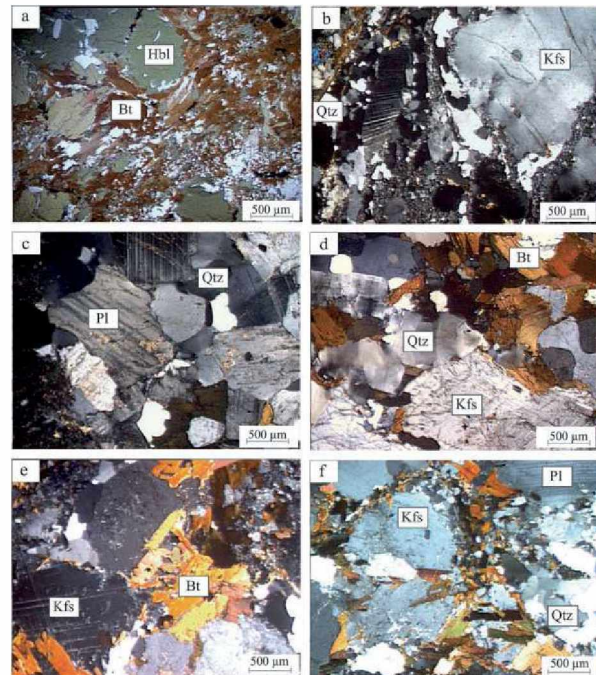


Figura 2. Fotomicrografía con niculos cruzados. a) y b) Cantera 1. a) Corresponde al tipo litológico más abundante, rico en minerales máficos. b) Características petrográficas y texturales del sector rico en feldespatos. c) y d) Sectores félsicos y máficos de la cantera 2 respectivamente. e) y f) Cantera 3. Se muestra la textura y composición de la roca. Hbl: hornblenda, Bt: biotita, Kfs: feldespato potásico, Qtz: cuarzo y Pl: plagioclasa. Las abreviaturas utilizadas fueron tomadas de Kretz (1983) [11].

Cantera 4:

Descripción macroscópica:

El agregado está constituido por partículas de rocas granulares de color gris, moteada por la concentración de minerales máficos. En algunos casos se destaca la presencia de feldespato potásico. El proceso de trituración generó 90% de formas irregulares equidimensionales y 10 % de irregulares planares. La cantidad de polvo adherido a la superficie es moderada. El 83% del total de las partículas están constituidas por feldespatos, con cuarzo subordinado y hornblenda. El feldespato más abundante es plagioclasa, maclada y argilizada. Estrechamente relacionados se observaron algunos fenocristales de ortosa. Se disponen en sectores claros con hábito subhedral, discontinuos aunque no desarrollan un claro bandeamiento ni esquistosidad. El cuarzo es anhedral, de fractura irregular ocupando los espacios intercristalinos de los feldespatos. Los minerales máficos son biotita y anfíbol.

El segundo tipo litológico corresponde a la misma roca, rica en feldespato potásico, y con menos evidencia de alteración.

Descripción microscópica:

De los dos tipos litológicos citados anteriormente, el más abundante presenta textura granolepidoblástica

con orientación grosera. Está constituido por cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa, anfíbol y biotita. El cuarzo es de tamaño variable (entre microcristalino ($< 100 \mu\text{m}$) y $1,3 \text{ mm}$) y presenta extinción ondulante (AEO promedio 12°). El de grano fino se encuentra asociado a carbonato de calcio formando masas dentro de la roca. La biotita se presenta levemente orientada y flexurada. El feldespato potásico se encuentra fracturado y deformado. La plagioclasa es de grano más fino que el feldespato potásico y presenta morfología subhedral. Ambos se encuentran alterados principalmente a illita.

Los minerales máficos están cloritizados, desferrizados y fracturados. La biotita está levemente orientada.

El otro tipo presenta textura granolepidoblástica con leve orientación de la biotita. La roca se encuentra formada por cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa, anfíbol, biotita y minerales opacos. Se reconocieron cristales de microclino de gran tamaño (hasta $5,6 \text{ mm}$), levemente fracturados y alterados a illita. La plagioclasa es de grano fino y presenta morfología subhedral. El cuarzo presenta tamaño variable desde microcristalino ($< 100 \mu\text{m}$) hasta $1,2 \text{ cm}$ y extinción ondulante (AEO promedio 13°). Se observa textura micrográfica. Los minerales máficos están desferrizados y cloritizados, deformados y levemente orientados. En la figura 3a se observa la textura de la roca.

Ambos tipos litológicos se clasifican como migmatita.

Cantera 5:

Descripción macroscópica:

El material triturado 6-20 es litológicamente homogéneo de color gris claro, moteado, con leve orientación de los minerales máficos, en especial de la biotita. El proceso de trituración generó 87% de formas irregulares equidimensionales y 13% de irregulares planares. La cantidad de polvo adherido a la superficie es moderada y de composición semejante al agregado. La alteración es incipiente y principalmente arcillosa. Se reconocieron escasos individuos de granate parcialmente alterados, cloritizados y desferrizados.

Descripción microscópica:

La textura de la roca es porfirolepidogranoblástica (Fig. 3b), ya que presenta cristales de feldespato y granate con tamaño de grano sobresaliente con respecto a los cristales de cuarzo y feldespato sin orientación y minerales laminares de biotita orientados. Está constituida principalmente por feldespato, cuarzo, biotita y granate. El feldespato (microclino y plagioclasa) es el mineral más abundante y se encuentra alterado a illita. Se observó cuarzo microcristalino (menor a $62 \mu\text{m}$) y de grano grueso (alcanzando hasta 1 mm), con morfología anhedral a subhedral y por lo general no se observan cristales aislados, sino que se disponen en masa o formando arreglos subparalelos. Presenta extinción ondulante (AEO promedio 11°). El cuarzo de grano fino se encuentra asociado a feldespatos de grano fino y carbonato de calcio. En menor proporción se observan cristales de biotita elongados, desferrizados y cloritizados. En algunos sectores se presentan orientados y flexurados,

conformando una banda alineada y en otros se disponen de manera aislada entre los minerales félsicos. El granate presenta morfología anhedral a subhedral y un tamaño de grano que alcanza los 2 mm (Fig. 3c) se encuentran parcialmente alterados y fracturados. La roca se clasifica como migmatita.

Cantera 6:

Descripción macroscópica:

La piedra partida analizada es de color gris oscuro con sectores de color claro, especialmente rosados, constituidos por una asociación mineralógica de ortosa/microclino con plagioclasa y cuarzo subordinados, de gran desarrollo cristalino. Estas partículas constituyen aproximadamente el 50% del agregado. El resto es de grano fino, homogéneo con evidencias de un ligero bandeamiento, definido por la concentración de minerales máficos. Aproximadamente el 10% de las partículas presentan núcleos lentiformes y/o venillas donde el mineral predominante es plagioclasa. El proceso de trituración generó 88% de formas irregulares equidimensionales y 12% de irregulares planares. La cantidad de polvo adherido a la superficie es moderada y de composición semejante a la roca. Los procesos de alteración son incipientes.

Descripción microscópica:

El primer tipo descrito macroscópicamente presenta textura porfirogranoblástica, ya que presenta cristales de feldespato (microclino y plagioclasa) de gran tamaño y cuarzo levemente orientados en una masa de cuarzo, feldespatos y biotita de grano fino. Además se identificaron titanita y granate. La roca contiene un elevado porcentaje de cuarzo $< 62 \mu\text{m}$ (32%) y también se observan cristales de grano más grueso con extinción ondulante aunque el AEO es muy bajo (4°). Los feldespatos son plagioclasa y microclino, ambos débilmente alterados a illita. El feldespato potásico se destaca por presentar un tamaño de grano que alcanza varios cm. Hay textura micrográfica desarrollada entre el cuarzo y el feldespato. Se observan granates de pequeño tamaño y titanita (Fig. 3d). La roca se clasifica como milonita.

El segundo tipo de roca descrita macroscópicamente presenta textura granoblástica. Está formada por cuarzo, feldespatos, hornblenda, y titanita como mineral accesorio. El contenido de cuarzo $< 62 \mu\text{m}$ es del orden del 10% . En menor proporción se observan cristales de cuarzo de grano grueso, redondeados con extinción ondulante de ángulo muy bajo (5°). El anfíbol se encuentra fracturado y redondeado, presenta los bordes corroídos con crecimiento de cristales de grano fino (Fig. 3e). La roca se clasifica como milonita.

Cantera 7

Descripción macroscópica:

La piedra partida 6-20 de esta cantera es homogénea y compacta. Presenta grano medio a fino, color gris oscuro y abundantes minerales ferromagnesianos. El 70% de las partículas presentan núcleos cristalinos

rosados debido a la presencia de grandes cristales de ortosa y/o microclino, algunos de ellos con morfologías lenticulares. Asociados a estos feldespatos potásicos se reconocen cristales de plagioclasa y cuarzo. Tienen poca concentración de minerales ferromagnesianos. La mayoría de las partículas están constituidas por plagioclasas subhedrales, biotita y hornblenda. Estas últimas se presentan cloritizadas. El proceso de trituración generó 86 % de formas irregulares equidimensionales y 14 % de irregulares planares. El material fino adherido a la superficie de las partículas tiene composición semejante y es moderadamente abundante.

Descripción microscópica:

El tipo litológico más abundante descrito anteriormente presenta textura granolepidoblástica. Está formado por cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa y hornblenda. Contiene menos del 1 % de cuarzo < 62 µm. El tamaño máximo alcanza el mm, presenta morfología anhedral a subhedral y extinción ondulante (AEO promedio 9°). El feldespato potásico es abundante, se encuentra fracturado y argilizado. En menor proporción y de grano más fino se identificó plagioclasa, con morfología anhedral a subhedral. Los minerales máficos (hornblenda) se encuentran en poca proporción, los mismos son de grano fino y muestran una leve orientación. No se observa deformación en los minerales que componen la roca. El segundo tipo presenta textura granolepidoblástica con leve deformación (Fig. 3f).

Está constituido por anfíbol, biotita, feldespato, cuarzo y apatito como mineral accesorio. Los anfíboles están muy deformados y en algunos casos no se distingue el clivaje en dos direcciones. Los feldespatos están argilizados y presentan morfología anhedral a subhedral. El cuarzo microcristalino (<100 µm) es escaso (< 1%). El ángulo de extinción ondulante promedio es 12°. En general la muestra no presenta deformación y predominan los minerales máficos. La roca se clasifica como migmatita.

En la Tabla 1 se muestra los porcentajes de cuarzo fuertemente tensionado y/o microfracturado y de cuarzo microcristalino (tamaño promedio menor de 62 µm) determinados sobre las muestras de las siete canteras estudiadas.

El ángulo de extinción ondulante medido en ningún caso superó los 15°, por lo que se podría establecer un grado débil de deformación de los cristales de cuarzo [1].

Respecto al contenido de cuarzo < 62 µm el contenido es inferior al 5% en todas las canteras estudiadas con excepción de la N° 6.

Debe considerarse que la presencia de estas especies en más de un 5% no significa que el agregado no sea apto para su uso en hormigón. La norma IRAM 1531 [5] establece que en estos casos es necesario realizar ensayos físicos complementarios para definir el comportamiento de este tipo de rocas.

Aún cuando la expansión en el prisma de hormigón supere el límite máximo para considerar al agregado inocuo, no implica que se desarrolle RAS. De hechas rocas

estudiadas en el presente trabajo son las más utilizadas en la provincia de Buenos Aires en general tiene un buen comportamiento en servicio. Esto se debe a que para que se produzca RAS es necesario la concurrencia de 3 factores: agregado potencialmente reactivo, elevado contenido de álcalis y humedad relativa superior al 80 %. Si uno de estos factores no está presente la reacción no se desarrollará.

A fin de garantizar una buena prestación durante la vida útil de las estructuras, cuando se identifican materiales potencialmente reactivos en contenidos superiores a los estipulados en la norma, se pueden tomar medidas preventivas tales como el uso de adiciones minerales activas, cementos puzolánicos, etc.

Por otro lado, resulta necesario discutir y acordar procedimientos concretos para determinar los porcentajes mínimos de componentes potencialmente reactivos que establece la normativa (IRAM 1531 [5]), ya que de esto depende la primera calificación que se le otorga a la muestra de agregado. Unificar criterios entre los profesionales que efectúan los análisis petrográficos es esencial a fin de avanzar hacia una normativa superadora.

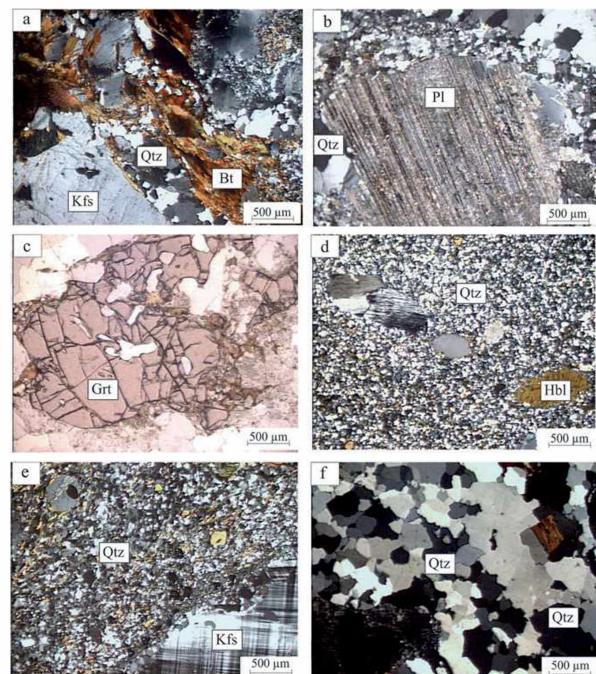


Figura 3. Fotomicrografías. a) Textura de la roca de la cantera 4 (nicos cruzados), b) Cristal de plagioclasa de gran tamaño alterado a illita y cuarzo microcristalino (cantera 5, nicos cruzados), c) Cristal de granate en agregado de la cantera 5 (con luz paralela), d) y e) Se observa el cuarzo microcristalino y la textura de la roca de la cantera 6 (nicos cruzados), y f) Abundante contenido de cuarzo poligonal en el agregado de la cantera 7 (con nicos cruzados). Hbl: hornblenda, Bt: biotita, Kfs: feldespato potásico, Qtz: cuarzo, Grt: granate y Pl: plagioclasa. Las abreviaturas utilizadas fueron tomadas de Kretz (1983) [10]

Tabla 1: Ángulo de extinción ondulante promedio (AEO) y análisis modal del contenido de cuarzo fuertemente tensionado, microfracturado y/o microcristalino en las muestras de agregados de las diferentes canteras

Cantera	AEO (valor promedio)	Cuarzo fuertemente tensionado y/o microfracturado (%)	Cuarzo microcristalino ($<62\mu\text{m}$) (%)
1	12°	0	1,6
2	14°	0	<0,1
3	15°	0	1,9
4	12°	0	2,7
5	11°	0	3,6
6	5°	0	21,2
7	8°	0	0,5

4. Conclusiones

- De las canteras evaluadas 6 cumplen con los requisitos establecidos en la norma IRAM 1531 para su uso como agregado para hormigón y corresponden a mezclas de migmatitas y granitoides. La única cantera con porcentajes de componentes potencialmente reactivos (cuarzo microcristalino con un tamaño de grano promedio menor que $62\mu\text{m}$) por encima de los límites estipulados por norma, corresponde a una roca milonítica.
- Ninguna de las muestras estudiadas posee cuarzo fuertemente tensionado y/o microfracturado, ya que el ángulo de extinción ondulante (criterio utilizado para estimar el grado de deformación de los granos) es $\leq 15^\circ$.
- Resulta necesario discutir y acordar procedimientos concretos para determinar los componentes potencialmente reactivos que establece la norma IRAM 1531, e incluir estos procedimientos en la normativa para homogeneizar los criterios utilizados por los distintos profesionales que efectúan los análisis petrográficos.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la UNS, a la UNLP, al CICTERRA-CONICET, y al CGAMA-CIC por el apoyo brindado. A las empresas Loma Negra, Piatti, Guerrico, Yaraví, Dos Arroyos y Marengo por permitirnos el ingreso para realizar los trabajos de campo. Al personal de las canteras que nos recibió y acompañó, por su excelente disposición para la realización relevamiento y muestreo. Al Dr. Julio del Río por su valiosa colaboración.

Referencias

- [1] V. Ramos, I. Fernandes, A. Santos Silva, D. Soares, B. Fournier, S. Leal, F. Noronha. Assessment of the potential reactivity of granitic rocks – Petrography and expansion tests. *Cement and Concrete Research*, 86, 63–77, 2016.
- [2] S. Marfil, P. Maiza. Deteriorated pavements due to the alkali - silica reaction. A petrographic study of three cases in Argentina. *Cement and Concrete Research*. Ed. Elsevier. USA, 31 (7), 1017-1021, 2001.
- [3] H.G. Marchese, E. Di Paola. Reinterpretación estratigráfica de la Perforación de Punta Mogotes I, Provincia de Buenos Aires. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 30(1), 44-52, 1975.
- [4] IRAM 1649. Examen petrográfico de agregados para

hormigón. . Instituto Argentino de Racionalización de Materiales (IRAM), 13 pp, 2008.

[5] IRAM 1531. Agregado grueso para hormigón de cemento. . Instituto Argentino de Racionalización de Materiales (IRAM), 28 pp, 2012.

[6] IRAM 1674. Agregados. Determinación de la reactividad alcalina potencial. Método acelerado de la barra de mortero. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales (IRAM), 14 pp, 1997.

[7] IRAM 1700. Agregados. Determinación del cambio de longitud en prismas de hormigón, debido a la reacción álcali-agregado. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales (IRAM), 16 pp, 1997.

[8] G. West. Undulatory extinction of quartz in some British granites in relation to age and potential reactivity. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 27, 69-74, 1994.

[9] C.A. Cingolani. The Tandilia System of Argentina as a southern extension of the Río de la Plata craton: an overview. *International Journal of Earth Science*, 100, 221-242, 2010.

[10] R. Kretz. Symbols for rock-forming minerals. *American Mineralogist*, 68, 277-279, 1983.