XVI CILA
Congresso Ibero-Latinoamericano do Asfalto
20-25 novembro 2011 • Rio de Janeiro • Brasil

IBP**2257_11**

CARACTERIZACIÓN PETROGRÁFICA DE ÁRIDOS Y SU RELACIÓN CON EL DISEÑO DE CONCRETOS ASFÁLTICOS POR EL MÉTODO BAILEY

Correa, María J.[1], Botasso, Gerardo [2], Soengas Cecilia J. [3], García Eiler, Luciana [4] Rebollo, Oscar [5].

Copyright 2011, Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis - IBP
Este Trabajo Técnico, elaborado para ser presentado en el ***XVI CILA – Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto*** a realizarse entre el 20 y el 25 de noviembre de 2011 en Rio de Janeiro, fue seleccionado por el Comité Técnico del evento para dicho fin, de concordancia con las informaciones contenidas en el resumen sometido por el/los autor(es). Tal cual presentado, su contenido no fue revisado por el IBP. Por ende, los organizadores no traducirán ni corregirán los textos recibidos. La versión original del material presentado no refleja necesariamente las opiniones del *Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis*, sus Asociados y Representantes. El/los autores de este Trabajo Técnico tienen pleno conocimiento de esto y aprueban su publicación en los Anales del ***XVI CILA – Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto*.**

Resumen

Los áridos utilizados en la composición de mezclas asfálticas, provienen en la actualidad de procesos de trituración de macizos rocosos. Debido al aumento del tránsito existen mayores niveles de exigencia en las mezclas, es por esto que en los diseños se utilizan áridos cien por ciento triturados. La incidencia del tipo de roca en el producto final obtenido es alta, como así también impacta la tecnología de trituración utilizada para su obtención. Uno de los métodos que jerarquiza esas propiedades de los áridos en el diseño de las mezclas, es el método Bailey, mediante el cual se puede obtener un balance volumétrico preciso sin necesidad de recurrir a los tanteos. En el presente trabajo se pretende establecer una relación entre las propiedades de origen del árido con los parámetros físico-mecánicos que caracterizan a los mismos y la curva granulométrica obtenida por el método Bailey. Para ello se trabajó con 4 canteras provenientes de la Provincia de Buenos Aires que presentan diferentes tipos de rocas y tecnologías de trituración. Las relaciones establecidas indican que las características de los áridos que impactan en el diseño de una mezcla por el método Bailey, son el peso específico del agregado, directamente relacionado con su composición mineralógica y por lo tanto con su origen geológico, la forma y distribución granulométrica de las partículas que dependen del tipo y tecnología de trituración aplicada.

Abstract

Nowadays the aggregates used in the composition of asphalt mixes come from the cracking process of massif rocks. Because of traffic growth there are highest levels of requirements to the mixes, that is why aggregates 100% fragmentized are used in mix design. The incidence of the rock type in the final product is high, as well as the crushing technology applied in the obtaining process. One of the methods that hierarchies the aggregate properties in the gradation design is the Bailey method. In this method an accurate volume balance could be obtained without the trial and error procedure. In this work, establishing a relationship between the origin rock properties with their physical -mechanical parameters and the blending aggregates obtained throw the Bailey method is intended. In order to accomplish that a work with 4 quarries from Buenos Aires was made, with different rock types and fragmentation technology. The relationships found show that the aggregate properties that influence in the aggregate blending design using the Bailey method are the specific weight of the rock, which is directly related to the mineralogical composition and therefore with its geological origin, the particles shape and the size distribution, which are dependent on the type and technology of fragmentation applied in the obtaining process.

1. Introducción

[1] Dra. Cs. Naturales, Geología- Centro de Investigaciones Viales (LEMaC), FRLP, UTN. Investigadora
[2] Mg. Ingeniería – Centro de Investigaciones Viales (LEMaC), FRLP, UTN. Director
[3,5] Ingeniero Civil – Centro de Investigaciones Viales, LEMaC, FRLP. UTN. Investigadores
[4] Centro de Investigaciones Viales, LEMaC, FRLP. UTN. Becaria

Una mezcla asfáltica es un material compuesto por partículas de agregado de diferentes tamaños, asfalto y vacíos, cuyo desempeño, en términos de deformación permanente, roturas por fatiga y desgaste, cuando está sometido a las solicitaciones del tráfico y climáticas, depende de las propiedades y proporciones de cada uno de los materiales que la componen, entre otras variables.

El agregado en una mezcla asfáltica puede ser considerado como el esqueleto de la misma, debido a que es el responsable del mecanismo de transferencia de cargas. Las propiedades de ese esqueleto están relacionadas, principalmente, con la dureza, la textura superficial, la angularidad, la forma y la distribución granulométrica de los agregados.

Otra forma de comenzar a relacionar áridos de diferentes tamaños lo constituye el Método Bailey de selección granulométrica, que relaciona directamente las características de cada fracción, su potencial de compactación, con los vacíos en el agregado mineral y con los vacíos de la mezcla. De esta manera se selecciona una estructura de agregados buscando una mayor trabazón entre ellos y puede ser usado con cualquier método de dosificación de mezclas asfálticas (Superpave, Marshal, Hveem, etc.).

En el presenta trabajo se trata de establecer la relación existente entre las propiedades petrográficas, las tecnologías de trituración, las características de forma de los agregados y la composición fina de la mezcla, a través de algunas de sus propiedades.

Las etapas en que se desarrolló este trabajo se resumen en forma de cuadro esquemático en la Figura 1.

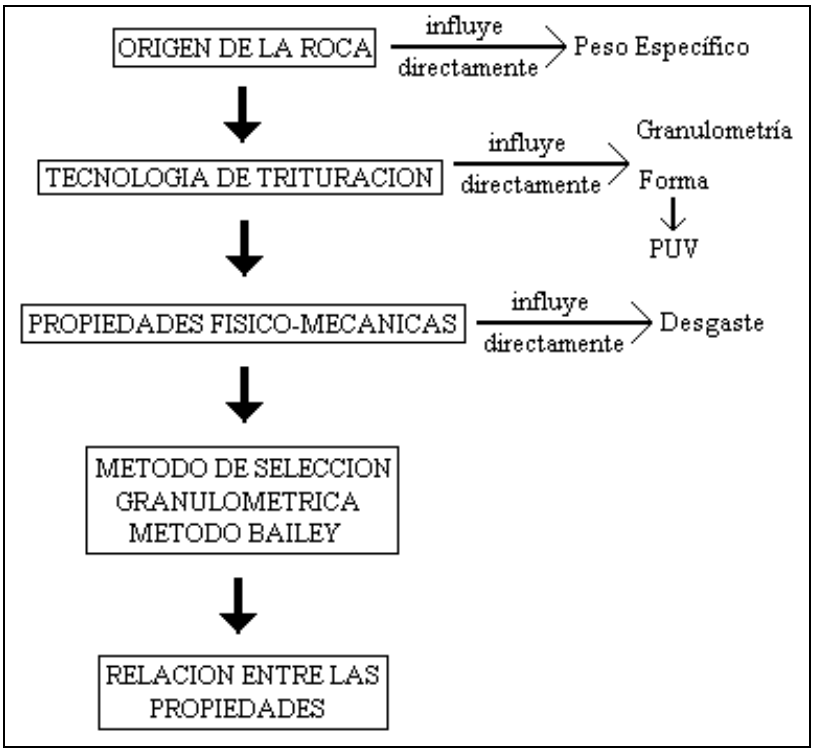

Figura 1. Esquema del desarrollo del trabajo.

En este caso se trabajó con agregados provenientes de cuatro canteras de la Provincia de Buenos Aires, las cuales corresponden a rocas del basamento ígneo metamórfico de la región, que fueron estudiadas desde el punto de vista geológico y geotécnico. Estos tipos litológicos se agrupan bajo el término genérico de granitos y en realidad comprenden una amplia variedad de rocas metamórficas de grado elevado, tipo gneiss y migmatitas, que se ven afectadas por la intrusión de cuerpos graníticos, granodioríticos y filones relacionados. Las muestras con las que se trabajó en este estudio corresponden a tres tipos de gneises y un granito. Este último es el que presenta mayores diferencias con respecto a las demás rocas estudiadas.

Las características que presentan estas rocas son similares desde el punto de vista geotécnico y las diferencias geológicas se reflejan como pequeñas variaciones en los resultados de los ensayos de laboratorio tales como dureza, peso específico, peso unitario volumétrico suelto y compactado. Las muestras utilizadas para trabajar corresponden a agregados de granulometría 6:20 (que comprende agregados de tamaños entre los 6 y 20 mm), siendo una de las principales características que influye en los resultados la distribución granulométrica de las partículas. Por otra parte también influyen en los resultados la forma de las partículas lo cual guarda estricta relación con el tipo de tecnología de trituración

que se emplea en cada planta y que a su vez está directamente relacionado con las características propias de la roca, es decir presencia de planos o zonas de debilidad, minerales de mayor dureza o distribución heterogénea de los mismos.

2. Descripción geológica de la zona de estudio

La zona de trabajo pertenece al sistema de Tandilia (Nágera, 1940) también denominadas Sierras Septentrionales de la provincia de Buenos Aires (Harrington, 1956). Regionalmente este cordón serrano de aproximadamente 350 km de extensión y orientación NO – SE, se ha dividido en grupos orográficos menores que de NO a SE, se denominan de la siguiente manera: Sierras de Olavarría, Sierras de Azul, Sierras de Tandil, Sierras de Balcarce y de Mar del Plata a las que se unen las de Juárez, Necochea y Lobería. Allí se encuentran los afloramientos más australes del denominado Cratón del Río de La Plata, constituido por las rocas más antiguas del país de edad precámbrica. Estas rocas constituyen el basamento cristalino del Sistema de Tandilia, sobre el que se desarrolla una Cubierta Sedimentaria precámbrica – paleozoica inferior y por último Depósitos Cenozoicos que completan la columna estratigráfica.

El basamento cristalino está formado por una asociación ígneo metamórfica denominada Complejo Buenos Aires (Di Paola y Marchese, 1974), con edades comprendidas entre los 600 ± 50 Ma (Millones de años) a más de 2000 Ma (Stipanicic y Linares, 1969). Se encuentra expuesto principalmente en la zona central y septentrional del sistema, conformando la mayor parte de las Sierras de Tandil y Azul. La Cubierta Sedimentaria se apoya sobre este basamento en forma discordante. Está formada por dos unidades principales, una cubierta del Precámbrico superior denominada Grupo Sierras Bayas (Poiré, 1987) de origen marino, formada principalmente por cuarcitas, dolomías, arcillitas y calizas y otra de edad paleozoica inferior conocida como Formación Balcarce (Dalla Salda e Iñiguez, 1979), también de origen marino, formada principalmente por cuarcitas y pelitas. Los Depósitos Cenozoicos son poco potentes, se encuentran rellenando depresiones interserranas y se encuentran limitados por los afloramientos de basamento. Principalmente están formados por limos loessoides, areniscas, arcillas, rodados patagónicos, depósitos lagunares y localmente niveles marinos.

Esta región del país se caracteriza por ser uno de los centros de mayor producción de piedra partida, más precisamente en las proximidades de las localidades de Tandil y Olavarría. En esta zona se explotan rocas genéricamente denominadas “granitos”, entre las que se agrupan tanto rocas ígneas como rocas metamórficas que forman parte del mencionado Basamento Cristalino. En realidad está constituido principalmente por granitoides (granitos, adamellitas, granodioritas y tonalitas), rojizos a gris verdosos; migmatitas, gneises, milonitas, anfibolitas y diques de diabasas.

En la Figura 2 se observa un mapa de las Sierras de Tandil, donde se presenta la ubicación de las zonas de estudio.

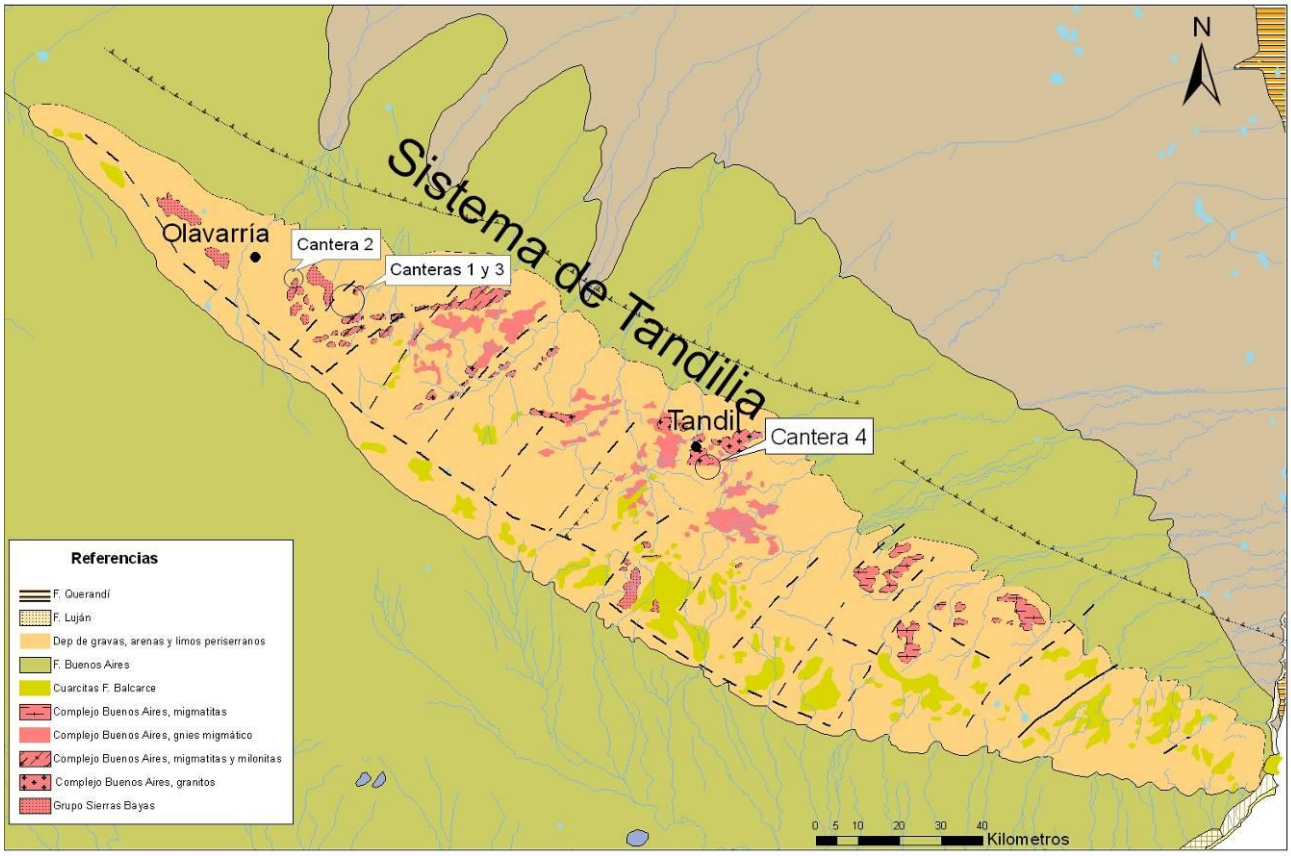

Figura 2. Mapa geológico del Sistema de Tandilia y ubicación de las canteras estudiadas.

3. Metodologías empleadas

El presente trabajo se basa en ensayos y observaciones de laboratorio que se desarrollaron en el LEMaC – UTN-FRLP (Centro de Investigaciones Viales de la Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional La Plata). La metodología de estudio aplicada consistió en seleccionar muestras de agregados de diferentes canteras de la Provincia de Buenos Aires. Estas muestras fueron estudiadas desde el punto de vista geológico y geotécnico.

En cuanto a la caracterización geológica y petrográfica se determinó la composición mineralógica y texturas que presentan los agregados, para ello se realizó la observación de las muestras tanto bajo lupa binocular como bajo el microscopio petrográfico. El equipo empleado consistió en una lupa binocular Olympus modelo SZ 61 y un microscopio petrográfico Olympus BX 51. Esta técnica consiste en realizar preparaciones de láminas delgadas de rocas y observar sus componentes mineralógicos y demás características ópticas.

Por otra parte se realizaron los análisis granulométricos y ensayos de parámetros físicos tales como cuantificaciones de forma, desgaste, peso específico, peso unitario volumétrico suelto y compactado. La fracción sobre la que se trabajó fue la que comercialmente se denomina 6:20 (partículas entre 6 y 20 mm). Estos parámetros fueron calculados en base a las normas IRAM (Instituto Argentino de Normalización y Certificación).

Una vez obtenidos los resultados de los ensayos mencionados se procedió a la aplicación del método Bailey para el diseño de las diferentes curvas granulométricas utilizando cada uno de los agregados, con el fin de confeccionar una mezcla asfáltica tipo “densa”. Cabe mencionar que además de las granulometrías 6:20, se utilizaron agregados finos de tamaño 0:6 o también llamados arenas de trituración, arena silícea, cal, como filler de aporte y finalmente cemento asfáltico de tipo CA – 30.

3.1 Descripción Petrográfica

La primera cantera estudiada (Cantera Nº 1) corresponde a una roca de color gris en la que se observa un predominio de 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.

Al microscopio se observa una incipiente planaridad dada por la orientación de minerales laminares como biotita. La roca está compuesta principalmente por cuarzo y feldespato potásico pertítico de gran tamaño. 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, como puede observarse en la Figura 3.

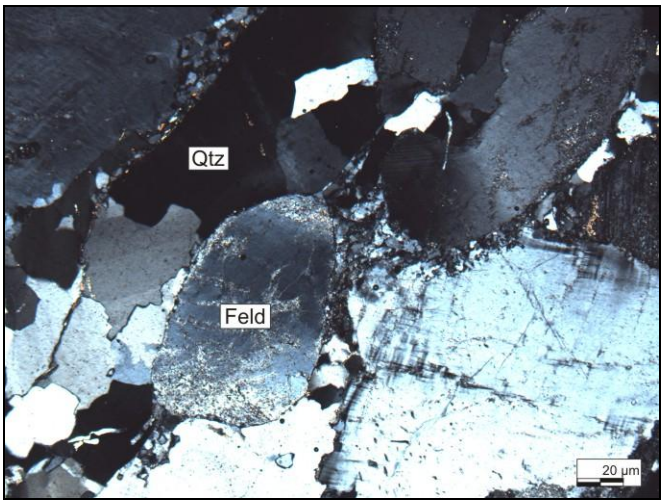

Figura 3. Microfotografía donde se muestra granos de cuarzo (Qtz) con uniones triples y mosaico cataclástico. Feldespato redondeado (Feld) y con alteración argílica. Aumento 5x, nicoles cruzados.

También se reconocen grandes cristales de plagioclasa con macla de albita, con alteración argílica de moderada a fuerte, en forma de parches. Además se reconoce una alteración diferencial en los cristales maclados donde la argilización afecta solamente a un grupo de individuos, muy probablemente los de composición más cálcica.

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.

El porcentaje relativo de minerales principales que componen la muestra se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2. Porcentaje estimado de los principales minerales componentes. Cantera Nº 1.

Cuarzo %	Feldespato K %	Plagioclasa %	Biotita %	Accesorios %
30	35	30	3	2

La cantera Nº 2 corresponde a una roca que a simple vista presenta textura bandeada tipo migmatita o gneiss de grano fino. En ella se reconocen bandas delgadas de color rosado, compuestas por feldespato potásico y predominio de un mosaico granudo gris formado principalmente por cuarzo.

Por otra parte se observa baja proporción de biotita distribuída homogéneamente ocupando espacios intergranulares.

Bajo el microscopio se observa un mosaico granular de grano medio a fino formado por cuarzo y feldespato potásico pertítico y plagioclasas. En general se observan dos tipos 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**,** como puede observarse en la Figura 4.

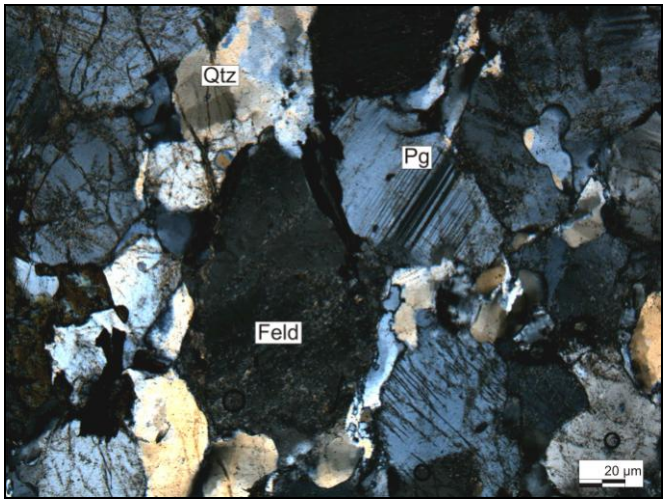

Figura 4. Microfotografía donde se observan cristales de gran tamaño de feldespato potásico (Feld) y plagioclasa (Pg) levemente argilizados y cuarzo (Qtz) con extinción ondulante. Aumento 5x, nicoles cruzados.

El feldespato potásico es de tipo pertítico con macla de microclino, presenta alteración argílica moderada, a través de planos de debilidad y en los bordes de los cristales. Las plagioclasas macladas, según macla de Albita de tablillas finas, presentan una alteración argílica moderada, selectiva a través de planos de maclas y en forma de parches.

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. En la Tabla 3 se resumen las proporciones relativas de los minerales componentes principales.

Tabla 3. Porcentaje estimado de minerales principales. Cantera Nº 2.

Cuarzo %	Feldespato K %	Plagioclasa %	Biotita %	Hornblenda %	Accesorios %
35	25	35	1	3	1

La roca de la cantera Nº 3 corresponde a un gneiss y en muestra de mano, se observa textura granuda de grano grueso en la que se distinguen cristales de mayor tamaño de cuarzo, orientados según una lineación preferencial, junto con cristales de feldespato potásico levemente alterados. Ocupando espacios intergranulares y siguiendo la misma orientación preferencial mencionada, se observan cristales de Biotita junto con cuarzo de grano más fino.

Al microscopio se observan importantes signos de cataclasis o ruptura de cristales. El tamaño de los granos de cuarzo es variable, con tamaños máximos de hasta 50 µm, con textura ondulante y uniones triples. Estas características son típicas de cataclasis y re cristalización. La proporción aproximada de cuarzo es de un 30 %.

Estos cristales aparecen formando un “bandeado” y rodeando cristales de mayor tamaño (más de 100 µm) de feldespato potásico pertítico, en alguno de los cuales pueden reconocerse maclas características de tipo microclino. La proporción de feldespato potásico es de un 35 % aproximadamente.

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 afectando a un grupo de individuos, seguramente los de composición más cálcica. La proporción de plagioclasa es del 25 % aproximadamente. Intersticialmente entre los granos de cuarzo y feldespato de mayor tamaño, se desarrollan cristales de biotita muy fracturados y de pequeño tamaño en una proporción de aproximadamente 5 %. Junto a estos cristales se desarrolla una segunda generación de granos de cuarzo y feldespato, que forman una textura en mosaico de grano fino (entre 5 y 50 µm) también con evidentes signos de cataclasis y recristalización, como puede observarse en la Figura 5.

Como minerales accesorios se reconoce la presencia de cristales redondeados de circón, apatita y granate. Además se observan minerales opacos seguramente correspondientes a hematita. En la Tabla 4 se presenta el porcentaje estimado de los componentes minerales principales.

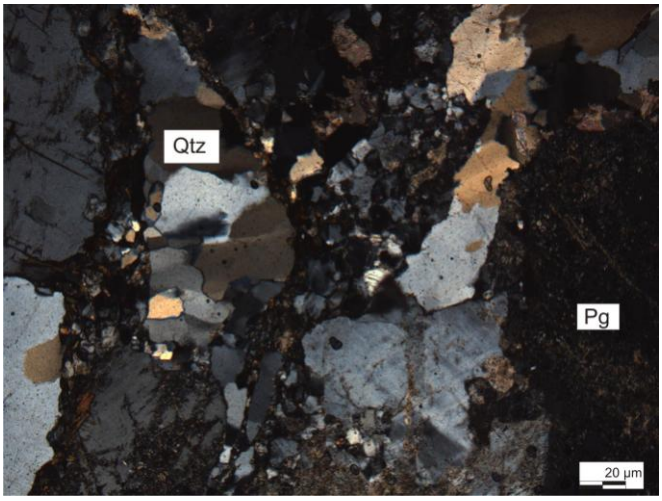

Figura 5. Microfotografía que muestra granos de cuarzo (Qtz) de dos tamaños diferentes, con texturas mortero y cristal de plagioclasa (Pg) fuertemente argilizado. Aumento 5x, nicoles cruzados

Tabla 4. Porcentaje estimado de minerales principales. Cantera Nº 3.

Cuarzo %	Feldespato K %	Plagioclasa %	Biotita %	Accesorios %
30	35	25	5	< 5

En el caso de la cantera Nº 4 la roca que se observa es del tipo granítico gris. Esta roca presenta una textura granuda a porfírica con desarrollo de cristales de feldespato 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.

Bajo el microscopio se observa una textura porfírica muy marcada compuesta por grandes cristales de feldespato potásico que presenta algunas inclusiones de biotita en forma de tablillas delgadas. Estos cristales se presentan rodeados por una masa de cuarzo cristalino de bordes irregulares y textura ondulante que reflejan un crecimiento o recristalización bajo presión como puede apreciarse en la Figura 6. El tamaño de los cristales de cuarzo es variable y oscila entre unos 40 a 10 µm aproximadamente. Ocupando espacios intercristalinos se observa la presencia de cristales de biotita levemente desferritizados y con presencia de inclusiones de circón. La roca en general presenta baja o nula alteración de sus minerales y se observa escasa argilización de los feldespatos.

En la Tabla 5 se presenta un cuadro con la proporción estimada de los minerales componentes principales.

Tabla 5. Porcentaje estimado de minerales principales. Cantera Nº 4.

Cuarzo %	Feldespato K %	Plagioclasa %	Biotita %	Accesorios %
40	35	10	10	< 5

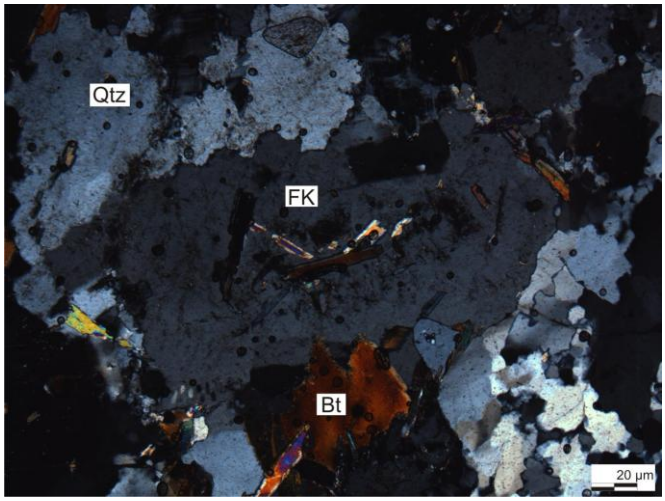

Figura 6. Microfotografía donde se observa un gran cristal central de feldespato potásico (FK) con inclusionde de biotita (Bt) rodeado por un mosaico de cristales de cuarzo (Qtz) con textura ondulante. Aumento 5x, nicoles cruzados.

3.2 Caracterización físico mecánica de los agregados

El análisis granulométrico de los agregados gruesos, se realizó en base a la norma IRAM 1505 y los resultados obtenidos para cada una de las canteras se detallan en la Tabla 6.

Tabla 6. Granulometrías de áridos 6:20.

Nº Tamiz	Cantera Nº 1	Cantera Nº 2	Cantera Nº 3	Cantera Nº 4
	% Que pasa acumulado			
3/4	93,5	96,5	87,6	97,93
1/2	47,4	43,5	42,3	60,03
3/8	24,3	19,8	18,6	38,35
4	2,9	3,9	2,5	4,60
10	0,6	1,7	0,6	0,93
100	0,4	0,9	0,4	0,34
200	0,3	0,8	0,3	0,21

El Índice de Lajas permite evaluar el factor de forma de los agregados para lo cual se realizó el ensayo en base a la norma IRAM 1687-1. Cabe mencionar que el valor numérico obtenido representa el porcentaje de partículas lajosas, es decir que a menor valor mayor cubicidad del agregado. El desgaste fue evaluado a través del ensayo Los Ángeles utilizando la norma IRAM 1532, el valor numérico representa el porcentaje de la muestra que se desgastó. Es decir que a mayor valor menor resistencia al desgaste.

Para determinar el peso específico a masa saturada superficie seca (Pe sss), se utilizó la norma 1533 y los pesos unitarios volumétrico (PUV) tanto suelto como compactado se realizaron siguiendo la norma IRAM 1548. En la Tabla 7 se sintetizan los resultados obtenidos para cada una de las canteras.

Tabla 7. Resumen de resultados de laboratorio.

	Índice de lajas	Desgaste Los Ángeles	PUV suelto AG (Kg/m^3)	PUV compactado AG (Kg/m^3)	Pe AG sss (Kg/m^3)
Cantera 1	11	26	1474	1547	2745
Cantera 2	18,6	24	1461	1479	2698
Cantera 3	27	25	1449	1495	2755
Cantera 4	17	28	1395	1478	2672

4. Tecnologías de trituración

Las propiedades físicas de la roca, es decir sus componentes minerales, el tamaño de grano de los mismos y la relación que existe entre ellos, influyen en la forma y tamaño del agregado que se obtiene durante el proceso de trituración. La relación que existe entre las propiedades de la roca y el tipo de tecnología de trituración, fue estudiada en Correa et al. (2010). En las canteras que se presentan en este trabajo se ha observado que cada una de ellas utiliza diferentes métodos y maquinarias de trituración con el objeto de obtener agregados que cumplan con los requerimientos del mercado en términos de forma y tamaño.

En general la trituración se realiza en dos etapas: una primaria, empleando trituradoras de mandíbulas y otra secundaria, con trituradoras de conos, como puede observarse en la Figura 7. En cada etapa puede haber una cantidad variable de trituradoras dependiendo de las características de la roca.

En el caso de la cantera Nº 2 se adiciona otro tipo de equipo denominado “impactor dual”. Éste se utiliza en aquellos casos en que la roca al ser triturada se parte en agregados con forma de lajas, lo cual puede estar relacionado directamente con la presencia de planos de debilidad preexistentes, así como también con la velocidad de las trituradoras

ya que las más lentas tienen mayores posibilidades de formar partículas lajosas. Al hacer pasar los fragmentos de roca por el impactor, se produce en choque adicional entre los mismos que favorece la obtención de formas cúbicas.

Figura 7. Vista de una línea de trituración secundaria con trituradoras de conos.

5. El Método Bailey

El método Bailey se utiliza en el diseño de curvas granulométricas para mezclas asfálticas realizando cálculos volumétricos, a diferencia del método tradicional en el que la mejor combinación de granulometrías se realiza por "tanteo" en base a experiencias previas para reducir el ahuellamiento y obtener una alta durabilidad. El método Bailey tiene en cuenta las características del empaquetamiento del agregado y la definición de agregado grueso y fino no es la convencional en donde el tamiz de corte entre ellos es el de 4,75 mm, sino que es una definición más específica. Se considera el esqueleto mineral formado por los agregados de mayor tamaño como árido grueso y los agregados que rellenan los espacios vacíos dejados por éstos como agregado fino. A su vez, los espacios que quedan como para ser llenados por el ligante asfáltico, dependerán de la forma, textura superficial, angularidad, y distribución de los tamaños de las partículas, además de la energía de compactación (Transportation Research Board, 2002).

Con esa definición, es necesario más de un tamiz de control para la división entre agregado grueso y fino, esos tamices van a depender del tamaño máximo nominal de la mezcla. El tamaño máximo nominal (TMN) es definido, según las especificaciones Superpave, como un tamiz más grande que el tamiz que retiene más del 10 % del material.

En el Método Bailey, el tamiz que define la división entre agregado grueso y fino es el llamado Tamiz de Control Primario (TCP), el cual es calculado como se indica en la Ecuación 1

$$TCP = TMN * 0{,}22 \qquad (1)$$

Donde:
TCP = Tamiz de Control Primario
TMN = Tamaño Máximo Nominal

Para la Aplicación del Método Bailey se debe conocer: el peso unitario volumétrico (PUV) suelto del agregado grueso, PUV compactado del agregado grueso, PUV compactado del agregado fino, granulometría de los agregados gruesos, finos y del filler de aporte; peso específico de los agregados gruesos, finos y del filler de aporte.

Para realizar el diseño de una mezcla a partir del Método Bailey, debe seleccionarse un porcentaje del PUV suelto del agregado grueso que será el PUV elegido. En las mezclas densas, como en este caso, este porcentaje debe ser menor al 90 % del PUV suelto y suele estar cercano al 70 %.

Una vez seleccionado el peso unitario deseado del agregado grueso, se determina el porcentaje de vacíos generados por el agregado grueso, utilizando el peso específico y el PUV elegido. Esto permite determinar la cantidad de agregado fino necesaria para cubrir la totalidad de vacíos generados por el agregado grueso.

Utilizando el peso específico de cada fracción, se determina el peso total y se convierte a porcentajes individuales de agregado en la mezcla. Luego se corrigen esas fracciones por la cantidad de agregado fino que aporta el agregado grueso y por la cantidad de agregado grueso que aporta el agregado fino, para mantener la mezcla deseada en volumen

tanto de agregado grueso como de fino. Una vez hecho esto se determina la mezcla ajustando el porcentaje de cada agregado en peso.

Si se va a utilizar relleno mineral (RM) o partículas finas, se ajustan los porcentajes de partículas finas para mantener la mezcla deseada en volumen de agregado grueso y fino. Finalmente se determinan los porcentajes individuales en peso para la mezcla combinada.

Para la evaluación de la mezcla diseñada se realizan las determinaciones de nuevos tamices de control que se denominan Tamiz de Control Secundario (TCS) y el Tamiz de Control Terciario (TCT) y el Tamiz Medio (Tm), estos cálculos se realizan, como queda indicado en las ecuaciones 2, 3 y 4 respectivamente. Los tamices obtenidos por estos cálculos se utilizan para dividir la mezcla en tres porciones, porción gruesa (AG), porción gruesa de agregado fino (GAF) y porción fina de agregado fino (FAF), cuyo cálculos se indican en las ecuaciones 5, 6 y 7.

$$TCS = TCP * 0{,}22 \quad (2)$$

$$TCT = TCS * 0{,}22 \quad (3)$$

$$Tm = TMN / 2 \quad (4)$$

$$\text{Porción AG} = \frac{(\%\ \text{pasante del tamiz medio} - \%\ \text{pasante del TCP})}{(100\ \% - \%\ \text{pasante del tamiz medio})} \quad (5)$$

$$\text{Porción GAF} = \frac{\%\ \text{pasante del TCS}}{\%\ \text{pasante del TCP}} \quad (6)$$

$$\text{Porción FAF} = \frac{\%\ \text{pasante del TCT}}{\%\ \text{pasante del TCS}} \quad (7)$$

Estas proporciones evalúan separadamente y con mayor precisión cómo se comporta cada una de las fracciones granulométricas en la muestra.

En mezclas densas la evaluación de la misma se realiza en un segundo proceso de análisis que evalúa la mezcla de granulometrías combinadas por debajo del Tamiz de Control Primario Original (TCP) como una mezcla entera por sí misma. La porción que esta por debajo del TCP se convierte en 100 % pasando dicho tamiz y luego es evaluada como una mezcla de agregado grueso y fino con un Tamaño Máximo Nominal (TMN) igual al TCP original. Se determina entonces un nuevo TCP, junto con un tamiz medio, y tamices de control secundario y terciario. Se calculan nuevamente las porciones y se evalúan como el proceso anterior.

En síntesis, el diseño y análisis de una mezcla por el método Bailey se basa en cuatro parámetros: El PUV elegido, la proporción de árido grueso, la proporción gruesa de agregado fino y la proporción fina de agregado fino.

Los cambios de cualquiera de estos parámetros afectan los vacíos del agregado mineral (VAM), la construcción y el rendimiento de la mezcla asfáltica. En líneas generales los cambios se manifiestan de la siguiente manera: al aumentar la proporción de agregado grueso y/o el peso unitario elegido, aumentarán los VAM; mientras que si disminuyen la proporción de agregado grueso, aumenta la segregación potencial, y si aumentan las proporciones gruesas y finas del agregado fino, disminuirán los vacíos del agregado mineral.

Siguiendo el procedimiento de cálculo explicado anteriormente, se diseñaron las curvas granulométricas para cada una de las canteras estudiadas, las cuales fueron analizadas y comparadas entre sí para establecer las relaciones que se discuten en este trabajo.

6. Relaciones establecidas y discusión de los resultados

Sobre la base de los resultados obtenidos se han relacionado de qué manera influyen los parámetros geológicos, físicos y mecánicos de las rocas en los cálculos que se utilizan para la aplicación del método Bailey.

En este sentido, las relaciones más importantes son las siguientes: para agregados con un mismo PUV y diferente peso específico, el porcentaje de vacíos calculados por el método Bailey variará directamente en función de la composición mineralógica de la roca. En este caso en particular, las canteras estudiadas poseen valores similares de peso específico ya que sus composiciones mineralógicas son muy similares.

A su vez, la variación del PUV está directamente relacionada con la forma de las partículas y distribución de la curva granulométrica, lo cual depende de la tecnología de trituración que se aplica. Esto puede observarse en los resultados presentados en la Tabla 7 que en el caso de la cantera Nº1, el valor de índice de lajosidad más bajo se corresponde con el peso unitario suelto y compactado, más alto.

La distribución de la granulometría del árido grueso influye directamente en la proporción de material "fino" que forma parte del árido grueso. Esto significa que cuanto más distribuida en toda la serie de tamices se encuentra la granulometría de las partículas, habrá una menor proporción de vacíos en el agregado mineral, ya que los diferentes tamaños se acomodan para formar una composición más compacta. Por otra parte, cuanto más monogranular sea el árido habrá un mayor porcentaje de vacíos. A su vez, el análisis detallado de los cálculos, permite observar que cuando la proporción de material que pasa por el tamiz de corte entre agregado grueso y fino (tamiz de control primario, en este caso tamiz Nº 4) es del orden del 2,5 – 3 % (ver Tabla 6) el porcentaje elegido del PUV suelto que se toma para el cálculo es del 70 %; mientras que cuando la proporción de material fino es mayor, como en el caso de la cantera Nº 2 (ver Tabla 6) el porcentaje del PUV suelto elegido disminuye a un 65 %.

Esto significa que la mayor cantidad de agregado fino presente en el grueso determina que sea necesario tomar un menor porcentaje de PUV suelto en el cálculo, para mantener la proporción mínima necesaria de agregado grueso en la mezcla, de manera tal que la curva de la mezcla cumpla con los parámetros exigidos.

Conclusiones

Como aporte final se puede concluir que en el diseño de curvas granulométricas para mezclas asfálticas resulta significativo el conocimiento del origen de cada árido. No sólo por razones de adherencia árido – ligante donde el origen del árido juega un rol fundamental, sino también por las relaciones volumétricas y de espesores en la dosificación total de áridos. Esto queda expresado en las consideraciones del diseño efectuadas por el método Bailey.

La observación integral de los agregados que se aconseja realizar antes de un diseño deberá comprender, a juicio de los autores, las etapas de valoración geológica de origen y adecuación del sistema de trituración para que en torno a ello se puedan obtener propiedades físico – mecánicas como las enunciadas, que permitan actuar ingenierilmente sobre los mismos y no resignarse a que se debe aceptar el árido en las condiciones iniciales, sin intervenir en los orígenes y procesos de obtención.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento al personal de las canteras de las zonas de Olavarría y Tandil por la atención recibida en las visitas realizadas, y a los becarios Juan Pablo Nieto y Natalia Alderete por las contribuciones aportadas a este trabajo.

Bibliografía

CORREA, M. J., BOTASSO, G. H., SOENGAS, S. J., REBOLLO, O. R., GARCíA EILER, L. 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. 13pp. 2010.

DALLA SALDA, L.H. E IÑIGUEZ RODRÍGUEZ, M. "La Tinta", Precámbrico y Paleozoico de Buenos Aires. 7° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 539-550, Neuquén. 1979.

DI PAOLA Y MARCHESE. Relación entre la tectosedimentación, litología y mineralogía de arcillas del Complejo Buenos Aires y la Formación La Tinta. Revista de la Asociación Mineralogía, Petrología y Sedimentología v. 3 - 4 Buenos Aires. 1974.

HARRINGTON, H. J. Morphostructural Provinces, Argentina, Paraguay and Uruguay. Jenks, W., ed., Handbook of South American Geology. Geological Society of America, Memoir 65: 1-378. 1956.

NÁGERA, J. J. Historia Física de la Provincia de Buenos Aires, Tomo I Tandilia. Biblioteca Humanidades XXIV. La Plata. 1940.

POIRÉ, D. G. Mineralogía y Sedimentología de la Formación Sierras Bayas en el núcleo septentrional de las sierras homónimas, Olavarría, provincia de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Naturales y Museo de la Plata, Tesis Doctoral, (inédita), 494 pp. 1987.

STIPANICIC P, N. y LINARES, E. Edades radimétricas determinadas para la República Argentina y su significado geológico. Bol. Acad. Nac. Ciencias de la República Argentina. XLVII 1º entrega 51- 96. Córdoba. 1969.

TRANSPORTATION RESEARCH BOARD. Bailey Method for gradation selection in hot-mix Asphalt mixture design. E- Circular, Number EC-044. 39 pp. 2002.