

Artículo 5

ESTUDIO DE ARENAS DE TRITURACIÓN PARA EL REEMPLAZO DE ARENAS NATURALES EN LA ELABORACIÓN DE MORTEROS Y HORMIGONES.

-Rolny Daiana Gisele¹⁻⁴⁻⁵⁻⁶, Couyoupetrou Luis²⁻³⁻⁴⁻⁶, Ontivero Emiliano Pablo²⁻³⁻⁴, Etcheverry Ricardo¹⁻⁵, Forte Luis María⁴⁻⁶.

¹Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET); ²Comisión de Investigaciones Científicas (CIC); ³Universidad Nacional de La Plata (UNLP); ⁴Instituto de Geomorfología y Suelos (IGS- CISAUA), FCNyM-UNLP; ⁵Instituto de Recursos Minerales (INREMI), FCNyM-CIC; ⁶Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Nacional de La Plata.

Contacto: dgrolny@igs.edu.ar, +54 (0221) 422-9923, La Plata, Buenos Aires, Argentina.

Palabras clave: hormigón, agregados pétreos, arenas de trituración, gestión de residuos.

Resumen:

El hormigón es uno de los materiales de uso más difundido a nivel global. Su empleo, demanda grandes volúmenes de recursos naturales no renovables y elevados consumos de energía. Aproximadamente el 75% de su volumen se encuentra constituido por los agregados pétreos, y el 40% de éste por el agregado fino o arena. Este último debe reunir determinadas propiedades de forma, textura, granulometría, mineralogía, etc., que condicionan su uso y muchas veces no se encuentran disponibles. Algunas arenas fluviales, reúnen en conjunto las mejores propiedades tecnológicas, pero su extracción demanda altos consumos de energía durante las operaciones de navegación y dragado. Por otro lado, la explotación de rocas de aplicación para la obtención del agregado grueso, genera un subproducto sólido equivalente al 30% de la producción. Se trata de un estéril inerte que constituye una "arena marginal", y que al carecer de valor comercial es gestionado como un residuo de la actividad. En la provincia de Buenos Aires, se producen más de 10 Mt/año de rocas para triturados pétreos, generando un sub-producto sólido equivalente a 4Mt/año de "arenas marginales" o de trituración. Este residuo de la actividad, tiene implícita la energía consumida en todas las operaciones, que incluyen arranque por voladura, acarreo, trituración, cribado, etc. El empleo de arenas de trituración en reemplazo de arenas naturales para la elaboración de hormigón, se remonta a más de 100 años atrás. Recientemente, por motivos económicos y ambientales, su uso ha sido incorporado en normas y regulaciones. En

En Argentina, el Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón, permite el empleo de hasta un 30% de arenas trituradas en el agregado fino del hormigón. El objetivo del presente trabajo, fue estudiar la forma, textura superficial y granulometría de arenas de trituración de explotaciones de rocas de aplicación, ubicadas en la provincia de Buenos Aires. Se estudiaron de manera preliminar, las arenas de trituración generadas en el 75% de los establecimientos mineros registrados en la Dirección Provincial de Minería de la provincia de Buenos Aires. La forma y textura, se analizó utilizando lupa binocular y microscopio para las fracciones menores a 250H. La distribución del tamaño de partículas, se llevó a cabo mediante tamizado en seco. Los resultados mostraron un buen ajuste a la curva óptima de distribución granulométrica, textura rugosa a cristalina, e índices de esfericidad y redondez que podrían condicionar la trabajabilidad.

Introducción:

El hormigón, es uno de los materiales de uso más difundido en el nivel global. Su empleo, demanda la explotación de grandes volúmenes de recursos naturales no renovables y elevados consumos de energía. Aproximadamente el 75% de su volumen se encuentra constituido por los agregados pétreos. El 40% de éste, es ocupado por el agregado fino o arena, cuyas propiedades controlan muchas características del hormigón tanto en estado fresco como endurecido.

En la provincia de Buenos Aires, la explotación de arenas naturales para su aplicación como agregado fino en morteros y hormigones, se realiza principalmen-

te en dos grandes regiones: el delta del río Paraná y la costa atlántica.

En el delta del río Paraná, las arenas se extraen de los lechos de ríos y canales. Se trata de materiales con granos redondeados a subredondeados, abundancia de cuarzo y predominio de materiales finos. La producción de arena en esta zona, alcanzó en el año 2004 a 720.000 tn por mes, lo que pone de manifiesto su importancia como fuente de agregados finos para la construcción (Caballé et al, 2005).

La provincia de Buenos Aires, posee un extendido litoral marítimo que ha dado origen a la extracción de arena de playa para su empleo como agregado fino en hormigones (Cabrera et al, 2010). Las características físicas que condicionan su uso, se deben principalmente a la abundancia de partículas planas, que obligan a controlar la consistencia mediante el aumento de la pasta cementante (Cabrera et al, 2010). Además, pueden presentar contenidos de constituyentes reactivos que reaccionan con los álcalis del cemento (Maiza y Marfil, 2010). Las explotaciones se encontraron alentadas por ventajas económicas derivadas de las cortas distancias a los centros de consumo, en una zona que no dispone de yacimientos alternativos de agregados finos para hormigones. Estas explotaciones, han activado procesos de erosión, retroceso y pérdida de playas, por déficit de arena en la corriente de deriva litoral, generando importantes impactos ambientales negativos. (Marcomini y Lopez, 1999; Marcomini y Lopez, 2007).

Según datos del Censo Nacional Minero de 2004, en la provincia de Buenos Aires se producían alrededor de 5,4 Mt/año de arenas naturales para construcción. Sin embargo, no todas las arenas explotadas cumplen con los requerimientos establecidos en las normas y reglamentos. De esta manera, las mismas reciben la denominación de "arenas marginales", en los términos de Cabrera (Cabrera et al, 2010).

La escasez de fuentes de abastecimiento de arenas naturales, que reúnan las características requeridas en las normas y regulaciones, y que se encuentren además próximas a los principales centros de consumo, pone de manifiesto la necesidad de encontrar yacimientos de materiales alternativos.

La explotación de rocas de aplicación para la obtención de agregado grueso para el hormigón, genera un sub-producto sólido equivalente al 30% de la

producción. Este constituye una potencial arena, y es gestionado en las mineras como un residuo de la actividad. En la provincia de Buenos Aires, según datos del Censo Nacional Minero, se producen más de 10 Mt/año de rocas para triturados pétreos, lo que provoca un sub-producto equivalente a 4Mt/año de potenciales arenas.

Este residuo de la actividad, de tamaño variable $\leq 8000 \mu$, tiene implícita la energía consumida en todas las operaciones necesarias para la producción del agregado grueso, que incluyen arranque por voladura, acarreo, trituración y cribado, etc. Sobre la base de algunas estadísticas internacionales, que ilustran acerca del consumo energético en las explotaciones de áridos para la construcción, se sabe que en las explotaciones de áridos de la Comunidad de Madrid, según datos presentados por la Conserjería de Economía y Hacienda, el consumo medio de energía se ubicó en torno a los 10 kwh/t. La extrapolación de estos valores a la provincia de

Buenos Aires, que es una de las principales productoras mineras del país, con todas las reservas que corresponde considerar, indicarían la existencia de una "energía potencial" acumulada en estas potenciales arenas, equivalente a 40.000 Mwh/año.

Recientemente, por razones económicas y ambientales, el empleo de las arenas de trituración ha sido incorporado a las normas y regulaciones. La normativa española, por caso, admite el empleo de arenas de trituración como árido fino, en tanto éstas cumplan un conjunto de restricciones. Por su parte, el Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón, permite el empleo de hasta un 30% de arenas trituradas en el agregado fino del hormigón.

El agregado fino ideal debe reunir determinadas propiedades de forma, textura superficial, granulometría, características químicas, mineralogía, etc., que condicionan su uso. Las mayores limitaciones de las arenas trituradas, residen en la forma angular a sub-angular de las partículas y en su textura superficial rugosa. Estas características, condicionan la docilidad de las mezclas, e influyen decisivamente en la relación agua cemento (w/c). Desde la generalización del uso del hormigón, numerosos esfuerzos han sido dedicados al estudio de la forma y textura superficial del árido grueso. Sin embargo, existen pocos trabajos orienta-

dos al conocimiento de la forma y textura superficial de las arenas de trituración, y en nuestro medio, estos estudios son aún más escasos.

Recientemente, algunos estudios fueron realizados con el propósito de conocer el comportamiento de morteros y hormigones elaborados con áridos finos de trituración, los cuales sugieren la conveniencia técnica, económica y ambiental de su aplicación, sujeta a una serie de alternativas para asegurar que se cumplan los requerimientos de docilidad, resistencia mecánica y durabilidad ante distintas condiciones de exposición (Cabrera et al, 2010; Cabrera et al, 2010; Cabrera et al, 2011).

En la provincia de Buenos Aires, la producción de agregados gruesos de trituración, se concentra en un número importante de establecimientos registrados, que se ubican en los partidos de Azul, Balcarce, Benito Juárez, Gral Pueyrredón, Tandil (sierras Septentrionales) y Bahía Blanca y Tornquist (sierras Australes).

La determinación de las características físicas, químicas y mineralógicas de las arenas de trituración, sería de importante utilidad práctica para el conocimiento cualitativo y cuantitativo de este recurso potencial. La factibilidad de su empleo en la sustitución parcial o total del agregado fino natural, ajustado en cada caso a los requerimientos de docilidad, resistencia y durabilidad de morteros y hormigones, contribuiría a mejorar la gestión ambiental de la actividad, así como la rentabilidad de las explotaciones.

En trabajos anteriores (Rolny et al, 2014) se estudiaron tres arenas de trituración de origen granítico, procedentes de la zona de Tandil. Los resultados que se obtuvieron sobre estas arenas, sobre todo en el estudio de distribución granulométrica, donde mostraron un mejor ajuste que la arena natural ensayada, sugirieron continuar con el estudio de estas arenas.

Metodología:

Se accedió al registro actualizado de productores mineros en actividad, contando para ello con la colaboración de la Dirección Provincial de Minería y de la Cámara de la Piedra de la provincia de Buenos Aires. Los establecimientos se organizaron por zona, y se discriminaron por roca explotada, producción mensual e influencia relativa en el total provincial (Tabla 1).

La distribución del tamaño de partículas se llevó a cabo mediante tamizado mecánico en seco, utilizando la serie de tamices 4000 μ ; 2000 μ ; 1000 μ ; 500 μ ; 250 μ ; 125 μ ; 62 μ y fondo. El control de ajuste de los resultados, se llevó a cabo mediante la representación de las curvas dentro del huso granulométrico establecido para el árido fino en la Instrucción del Hormigón Estructural (EHE, 1999).

| Zona | Identificación Establecimiento | Cantidad de Establecimientos | | Prod. mensual tn/mes | Prod. mensual % |
|-----------------|--------------------------------|------------------------------|----------|----------------------|-----------------|
| | | Granitoide | Cuarcita | | |
| Olavarría | 1 a 9 | 9 | 0 | 731000 | 48% |
| Azul | 10 a 14 | 5 | 0 | 330000 | 21% |
| Tandil | 15 a 18 | 4 | 0 | 210000 | 14% |
| Lobosía | 19 | 1 | 0 | 25000 | 2% |
| Balcarce | 20 a 23 | 4 | 0 | 47000 | 3% |
| Mar del Plata | 24 a 30 | 0 | 7 | 142500 | 9% |
| Tornquist-Pigüé | 31 a 32 | 1 | 1 | 50000 | 3% |
| Total | | 24 | 8 | 1535500 | 100% |

Tabla 1: Establecimientos mineros por ubicación, roca explotada, producción mensual y % relativo al total provincial.

Fuente: Dirección Provincial de Minería.

La textura superficial, se determinó de manera visual bajo lupas binoculares de 20X y 50X. El análisis se realizó sobre las fracciones mayores a 125 μ , utilizando las categorías: rugosa; cristalina y lisa.

El estudio de la forma, hace referencia a los índices de redondez y esfericidad. La primera, desde el punto de vista geológico refleja la historia de transporte y abrasión de los clastos, y en la ingeniería, es una medida cuantitativa que expresa la angulosidad de los agregados, condicionando la trabajabilidad. La esfericidad, expresa cuantitativamente el grado de aproximación de una partícula a una esfera de igual tamaño (Krumbein, 1941; Riley, 1941).

En trabajos anteriores (Rolny et al, 2014), para determinar la forma se aplicaron dos métodos, la medición directa sobre los clastos y la comparación de los clastos con la carta de formatos patrón (Wadell, 1932). En ambos casos, se había trabajado sobre las imágenes capturadas por las cámaras incorporadas a la lupa y al microscopio. La comparación de los clastos con formatos patrones, que fue realizada por distintos obser-

vadores promediando luego los resultados, arrojó valores idénticos a los obtenidos por el método de medición directa.

Este ajuste del método permitió que en esta oportunidad, dada la gran cantidad de clastos a estudiar, la forma se determine a partir de la observación y comparación con la carta de formato patrón

Para las fracciones comprendidas entre 4000μ y 250μ , los observadores emplearon lupas binoculares de 20X y 50X. En el caso de las fracciones menores a 250μ , las observaciones se hicieron sobre las imágenes captadas con la cámara incorporada al microscopio.

Las mismas propiedades se determinaron para dos muestras de arena natural de diferente granulometría. Una de las muestras fue provista por la firma Silos Areneros SA, ubicada en el puerto de la ciudad de Buenos Aires, y se trata de una arena gruesa (AG). La otra, es una arena fina (AF) que se adquirió en un corralón de la ciudad de La Plata.

Resultados y Discusión:

Hasta la fecha se recorrieron tres zonas, Olavarría-Azul, Tandil-Lobería y Balcarce-Mar del Plata (Figura 1). Se logró acceder al 80% de los establecimientos registrados en estas zonas. En todos los casos, se tomaron muestras de la escombrera mediante técnicas de cuarteo, y luego se trasladaron a laboratorio para ejecutar las posteriores determinaciones.



Figura 1: Localización de los establecimientos mineros registrados y recorridos. Fuente: Elaboración propia.

Distribución Granulométrica:

En la figura 2, se puede observar la distribución granulométrica de la totalidad de las muestras. En primera instancia, se puede indicar que de las dos arenas naturales analizadas, sólo una se desarrolló dentro del huso granulométrico. Mientras que en las arenas de trituración, más de la mitad se mantuvo dentro de los límites.

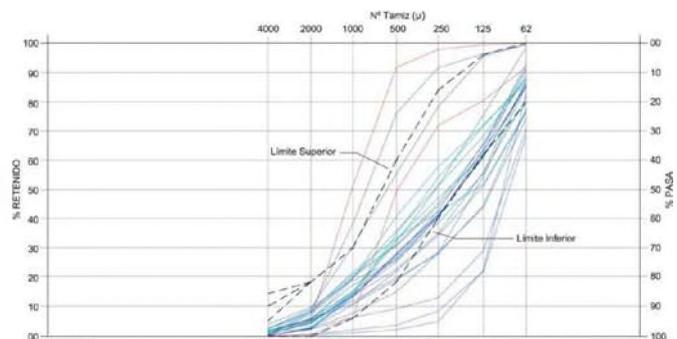


Figura 2: Distribución granulométrica de todas las arenas. Arenas naturales (color rojo) - Arenas cuarcíticas (color verde) - Arenas graníticas (color azul). Fuente: Elaboración propia.

Con el fin de simplificar la lectura de la curva, se volcaron en tres gráficos diferentes los tres tipos de roca analizada. En la figura 3, se puede observar que ambas arenas naturales mostraron un exceso de material fino, que se manifestó en la forma que tomó su curva, en el tramo correspondiente a los tamaños 500μ a 62μ . En el caso de AF, este exceso fue mayor y provocó que a partir del tramo 1000μ la curva exceda los límites y se mantenga por fuera el resto del desarrollo. Las arenas cuarcíticas, salvo alguna excepción, desarrollaron su curva equilibradamente dentro del huso. Sólo denotaron un pequeño exceso de fino en el tramo correspondiente a 500μ , que se hizo visible por una pequeña prominencia (Figura 4). Por último, las graníticas se comportaron de manera opuesta al resto, desarrollando una curva de sentido inverso. Las que se desarrollaron dentro del huso, en su mayoría se acercaron al límite inferior a partir del tramo 250μ , marcando un exceso de material grueso. En otros casos, este exceso se dió a partir de fracciones más chicas y en mayor porcentaje, ocasionando que la curva exceda el límite inferior (Figura 5).

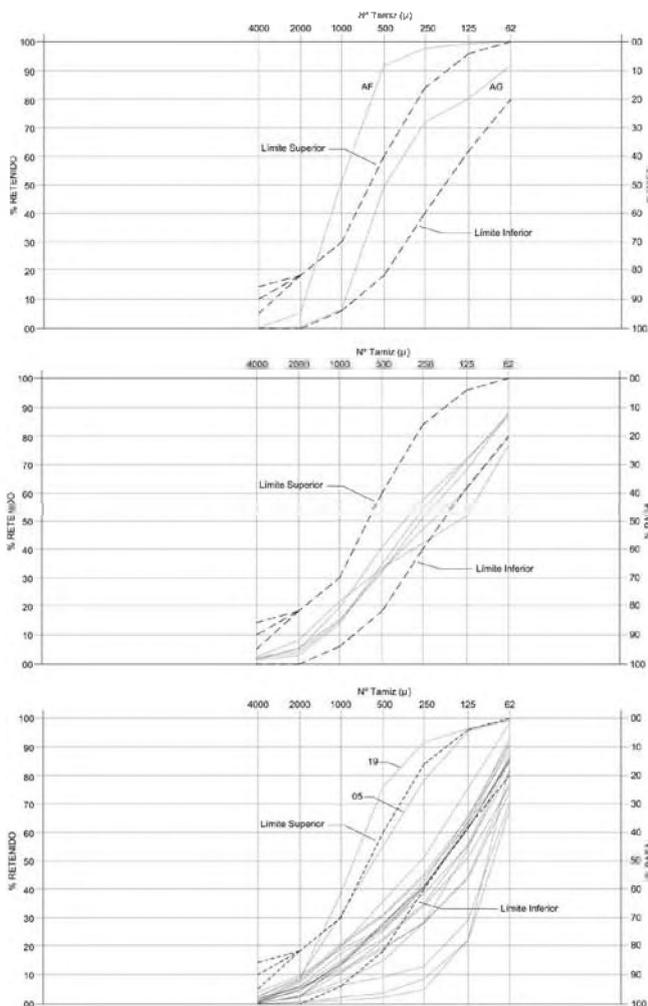


Figura 3: Distribución granulométrica de las arenas naturales.

Figura 4: Distribución granulométrica de las arenas de trituración cuarcíticas.

Figura 5: Distribución granulométrica de las arenas de trituración graníticas.

Fuente: Elaboración propia.

Se encontraron excepciones en el comportamiento de algunas muestras. La muestra 27, a diferencia del resto de las cuarcíticas, presentó un exceso de material grueso a partir del tramo 125µ (Figura 4). En lo que respecta a las graníticas, se encontraron dos excepciones. Las muestras 05 y 19 manifestaron un exceso de material fino, más agudo en el primer caso, donde la curva queda casi en su totalidad fuera del límite superior (Figura 5).

En las Tablas 2, 3 y 4, se presentan los valores correspondientes a la distribución del tamaño de partículas de todas las arenas estudiadas, y el módulo de finura correspondiente.

La mayor parte de las arenas de trituración analizadas, mostró una distribución del tamaño de partículas que asegura una buena curva de ajuste granulométrico. Si bien la arena gruesa se manifestó dentro del uso, las arenas de trituración que también lo hicieron desarrollaron una curva más armónica.

Los casos de las arenas que presentaron comportamientos muy dispares con el resto, deberían analizarse

con cuestiones propias al Establecimiento, como son el acopio, la maquinaria, si es una de las primeras explotaciones que realiza el Establecimiento, etc.

| Tamiz (µ) | 01 | 03 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| % Ret. Acum. |
| 4000 | 2,29 | 1,64 | 3,38 | 2,28 | 2,35 | 3,32 | 1,57 | 1,07 | 1,99 |
| 2000 | 5,68 | 4,72 | 9,45 | 5,95 | 6,09 | 8,44 | 5,24 | 3,12 | 7,08 |
| 100 | 11,30 | 14,35 | 32,97 | 12,50 | 17,42 | 21,35 | 14,62 | 5,71 | 19,83 |
| 500 | 17,96 | 26,83 | 55,07 | 18,46 | 26,34 | 32,61 | 26,62 | 8,08 | 31,79 |
| 250 | 27,40 | 41,81 | 78,70 | 26,99 | 37,80 | 46,14 | 41,43 | 13,96 | 44,69 |
| 125 | 44,40 | 63,66 | 95,79 | 44,36 | 55,05 | 65,10 | 62,31 | 29,49 | 62,36 |
| 62 | 76,53 | 90,45 | 99,97 | 78,97 | 80,76 | 89,09 | 86,50 | 70,47 | 85,89 |
| M.F. | 1,86 | 2,43 | 3,75 | 1,90 | 2,26 | 2,66 | 2,38 | 1,32 | 2,54 |

| Tamiz (µ) | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 21 |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| % Ret. Acum. |
| 4000 | 0,40 | 4,81 | 1,43 | 1,05 | 2,32 | 1,01 | 2,41 | 2,39 | 1,30 |
| 2000 | 1,09 | 9,69 | 3,39 | 3,92 | 7,35 | 3,62 | 5,80 | 8,11 | 4,12 |
| 100 | 2,44 | 17,08 | 7,64 | 13,98 | 19,88 | 11,03 | 15,28 | 39,34 | 14,03 |
| 500 | 4,48 | 26,48 | 14,30 | 28,59 | 35,04 | 22,51 | 27,45 | 76,20 | 23,32 |
| 250 | 9,31 | 40,51 | 28,53 | 41,95 | 51,81 | 34,29 | 43,73 | 93,01 | 35,41 |
| 125 | 22,93 | 64,21 | 55,47 | 61,76 | 75,48 | 51,94 | 66,47 | 97,50 | 56,32 |
| 62 | 68,47 | 94,49 | 85,03 | 86,79 | 98,89 | 76,62 | 91,55 | 99,18 | 88,95 |
| M.F. | 1,09 | 2,57 | 1,96 | 2,38 | 2,91 | 2,01 | 2,53 | 4,16 | 2,23 |

| Tamiz (µ) | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 29 | AG | AF |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| % Ret. Acum. |
| 4000 | 0,21 | 1,58 | 1,86 | 1,76 | 2,52 | 2,03 | 0,14 | 0,54 |
| 2000 | 0,73 | 3,89 | 4,69 | 5,22 | 7,52 | 5,17 | 0,60 | 5,90 |
| 100 | 1,52 | 13,85 | 15,07 | 16,75 | 21,94 | 19,18 | 6,30 | 51,72 |
| 500 | 2,26 | 35,63 | 33,17 | 33,04 | 33,94 | 41,13 | 49,90 | 93,72 |
| 250 | 5,57 | 54,41 | 52,88 | 47,36 | 42,64 | 58,25 | 72,11 | 98,96 |
| 125 | 22,12 | 72,42 | 68,88 | 61,82 | 51,91 | 71,76 | 80,31 | 99,78 |
| 62 | 82,89 | 88,39 | 88,68 | 79,98 | 77,62 | 86,98 | 92,37 | 100,00 |
| M.F. | 1,15 | 2,70 | 2,65 | 2,46 | 2,38 | 2,85 | 3,02 | 4,51 |

Tabla 2: Distribución de tamaño de partículas y módulo de finura de las muestras 01 a 11.

Tabla 3: Distribución de tamaño de partículas y módulo de finura de las muestras 12 a 21.

Tabla 4: Distribución de tamaño de partículas y módulo de finura de las muestras 23 a 29, AF y AG.

Fuente: Elaboración propia.

Textura:

En la mayor parte de las muestras, la tendencia del análisis de la textura superficial de las partículas, mostró texturas rugosas a cristalinas en las fracciones > 500µ, y texturas predominantemente cristalinas en los tamaños ≤500 con aumentos marcados según el decrecimiento de los tamaños. (Figura 6)



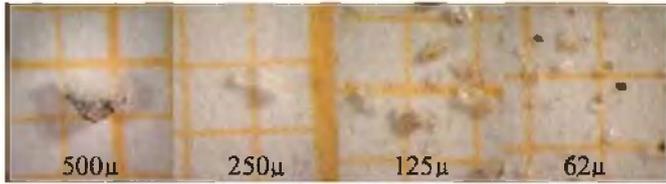


Figura 6: Análisis de textura sobre cada fracción
Fuente: Elaboración propia.

Forma:

En cuanto al estudio de la forma, en la figura 7 se puede observar la carta de formatos patrón con los valores de esfericidad y redondez que arrojaron las muestras estudiadas.

Las arenas naturales, se ubicaron próximas entre sí y respondiendo al mismo formato de forma. La arena gruesa arrojó un valor de 7,26 en redondez y 7,60 en esfericidad, mientras que la fina 6,26 y 6,52 respectivamente.

Las arenas de trituración, por su parte, se agruparon en una misma zona pero conformando cuatro sub-grupos. Las arenas graníticas conformaron dos de ellos, un mucho más consolidado, arrojó valores promedio de 2,39 en redondez y 6,09 en esfericidad. El otro, también consolidado pero más chico, se acercó a una forma de menor esfericidad pero similar redondez. Los otros dos grupos, que correspondieron a las arenas cuarcíticas, se mostraron algo más dispersos y albergando menor cantidad de muestras. Uno de ellos respondió a la misma forma que el primero, pero con una esfericidad mayor que promedió en 6,83. El otro, se ubicó entre los dos primeros, manifestando una redondez mayor.

La variación de la forma, ocasionada por los índices de redondez obtenidos, se correspondió con el tipo de roca. Las arenas graníticas arrojaron el menor índice de redondez, las cuarcíticas se mostraron apenas más redondeadas, y por último las naturales presentaron el máximo valor. La esfericidad se mostró relativamente pareja en todos los casos.

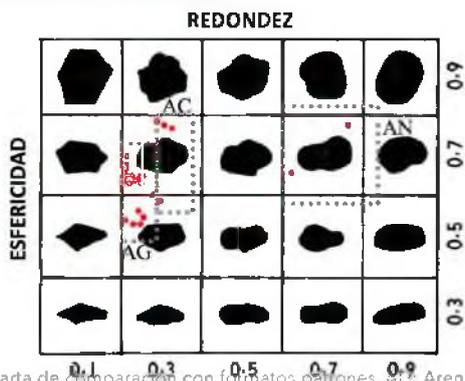


Figura 7: Carta de comparación con formatos patrones. AC: Arenas Graníticas; AC: Arenas Cuarcíticas; AN: Arenas Naturales.
Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones:

Las muestras analizadas, arrojaron resultados que mantuvieron la tendencia obtenida en trabajos anteriores sobre otras arenas de trituración.

Los resultados obtenidos, justifican completar el muestreo de los establecimientos mineros en la provincia de Buenos Aires, y ejecutar sobre las muestras estudios de mayor detalle y ensayos de laboratorio.

La posibilidad de utilizar estas arenas en morteros y hormigones, beneficiaría el ahorro de energía y la conservación de los recursos naturales.

Referencias:

- CABALLÉ, Marcelo; GANUZA, Daniel Gustavo; CORIALE, Nelson; BRAVO ALMONACID, Marcelo. Recursos areneros en el delta del Paraná y litoral Atlántico. Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino. Buenos Aires, 2005, p. 435-440.
- CABRERA, Alfredo Oscar; ORTEGA, Néstor Francisco; TRAVERSA, Luis Pascual. Una fuente alternativa de agregados finos para el hormigón. Ciencia y Tecnología. Buenos Aires, 2010, n.10; p.17 - 38.
- CABRERA, Alfredo Oscar; TRAVERSA, Luis Pascual; ORTEGA, Néstor Francisco. Fluides de morteros cementíceos con arenas machacadas. Materiales de Construcción. Madrid, 2010, v.60, n.300, p.115-130.
- CABRERA, Alfredo Oscar; TRAVERSA, Luis Pascual; ORTEGA, Néstor Francisco. Estado fresco de morteros y hormigones con arenas de machaqueo. Materiales de Construcción. Madrid, 2011, v.61, n.303, p.401 - 416.
- CONSERJERÍA DE ECONOMÍA Y HACIENDA DE LA COMUNIDAD DE MADRID. Guía de ahorro y eficiencia energética en canteras de áridos. Madrid, 2011 163p.
- INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA INDUSTRIAL. Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón, CIRSOC. Buenos Aires, 2005.
- KRUMBEIN, William Christian. Measurement and geological significance of shape and roundness of sedimentary particles. Journal of Sedimentary petrology. Boulder, 1941, v.11, n.2, p.64 - 72.
- MAIZA, Pedro José; MARFIL, Silvina Andrea. Las rocas como materiales para hormigón. Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente. Buenos Aires, 2010, n.24; p.1 - 11.
- MARCOMINI, Silvia Cristina; LÓPEZ, Rubén Álvaro. Alteración de la dinámica costanera por efecto de la explotación de arena de playa, partido de General

Alvarado, provincia de Buenos Aires. Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología. Buenos Aires, 1999, n.55; p.251-264.

-MARCOMINI, Silvia Cristina; LÓPEZ, Rubén Álvaro. Geomorfología costera y explotación de arena de playa en la provincia de Buenos Aires y sus consecuencias ambientales. Revista Brasileira de Geomorfología. Porto Alegre, 2007, n.2; p.61-71.

-MINISTERIO DE FOMENTO. Instrucción de Hormigón Estructural (EHE). España, 1999

-RILEY, N.A. Projection sphericity. Journal of Sedimentary petrology. Boulder, 1941, v.11, n.2, p.94 - 97.

-ROLNY, Daiana Gisele; SOVARZO, Lorena; PALMA, Juan Cruz; COUYOUPETROU, Luis; CREMASCHI, Carlos Gustavo; ETCHEVERRY, Ricardo; FORTE, Luis María. Estudio preliminar de la forma, textura superficial y distribución del tamaño de partículas de arenas de trituración. Libro de Actas del 2o Congreso Argentino de Áridos. Cámara de La Piedra de la Provincia de Buenos Aires. Argentina, Ciudad Autónoma De Buenos Aires, 2014, Tomo I, p 233-241.

-WADELL, Hakon. Volume, Shape, and Roundness of Rock Particles. The Journal of Geology. Chicago, 1932, v.40, n.5, p.443 - 451.

-ZOLEZZI, Roberto E; MIRÓ, Roberto C; MUNIZAGA, R. Horacio. Censo Nacional Minero 2003-2004, Evaluación Estadística. Secretaría de Minería de la Nación, Fundación EMPREMIN. Buenos Aires, 2005.