

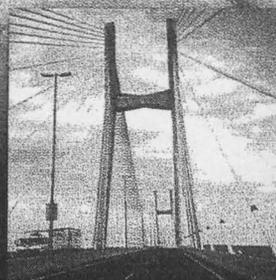
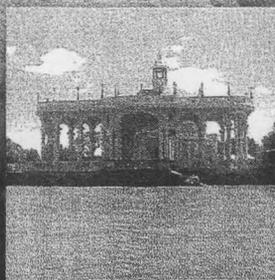
1º CONGRESO ARGENTINO DE ÁRIDOS

ÁRIDOS2008

1º EXPO ÁRIDOS
MAR DEL PLATA

LOS ÁRIDOS COMO FACTOR DE DESARROLLO

TOMO II



DESGASTE DE ACEROS EN EQUIPOS DE TRITURACIÓN EN PLANTAS DE TRATAMIENTO DE ÁRIDOS

Irene Gozalo *, Dulce Gómez-Limón **, Adolfo Núñez ** y Casilda Ruiz **

* Escuela Politécnica Superior de Ávila (Universidad de Salamanca): irenegs@usal.es

** Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas (Universidad Politécnica de Madrid):

C/ Ríos Rosas, 21 (28003 Madrid-España)

dulcegomezlimon@upm.es, adolfo.nunez.fernandez@upm.es, casilda.ruiz@upm.es

Palabras Claves:

desgaste, aceros, trituración, áridos.

Resumen

El consumo de piezas de desgaste de los equipos de trituración en las plantas de tratamiento de áridos, está directamente ligado tanto a los intereses de los fabricantes de piezas como a los de productores de áridos. El coste de estas no debe ser algo simplemente a asumir, sino que deben analizarse cuidadosamente para cada caso, desde la selección del equipo de trituración más adecuado, a las condiciones de operación y la composición óptima de la pieza de desgaste. Todo ello origina un beneficio económico importante, no solo por una mayor duración de las piezas, sino también por la reducción de los tiempos muertos necesarios para su sustitución, que suponen un elevado coste por pérdida de producción.

Para analizar estos aspectos se han estudiado varias instalaciones de áridos en España, y equipos de trituración primaria, secundaria y terciaria que tratan tres tipos de materiales de gran abrasividad. Se han determinado los valores de desgastes (medido como consumo de piezas) y tiempos de parada por sustitución de éstas.

El interés de este estudio se encuentra principalmente en la obtención de datos sistemáticos, analizados y comparados sobre el desgaste de piezas en equipos de trituración en plantas de tratamiento de áridos.

Los resultados obtenidos muestran que dentro de los parámetros operacionales estudiados, el contenido en sílice libre es el factor más determinante en el desgaste, seguido de la disminución del reglaje, y del Desgaste de los Ángeles del material.

En el caso más desfavorable, trituración de gravas silíceas (altamente abrasivas), los costes totales en piezas de repuesto pueden llegar a ser del 60% de los costes de trituración frente a un 28% que son los costes energéticos.

1. Introducción

La industria productora de áridos, es decir, arena y rocas fragmentadas, actualmente es uno de los subsectores básicos de la minería española y mundial.

Cada español consume cerca de 12.000 Kg de áridos al año (2º puesto de la Unión Europea). Por tanto, son materias primas minerales indispensables para la sociedad. En general, se trata de materiales baratos y abundantes que se explotan necesariamente cerca de los centros de consumo, con el fin de reducir los costes de transporte.

Los áridos salen de las canteras con unos tamaños muy diferentes a los deseados para cada situación, lo que hace necesario, en muchos casos su reducción de tamaño.

Para solventar este problema se utilizan los procesos de trituración y molienda. En ellos se dan los fenómenos de reducción de tamaño y en muchos casos también se le da una cierta forma a la roca (cubicidad).

La trituración no es únicamente un proceso mecánico; es también un proceso cinético en el cual los efectos moleculares ordinarios y químicos influyen de forma importante. Con esto se pone de manifiesto la variedad de procesos que intervienen en la fragmentación. Sin embargo, hasta hoy en día no ha aparecido una teoría susceptible de una explicación total del fenómeno; por lo tanto, las teorías basadas únicamente en los procesos mecánicos continúan conservando su valor y ayudan al entendimiento de los fenómenos observados en la práctica. La mayoría de los ensayos de desgaste ya investigados o en utilización, se han diseñado para casos donde el desgaste es principalmente por abrasión (molienda, picas de rozadora, tuneladoras) pero no para los tipos de fuerzas implicadas fundamentalmente en trituración: compresión e impacto.

En las plantas de producción de áridos, para programas similares de mantenimiento, los consumos energéticos y en piezas de desgaste de los equipos de trituración, por unidad de producción, son sin lugar a duda importantes indicadores de la bondad de la operación e incluso de lo adecuado del diseño de una planta concreta. Respecto a consumos energéticos existe más información, siendo éstos bastante elevados, mientras que los estudios anteriores relati-

vos al consumo de piezas de desgaste en equipos de trituración son escasos.

El consumo de piezas de desgaste está directamente ligado tanto a los intereses de los fabricantes de piezas como a los de productores de áridos. El coste de estas no debe ser algo simplemente a asumir, sino que deben analizarse las condiciones de operación y la selección adecuada de la composición de la pieza de desgaste, que llevan a una mayor duración de las mismas, con la consiguiente disminución tanto en el coste de piezas como en los tiempos muertos por cambio de éstas.

La optimización de las plantas de tratamiento de áridos necesita no solo la utilización de equipos más modernos y sofisticados; resulta también imprescindible el control y análisis de los costes variables y de su posible reducción. El control de costes variables no puede limitarse a la contabilización separada en las distintas operaciones del proceso productivo, ni siquiera a su reducción mediante actuaciones de carácter financiero; se hace necesario alcanzar el mayor conocimiento posible de los procesos. A veces no se da importancia a una de las labores fundamentales del técnico: utilizar la tecnología para alcanzar mayores tasas de retorno de la inversión.

Es de destacar los elevados costes de recambio de piezas y de personal encargado de dicha operación (25% de los costes totales de producción), dichos costes deben contabilizarse en costes por pérdida de producción debido a la influencia sobre la disponibilidad de la instalación, y que resultará mayor si la parada del equipo implica la parada de la producción. En el caso más desfavorable de trituración de gravas silíceas (más abrasivas), los costes totales en piezas de repuesto pueden llegar a ser del 60% de los costes de trituración frente a un 28% que son los costes energéticos. Esto significa que los costes en piezas de repuesto pueden suponer el segundo coste de las explotaciones en importancia tras la carga y el transporte. Por todo ello, se pone en evidencia que los costes de piezas de desgaste, y las paradas por recambio de las mismas, tienen importancia en los resultados económicos obtenidos en las plantas, y por tanto, son de gran interés para los productores de áridos. De ahí, la importancia de continuar con este estudio.

2. Materiales y métodos

El desgaste de piezas de acero en equipos de trituración depende de unos parámetros y factores que se pueden agrupar en tres grandes grupos:

- Relacionados con el material a triturar.
- Relacionados con el equipo de trituración y las condiciones de operación del mismo.
- Relacionados con el tipo de material empleado como útil de desgaste.

Para el estudio se han seleccionado ocho instalaciones de áridos en España. Los materiales escogidos para la realización del estudio de consumo, de piezas de desgaste de equipos de trituración, han sido: gravas silíceas, corneanas y granitos. Inicialmente los materiales se clasificaron de esta manera, por ser la empleada, mayoritariamente, en el "argot" de las instalaciones, con independencia de la clasificación petrográfica del material.

Se trata de materiales muy utilizados en la producción de áridos, y que frente a otros materiales como la caliza, también ampliamente utilizada, producen un desgaste de las piezas de acero considerable, lo que supone una repercusión económica significativa en los costes de producción. La toma de datos de desgaste en plantas de caliza requeriría de un tiempo muy superior, precisamente por la lentitud en el desgaste de piezas cuando se está tratando este material, por lo que se descartó su estudio.

A continuación se analizan los parámetros estudiados:

Parámetros relacionados con el material a triturar

La dureza, la presencia de minerales abrasivos, el tamaño, la textura, el grado de alteración, etc. son características que van a influir en el desgaste.

Los ensayos habituales de caracterización del material de cara al desgaste son los siguientes:

- Estudio petrográfico.
- Desgaste de los Ángeles: mide la resistencia a la fragmentación de los materiales.
- Ensayo de Abrasión Allis-Chalmers.
- Ensayo de Abrasividad.

- Triturabilidad del material.
- Resistencia a la compresión.
- Contenido en sílice libre.
- Humedad.

Para este estudio de desgaste se han seleccionado tres tipos de materiales:

- Gravas silíceas.
- Corneanas.
- Granitos.

El estudio petrográfico de estos materiales se ha realizado sobre láminas delgadas de cantos rodados seleccionados de una muestra representativa de los frentes, y suministra información de su mineralogía, textura, grado de alteración, granulometría, etc.

En la foto 1 se muestra la fotomicrografía de una lámina correspondiente a un granito gris de dos micas, sus componentes principales son: cuarzo, albита, biotita y moscovita (colores vivos). Como minerales accesorios (con contenidos inferiores al 5%) contiene: circón, apatito y turmalina.

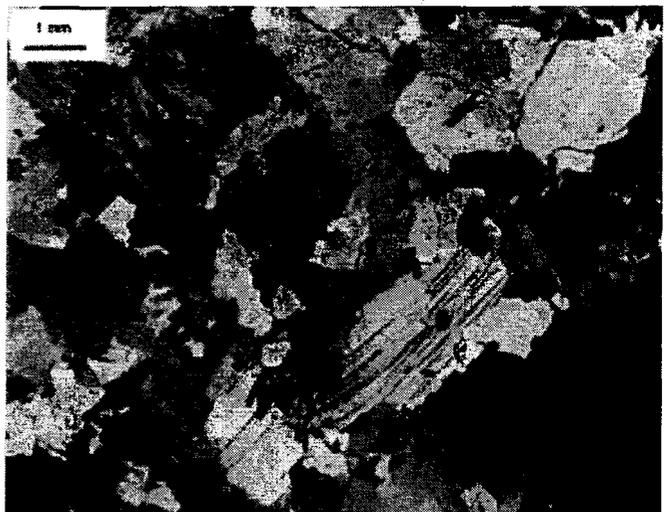


Foto 1: Fotomicrografía de Granito Gris

En la foto 2 se muestra una fotomicrografía de una corneana de textura nodulosa, y en la foto 3, una cuarcita en la que el mineral principal es el cuarzo, y los accesorios: turmalina, circón, sericita, moscovita y minerales opacos por luz transmitida (correspondientes a minerales metálicos).

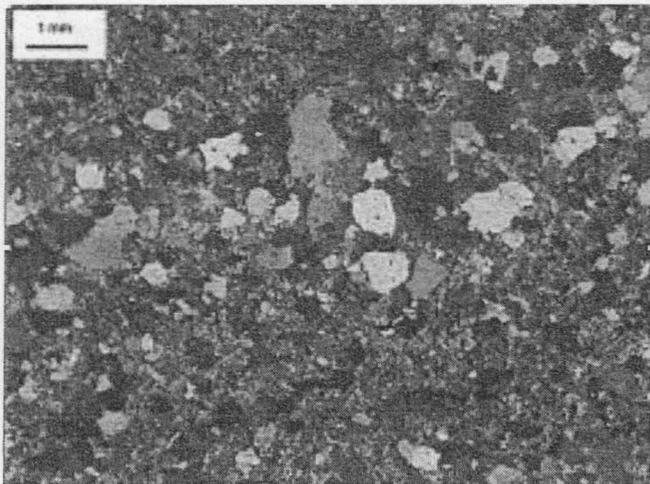


Foto 2: Fotomicrografía de Corneana

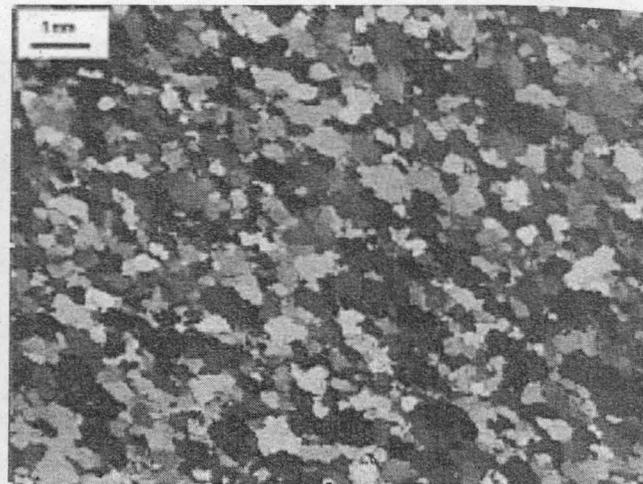


Foto 3: Fotomicrografía de Cuarzita

Respecto a otros parámetros determinados en las muestras seleccionadas, los ensayos de caracte-

rización están comprendidos entre los siguientes valores:

Tabla 1: Caracterización de materiales

	Contenido Si libre	Índice de abrasividad	Triturabilidad	Desgaste de los Ángeles
Granitos	25 % ± 3 al 31 % ± 3	1.000 y 1.300 g/t, Abras. media	70 % al 75 %, Triturab. fácil	38 - 60
Corneanas	23 % ± 2 al 34 % ± 2	900 a 1.400 g/t, Abras. media	24 % al 30 %, Tritur. Media-alta	9 - 13
Gravas silíceas	62 % ± 4 al 70 % ± 3	1.500 g/t y 1.800 g/t Abras. alta	45 % al 50 %, Tritur. media	25 - 28

Parámetros relacionados con el equipo de trituración

Los equipos seleccionados corresponden a trituración primaria, secundaria y terciaria. Se han estudiado los siguientes equipos:

- Machacadoras de mandíbulas (Figura 1)
- Giratorias y Conos (Figura 2)

- Impactores de eje horizontal (Figura 3)
- Impactores de eje vertical (Figura 4)

Al igual que las características de los materiales, el desgaste físico de las piezas varía en función del tipo de equipo, puesto que, el principio físico de funcionamiento de cada uno de los equipos, la geometría de la cámara de trituración, la potencia utilizada y otra serie de características.

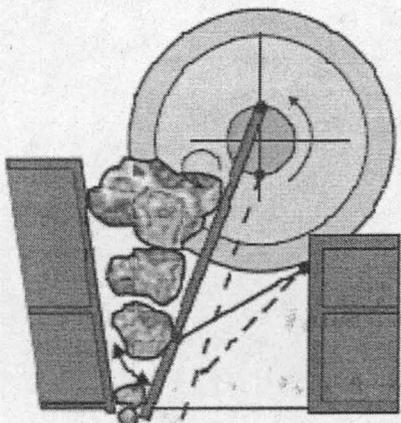


Figura 1: Machacadora de mandíbulas

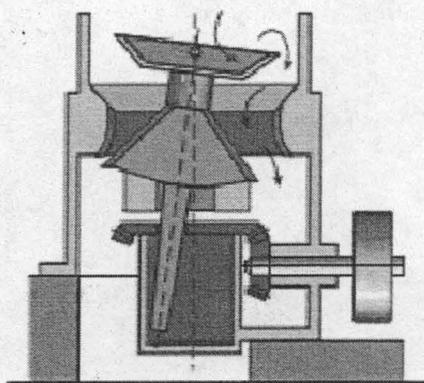


Figura 2: Cono

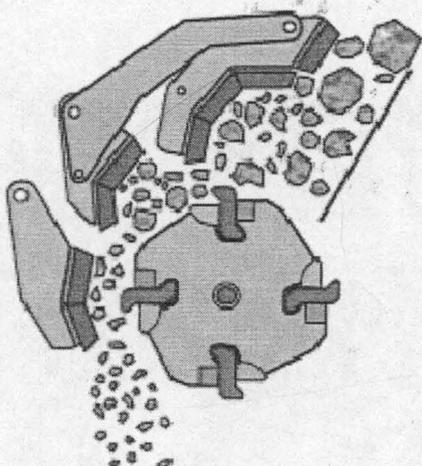


Figura 3: Impactor de eje horizontal

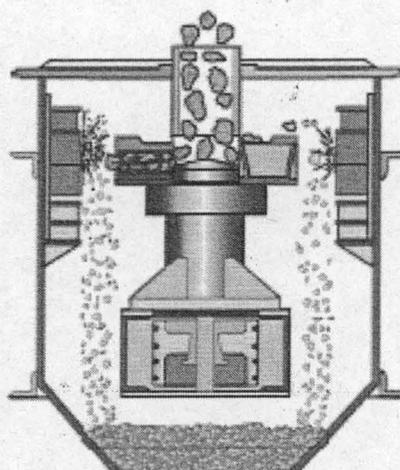


Figura 4: Impactor de eje vertical

Unidad de medida del desgaste

El desgaste es un proceso de pérdida de material. Como unidad de medida para cuantificar el desgaste de las piezas, en estos equipos de trituración, se ha decidido tomar los gramos desgastados del útil por tonelada tratada (g/tonelada tratada).

Las piezas que se han pesado para obtener el desgaste han sido:

- En machacadoras: las mandíbulas

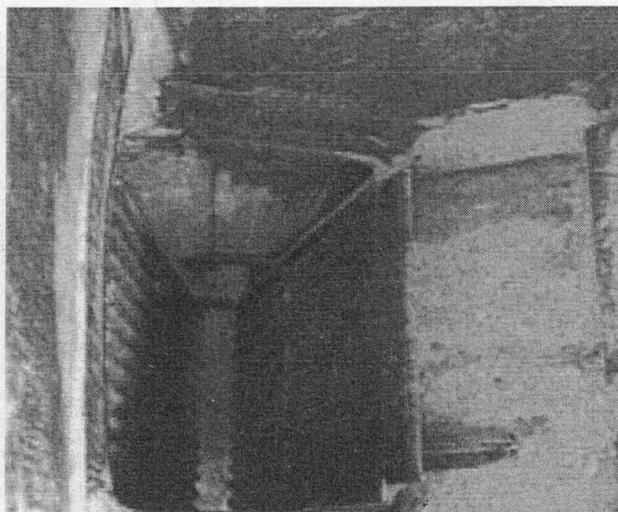


Foto 4: Detalle de las mandíbulas de una Machacadora

- En conos: el conjunto nuez más cóncavo

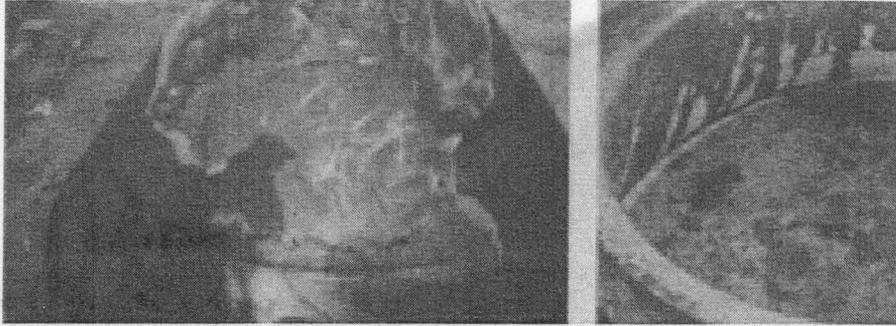


Foto 5: Nuez y cóncavo desgastados

- En los impactores de eje vertical: en eyectores y corazas.



Foto 6: Barras Batidoras nuevas y desgastadas

- En impactores de eje horizontal: las barras batidoras.



Foto 7: Eyectores Nuevos



Foto 8: Corazas Nuevas

Unidad de medida del tiempo de recambio

Como unidad de medida para cuantificar los tiempos de parada, para dar la vuelta o reemplazar las piezas de desgaste, se han tomado los minutos de parada por tonelada tratada (minutos/tonelada tratada).

Hay que constatar que en los equipos impactores de eje horizontal, tanto el desgaste como el tiempo empleado en el cambio de las piezas es mayor que el cuantificado, puesto que no se ha contabilizado ni el consumo ni el tiempo de recambio de placas de impacto y de revestimiento. Sin embargo al contabilizar el desgaste y el tiempo de parada con el mismo criterio para todos los tipos de materiales y condiciones de operación, se puede establecer el comparativo que permita obtener conclusiones.

Parámetros relacionados con las condiciones de operación

Las condiciones de operación que influyen de manera más importante en el desgaste son:

- Modo de alimentación.
- Tamaño máximo de alimentación.
- Reglaje.
- Velocidad de la máquina de trituración.

Influencia del tipo de material empleado como útil de desgaste.

Las piezas de desgaste para los equipos en estudio pueden ser de diferentes materiales. Cada uno de es-

Tabla 2: Comparativa de desgastes en trituradoras de impacto de eje horizontal para diferentes materiales

IMPACTOR DE EJE HORIZONTAL COMPARATIVO DESGASTES EN BARRAS BATIDORAS	
TIPO DE MATERIAL	TRITURACIÓN SECUNDARIA
GRANITOS	1
CORNEANAS	1,7
GRAVAS SILÍCEAS	8,2

Igualmente, al comparar distintos equipos de trituración terciaria que tratan corneanas, se comprueba, tal y como muestra la tabla 3, el desgaste del impactor vertical es de aproximadamente 4,6 veces su-

perior al del cono (17,4/3,8), mientras que el impactor de eje horizontal tiene un desgaste de 2,2 veces el del cono.

perior al del cono (17,4/3,8), mientras que el impactor de eje horizontal tiene un desgaste de 2,2 veces el del cono. Los materiales tienen propiedades distintas que les harán idóneos también para aplicaciones distintas. El precio de estos materiales tampoco es el mismo.

En función del tipo de movimiento para la trituración, que se describe dentro de las cámaras de los equipos, tienen lugar unas fuerzas responsables de generar unos tipos u otros de desgaste, que conjuntamente con la abrasividad, dureza y tenacidad de los materiales determinan la composición de los útiles de desgaste más adecuado.

El empleo de materiales más duros aumenta la resistencia al desgaste, pero esto está en conflicto con mantener una tenacidad adecuada que permita eliminar el riesgo de rotura frágil, por lo que deben equilibrarse ambos efectos y determinar las composiciones idóneas de los útiles para cada condición de operación.

Existente una cierta problemática comercial, ya que los fabricantes de equipos de trituración aconsejan sus piezas de recambio, mientras que los intereses del productor tienden a abaratar costes, y por eso emplean piezas de sustitución fabricadas en talleres.

3. Resultados y discusión

Al analizar los resultados, y estableciendo una comparativa para los impactores de eje horizontal, tal y como se refleja en la tabla 2, se observa que el consumo en barras batidoras en un impactor secundario es 1,7 veces superior tratando corneanas que granitos, y 8,2 veces superior tratando gravas silíceas que granitos. Con lo cual se comprueba la gran importancia de las características del material a tratar.

perior al del cono (17,4/3,8), mientras que el impactor de eje horizontal tiene un desgaste de 2,2 veces el del cono.

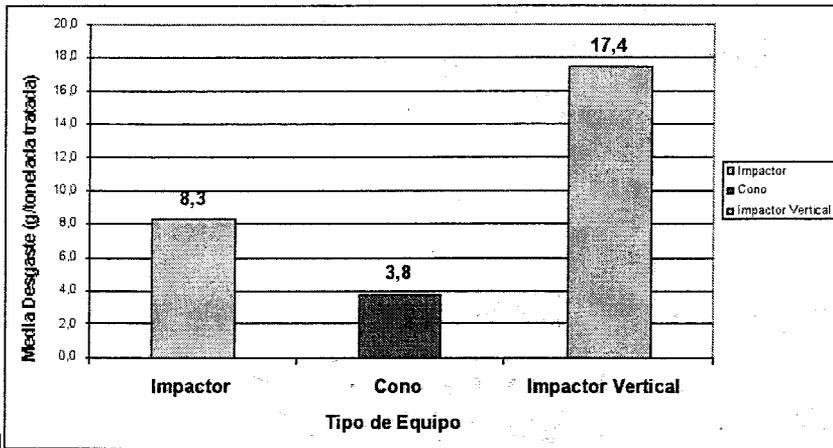


Tabla 3: Desgastes medios en equipos de trituración terciaria que tratan corneanas

Igualmente se han relacionado los tiempos empleados en el recambio de piezas de desgaste para los mismos equipos y material que el caso anterior (tabla 4), y se han establecido comparaciones tomando como referencia el tiempo empleado en la sustitución de piezas en el cono. En esta tabla se observa como el impactor de eje horizontal requiere

los mayores tiempos de sustitución de sus piezas de desgaste, 8,6 veces más que el empleado en la sustitución de piezas del cono (0,043/0,005). Mientras que en el impactor de eje vertical, aunque el desgaste es mayor, la sustitución de piezas se realiza en menor tiempo que en el de eje horizontal, aunque no en el cono.

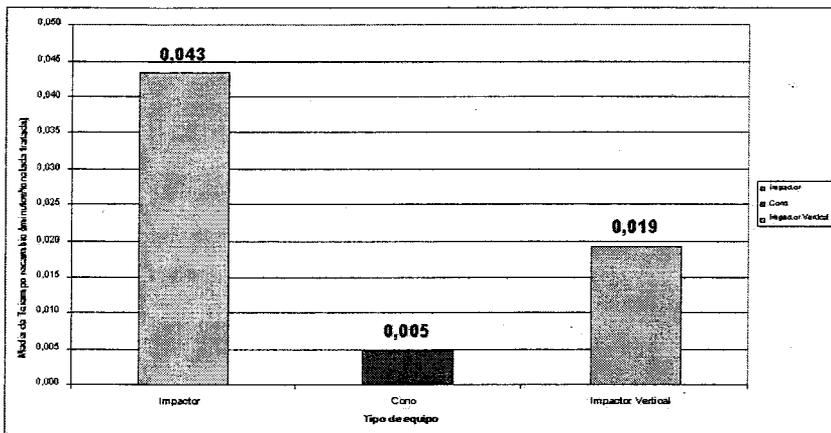


Tabla 4: Tiempo medio de recambio en equipos de trituración terciaria que tratan corneanas

Estos resultados son de gran interés puesto que en la mayoría de las plantas de tratamiento de áridos españolas, los equipos más implementados son los impactores, y este estudio ha demostrado un mayor desgaste en relación con los conos. No obstante, este no debe ser el único factor a tener en cuenta en la selección de un equipo de trituración secundario o terciario, es necesario considerar otros factores como factor forma del árido, razón de reducción, humedad, etc.

4. Conclusiones

Desde el punto de vista técnico económico se ha puesto de manifiesto que:

- El contenido en sílice libre del material es el factor más determinante en el desgaste, seguido de la disminución del reglaje y por último del Desgaste de Los Ángeles del material. Por tanto: el mayor desgaste corresponde a las gravas silíceas, después a las

corneanas y por último a el granito. Puesto que este es el orden decreciente de contenido en sílice de estos materiales.

- En equipos primarios es importante, ante todo, que las piezas de desgaste no se rompan ante los impactos que pueden recibir de grandes masas. Por ello hay que utilizar aceros dúctiles y tenaces a pesar de que sean blandos. Los aceros más aconsejables, por cumplir estas características, son: austeníticos y al manganeso.

- En equipos secundarios y terciarios donde las tensiones a las que se ven sometidas las piezas son menores, al tratar materiales de menor tamaño, interesa el empleo de aleaciones duras aún a costa de su tenacidad y ductilidad. El tipo de aleaciones más adecuado es el martensítico con cromo y molibdeno, salvo en aquellos casos en que el contenido en sílice libre del material a triturar sea superior al 30 %, siempre y cuando el Dmax sea inferior a 80 mm, en los que la

opción óptima será emplear herramientas cerámicas.

- Poner en evidencia que los costes de piezas de desgaste y las paradas por recambio de las mismas tienen importancia en los resultados obtenidos en las plantas, y por tanto, son de gran interés para los productores de áridos. Los costes de recambio de piezas y de personal encargado de dicha operación pueden llegar a suponer un 25% de los costes totales de producción, dichos costes deben contabilizarse en costes por pérdida de producción debido a la influencia sobre la disponibilidad de la instalación, y que resultará mayor si la parada del equipo implica la parada de la producción. En el caso más desfavorable de trituración de gravas silíceas (más abrasivas), los costes totales en piezas de repuesto pueden llegar a ser del 60% de los costes de trituración frente a un 28% que son los costes energéticos. Esto significa que los costes en piezas de repuesto pueden suponer el segundo coste de las explotaciones en importancia tras la carga y el transporte.

5. Referencias

- [1] Izquierdo, J.L. Artículo "Criterios de elección de aceros y fundiciones para los equipos de trituración". *Revista Rocas y Minerales*, número 397 Enero 2005
- [2] Menéndez Aguado, Juan María. Tesis "Doctoral Aplicación de la Simulación Matemática a la Determinación de Consumos Energéticos en Fragmentación". *Escuela de Ingenieros de Minas de la Universidad de Oviedo*, 2000
- [3] Targan, G. *Mineral Processing*. Akademiai Kiado, 1981
- [4] Wills, B.A. *Mineral Processing Technology*. Ed. Butterworth-Heinemann, Oxford, 1997
- [5] Metso Minerals, "Diseño de Instalaciones de Áridos" Cátedra ANEFA de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid, 2000
- [6] Blazy, P. *El Beneficio de los Minerales*. Ed. Rocas y Minerales, 1977
- [7] López Jimeno, C. *Áridos Manual de Prospección explotación y aplicaciones*, 1998
- [8] Fueyo Casado, L. *Equipos de Trituración molienda y clasificación: tecnología, diseño y aplicación*. Ed. Rocas y Minerales 1999
- [9] Prasher, C.L. *Crushing and grinding process handbook*. Ed. John Wiley & Sons, 1987
- [10] Lynch, A.J. *Circuitos de trituración y molienda de minerales: Su Simulación, Optimización, Diseño y Control*. Ed. Rocas y Minerales, 1980
- [11] Prior, E.J. *Mineral processing*. Ed. Applied Science, 1978
- [12] Blanc, E. *Machacadoras y granuladores*. Ed. Rocas y Minerales, 1975
- [13] Macquiston, F.W. *Primary crushing plant design*. Ed. Society of Mining Engineers of the American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers, 1978
- [14] Pero-Sanz Elorz, J.A. *Aceros: metalurgia física, selección y diseño*. Ed. CIE Inversiones Editoriales Dossat, 2004
- [15] GY, P.M. *Sampling of Particulate materials. Theory and Practice*. Elsevier, 1982
- [16] Ashby, M.F. and Jones, D. *Engineering Materials. An Introduction to Microstructures, Processing and Design*. Butterworth Heinemann, 1999
- [17] Smith, E.H. *Mechanical Engineer's Reference Book*. Butterworth Heinemann, 2000
- [18] *European Symposia on Size Reduction*. Frankfurt 1962. Ed. Verlag Chemie, 1962