

# Sustitución de la arena en procesos de chorreado en seco para la limpieza de superficies metálicas

Giovanni A. Juzga León\*  
Reinaldo Villalba Rodríguez\*\*  
Ronald Rueda Sarmiento\*

## Resumen

El presente artículo centra su objetivo en valorar la viabilidad técnica, económica y ambiental de materiales abrasivos que sustituyan la arena, convencionalmente utilizada en los procesos de preparación de superficies de las embarcaciones que ingresan a mantenimiento en los astilleros de la Corporación de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo de la Industria Naval, Marítima y Fluvial –Cotecmar– en Cartagena de Indias, dado el impacto negativo que genera su uso en el medio ambiente y en la salud del personal que interviene en el proceso. Aplicando el método jerárquico AHP, la metodología de selección de materiales de la Corporación para la Investigación de la Corrosión –CIC– y el modelo de costos desarrollado, se seleccionó un grupo de abrasivos para evaluar su competitividad técnico-económica tanto en el laboratorio como en los astilleros de Cotecmar. El resultado final fue un proceso de chorreado en seco con escoria de cobre, y un proceso contingente que utiliza escoria de ferróníquel. El primer material se comercializa como abrasivo, el segundo no y ambos son técnica y económicamente competitivos y con un marginal impacto ambiental y en la salud del personal.

**Palabras clave:** Abrasivos, escorias, emisión de finos, preparación de superficie.

## Abstract

The present article centers its objective on valuing the technical, economic and environmental feasibility of abrasive materials which substitute sand, conventionally used in the processes of surface preparation of the ships that undergo maintenance in the shipyards of the Corporation of Science and Technology for the Development of the Naval, Maritime and Riverine Industry –Cotecmar– in Cartagena de Indias, given the negative impact that its use generates in the environment and in the health of the personnel involved in the process. Applying the hierarchic method AHP, the methodology of material selection of the Corporation for the Investigation of Corrosion –CIC– and the cost method developed, a group of abrasive was selected to test its technical-economic competitiveness in the lab as well as in Cotecmar's shipyards. The final result was a dry-blasting process with copper dreg, and a contingent process that uses dreg of ferronickel. The first material is commercialized as an abrasive, the second isn't, and both are technically and economically competitive with only a marginal impact on the environment and on the health of the personnel.

**Key Words:** Abrasive, dreg, fine emissions, surface preparation

Fecha de recepción: 4 de septiembre de 2008

Fecha de aceptación: 23 de octubre de 2008

\* Corporación para la Investigación de la Corrosión –CIC– (UEN Corrosión Externa).

\*\* Asesor CIC

Autor correspondiente: gjuzga@corrosion.uis.edu.co

La Corporación para la Investigación de la Corrosión y los autores agradecen el apoyo de Cotecmar, tanto para la elaboración del presente artículo como a lo largo del proyecto: "Evaluación y Selección de Abrasivo como Sustitutos de la Arena en la Preparación de Superficies Metálicas en los Astilleros de Cotecmar: Impacto Técnico, Económico y Ambiental". Además, hacen extensivo este agradecimiento a la Universidad Tecnológica de Bolívar por sus invaluables aportes en la construcción de los análisis de productividad asociados al proceso de preparación de superficie. Por último, agradecen la gestión en la información de salud ocupacional proporcionada por la ARP Colmena.

## Introducción

El mantenimiento de embarcaciones es una actividad que representa un gran reto para los astilleros, puesto que es necesario ofrecer un servicio con un perfecto balance entre calidad, costos y productividad, en razón al impacto económico del lucro cesante que representa para una embarcación permanecer en dique seco, sumado a las altas exigencias de confiabilidad en la integridad estructural, solicitadas por los organismos de control propios de este tipo de transporte.

Exceptuando los casos especiales de mantenimiento, en los cuales la embarcación ingresa al astillero para diagnosticar o realizar una corrección a una falla plenamente identificada durante su operación, el programa de mantenimiento en dique seco contiene una importante agenda en el tema de la preparación de superficie y aplicación de recubrimientos sobre los diferentes elementos estructurales. La condición balanceada de calidad, costos y productividad, ha limitado, por diversas razones, el uso de diferentes tipos de procesos alternativos de preparación de superficies: demanda de agua, escasa competitividad y altas inversiones. De hecho, diversos autores, entre ellos Schmidt con Peart y Lou, consideran que los sistemas de limpieza libres de abrasivos que operan a altas presiones implican una gran demanda de agua. Asimismo, varias investigaciones como las realizadas por Frenzel, Woodson y Lever reportan que los sistemas que aplican abrasivos en húmedo presentan un nivel poco competitivo en cuanto a productividad dado el bajo rendimiento de los procesos. En tercer lugar, según lo expresan algunos estudios como los realizados por Lever, Munger, Clemco Industries y Environment Canada las tecnologías no convencionales de relativo desarrollo reciente requieren considerables inversiones, reingeniería en la planta existente y planes especiales de entrenamiento para su operación y mantenimiento. Estas limitaciones han facilitado que el proceso de limpieza de grandes superficies mediante chorreado en seco de abrasivos haya mantenido su liderazgo por varias décadas y que la arena, en función de su alta disponibilidad, bajo costo nominal y alta efectividad, haya representado el abrasivo de mayor aceptación para mantener un nivel competitivo.

Este alto grado de competitividad del proceso de chorreado en seco utilizando arena como abrasivo, lamentablemente contrasta con el alto impacto negativo sobre el ambiente y la salud de los trabajadores. Esa condición representa una amenaza latente para la continuidad operacional y la viabilidad empresarial de un astillero en el corto, mediano y largo plazo, por cuanto las reglamentaciones en materia de protección al ecosistema a escala local, nacional e incluso mundial, han aumentado progresivamente su nivel de exigencia.

En este contexto, el enfoque para la selección de un abrasivo aplicable a un proceso de limpieza de superficies mediante chorreado en seco, implica la necesidad de medir sus impactos técnico, económico y ambiental. Igualmente, la sustitución de un abrasivo utilizado regularmente, exige criterios de comprobación semejantes, sumados a la adopción del material de uso común como patrón de referencia. El segundo enfoque, resulta ser el más conveniente para el caso de astilleros que operan con altos grados de compromiso contractual de la capacidad instalada a corto y mediano plazo y cuyo requerimiento primordial es mantener activas sus políticas de gestión comercial. Desde esta perspectiva, la identificación de un potencial abrasivo sustituto, delimitada por la capacidad operacional disponible, sin requerimientos importantes de cambios o adecuaciones en los equipos, en los servicios industriales y en el personal, permite una implementación de tipo gradual y progresiva que admite una efectiva apropiación del sustituto.

Esta estrategia fue adoptada por la Dirección de Investigación, Desarrollo e Innovación –Didesi– de Cotecmar, que adelantó las gestiones en calidad de beneficiario, para la realización del proyecto “Evaluación y Selección de Abrasivos como Sustitutos de la Arena en la Preparación de Superficies Metálicas en los Astilleros de Cotecmar: Impacto Técnico, Económico y Ambiental”, cofinanciado por el Estado a través del Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología, Francisco José de Caldas, Colciencias, la participación de la Universidad Tecnológica de Bolívar y la ejecución a cargo del Centro de Desarrollo Tecnológico de la CIC.

El contenido de este artículo presenta de manera general, la metodología utilizada para el desarrollo del proyecto y los criterios implementados para la selección gradual de abrasivos potencialmente competitivos. Además, describe de manera detallada, los resultados que permiten establecer claramente, la disponibilidad de procesos de chorreado en seco con un impacto marginal en el ambiente y en la salud de los operarios. Complementariamente, se resalta que a pesar del precio relativamente elevado del abrasivo, el grado de competitividad técnico-económica se fundamenta en establecer altos niveles de productividad. Para valorar de manera confiable las variables de mayor incidencia, es imprescindible disponer de un modelo ambiental, desarrollar un modelo de costos específico y contar con la actitud comprometida entre el astillero, el ente gestor y el ejecutor.

### Metodología

Mediante la evaluación del estado del arte de materiales abrasivos, se obtuvo un espectro conformado por escorias minerales, de cobre, de hierro, de ferroniquel, de carbones, cascarilla de arroz, granates, silicatos de aluminio, feldepasto, vidrio reciclado y vidrio triturado. Una vez contactados los proveedores respectivos y obtenida la información técnica y comercial disponible, se procedió a obtener muestras de los diferentes materiales para los ensayos que se presentan a continuación.

Este proceso definió que los abrasivos potencialmente competitivos eran escoria de cobre, vidrio

Gráfico 1. Abrasivos seleccionados para evaluar en campo y laboratorio en la segunda fase del proyecto

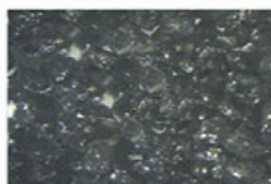


Gráfico 1A.  
Escoria mineral



Gráfico 1B.  
Escoria de cobre

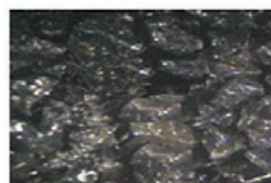


Gráfico 1C.  
Silicato de aluminio



Gráfico 1D.  
Granate



Gráfico 1E.  
Arena

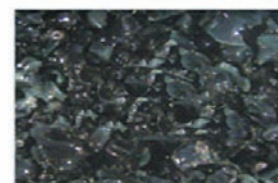


Gráfico 1F.  
Escoria ferroniquel



Gráfico 1G.  
Vidrio



Gráfico 1H.  
Escoria de hierro

Cuadro 1. Ensayos realizados y criterios de elección de la primera fase del proyecto

Ensayo	Criterio
<i>Microblasting</i> en laboratorio a probetas corroídas previamente, y en probetas previamente pintadas con sistemas de recubrimientos de cuatro capas	Eficacia de la calidad de limpieza predefinida según lineamientos de la clasificación SSPC.
Aplicación del método jerárquico AHP por el astillero y la CIC	Técnico (subcriterios: Conductividad, perfil de anclaje, humedad); mercado y logística (subcriterios: Existencias, tiempos de entrega y estabilidad en almacenamiento); económico, salud ocupacional (subcriterios: Emisión de PM10, SiO <sub>2</sub> , elementos tóxicos), y rendimiento y ambiental (subcriterios: Emisión de finos, manejo de residuos, ruido).

Fuente: Resultados de la investigación.

triturado, escoria de ferroníquel, silicato de aluminio, granate, escoria de hierro y escoria mineral, los cuales fueron evaluados mediante los ensayos de campo y laboratorio, a continuación relacionados.

ferroníquel y el silicato de aluminio, para evaluar su productividad, mediante la implementación industrial a escala piloto en la planta Bocagrande de Cotecmar.

Una vez realizados los ensayos y evaluados los resultados, se seleccionaron las escorias de cobre y

La evaluación del impacto económico, técnico y ambiental de las muestras de abrasivos seleccionados.

Cuadro 2. Ensayos y criterios de elección de la segunda fase del proyecto

Ensayo	Criterio
Fluorescencia de rayos X, absorción atómica.	Análisis químico. Identificación de presencia de elementos nocivos restringidos (arsénico, plomo, sílice cristalina, berilio, cadmio, cromo, manganeso, níquel, plata, titanio y vanadio).
Contenido de humedad, cambio de peso por ignición, contenido de grasas, dureza, distribución granulométrica, morfología, absorción de agua, gravedad específica, pH, cloruros y sulfatos solubles en agua.	Análisis fisicoquímico. Identificación de requerimientos de acuerdo con la norma SSPC AB1 y con las normas de The Society for Protective Coatings, del Departamento de Defensa de los Estados Unidos de América, The Department of Health Services State of California y The National Institute for Occupational Safety and Health.
Evaluación de fragmentación.	Definición de habilidad del abrasivo para reutilización o reciclaje.
Preparación de probetas en el astillero.	Eficacia, productividad e impacto ambiental del abrasivo.
Evaluación de compatibilidad de imprimantes en cámaras salina y a 100% de humedad relativa.	Desempeño en ambientes simulados de probetas preparadas con los abrasivos y posteriormente imprimadas con inorgánico de zinc y con epoxi-poliamida.
Aplicación de métodos de selección: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Método jerárquico AHP por el astillero y la CIC.</li> <li>• Método de selección de materiales.</li> <li>• MSM de la CIC.</li> </ul>	Técnico, mercado y logística, económico, salud ocupacional, rendimiento y ambiental.

Gráfico 2. Pruebas de campo para la evaluación de productividad y calidad de la preparación de superficie



Fuente: Resultado de la investigación.



nadas para la implementación industrial, considero como variables fijas: el operario, el equipo, la presión de *blasting*, la apertura de dosificación del abrasivo, el grado de corrosión inicial de la superficie, la distancia y ángulo de operación y la granulometría original. Como factores variables, se consideraron:

- Los tres grados de limpieza más representativos en los astilleros: comercial, *brush-offy* metal casi blanco, según las especificaciones de The Society for Protective Coatings, SP6, SP7 y SP10, respectivamente.
- Los materiales: escorias de cobre y de ferróníquel, silicato de aluminio y arena como material de referencia.
- Los diámetros de boquilla en números 4, 5, 6, y 7.

Todos los ensayos fueron realizados por triplicado. Se adoptó como área de medición de referencia por muestreo dimensiones equivalentes a 2 m<sup>2</sup>. En paralelo, se realizó la evaluación de la fragmentación a partir del cambio del tamaño de partícula en relación con el tamaño original y la implementación de pruebas con material reciclado, con el fin de valorar las posibilidades de reciclabilidad por abrasivo.

Como parte de la evaluación del impacto ambiental y en salud ocupacional, se instalaron dispositivos para la medición de la calidad del aire (determinación de PM<sub>10</sub> y PMR)<sup>1</sup> y el nivel de presión sonora [dB(A)]<sup>2</sup>, buscando determinar los efectos que estos contaminantes ejercen en los astilleros y en áreas circundantes.

## Resultados y discusión<sup>3</sup>

A continuación, se ilustran para los diferentes abrasivos, los resultados derivados del diseño de experimentos en relación con los niveles de productividad obtenidos al variar las condiciones de tamaño de la

<sup>1</sup> PM10: Material particulado menor a diez micras. PMR: Polvo molesto respirable.

<sup>2</sup> dB(A): Decibeles.

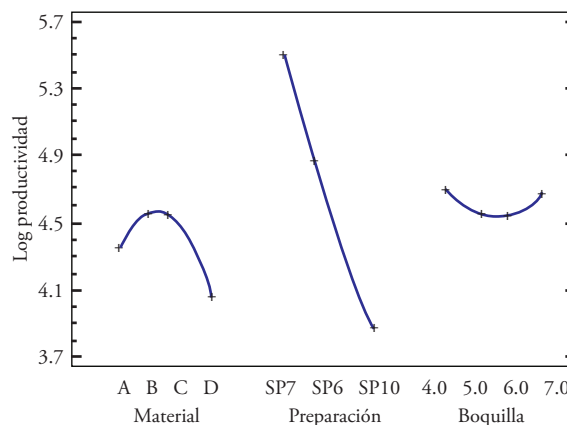
<sup>3</sup> En esta sección, se describen y analizan los resultados obtenidos durante la fase del proyecto denominada de "Implementación industrial a escala piloto", en virtud de que el tema de interés de este artículo es cubierto en su totalidad con los mismos.

Gráfico 3. Monitoreo de PMR y emisión de ruido durante la implementación industrial a escala piloto



Fuente: Resultado de la investigación.

Gráfico 4. Niveles de productividad: Implementación industrial a escala piloto



A: Escoria de cobre B: Silicato de aluminio  
C: Escoria ferróníquel D: Arena

Fuente: Resultados de la Investigación.

boquilla y de especificación del grado de limpieza. Estos resultados, se derivan de la aplicación del proceso de *blasting* en embarcaciones en mantenimiento en los astilleros de Cotecmar.

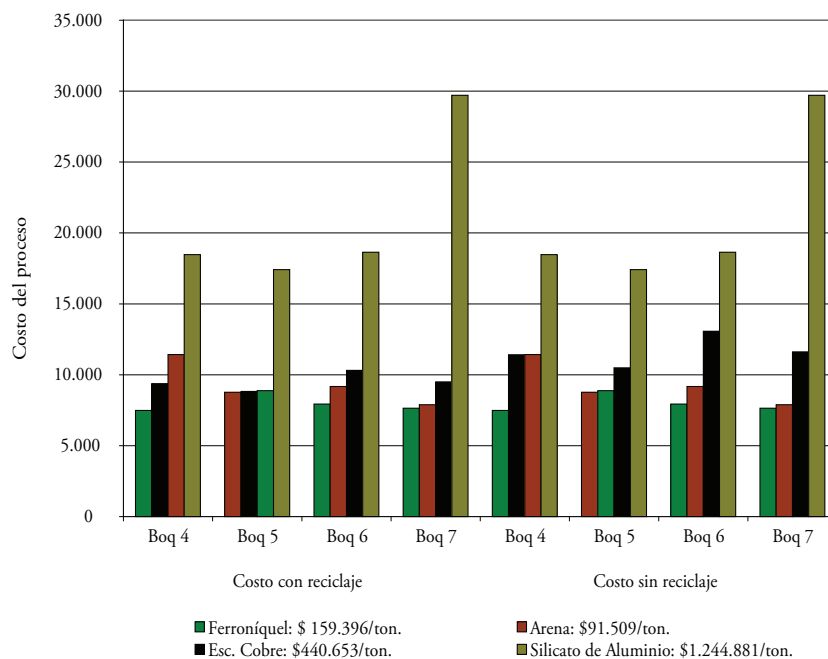
Los resultados descritos en el Cuadro 3 permiten afirmar que la productividad varía en forma inversa al grado de limpieza superficial. Con respecto al tamaño de la boquilla, no se evidencia una tendencia definida, mostrando un desempeño particular tanto para cada abrasivo como para cada grado de limpieza requerido. En el caso de la escoria de cobre y del silicato de aluminio, se obtienen resultados óptimos haciendo uso de las boquillas n.ºs 5 y 6, mientras que con la escoria de ferroníquel y con la arena los resultados óptimos se logran con la boquilla 7.

En cuanto al material, los resultados de productividad son óptimos con la escoria de ferroníquel y el silicato de aluminio. Por su parte, la escoria de cobre disminuye levemente su productividad, sin ser inferior con relación a la arena. En este orden de ideas, se evidencia que las tres alternativas presentan mayor productividad que la arena, por lo

cual se consideran como sustitutos potenciales de esta. Por otro lado, a continuación se muestran los resultados presentados en cuanto a precios nominales del abrasivo y de los costos del proceso de *blasting*, para los tres grados de preparación de las superficies adoptados en el proyecto, referenciados en el modelo de costos desarrollado como parte integral del proyecto para los astilleros de Cotecmar, la conversión del valor del dólar estadounidense a pesos colombianos para la vigencia del primer semestre del año 2008 y los resultados de los ensayos de fragmentación que indican una reciclabilidad de dos procesos adicionales de la escoria de cobre.

Los resultados en el Gráfico 5 confirman la relevante influencia que tienen la productividad y la reciclabilidad del abrasivo en el costo real del proceso de *blasting*. El impacto de la productividad en el costo del proceso puede evidenciarse al comparar los grados de limpieza de menor exigencia: *brush off* y comercial, puesto que aun cuando la escoria de ferroníquel posee un precio estimado por tonelada 1.75 veces superior respecto al determinado para la arena, el costo del proceso de *blasting* resulta ligeramente inferior. Asimismo, el efecto simultáneo

Gráfico 5. Costos de proceso según abrasivo y tipo de boquilla para grado de preparación comercial<sup>1/</sup>



<sup>1/</sup> Pesos de 2007.

Fuente: Resultado de la investigación.

de productividad y reciclabilidad sobre el costo se observa en la escoria de cobre, pues el valor final del proceso es similar para los grados de limpieza mencionados pese a tener un precio por tonelada 4.8 veces mayor que la arena. Esta situación puede considerarse genérica para los casos estudiados en cuanto al grado de limpieza y el tipo de abrasivo analizado, puesto que referenciados en una condición crítica de relación entre precios nominales de 13.6:1, el sobre costo resultante del proceso de *blasting* solo alcanza una relación máxima de 2.2:1.

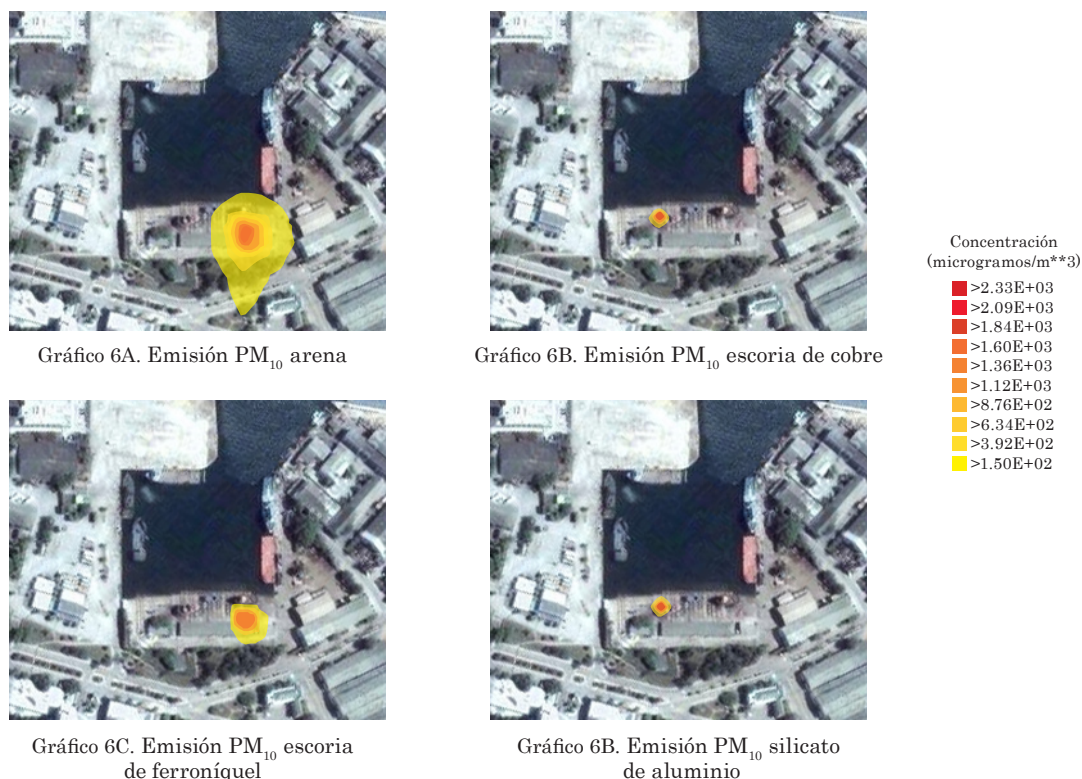
En forma paralela durante la realización de los procesos de *blasting* para los diferentes abrasivos, se llevaron a cabo monitoreos a las emisiones de material particulado y ruido. Los datos obtenidos fueron tratados estadísticamente por métodos econométricos, con el soporte de *software* como Breeze-ISC, pronosticándose las concentraciones de  $PM_{10}$  mediante el modelo ISCST3. Los resultados consolidados se muestran a continuación.

Los resultados del Gráfico 6 dejan en claro que los tres abrasivos, potenciales sustitutos de la arena,

generarían una reducción importante en los aspectos que impactan negativamente el ambiente y la salud de los operarios, dado que el riesgo por silicosis, enfermedad en la que mayor énfasis realizan las entidades gubernamentales, es nulo cuando se usan escorias de cobre y ferróniquel y silicato de aluminio, sumado a que el radio de afectación por emisión de material particulado igualmente disminuye, si se compara con la afectación generada por la arena. En otras palabras, los radios de afectación del material particulado  $PM_{10}$  para la escoria de cobre y el silicato de aluminio prácticamente serían nulos desde la perspectiva de probables reclamaciones provenientes de comunidades vecinas, e incluso desde las mismas instancias administrativas y operativas de los astilleros. Por último, la reducción del grado de riesgo por polvo molesto respirable (PMR) sería mayor al setenta por ciento y su control, mediante elementos de protección personal, tendría una mayor efectividad que la actual.

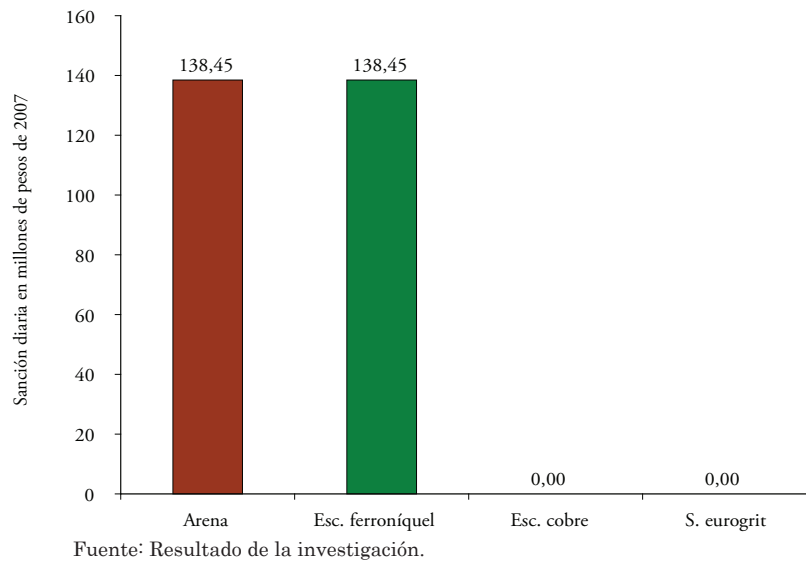
Desde esta visión y teniendo en cuenta los resultados obtenidos para los tres abrasivos, la escoria de cobre presenta el mayor acercamiento al objetivo

Gráfico 6. Impacto ambiental: Emisión de material particulado  $PM_{10}$



Fuente: Resultado de la investigación.

Gráfico 7. Estimativo de costos por sanciones ambientales



planteado de sustituir la arena, en virtud de que los niveles de impacto en el ambiente y en la salud de los operarios son reducidos a cero o a niveles dentro de los máximos permisibles, lo que la hace eficaz y comercialmente competitiva para los diferentes grados de limpieza. Este nivel de competitividad se refuerza y complementa cuantificando los beneficios económicos de costos ocultos ocasionados por la reducción de riesgos asociados a indemnizaciones en el tema de enfermedades profesionales, multas por violaciones a la reglamentación ambiental y beneficios conexos con la capacidad instalada del astillero.

De acuerdo con el Gráfico 7, el uso de la arena en el proceso de *blasting* seco mantiene latente el riesgo de una multa de cerca de 140 millones de pesos diarios por violación a la reglamentación ambiental, lo cual representaría la utilidad económica neta que por esta actividad generaría una cuadrilla durante un periodo de 300 días laborables con jornadas de diez horas en el astillero de Mamonal y seis horas en Bocagrande. El monto económico asociado a este riesgo y la probabilidad de que se presente con una frecuencia mayor que a la de un día por año, reduce drásticamente la viabilidad empresarial de los astilleros<sup>4</sup>.

<sup>4</sup> Los valores correspondientes al monto máximo de sanción diaria por emisión de material particulado mayor a 150 µg/m<sup>3</sup>, poseen como base de cálculo la Ley 99 de 1993, art. 85, num. 1.

Del riesgo latente por enfermedad profesional sujeto al impacto en la salud que genera el uso de la arena, se conoce de indemnizaciones por valor de 866 millones de pesos para el año 2004<sup>5</sup>. Buscando no recurrir a cuantificar el costo de compensación de una indemnización sobre la base de probabilidades de ocurrencia de enfermedades profesionales, se adopta el criterio de disponer de una póliza para enfermedades graves que asegure los costos de consultas, exámenes, medicamentos, hospitalizaciones y cirugías, para compensar lo que podría ser el monto de una eventual indemnización.

Los resultados de este cálculo dejan en claro que disponer de una póliza de seguros que ampare los costos de atención integral frente a una enfermedad grave, sin incluir el costo de la incapacidad del trabajador, para compensar una eventual demanda e indemnización por enfermedad profesional, afecta el costo del proceso de *blasting* con arena y reduce su competitividad económica frente a un proceso que utilice como abrasivo escoria de cobre.

El aumento de la producción a partir de la misma capacidad instalada es un beneficio conexo atribuible a sustituir la arena por escoria de cobre, explicado en la reducción del consumo y el aumento del uso horario en los astilleros de Cotecmar. Desde esta perspectiva, se espera que al implementarse

<sup>5</sup> Información suministrada por la ARP Colmena.

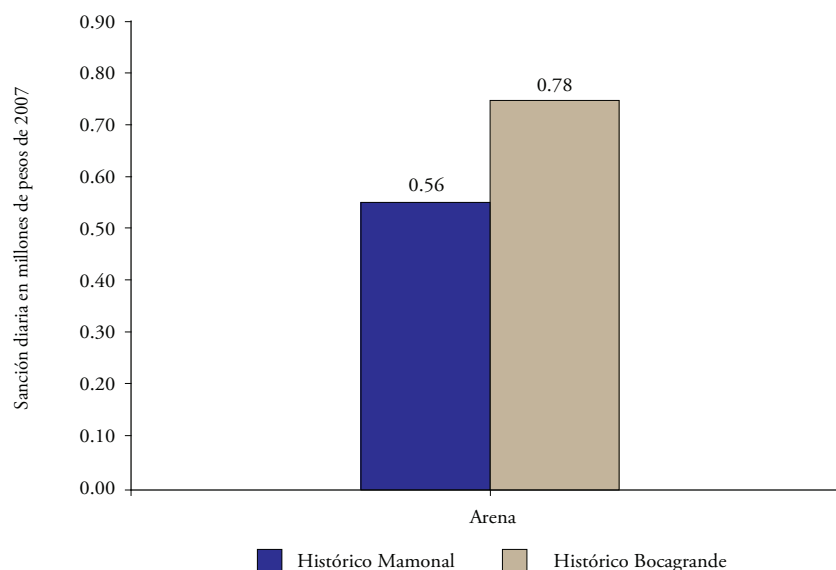


Cuadro 3. Costo proyectado por impacto en la salud (en pesos)

Parámetro	Bocagrande	Mamonal
Costo actual de proceso de <i>blasting</i> con arena a grado comercial (\$/m <sup>2</sup> )	7.892	15.206
Costo mensual de aseguramiento de cuadrilla mediante póliza para enfermedades graves con respaldo de un mil millones de pesos.	2.100.000	2.100.000
Producción anual por cuadrilla (m <sup>2</sup> ).	25.200	36.00
Costo de proceso de <i>blasting</i> con arena, incluida la póliza (\$/m <sup>2</sup> ).	8.892	15.906
Costo de proceso de <i>blasting</i> con escoria de cobre (\$/m <sup>2</sup> )	7.892	16.141

Fuente: Resultado de la investigación.

Gráfica 8. Incremento en capacidad instalada por utilización de escoria de cobre



Fuente: Datos históricos de rendimientos para el material arena: Cotecmar.

Los datos de rendimientos para el material escoria de cobre: Resultados de la investigación.

la escoria de cobre como abrasivo sustitutivo de la arena, la capacidad instalada de Cotecmar se ve incrementada entre 56% y 78% para las plantas de Mamonal y Bocagrande, respectivamente. Lo anterior, indica que Cotecmar tendría la opción de duplicar la cantidad de metros cuadrados que se preparan actualmente en cada una de sus plantas de producción, de acuerdo con los análisis comparativos realizados y que toman como referencia registros de rendimientos históricos de la arena suministrados por la Corporación, y datos obtenidos para la escoria de cobre a lo largo del proyecto de investigación antes mencionado.

## Conclusiones

El proyecto logró el objetivo de identificar abrasivos competitivos para sustituir la arena utilizada en el proceso de *blasting* seco para los astilleros de Mamonal y Bocagrande de Cotecmar, anulando el riesgo de demandas económicas por violaciones a la reglamentación ambiental y por indemnizaciones con ocasión de enfermedades profesionales. En este sentido, se identificó como material sustitutivo de línea a la escoria de cobre, abrasivo que se ofrece en el mercado mundial para aplicaciones de *blasting* seco y como material de contingencia a la

escoria de ferroníquel, abrasivo no comercializado para estos propósitos, pero que mediante procesos previos a su utilización podría lograr un alto nivel de competitividad.

A su vez, es importante señalar que puede disponerse de procesos de chorreado en seco para grandes superficies con un nulo o marginal impacto en el ambiente y en la salud ocupacional, con un grado de competitividad económica factible, aun cuando el abrasivo de sustitución sea relativamente alto en su precio nominal. Para establecer la competitividad de un abrasivo respecto de un patrón de referencia, adicionalmente a los aspectos técnicos propios de la evaluación de abrasivos, deben considerarse y cuantificarse: (i) las restricciones ambientales y en salud ocupacional específicas; (ii) la capacidad o tamaño del astillero, y (iii) la identificación del procedimiento óptimo para una productividad máxima.

El proceso de valoración de la competitividad integral de un abrasivo para un proceso de *blasting* en un astillero, debe disponer de un sistema de monitoreo y un modelo ambiental, un sistema de costos aplicable a las condiciones operacionales, administrativas y de logística del astillero y un grupo de laboratorios especializados en caracterizaciones químicas, fisicoquímicas y de evaluación de recubrimientos.

La productividad y el reciclaje de un abrasivo en un proceso de *blasting* seco, generan un alto impacto en el costo final del proceso, y por ello, debe identificarse la condición operacional de mayor nivel de productividad en función del grado de limpieza y de mayor probabilidad de reciclabilidad, puesto que el desempeño de los abrasivos no presenta tendencias genéricas en función de la velocidad del abrasivo.

## Referencias

- Clemco Industries Corp., P. Blackmur & H. Azocar, "Blastology", *The Science & Secrets of Successful Abrasive Air Blasting*.
- Conn, A. F. & Chahine, G. L. (1976), "Ship Hull Cleaning With Self-Resonating Pulsed Water Jets", Maryland, Tracor Hydronautics, Inc.
- Corporación para la Investigación de la Corrosión y Corporación de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo Naval, Marítimo y Fluvial (2005). Proyecto de cofinanciación Colciencias: "Evaluación y Selección de Abrasivos como Sustitutos de la Arena en la Preparación de Superficies Metálicas en los Astilleros de Cotecmar: Impacto Técnico, Económico y Ambiental". Piedecuesta, CIC.
- Environment Canada (1995), "Best Management Practice (BMPs) for Ship and Boat Building and Repair Industry in British Columbia", Environment Canada, International Publication.
- National Physical Laboratory & The National Corrosion Service (1982), "Guides to Good Practice in Corrosion Control Surface Preparation for Coating", NPL, Ucrania.
- Frenzel, L. M. (1996), "The Whole Truth of Standards and Specifications for Water in Surface Preparation", NACE Corrosion: Article n.º 596, International Publication.
- Lever G. (1996), "Hydro Blasting Permits Safe, Cost-Effective Dam Rehabilitation", Materials Performance (MP), International Publication.
- Lou L. D. (2001), "Surface Preparation Standards", NACE Corrosion: Article n.º 01659, International Publication.
- Military Specification, MIL-A-22262B (SH) (1993). "Abrasive Blasting Media Ship Hull Blast Cleaning", Arlinton, Naval Sea Systems Command.
- Munger, C. G. (1986), "Surface Preparation: Corrosion Prevention by Protective Coatings", National Association of Corrosion Engineers, 2nd Edition. International Publication.
- Peart, J. W. (1987), "Prototype Mineral Abrasive Reclaimed: Shipyard Operation", U.S. Department of Transportation, NSRP 0272.

- Schmidt, R. F. (1997), "Ultrahigh-Pressure Water-jetting Comes of Age for Surface Preparation - It's Time to Get the Salts Off the Work". NACE Corrosion: Article n.º 594, International Publication.
- The National Institute for Occupational Safety and Health (1998), "Particulates not Otherwise Regulated, Respirable". NIOSH, International Publication.
- The Society for Protective Coatings (1982), "SSPC Painting Manual, vol. 2: Surface Preparation Specifications", SSPC, International Publication.
- The Society for Protective Coatings (2000), "SSPC-SP6 Commercial Blast Cleaning" SSPC, Pittsburgh.
- The Society for Protective Coatings (2000), "SSPC-SP7: Brush-Off Blast Cleaning" SSPC, Pittsburgh.
- The Society for Protective Coatings (2000), "SSPC-SP10: Near-White Metal Blast Cleaning" SSPC, Pittsburgh.
- The Society for Protective Coatings (2000) "Abrasive Specification n.º1: Mineral and Slag Abrasives. SSPCAB1", SSPC, International Publication.
- The Society for Protective Coatings & KTA-Tator, Inc. (1998), "The National Shipbuilding Research Program: User Guide to Selection of Blasting Abrasives", SSPC, International Publication.
- United States of America, State of California Department of Health Services (s. f.), Average Amounts of California's 17 Regulated Heavy Metals & the 8 Federal RCRA Heavy Metals.
- United States of America, Department of Health and Human Services Centers for Disease Control and Prevention National Institute for Occupational Safety and Health & KTA-Tator, Inc (1999), "Evaluation of Substitute Materials for Silica Sand in Abrasive Blasting", Pittsburgh, HHS.
- Woodson, J. P. (1992), "Blast Cleaning: Wet Abrasive". The Society for Protective Coatings: Journal of Protective Coatings and Linings, TIP-36B, 2nd Edition.
- Woodson, J. P. (1992), "Wet Abrasive Blasting: Problems and Solutions", The Society for Protective Coatings: Journal of Protective Coatings and Linings, TIP- 36B, 2nd Edition.

