

1. 540
2. TÍTULO COMPLETO

**Aplicación del Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) para la evaluación de Tecnologías en el marco del Sistema de Inteligencia Empresarial de COTECMAR. Caso de estudio: Proceso de Preparación de Superficies Metálicas - Planta Bocagrande.**

3. EJE TEMÁTICO

**8. HERRAMIENTAS DE APOYO A LA GESTIÓN DE LA I+D E INNOVACIÓN**  
**8.1 Prospectiva científica y tecnológica, información tecnológica, herramientas de previsión, mapas tecnológicos. Monitoreo tecnológico e inteligencia competitiva.**

4. AUTORES

Titulo: Ingeniero, MSc.

Nombre: Quintero Maldonado, José David.

Empresa: Corporación de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo de la Industria Naval, Marítima y Fluvial - COTECMAR

E-mail: [jquintero@cotecmar.com](mailto:jquintero@cotecmar.com)

País: Colombia

Titulo: Ingeniero, Esp.

Nombre: Sejnauí Coronado, Alejandro.

Empresa: Corporación de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo de la Industria Naval, Marítima y Fluvial - COTECMAR

E-mail: [asejnauí@cotecmar.com](mailto:asejnauí@cotecmar.com)

País: Colombia

Titulo: Ingeniero, Esp.

Nombre: Saravía Arenas, Jimmy.

Empresa: Corporación de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo de la Industria Naval, Marítima y Fluvial - COTECMAR

E-mail: [jsaravia@cotecmar.com](mailto:jsaravia@cotecmar.com)

País: Colombia

**Aplicación del *Proceso de Análisis Jerárquico (AHP)* para la Evaluación de Tecnologías en el marco del Sistema de Inteligencia Empresarial de COTECMAR. Caso en estudio: Proceso de Preparación de Superficies Metálicas - Planta Bocagrande**

**Application of the *Analytical Hierarchy Process (AHP)* to evaluate technologies on COTECMAR's Business Intelligence System. Case Study: Metallic Surface Preparation Process - Bocagrande Facilities**

*Quintero M., José*<sup>1</sup>  
*Sarabia A., Jimmy*<sup>2</sup>  
*Sejnauí C., Alejandro*<sup>3</sup>

## **RESUMEN**

El *Proceso de Análisis Jerárquico (AHP)*, por sus siglas en inglés) es un método de toma de decisiones basado en el criterio de expertos para la determinación de prioridades entre diversos factores. En este caso, el método AHP se aplica en la evaluación de tecnologías asociadas a la preparación de superficies metálicas. El caso en estudio está relacionado con las instalaciones de COTECMAR – Bocagrande, un astillero naval localizado en Cartagena/Colombia.

## **ABSTRACT**

The *Analytical Hierarchy Process (AHP)* is a decision making method, based on expert's criteria to determine priorities on diverse factors. In this case, the AHP is being applied on the evaluation of technologies regarding metallic surface preparation. The case that is specifically being studied is related to the facilities of COTECMAR - Bocagrande, a naval shipyard located on Cartagena/Colombia.

---

<sup>1</sup> Ingeniero Industrial. Magíster en Administración de Empresas del Tecnológico de Monterrey. Jefe del Departamento de Investigación y Desarrollo Tecnológico de COTECMAR. Correo Electrónico: [jquintero@cotecmar.com](mailto:jquintero@cotecmar.com)

<sup>2</sup> Ingeniero Industrial. Especialista en Gerencia de Sistemas y Tecnología. Candidato a Magíster en Gestión de la Innovación de la Universidad Tecnológica de Bolívar. Jefe de la División de Gestión Tecnológica – COTECMAR. Correo Electrónico: [jsaravia@cotecmar.com](mailto:jsaravia@cotecmar.com)

<sup>3</sup> Ingeniero Industrial. Especialista en Gerencia de Proyectos. Candidato a Magíster en Gestión de la Innovación de la Universidad Tecnológica de Bolívar. Gestor del Programa de Investigación en Competitividad – COTECMAR. Correo Electrónico: [asejnauí@cotecmar.com](mailto:asejnauí@cotecmar.com)

**Palabras Clave:** *Evaluación de Tecnologías, Preparación de Superficies Metálicas, Proceso de Análisis Jerárquico, Astillero, Inteligencia Empresarial.*

**Key Words:** *Technology Evaluation, Metallic Surface Preparation, Analytical Hierarchy Process, Shipyard, Business Intelligence.*

## INTRODUCCIÓN

COTECMAR – Planta Bocagrande, es un astillero localizado en las instalaciones de la Base Naval ARC “Bolívar” en Cartagena/Colombia. Como es normal dentro de la actividad de reparación de buques, se requiere efectuar continuamente la preparación de superficies metálicas, que en este caso particular está relacionado con la aplicación de sandblasting en el casco del buque, de manera que pueda removerse la pintura y adicionalmente se genere un perfil de anclaje adecuado para los trabajos posteriores.

El método utilizado actualmente para la preparación de la superficie proporciona condiciones técnico económicas deseadas, pero tiene el potencial de convertirse en un inconveniente ambiental de gran magnitud para el astillero por dos grandes razones: Primero, porque el operario está expuesto al material particulado y a los altos niveles de ruido que se generan en el proceso, lo que podría traer enfermedades profesionales respiratorias como la silicosis o la pérdida de la capacidad auditiva; una segunda razón se debe a que el astillero se encuentra localizado en una zona residencial de la ciudad, y los efectos ambientales producidos como consecuencia del proceso podrían llegar a generar problemas de carácter legal con el entorno.

Desde mediados de los años 80’ se ha venido documentando este problema ambiental generado principalmente por el Blasting con abrasivos secos (Bin Md Naiem, 2004).

De esta manera surge la necesidad de evaluar las tecnologías disponibles en el mercado tomando como referencia las condiciones del astillero, de manera que

pueda implementarse una solución que satisfaga los requerimientos técnicos, económicos y ambientales.

## 1. ANTECEDENTES

Durante el período 2006-2008, se adelantó un proyecto de Investigación con la Corporación para la Investigación de la Corrosión (CIC), cuyo propósito principal era encontrar un abrasivo sustituto a la arena que generase el perfil de anclaje, costo y rendimiento requerido en el proceso, con el uso de la misma tecnología disponible como restricción principal.

En el desarrollo de la investigación se encontraron importantes resultados, con el cual se determinó la *escoria de cobre* como potencial sustituto de la arena.

Durante el proceso se recopiló gran cantidad de datos experimentales que se constituyeron en un importante insumo para el análisis de nuevas tecnologías.

Adicionalmente, el ejercicio de Inteligencia Empresarial objeto de este estudio tiene el propósito de analizar otras tecnologías disponibles en el mercado. Como insumo fundamental para esta búsqueda, se resalta la tesis de Maestría en Tecnología Marina de la Universidad Tecnológica de Malasia titulada “Estudio de Viabilidad en la aplicación de métodos avanzados de Blasting en la Industria Astillera de Malasia” elaborada por el MSc Mohd Azzeri Bin Md Naiem en el año 2004, documento que centra su investigación alrededor del tema en estudio.

## 2. MARCO TEÓRICO

## Preparación de Superficies Metálicas<sup>4</sup>

### *Chorroado Convencional en Seco*

El chorroado en seco con arena (Ver gráfico 1), conocido como arenado o “sandblasting”, es un proceso utilizado desde hace más de 70 años en el mantenimiento de las estructuras metálicas como fase previa a la aplicación de recubrimientos protectores. La técnica consiste en el arrastre de arena por una corriente de aire comprimido, típicamente a 90/100 psi, hasta una boquilla que, dirigida por el operario, permite bombardear y limpiar la superficie metálica. La arena de sílice es históricamente el principal abrasivo en la preparación de superficies, para todo tipo de aplicaciones industriales y de construcción, gracias a sus características técnicas y a su bajo costo, asociado a su fácil y permanente explotación en fuentes naturales. Su elevada dureza, la variedad de granulometrías y purezas obtenibles, permiten alcanzar elevados rendimientos en la remoción de pinturas y óxidos. El chorroado en seco con arena produce finalmente superficies limpias y con el perfil de anclaje requerido para garantizar un desempeño adecuado del sistema de recubrimiento.

**Ilustración 1.** Trabajos de Sandblasting en COTECMAR



<sup>4</sup> Formulación del Proyecto para 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. 2005.

El “sandblasting”, sin embargo, causa altos niveles de contaminación en el aire y tiene un impacto negativo en la salud de los operarios. Estas desventajas inherentes a la arena han provocado que las legislaciones de varios países, y los estándares de calidad de muchas empresas, prohíban o restrinjan su utilización en las tareas de mantenimiento, impulsando de este modo el uso de materiales, tecnologías o procesos de preparación de superficies alternativos.

### *Salud Ocupacional – Arenado y Riesgos de Silicosis*

La arena es un material con una alta tasa de fragmentación, lo que significa que durante el proceso de chorroado se produce una disminución importante en el tamaño de las partículas que impactan el metal. Se genera de este modo una fracción importante de partículas finas, no sedimentables, que deterioran directamente la calidad del aire en las zonas de trabajo y que, dependiendo de parámetros ambientales, pueden ser transportadas por el viento y afectar áreas relativamente alejadas. El material particulado en suspensión, y especialmente aquel menor a 10 micras, es fácilmente respirable por el hombre con consecuencias directas en su salud. El principal problema de la arena es sin embargo su alta concentración en sílice cristalina o cuarzo. Las partículas finas de sílice cristalina se alojan en los pulmones generando a su alrededor un crecimiento nodular fibrótico de los tejidos. Como consecuencia se produce un endurecimiento de los pulmones, dificultades respiratorias y en algunos casos la muerte.

La silicosis es un problema de salud ocupacional que ha sido relativamente bien documentado en los gremios de operarios de sandblasting de Estados Unidos y Europa. La silicosis puede afectar de modo crónico, acelerado o incluso inmediato al operario que no mantenga una protección respiratoria adecuada durante las tareas de arenado. Un informe de Merewheter realizado en

Gran Bretaña en 1936 indicó que más del 5% de los operarios de sandblasting del país murieron en un plazo de 4 años por problemas de silicosis, o de tuberculosis, asociada a la silicosis. Si bien las condiciones de trabajo y las medidas de protección respiratoria han evolucionado desde entonces, organizaciones como la OSHA en Estados Unidos (Occupational Safety and Health Administration) continúan reportando casos de silicosis entre los operarios de sandblasting y el personal auxiliar expuesto.

### *Legislación*

El impacto negativo del chorreado con arena en la calidad del aire del entorno, además de la explotación acelerada de los recursos naturales, ha provocado recomendaciones y restricciones legales para su utilización. En Inglaterra la prohibición para el arenado en campo abierto se estableció en 1950 mientras que en otros países europeos esta política data de 1966. Por su parte, en Estados Unidos, la NIOSH (The National Institute for Occupational Safety and Health) estableció en 1974 recomendaciones para prohibir la arena, u otros materiales que contengan más de 1% de sílice cristalina libre. Estas restricciones directas sobre el uso de la arena se complementan con los controles de calidad del aire en zonas industriales y residenciales, y el establecimiento de límites máximos en la concentración tanto de material particulado en general como de sílice cristalina libre en particular.

En Colombia no existen restricciones al proceso de arenado y los estudios sobre su impacto ambiental e incidencia en la salud ocupacional son escasos. La legislación Ambiental Colombiana es sin embargo amplia en medidas de protección y dinámica en la implantación de nuevas y mejores regulaciones.

### *La Preparación de Superficies en COTECMAR*

COTECMAR es una empresa líder en el sector astillero nacional y regional, que

tiene por objeto proporcionar soluciones avanzadas a la industria Naval, Marítima y Fluvial y cuya actividad comercial se encuentra en las áreas de diseño, construcción, reparación, y mantenimiento de motonaves y artefactos marítimos y fluviales. La empresa cuenta con dos astilleros situados en la ciudad de Cartagena, una en la zona industrial de Mamonal y otra en el sector de Bocagrande, en las que preparación de superficies y aplicación de recubrimientos constituyen unas de sus actividades más importantes.

El mantenimiento permanente de gran número de embarcaciones, cargueros y buques, hacen de esta empresa uno de las principales consumidoras de arena en el país. En un período de un año la empresa prepara aproximadamente 90.000 m<sup>2</sup> de superficies metálicas, con diferentes grados de calidad, representando un consumo de más de 3.000 toneladas de arena. Para cumplir con estas tareas la empresa cuenta con los servicios de varias cooperativas especializadas de operarios de sandblasting y pintores y una estructura técnica y logística que le permite cumplir con eficiencia y calidad y mantener una posición de preferencia en la región del Caribe.

COTECMAR dentro de su política de excelencia en seguridad industrial y su "Plan de Manejo Ambiental" busca permanentemente mejorar la calidad técnica y ambiental de sus procesos. En este sentido la empresa quiere implementar métodos alternativos en la preparación de superficies y dar solución a los problemas de calidad del aire asociados al uso de la arena. Al mismo tiempo pretende incrementar su competitividad con procesos que representen un mejoramiento técnico y económico de sus productos.

El impacto del proceso de arenado tiene distintas características a la luz de la ubicación y funcionamiento de las plantas de Mamonal y Bocagrande. El astillero de Mamonal (Ver Ilustración 2), situado en una zona industrial, permite la varada de una decena de buques con esloras

superiores a los 100 metros. En los momentos de mayor actividad pueden existir más de 15 boquillas de “sandblasting” en operación, obteniéndose una emisión de área de material particulado que afecta sensiblemente la calidad del aire en la zona de trabajos, impacta igualmente las instalaciones administrativas, servicios auxiliares y comedores, y en menor grado las áreas industriales vecinas.

**Ilustración 2.** COTECMAR Planta Mamonal

El Astillero de Bocagrande (Ver Ilustración 3), por su lado, tiene menor capacidad, permitiendo la entrada de embarcaciones medianas y operando como máximo con 3 o 4 boquillas simultáneamente. El impacto del proceso de arenado en este astillero es sin embargo más crítico por cuanto se encuentra ubicado en un sector residencial con edificios localizados a menos de 100 metros. En este sentido, además del material particulado, uno de los problemas críticos en Bocagrande es el ruido generado durante el arenado, con niveles registrados que superan los 90 decibeles. Esta característica hace que las tareas de mantenimiento, contrario a lo que sucede en Mamonal, deban realizarse en jornada diurna, limitando así la posibilidad de optimizar las logísticas y metodologías en los procesos de preparación y aplicación de recubrimientos.

**Ilustración 3.** COTECMAR Planta Bocagrande



### *Técnicas y Procesos Alternativos al Chorreado en Seco Convencional*

El mercado de tecnologías distintas al chorreado en seco ha sido una rama en

constante crecimiento desde la generalización de las restricciones al arenado. Entre las diversas técnicas desarrolladas vale la pena destacar dos familias principalmente: el chorreado de abrasivo asistido con vacío, o “vacuum blasting”, y las tecnologías con agua/abrasivo o agua a altas presiones. El “vacuum blasting” es un sistema de chorreado en el que la boquilla se apoya directamente sobre la superficie y que cuenta con un sistema de aspiración lateral o concéntrica que recoge el material una vez este ha impactado la superficie. La manguera de aspiración



conduce la mezcla de residuos de abrasivo y pintura o material removido a recipientes que permiten el tratamiento y recuperación del abrasivo. Estos sistemas suelen ser utilizados exclusivamente con abrasivos reciclables.

El chorreado húmedo con arena o “wet sandblasting” es una variación simple del sistema convencional de arenado. Aquí la boquilla recibe una línea de agua a una presión de aproximadamente 50 psi. El agua genera un efecto de cortina sobre el chorro seco forzando la precipitación inmediata de gran parte de las partículas de abrasivo y residuos de pintura susceptibles de entrar en suspensión.

El “wet blasting” es una técnica muy utilizada gracias a sus bajos costos y eficiencia ambiental. Esta técnica es actualmente la principal alternativa en el país al arenado y empezó a utilizarse en empresas del sector petrolero a principios de la década de los 90.

El chorreado con agua a alta presión se clasifica como “High Pressure Water-Jet” (HPWJ) cuando se trabaja entre 6.000 y 25.000 psi y “Ultra High Pressure Water-Jet” (UHPWJ) si el rango está entre



25.000 y 40.000 psi. Las diferentes técnicas y equipos permiten la limpieza de residuos superficiales, sales y grasas, hasta la eliminación integral de sistemas de recubrimientos de alto espesor y costras difíciles de óxido, cuando se trabaja por encima de los 20.000 psi.

### **Proceso de Análisis Jerárquico (AHP)**

El proceso de análisis jerárquico (AHP por sus siglas en Inglés), desarrollado por Thomas L. Saaty (1980) es una herramienta de toma de decisiones diseñada para resolver problemas complejos de criterios múltiples. El proceso requiere que quien tome las decisiones proporcione evaluaciones subjetivas respecto a la importancia relativa de cada uno de los criterios y que, después, especifique su preferencia con respecto a cada una de las alternativas de decisión y para cada criterio. El resultado del AHP es una jerarquización con prioridades que muestran la preferencia global para cada una de las alternativas de decisión (Toskano; Bruno, 2005).

El AHP se basa en el principio fundamental de que la experiencia y el conocimiento de la gente respecto a un problema en cuestión, es tan valioso como los datos que se usan (Saaty, 1980; Elineema, 2002; citado por Ramírez, 2007).

Una vez construido el modelo jerárquico, se realizan comparaciones en pares entre dichos elementos (criterios-subcriterios y alternativas) y se atribuyen valores numéricos a las preferencias señaladas por las personas, entregando una síntesis de las mismas mediante la agregación de esos juicios parciales. El fundamento del proceso de Saaty descansa en el hecho que permite dar valores numéricos a los juicios dados por las personas, logrando medir cómo contribuye cada elemento de la jerarquía al nivel inmediatamente superior del cual se desprende. Para estas comparaciones se utilizan escalas de razón en términos de preferencia, importancia o probabilidad, sobre la base de una escala numérica propuesta. Una vez obtenido el resultado final, el AHP permite llevar a cabo un análisis de

sensibilidad (Ávila, 2000; citado por Ramírez, 2007).

El AHP “se trata de desmenuzar un problema y luego unir todas las soluciones de los subproblemas en una conclusión (Saaty, 1980; citado por Toskano; Bruno, 2005).

### **3. BÚSQUEDA Y CARACTERIZACION DE INFORMACIÓN**

Para iniciar el *proceso de análisis jerárquico* (en adelante AHP), se efectuó una ejercicio de Inteligencia Empresarial, abarcando las tres (3) áreas definidas en la Corporación a analizar dentro del Sistema: la Vigilancia del Entorno, la Vigilancia Competitiva, y la Vigilancia Tecnológica (Ver gráfico 4).

**Gráfico 1.** Sistema de Inteligencia Empresarial COTECMAR



Fuente: Elaboración Propia

Como factor crítico de vigilancia se definió la *Preparación de Superficies Metálicas*. Esto constituyó el punto de partida para el análisis de Inteligencia Empresarial.

Los principales criterios de búsqueda<sup>5</sup> identificados con los expertos<sup>6</sup>, se relacionan a continuación:

- *Surface Treatments* (Tratamientos de Superficies)

<sup>5</sup> Los criterios de búsqueda se establecieron en inglés, de manera que se pudiese abarcar un mayor espectro de información Web.

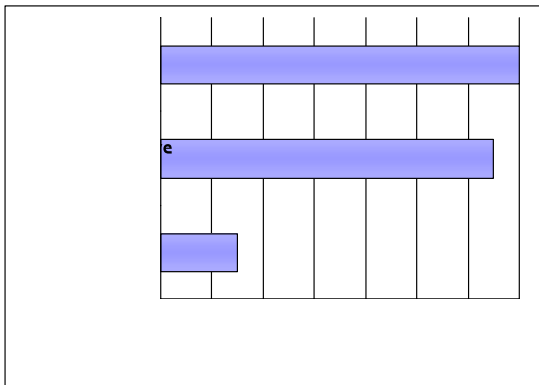
<sup>6</sup> Para el desarrollo y estructuración del ejercicio, se identificaron como expertos los jefes de pintura de las dos sedes de COTECMAR, personas con alta experiencia en el tema de preparación de superficies metálicas.

- *Surface Preparation* (Preparación de Superficies)
- *Dry Ice Blasting* (Proceso con Hielo Seco)
- *Sand Blasting* (Proceso con Arena)
- *Water Jet Blasting* (Proceso con Agua a Presión)
- *Sponge Media Blasting* (Proceso con Esponja)
- *Shipyard* (Astillero)
- *Ship* (Buque)

Las fuentes de información se fundamentaron principalmente en los resultados del proyecto de investigación para la búsqueda de abrasivos sustitutos, y en información web de motores de búsqueda tales como [www.google.com](http://www.google.com) y [www.kartoo.com](http://www.kartoo.com), y adicionalmente en las bases de datos de patentes tales como Oficina de Patentes de los Estados Unidos de América (USPTO), la Unión Europea (WIPO) y el buscador de patentes de Google. Posteriormente se efectuó la depuración y almacenamiento de la información. Entre los resultados principales del análisis, se encontró legislación internacional y estándares en materia de procesos de blasting y específicamente en cuando a los abrasivos.

Adicionalmente, en el área de la competencia, se identificaron las tecnologías utilizadas por astilleros internacionalmente, como se muestra en el gráfico 2.

**Gráfico 2.** Tecnologías Utilizadas por Astilleros

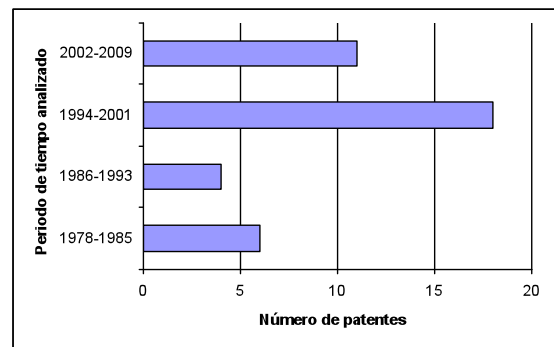


Fuente: Elaboración Propia

El ejercicio anterior se desarrolló con información de quince (15) astilleros internacionales, los cuales en algunas ocasiones combinan varias tecnologías.

En cuanto a las bases de datos de patentes consultadas, se identificaron las tendencias mostradas en los últimos 30 años en cuanto a los registros de patentes internacionalmente, como se muestra en el gráfico 3.

**Gráfico 3.** Patentes Preparación de Superficies (1970 – 2009)

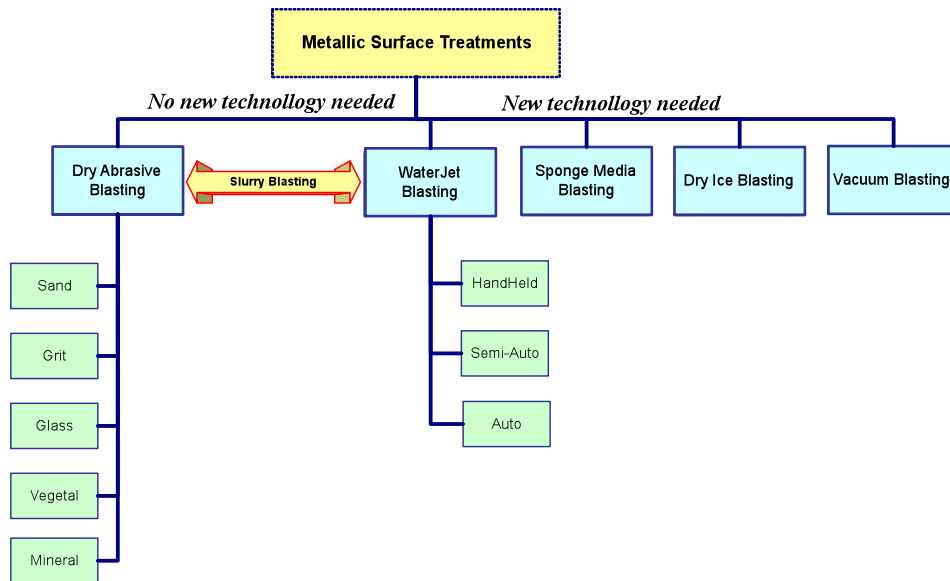


Fuente: Elaboración Propia

Por otra parte, con los insumos del ejercicio de Inteligencia Empresarial en general, se construyó un *árbol de tecnologías* asociadas a la Preparación de Superficies Metálicas (Ver gráfico 4).

**Gráfico 4.** Árbol de Tecnologías





Fuente: Elaboración Propia

Con base en las tecnologías identificadas en la búsqueda Web, se seleccionaron en conjunto con los expertos las tecnologías con potencial interés para la Corporación y con los respectivos supuestos a asumir en el AHP, como se muestra a continuación:

**Dry Abrasive Blasting**

Abarca todos los abrasivos secos, tales como arena, vidrio, vegetales, minerales, entre otros. Para el caso en estudio, se consideró la arena como abrasivo de referencia por ser la tecnología que se utiliza actualmente.

**Slurry Blasting**

Asocia la mezcla de un abrasivo seco con agua a alta presión. Se consideró la escoria de cobre con agua, por la información primaria que se tiene al respecto producto del proyecto de investigación desarrollado con la Corporación para la Investigación de la Corrosión (CIC).

**Hydro Blasting**

Referente a agua a alta presión con un sistema semiautomático.

**Automated UHP Blasting**

Referente a agua a alta presión con un sistema totalmente automatizado.

**Sponge Media Blasting**

Método que utiliza como abrasivo esponja con incrustaciones metálicas.

**Vacuum Blasting**

Asocia tecnología de vacío en su aplicación de abrasivos convencionales.

Con el propósito de direccionar la búsqueda Web de las tecnologías consideradas, se elaboró una ficha de tecnologías, en la cual se plantearon, en conjunto con los expertos, dieciocho (18) aspectos a ser identificados por cada una. Luego de desarrollar una búsqueda exhaustiva, se priorizaron diez (10) criterios con base en la información encontrada (Ver Gráfico 5).

Gráfico 5. Criterios de Evaluación

CRITERIOS
Facilidad de Consecución de Materia Prima
Reutilización
Grado Preparación de Superficie
Rendimiento
Recuperación de Perfil de Anclaje
Equipos Gestión Residual
Costo por Equipos
Costo por Área
Residuos/M. Particulado
Riesgos Salud

Fuente: Elaboración Propia

Con los resultados obtenidos en el ejercicio de Inteligencia Empresarial, se consolidaron los insumos requeridos para la elaboración del AHP.

#### 4. APLICACIÓN DEL AHP

El AHP es un método de toma de decisiones que, dada una escala de valores, define prioridades numéricamente de una serie de alternativas, basándose en el criterio de expertos. Tradicionalmente para esta herramienta, se aplica del *Método Delphi*, en el cual se determina una serie de expertos que independientemente diligencian las matrices comparativas basándose en su experiencia y conocimiento del tema en estudio. Sus resultados se promedian geoméricamente y de esta manera, una vez verificada la consistencia de los datos, se desarrolla el análisis final de los resultados. Para el presente caso en estudio, se aplicó una metodología diferente. Se efectuó un método de valoración objetiva de la mayoría de los criterios, los cuales, al estar dados en cifras numéricas, permitían el cálculo de razones comparativas entre las tecnologías.

Por ejemplo, si se comparan las tecnologías *Dry Abrasive Blasting* y *Automated UHP Blasting* bajo el criterio "rendimiento", la valoración comparativa se desarrolló como se muestra a continuación:

$$\text{Valoración} = \frac{\text{Rend. Sandblasting}}{\text{Rend. Automated UHP}} = \frac{8 \text{ m}^2/h}{80 \text{ m}^2/h} = 0,1$$

Es decir, que la relación que guarda el Dry Abrasive Blasting versus el Vacuum Blasting, es de 1 a 10. En los casos en los cuales no aplicaba la valoración objetiva, se construyó un criterio único con los expertos.

Una vez identificadas las tecnologías, los criterios, y los métodos de valoración, se procedió a desarrollar el proceso correspondiente.

Inicialmente se efectuaron matrices comparativas de tecnologías, teniendo en cuenta cada criterio de evaluación. En total se construyeron diez (10) matrices, de acuerdo a los criterios identificados. En el Gráfico 6 se muestra la matriz comparativa construida para el análisis de la *facilidad de consecución de Materia Prima*.

Con las valoraciones que se hacen entre las tecnologías, se construye un *vector prioritario*, el cual básicamente consiste en una ponderación por tecnología de acuerdo al criterio estudiado. En el caso mostrado como ejemplo, se puede verificar claramente que en el criterio de evaluación *facilidad de consecución de materia prima*, la tecnología que tiene una mayor ponderación es *Hydroblasting y Automated UHP*.

Una vez construidas las matrices comparativas de las tecnologías con base en los criterios, se desarrolló una matriz para ponderar la importancia de cada criterio (Ver Gráfico 7). Se evidencia que la importancia principal de acuerdo a las valoraciones radica en que la tecnología analizada otorgue el grado de preparación de superficie y el perfil de anclaje requerido, y adicionalmente opere bajo las condiciones ambientales y ocupacionales adecuadas.

**Gráfico 6.** Matriz Comparativa de Tecnologías bajo el criterio de facilidad de consecución de Materia Prima <sup>7</sup>

<sup>7</sup> A las valoraciones efectuadas para construir cada matriz comparativa, se les aplicó una prueba de consistencia, de manera que se previniesen incoherencias en los datos.

	<i>Slurry Blasting</i>	<i>Dry Abrasive Blasting</i>	<i>Hydro Blasting</i>	<i>Automated UHP</i>	<i>Vacuum Blasting</i>	<i>Sponge Media Blasting</i>	<b>Vector Prioritario</b>
<i>Slurry Blasting</i>	0,09	0,04	0,11	0,11	0,11	0,17	0,10
<i>Dry Abrasive Blasting</i>	0,27	0,12	0,11	0,11	0,11	0,17	0,15
<i>Hydro Blasting</i>	0,27	0,35	0,32	0,32	0,33	0,23	0,30
<i>Automated UHP</i>	0,27	0,35	0,32	0,32	0,33	0,23	0,30
<i>Vacuum Blasting</i>	0,09	0,12	0,11	0,11	0,11	0,17	0,12
<i>Sponge Media Blasting</i>	0,02	0,02	0,05	0,05	0,02	0,03	0,03

Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico 7. Matriz de Ponderación de Criterios**

	<i>Facilidad de Consecución MP</i>	<i>Reutilización</i>	<i>Grado PS</i>	<i>Rendimiento</i>	<i>Recup. Perfil de Anclaje</i>	<i>Equipos G. Residual</i>	<i>Costo x Equipos</i>	<i>Costo x Área</i>	<i>Residuos/M. Particulado</i>	<i>Riesgos Salud</i>	<b>Vector Prioritario</b>
<i>Facilidad de Consecución MP</i>	0,04	0,04	0,03	0,03	0,05	0,09	0,03	0,04	0,05	0,05	0,05
<i>Reutilización</i>	0,04	0,04	0,06	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04
<i>Grado PS</i>	0,22	0,11	0,17	0,21	0,14	0,13	0,19	0,23	0,16	0,16	0,17
<i>Rendimiento</i>	0,09	0,07	0,06	0,07	0,05	0,13	0,06	0,08	0,08	0,08	0,08
<i>Recup. Perfil de Anclaje</i>	0,13	0,18	0,17	0,21	0,14	0,13	0,31	0,04	0,16	0,16	0,16
<i>Equipos G. Residual</i>	0,02	0,04	0,06	0,02	0,05	0,04	0,03	0,04	0,05	0,05	0,04
<i>Costo x Equipos</i>	0,09	0,07	0,06	0,07	0,03	0,09	0,06	0,16	0,08	0,08	0,08
<i>Costo x Área</i>	0,09	0,11	0,06	0,07	0,27	0,09	0,03	0,08	0,08	0,08	0,09
<i>Residuos/M. Particulado</i>	0,13	0,18	0,17	0,14	0,14	0,13	0,13	0,16	0,16	0,16	0,15
<i>Riesgos Salud</i>	0,13	0,18	0,17	0,14	0,14	0,13	0,13	0,16	0,16	0,16	0,15

Fuente: Elaboración Propia

**Gráfico 8. Matriz final de Jerarquización de Tecnologías**

	<i>Facilidad Cons. MP</i>	<i>Reut.</i>	<i>Grado PS</i>	<i>Rend.</i>	<i>Recup. Perfil de Anclaje</i>	<i>Equipos G. Residual</i>	<i>Costo x Equipos</i>	<i>Costo x Área</i>	<i>Residuos/M. Part.</i>	<i>Riesgos Salud</i>	<b>Vector Prioritario</b>
<i>Slurry Blasting</i>	0,0047	0,0033	0,0285	0,0083	0,0270	0,0060	0,0162	0,0022	0,0154	0,0154	0,1272
<i>Dry Abrasive Blasting</i>	0,0066	0,0017	0,0285	0,0038	0,0270	0,0060	0,0181	0,0033	0,0093	0,0093	0,1136
<i>Hydro Blasting</i>	0,0138	0,0049	0,0285	0,0144	0,0270	0,0060	0,0130	0,0091	0,0154	0,0154	0,1476
<i>Automated UHP</i>	0,0138	0,0058	0,0285	0,0384	0,0270	0,0100	0,0065	0,0765	0,0463	0,0463	0,2992
<i>Vacuum Blasting</i>	0,0053	0,0058	0,0285	0,0072	0,0270	0,0100	0,0108	0,0024	0,0463	0,0463	0,1897
<i>Sponge Media Blasting</i>	0,0014	0,0149	0,0285	0,0038	0,0270	0,0020	0,0130	0,0011	0,0154	0,0154	0,1227

Fuente: Elaboración Propia

Con los resultados obtenidos en las matrices comparativas de tecnologías y en la matriz de ponderación de criterios, se construyó una matriz final para determinar jerárquicamente la aplicabilidad de las tecnologías analizadas en el caso en estudio (Ver Gráfico 11).

Se puede apreciar que bajo los criterios asumidos y su respectiva ponderación, y los resultados de las matrices comparativas entre tecnologías, las tecnologías con mayor potencial de aplicabilidad en las instalaciones de la planta Bocagrande son (en orden de

importancia): *Automated UHP*, *Vacuum Blasting* e *Hydro Blasting*.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como resultado de la metodología utilizada se puede verificar que existen otras opciones en el mercado para la preparación de superficies metálicas, pero estas deben ser valoradas previamente en aras de garantizar el cumplimiento de los fines Corporativos.

Cabe resaltar que entre las tecnologías que dieron presentan un mayor potencial de implementación en la Planta Bocagrande, producto de la elaboración del AHP, se destaca principalmente las relacionadas con agua a alta presión (UHP). Esto anterior, adicional al significativo desarrollo que ha venido presentando la tecnología que ha pasado de sistemas de aplicación convencionales, a semiautomáticos y totalmente automatizados, también se soporta con el análisis competitivo desarrollado, en el cual se evidenció que entre los astilleros analizados, era la tecnología mayormente utilizada.

Teniendo en cuenta que en el Astillero se efectúan cambios de láminas, las cuales requieren que se genere un perfil de anclaje apropiado, se recomienda mantener, adicional a una tecnología automatizada de agua a altas presiones (*si se llegare a determinar su adquisición*) una tecnología con abrasivo y de bajo impacto ambiental que permita desarrollar estos trabajos, toda vez que el agua por si misma no genera el perfil de anclaje requerido.

A partir de este ejercicio, se sugiere desarrollar un análisis más profundo de las tecnologías con alto potencial de implementación, teniendo en cuenta los expertos y proveedores identificados en el ejercicio de Inteligencia Empresarial.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

*Departamento de Investigación y Desarrollo Tecnológico de COTECMAR. "Informe del Sistema de Inteligencia Empresarial (SIE) referente al análisis y evaluación de tecnologías asociadas a la Preparación de Superficies Metálicas para las condiciones de la Planta Bocagrande". 2009.*

*Gutiérrez Guzmán, Nelson. "Identificación y Priorización para Implantar Buenas Prácticas Agrícolas en Productores de Café y Frutas en el Departamento del*

*Huila en Colombia. Universidad Politécnica de Valencia. 2008.*

*Ramírez, Andres. "El proceso de Análisis Jerárquico con base en Funciones de Producción para Planearla Siembra de Maíz de Temporal". Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas. 2007.*

*Toskano Hurtado, Gérard. "El proceso de Análisis Jerárquico (AHP) como Herramienta para la Toma de Decisiones en la Selección de Proveedores. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 2005*

*Formulación del Proyecto para 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. 2005.*

*Bin Md Naiem, Mohd Azzeri. "Viability Study on the Application of Advance Blasting Methods in Malaysian Shipbuilding Industry". Universiti Teknologi Malaysia. 2004.*

