

# Boletín de divulgación científica

## Aspectos importantes del estado del arte de la tecnología Arco Spray

10/02/2022

Boletín Numero 1

### PROYECTO DISEÑO BÁSICO Y PROTOTIPO VIRTUAL DE UNA UNIDAD TIPO BUQUE DE APOYO LOGÍSTICO Y CABOTAJE LIVIANO PARA LA ARC – 75777

**Autores:**

José María Riola  
Grupo de investigación  
GICCDN

Escuela Naval de Cadetes  
“Almirante Padilla”

Jairo Enrique Martínez Garcés  
Grupo de investigación  
GICCDN

Escuela Naval de Cadetes  
“Almirante Padilla”

### Introducción

El presente documento plantea un informe parcial del avance de actividades correspondiente al estado del arte de la tecnología Arco Spray, la cual es una actividad correspondiente al objetivo específico: Especificar y validar los requerimientos de la ARC en términos de la misión para definir los atributos principales de desempeño, especialmente dimensiones, la cual consiste en realizar una revisión bibliográfica relacionado con la aplicación de la tecnología en buques.

La actividad se ha ejecutado en periodo de cuatro meses, para lo cual fue necesario realizar revisión documental detallada en diferentes fuentes de información como lo son artículos científicos, páginas web entre otras fuentes de información. Se plasmó la revisión de aproximadamente 80 fuentes de información que han sido recopiladas, analizadas y a partir de estas, se elaboró documento del informe del estado del arte.



Figura 1: Boceto de cámara de niebla salina. Fuente (Propia)



El conocimiento  
es de todos

Minciencias



## Aspectos importantes del estado del arte de la tecnología Arco Spray



### DATOS DE INTERÉS

*“El Grupo de Investigación en Comunicaciones, Control y Diseño Naval (GICCDN) se encuentra en categoría A”*

## Resultados obtenidos

A continuación, se presentan conceptos importantes contenidos a través de la vigilancia. Dentro de la vigilancia realizada se destaca lo siguiente:

### Los materiales

El estudio de los materiales para la construcción de las embarcaciones se ha convertido en una obsesión para esta rama de la ingeniería naval, debido a la importancia en el ahorro de costos y mayor durabilidad de los mismos en las actividades propias de su construcción. Así, por esta razón, se siguen estudiando nuevos materiales y las mejoras en los existentes, con el objetivo de optimizar los procesos en las nuevas construcciones y en el mantenimiento de los buques existentes para lograr mejorar su ciclo de vida [1].

### Corrosión de acero naval

La corrosión es un problema experimentado por los cascos de los buques desde que se pasó a navegar en barcos de metal. Convirtiéndose en el principal factor de mantenimiento del casco a lo largo de toda su vida útil y que, además, sea un problema que acarrea grandes costes económicos. Por todo ello, y debido a la gran cantidad de recursos y tiempo invertido por la Armada para paliar los efectos de la corrosión, resulta de gran interés determinar los factores que más afectan al proceso de degradación del acero que está en contacto con el agua del mar, de manera que pueda contribuirse a mitigar el efecto de la corrosión en los aceros de los buques, así como sus consecuencias. La corrosión se puede definir como la degradación de un material a causa de la acción del ambiente en que está inmerso, dicha degradación se debe al resultado de las interacciones del material y el ambiente bajo condiciones de exposición determinadas. La corrosión es la causa general de la alteración y destrucción de los materiales naturales o fabricados por el hombre. Si bien esta fuerza destructiva ha existido siempre, no se le ha puesto atención hasta los tiempos modernos, como efecto de los avances de la civilización en general y en la técnica en particular.

Se debe tener en cuenta que el problema del deterioro por corrosión que sufren los barcos en contacto con el agua de mar es complejo y más aún es el perjuicio económico que se genera por esta razón y que obliga a una investigación permanente tendiente a encontrar, si bien no soluciones definitivas, por lo menos aquellas de razonable eficiencia.

La corrosión del acero en agua de mar es un fenómeno esencialmente electroquímico [2]. Los factores que influyen sobre este proceso dependen de las características propias del metal (proceso de fabricación de la chapa) y las del electrolito (agua del mar).

La combinación de todos estos factores provoca, en la chapa de acero sumergida, la aparición de micro celdas de diferente potencial electroquímico, donde se genera una corriente eléctrica y por ello una corrosión.

## Aspectos importantes del estado del arte de la tecnología Arco Spray



El conocimiento es de todos

Minciencias



### DATOS DE INTERÉS

*“COTECMAR es una organización innovadora que trabaja dentro del campo de investigación científica y tecnológica, apoyando el desarrollo de la industria marítima colombiana”*

## Resultados obtenidos I

### Cámara niebla salina

Como explica Bohorquez (2021), el ensayo de niebla salina consiste en exponer la pieza objeto del ensayo a una niebla salina durante un cierto período de tiempo en el interior de la cámara, bajo condiciones controladas. El tiempo transcurrido desde que se introdujo la pieza hasta que comienza el ataque de la corrosión, proporciona una medida de la capacidad de resistencia del metal constituyente o del recubrimiento a dicho ataque. La cámara de niebla salina DCTC de la ENAP puede realizar pruebas de corrosión de acuerdo con las normas nacionales e internacionales más importantes: prueba continua de niebla salina-ISO 9227, ASTM B117, DIN 50021, prueba alternativa de niebla salina-DIN 50907 [3].

Existen varios parámetros de diseño y selección de equipos, en la realización de estos ensayos como lo son:

- Rango de temperatura  $35\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ .
- Rango de presión (flujo constate): entre 10 psi y 25 psi, libre de impurezas y aceite.
- Posición de las probetas: entre  $15^\circ$  y  $30^\circ$  respecto a la vertical.
- Deposición de niebla (condensado): de 1 a 2 ml/h en un área de 80 cm<sup>2</sup>.

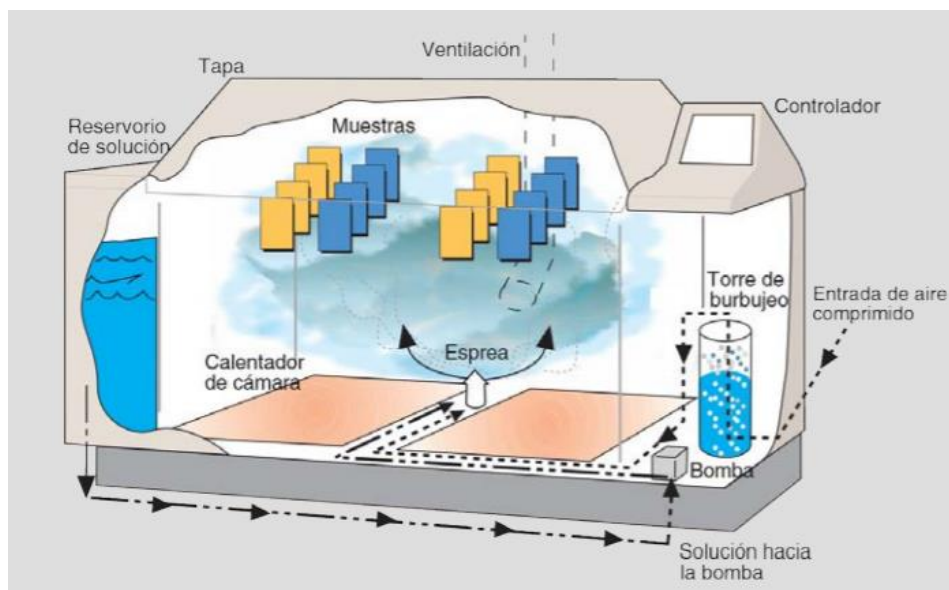


Figura 2: Boceto de cámara de niebla salina. Fuente: (<https://www.qlab.com/documents/public/fadf2014-60d7-4157-ba34-207ee6bdfffd.pdf>)

## Aspectos importantes del estado del arte de la tecnología Arco Spray



### DATOS DE INTERÉS

*“Proyecto aprobado en la Invitación a presentar propuestas para la ejecución de proyectos de I+D+i orientados al fortalecimiento del Portafolio I+D+i de la Armada República de Colombia bajo tres modalidades de financiación, según prioridades y necesidades de la Armada ”*

## Resultados obtenidos II

### Técnica de Arco Spray

La técnica de arco spray [4] es un equipo de metalización por arco eléctrico [5] que se utiliza para la aplicación de capas metálicas sobre diversos materiales los cuales no poseen una habilidad fácil de adherirse a tal superficie, por lo cual podemos explicar que la técnica de arco spray consiste en el proceso de metalización mediante unos alambres metálicos [6], los cuales se funden por medio de un arco eléctrico, con lo que el material que fue fundido [7] siendo atomizado por un chorro de aire comprimido e impulsado contra la superficie la cual va a ser recubierta.

El origen de la proyección térmica data de principios del siglo XX con la invención del proceso de metalización de Schoop-Günther en 1917. La invención de esta técnica es una de las más versátiles al contextualizar el uso de la proyección térmica para la aplicación de materiales de recubrimiento [8] [9], utilizados para proteger componentes del desgaste por abrasión, adhesión, erosión, corrosión (como la causada por el agua de mar) y fatiga.

El requerimiento de generar un estado del arte sobre el proceso de proyección térmica por arco eléctrico surge con la necesidad de analizar y entender el proceso como un método efectivo para la protección contra la corrosión y el desgaste abrasivo de componentes estructurales, como corrosión en el casco o por cavitación en hélices y bombas, desgaste por movimiento de cargas de un lugar a otro como es el caso de cables de amarre, engranajes, entre otros. Estos componentes pueden ser recuperados o reforzados para evitar su deterioro y prolongar así su ciclo de vida útil.

Para realizar el análisis adecuado sobre el proceso de proyección térmica por arco eléctrico se debe recurrir a la diferente bibliografía relacionada con el tema, y de la cual se puede recopilar información sobre variables y métodos de aplicación que permitirán establecer en qué condiciones debe ser fabricado un recubrimiento metálico sobre el acero naval.

La proyección térmica por arco eléctrico es una técnica económica para aplicar recubrimientos metálicos resistentes a la corrosión con buena calidad en cuanto a adherencia y composición química. Esto es muy útil considerando la propiedad anticorrosiva del aluminio como posible elemento de la pintura que recubre el casco de un buque, ya que este material funde por encima de los 660°C. Los bajos costos energéticos y las altas tasas de producción la hacen una técnica competitiva respecto a otros sistemas de proyección, como llama y plasma. Adicionalmente, los parámetros en el sistema de proyección por arco (voltaje, corriente, presión del aire y distancia de proyección) pueden ser optimizados para aplicaciones específicas.

Algunas investigaciones han logrado proyectar que el costo del mantenimiento de la obra viva durante un ciclo de vida en 21 años de una barcaza recubierta con aluminio con la tecnología arc spray, comparado con los recubrimientos tradicionales “pintura de alto desempeño”, se reduce aproximadamente en un 60%, del costo cuando se recubre con pintura, además de mantener la integridad estructural de la embarcación, alargando su vida útil [10].

Sin embargo, al ser comparado con el acero presenta una resistencia mecánica menor, razón por la cual muchas investigaciones ha concentrado sus esfuerzos en mejorar las propiedades mecánicas del aluminio empleados en elementos de máquinas o elementos especiales, y se han desarrollado una serie de aluminios por aleaciones, para ser endurecidos por temple y envejecimiento, como es el caso de los aluminios de la serie 2000, 6000 y 7000. No obstante, aún sus propiedades siguen siendo menor que las del acero. Tratando de mejorar más sus propiedades, surgen los materiales compuestos con matriz metálica (MMCs), reforzados en su mayoría con materiales cerámicos, estos han atraído el interés de los investigadores, debido a la capacidad de alterar sus propiedades,

## Aspectos importantes del estado del arte de la tecnología Arco Spray



El conocimiento es de todos

Minciencias



físicas [11] como densidad, expansión térmica, difusividad térmica y propiedades mecánicas como comportamiento de tracción y compresión, fluencia, comportamiento tribológico, etc.

En el programa llevado a cabo en el Laboratorio de Materiales de la ENAP para conocer los beneficios de la pintura de aluminio bajo el procedimiento de arco spray, esta se comparó en un ensayo de 3.000 horas con pinturas epoxy y anti-fouling habituales en el sector naval.



Figura 3: Probetas con los distintos recubrimientos al cabo de 1.000 horas en la cámara. Fuente: (Propia)



Figura 4: Probetas al cabo de 2.000 horas en la cámara de niebla salina. Fuente: (Propia)

### DATOS DE INTERÉS

*“El presente proyecto fortalece el Portafolio I+D+i de la Armada República de Colombia para atender las necesidades de sus programas, generar mayores niveles de independencia y ventaja Tecnológica y adquirir nuevos conocimientos a través de la financiación de proyectos de I+D+i.”*

## Aspectos importantes del estado del arte de la tecnología Arco Spray



### DATOS DE INTERÉS

*“El documento se realiza con el fin de divulgar información científica obtenida en el proceso de investigación”*

## Resultados obtenidos III

### Marco normativo

A continuación, se citan varias normas que se referencian en los artículos analizados para aplicación de los recubrimientos con el proceso de proyección térmica por arco eléctrico:

- Norma ASTM B117 Práctica estándar para el funcionamiento de Aparato de Niebla. Para el correcto funcionamiento de la cámara de niebla salina durante los ensayos.
- Norma ASTM D1193-06 Standard Specification for Reagent Water. Para conseguir la calidad del agua salina vaporizada.
- Norma ASTM D609-17 Standard Practice for Preparation of Cold-Rolled Steel Panels for Testing Paint, Varnish, Conversion Coatings and Related Coating Products. Para conseguir la adecuada preparación de las probetas.
- Norma Técnica Colombiana ICONTEC NTC 1156 Procedimiento para el ensayo en cámara de niebla salina.
- Norma NACE RM01 70: Visual Standard for Surfaces of new Steel Airblast. Cleaned with Sand Abrasive— (ítem # 53005), 1970. Hace referencia al grado de limpieza de la pieza a recubrir.
- American National Standards Institute, American Welding Society, Guide for the Protection of Steel with Thermal Sprayed Coatings of Aluminum and Zinc and Their Alloys and Composites.
- ANSI/AWS C2. Miami, Florida. April 1993, 30 p. Para realizar la selección de las temperaturas de precalentamiento del sustrato a recubrir.
- CONTEC - Comissão de Normas Técnica- Petrobrás, N- 2568, Seleção e Aplicação (por aspersão térmica) do Alumínio, Zinco e suas ligas. 2004, 34p. La calidad del aire comprimido a usar durante la aplicación de los recubrimientos.
- Military Standard 2138-A, Metal sprayed Coatings for Corrosion Protection Aboard Naval Ships (METRIC), 1992. 36p. Requisitos para el uso de revestimientos metálicos rociados (aluminio) para aplicaciones de control de la corrosión en buques.
- AWS C2.1 Recommended Safe Practices for Thermal Spraying.
- ANSI/AWS C.2.16 Guide for Thermal Spray Operator Qualification.
- ASTM C 633-79 Standard Test Method for Adhesion or Cohesion Strength of Thermal Spray Coatings. Pruebas de control de calidad de aceptación ó ayuda a calificar un operador de equipo de proyección térmica. Es útil para comparar los puntos fuertes de adhesión de los recubrimientos realizados con materiales similares.
- ASTM G-65. Standard Test Method for Measuring Abrasion Using the Dry Sand/Rubber Wheel Apparatus. Método de ensayo que cubre los procedimientos de laboratorio para determinar la resistencia de los materiales metálicos a la abrasión por medio de arena seca que es presionada sobre la superficie con una rueda de goma. Los resultados del ensayo de se dan como la pérdida de volumen en milímetros cúbicos.

## Aspectos importantes del estado del arte de la tecnología Arco Spray



## Conclusiones

Es evidente que el efecto de la corrosión es algo natural e inevitable por lo que se deben buscar procesos y tratamientos que permitan prevenir este fenómeno, y así mismo tratar de mitigarlos, sobre todo en el campo de la ingeniería naval.

El estudio ha permitido aumentar el conocimiento de la resistencia a la corrosión en las estructuras sumergidas pintadas con aluminio mediante la técnica de arco spray térmico garantizando una mayor durabilidad. Gracias a esta técnica, y en el caso de las estructuras navales, se mejora la protección del casco de los buques y con ello, se pueden lograr buques más seguros, resistentes y con un menor coste en su ciclo de vida.

La equivalencia del tiempo de estos ensayos en la cámara de niebla salina no es algo que se puede determinar con claridad ya que son muchos los factores que intervienen en este proceso cuando se produce en la naturaleza debido a las variedades climatológicas, las distintas características del agua de mar en cada zona geográfica, etc., pero si es evidente la comparación entre los distintos elementos que han sufrido el mismo ensayo con las mismas horas. La idea de todo esto es encontrar un material lo suficientemente resistente, liviano, manejable, sustentable y económico que además contribuya con la conservación del planeta, que permita la construcción de buques más optimizados que permitan a la fuerza naval, y al sector naval en general, emprender misiones con una mayor seguridad y mejores características medioambientales. La implementación de la proyección térmica por arco eléctrico (ASTM, 2010), es una de las técnicas más eficientes para la aplicación de recubrimiento en aluminio de los aceros del sector naval, aumentando su resistencia a la corrosión, con buena calidad en cuanto a adherencia y composición química, haciéndola una técnica competitiva respecto a otros sistemas de proyección, como llama o plasma.

### DATOS DE INTERÉS

*Autores:*

*José María Riola*

*Grupo de investigación*

*GICCDN*

*Escuela Naval de Cadetes*

*“Almirante Padilla”*

*Jairo Enrique Martínez*

*Garcés*

*Grupo de investigación*

*GICCDN*

*Escuela Naval de Cadetes*

*“Almirante Padilla”*

## Aspectos importantes del estado del arte de la tecnología Arco Spray



### DATOS DE INTERÉS

*Autores:*

*José María Riola*

*Grupo de investigación*

*GICCDN*

*Escuela Naval de Cadetes*

*"Almirante Padilla"*

*Jairo Enrique Martínez*

*Garcés*

*Grupo de investigación*

*GICCDN*

*Escuela Naval de Cadetes*

*"Almirante Padilla"*

## Referencias bibliográficas

- [1] A. Fernández Jove, A. Mackinlay, and J.M. Riola, "Optimization of the Life Cycle in the Warships: Maintenance Plan and Monitoring for Costs Reduction," Proceeding VI Int. Sh. Des. Nav. Eng. Congr. XXVI Pan-American Congr. Nav. Eng. Marit. Transp. Port Eng., pp. 391–401, 2020, doi: 10.1007/978-3-030-35963-8\_33.
- [2] J.R. Joseph R. Davis, "Surface engineering for corrosion and wear resistance," p. 279, 2001.
- [3] H. Bohorquez, "Funcionamiento del Laboratorio de Niebla Salina." Escuela Naval de Cadetes "Almirante Padilla," Cartagena, 2021.
- [4] K. Bobzin, W. Wietheger, and M.A. Knoch, "Development of Thermal Spray Processes for Depositing Coatings on Thermoplastics," J. Therm. Spray Technol. 2021 301, vol. 30, no. 1, pp. 157–167, Jan. 2021, doi: 10.1007/S11666-020-01147-X.
- [5] K. Cooke, G. Oliver, V. Buchanan, and N. Palmer, "Optimisation of the electric wire arc-spraying process for improved wear resistance of sugar mill roller shells," Surf. Coat. Technol., vol. 1, no. 202, pp. 185–188, Nov. 2007, doi: 10.1016/J.SURFCOAT.2007.05.015.
- [6] Sulzer, "Home | Sulzer," 2013. <https://www.sulzer.com/en>.
- [7] J. Zaat, "A Quarter of a Century of Plasma Spraying," Annu. Rev. Mater. Sci., vol. 13, pp. 9–42, Nov. 2003, doi: 10.1146/annurev.ms.13.080183.000301.
- [8] C. Feng, M. Gibbons, and S. Chandra, "Fabrication of Composite Heat Sinks Consisting of a Thin Metallic Skin and a Polymer Core Using Wire-Arc Spraying," J. Therm. Spray Technol., vol. 28, Apr. 2019, doi: 10.1007/s11666-019-00864-2.
- [9] H. Che, X. Chu, P. Vo, and S. Yue, "Metallization of Various Polymers by Cold Spray," J. Therm. Spray Technol., vol. 27, no. 1, pp. 169–178, 2018, doi: 10.1007/s11666-017-0663-1.
- [10] E. Vergara, L. Castellanos, L. Diaz, A. Lucas, and B. Avila, "Mechanical effort of ceramic particle-reinforced epoxy matrix used as a sealing layer on aluminum coatings by Arco Spray," IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng., vol. 844, p. 12069, Jul. 2020, doi: 10.1088/1757-899X/844/1/012069.
- [11] C. SALINAS, J. J. CORONADO, and G. LATORRE, "Evaluación de la multicapa Ni, Al, Mo / Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>TiO<sub>2</sub>, aplicada por el proceso de rociado térmico por combustión," Tecnura, vol. 8, no. 16, pp. 15–25, Oct. 2005, [Online]. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=257020406002>.