

# ► Thermal Spray

## Protección de alto impacto

**Camilo Marín Villar**  
Periodista Metal Actual

Foto: <http://www.airproducts.com/>



### Una técnica que rompe la velocidad del sonido

*La aplicación de recubrimientos con Thermal Spray aumenta la vida útil de los metales entre 10 y 15 años más que cualquier otra protección convencional*

Según cuenta la mitología griega, 'Geras' era un demonio cruel, hijo de la noche, aquel carente de piedad, que acechaba sus víctimas y consumía la vitalidad de todo aquello que tocaba, paulatinamente aprovechaba el paso del tiempo para robarle la belleza a los humanos y a la naturaleza; corroía todos los elementos, nada ni nadie podía escapar a sus efectos. Capaz incluso de doblegar el más fuerte de los metales: el hierro, creación de 'Vulcano', guardián de los volcanes y protector de herreros y orfebres. El demonio dejaba una mancha corrosiva y carmesí sobre el metal, destruyendo su dureza y resistencia.

Curiosa leyenda con la que los griegos explicaban los dañinos efectos de la corrosión, en la actualidad, uno de los enemigos más peligrosos de la industria y un desafío para la ingeniería moderna.

Según el último boletín de la Asociación Venezolana de Galvanizadores, la corrosión ocasiona cuantiosas pérdidas económicas en el mundo, se estima que se pierden 725 mil toneladas de acero al año, 33 toneladas por hora, es decir 9 kilogramos de acero por segundo. Además representa en promedio el 3,5 por ciento del Producto Interno Bruto mundial (PIB).

Junto al desgaste y los cambios de temperatura, la corrosión constituye un problema de enormes proporciones que necesita ser controlado, particularmente en el sector metalmecánico.

Teniendo en cuenta la gran variedad de técnicas anticorrosión, los complejos factores ambientales y la necesidad de la industria de aumentar la vida útil de los metales, en todo el mundo se desarrollan estudios para minimizar los efectos destructivos de la corrosión. Los actores de la

cadena industrial se han percatado cada vez más que *'lo barato sale caro'* y por ello buscan adoptar mejores técnicas para la obtención de revestimientos protectores de calidad y con excelente desempeño ante los inclementes factores corrosivos.

Hoy en día, dichas iniciativas se concentran en los procesos de Thermal Spray o Proyección Térmica, una técnica sencilla de aplicar que ha mostrado excelentes resultados para proteger diversas estructuras y reducir costos de mantenimiento.

Según los análisis del ingeniero Hernando Reyes Pacheco, profesor del área de metalmecánica de la Universidad Nacional de Colombia, la protección con Thermal Spray reduce los efectos de la agresiva corrosión y el desgaste sobre los metales entre un 40 y un 80 por ciento más que cualquier otro método.

### El proceso

Dicha técnica es conocida en Colombia con el nombre de metalización, aludiendo al tipo de recubrimiento, que casi siempre es metálico. Y aunque es cierto, también es capaz de aplicar materiales cerámicos y / o polímeros sintéticos<sup>(1)</sup> o cualquier combinación deseada, según las necesidades técnicas de la industria.

El material es fundido a altas temperaturas y rociado a gran velocidad sobre la superficie de una pieza base o sustrato, para conferirle mejores propiedades físicas y químicas, aumentando su resistencia a los efectos del medio y disminuyendo los costos de mantenimiento y reparación.

Generalmente la aplicación del recubrimiento térmico se hace a través de equipos automáticos, donde una extremidad robótica opera una pistola de rociado. Los materiales de los revestimientos se ubican dentro de



► El Proceso de Proyección Térmica

una cámara interna en la pistola, en forma de polvo, alambre o barra. Allí por efecto de la combustión del gas oxigenado, el material se calienta a altas temperaturas convirtiéndose en micropartículas.

Éstas, son rociadas sobre el sustrato por medio de una fuerte corriente de aire comprimido, inyectado a través de una manguera sellada hacia la cámara, ocasionando que millones de gotitas sean expulsadas a velocidades extremas sobre la pieza, creando una estructura homogénea sobre la superficie con excelente tolerancia a la corrosión y / o el desgaste. Sin duda, la característica que hace especial esta técnica, es la extrema velocidad (energía cinética) que adquiere el rociado, logrando así que se ancle mecánicamente a las imperfecciones del sustrato, resultando una macroestructura cohesiva conocida como lenticular o laminar. Cabe decir, que a mayor velocidad y despliegue de energía cinética es mayor la adherencia de las capas rociadas.

Antes de proyectar el sustrato, éste debe limpiarse para obtener una mejor adherencia del revestimiento, pues como se explicó el mecanismo de cohesión es el anclaje mecánico. También es indispensable definir el espesor de la capa que se desea obtener, teniendo en cuenta la composición del depósito y los requerimientos industriales de la pieza.



Foto: Metal Actual

► **Hernando Reyes Pacheco:** Ingeniero metalúrgico, profesor de la Universidad Nacional de Colombia

## Aplicación

El profesor Reyes Pacheco, explicó que el rociado térmico fundamentalmente es aplicado en las grandes industrias –en especial en el sector de transporte– las cuales producen volúmenes altos de piezas en serie. Se destaca la industria naval, cuyas necesidades particulares son cubiertas por la Proyección Térmica, por sus excelentes resultados contra la corrosión por efectos del agua salada. Igualmente, tanto las láminas del fuselaje, los remaches y las uniones de los aviones están siendo recubiertas y protegidas con capas ultradelgadas y compactas de aleaciones superresistentes rociadas con el sistema.

Según el estudio de la Universidad Nacional, la industria colombiana aún no ha adoptado la Proyección Térmica como un método habitual para combatir la corrosión y el desgaste. En un 95 por ciento la recuperación y el mantenimiento de piezas se hacen a través de procesos convencionales utilizando pinturas de alto desempeño y protección catódica<sup>(2)</sup>.

Pacheco, dijo que en industria metalmeccánica nacional no abunda la producción en serie a gran escala, por lo que el sector se conforma, por ahora, con aplicar protecciones convencionales. Además la ausencia de estudios en esta área, genera ignorancia sobre los grandes beneficios de la Proyección Térmica.

Así mismo lo confirma, una investigación realizada el año pasado en la Universidad Tecnológica de Pereira y liderada por el ingeniero metalúrgico José Luddey Marulanda, quien asegura que las medianas y pequeñas metalurgias excluyen esta técnica por considerarla costosa y optan por otras alternativas más económicas. Sin embargo dice, que a pesar que sean aparentemente altos los gastos con Thermal Spray, aproximadamente 1,5 veces mayor que los de los sistemas de pintura de alto desempeño, el ahorro que se obtiene gracias al respectivo aumento del ciclo de vida de la maquinaria, casi tres cuartos en comparación con los tratamientos convencionales, justifican su uso.

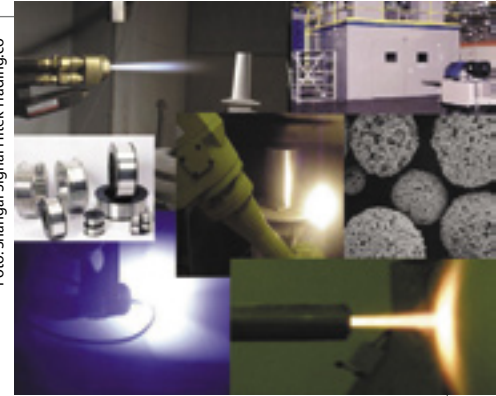


Foto: Shangai Signal Hitek Trading.co

► **Las industrias con grandes producciones en serie, se benefician de la Proyección Térmica, al obtener excelentes resultados, con tiempos eficientes y alta calidad.**

## Ventajas de la proyección térmica

La industria todos los días utiliza diversas técnicas para contrarrestar los efectos corrosivos de la naturaleza, sin embargo no existe un material que detenga indefinidamente la corrosión. Todos los procesos simplemente pueden prolongar más o menos la vida útil de los bienes. Por ello las investigaciones se concentran en buscar mejoras a las actuales técnicas y encontrar aleaciones livianas, de alto desempeño mecánico y buena resistencia frente a la oxidación. Esto combinado a las necesidades específicas de cada sector industrial y a factores económicos determina la elección de una u otra técnica.

**Temperatura:** Gracias a las altas temperaturas que se obtienen – más de 1.500° C – es posible fundir elementos metálicos, cerámicos y polímeros de alta pureza, logrando que el recubrimiento pase de un estado sólido a uno semi-gaseoso, convirtiéndose en micropartículas que se anclan a las imperfecciones del sustrato fuertemente. Así, es posible proteger piezas de acero o hierro, con capas de aluminio o incluso titanio, elementos que a diferencia de los óxidos de hierro, forman átomos firmemente cohesionados que literalmente sellan el material. En suma, dichos recubrimientos tienen

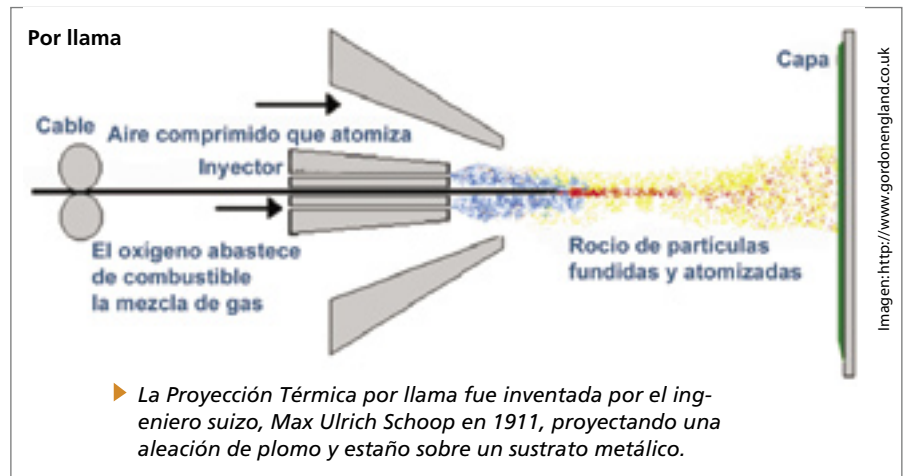
baja porosidad y prácticamente no se fracturan, lo cual garantiza uno de los sistemas de protección más eficientes contra la corrosión.

**Velocidad:** La velocidad con la que migra a la superficie el revestimiento para combinarse con el sustrato no puede ser lograda por ninguna otra técnica. Entonces el grado adherencia de la capa obtenido por Proyección Térmica es superior.

Si bien es cierto, otros procesos como el cromado y las pinturas de alto desempeño, entregan también protecciones resistentes y de alta calidad, las capas de éstas se adhieren con menor fuerza al sustrato ya que el revestimiento se aplica en estado líquido, disminuyendo el anclaje mecánico y presentando deterioro con el paso del tiempo. A su vez, la energía cinética generada por dichos procesos es casi nula, ocasionando mayor riesgo de fractura en el acabado.

## Cuatro métodos, un objetivo

Hoy día, existen cuatro variantes de la técnica: los procesos que utilizan sistemas de combustión por llama; los de oxi-combustibles de alta velocidad, mejor conocidos como High Velocity Oxy-Fuel (HVOF); los de detonación y los sistemas de arco, este último integra la técnica de arco eléctrico y el sistema de plasma con arco.



- **Por llama:** así se denomina el sistema que utiliza gases combustibles como fuente de combustión y generalmente es el más aplicado. El material del recubrimiento es compuesto por elementos ferrosos como: aleaciones de aluminio con zinc y aceros inoxidables, se utilizan en polvo, barras o alambres. Además la industria provee recubrimientos en polvos compuestos por un material cerámico y un material metálico, mejor conocido con el nombre de cermet.

La Universidad Tecnológica de Pereira ha logrado establecer que la gran desventaja del tratamiento por llama es la alta porosidad de las capas, pues las gotitas fundidas que forman el recubrimiento adherente se atomizan a velocidades de aproximadamente 185 m / seg (600 ft / seg), mientras que la densidad del depósito se ha medido en unos 95 v / o. (masa / volumen). A pesar de ello, su resistencia y durabilidad es 50 por ciento mayor que la de cualquier método de protección convencional.

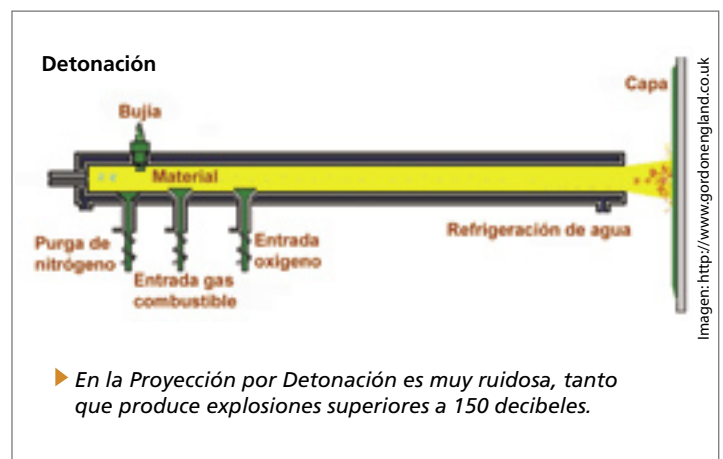
- **High Velocity Oxy-Fuel:** a comienzos de la década de 1980 el ingeniero Browning Witfield, utilizando la tecnología de los motores de cohetes, presentó un novedoso método de aspersión de metal en polvo. El procedimiento se denominó HVOF, como un acrónimo del término en inglés, y utiliza una combinación de oxígeno con diversos gases combustibles incluido el hidrógeno, propano, propileno de hidrógeno e incluso el queroseno. Gracias a la alta fuerza cinética que se obtiene por la explosión súbita del gas, las micropartículas se desplazan a velocidades superiores de mach 1 (340,3 m/s, 1.225,08 km/h – velocidad del sonido –), logrando temperaturas de 2300°C aproximadamente (4172°F). Utiliza materiales ferrosos, compuestos cerámicos y polímeros.



La extrema velocidad que adquiere el recubrimiento entrega inmejorables resultados, la porosidad de la capa es menor al 2 por ciento.

La desventaja de la HVOF se concentra en la alta pérdida del depósito por la evaporación de las partículas y su dispersión en el aire. Por ello los procesos de control están siendo encaminados a disminuir dichos factores aplicando la técnica en un medio sin oxígeno atmosférico, es decir al vacío.

- **Proyección Térmica por detonación:** es quizá el proceso más complejo operacionalmente. Una mezcla de materiales de gas combustible, oxígeno y material de depósito en polvo convergen en la cámara de la pistola para que al ser inyectada la presión se produzca una fuerte detonación cerrada. La onda de choque resultante acelera las partículas a más de 731 m / seg (2400 ft /seg) y produce temperaturas superiores a los 4000°C (7232°F).

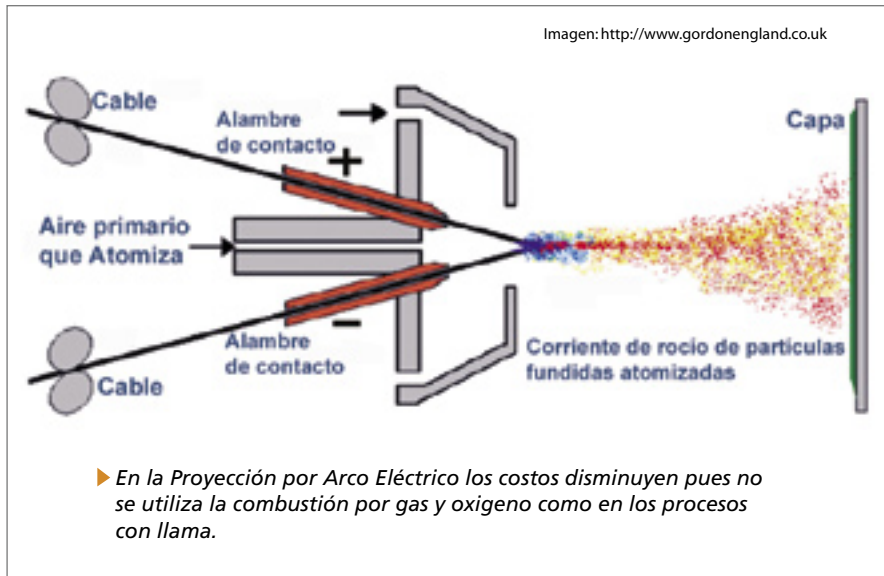


El proceso es cíclico y puede repetirse 4 u 8 veces por segundo, con intervalos donde se aplica refrigerante nitrógeno. Cada detonación deposita una densa capa de material adherente de varios micrones de espesor y alrededor de 2,54 centímetros (1 pulg.) de diámetro.

Tal como afirma el ingeniero Hernando Reyes Pacheco, la detonación produce una amplia contaminación auditiva. El equipo genera ruido en exceso, superior a 150 decibeles (dB) por lo que dicho ruido debe ser extraído acústicamente.

- **Sistema de arco eléctrico:** se diferencia de los otros procesos de Proyección Térmica porque no implica fuentes externas de calor, como pasa en la combustión por gas y oxígeno de los procesos con llama.

La calefacción y la consecuente fusión son generadas a partir de la reacción de dos alambres opuestos, en forma de arco y eléctricamente cargados. El metal fundido se atomiza gracias a chorros de aire comprimido o gas, para después ser propulsado a través de una boquilla y cubrir la pieza de trabajo. Normalmente la potencia supera 450 amperios y se puede rociar más de 50 kg / hr (110 lb /hr) de material.



son un excelente ejemplo para reproducir a todo nivel. Colombia no puede ser ajena al estudio de la corrosión y a buscar métodos para su prevención. El esfuerzo requiere una investigación multidisciplinaria, donde los empresarios reconozcan que vale la pena impulsar el uso de mejores tecnologías para alcanzar un desarrollo industrial superior y competir en el mercado mundial. ▣

#### Citas

- 1) **Polímeros:** componentes de estructuras repetidas, tales como los plásticos, las gomas y las fibras. El término viene del griego "poli", muchos, y "meros", parte o segmento.
- 2) **Protección catódica:** Técnica tradicional y económica que utiliza corriente para proteger contra la corrosión diversos materiales metálicos. La corrosión se detiene cuando se hace fluir una corriente eléctrica de sentido contrario y de magnitud suficiente para contrarrestar el efecto corrosivo del ambiente. Esta corriente puede obtenerse de un rectificador o generador (corriente impresa) o de un ánodo de sacrificio (corriente galvánica), el que forma una pila natural con la estructura entregando la corriente suficiente para impedir su corrosión.

#### Fuentes

- **Hernando Reyes Pacheco.** Profesor del área de metalmecánica y mecatrónica de la Universidad Nacional de Colombia. E-mail: [jhreyesp@unal.edu.co](mailto:jhreyesp@unal.edu.co)
- **Protección contra la corrosión por medio del rociado térmico.** Publicado en la Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal. Scientia Et Technica, mayo 2007. Universidad Tecnológica de Pereira – Colombia.
- **Asociación Internacional de Thermal Spray.** Organización profesional dedicada a fomentar el uso de las tecnologías de proyección térmica para beneficio de la industria y la sociedad. 208 Calle 3 Fairport Harbor, Ohio 44077. Estados Unidos. Teléfonos: 440.357.5400 / 440.357.5430 440.357.5400 / 440.357.5430 Correo electrónico: [itsa@thermalspray.org](mailto:itsa@thermalspray.org) o [spraytime@thermalspray.org](mailto:spraytime@thermalspray.org). Página web [www.thermalspray.org](http://www.thermalspray.org) o [www.spraytime.com](http://www.spraytime.com)
- **Asociación Venezolana de Galvanizadores.** Caracas, Municipio Chacao, Calle Pantín cruce con Ave. Libertador, Edf. Galerías Pantín, primer piso, Ofc. 6. Teléfono: +58 (212) 263 3677. Fax: +58 (212) 263 7737. Correo electrónico: [info@avgal.net](mailto:info@avgal.net) / [avgal01@hotmail.com](mailto:avgal01@hotmail.com) / [avgal02@cantv.net](mailto:avgal02@cantv.net). Página web: <http://www.avgal.net/>
- **American Welding Society.** Thermal Spraying – Practice, Theory and Applications. Miami, FL USA. 1985.

El arco eléctrico de aspersión tiene la ventaja de no requerir el uso de oxígeno y / o gas combustible, lo cual reduce los costos. Sin embargo, la porosidad de las capas es un poco mayor. Dentro de la categoría de arco, se encuentra también el procedimiento de recubrimiento con plasma, donde se utilizan simultáneamente dos o más materiales para elaborar el depósito (compuestos de carburos, óxidos y / o nitruros, fundamentalmente, ferrosos. Por ejemplo el nitruro de boro, carburo de cobalto o carburo de cromo. Así mismo, el método logra depositar metales tóxicos, incluyendo calcio, uranio, niobio y titanio).

La gran ventaja del plasma es que se pueden utilizar mejores materiales, menos porosos y con excelentes resultados anticorrosivos, incluso el recubrimiento le otorga propiedades refractarias a las piezas, protegiéndolas de las altas temperaturas.

## Desarrollo marítimo nacional

Para abrir nuevos caminos a los recubrimientos térmicos, desde el año pasado la Universidad Nacional en convenio con el Ministerio de Defensa se encuentran adelantando

investigaciones sobre tipos revestimientos de gran calidad aplicados a través de Thermal Spray. Con una inversión preliminar que supera los 800 millones de pesos, el objetivo del estudio es obtener un material superresistente para proteger los motores de las naves de la Armada Nacional de Colombia contra la corrosión acuosa y el desgaste. El recubrimiento debe otorgar la protección más completa posible:

- a) Aumentar la resistencia de los materiales a la corrosión en más de un 80 por ciento.
- b) Mejorar la resistencia al desgaste y fricción de las piezas.
- c) Servir de barrera térmica para contrarrestar los efectos de altas temperaturas.

El profesor Hernando Reyes confirmó a **Metal Actual**, que la fase inicial del proyecto ya está en marcha y se espera la compra de equipos y consumibles para ejecutar los experimentos. La investigación tendrá como sede el astillero Conastil en Cartagena. Para finales de 2009 o mediados de 2010 iniciará la fase de ejecución.

Las investigaciones de las Universidad Nacional y la Tecnológica de Pereira, sobre Proyección Térmica,