

# Plasma: una tecnología de gran potencial para la industria y la ciencia

Ing. García Tsai, Mst.  
Ing. Montero Juan,  
Ing. Calle Wilson  
Quinde Marlon, Sarmiento Paula,  
tgarcia@ups.edu.ec



## Resumen

El plasma de baja presión es una tecnología usada en diversas ramas de la industria moderna. La industria microelectrónica, automotriz y aeroespacial la utilizan para limpieza y tratamiento de superficies, en la industria médica se la usa para obtener biocompatibilidad en diferentes tipos de materiales. Esto se debe, en gran medida, al hecho de que el plasma es capaz de conferir propiedades únicas a la superficie de diferentes materiales (metales, polímeros, elastómeros, cerámicos, etcétera) sin afectar sus propiedades de masa. Esta tecnología se considera ecológicamente amigable por su baja generación de residuos y por el bajo consumo energético. Las modificaciones de superficie que pueden ser realizadas usando plasma incluyen procesos diversos como: limpieza, deposición de películas finas, funcionalización y grabado en la superficie. Dichos procesos pueden efectuarse en un mismo equipo y pueden ser controlados en tiempo real. En este contexto y considerando estos elementos el presente artículo está dirigido a presentar algunos conceptos relacionados con la tecnología del plasma y describir el proceso de modificación de superficie con plasma.

## 1. Introducción

El desarrollo industrial que han experimentado varios países en las últimas décadas es el resultado de la innovación tecnológica y la puesta en práctica de nuevos conceptos y tendencias donde, además de pensar en el aumento de competitividad y productividad, se ha vuelto una necesidad pensar también en el uso responsable de los recursos naturales y en los efectos de los procesos industriales. Esta filosofía está volviéndose cada vez más frecuente entre las industrias, mostrando no sólo el vínculo empresa-medio ambiente, sino también los desafíos de la industria en el mundo actual. Industrias como la aeroespacial, automotriz, de alimentos, entre otras, realizan importantes inversiones para sustituir procesos contaminantes por otros amigables con el medio ambiente, sin comprometer la productividad para las empresas. Dentro de estas tendencias, la tecnología del plasma ocupa un lugar importante.

El presente artículo tiene como objetivos: mostrar algunos conceptos relacionados con la tecnología del plasma, comparar las ventajas de su uso respecto al uso de tratamientos químicos y electroquímicos convencionales, así como divulgar las características más importantes de esta tecnología cuando se la utiliza para modificar superficies de diferentes materiales. El proceso de limpieza usando plasma se distingue de los procesos convencionales por ser amigable con el medio ambiente, ser efectivo en los resultados, viable para ponerlo en práctica y económicamente conveniente y competitivo con otros procesos.

## 2. Contenido

En la industria metal-mecánica los materiales metálicos son sometidos a diversos procesos de limpieza, con el objetivo de eliminar capas de óxido, grasa, polvo, etcétera, que se presentan frecuentemente en las superficies de estos materiales. La presencia de

estos contaminantes trae como consecuencia que en muchas ocasiones los metales no estén aptos para ser usados en aplicaciones donde las propiedades de superficie son muy importantes, como por ejemplo cuando se persigue pegarlos entre sí o con otros materiales. Por este motivo las piezas metálicas deben ser sometidas a procesos de limpieza, tradicionalmente usados en la industria, entre ellos los más conocidos son los tratamientos químicos, que son descritos a continuación.

### 2.1 Tratamientos químicos más conocidos

Dentro del tratamiento químico de superficies para limpiarlas pueden nombrarse los siguientes: limpieza alcalina, limpieza ácida, fosfatación; y, baño de cromados, niquelados, zincado, o baños de solución orgánica. A continuación se describe cada uno de ellos.

#### a) Limpieza alcalina

Es uno de los más antiguos métodos de tratamiento químico que existe. El proceso es empleado para remover la grasa que tienen algunos metales en su superficie, así como para eliminar la presencia de diferentes tipos de partículas. Las soluciones alcalinas usadas para realizar el proceso de limpieza tienen en su composición productos químicos como hidróxido de sodio (NaOH), hidróxido de potasio (KOH) y carbonato de sodio (NaHCO<sub>3</sub>). La pieza a tratar es sumergida en un baño que contiene estos productos, a una temperatura que varía entre 50°C y 95°C, después de lo cual la pieza es lavada con agua limpia. Una característica común de este proceso es que requiere grandes cantidades de agua para los enjuagues. Si la planta no cuenta con un sistema de recirculación y tratamiento de las aguas residuales, la contaminación provocada por el proceso es alta y el costo del agua puede ser considerable.

#### b) Limpieza ácida

Es utilizada para disolver grasa y pequeñas cantidades de óxido que pueda tener la

superficie. En este proceso, se prepara una solución ácida que incluye ácido clorhídrico (HCl), ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), ácido nítrico ( $HNO_3$ ) y ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ). Generalmente se aplican técnicas de inmersión y de pulverización.

### c) Fosfatación

La fosfatación consiste en introducir la pieza metálica en un baño de fosfato. La finalidad de este procedimiento es formar una capa protectora en la superficie del metal, además de aumentar el área superficial del metal. Generalmente se aplica la técnica de inmersión y pulverización. Los fosfatos son solubles en soluciones ácidas y básicas. Por este motivo, generalmente, la pieza sometida a fosfatación requiere de un tratamiento posterior, como baños orgánicos o de cromados, niquelados, etcétera. El proceso de fosfatación produce una gran cantidad de efluentes.

### d) Baño de cromados o baño de solución orgánica

La fosfatación por sí sola no es suficiente para proteger la superficie del metal contra elementos externos como la corrosión. El baño de cromados y el baño en soluciones orgánicas tienen como finalidad proteger la superficie contra la corrosión o, en algunos casos, cambiar la apariencia física de las piezas tratadas (mejorar la estética). Estos tratamientos son tóxicos y producen también una gran cantidad de efluentes.

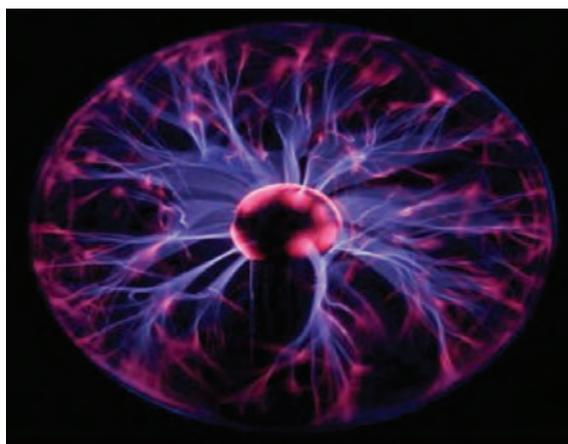
Todos los procesos químicos antes mencionados presentan el problema de trabajar con materiales contaminantes y de difícil manejo, lo que ha hecho necesario pensar en tecnologías alternativas que no presenten estos problemas.

## 2.2 Estado de arte de la tecnología del plasma

### 2.2.1 Historia de la tecnología de plasma

En 1808, Humphry Davy desarrolló la descarga de arco eléctrico en estado es-

table usando corriente directa. Por su parte, Michael Faraday, en 1830, desarrolló el tubo de descarga eléctrica de alto voltaje con corriente directa, lo que dio inicio al estudio de la sustancia que se obtenía como resultado de dichas descargas. Más tarde, en 1879, William Crookes identificó dicha sustancia como el cuarto estado de la materia. El término plasma fue introducido por Iving Langmuir en 1928. El plasma era conocido como una mezcla de electrones, iones, átomos y neutrones con la propiedad de casi neutralidad eléctrica y con una sensibilidad apreciable a la presencia de campos eléctricos y magnéticos (Pacheco, 2009). La Figura 1 muestra una imagen del plasma.



**Figura 1.** Ionización del gas por electricidad en una lámpara de plasma.

**Fuente:** Wikipedia

La primera aplicación práctica del plasma fue para realizar polimerización de estireno. Este hecho ocurrió en 1960 y fue llevado a cabo por Goodman, marcando una nueva área de investigación relacionada al plasma. En 1976, L. Holländ utilizó el bombardeo de iones para lograr polimerización de un polímero con plasma en el laboratorio.

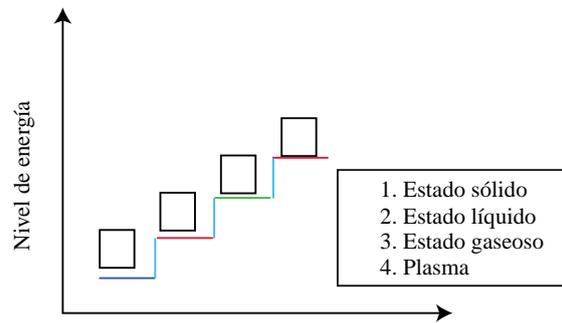
En las últimas tres décadas el desarrollo de la tecnología de plasma ha sido muy significativo, pues han aparecido importantes trabajos en el área, por ejemplo, los desarrollados en deposición de películas

finas por H. Yasuda, R. D'Agostino, B. Ratner, M. Wertheimer, J. Behnisch, entre otros (D'Agostino, 1993). También se han realizado estudios en otros campos, por ejemplo, fueron estudiadas las propiedades ópticas y eléctricas de las siliconas polimerizadas por plasma, así como la estructura electrónica del plasma generado (Fowkes, 1964). Fueron desarrollados, adicionalmente, procesos que retardaban el envejecimiento de las muestras tratadas, como es el caso del proceso CASING (*Cross-linking via Activated Species of Inert Gas*), entre otros.

El rápido crecimiento e intensa investigación desarrollada han llevado a la tecnología de plasma a ocupar un lugar importante en el campo científico actual (Pacheco, 2009). Las aplicaciones dirigidas a la industria también han crecido muy rápidamente. Entre las primeras aplicaciones del plasma a nivel industrial se encontraban el corte, la soldadura, la síntesis de partículas ultrafinas. No obstante, en la década de los noventa estas aplicaciones se ampliaron considerablemente a industrias tan sofisticadas como la eléctrica, electrónica, industria aeroespacial, farmacéutica, etcétera.

### 2.2.2 Definición de plasma

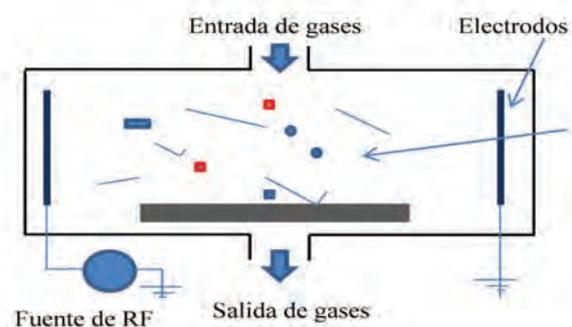
Existen cinco estados de la materia: sólido, líquido, gaseoso, plasma y condensado de Bose-Einstein. La forma en que la materia se encuentra depende de las condiciones de presión y temperatura. Una forma de cambiar la materia de un estado a otro es aumentando sus niveles de energía, si una materia se encuentra en estado sólido y se adiciona energía al sistema, esta pasa del estado sólido al líquido, si continuamos aumentando los niveles de energía, pasa del líquido al gaseoso y si el nivel de energía es aún mayor, pasa del gaseoso al plasma. El efecto explicado se ilustra en la Figura 2.



**Figura 2.** El plasma como el cuarto estado de la materia.  
 Adaptado de Pacheco (2009)

El plasma es frecuentemente descrito como descargas gaseosas, esto se debe al hecho que la mayoría de los plasmas que existen se obtienen sometiendo un gas a baja presión a un campo eléctrico, que puede ser continuo o alternado. En otras palabras, el plasma puede ser obtenido por la aplicación de una diferencia de potencial entre dos electrodos en la presencia de un gas a baja presión.

En la naturaleza es posible encontrar el plasma en los relámpagos, las auroras boreales y las llamas del sol. Como se mencionó anteriormente, también puede ser creado de manera artificial en cámaras especialmente diseñadas para el efecto, como se muestra en la Figura 3. Sin embargo, la aplicación más conocida del plasma es en los tubos de neón. En este proceso es visible la radiación generada en el plasma, cuyo rango de producción se encuentra desde el infrarrojo al ultravioleta.



**Figura 3.** Esquema de la cámara de obtención del plasma de baja presión

### 2.2.3 El plasma como modificador de las propiedades de superficie

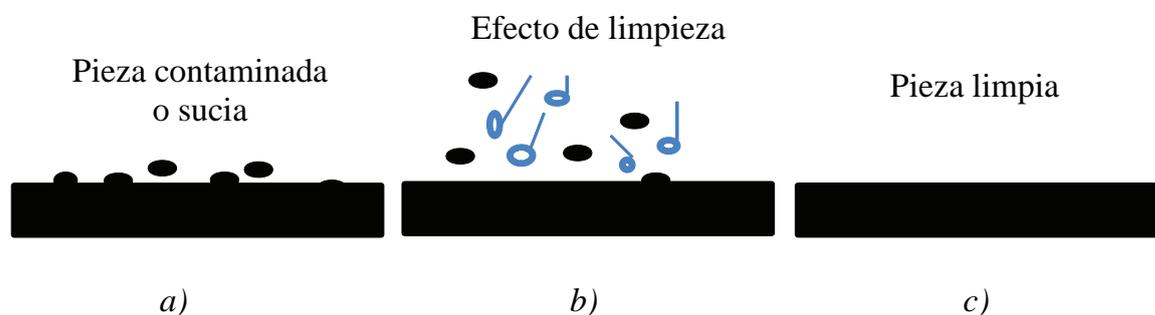
A pesar de que las técnicas para tratamiento de superficie por plasma son diversas, el plasma de baja presión es particularmente efectivo. El hecho que esta tecnología trabaje a baja temperatura permite que las superficies de los metales no sufran daños irreversibles, lo que ocurre cuando los materiales metálicos o poliméricos son expuestos a altas temperaturas. Las modificaciones más importantes que pueden desarrollarse con esta técnica son:

1. Limpieza
2. Grabado
3. Reticulación
4. Modificación de la estructura química.

Estos efectos no siempre existen independientemente en un tratamiento por

plasma. Dependiendo de los parámetros utilizados, es posible potenciar un efecto en particular y obtener la modificación deseada. A continuación se explican brevemente en qué consiste cada uno de estos efectos:

- a) *Limpieza de superficie*: Para ciertas aplicaciones es absolutamente necesario que la superficie se encuentre completamente limpia, por ejemplo:
- Antes de realizar *sputtering*.
  - Antes de realizar adhesión de materiales diferentes.
  - Antes del pintado de superficies.
  - En el proceso de PVD.
  - En aplicaciones médicas especiales.
  - Antes de soldar platos conductores, etcétera.



**Figura 4.** Proceso de limpieza por plasma

- a) Pieza antes del proceso de limpieza, b) Proceso de limpieza, c) Pieza después del proceso de limpieza.

Esta modificación tiene como objetivo fundamental eliminar los compuestos orgánicos, polvos y otras suciedades que se forman en la superficie. El efecto del plasma en el proceso de limpieza se ilustra en la Figura 4.

*Grabado (etching) en la superficie*: En el proceso de plasma etching, los gases son usados para crear una nueva forma en la superficie, en mu-

chas ocasiones se colocan máscaras sobre la misma, con el fin de que la superficie adquiriera la forma deseada. Las estructuras obtenidas tienen magnitudes de órdenes nanométricas.

*Reticulación*: La reticulación trae consigo un aumento en las fuerzas cohesivas, estabiliza la superficie y dificulta la difusión de especies de bajo peso molecular.

*Modificación de la estructura química:* Cuando el material tratado tiene características poliméricas, puede lograrse una modificación de la superficie que permita cambiar las características de la misma. Por ejemplo, si la superficie tiene características hidrofóbicas, puede pasar a tener características hidrofílicas en dependencia del gas usado y de los parámetros del proceso utilizados.

#### **2.2.4 Interacción plasma- superficie**

Dentro de la cámara de plasma se encuentran iones, radicales, electrones, meta estables y radiación ultravioleta (Ver Figura 3). Al exponer la superficie de un material al efecto de estos elementos, la superficie es modificada. La naturaleza de la modificación efectuada depende de los parámetros de trabajo utilizados (la potencia seleccionada en el equipo de plasma, el tipo de gas usado, la presión de trabajo y el flujo de gas).

En el proceso de plasma de baja presión, los electrones presentan una temperatura ( $T_e$ ) muy por encima de  $10^4 K$  (1 eV). Cuando un polímero es sometido a la acción del plasma, los electrones de alta energía chocan con la superficie provocando una ruptura en los enlaces, o sea, una fragmentación a nivel molecular, generando nuevas formas moleculares excitadas. Una característica de este proceso es que aunque  $T_e$  es muy alta, las temperaturas de las partículas de mayor masa, iones, moléculas y fragmentos de moléculas, se encuentran muy próximas a la temperatura ambiente (300 K, ó 0.025 eV), lo que permite trabajar con temperaturas relativamente bajas. Esto es esencial cuando se trabaja con polímeros que son susceptibles a degradarse cuando trabajan a temperaturas altas (Werthermeier, 1999). Por otra parte los iones pueden provocar sputtering en la superficie y también reaccionar químicamente con esta última. La radiación UV que forma parte del plasma ejerce un importante efecto sobre la superficie de sustratos orgá-

nicos, pues producen radicales libres y excitan grupos específicos, provocando también reticulación en la superficie. Los radicales, al chocar unos con los otros, pueden ser incorporados en la superficie, sustraer átomos de la misma, producir polimerización y/o reticulación. Por su parte, el efecto de las especies neutras depende de su reactividad química. La fuerte interacción entre el sustrato y el plasma no ocurre solamente a nivel del sustrato, pues cuando ocurre la interacción se produce también un flujo de elementos volátiles que alteran la composición química del plasma. El efecto global es determinado por los parámetros de operación y por el tipo de gas usado. Cuando el efecto predominante es la deposición el proceso es llamado polimerización, cuando el efecto dominante es etching, el proceso es llamado polimerización por plasma o etching. La modificación química puede ocurrir hasta después de terminar el tratamiento, al ser expuesta la muestra a contacto con el ambiente. Es decir, pueden ocurrir efectos de pos tratamiento en la superficie que deben ser tomados en cuenta.

#### **2.2.5 Beneficios del uso de plasma en tratamientos de superficies**

El plasma presenta una gran cantidad de ventajas frente a los tratamientos tradicionales de superficies de diferentes materiales, entre ellas:

- *Mejor Rendimiento.* Al tratar un material con plasma se obtiene un rendimiento superior en el proceso. Existen, sin embargo, algunos procesos como grabación química, abrasión, llama y corona que no pueden entregar la calidad consistente de plasma.
- *Costo Conveniente.* El plasma puede ser una alternativa para modificar una superficie con un costo moderado, ya que el costo en los sistemas operacionales es mínimo, y son eliminados costos asociados con procesos peligrosos,

como la disposición final de desechos. En este proceso se evita la producción de efluentes, que constituyen una pérdida en reactivos, así como un costo en tratamientos posteriores.

- *Medio ambiente y puesto de trabajo seguro.* Al efectuar el proceso de plasma no se producen daños en el medio ambiente, además de presentar la ventaja que los operadores no están expuestos a procesos peligrosos.

### 3. Conclusiones

El plasma es un proceso altamente versátil en la modificación de superficies de materiales de diferentes características. Puede ser utilizado de diferentes maneras en dependencia de los parámetros de trabajo utiliza-

dos, permitiendo realizar procesos de diferente naturaleza sobre la superficie tratada, como limpieza, grabado, reticulación, modificación de la estructura química, entre otras. Si comparamos el tratamiento por plasma de diferentes materiales con los procesos tradicionales de limpieza de superficies y otros tratamientos, es posible observar numerosas ventajas, como mejor rendimiento, costo conveniente, beneficios ambientales y contribución a mantener un puesto de trabajo seguro.

Por todo lo anteriormente expuesto podemos afirmar la tecnología de plasma combina factores que presentan un alto interés para la industria moderna y para los investigadores, en especial, su gran versatilidad combinada con un mínimo impacto ambiental, lo que permite pensar que este proceso está llamado a insertarse cada vez más en el contexto productivo y universitario de hoy.

### 4. Bibliografía

#### Libros

D'AGOSTINO, R. Plasma deposition, treatment and etching of polymers. San Diego. Academic Press, INC, 526 p., 1993

FOWKES, F.M. Attractive Forces at Interfaces. Eng. Chem.-The interface symposium-5, v. 54, n. 12, p. 40, 1964.

WERTHERMEIR, M. R., FOZZA, A.C. and HOLLANDER, A. Industrial processing of polymers by low-pressure plasmas: the role of VUV radiation. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*

*Section B: Beam Interaction with Materials and Atoms.* V.151.n.1-4, pp. 65-75, May, 1999.

#### Documentos electrónicos

PACHECO, J, El plasma, ese universo de todos tan desconocido. Disponible en: [http://www.inin.mx/publicaciones/documentospdf/CONTACTO\\_28\\_PLASMA.pdf](http://www.inin.mx/publicaciones/documentospdf/CONTACTO_28_PLASMA.pdf), Consulta realizada en enero de 2009.