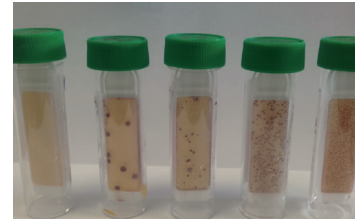


Control de contaminación bacteriana mediante un biocida físico en un túnel de proceso de tratamiento de superficie para carrocerías



Control of bacterial pollution through a physical biocide in a process tunnel of surface treatment for bodies

Miguel Núñez-Díaz¹, Santiago-Rafael Urréjola-Madriñán² y Jose-Javier Ferrón-Vidán¹

¹ Grupo PSA. Centro de Producción de Vigo. Avda. Citroën, 3 y 5 - 36210 Vigo (Pontevedra). Tfno.: +34 677 256875

² Centro Universitario de la Defensa en la ENM. Plaza de España, 2 - 36920 Marín (Pontevedra). Tfno.: +34 986 80 49 04

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/8312> | Recibido: 13/02/2017 • Evaluado: 24/02/2017 • Aceptado: 26/04/2017

ABSTRACT

- In the painting process of automobile bodies, the first stage of anticorrosion is obtained generating a chemical layer of protection of the plate surface. The first used technologies obtained a layer of protection on the basis of metallic phosphates. The best technologies available nowadays, generate a nanometric layer of conversion on the basis of hydroxides of zirconium, by means of a nanotechnology process. When it was realised this change of technology, in center of production of automobiles of Vigo of PSA Group: An increase of microbiological contamination of the TTS process has been stated, when being reduced the toxicity of the chemical agents that compose the treatment. This work described the results obtained in the diminution of microbiological contamination of the bath of Rinsing 3 that respects the reference values of the PSA Group, after the installation of a physical biocide in the recirculation of the pretreatment bath.
- Keywords:** Treatment of surface, phosphating, biocide, microbiological contamination, bacterias, ultraviolet, ultrasounds.

RESUMEN

En el proceso de pintura de carrocerías de automóvil, la primera etapa de anticorrosión se consigue generando una capa química de protección de la superficie de chapa.

Las primeras tecnologías utilizadas conseguían una capa de protección en base a fosfatos metálicos; las mejores tecnologías, disponibles hoy en día, generan una capa nanométrica de conversión en base a hidróxidos de zirconio, mediante un proceso de nanotecnología: al realizar este cambio de tecnología en el centro de producción de automóviles de Vigo del Grupo PSA, se ha constatado un aumento de contaminación microbiológica del proceso del túnel de tratamiento de superficie para carrocerías, al reducirse la toxicidad de los productos químicos que componen el tratamiento.

En este trabajo se describe cómo se consigue una disminución de contaminación microbiológica del baño de enjuague 3 que respeta los valores de referencia del Grupo PSA, tras la instalación de un biocida físico en la recirculación del baño que elimina el uso de desinfectantes.

Palabras clave: Tratamiento de Superficies, fosfatación, biocida, contaminación microbiológica, bacterias, ultravioleta, ultrasonidos.

1. INTRODUCCIÓN

El proceso del túnel de tratamiento de superficie para carrocerías, conocido como TTS, en el centro de producción de automóviles de Vigo del , ha sido cambiado en el año 2010 pasando de utilizar un tratamiento de fosfatación [1, 2] a un nuevo proceso denominado tratamiento por Oxasilan®. El motivo de este cambio ha sido fundamentalmente económico, puesto que permite obtener una disminución del consumo de energía, agua y materias utilizadas, así como una reducción de los residuos producidos. Durante la migración de un proceso a otro se ha tenido especial cuidado en que se mantuviese la calidad obtenida con el anterior proceso de fosfatación.

En el proceso de tratamiento de superficies las carrocerías pasan a través de diferentes baños. Allí son tratadas en un primer momento mediante agentes de limpieza alcalinos para eliminar los aceites de protección de la chapa, aceites necesarios en las anteriores etapas de embutición y ensamblado chapa. A continuación se les aplica el proceso de tratamiento superficial (Oxasilan®) en el que se obtiene una nano-capa de protección que actúa como base para el resto de las capas del proceso de pintado [3].

En los esquemas siguientes se presenta la evolución de las etapas de tratamiento de superficies al pasar de la fosfatación (Figura 1) al tratamiento por Oxasilan® (Figura 2). Como se observa se ha substituido la etapa de afinado por un lavado con agua desionizada (enjuague 3) y el baño de fosfatación (fosfatos de cinc, níquel y manganeso) por uno de conversión (ácido fluorozirconico y silanos).

El baño de conversión se encuentra después de varios baños de desengrase y de lavados. Es en el baño de conversión donde se forma una capa de espesor de nanómetros de hidróxidos de zirconio y de silanos, que se adhiere químicamente con la pintura de cataforesis garantizando la anticorrosión de la carrocería [4].

El estudio se centra en el baño de afinado (etapa anterior a la del recubrimiento químico de la chapa), el cual al pasar de la fosfatación al Oxasilan® [5], ha substituido el tratamiento con sales de titanio por un lavado con agua desionizada que se denominó como "enjuague 3".

2. MATERIALES: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La sustitución de la etapa de fosfatación en la línea de tratamientos de superficie por el uso de Oxasilan®, en la planta del grupo PSA situada en Vigo, trajo como consecuencia un incremento de la

**Ensamblado
chapa**

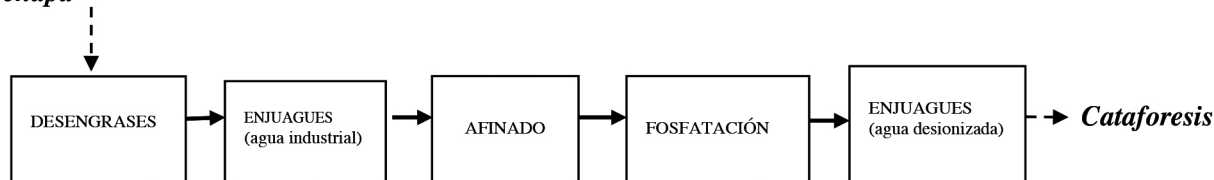


Figura 1: Etapas de la fosfatación

**Ensamblado
chapa**

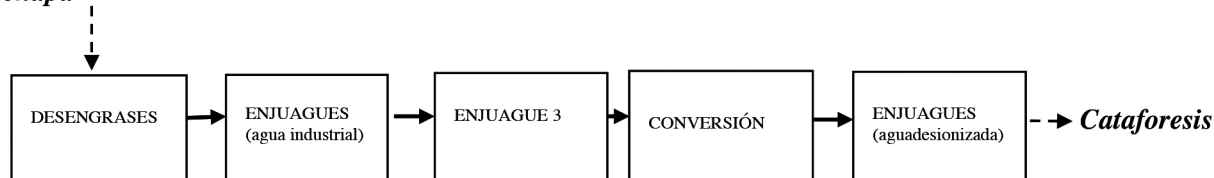


Figura 2: Etapas del Oxsilan®

contaminación microbiológica en los baños de agua desionizada debido fundamentalmente a tres factores:

- Una disminución de la toxicidad de los baños por la eliminación de ciertas sustancias empleadas como el nitrato de níquel del baño de fosfatación o las sales de titanio del baño de afinado, que siendo muy contaminantes impedían la aparición de microorganismos.
- La mayor dilución de las etapas de tratamiento químico, y por lo tanto una menor concentración de compuestos químicos de los baños, lo que implica una menor toxicidad.
- Una disminución de la agresividad del baño de conversión (de pH 3 en la fosfatación se pasó a pH 4,7).

Esta contaminación del baño de enjuague 3 se trasvasa a los baños posteriores a través del agua retenida en los cuerpos huecos de las carrocerías. Los efectos inmediatos son tres, el primero de ellos es la aparición de diferencias de tensión superficial en la chapa de la superficie exterior de la carrocería y un mojado no uniforme de la misma. Esto provoca defectos superficiales en la carrocería una vez cataforizada, comúnmente se denomina o escurridos [6], lo cual se percibe como diferencias de espesor producidas por diferencias de conductividad de la chapa al cataforizarse. En segundo lugar se produce un aumento de pH del baño de conversión, que a su vez implica un coste económico por el sobreconsumo de adiciones de ácido al baño, necesarias para controlar dicho pH [7]. Por último, se genera un consumo de desinfectantes y biocidas químicos y una descompensación del baño de conversión.

Para evitar la contaminación del baño de enjuague 3 todos los fines de semana, en periodos sin producción de carrocerías, se añaden al baño peróxido de hidrógeno, con o sin ácido peracético, con el fin de desinfectarlos. Posteriormente se vacía el baño y se lava con agua a presión, llenándose con agua desionizada. El baño de conversión se desinfecta en periodos de 3 a 4 semanas, y los lavados posteriores en una frecuencia determinada por su grado de contaminación.

Las bacterias, como otras formas de vida, tienden a adaptarse al medio en el que habitan reduciéndose la efectividad de estos biocidas químicos. Esto da lugar a una expansión de las colonias bacterianas resistentes a estos productos. Por ello, y como alternativa a los biocidas químicos, se implantó un biocida físico denominado Sonoxide Plus® (generador de radiación ultravioleta y ultrasonidos).

La hipótesis de partida fue que un medio de desinfección física aplicado en continuo al baño permitiría, con respecto a las desinfecciones químicas semanales que se realizaban, una mayor regularidad de los resultados de contaminación bacteriana, sin existencia de picos de contaminación, y un menor coste económico del tratamiento.

El mecanismo de actuación de este biocida físico es generar unas condiciones tan cambiantes (cavitación producida por los ultrasonidos) y lesivas para el ADN de las bacterias (radiación ultravioleta). De esta forma se impide la aparición de cepas de bacterias resistentes a tratamientos químicos convencionales [8,9]. El efecto de este tratamiento en continuo sobre el baño de enjuague 3 ha permitido disminuir la contaminación bacteriana del baño y, por lo tanto, evita el uso de desinfectantes químicos en el baño.

Como consecuencia de la disminución de ésta contaminación, también han disminuido las desinfecciones periódicas de los baños posteriores. En paralelo, este tipo de tratamiento en continuo garantiza una regularidad en el control de la contaminación.

2.1. MÉTODO DE ENSAYO

Para comprobar los efectos de la implantación del biocida físico (equipo Sonoxide Plus® B35 de Solenis): se tomaron muestras del baño de enjuague 3 una vez por semana al final de misma. Una vez tomadas se realizaron medidas de contaminación bacteriana previas a la implantación del equipo, y se compararon con las medidas durante los 6 meses posteriores a la implantación del biocida físico.

2.2. EQUIPO DE ENSAYO

Existen una serie de técnicas de desinfección de aguas que por uno u otro motivo fueron desechadas para usar en el baño de enjuague 3 en el centro de producción de Vigo del Grupo PSA; podemos resumir en cuatro tipos las técnicas: de oxidación, de uso de biocidas químicos, de generación de impulsos electromagnéticos y de uso de lámparas de radiación ultravioleta.

De las técnicas de oxidación pueden destacarse la ozonización [10] y la fotocatalisis heterogénea [10]. Con la aplicación de las mismas se producen una serie de sustancias, como son el ozono y los iones hidroxilo. Según el fabricante de los productos que forman el baño posterior de conversión: estas sustancias presentan incompatibilidades con los productos del baño; por ello que la



Figura 3: Foto del equipo Sonoxide Plus® B35

ozonización y la fotocatalisis sólo podrían usarse en periodos sin producción y asegurándose antes de empezar la producción que no queden restos de esas sustancias, para evitar arrastres al baño de conversión.

Por otro lado, el uso de biocidas químicos, como las isotiazolinas [11], además de que pierde efectividad con el tiempo también esta sustancia presenta incompatibilidades con los productos que forman el baño posterior de conversión, según el fabricante de los mismos. Por lo que no es posible su uso en enjuague 3 ya que llegarían arrastres al baño de conversión.

Los generadores de impulsos electromagnéticos en continuo [10], según la experiencia en PSA Vigo, sólo son efectivos en baños muy limpios. Al baño de enjuague 3 llegan arrastres de los baños químicos anteriores (desengrases) que ensucian el mismo.

La efectividad en el caso de usar radiación ultravioleta depende de la transmitancia del baño, la concentración y del tamaño de las partículas en suspensión, del ensuciamiento de las paredes de las lámparas y del envejecimiento de la lámparas [12,13].

Debido a las limitaciones de los equipos de emisión de radiación ultravioleta: La solución que se adoptó fue una combinación de la emisión de ultrasonidos con la radiación ultravioleta por medio del uso de un equipo, el Sonoxide Plus® B35 [14]. Este equipo, que se muestra en la Figura 3, se utiliza en otros sectores industriales como por ejemplo el tratamiento de aguas de torres de refrigeración o, en la industria alimentaria para tratar el agua recirculada que se usa en las autoclaves donde se esterilizan las latas de conserva

El equipo fue instalado en el baño de enjuague 3, emite en continuo radiación ultravioleta y ultrasonidos [14] sobre el líquido que circula por él. La generación de radiación ultravioleta se realiza por medio de 4 lámparas ultravioleta que emiten radiación de 257 nm, mientras que dos generadores piezoeléctricos [15] (uno de alta frecuencia de 46 MHz y otro de baja frecuencia de 8 KHz) producen ultrasonidos. En la Figura 4 se muestra el mecanismo de actuación y su efecto sobre los microorganismos.

El efecto de los ultrasonidos está asociado a la generación y evolución de microburbujas que se expansionan en el medio líquido, fenómeno conocido como cavitación. Las microburbujas alcanzan un tamaño crítico e implosionan o colapsan violentamente, lo que supone una liberación de toda la energía acumulada, ocasionando incrementos de temperatura instantáneos y focales, que se disipan sin que supongan una elevación sustancial de la temperatura del

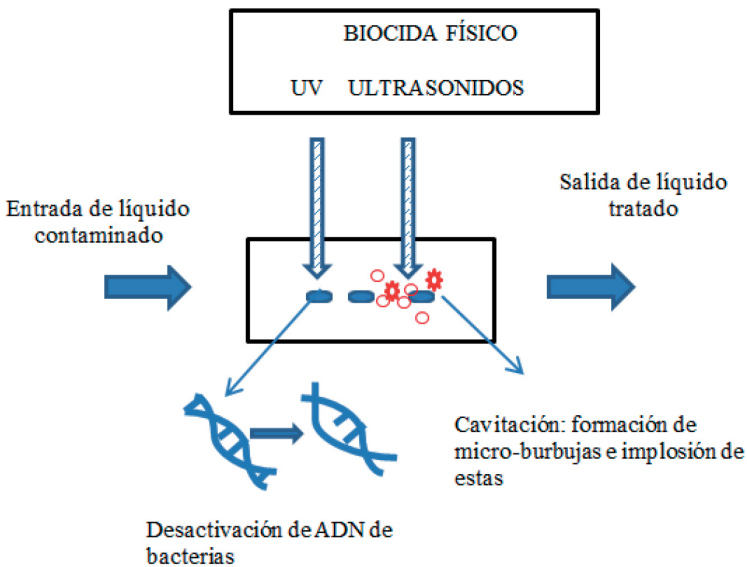


Figura 4: Efecto de la radiación ultravioleta y ultrasonidos

líquido tratado. Sin embargo, la energía liberada, así como el choque térmico asociado al fenómeno de implosión, afectan a la estructura de las células situadas en el microentorno [10].

Por su parte la radiación ultravioleta tiene un efecto letal y mutagénico, que depende de su longitud de onda. Ello se debe a la absorción selectiva de longitudes de onda por parte de ciertas moléculas biológicas. Esta radiación atraviesa las paredes celulares de los microorganismos, alcanzando el núcleo y lesionando el ADN de las células expuestas, lo que inhibe la replicación correcta del ADN durante la reproducción celular [16].

La radiación ultravioleta y los ultrasonidos generados por el equipo actúan como biocidas de manera independiente, pero combinados existen sinergias que aumentan su eficacia biocida [17].

Los límites de las condiciones de uso del equipo y las condiciones reales de utilización se muestran en la Tabla 1.

Parámetro	Valor mínimo	Valor máximo	Valores de uso
Valor SSK (linear spectral attenuation coefficient)	0	25	12
Caudal de paso por equipo (m³/h)	10	35	20
Presión (bar)	0,1	6	2,0-2,5
Temperatura del líquido circulante (°C)	2	70	30-35
Máximo diámetro de tubería (")		3	3
Temperatura ambiente (°C)	2	40	10- 35

Tabla 1: Límites de los parámetros de funcionamiento indicados por el fabricante del equipo (Solenis)

2.3. MEDIOS DE MEDIDA DE CONTAMINACIÓN MICROBIOLÓGICA

Se han utilizado dos métodos de medición de contaminación microbiológica:

- Cultivos Cult-Dip combi 1.00778 de Merck en cfu/ml. La incertidumbre de la medida es, según el fabricante, para la determinación de bacterias de 10³ cfu/ml hasta 10⁶ cfu/ml
- LUMINOMETER LB 9509 y el Kit QGA 2G de AquatooPls® en pg de ATP/ml. La incertidumbre de medida es la del Kit ±0.1 pg ATP/ml

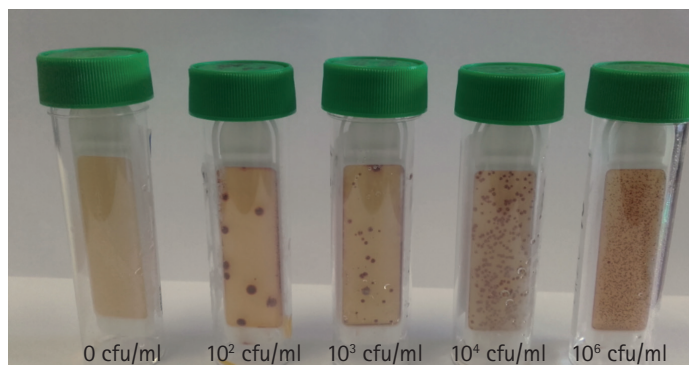


Figura 5: Escalas de concentración de bacterias en baño de enjuague 3 en cultivos del producto 00778 | Cult Dip combi® de Merck



Figura 6: Valor de 0 cfu/ml de hongos y levaduras en baño de enjuague 3, en cultivos del producto 00778 | Cult Dip combi® de Merck

La metodología de uso de los cultivos Cult-Dip consiste en mojar ambas caras de la probeta en el líquido en el que se quiere determinar la contaminación microbiológica. A continuación se coloca el tubo en posición vertical dentro de una incubadora a una temperatura de 27- 30 °C. Después se lee el resultado correspondiente de bacterias totales en el medio de cultivo de agar con colorante 2, 3,5-Trifeniltetrazolio cloruro (TTC agar), transcurridas 24-48 horas de incubación. Se realiza luego la comparación con la escala que se presenta en la Figura 5. Los hongos y las levaduras aparecen en el medio de cultivo agar Patata-dextrosa después de 3 días de incubación (Figura 6).

El fundamento de las medidas realizadas con el equipo Luminometer está basada en la medición del trifosfato de adenosina (ATP, por sus siglas en inglés) que es la fuente de energía de todas las células vivas. Por lo tanto, mediante la medición de la concentración de ATP procedente de células viables en el agua se cuantifica la contaminación microbiana. Los microorganismos vivos se filtran y luego se lisan para liberar su ATP. En presencia del complejo de luciferina-luciferasa, el ATP genera fotones medidos por un luminómetro. Los resultados se calibran, se expresan en Pg ATP /ml

Las ventajas e inconvenientes de ambos métodos son:

- El método de medición mediante cultivos tiene la ventaja de que permite distinguir el tipo de contaminación existente en los baños (bacterias y/o hongos-levaduras), su inconveniente es que tarda 48 horas en obtenerse el resultado y que la valoración es visual.
- El método ATP métrico tiene la ventaja que su resultado es prácticamente inmediato, pero no distingue el tipo de microorganismos existentes. La medida es automática.

Por eso se usan los dos métodos de análisis a la vez en la misma muestra.

3. RESULTADOS

Se han tomado muestras del baño de enjuague 3 una vez por semana antes y después de la puesta en marcha del equipo, y se han medido los resultados de contaminación microbiológica en cfu/ml y pgATP/ml.

Se ha comprobado que mediante los cultivos que el baño de enjuague 3 sólo tiene contaminación por bacterias, no por levaduras u hongos. Ver figura 6.

Los resultados obtenidos tras la implantación del equipo en el baño de enjuague 3 fueron:

- Se mantiene la contaminación bacteriana en el baño en valores iguales o inferiores a 10^4 cfu/ml, dentro de los valores aceptados por los estándares de calidad del Grupo PSA (zona optima de trabajo en la Figura 7).
- Se obtienen unos valores ≤ 1.500 pg ATP/ml, dentro de los valores aceptados por los estándares de calidad del Grupo PSA (zona optima de trabajo en la figura 8).

En las Figuras 7 y 8 se indica la zona optima de trabajo de valores de contaminación microbiológica según los valores de referencia del grupo PSA (zona comprendida entre el eje x y la línea a trazos), los valores validos (zona comprendida entre línea a trazos y línea a puntos) pero que implican realizar acciones no inmediatas (desinfección del baño con peróxido de hidrógeno del baño) para volver a la zona optima, y zona no aceptable (de la línea a puntos para arriba) que implican acciones más enérgicas (desinfecciones con peracético y peróxido de hidrógeno) para volver a la zona óptima de trabajo.

En las Figuras 7 y 8 se puede observar que tras la implantación del equipo en el enjuague 3 en la semana 26 hubo un pico de contaminación a las 7 semanas (semana 33) de su puesta en marcha, y luego una estabilización de la contaminación del baño. Con un círculo se destaca en las gráficas el momento de puesta en marcha del equipo y con un cuadrado la aparición del pico de contaminación.

La explicación sobre el pico de contaminación, de acuerdo con la experiencia del fabricante del equipo Sonoxide Plus®, es que existe un equilibrio bacteriano en el baño. Al ir muriendo bacterias del baño, éstas son reemplazadas por otras generadas en el biofilme. Llega un momento en que el biofilme se desprende de las paredes de la cuba, al no poder reemplazar las bacterias dañadas, produciéndose un aumento de contaminación del baño.

En la bibliografía aparecen distintos estudios estadístico [17, 18], y de modo similar se ha realizado un estudio estadístico de la situación anterior a la instalación del equipo con desinfecciones químicas semanales (semanas de 1 a 25) y con el método físico (semanas del 34 al 58). En dicho estudio se han considerado no representativas del proceso estable de funcionamiento del equipo los datos desde la semana 26 (puesta en marcha del equipo) a la 33 (pico de contaminación).

Los resultados del estudio estadístico de las medidas en pg ATP/ml de la figura 8 muestran los siguientes valores:

- Con desinfecciones químicas: valor de la media de 562 pg ATP/ml, con una desviación típica de 852 pg ATP/ml, dónde se observaron unos valores máximo mínimo respectivamente de 2.941 y 4 pg ATP/ml.
- Durante el funcionamiento del equipo: valor de la media de 679 pg ATP/ml, con una desviación típica de 325 pg ATP/ml, dónde se observaron unos valores máximo mínimo respectivamente de 1.483 y 70 pg ATP/ml.

Se puede interpretar con estos resultados que tanto las desinfecciones químicas como el método físico obtienen unos valores medios contaminación bacteriana del baño de enjuague 3 por de-

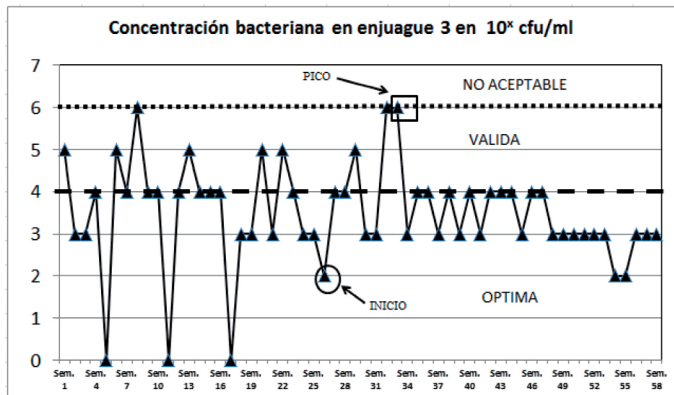


Figura 7: Variación de la concentración de bacterias semanal en el baño de enjuague 3 en cfu/mL

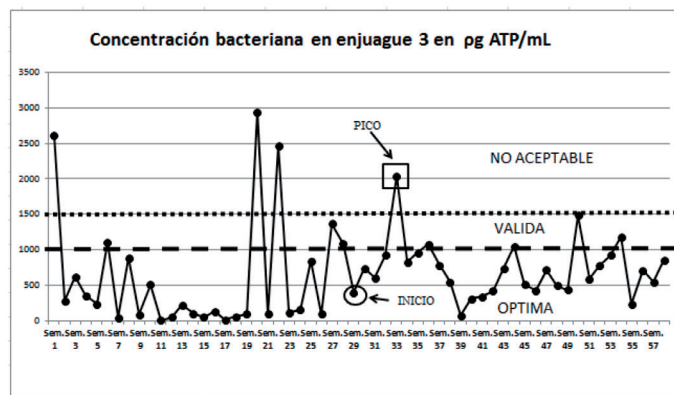


Figura 8: Variación de la concentración de bacterias semanal en el baño de enjuague 3 en pg ATP/mL

bajo del límite aceptable de 1.500 pg ATP/ml, aunque con un valor medio más bajo en las desinfecciones. Pero las desinfecciones químicas tienen mayor dispersión.

En un proceso industrial lo que se busca es la mayor homogeneidad y estabilidad de los resultados además de un menor coste económico.

Con las medidas en cfu/ml de la figura 7: No se realiza estudio estadístico al tener las mediciones incertidumbres de 10^3 cfu/ml hasta 10^6 cfu/ml, y al estar los valores en potencia de base los cálculos estadísticos tienen una gran incertidumbre. Pero visualmente se observa menor dispersión con el equipo y valores medios más bajos.

4. CONCLUSIONES

La hipótesis de partida fue que un medio de desinfección física aplicado en continuo al baño de enjuague 3 permitiría, con respecto a las desinfecciones químicas semanales que se realizaban, una mayor regularidad de los resultados de contaminación bacteriana sin existencia de picos de contaminación (lo deseable en un proceso industrial es la regularidad del mismo) y un menor coste económico del tratamiento del baño.

Esta hipótesis se ha confirmado tras la implantación del equipo consiguiéndose: Eliminar las desinfecciones semanales con peróxido de hidrógeno con el consiguiente gasto en productos, agua de lavado y de llenado del baño. Eliminación de vertidos semanales de agua. También se evita la manipulación de productos químicos.

Una de las consecuencias de los resultados del estudio es que se ha ensayado también un equipo Sonoxide Plus® en un depósito de agua desmineralizada de donde se aporta a los baños de tratamiento de superficie. Con buenos resultados y en espera de su implantación definitiva.

Como continuación a este estudio está previsto ensayar un equipo similar solamente con emisión de ultrasonidos, sin emisión de radiación ultravioleta, en el baño de conversión. La radiación ultravioleta puede alterar las moléculas orgánicas del baño. Para confirmar el posible efecto de la radiación ultravioleta sobre las moléculas orgánicas y si no lo hubiese poder utilizarse el equipo con ultravioleta y ultrasonidos (más eficaz), el fabricante de los productos del baño de conversión está ensayando un equipo con ultrasonidos e ultravioleta en sus laboratorios.

A modo de resumen los dos hitos más destacables de este estudio han sido:

- Disminuir la contaminación bacteriana del baño de enjuague 3 a valores dentro del referencial del Grupo PSA al cabo de dos meses de la puesta en marcha del equipo Sonoxide Plus®.
- Eliminar el uso de desinfectantes químicos en el baño de enjuague 3 desde la implantación del equipo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Adhikari S, Unocic K A, Zhai Y, Frankel G S, Zimmerman J, Fristad W. "Hexafluorozirconic acid based surface pretreatments: Characterization and performance assessment". *Electrochimica Acta*. 2011, Vol. 56-4, p.1912-1924.DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.electacta.2010.07.037>
- [2] Andres, L J, Perez, A. "Diseño y operación de una instalación piloto de fosfatación y cataforesis. Aplicación a la industria del automóvil". *DYNA*. 1997, Vol. 72-2, p.36-38
- [3] Lorin G. La phosphatation-passivation. La phosphatation des metaux. Paris: Eyrolles, 1973. Capítulo 10.
- [4] Yao, Y. "The New Materials Automotive Electrophoresis Pretreatment-Oxilan Technology. In *Advanced Materials Research*". *Advanced Materials Research*. Vol. 427/2012, p.191-197, <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.427.191>
- [5] Casamor-Regull J M, Miguelez-Martinez, P. "Formación técnica de Oxilan para PSA". 2015
- [6] Lozano E."Nueva generación de cataforesis con catalizador orgánico: ENVIRO-PRIME® EPIC" en VIII Congreso Eurocar, Barcelona. 2014. 19p
- [7] Rahaman, M. S., Thérien-Aubin, H., Ben-Sasson, M., Ober, C. K., Nielsen, M., & Elimelech, M. "Control of biofouling on reverse osmosis polyamide membranes modified with biocidal nanoparticles and antifouling polymer brushes". *Journal of Materials Chemistry B*. 2014, Vol. 2-12, p.1724-1732; DOI: <http://dx.doi.org/10.1039/C3TB21681K>
- [8] Sadava D, Purves W H H. Vida / Life: La ciencia de la biología / The Science of Biology. 8ª edición. New York: Editorial Médica Panamericana, 2008. 295p. ISBN: 978-950-06-8269-5
- [9] Nebel B J, Wright R T. Ciencias ambientales: ecología y desarrollo sostenible. PHH. 1999. 126p. ISBN: 9789701702338.
- [10] Osorio-Robles F, Torres-Rojo J C, Sánchez-Bas M. Tratamiento de aguas para la eliminación de microorganismos y agentes contaminantes. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, 2010. 20p, 22p, 69p, 100p y 107p. ISBN: 978-84-7978-903-9
- [11] T.R. Williams.(2006)."The Mechanism of Action of Isothiazolone Biocides".En: Nace Conference Corrosion/2006, (San Diego, CA, USA, 12-16 de marzo de 2006). 2006-Paper 06090
- [12] H. B. Wright, W. L. Cairns.(1998). "Ultraviolet light". *Trojan Technologies Inc*, p.16-18
- [13] A.A. Paidalwar, I.P. Khedikar (2016) "Overview of Water Disinfection by UV Technology – A Review". *International Journal of Science Technology & Engineering*. Vol 2. P.218-219
- [14] Chen D, K-Sharma S, Mudhoo A, Handbook on Applications of Ultrasound: Sonochemistry for Sustainability. New York: CRC Press. 2012. 569p. ISBN 978-1-4398-4306-5
- [15] Callister W. Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales, Vol. 2. Barcelona: Editorial Reverte.1996. 657p. IBBN: 978-84-291-7254-8
- [16] Tortora-Gerard J, Funke-Berdell R, Case-Christine L. Introducción a la microbiología. 9ª edición. Madrid: Ed. Médica Panamericana, 2007. 196p. ISBN: 978-950-06-0740-7
- [17] Naddeo, V., Landi, M., Belgiorio, V., & Napoli, R. M. A. (2009). "Wastewater disinfection by combination of ultrasound and ultraviolet irradiation". *Journal of Hazardous Materials*, 168(2), 925-929
- [18] Zhou, X., Guo, H., Li, Z., Zhao, J., & Yun, Y. (2015). "Experimental study on the disinfection efficiencies of a continuous-flow ultrasound/ultraviolet baffled reactor". *Ultrasonics sonochemistry*, 27, 81-86.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a Solenis las facilidades dadas para conocer los principios técnicos del funcionamiento del equipo Sonoxide Plus® B35. También a Jaime González Cumplido (Grupo PSA) de quien surgió la idea de ensayar el equipo en el baño de enjuague 3.