

Valoración de los principales parámetros que definen la calidad de las superficies anodizadas en piezas de aluminio para la construcción.

J. A. Pérez García*, **M. Vidal González****

*Área de Ing. de los Procesos de Fabricación, ETS de Ing. Industriales, Univ. de Vigo, España

**Dpto. TCM, Fac. Ing. Mecánica, CUJAE, La Habana, Cuba

E-mail: japerez@uvigo.es , vidal@mecanica.cujae.edu.cu

(Recibido el 22 de mayo del 2003; aceptado el 17 de julio del 2003)

Resumen.

Actualmente en la construcción de edificaciones se utiliza profusamente el aluminio en puertas, ventanas, pasamanos, etc. Con el objetivo de mejorar los parámetros que caracterizan sus cualidades estéticas y de resistencia a la corrosión, estos artículos son sometidos al proceso de anodizado. De todos los factores que intervienen en este proceso, se ha llegado a conocer que hay tres que tienen mayor relevancia en la obtención de la calidad deseada en las piezas: tratamiento previo de la superficie a anodizar, color a aplicar y espesor de la capa de recubrimiento. Este trabajo ofrece, sobre la base de experimentos llevados a cabo, las relaciones cualitativas entre estos factores y los parámetros que caracterizan la calidad desde el punto de vista estético (brillo, aspecto, textura) y de su resistencia a la corrosión.

Palabras claves: Aluminio, anodizado, calidad.

1. Introducción.

El anodizado es un proceso en el que están presentes numerosos factores que influyen en diferente medida sobre el resultado final. Sin embargo, desde el punto de vista industrial no todos se prestan para ser utilizados como variables para lograr el control del proceso y un grupo de ellos se mantienen como fijos a partir de recomendaciones y experiencias que se consideran como normalizadas o típicas. Como ejemplo de lo anterior se pueden señalar la concentración y composición de los electrolitos, la temperatura del baño, la tensión e intensidad de la corriente eléctrica, por citar sólo algunos. Incluso hay casos, como el de la aleación metálica a utilizar, que prácticamente no permite alternativas al estar la misma predeterminada por normas, como son las normas DIN 17611 y DIN 1725. Por otra parte, resulta una práctica habitual en la industria ajustar el proceso de manera empírica, lo que conlleva a que en diferentes lotes de piezas no se logre una calidad uniforme.

La calidad del anodizado se evalúa fundamentalmente mediante tres aspectos: resistencia a la corrosión, aspecto (brillo), y textura. A su vez estos tres aspectos son evaluados mediante la medición de la rugosidad

superficial, expresada mediante los parámetros R_a , R_q y R_y respectivamente [3].

De acuerdo con lo expresado, se ha establecido como primera aproximación que los factores variables que tienen mayor influencia sobre la calidad del anodizado (expresada mediante la rugosidad superficial de las superficies procesadas) y que tecnológicamente son apropiados para el control de la obtención de la calidad requerida, son: preparación previa de la superficie a anodizar o pretratamiento, color del anodizado, y espesor de la capa anodizada. Pero lo que no ha sido establecido es la magnitud de la influencia de cada uno de estos factores por separado sobre la calidad (rugosidad) de la superficie anodizada ni tampoco si hay influencia de unos sobre otros. Por tanto, se hace necesario corroborar fundamentadamente estas relaciones para poder garantizar que diferentes lotes de piezas puedan obtenerse con una calidad uniforme.

2. Diseño de los experimentos.

En la tabla 1 se muestran los factores a considerar para la realización de un experimento multifactorial y los niveles de variación de los mismos, que se escogieron teniendo en cuenta la práctica más habitual de la industria del anodizado de aluminio para aplicaciones en la construcción. El control de la

variación de estas variables independientes se efectúa por medio de los procedimientos establecidos en la planta, los que pueden consultarse en [2].

Las variables no numéricas se codificaron en la matriz del experimento mediante símbolos numéricos, como es práctica para este tipo de diseño experimental. Se prepararon además $5 \cdot 3 \cdot 2 = 30$ probetas, cada una de las cuales se procesó de manera que en ellas se conjuga una combinación singular de factores y niveles. Se hicieron tres réplicas de cada una de las mediciones de la rugosidad, que se efectuaron en el mismo punto (pequeña zona) de cada probeta antes y después del anodizado por lo que como variable de respuesta se considera la variación de los parámetros de rugosidad superficial que caracterizan la calidad del resultado final, es decir, dRa, dRy y dRq. Las mediciones se efectuaron con un rugosímetro SURFCOM 1400A. Debido a su volumen y por razones de espacio, en el presente trabajo no se brindan los resultados de todas las mediciones realizadas. Estos resultados aparecen en [2].

3. Análisis de los resultados.

En la tabla 2 se muestran los resultados del procesamiento estadístico de los datos obtenidos en las mediciones, donde se refleja la influencia de los factores analizados sobre dRa y la interacción entre ellos, lo que se realizó mediante el software SPSS8 [1].

Como se observa, la rugosidad final de las probetas es afectada significativamente por el tratamiento previo, el espesor del recubrimiento (en la tabla "MICRAS") y el

color, en ese mismo orden de importancia. Además, la interacción entre estos tres factores, de forma conjunta o por parejas es, aunque en menor medida, igualmente significativa.

La figura 1 muestra que el gráfico de probabilidad normal de los residuos no reveló anomalías.

La figura 2 muestra el gráfico de los valores medios estimados contra los factores preparación previa, color y espesor de recubrimiento. Se evidencia que la hipótesis de homocedasticidad puede ser rechazada.

Para finalizar el análisis sólo resta considerar las posibles interacciones entre los distintos factores:

Probabilidad Normal de los Residuos

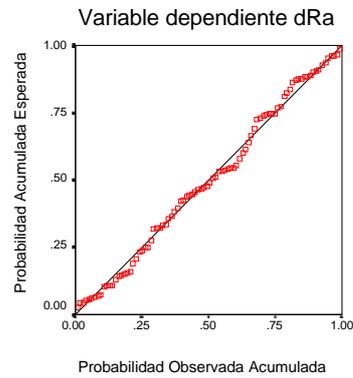


Figura 1.-Gráfico de probabilidad normal de los residuos

Tabla 1.- Factores a considerar para el anodizado.

Factor	Niveles				
	Pretratamiento	Pulido	Nylon	Satinado	Gratado
Color	Natural	Oro	Bronce		
Espesor Recubrimiento	15µm	25µm			

Tabla 2. Prueba de los Efectos Inter-Sujetos. Variable dependiente dRa

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F	Significación
Modelo Corregido	2.373	29	8.184E-02	18.433	0.000
Intersección	0.137	1	0.137	30.831	0.000
Tratamiento previo (Prepar)	1.945	4	0.486	109.496	0.000
Color	2.145E-02	2	1.072E-02	24.150	0.098
Espesor del recubrimiento (Micras)	2.272E-02	1	2.272E-02	51.170	0.027
Prepar . Color	0.119	8	1.490E-02	3.357	0.003
Prepar . Micras	8.200E-02	4	2.050E-02	4.617	0.003
Color . Micras	1.089E-04	2	5.444E-05	.012	0.988
Prepar . Color. Micras	0.183	8	2.291E-02	5.159	0.000
Error	0.266	60	4.440E-03		
Total	2.777	90			
Total Corregida	2.640	89			

a Calculado usando alpha = 0.05

b R Cuadrado = .899 (R Cuadrado Corregida =0.850)

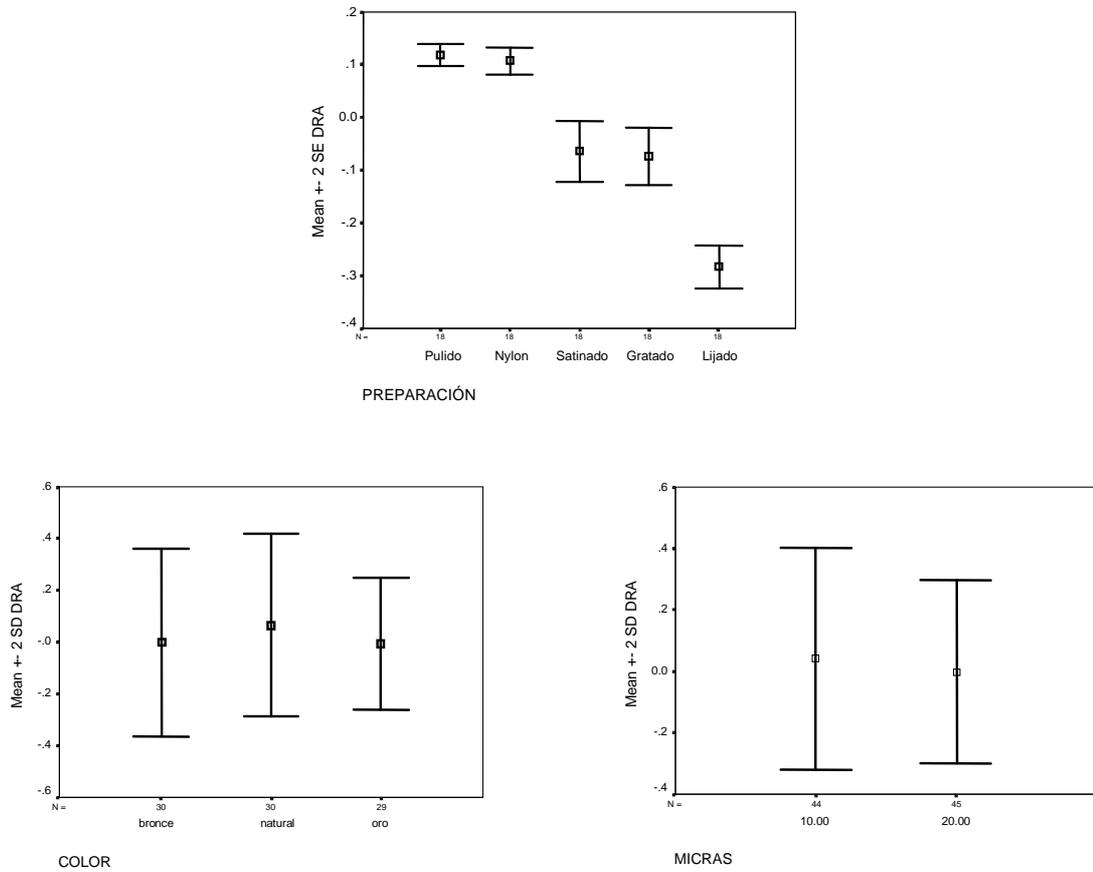


Figura 2.-Residuos contra los factores preparación previa, color y espesor de recubrimiento.

a) **Interacción pretratamiento-color.**

En las figuras 3 y 4 se presentan graficadas la influencia de estos dos factores contra Ra final y dRa

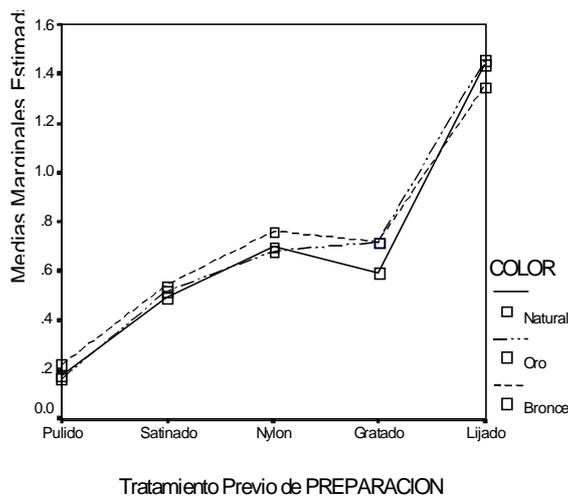


Figura 3.-Interacción pretratamiento-color en relación con Ra final

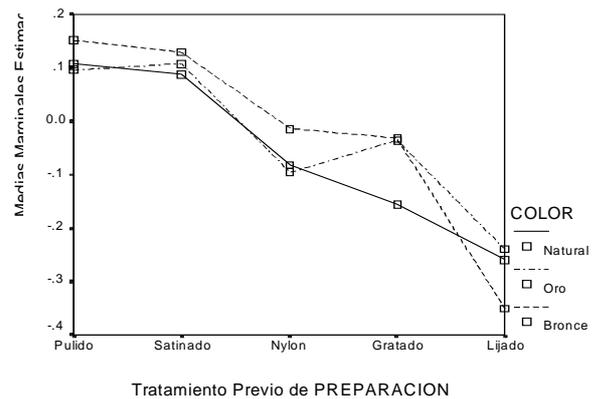


Figura 4.-Interacción pretratamiento-color en relación con dRa.

Ambos factores muestran una leve interacción, ya que los distintos segmentos no son completamente paralelos. El grado de interacción aumenta a medida que empeora la rugosidad superficial inicial de la probeta (gratado y lijado). Se aprecia además que, salvo en el

caso del lijado, el color BRONCE presenta los peores resultados de Ra.

b) Interacción pretratamiento-espesor de recubrimiento.

En las figuras 5 y 6 se muestra graficada la influencia de estos dos factores contra Ra final y dRa.

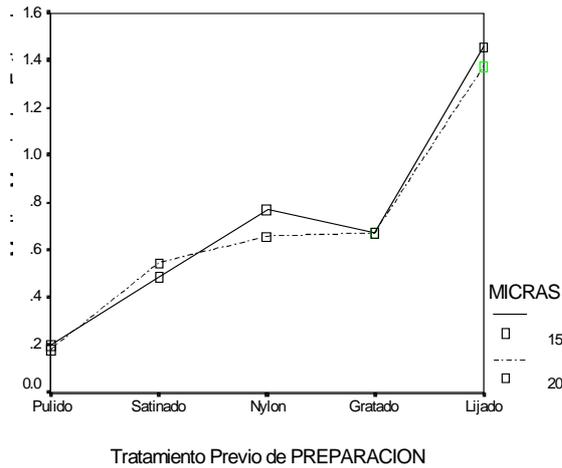


Figura 5.-Interacción pretratamiento-espesor de recubrimiento en relación con Ra final.

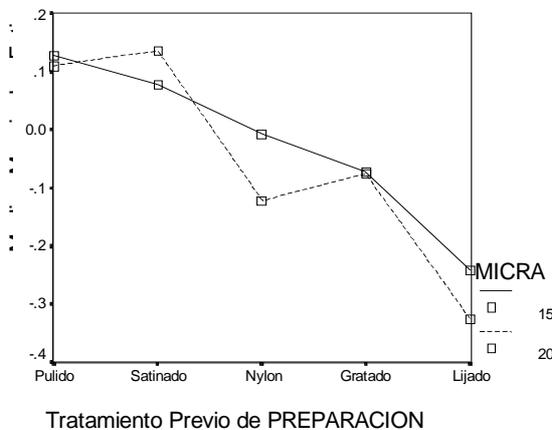


Figura 6.-Interacción pretratamiento-espesor de recubrimiento en relación con dRa final.

En este caso se aprecia un mayor grado de interacción, aunque nuevamente puede considerarse su efecto como despreciable. Es ahora el SATINADO el pretratamiento que presenta mayores problemas (mayor interacción). Igualmente, un mayor espesor de recubrimiento supone una menor rugosidad superficial, con la única excepción del mencionado SATINADO.

c) Interacción color-espesor de recubrimiento

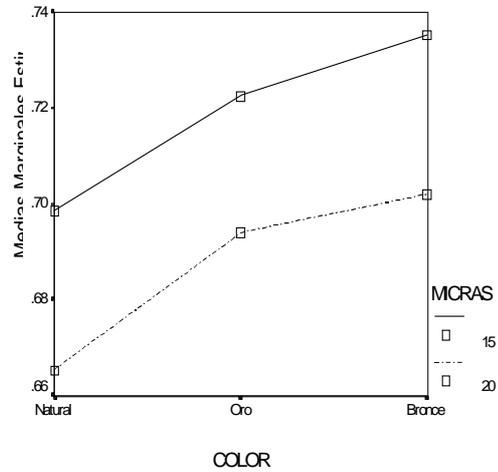


Figura 7.-Interacción color-espesor de recubrimiento en relación con Ra final.

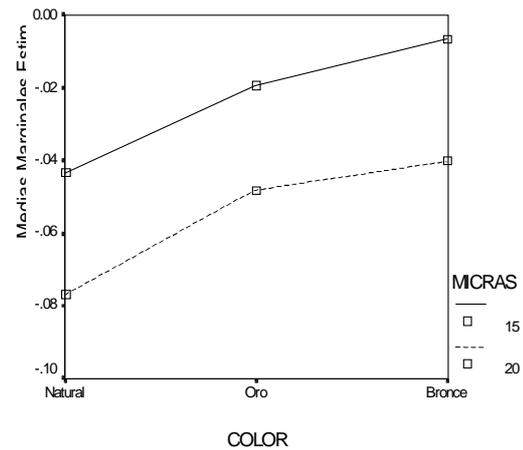


Figura 8.-Interacción color-espesor de recubrimiento en relación con dRa final.

Es evidente la independencia de ambos factores analizados al no cortarse nunca las líneas que representan a cada uno. Al igual que en el caso anterior, la rugosidad superficial se hace menor a medida que aumenta el espesor del recubrimiento. Por último, del análisis de todo lo anterior se concluye que queda descartada la interacción simultánea de los tres factores analizados.

De la misma manera que se ha descrito para el caso de la variable dRa, se realizan los análisis para las variables dRy y dRq los que obviamente no podrán estar contenidos en este trabajo por razones de espacio. No obstante, en las tablas que siguen se muestra el análisis estadístico de los datos de las mediciones para ambas variables.

Tabla 3.-Prueba de los Efectos Inter-Sujetos.Variable dependiente dRy.

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Significación
Modelo corregido	253.992	29	8.758	3.566	.000
Intersección	3.516	1	3.516	1.432	.236
Prepar	153.151	4	38.288	15.587	.000
Color	2.361	2	1.180	0.481	.621
Micras	28.911	1	28.911	11.770	.001
Prepar * Color	26.167	8	3.271	1.332	.246
Prepar * Micras	16.473	4	4.118	1.677	.167
Color * Micras	4.210E-02	2	2.105E-02	.009	.991
Prepar*Color * Micras	26.887	8	3.361	1.368	.229
Error	147.383	60	2.456		
Total	404.892	90			
Total Corregida	401.375	89			

- a) Calculado usando alpha = 0.05
 b) R Cuadrado = .633 (R Cuadrado Corregida =0.455)

Tabla 4.-Prueba de los Efectos Inter-Sujetos. Variable dependiente dRq

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	F	Significación
Modelo Corregido	4.072	29	.140	12.502	.000
Intersección	7.168E-02	1	7.168E-02	6.383	.014
Prepar	3.203	4	.801	71.299	.000
Color	3.016E-02	2	1.508E-02	1.343	.269
Micras	8.711E-02	1	8.711E-02	7.756	.007
Prepar * Color	.221	8	2.762E-02	2.459	.023
Prepar * Micras	.110	4	2.748E-02	2.447	.056
Color * Micras	1.816E-03	2	9.078E-04	.081	.922
Prepar * Color * Micras	.419	8	5.236E-02	4.662	.000
Error	.674	60	1.123E-02		
Total	4.817	90			
Total Corregida	4.746	89			

- a) Calculado usando alpha = 0.05
 b) R Cuadrado = .858 (R Cuadrado Corregida =0.789)

4. Conclusiones.

Con el trabajo descrito se pretendía verificar la importancia de un grupo de factores presentes en el proceso de anodizado de piezas de aluminio sobre las características de calidad del artículo, expresada a través de la medición de los parámetros Ra , Ry y Rq de la rugosidad superficial de dichas piezas. A continuación los principales resultados:

Parámetro Ra.

- a) Factor Tratamiento Previo:
- Su influencia es significativa
 - Los mayores valores de Ra final corresponden a los pretratamientos que producen mayores valores de Ra inicial.
 - Se observa que para aquellos pretratamientos que producen mejor acabado superficial (pulido y

satinado), el anodizado empeora este acabado, mientras que ocurre todo lo contrario para aquellos pretratamientos de Ra inicial alto (gratado y lijado)

b) Factor Espesor de Recubrimiento:

- Muestra leve influencia sobre el valor final de Ra.
- No obstante, independientemente del tratamiento mecánico previo de la superficie, el incremento del espesor de recubrimiento mejora la calidad (disminuye Ra). En el caso del satinado (tratamiento químico), el comportamiento es a la inversa.

c) Factor Color:

- El valor final de Ra, medido sobre la superficie anodinada, está levemente influenciado por este factor, independientemente del tratamiento previo sufrido por la probeta. En todo caso la aplicación de color empeora la calidad final de la superficie,

siendo el color Bronce el mas perjudicial al demorar mayor tiempo su aplicación.

- La influencia de este factor no está afectada por el espesor de recubrimiento.

Parámetro Ry.

a) Factor Tratamiento Previo:

- Este factor tiene una influencia importante sobre el valor de Ry final.
- Los valores mayores de Ry final corresponden a los pretratamientos que tienen mayores valores iniciales de Ry.
- En el caso de aquellos pretratamientos que originan una menor rugosidad superficial (pulido y satinado), con el anodizado se produce un incremento de Ry final, mientras que con los que producen una mayor rugosidad superficial (nylon y lijado), el anodizado actúa en sentido opuesto. En todos los casos la magnitud de esta influencia es unas diez veces mayor que para el caso del parámetro Ra.

b) Factor Espesor de Recubrimiento:

- Este factor muestra influencia sobre el parámetro que se analiza.
- Independientemente del tratamiento previo aplicado, con el aumento del espesor de recubrimiento disminuye el valor de Ry final.
- También en este caso la magnitud de la influencia es unas diez veces mayor que para el parámetro Ra.

c) Factor Color:

- Su influencia sobre Ry final varía en función del pretratamiento aplicado. Son el gratado y el nylon (valores medios de Ry inicial) los más afectados. Sobre los otros, su influencia es mucho menor.
- Su influencia es independiente del espesor de recubrimiento. En general, su influencia es también unas diez veces mayor que para el parámetro Ra.

- Su influencia es nuevamente importante en el caso de este parámetro.
- Los mayores valores de Rq final corresponden con los pretratamientos que originan mayores valores de Rq inicial.
- Al igual que en casos anteriores, se observa que para aquellos pretratamientos que originan buen acabado superficial (valores pequeños de Rq), con el anodizado se produce un empeoramiento (aumento de Rq final) de la calidad de la superficie y viceversa. No obstante, en el caso del lijado se nota una mejora (disminución) de Rq final, es decir, el anodizado sólo mejora la superficie cuando se parte de las peores condiciones de pretratamiento.

b) Factor Espesor de Recubrimiento:

- Su influencia es extremadamente ligera sobre Rq.
- No obstante, a excepción del satinado, su influencia es positiva, es decir, a mayor espesor de recubrimiento menor el valor final de Rq.

c) Factor Color:

- Este factor actúa como un “compensador” del parámetro Rq, es decir, aquellos colores que causan un incremento de Rq para los pretratamientos con bajo Rq inicial, hacen lo contrario cuando se trata de pretratamientos con alto Rq inicial.
- La influencia de este factor no depende del espesor de recubrimiento.

5. Bibliografía.

- 1 Pérez, C. “Técnicas estadísticas con SPSS”. Prentice Hall, 2001. ISBN 8420531677.
- 2 Pérez García, J. A. “Análisis de la Influencia del Mecanizado Previo en la Calidad Superficial Final de Superficies de Aluminio Anodizadas”. Tesis Doctoral. Universidade de Vigo, 2002
- 3 ZEISS. “Application guide manual for Surfcom 1400A” Tokyo Seimitsu CO, Ltd. 1998.

Parámetro Rq.

a) Factor Tratamiento Previo:

Evaluation of anodized surfaces main parameters that define quality of aluminum parts.

Abstract.

Aluminum articles such as windows and doors, etc are widely applied in modern building construction. In order to upgrade aesthetic and corrosion resistant properties of these articles the anodizing process is frequently used. Among all factors that are involved in this process, there are three having high relevance in order to obtain the desired quality of the final product: previous surface treatment (before anodizing), color of the final article and anodized layers thickness. This paper offers the qualitative relationships between these factors and parameters characterizing corrosion resistance properties and aesthetics.

Key words: Aluminun, anodize, quality.