

INFLUENCIA DEL ESPESOR DE CROMADO EN LA VIDA ÚTIL DE AMORTIGUADORES CONVENCIONALES SOMETIDOS AL ENSAYO DE DURABILIDAD

D.A. Egidi ^{(1)*}, V. Martynenko ⁽¹⁾, C. Calahorra ⁽¹⁾, J. Szombach ⁽¹⁾, D. Martínez Krahmer ⁽¹⁾

(1) *Unidad Técnica Máquinas y Herramientas, Centro de Mecánica, Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Avenida General Paz 5445, Miguelete, Provincia de Buenos Aires, Argentina.*
*e-mail: egidi@inti.gob.ar

Abstract

In Argentina, exists since 2008, an obligatory certification process for those considering auto safety parts (such as shock absorbers, steering ends, etc). INTI-Mecánica is part of the Laboratory Network for the Automotive Industry called RELIAU, performing among others, the tests for conventional shocks absorbers. In this particular case, regulate by the IRAM-AITA 4D2, and given the experience gained by the laboratory during these years, the durability test, result the most demanding of them all. In it, a pair of shock absorbers of the same type, testing for 1,000,000 cycles (representing nine days of continuous operation). After finish it, the samples have two main requirements. On the one hand, the pattern of individual behavior (force versus displacement curve) should not be delayed to compression (drop pressure), and in the other, any oil leakage during the test. It was observe that, in most cases of non-compliance, there is a progressive detachment of the layer of chromium overlaying the rod, which creates a wear mechanism of three bodies, since, being at the loosened particles between the retainer and the rod, it encourages the loss of oil with the advance of the trial. Because, quite possibly, more chrome layer thicknesses are more susceptible to detachment, was considered then evaluate the behavior of rods, coated with two different plating thickness: 13 μm and 26 μm . In this regard, were constructed and tested three pairs of shock absorbers with the thickness of 13 μm , and an amount equal to that of 26 μm , all ground to a roughness average $R_a =$ arithmetic mean 0.25 μm . Referring to the results, all rods to the thickness of 13 μm , verified the requirements set, both as regards the behavior diagram, as the loss of oil. By contrast, in those of 26 μm , except in one case, in the remaining oil leakage occurred from the 400.000-600.000 cycles. It is concluded that a thickness of 13 μm exhibits a better degree of adhesion, even in the case of any detachment of the layer, given the lower the amount of chromium involved, the results obtained appear to indicate that there would reach affect the catch, during the durability test, and as a result, the oil loss did not occur.

Key words: shock absorbers, rod, thickness, chrome, durability, IRAM-AITA 4D2.

Resumen

En Argentina, existe desde el año 2008, un proceso de certificación obligatorio, para aquellas autopartes consideradas de seguridad (como pueden ser amortiguadores, extremos de dirección, etc).

INTI-Mecánica, forma parte de la Red de Laboratorios para la Industria Automotriz denominada RELIAU, realizando entre otros, los ensayos correspondientes a los amortiguadores convencionales.

En este caso particular, se rigen según la Norma IRAM-AITA 4D2, y dada la experiencia recogida por el laboratorio durante estos años, es el denominado ensayo de durabilidad, el más exigente de todos ellos.

En el mismo, un par de amortiguadores del mismo tipo, son sometidos a una prueba funcional durante 1.000.000 ciclos (que representan unos nueve días de funcionamiento ininterrumpido). Concluido el ensayo, las muestras deberán satisfacer dos requisitos principales. Por un lado, el diagrama de comportamiento individual (curva fuerza versus desplazamiento), no deberá presentar un retraso a la compresión (pérdida de carga), como tampoco fugas de aceite durante el test.

Se ha observado que, en la mayoría de los casos de no cumplimiento, se produce un desprendimiento progresivo de la capa de cromo que recubre el vástago, situación que genera un mecanismo de desgaste de tres cuerpos, ya que, al ubicarse las partículas desprendidas entre el retén y el vástago, se propicia la pérdida de aceite con el avance del ensayo.

Dado que, muy posiblemente, mayores espesores de la capa cromada, son más susceptibles al desprendimiento, se consideró evaluar entonces el comportamiento de vástagos, recubiertos con dos espesores de cromado diferentes: 13 μ m y 26 μ m. En tal sentido, se construyeron y ensayaron tres pares de amortiguadores con el espesor de 13 μ m, y una cantidad igual con el de 26 μ m, todos ellos rectificadas a una rugosidad media aritmética promedio $R_a=0,25\mu$ m.

En referencia a los resultados obtenidos, todos los amortiguadores con el espesor de 13 μ m, verificaron los requisitos enunciados, tanto en lo que se refiere al diagrama de comportamiento, como a la pérdida de aceite. Por el contrario, en aquellos amortiguadores con vástagos de 26 μ m, salvo en un caso, en los restantes se produjeron pérdidas de aceite a partir de los 400.000-600.000 ciclos.

Se concluye entonces que, un espesor de 13 μ m exhibe un mejor grado de adherencia, e incluso, en el caso de presentarse algún desprendimiento de la capa, dada la menor la cantidad de cromo involucrada, los resultados logrados parecieran indicar que no alcanzarían a afectar al retén, durante el período de tiempo que dura el ensayo de durabilidad, y como consecuencia de ello, la pérdida de aceite, no se produjo.

Palabras claves: amortiguador, vástago, espesor, cromado, durabilidad, IRAM-AITA 4D2.

1. INTRODUCCIÓN

Tal como lo expresa Vicente Massuet, en su libro “Cromado duro” [1], las características que en conjunto le dan valor a una película de cromo duro son las siguientes: resistencia al desgaste, resistencia al rayado, dureza, resistencia a la corrosión, y coeficiente de rozamiento.

En referencia a la primera característica citada, desde hace mucho tiempo, se aprovecha la dureza del cromo, para aumentar la resistencia al desgaste de un par de superficies que se encuentran rozando entre sí. Fue por ello que, en el año 1923, el Doctor Ingeniero alemán Mahle, iniciaba sus estudios y ensayos del cromado duro, en la aplicación a los cilindros de motores para motocicletas. Años más tarde, en 1925, el Bureau of Engraving and Printing de los Estados Unidos, indicaba en un informe público que, las planchas tipográficas cromadas en una solución de ácido crómico, destinadas a la impresión de billetes, duraban el doble que las del mejor acero templado, ahorrando de este modo miles de dólares al año. En 1927, la empresa Eaton, presentaba un aparato desarrollado para el cromado de planchas de acero, usadas en impresión, y ya en 1929, el proceso de cromado se aplicó en Estados Unidos, para recubrir los punzones utilizados en el acuñado de monedas, obteniéndose así un rendimiento de los mismos, tres veces superior a los de aquellos sin cromar. Pocos años después, en 1938, empezaron a divulgarse las primeras patentes para el cromado duro, ya como procedimiento de aplicación industrial.

Por otra parte, son muchas las posibilidades del cromo duro basadas en su elevada resistencia al rayado, cualidad que aumenta el valor de protección de la película de cromo por la mayor dificultad que opone a dejar al descubierto el material base, bajo presiones causadas por cualquier canto vivo, que se deslice sobre la superficie cromada. Como valor de referencia podemos afirmar que, la

resistencia al rayado de una capa de cromo duro, se sitúa en el orden de las 8.9 unidades de la escala Mohs.

Respecto de la dureza, las experiencias de laboratorio han demostrado que, películas de cromo con durezas superiores a los 1000 Vickers, no son recomendables en la mayoría de los casos, por cuanto dan lugar a una fragilidad excesiva de la película, provocando así problemas de adherencia.

En relación a la resistencia a la corrosión, un factor que permite a la capa de cromo duro, aún con espesores menores a $50\mu\text{m}$, proteger eficazmente una superficie de acero, es que esta haya sido previamente rectificada, y que por lo tanto no fueran presumibles grietas, que reducirían su eficacia.

Sobre el coeficiente de rozamiento, podemos decir que una gran parte de los trabajos de cromado duro están íntimamente relacionados con los procesos de rozamiento continuo, como es el caso de los vástagos de amortiguadores de automóviles. Además, el rozamiento con superficies cromadas, es siempre suave y ligeramente untuoso, y es por ello que, en lugar de producir sobre la superficie con las que rozan, los efectos característicos del desgaste mecánico (grietas, asperezas, gripage), las hace más lisas y finas, aún rebajando sus dimensiones, por efecto del desgaste. El rozamiento es particularmente bueno con los denominados materiales de antifricción, alcanzándose coeficientes de rozamiento de 0,20 en condiciones de deslizamiento.

Entre los metales que pueden ser cromados, es posible tratar sin grandes dificultades, todos los aceros con bajos o altos contenidos de carbono. Sin embargo, una precaución a tener en cuenta con estos materiales, es la de prever que muchas superficies cementadas, ocuyen pequeñas cantidades de residuos, procedentes del tratamiento térmico, que solo son disueltos con un fuerte decapado, previo al rectificado.

En relación a la adherencia del cromado, la práctica de laboratorio ha permitido comprobar, que es peor a medida que aumenta la dureza del sustrato, y hasta valores de 40 HRc la adherencia obtenida es buena. La preparación de una superficie apta para ser cromada debe ser por rectificado con una muela abrasiva, cuyo tamaño de grano sea 140 o mayor. En el caso que el sustrato pueda deformarse ante las cargas de trabajo, es estrictamente conveniente, reducir el espesor de la capa cromada.

Respecto de la búsqueda de antecedentes, sólo se encontró una publicación relacionada con este trabajo, aunque Fedrizzi [2], si bien estudió el desgaste y sus mecanismos, sobre capas de cromo duro de $25\mu\text{m}$ de espesor, realizadas estas sobre barras rectificadas de acero SAE 1045, la metodología de ensayo utilizada fue del tipo pin-on disk, y no un ensayo de producto, como es este caso. Sin embargo, es interesante resaltar que, tanto Fedrizzi como la empresa española Tecnocrom [3], hacen hincapié en la preparación por rectificado de la superficie, previa al cromado duro. Particularmente el primero, rectificó la superficie de sus barras, para luego terminarlas por electropulido, obteniendo una rugosidad final entre $0,12$ a $0,14\mu\text{m}$.

En consecuencia, dado que en Argentina, existe desde el año 2008, un proceso de certificación obligatorio, para aquellas autopartes consideradas de seguridad (algunos ejemplos son: amortiguadores, extremos de dirección, sistemas limpiaparabrisas, etc).

Que a su vez, INTI-Mecánica, forma parte de la Red de Laboratorios para la Industria Automotriz RELIAU [4], realizando entre otros, los ensayos correspondientes a los amortiguadores convencionales, y que en este caso particular, se rigen según la Norma IRAM-AITA 4D2 [5]. Que además, dada la experiencia recogida por el laboratorio durante estos años, ha resultado, el denominado ensayo de durabilidad, como el más exigente de todos ellos, provocando la mayoría de los no cumplimientos, y habiendo observado en todas estas fallas, un desprendimiento progresivo de la capa de cromo que recubre los vástagos, en este trabajo, por iniciativa propia, y con la presunción que capas de mayor espesor, presentarían una menor adherencia, nos proponemos evaluar dos espesores de capa cromada, mediante la realización de ensayos metalográficos y

funcionales de durabilidad de vástagos, a los efectos de determinar cual de ellas provee la mejor solución, con el objetivo final de resolver este no cumplimiento detectado.

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

2.1 Vástagos cromados utilizados

En los ensayos de durabilidad, se utilizaron doce vástagos de acero SAE 1026. La composición nominal de este acero fue la siguiente (porcentaje en peso): 0.22-0.28% C; 0.60-0.90% Mn; 0.04% P (máx.); 0.05% S (máx.); Fe balance.

Las capas de cromo duro fueron realizadas con un espesor nominal aproximado de 50 μ m, y rectificadas a su espesor final (seis de 13 μ m, y otras seis de 26 μ m), utilizando una muela abrasiva de óxido de aluminio, con un tamaño de grano fino equivalente a una malla 140.

Se prepararon probetas de secciones transversales de un vástago cromado, de un vástago cromado y rectificado a un espesor de 13 μ m, y de un vástago cromado y rectificado a un espesor de 26 μ m, para realizar su correspondiente análisis metalográfico. La microestructura fue revelada usando nital 2%, por examen visual con un microscopio óptico Zeiss Axiotech. La microdureza fue determinada con un microdurómetro Vickers (Shimadzu HVM 2000) usando una carga de 10N.

Las mediciones de rugosidad sobre las distintas capas cromadas, con el objeto de determinar los tres parámetros, es decir, rugosidad media aritmética R_a , rugosidad total R_t , y espaciado horizontal entre crestas del perfil S_m , fueron efectuadas empleando un rugosímetro portátil Taylor Hobson Surtronic 3+.

2.2 Equipamiento

Con el objeto de realizar los ensayos de durabilidad según la Norma IRAM-AITA 4D2, INTI-Mecánica adquirió una máquina para la determinación del diagrama de comportamiento de Fuerza versus Desplazamiento marca Pronello modelo Dyno 15-100 (ver figura 1 izquierda), mientras que debió desarrollar un equipo de durabilidad (figura 1 derecha), en el que se ensayan un par de amortiguadores similares, durante 1.000.000 ciclos, a una frecuencia programable de 80 a 100 ciclos por minuto, mientras se controla la temperatura a la altura de la guía de ambos amortiguadores, mediante la utilización de un par de termocuplas ubicadas convenientemente, con el objeto de mantener, ventiladores mediante, la temperatura de funcionamiento de los amortiguadores, en el rango de los 75°C a 85°C.

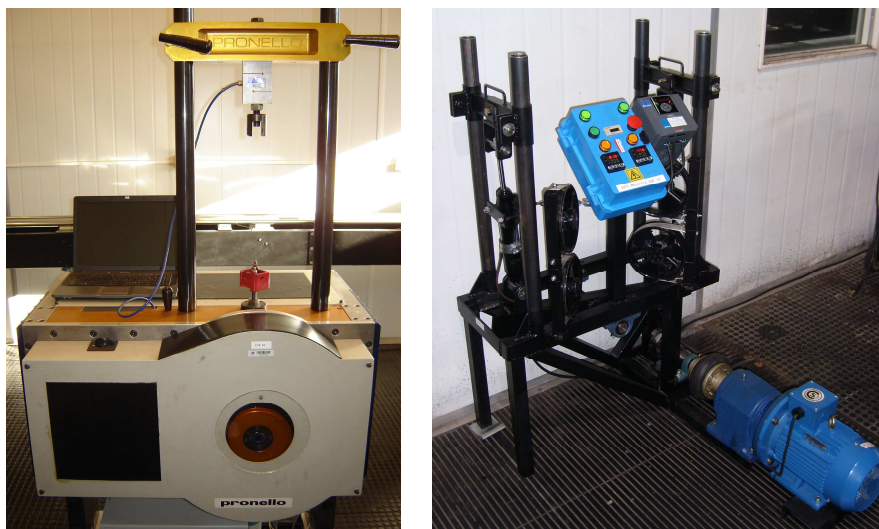


Figura 1. Máquina diagramadora (izquierda) y equipo de durabilidad de amortiguadores.

2.3 Procedimiento de ensayo

Sobre las muestras, se determinaron inicialmente los diagramas de comportamiento (Curva: Fuerza vs. Desplazamiento) sobre la máquina DYNO 15-100, antes de efectuar el ensayo de durabilidad (amortiguador nuevo). En base a la carrera del amortiguador, se calculan las dos frecuencias de ensayo. Estas se determinan de tal manera que permitan alcanzar las velocidades de 393 mm/s y 524 mm/s respectivamente, indicadas en la Norma de referencia. Para ello se debe aplicar la fórmula:

$$f = \frac{V}{\pi c} \quad (1)$$

- f Frecuencia del ensayo (Hz)
- V Velocidad de ensayo (mm/s)
- c Carrera (mm)

Se cargan los valores de frecuencia obtenidos en el software de la máquina, y una vez realizado este proceso, se obtiene el Diagrama de Comportamiento correspondiente.

Para el Ensayo de Durabilidad propiamente dicho, se procede a medir la carrera efectiva del mismo. Se define la carrera entre un mínimo del 75 % de la carrera efectiva, sin exceder los 100mm, ajustando así la excentricidad hasta obtener la carrera deseada.

Se instala el amortiguador en su posición de trabajo normal y con sus propios elementos de fijación. Se ajusta la altura de la travesa, de modo que el amortiguador oscile relativo al centro de su carrera efectiva. Se coloca la carga lateral. Se instalan las termocuplas en ambos amortiguadores a la altura de las guías de los mismos. Finalmente, se efectúa el ensayo de durabilidad durante 1.000.000 ciclos.

Para finalizar el ensayo de durabilidad, se reitera la determinación del diagrama de comportamiento, sobre la máquina diagramadora DYNO 15-100.

Los requisitos que deben verificar respecto de este ensayo, el par de amortiguadores que se montan en el equipo de durabilidad son, resumidamente, de dos tipos: 1) la comparación de los diagramas de comportamiento, del tipo Fuerza versus Desplazamiento a dos velocidades diferentes, con el amortiguador nuevo, y luego de ensayado a fatiga durante 1.000.000 ciclos, no debiéndose modificar la carga más de un ($\pm 15\% + 10$)daN; y 2) el amortiguador no deberá presentar pérdidas de aceite durante el ensayo.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Vástagos cromados

El acero SAE 1026 presentó una microestructura laminada en caliente, constituida por granos de perlita y ferrita. La dureza promedio resultó ser de HV50 260 ± 10 .

En referencia a las capas de cromado, su dureza correspondió a HV5 1100 ± 50 .

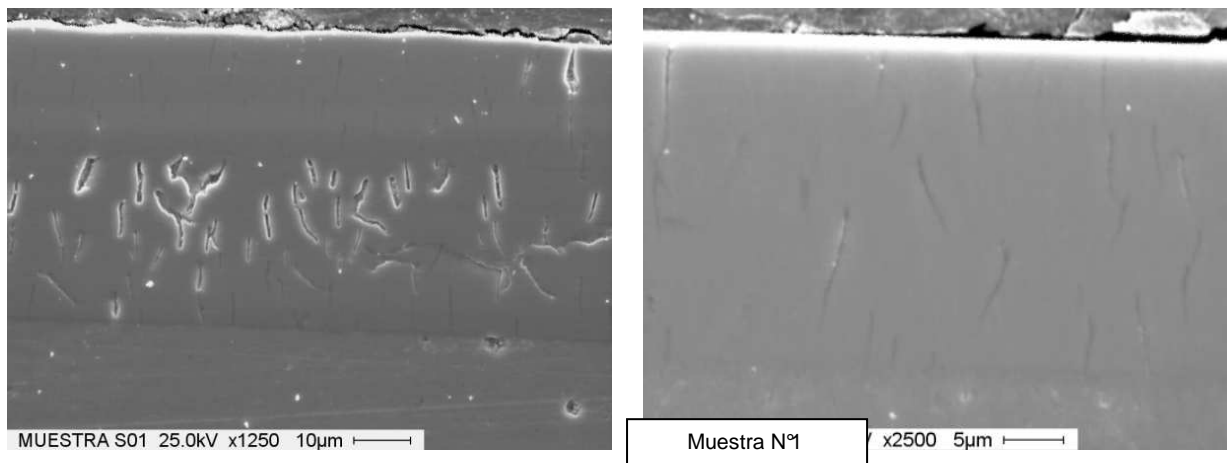


Figura 2. Imágenes de las capas cromadas sin rectificar (izquierda), y rectificada a 26µm

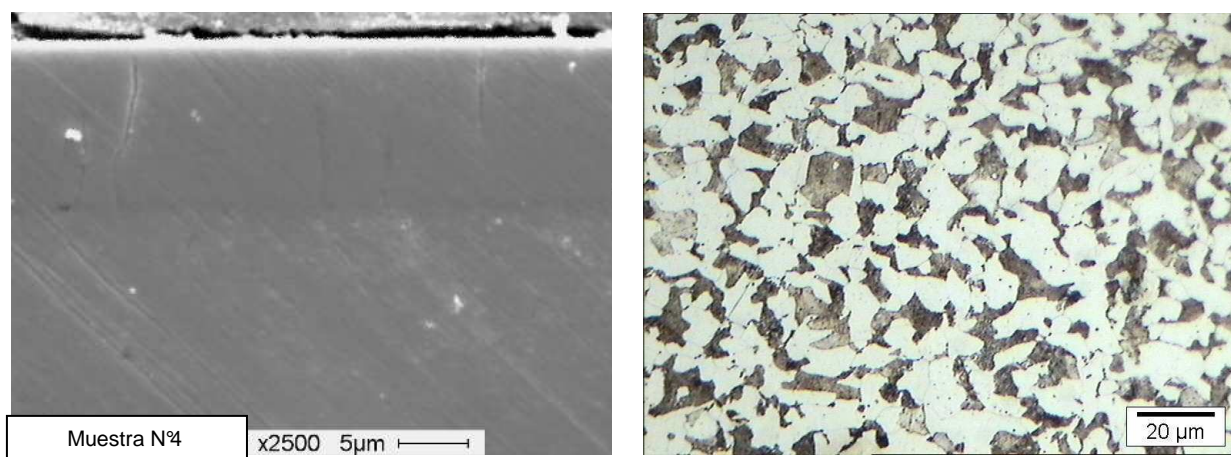


Figura 3. Imágenes de la capa de cromo rectificada a 13µm (izquierda) y del material del vástago

Los resultados metalográficos obtenidos permiten afirmar que, tanto la dureza del sustrato (menor de 40HRc), como la de la capa cromada (~1000HV), son las correctas para obtener una adherencia y tenacidad adecuada del cromo duro. Por otra parte, tanto es factible rectificar una capa a 26µm, como al espesor más fino propuesto de 13µm.

En la tabla siguiente, se presentan los valores medidos promedios, para los parámetros rugosidad media aritmética R_a , rugosidad total R_t , y espaciado horizontal entre crestas del perfil S_m , diferenciados según se traten de los vástagos sin rectificar, rectificadas con espesor final de capa cromada de 26µm, e idem de 13µm.

Tabla I: Valores medidos promedios de rugosidad de los vástagos con distintos procesos

Tipo de muestra	R_a (µm)	R_t (µm)	S_m (µm)
Sin rectificar	0,79	12,2	22
Espesor de capa 26µm	0,25	1,55	10
Espesor de capa 13µm	0,26	1,70	11

Por la observación de los valores obtenidos se desprende que, los procesos de rectificado de las muestras con distintos espesores de capa, fueron equivalentes.

3.2 Ensayos de durabilidad

Como primera medida, adjuntamos a continuación cuatro diagramas de comportamiento agrupados del siguiente modo: los de la figura 4 corresponden al inicial, obtenido antes de efectuar el ensayo de durabilidad, y al final (derecha), luego de ensayar el mismo amortiguador durante 1.000.000

ciclos, en este caso correspondiente a una muestra con el espesor nominal de capa cromada de 13 μ m. En la figura 5, idem anterior, correspondientes a una muestra con el espesor nominal de capa cromada de 26 μ m.

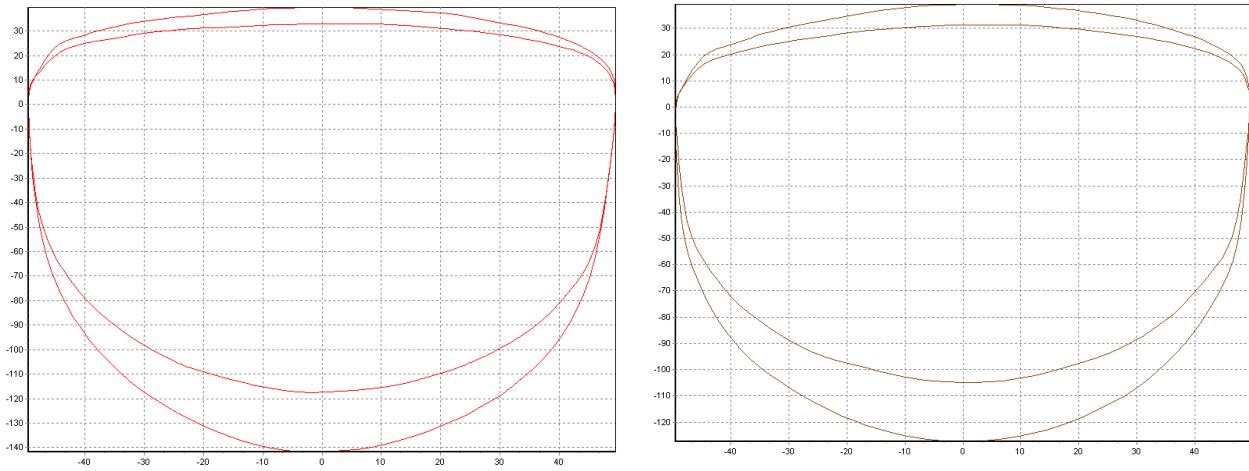


Figura 4. Diagramas de comportamiento inicial (izquierda) y final de muestra con capa de 13 μ m

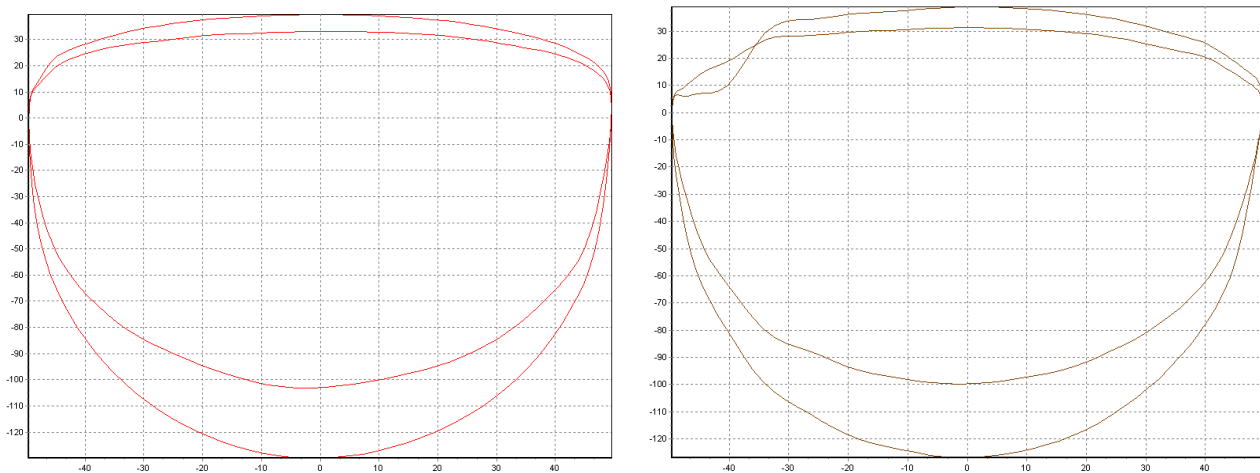


Figura 5. Diagramas de comportamiento inicial (izquierda) y final de muestra con capa de 26 μ m

Tabla II: Resultados de durabilidad de las muestras con distinto espesor de capa cromada

Par de muestras	Cantidad de ciclos	Pérdida de aceite	Comparación diagramas de comportamiento
Nº1 (26 μ m)	500.000	Si	(*)
Nº2 (26 μ m)	400.000	Si	(*)
Nº3 (26 μ m)	600.000 (**)	Si	(*)
Nº4 (13 μ m)	1.000.000	No	Verifica
Nº5 (13 μ m)	1.000.000	No	Verifica
Nº6 (13 μ m)	1.000.000	No	Verifica

(*) No se realizó la comparación de los diagramas de comportamiento obtenidos antes y después del ensayo de durabilidad, dado que las muestras presentaron pérdidas de aceite considerables, mucho antes de alcanzar 1.000.000 ciclos.

(**) Una de las dos muestras del par identificado como Nº3, no presentó fuga de aceite hasta la cantidad de ciclos ensayados. A pesar de ello, el ensayo de durabilidad debió interrumpirse por la profusa pérdida de aceite de su compañero.

A pesar de lo comentado en (*), y a modo de referencia, en la figura 5 derecha, se puede observar que el diagrama de comportamiento, ya presentaba un pequeño retraso de compresión, en el cuadrante superior izquierdo, a pesar de no haber alcanzado el 1.000.000 ciclos establecido en la Norma. Esta situación no es aceptable.

De acuerdo con los resultados obtenidos se desprende que, los vástagos de amortiguadores con espesor de capa cromada y rectificada a 13 μ m, verificaron los requisitos establecidos por la Norma IRAM-AITA 4D2, para el ensayo de durabilidad. Por el contrario, esto no sucedió con aquellas muestras de 26 μ m de espesor de capa cromada.

4. CONCLUSIONES

En referencia a los resultados obtenidos, todos los amortiguadores con espesor nominal de 13 μ m, verificaron los requisitos, tanto en lo que se refiere al diagrama de comportamiento, como a la pérdida de aceite. Por el contrario, en aquellos amortiguadores con vástagos de 26 μ m, salvo en un caso, en los restantes se produjeron pérdidas de aceite a partir de los 400.000-600.000 ciclos.

Se concluye entonces que, un espesor de 13 μ m exhibió un mejor grado de adherencia, e incluso, en el caso de presentarse algún desprendimiento de la capa, dada la menor cantidad de cromo involucrada, los resultados logrados parecieran indicar que no alcanzarían a afectar al retén, durante el período de tiempo que dura el ensayo de durabilidad.

REFERENCIAS

[1] Vicente Massuet Grau, **Cromado duro**, Editorial José Montesó, Barcelona, España, 1957 (*libro*).

[2] L. Fedrizzi y otros, **Wear-corrosion mechanism of hard chromium coatings**, Wear, 2002 (*paper*).

[3] www.tecnocrom.es (*página web*)

[4] <http://www.inti.gob.ar/reliu> (*página web*)

[5] IRAM – AITA 4D2: **Ensayos de amortiguadores convencionales**, Buenos Aires, Argentina, 2009 (*Norma*).