

---

**NORMA CUBANA**

**NC**

ASTM D 6595: 2012  
(Publicada por la ASTM en 2000)

---

**INDUSTRIA DEL PETRÓLEO — MÉTODO DE ENSAYO  
ESTÁNDAR PARA LA DETERMINACIÓN DE METALES DE  
DESGASTE Y CONTAMINANTES EN ACEITES LUBRICANTES  
USADOS Y FLUIDOS HIDRÁULICOS USADOS POR  
ESPECTROMETRÍA DE EMISIÓN ATÓMICA CON ELECTRODO  
DE DISCO ROTATORIO  
(ASTM D 6595:2000, IDT)**

Petroleum industry — Standard Test Method for Determination of Wear Metals and Contaminants in Used Lubricating Oils or Used Hydraulic Fluids by Rotating Disc Electrode Atomic Emission Spectrometry

---

ICS: 75.100

1. Edición    Noviembre 2012  
REPRODUCCIÓN PROHIBIDA

Oficina Nacional de Normalización (NC) Calle E No. 261 El Vedado, La Habana. Cuba.  
Teléfono: 830-0835 Fax: (537) 836-8048; Correo electrónico: nc@ncnorma.cu; Sitio  
Web: www.nc.cubaindustria.cu



Cuban National Bureau of Standards

**NC-ASTM D 6595:2012**

## **Prefacio**

La Oficina Nacional de Normalización (NC) es el Organismo Nacional de Normalización de la República de Cuba y representa al país ante las organizaciones internacionales y regionales de normalización.

La elaboración de las Normas Cubanas y otros documentos normativos relacionados se realiza generalmente a través de los Comités Técnicos de Normalización. Su aprobación es competencia de la Oficina Nacional de Normalización y se basa en las evidencias del consenso.

### **Esta Norma Cubana:**

- Ha sido elaborada por el Comité Técnico de Normalización NC/CTN 48 de Industria de Petróleo integrado por representantes de las siguientes entidades:

Unión Cupet  
Unión Nacional Eléctrica  
Oficina Nacional de Normalización  
Instituto de Aeronáutica Civil de Cuba  
Ministerio de la Industria Básica

Ministerio del Transporte  
Ministerio del Interior  
Ministerio de las Fuerzas Armadas Revolucionarias  
Ministerio de la Construcción

- Es una adopción idéntica por el método de traducción de la Norma ASTM D 6595-00 (Reapproved 2005) *Standard Test Method for Determination of Wear Metals and Contaminants in Used Lubricating Oils or Used Hydraulic Fluids by Rotating Disc Electrode Atomic Emission Spectrometry.*

**© NC, 2012**

**Todos los derechos reservados. A menos que se especifique, ninguna parte de esta publicación podrá ser reproducida o utilizada en alguna forma o por medios electrónicos o mecánicos, incluyendo las fotocopias, fotografías y microfilmes, sin el permiso escrito previo de:**

**Oficina Nacional de Normalización (NC)**

**Calle E No. 261, El Vedado, La Habana, Habana 4, Cuba.**

**Impreso en Cuba.**

## MÉTODO DE ENSAYO ESTANDAR PARA LA DETERMINACIÓN DE METALES DE DESGASTE Y CONTAMINANTES EN ACEITES LUBRICANTES USADOS Y FLUIDOS HIDRÁULICOS USADOS POR ESPECTROMETRÍA DE EMISIÓN ATÓMICA CON ELECTRODO DE DISCO ROTATORIO

### 1 Alcance

**1.1** Este método de ensayo cubre la determinación de metales de desgaste y contaminantes en aceites lubricantes usados y fluidos hidráulicos usados, por espectrometría de emisión atómica con electrodo de disco rotatorio (RDE-AES).

**1.2** Este método de ensayo proporciona una rápida indicación con respecto al desgaste anormal y la presencia de contaminantes en lubricantes nuevos y usados y en fluidos hidráulicos.

**1.3** Este método de ensayo emplea metales solubles en aceite para la calibración, esto no significa que relacione cuantitativamente los valores determinados como partículas insolubles con los metales disueltos. Los resultados analíticos dependen del tamaño de partículas, pueden ser obtenidos bajos resultados por aquellos elementos con partículas grandes, presentes en muestras de aceites usados.

**1.4** Este método de ensayo es capaz de detectar y cuantificar los elementos resultantes del desgaste y contaminación que oscila, desde materiales disueltos hasta partículas de tamaño aproximado de 10  $\mu\text{m}$ .

**1.5** Los valores establecidos en unidades del SI son considerados como norma. Los valores entre paréntesis son solo para información. Las unidades preferidas son mg/kg (ppm por masa).

**1.6** Esta norma no pretende abarcar todas las medidas de seguridad implicadas en su uso. Es responsabilidad de quien la utilice establecer las prácticas de seguridad y salud, así como determinar la aplicación de las regulaciones pertinentes antes de su uso.

### 2 Documentos de referencia

Los siguientes documentos de referencias son indispensables para la aplicación de este documento. Para las referencias fechadas, sólo es aplicable la edición citada. Para las referencias no fechadas, se aplica la última edición del documento de referencia (incluyendo cualquier enmienda).

Normas cubanas

NC-ASTM D 4057 Práctica Estandarizada para el Muestreo Manual del Petróleo y Productos del Petróleo

### 3 Terminología

#### 3.1 Definiciones:

**3.1.1** Quemador, vt - en espectroscopia de emisión, para vaporizar y excitar una muestra con suficiente energía para generar radiación espectral.

**3.1.2** Calibración, n - la determinación de los valores de los parámetros significativos por comparación con los valores indicados por un juego de patrones de referencia.

**3.1.3** Curva de calibración, n – representación gráfica o matemática de la relación entre los valores asignados (conocidos) de los patrones y la respuesta medida desde un sistema de medición.

**3.1.4** Patrón de calibración, n - un patrón que tiene un valor aceptado (valor de referencia) para su empleo en la calibración de un equipo o sistema.

**3.1.5** Espectroscopia de emisión, n - medición de energía espectral emitida por o desde un objeto bajo alguna forma de estimulación energética, por ejemplo, luz, descarga eléctrica y otras.

**3.2** Definiciones de términos específicos para esta norma:

**3.2.1** Descarga en arco, n - Descarga autosostenida, de alta densidad de corriente y alta temperatura, excepcionalmente caracterizada por una caída catódica aproximadamente igual al potencial de ionización del gas o el vapor en el cual existe.

**3.2.2** Muestra de chequeo, n - material de referencia usualmente preparado por un laboratorio, para su propio uso como patrón de calibración, como patrón para control de la medición, o para la calificación de un método de medición.

**3.2.3** Contaminantes, n - material en una muestra de aceite que puede causar desgaste anormal o degradación del lubricante.

**3.2.4** Electrodo opuesto, n - cualquiera de los dos electrodos de grafito en un espectrómetro de emisión atómica a través del cual un arco o chispa son generados.

**3.2.5** Electrodo de disco de grafito, n - fabricado de carbón variedad blanda (grafito) en forma de disco para emplearlo como electrodo opuesto en el espectrómetro de chispa/arco para análisis de aceites.

**3.2.6** Electrodo de barra de grafito, n - fabricado de carbón variedad blanda (grafito) en forma de barra para emplearlo como electrodo opuesto en el espectrómetro de chispa/arco.

**3.2.7** Perfilado, n - El ajuste de la posición de entrada a la abertura para producir una óptima intensidad de medición.

**3.2.8** Estandarización, n - El proceso de restablecer y corregir una curva de calibración a través del análisis de por lo menos dos patrones de aceites conocidos.

**3.2.9** Proporción de captación, n - La cantidad de muestra de aceite que es físicamente transportada por el electrodo de disco rotatorio dentro del arco para el análisis.

**3.2.10** Metal de desgaste, n - Material resultante del daño de una superficie sólida debido al movimiento relativo entre esta superficie y la sustancia o sustancias en contacto.

## 4 Sumario del Método de Ensayo

**4.1** Los metales de desgastes y contaminantes en muestras de ensayos de aceite usado son evaporados y excitados por una descarga en arco controlada empleando la técnica de disco rotatorio. La energía radiante de las líneas analíticas seleccionadas y una o más de referencia son recopiladas y guardadas por medio o mediante del tubo foto multiplicador, dispositivo de carga acoplado u otros detectores apropiados. Es realizada una comparación de las intensidades emitidas por los elementos en la muestra de ensayo de aceite usado contra aquellas medidas con los patrones de calibración. La concentración de los elementos presentes en la muestra de ensayo de aceite es calculada y visualizada. Estas pueden ser también introducidas dentro de una base de datos para su procesamiento.

## 5 Importancia y Uso

**5.1** Aceite Lubricante Usado- La determinación de contaminación en aceites usados es un método de diagnóstico clave practicado en programas de monitoreo de condición de máquinas. La presencia o incremento en la concentración de metales específicos pueden ser indicativos de una etapa temprana de desgaste, si se tienen los datos de concentración de la línea de referencia para comparar. Un marcado incremento en elementos contaminantes puede ser indicativo de material externo en el lubricante, tal como anticongelante o arena, lo cual puede conducir a desgaste o degradación del lubricante. El método de ensayo identifica los metales y su concentración para que la tendencia relativa en el tiempo o en la distancia pueda ser establecida y puedan ser tomadas las acciones correctivas previas a fallos catastróficos.

## 6 Interferencias

**6.1** Espectral - La mayoría de las interferencias pueden ser evitadas escogiendo prudentemente las líneas espectrales. Altas concentraciones de elementos en aditivos pueden tener una influencia de interferencia sobre las líneas espectrales usadas para determinar metales de desgastes. Los instrumentos fabricados normalmente compensan las interferencias espectrales durante la elaboración de la calibración. Un sistema de corrección de background, el cual resta intensidades no deseadas en cualquier lado de la línea espectral, debe ser usado además para este propósito. Cuando las interferencias espectrales no puedan ser evitadas con selección de línea espectral y corrección de background, las correcciones necesarias deben ser hechas empleando el software de la computadora suministrado por el fabricante del instrumento.

**6.2** Efectos de Viscosidad - Diferencias en la viscosidad de muestras de aceites usados pueden causar diferencias en la proporción de captación. Las referencias internas del instrumento pueden compensar una parte de las diferencias. En aplicaciones de aceites usados, la línea espectral del hidrógeno 486,10 nm llega a ser el patrón industrial para su empleo como una referencia interna. Sin una referencia, la tendencia de los datos en el aceite usado puede ser adversamente afectada si la muestra de aceite básico tiene una viscosidad diferente que la línea base de la muestra.

**6.3** Macropartículas - Cuando partículas grandes por encima de 10  $\mu\text{m}$  de tamaño son detectadas, los resultados analíticos pueden ser más bajos que la concentración real que representan. Las partículas grandes no pueden ser efectivamente transportadas por el electrodo de disco rotatorio al sistema de introducción de la muestra dentro del arco, ni pueden ser vaporizadas totalmente por la chispa.

## 7 Aparatos

**7.1** Afilador de electrodos - Un afilador de electrodos es necesario para quitar la parte contaminada del electrodo de barra que quedó de la determinación anterior. Además, para formar un nuevo ángulo de 160° en la punta del electrodo. El afilador de electrodo no se requiere para un electrodo de disco.

**7.2** Espectrómetro de emisión atómica con electrodo de disco rotatorio, un espectrómetro simultáneo que consiste en una fuente de excitación, policromador óptico y un sistema de lectura. Los elementos sugeridos y las longitudes de onda son enumerados en la Tabla 1. Cuando múltiples longitudes de ondas son especificadas, ellas están en el orden de preferencia o rango cualitativo deseado.

**7.3** Baño ultrasónico de calentamiento (Recomendado), un baño ultrasónico para calentar y homogenizar muestras de aceites usados, para transportar partículas dentro de la suspensión homogénea. El baño ultrasónico debe ser usado en muestras que contengan grandes cantidades de residuos y aquellas que están en tránsito o almacenadas por más de 48 horas.

**Tabla 1 — Elementos y Longitudes de Ondas Recomendados**

Elemento	Longitud de Onda nm	Elemento	Longitud de Onda nm
Aluminio	308,21	Níquel	341,48
Bario	230,48; 455,40	Fósforo	255,32; 214,91
Boro	249,67	Potasio	766,49
Calcio	393,37; 445,48	Silicio	251,60
Cromo	425,43	Plata	328,07; 243,8
Cobre	324,75; 224,26	Sodio	588,89; 589,59
Hierro	259,94	Estaño	317,51
Plomo	283,31	Titanio	334,94
Litio	670,78	Tungsteno	400,87
Manganeso	403,07; 294,92	Vanadio	290,88; 437,92
Magnesio	280,20; 518,36	Zinc	213,86
Molibdeno	281,60		

## 8 Reactivos y materiales

**8.1** Aceite básico, un aceite básico de 75 cSt libre de analito para ser usado como blanco de calibración o para mezclar patrones de calibración.

**8.2** Muestra de chequeo, un patrón de aceite o muestra de concentración conocida, la cual es periódicamente analizada como un pasa o no pasa para verificar la necesidad de estandarización basada en un límite aceptable de exactitud de  $\pm 10\%$ .

**8.3** Solución de limpieza - Un solvente no clorado, de evaporación rápida que no produce películas y medioambientalmente seguro para remover derrames o salpicaduras de muestras de aceites en el stand de muestra.

**8.4** Electrodo de disco - Un electrodo de disco de grafito de alta pureza (grado espectroscópico). Las dimensiones de los electrodos deben ajustarse a lo mostrado en la Figura 1.

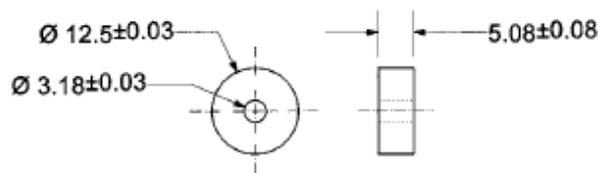
**8.5** Solución de limpieza para vidrio - Capaz de limpiar y quitar salpicaduras de aceites de la ventana de cuarzo que protege la entrada de los lentes y la fibra óptica. Son apropiados para este propósito alcohol isopropílico o limpiador de ventana de base amonio.

**8.6** Patrones organometálicos - Patrones simples o mezclas de multielementos para usar como patrón de alta concentración para la estandarización del instrumento o como muestra de chequeo para verificar la calibración. Las concentraciones típicas en el punto alto de calibración para aplicaciones en aceites usados es 100 mg/kg para metales de desgaste y contaminantes, y 900 mg/kg para elementos de los aditivos.

**8.6.1** Los patrones tienen un tiempo de almacenamiento y no deben ser usados para estandarizar un instrumento si excede la fecha de vencimiento.

**8.7** Electrodo opuesto - los electrodos opuestos pueden ser de disco o barra. El electrodo opuesto debe ser de grafito de alta pureza (grado espectroscópico). Las dimensiones del electrodo opuesto deben amoldarse a lo mostrado en la Figura 2.

**8.8** Portamuestra - Una variedad de portamuestras pueden ser usados para el análisis de muestras de aceites usados. Deben descartarse los portamuestras desechables y deben limpiarse los portamuestras reusables después de cada análisis. Todos los portamuestras deben de estar libres de contaminantes y deben ser almacenados adecuadamente. Deben ser usados portamuestras con tapa en muestras de aceites hidráulicos que pueden incendiarse durante el análisis.



Nota – Todas las dimensiones son en milímetros, el material es grafito de alta pureza (grado espectroscópico)

**Figura 1 — Electrodo de disco de grafito**

## 9 Muestreo

**9.1** La muestra de aceite usado tomada para el análisis debe ser representativa del sistema completo. Los buenos procedimientos de muestreo son importantes para la calidad del análisis y las muestras deben tomarse de acuerdo con la Práctica NC-ASTM D 4057.

## 10 Preparación de la porción de ensayo

**10.1** Homogenización - Las muestras de aceites usados pueden contener macropartículas y para ser representativas, deben siempre ser agitadas vigorosamente antes de verter la porción de ensayo para el análisis.

**10.2** Homogenización ultrasónica - Las muestras que han estado en tránsito por varios días, inactivas en almacenaje o muy viscosas, deben ser puestas en un baño de calentamiento ultrasónico para romper el agregado de partículas y transportar estas dentro de la suspensión. Las muestras deben ser vigorosamente agitadas después de estar en el baño ultrasónico y antes de verter la muestra de ensayo para el análisis. La temperatura del baño debe de estar por lo menos a 60 °C y un tiempo de agitación total de por lo menos 2 min.

**10.3** Portamuestras - Las muestras de aceites usados y los patrones de aceite deben ser vertidas dentro de un portamuestra de por lo menos 1 mL de capacidad previo al análisis. Tenga cuidado de verter la muestra consistentemente al mismo nivel en el portamuestra para mantener una buena repetibilidad del análisis.

**10.4** Soporte de muestra - El soporte de muestra debe ser ajustado para que cuando este en la posición completamente elevada, por lo menos 1/3 de los electrodos de disco estén sumergidos en la muestra de aceite.

## 11 Preparación del equipo

**11.1** Quemada de precalentamiento - Si el instrumento ha estado ocioso por varias horas, es necesario que realice por lo menos 3 quemadas de precalentamiento para estabilizar la fuente de excitación. El procedimiento de precalentamiento puede ser ejecutado con cualquier muestra de aceite o patrón. Consulte las instrucciones del fabricante para los requerimientos específicos de precalentamiento.

**11.2** Perfil óptico - Ejecute el procedimiento de perfil óptico normal tomado del manual de operaciones del instrumento. Un perfil óptico debe ser desarrollado si el instrumento no ha sido operado por un extenso periodo de tiempo o si la temperatura ha cambiado más de 10 °C desde la última calibración.

**11.3** Chequeo de validación - Un chequeo de estandarización pasa/no pasa puede ser desarrollado con una o más muestras de chequeo para verificar la calibración, previo a los análisis de muestras de rutina. Un patrón de calibración o muestra de aceite conocida pueden ser empleados para este propósito. El perfil óptico y la estandarización de rutina recomendada por el fabricante del instrumento serán realizados si el chequeo de validación no cumple con la exactitud establecida de  $\pm 10\%$  para cada elemento de interés.

## 12 Calibración

**12.1** Calibración de fábrica - El intervalo analítico para cada elemento es establecido por medio de análisis de patrones organometálicos a concentraciones conocidas. Una curva de calibración para cada elemento es establecida y los factores de corrección son fijados para producir una respuesta lineal. El análisis de muestras de ensayos pueden ser ejecutados dentro de los límites de rango lineal de respuesta. Los elementos típicos y longitudes de onda recomendados, determinados en la aplicación de aceites usados, son registrados en la Tabla 1.

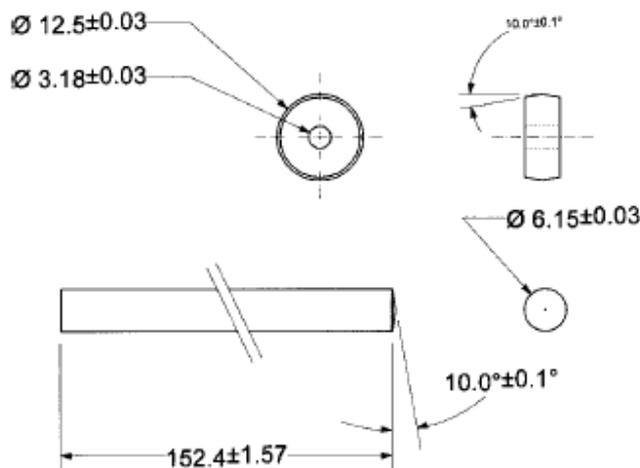
**12.2** Estandarización de rutina - Un mínimo de dos puntos deben ser ejecutados si el instrumento falla el chequeo de validación o al comienzo de cada sesión de trabajo. Un mínimo de tres análisis deben ser hechos empleando el blanco y el patrón de trabajo.

### 13 Procedimiento

**13.1** Análisis de muestras de aceite - Analice la porción de ensayo en el mismo programa de la curva de calibración y de la misma manera de los patrones de estandarización. Un nuevo electrodo de disco y un electrodo de barra reafilado o un nuevo electrodo opuesto de disco debe ser usado para cada análisis. Una toalla de papel grado laboratorio o una herramienta de instalación serán usadas para instalar el electrodo de disco, con el fin de protegerlo de la contaminación de los dedos. Los procedimientos de limpieza recomendados por el fabricante serán seguidos para evitar contaminación cruzada o la acumulación de muestras derramadas.

**13.2** Análisis de muestras inflamables - Una cubierta en el portamuestra que no sea de plástico debe ser usada en cuanto sean analizadas muestras de aceite hidráulico que pueden incendiarse durante el análisis. La cubierta retarda la inflamación de la muestra y minimiza el humo que podría atenuar la señal analítica. La mayoría de las cubiertas ajustarán en los portamuestras reusables o desechables.

**13.3** Control de Calidad con muestra de chequeo - Analice una muestra de chequeo por lo menos cada hora durante la operación continua o cada 25 muestras durante la operación intermitente para confirmar que el instrumento todavía se encuentra en los límites requeridos de exactitud  $\pm 10\%$  para cada elemento de interés.



Nota- Todas las dimensiones son en milímetros, el material es grafito de alta pureza (grado espectroscópico)

**Figura 2 — Electrodo opuesto de grafito**

## 14 Reporte

**14.1** Se reportan los metales de desgaste y contaminantes en mg/kg y con un lugar decimal para concentraciones por debajo de 10 mg/kg y en números enteros para concentraciones mayores de 10 mg/kg. Se reportan los elementos de aditivos en mg/kg y en números enteros por encima de tres cifras significativas. Una determinación por muestra de aceite usado es la práctica estándar en la industria.

## 15 Precisión y sesgo

**15.1** Precisión - La precisión de este método de ensayo fue determinada por análisis estadístico de los resultados interlaboratorios obtenidos por el siguiente método. Un total de 16 laboratorios participaron en el Estudio Interlaboratorios (EIL) de los cuales 14 enviaron datos sobre 11 muestras de aceites usados analizadas por duplicado. Las 11 muestras en el EIL fueron: 2 aceites automotriz usado, 1 aceite turbina usado, 1 aceite transmisión usado, 1 aceite diesel usado, 1 aceite hidráulico, una mezcla de aceites patrones, un aceite con especificaciones militares y tres patrones de calibración. Dos determinaciones fueron hechas en cada muestra de aceite usado y consideradas separadamente. Los datos están disponibles en el reporte de investigación<sup>1</sup>.

**15.1.1** Repetibilidad - La diferencia entre dos resultados de ensayo, obtenidos por el mismo operador, con los mismos aparatos, bajo condiciones constantes de operación, con idéntico material de ensayo, en la normal y correcta operación de este método de ensayo, podría exceder los valores de la Tabla 2 y 3 solamente un caso en veinte.

**15.1.2** Reproducibilidad - La diferencia entre dos resultados únicos e independientes, obtenidos por diferentes operadores trabajando en diferentes laboratorios con idénticos materiales de ensayo, en la normal y correcta operación de este método de ensayo, podría exceder los valores en la Tabla 4 y 5 solamente un caso en veinte.

**15.2** Sesgo - El sesgo fue evaluado analizando tres muestras preparadas a partir de patrones de calibración a la concentración de 30 mg/kg, 50 mg/kg y 100 mg/kg. La prueba t de student concluyó que el sesgo no es significativo para todos los elementos con excepción del bario a la concentración de 30 mg/kg, níquel a la concentración de 50 mg/kg y titanio a la concentración de 100 mg/kg. Los valores de sesgo calculados son los de menos significado en aplicaciones de tendencia en aceite usado.

---

<sup>1</sup> Los datos de apoyo se encuentran archivados en la casa matriz ASTM y pueden ser obtenidos a través del Reporte de Investigación RR: D02-1487

Tabla 2 — Repetibilidad

Elemento	Rango, mg/kg	Repetibilidad, mg/kg
Aluminio	0,23-101	$0,5419(X+0,57)^{0,4}$
Bario	28-115	$0,0694X^{1,18}$
Boro	0,14-120	$0,4280(X+0,1028)^{0,56}$
Calcio	3,7-11460	$0,1106(X+2,184)$
Cromo	0,18-152	$0,7285(X+0,0557)^{0,41}$
Cobre	0,47-100	$0,1631(X+0,3459)^{0,85}$
Hierro	4,8-210	$0,3159(X+0,014)^{0,73}$
Plomo	0,43-101	$1,062(0,6015)^{0,34}$
Magnesio	4,9-1360	0,1049X
Manganeso	0,3-117	$0,7017(X+0,3534)^{0,34}$
Molibdeno	0,21-100	$0,9978(X+0,4795)^{0,34}$
Níquel	0,35-100	$0,7142(X+0,3238)^{0,40}$
Fósforo	52-2572	$0,0761(X+14,76)$
Potasio	0,35-247	$0,4075(X+0,1154)^{0,63}$
Silicio	3,2-142	$0,4015(X+0,1692)^{0,63}$
Plata	31-102	$0,1523(X+1,2)^{0,88}$
Sodio	3,6-99.6	$0,1231(X-2,674)$
Estaño	30-139	$0,6777(X+0,6578)^{0,45}$
Titanio	6,8-10	$0,5831(X+0,9304)^{0,5}$
Vanadio	2,1-101	$0,6389(X+0,8418)^{0,41}$
Cinc	5,3-1345	$0,2031(X+1,553)^{0,87}$

Tabla 3 — Repetibilidad calculada a las concentraciones seleccionadas en mg/kg

Elemento	1	10	100	1000
Aluminio	0,7	1,6	4,3	
Bario			16,2	
Boro	0,5	1,6	5,6	
Calcio		1,3	11,3	110,8
Cromo	0,7	1,9	4,8	
Cobre	0,2	1,2	8,2	
Hierro		1,7	9,3	
Plomo	1,2	2,4	5,1	
Magnesio		1,0	10,5	104,9
Manganeso	0,8	1,6	3,4	
Molibdeno	1,1	2,2	4,8	
Níquel	0,8	1,8	4,5	
Fósforo	1,9	8,7		
Potasio	0,4	1,8	7,4	
Silicio		1,7	7,3	
Plata			8,9	
Sodio		0,9	12,0	
Estaño			5,4	
Titanio		1,7	4,2	
Vanadio		1,7	4,2	
Cinc		1,7	11,3	82,9

Tabla 4 — Reproducibilidad

Elemento	Rango, mg/kg	Reproducibilidad, mg/kg
Aluminio	0,25-100	$1,457(X+0,57)^{0,45}$
Bario	28-115	$0,1317X^{18}$
Boro	0,14-120	$0,9726(X+0,1028)^{0,56}$
Calcio	3,7-11460	$0,2951(X+2,184)$
Cromo	0,18-152	$1,232(X+0,0557)^{0,41}$
Cobre	0,47-100	$0,4386(X+0,3459)^{0,85}$
Hierro	4,8-210	$0,8323(X+0,014)^{0,73}$
Plomo	0,43-101	$1,814(X+0,6015)^{0,34}$
Magnesio	4,9-1360	$0,3535X$
Manganeso	0,3-117	$2,272(X+0,3534)^{0,34}$
Molibdeno	0,21-100	$2,089(X+0,4795)^{0,34}$
Níquel	0,35-100	$1,261(X+0,3238)^{0,40}$
Fósforo	52-2572	$0,3016(X+14,76)$
Potasio	0,35-247	$1,023(X+0,1154)^{0,63}$
Silicio	3,2-142	$0,8796(X+0,1692)^{0,63}$
Plata	31-102	$0,4439(X+1,2)^{0,88}$
Sodio	3,6-99,6	$0,1075(X+26,36)$
Estaño	30-139	$0,7967(X+0,6578)^{0,45}$
Titanio	6,8-103	$0,9682(X+0,6578)^{0,45}$
Vanadio	2,1-101	$1,983(X+0,8418)^{0,41}$
Cinc	5,3-1345	$0,5881(X+1,553)^{0,87}$

Tabla 5 — Reproducibilidad calculada a las concentraciones seleccionadas en mg/kg

Elemento	1	10	100	1000
Aluminio	1,8	4,2	11,6	
Bario			30,7	
Boro	1,0	3,6	12,8	
Calcio		3,6	30,2	295,7
Cromo	1,3	3,2	8,1	
Cobre	0,6	3,2	22,0	
Hierro		4,4	24,5	
Plomo	2,1	4,0	8,7	
Magnesio		3,5	35,4	353,5
Manganeso	2,5	5,0	10,9	
Molibdeno	2,4	4,6	10,0	131,3
Níquel	1,4	3,2	8,0	
Fosforo			7,5	34,6
Potasio	1,1	4,4	18,6	
Silicio		3,8	16,0	
Plata			25,8	
Sodio		3,9	13,6	
Estaño			6,3	
Titanio		3,2	9,7	
Vanadio		5,3	13,1	
Cinc		4,9	32,8	240

**16 Palabras claves**

**16.1** Elementos del aditivo, contaminantes, electrodo de disco, espectrometría de emisión, aceite lubricante, EDR, electrodo de barra, espectrometría de electrodo de disco rotatorio, metal de desgaste.