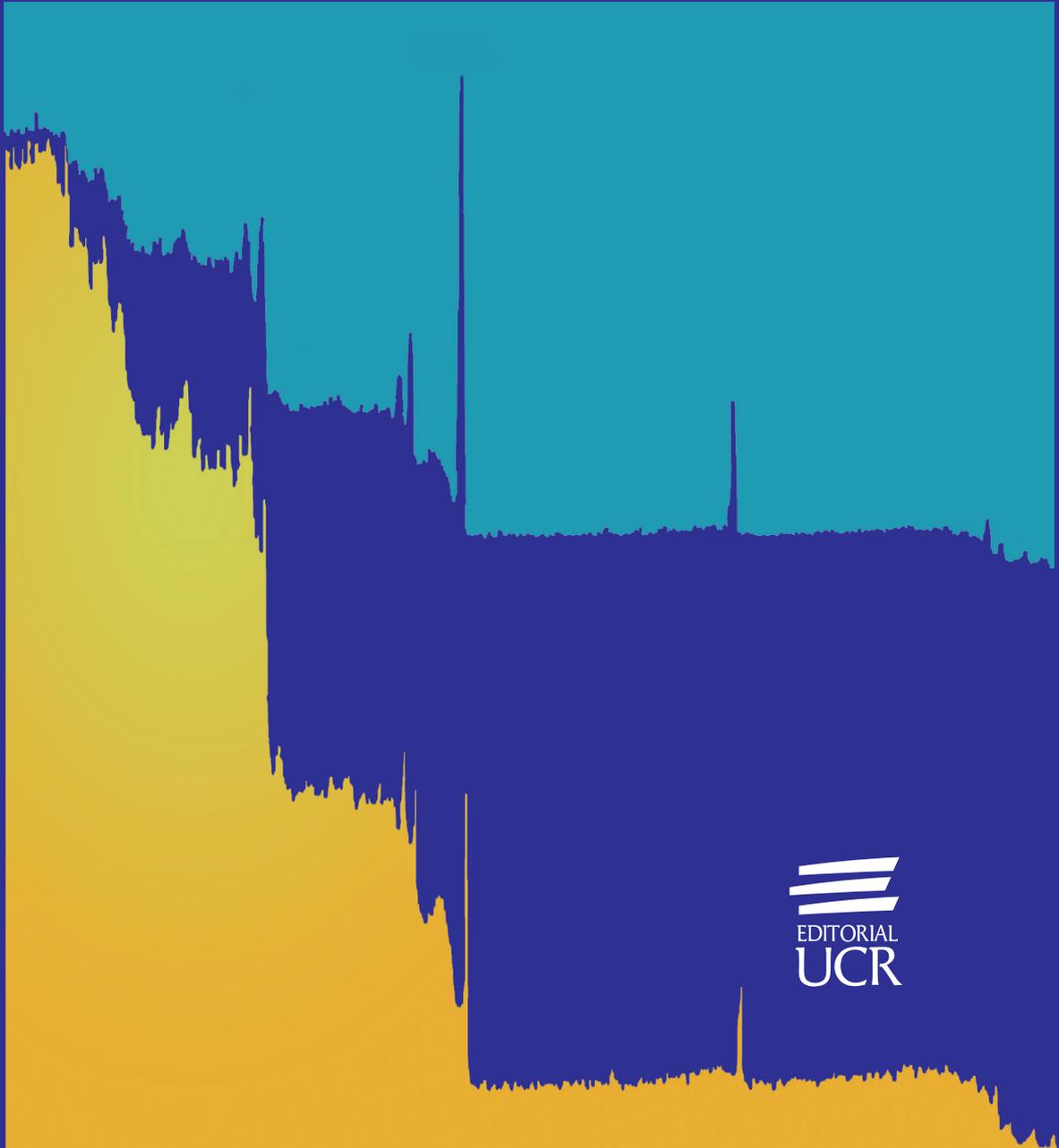


Ingeniería

Revista de la Universidad de Costa Rica
ENERO/ JULIO 2011 - VOLUMEN 21 Número (1)




EDITORIAL
UCR

ESTUDIO DE LA INTERACCIÓN DE LÍQUIDOS CON LA SUPERFICIE DE PATRONES DE MASA DE ACERO INOXIDABLE DE ALTA EXACTITUD

*Ramírez, Lautaro
Castro, Claudia
Calais, Fábio
Pires, Manoel
Loayza, Víctor*

Resumen

La estabilidad de largo plazo de los patrones de masa depende de la interacción entre la superficie y las moléculas ambientales. Desde este punto de vista, fue investigado un estudio del efecto de líquidos utilizados en la pesada hidrostática (FC40) y en el proceso de limpieza (alcohol isopropílico) en el acero inoxidable. Se midió la diferencia de masa como función del tiempo con el método gravimétrico. Adicionalmente fueron medidas muestras de acero inoxidable mediante X-ray Photoelectron Spectroscopy (XPS). El patrón de masa utilizado para la determinación de masa fue inmerso en FC40. Las muestras analizadas por XPS fueron previamente inmersas en FC40 y alcohol isopropílico. Diferencias de masa fueron obtenidas con incertidumbre del orden de 1 µg cuando fue utilizado el FC40. Resultados preliminares sugieren que el FC40 no produce enlace químico con la superficie del acero y la ganancia de masa se debe a moléculas adsorbidas físicamente.

Palabras clave: Acero, pruebas, acero inoxidable, experimentos, hidrostática

Abstract

The long term stability of mass standards depends on the interaction between their surface and environment molecules. From this point of view, a study of the effect on stainless steel surfaces by liquids frequently used in hydrostatic weighing (FC40) and in cleaning procedures of mass standards (isopropyl alcohol) was hereby investigated. Firstly mass weighing difference as function of time was measured with a gravimetric method. Additionally stainless steel samples were analyzed by X-ray Photoelectron Spectroscopy. The standard used for the gravimetric mass difference determination was immersed in FC40. The samples analyzed by XPS were previously immersed in both FC40 and isopropyl alcohol. Mass differences were obtained with an uncertainty of 1 µg when FC40 was used. Preliminary results suggest that FC40 is not chemically bound to stainless steel surfaces and the mass gain was due to physisorbed molecules on the surface.

Keywords: steel, testing, stainless steel, experiments, hydrostatic

Recibido: 3 de marzo del 2010 • **Aprobado:** 16 de agosto del 2010.

INTRODUCCIÓN

La interacción del ambiente de trabajo con la superficie de los patrones de masa es uno de los factores que más influyen en la estabilidad de su masa. Es importante que los Laboratorios Nacionales tengan información que les permita conocer la estabilidad de sus patrones en las condiciones de trabajo para la mejora de sus procesos de medición.

En este contexto, estudios realizados de esta interacción con gases presentes en el aire muestran que podrían surgir diferencias de masa del orden

de decenas de microgramos en patrones de 1 kg en intervalos anuales (Davidson, 2003). En el presente artículo, se estudiará la interacción superficial de líquidos usualmente utilizados en la pesada hidrostática y en la limpieza de patrones de acero inoxidable.

El trabajo muestra resultados obtenidos en el Laboratorio de Masa de la División de Metrología Mecánica y en el Laboratorio de análisis de superficie de la División de Materiales de INMETRO, para el estudio de la estabilidad de sus patrones de acero inoxidable en condiciones de trabajo.

CONTEXTUALIZACIÓN

Uno de los primeros trabajos sobre el tema de la interacción superficial de los patrones con agentes externos lo realizó Kochsiek en 1982. En este trabajo se investiga la adsorción del agua en las superficies de muestras de diversos materiales variando los siguientes parámetros de diseño:

- Rugosidad.
- Películas de oxidación.
- Humedad relativa del aire.

La conclusión principal de este trabajo fue que se pueden realizar aproximaciones para relacionar la masa de agua adsorbida, determinada por pesada de alta exactitud con variables como la rugosidad y condiciones ambientales. Para pesadas de alta exactitud este estimado puede ser tomado en cuenta para diferenciar los efectos de adsorción.

Bich y Gironimo (1998) estudiaron el efecto del lavado en cuatro patrones de masa de platino-iridio. Posteriormente, realizó un monitoreo por cuatrocientos días de los valores de masa y los comparó con los valores reportados por el BIPM (Bureau Internacional de Pesos y Medidas), para las respectivas calibraciones. La conclusión principal que obtuvo fue que existían variaciones en los valores de masa con respecto a los valores previamente proporcionados por el BIPM.

Schwartz (1994a) realizó un estudio de películas de adsorción para patrones tipo E_1 y E_2 de acero inoxidable por medio de elipsometría en función de la humedad relativa. Las variables de diseño fueron:

- Limpieza de la superficie.
- Rugosidad.
- Composición del acero.
- Temperatura ambiental.

Posteriormente, afirmó que el factor fundamental que influye en las pesas clases OIML (Organización Internacional de Metrología Legal) E_1 y E_2 en la adsorción es la limpieza del acero.

Schwartz (1994b) también publicó otro trabajo para el acero inoxidable en vacío. En este trabajo utilizó la comparación de masa y la elipsometría para valores nominales de 1 kg y

generó una función de la adsorción en función de la presión para tomar en cuenta los efectos de distintas variables ambientales en la variable de masa adsorbida.

Stuart Davidson (2003) realizó un trabajo donde propone monitorear la estabilidad de los patrones de masa. En particular se enfoca en el material platino-iridio, del cual están hechos los prototipos del kilogramo. También realizó un estudio con el acero inoxidable.

El trabajo abarcó el estudio de cinco factores para evaluar la contaminación superficial:

- Estabilidad de patrones a largo plazo.
- Efectos en la superficie debido a la humedad.
- Efecto de diferentes técnicas de limpieza.
- Análisis de contaminación de la superficie.
- Transferencia de materia debido a superficies al vacío.

Este trabajo permitió conocer mejor la estabilidad de los patrones a largo plazo y a su vez resume otros estudios. Parte de las conclusiones de este trabajo son los estudios recomendados a realizar posteriormente. Davidson (2003) recalca los siguientes:

- Interacción de las masas al ser llevadas al vacío y viceversa.
- Relación entre agentes (contaminantes) externos y la ganancia de masa.

Todos estos artículos permiten dar un acercamiento al estudio de la estabilidad a largo plazo de los patrones de alta exactitud. Cada laboratorio trabaja en condiciones ambientales diferentes y es expuesto a variables que en un largo plazo podrían afectar la estabilidad de los patrones. La caracterización del proceso brinda un control metrológico más robusto del laboratorio.

METODOLOGÍA

Se pretende proponer un modelo cuantitativo que describa cómo los líquidos de inmersión (utilizados en la pesada hidrostática) y la limpieza de patrones interaccionan en la superficie del acero inoxidable.

El estudio fue realizado en dos etapas:.

- Primera Etapa - Análisis XPS :
- El análisis XPS se realizó en el sistema de análisis de superficie ESCAplus P Omicron del Laboratorio de Materiales.

Consiste en un análisis de la composición química superficial, utilizando la técnica XPS (Espectroscopia Fotoelectrónica de Rayos X) de muestras de acero inoxidable. Estas muestras fueron sometidas a diferentes líquidos usando el mismo tiempo de inmersión. En este caso se utilizaron muestras, debido a la imposibilidad instrumental de colocar los patrones de dimensiones de 1 kg en la cámara de análisis de XPS. Las muestras de acero inoxidable presentan características metrológicas similares (rugosidad, peso específico, modo de limpieza) al kilogramo de prueba, esto con el objetivo de que éstas ejemplifiquen lo más representativo posible el proceso.

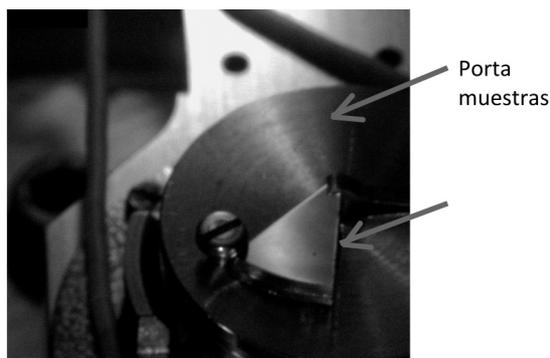


Figura 1. Porta muestras del equipo de XPS con muestra cortada para el análisis.

La Figura 1 ejemplifica la limitación dimensional de las muestras en el experimento, las mismas deben ser adaptadas al tamaño del porta muestras. El área efectiva para colocar la muestra es apenas de unos milímetros (Figura 1 aproximadamente a escala real del tamaño de la muestra).

El análisis químico por XPS fue encargado a la División de Materiales (Pires, 2010). Se realizó el análisis a 3 muestras:

- La primera muestra no se trató ni se limpió.
- La segunda muestra fue limpiada con alcohol isopropílico.
- La tercera muestra fue sumergida durante una semana en FC40, después de una limpieza con alcohol isopropílico. Esta muestra fue posteriormente analizada variando la temperatura en el vacío para observar el efecto del calentamiento.

SEGUNDA ETAPA- ANÁLISIS DE VARIACIONES DE LA MASA CON EL TIEMPO:

Esta etapa consiste en analizar variaciones de masa en patrones de un kilogramo de acero inoxidable con respecto al tiempo, estas variaciones se monitorean una vez que el kilogramo ha sido inmerso en líquido de inmersión FC40¹.

Se analizó 1 kg que permaneció sumergido por una semana en el líquido FC40. Es importante resaltar que, para una mejor comprensión, se llamará de acá en adelante patrón de prueba al patrón que fue inmerso en el líquido y patrón de referencia al que servirá como control y no ha sido expuesto a ningún líquido previamente.

La determinación de las variaciones de masa se realizó en el comparador Mettler Toledo AT1006 en el Laboratorio de Masa. Estas instalaciones e instrumento hacen posible determinar diferencias de masa del orden de microgramos en patrones de 1 kg.

Modelo de medición de variación de masa en el tiempo.

En los cálculos presentados son considerados dos momentos consecutivos, Tiempo 1 y Tiempo 2, en la medición de la diferencia de masa entre el patrón de prueba (VP086) y el patrón de referencia (PP063).

Las mediciones de las diferencias de masa para todos los casos en este trabajo se realizaron mediante ciclos de pesada por doble sustitución, ABBA (Becerra, Navas; 2004).

Para el Tiempo 1 son obtenidas las diferencias de masa a partir de la siguiente fórmula:

$$\Delta m_{x1} = \Delta L_1 \cdot S_b - \rho_{a1}(V_p - V_x)$$

Donde:

Δm_{x1} Diferencia de las lecturas del comparador entre el patrón de referencia y el patrón de prueba en unidades de división de la balanza en la comparación 1.

ΔL_1 Densidad del aire en el Tiempo de medición 1

S_b Volumen del patrón de referencia

ρ_{a1} Volumen del patrón de prueba

V_x

Para el Tiempo 2 la diferencia de masa será entonces:

Para obtener la relación que determina la

$$\Delta m_{x2} = \Delta L_2 \cdot S_b - \rho_{a2}(V_p - V_x) \quad (2)$$

variación de masa entre los Tiempos 1 y 2, se resta la Ecuación 2 de la Ecuación 1. Asumiendo que la diferencia de los volúmenes y que la sensibilidad del comparador se mantienen constantes durante la comparación, el modelo para las variaciones

$$\Delta m_{\Delta m_x} = \Delta L_{\Delta L_{1-2}} \cdot S_b - \Delta \rho_{a1-2}(V_p - V_x) \quad (3)$$

de masa es el siguiente:

Donde:

$\Delta m_{\Delta m_x}$: Variación de masa en dos momentos consecutivos.

$\Delta L_{\Delta L_{1-2}}$: Diferencia de las diferencias de lectura en comparaciones en dos momentos consecutivos.

$\Delta \rho_{a1-2}$: Diferencia de densidades del aire en comparaciones en dos momentos consecutivos.

De esta manera, la incertidumbre de la Ecuación 3 se puede expresar como una contribución relativa a la repetibilidad de las pesadas y una contribución que depende de la diferencia de los volúmenes en los patrones de masa. Suponiendo que la sensibilidad de la balanza sea igual a 1, los coeficientes de sensibilidad se expresan de la siguiente forma:

$$\frac{\partial \Delta m_{\Delta m_x}}{\partial \Delta L_{\Delta L_{1-2}}} = S_b = 1 \quad (4)$$

$$\frac{\delta \Delta m_{\Delta m_x}}{\delta \Delta \rho_{a1-2}} = -(V_p - V_x) \quad (5)$$

$$\frac{\delta \Delta m_{\Delta m_x}}{\delta \Delta V_{px}} = -\Delta \rho_{a1-2} \quad (6)$$

En el modelo anterior presentado en la Ecuación 3 la variable objetivo es el cambio de masa en dos tiempos consecutivos. Nótese que la Ecuación 5 tiene un valor esperado constante para este modelo, por lo tanto la componente de su incertidumbre solo dependerá de la incertidumbre de la diferencia de densidades en los Tiempos 1 y 2.

Considerando valores extremos para cada magnitud de influencia en la Ecuación 3, se obtiene un valor de incertidumbre combinada de 1,4 μg . Es importante observar que la balanza a ser utilizada para la comparación de masa tiene una resolución de 1 μg y desviaciones estándar típicas de 1 μg .

Cuadro 1. Valores experimentales para calcular la diferencia de masa en tiempos consecutivos

Parámetro	Valor	Incertidumbre
Densidad del aire en el tiempo 1	ρ_{a1} (mg/cm^3) 1,2033	$u \rho_{a1}$ (mg/cm^3) 0,0009
Densidad del aire en el tiempo 2	ρ_{a2} (mg/cm^3) 1,1983	$u \rho_{a2}$ (mg/cm^3) 0,0009
Volumen del patrón	V_p (cm^3) 125,4200	$u V_{\text{pesas}}$ (cm^3) 0,0005
Volumen de la muestra	V_x (cm^3) 124,8940	$u V_{\text{pesas}}$ (cm^3) 0,0005
Componente volumen de las pesas	(mg) 0,0007	---
Componente densidad del aire	(mg) 0,000004	---

$$m_{\Delta m_x} = \sqrt{\left(-\Delta\rho_{a1-2} \cdot u_{V_{px}}\right)^2 + \left(-\left(V_p - V_x\right) \cdot u_{\Delta\rho_{a1-2}}\right)^2} \quad (7)$$

El Cuadro 1 muestra que la componente debida a la densidad del aire es prácticamente despreciable en dos momentos consecutivos para la diferencia de masa. Los coeficientes de sensibilidad se calculan mediante las fórmulas de las Ecuaciones 5 y 6.

La componente de la incertidumbre debida al volumen solo depende de la diferencia de densidades en los Tiempos 1 y 2 como se puede observar en la Ecuación 6. Por lo tanto controlando las condiciones ambientales a la hora de la medición tenderá a cero esta componente.

La incertidumbre del modelo tomando en cuenta las consideraciones anteriores será igual a la Ecuación 7; 0,0014 mg.

3. RESULTADOS

Resultados de las diferencias de masa

El gráfico de la Figura 2 ilustra los resultados de las diferencias de masa obtenidas a partir de la colocación del patrón de prueba en el comparador de masa, aproximadamente 1 hora después de haber sido retirado del baño de FC40 en donde estuvo inmerso durante una semana. Este tiempo fue suficiente para que no hubiese ningún vestigio visual de líquido sobre la superficie del patrón de prueba. Es importante recalcar que la presión de vapor del FC40 es mucho menor que la del agua en igual condición de temperatura (Treybal, 1988).

Según la Figura 2 se observan diferencias de masa del orden 160 μg , en un intervalo de aproximadamente 12 horas. El efecto por empuje del aire tomando en cuenta las variaciones ambientales durante las pesadas es del orden de 1 μg únicamente y la incertidumbre es del mismo orden de magnitud. Por este motivo, el efecto observado en el gráfico anterior obedece a un proceso de pérdida de masa con el tiempo que requiere aún un mayor estudio para poder caracterizarlo y así obtener una aproximación del efecto de cambio de masa con el tiempo.

Este estudio debe hacerse con otros acabados superficiales con las mediciones efectuadas en las mismas condiciones en que se realizó el análisis anterior. La fase de equilibrio que presenta podría no absorberse a un tiempo mayor, sin embargo el sistema de medición actual no permite ver diferencias mayores, observándose una función cíclica que puede depender del sistema de medición.

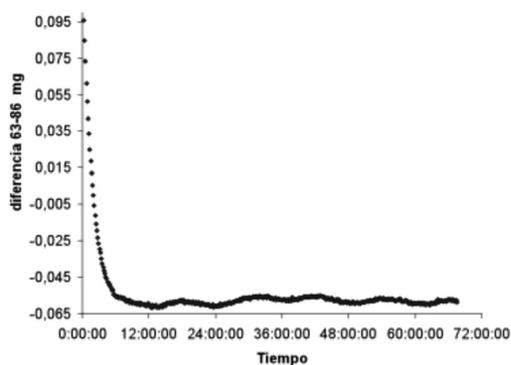


Figura 2. Diferencias de masa del patrón de prueba después de inmersión en FC40, en relación al patrón de referencia.

La Figura 2 muestra el comportamiento clásico de velocidad de secado de un material sometido a un ambiente con condiciones constantes según la página de *mgchemicals.com*. Se necesitan realizar otras curvas para corroborar este comportamiento específico.

ANÁLISIS XPS

Los resultados del Cuadro 2 son calculados mediante la integración del área bajo la curva del espectro de la Figura 2. Los porcentajes permiten caracterizar, sin embargo, no cuantificar con exactitud el material, por lo que el análisis permite dar un acercamiento cualitativo.

Aunque los resultados no sean cuantificables con exactitud, las diferencias del porcentaje de carbono en la muestra sin tratamiento con respecto a las tratadas con alcohol isopropílico son considerables para afirmar que la limpieza es necesaria. Los resultados del Cuadro muestran la disminución del carbono, proveniente posiblemente de las impurezas ambientales y de

la manipulación, en casi la mitad de la superficie de las muestras luego de éstas ser limpiadas.

No existe una diferencia significativa entre la muestra limpia con alcohol isopropílico y la muestra sumergida en FC40, por lo que no podría decirse que existe una reacción química en la superficie. No obstante la adsorción física no podría descartarse ya que las muestras son sometidas al ultra alto vacío en donde la mayor parte de los componentes podrían sublimar.

Una limitación de la técnica XPS es que solo permite analizar capas superficiales del material, (camino libre de los electrones pocos nanómetros 5 nm a 7 nm). Si se necesita conocer la composición interna tendrá que hacerse una prueba destructiva con algunas otras técnicas.

Cuadro 2. Porcentaje de elementos obtenido a partir de espectros amplios de XPS.

Muestra	C	O	N	Cr	Si
Sin tratamiento	79	15	<1	1	1
Isopropílico	38	52	1	3	5
FC40	38	52	2	4	5
FC40 primer calentamiento	23	53	-	10	2
FC40 segundo calentamiento	14	51	-	22	2

El cuadro anterior muestra los porcentajes atómicos de las tres muestras.

Posteriormente, se calentó al vacío la tercera muestra inmersa en FC40. El calentamiento se realizó

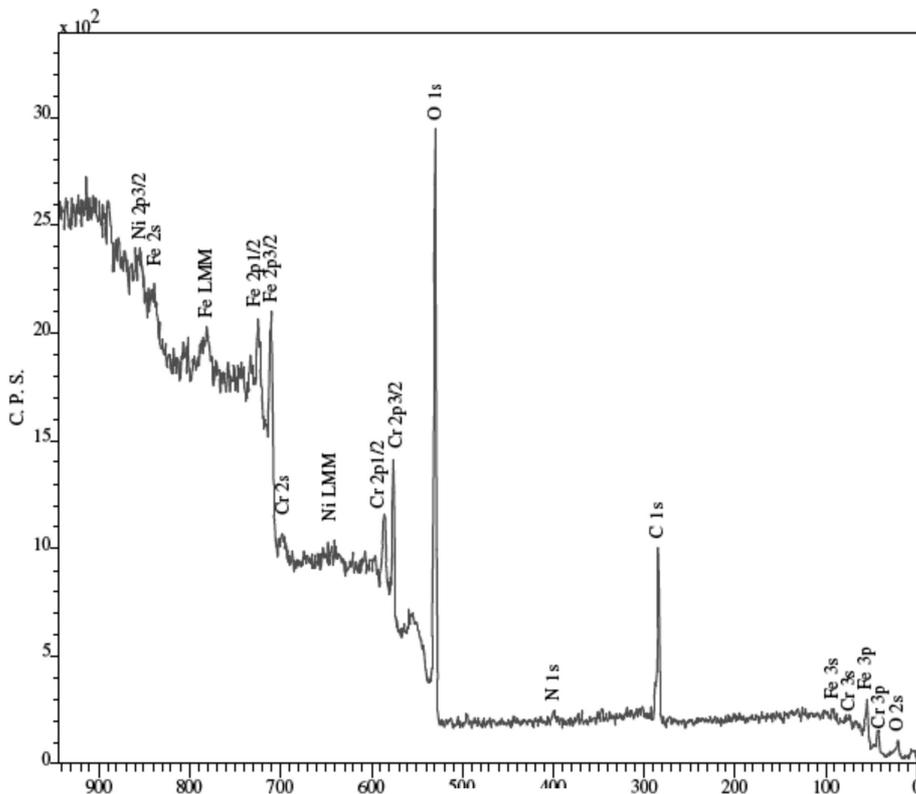


Figura 3. Espectro amplio de XPS para la tercera muestra que fue inmersa en FC40.

en 2 etapas, con el seguimiento de un espectrómetro de masa, el cual proporciona la corriente iónica de los compuestos liberados. La corriente iónica es un parámetro proporcional a la cantidad de materia.

En la Figura 4 se puede observar que los materiales sin absorber son básicamente los contenidos en la atmósfera, lo que muestra una interacción en la superficie inherente a la exposición atmosférica. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Davidson (2003).

A partir de los resultados anteriormente presentados, en vista de la limitación de la técnica de espectrometría de masa, no se puede deducir que exista interacción con la superficie debido al líquido de inmersión (FC40) específicamente.

Análisis XPS de una muestra de oro puro expuesta a alcohol isopropílico

Para observar el efecto de un material u otro en la interacción superficial con el alcohol isopropílico, se analizó una muestra de oro puro y los resultados se muestran a continuación.

El primer espectro encima de la figura corresponde a la película de oro puro y el segundo corresponde a la película de oro expuesta al alcohol isopropílico (los picos no identificados pertenecen al oro).

Con respecto al acero (limpiado con alcohol isopropílico) el espectro de la muestra de oro tiene una señal con comportamiento de C 1s muy semejante en su posición e intensidad. No ocurre lo mismo para la señal del O 1s.

La señal del espectro de oxígeno en la muestra de oro fue ajustada con 3 componentes (en orden creciente de energía de enlace):

- Oxígeno atómicamente adsorbido.
- Grupos hidroxilo o CO enlazado y/o adsorbido.
- H₂O adsorbida.

En el H₂O es donde difieren las señales del oro de las muestras de acero limpias con alcohol isopropílico. Esto podría explicarse suponiendo que la muestra de acero tiene una superficie mucho más reactiva que la muestra de oro analizada, y esto produce que el agua se disocie mejor en la superficie de acero. De esta manera, el agua en el oro se comporta en la forma molecular del vapor de agua proveniente del aire y en el acero se disocia.

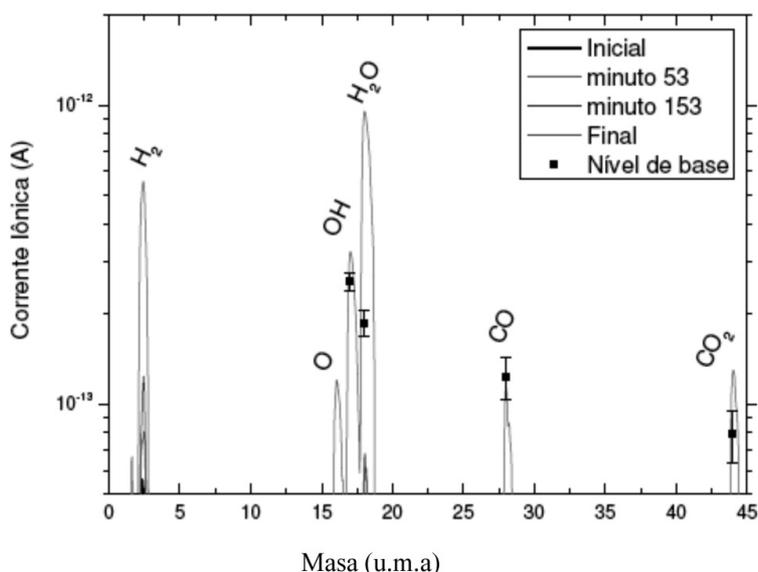


Figura 4. Gases emitidos al calentar

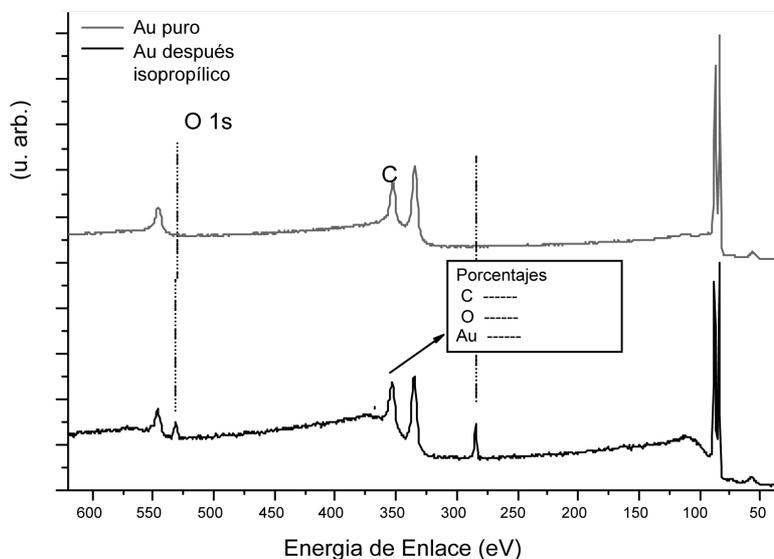


Figura 5. Espectros de una película de oro antes y después de ser expuesta a la atmósfera e inmerso en alcohol.

De la revisión de trabajos de Davidson (2003), se deduce una camada de contaminantes de $0,42 \mu\text{g}/\text{cm}^2$, un valor que posteriormente se corresponde con valores obtenidos por elipsometría por Picard e Fang según apunta Davidson.

Para el caso de la Muestra 1 definida en la metodología sin limpiar, se podría estimar la espesura mínima asumiendo que esta camada está compuesta principalmente por carbono C, por lo que la densidad de ésta tendría valores entre $1 \text{ g}/\text{cm}^3$ y $2 \text{ g}/\text{cm}^3$. Así una camada de longitud entre 4,5 nm y 6,5 nm sería suficiente para no permitir observar la señal del níquel Ni (esperada a 853 eV). Por lo que estaríamos hablando de una camada compuesta de compuestos orgánicos de alrededor de $1 \mu\text{g}/\text{cm}^2$.

El hecho que no se pueda observar el níquel en el espectro se explica por la suciedad en la superficie, el cual traducido a masa, explica el valor antes estimado.

Este valor de compuestos orgánicos es $1 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ más del doble de lo expuesto en los estudios anteriores citados por Davidson (2003), sin embargo concuerda con el proceso, pues los valores de la literatura eran para muestras previamente limpias.

Estos resultados confirman la conclusión que cita Davidson (2003) que afirma que ni el vacío ni los solventes orgánicos remueven por completo

los compuestos de carbono provenientes del medio de trabajo.

Según el análisis de espectroscopía de masa no puede adjudicarse algún efecto de reacción química superficial debido al material FC40. Sin embargo por el análisis gravimétrico se puede inferir que existen algunas diferencias luego de sumergir el material al líquido. Estas diferencias podrían ser una fisisorción del material ya que existen indicios de diferencias en la afinidad superficial entre el acero y el oro en el contacto con el alcohol isopropílico. La etapa posterior para poder rechazar o aceptar esta hipótesis será hacer el estudio superficial para el oro sumergido en FC40.

CONCLUSIONES

Deben hacerse posteriores mediciones relacionando otro tipo de líquidos de inmersión o de limpieza y diversas condiciones de humedad relativa y temperatura para poder relacionar el cambio de masa en función del tiempo variando estas condiciones.

Perspectivas futuras

La continuación de este trabajo prevé mediciones similares sumergiendo patrones de masa en algunos líquidos de inmersión.

Se realizarán los estudios con ayuda de la División de Masa y Densidad del Centro Nacional de Metrología (CENAM). Las pruebas serán realizadas en sus instalaciones en Querétaro, México. En este laboratorio se hará un diseño de experimentos en donde se variarán las condiciones de presión y tiempo de exposición, manteniendo constante la temperatura y la humedad para poder ver el efecto combinado de estas variables en el cambio de masa. Esto es posible debido a que se cuenta con una campana para controlar las condiciones ambientales.

NOTA

1. Compuesto orgánico fluorocarbonado utilizado en la industria electrónica y recomendado por la Mettler Toledo. Fabricado por la 3M.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Davidson (2003). A review of surface contamination and the stability of standard masses. *Metrología* 40, 324 -338.
- Kochsiek, M. (1982). Measurement of Water Adsorption Layers on Metal Surfaces. *Metrología* 18, 153-159.
- Bich, W., De Gironimo. (1998) Further investigations on cleaning-washing of platinum-iridium kilograms. In 16th Int. Conf. on Force, Mass and Torque Meas., IMEKO TC3/APMF '98, 14-18 Sept. Taejon, Korea/. Myung Sai Chung, pp. 192-197.
- Schwartz, R. (1994a). Precision Determination of Adsorption Layers on Stainless Steel Mass Standards by Mass comparison and Ellipsometry Part I: Adsorption Isotherms in Air. *Metrología* 31, 117-128.
- Schwartz, R. (1994b). Precision Determination of Adsorption Layers on Stainless Steel Mass Standards by Mass comparison and Ellipsometry Part II: Sorption in vacuum. *Metrología* 31, 129-136.
- Pires, M. (2010). *Análise preliminar dos resultados de espectroscopia de elétrons excitados por raios X (XPS) obtidos com amostras de aço inox empregado na fabricação de padrões de massa de alta exatidão*. Relatório Interno, mayo 2010, Inmetro.
- Becerra, L.; Nava, J. (2004). *Incertidumbre en la calibración de pesas por el método ABBA*. CENAM.
- Treybal, R. (1988). *Operaciones de transferencia de masa*. México: McGraw-Hill.
- www.mgchemicals.com/products/3m-fc40.html, acceso 21 de Julio de 2010

SOBRE LOS AUTORES

Lautaro Ramírez Varas

Licenciado en Ingeniería Química de la Universidad de Costa Rica. (lautaro.ramirezvaras@ucr.ac.cr)

Claudia S.C. Castro (cscastro@inmetro.gov.br)

Fábio L. Cacais, (facacais@inmetro.gov.br)

Manoel J.M. Pires, (manoeljmp@gmail.com)

Estudiantes de posgrado Maestría en Metrología y Calidad, Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - Inmetro – Brasil.

Victor M. Loayza Mendoza, MSc., (vmloayza@inmetro.gov.br); Jefe del Laboratorio de Masa-Lamas, Río de Janeiro, Brasil.

