

VI° SEMINARIO NACIONAL Y II° LATINOAMERICANO
DE ANÁLISIS POR TÉCNICAS DE RAYOS X

Comité Nacional de Espectroscopia de Rayos X
Noviembre - 1987

Bahía Blanca - Buenos Aires - Argentina

DETERMINACION DE PARAMETROS INSTRUMENTALES EN UN EQUIPO DE FRX
PHILIPS PW 1400

MARTINEZ, J. M. - FASIO, I. - BARDONIO, M. - VIOLA, M.

Fac. de Ciencias Nat. Univ. Nac. de la Patagonia - Comodoro Rivadavia

RESUMEN

Se determinan parámetros instrumentales de un equipo Philips PW 1400 dispersivo en longitudes de onda; fundamentalmente aquellos que se refieren a la precisión del equipo (estabilidad a muy corto, corto y largo tiempo) como así también a aquellos referidos al sistema de detección (tiempo muerto, limpieza del detector y límite de detección).

INTRODUCCION

Los manuales técnicos que se proveen con los equipos de análisis comunmente incluyen "test" para controlar el buen funcionamiento de los diversos componentes. En ellos pueden encontrarse, en base a normas preestablecidas por los fabricantes, criterios para decidir cuándo esos componentes están funcionando correctamente.

Dichas normas, si bien son usadas por las firmas proveedoras como criterios de calidad, en general no permiten al usuario conocer su influencia sobre la precisión total de las mediciones.

Por otra parte, aún cuando un instrumento funcionara bien dentro de esas normas, los errores propios del equipo existen y no pueden evitarse. De esta forma es deseable conocer al máximo las posibles fuentes de error para poder decidir, según sea el caso, las condiciones experimentales que permitirían una mayor precisión en una medición dada.

En el caso de un equipo dispersivo en longitudes de onda, como el nuestro (Philips PW 1400) podríamos mencionar algunas fuentes de error en la medición de las intensidades:

- 1- Deriva del equipo
- 2- Mecanismos del goniómetro
- 3- Potencial acelerador y corriente de filamento del tubo de rayos x.

También, a los fines de controlar otros parámetros que influyen en la medición, deberían tomarse en consideración:

- 4- La resolución del detector
- 5- La eficiencia de detección
- 6- El mínimo límite de detección
- 7- El tiempo muerto del equipo
- 8- La estabilización luego del encendido
- 9- Las condiciones de excitación en el generador de rayos x

Una vez conocida la influencia de los distintos componentes sobre la precisión del instrumento, será posible tomar decisiones sobre las condiciones

experimentales a usar en una medición, según la precisión que se requiera.

En este trabajo se harán algunas consideraciones sobre la influencia en la intensidad medida de cada aspecto antes mencionado, se presentarán algunos detalles sobre el cálculo y las mediciones realizadas.

Si bien este trabajo ha sido realizado con un equipo Phillips PW 1400 dispersivo en longitudes de onda, tareas similares pueden realizarse en otros equipos de fluorescencia de rayos x, incluso con otros sistemas de detección⁽¹⁾.

FUENTES DE ERROR

1- *Deriva del equipo*. Si realizamos la medición de la intensidad (N) de un elemento en tiempos sucesivos, observaremos que existe una derivada de la misma, debida a fluctuaciones en el tubo de rayos x.

La deriva puede clasificarse en tres tipos:

- De muy corto tiempo
- De corto tiempo
- De largo tiempo

La primera se debe al filamento mientras que las dos restantes son debidas al generador de alta tensión del tubo.

La deriva es una fuente de error que puede ser importante o no dependiendo del error estadístico de conteo ($\sigma_{est} = \sqrt{N}$); en algunos casos σ_{est} puede ser la incerteza predominante mientras que en otros, para un número de cuentas suficientemente alto ($N \geq 10^6$ cts), la deriva será la fuente principal de error.

De acuerdo a lo sugerido por Nockolds⁽²⁾ y Trincavelli y otros⁽³⁾ el error cuadrático medio total de una medición puede expresarse como:

$$\sigma_{total} = \sqrt{\sigma_{est}^2 + \sigma_{inst}^2} \quad (1)$$

donde,

$$\sigma_{est}^2: N$$

$$\sigma_{inst}^2: \sigma_{der}^2 + \sigma_{enc}^2 + \sigma_{kv}^2 + \sigma_i^2 + \sigma_c^2$$

σ_{der}^2 corresponde al error cuadrático medio producido por los distintos tipos de derivada.

($\sigma_{der}^2 = \sigma_{mct}^2 + \sigma_{ct}^2 + \sigma_{lt}^2$ donde los subíndices mct, ct y lt corresponden a muy corto tiempo, corto tiempo y largo tiempo respectivamente).

σ_{enc}^2 corresponde al error producido por el encendido y apagado del equipo.

σ_{kv}^2 corresponde al error producido cuando se varía la alta tensión del tubo.

σ_i^2 corresponde al error producido cuando se varía la corriente del filamento.

σ_c^2 corresponde al error producido por el movimiento del goniómetro.

Desde luego σ_{inst}^2 podrá incluir, según el sistema bajo estudio, nuevas fuentes de incerteza debidas a otros componentes.

Cada una de estas desviaciones podrá ser despreciable (o no considerada) si la medición se realiza sin producir cambios en los componentes que la origina. Por ejemplo: σ_{kv} y $\sigma_{i_1} \cong 0$ si durante la medición no fueron alterados los valores de la tensión del tubo y corriente del filamento.

Para poder estimar cada una de estas desviaciones por separado hicimos mediciones en las que se puso en evidencia sólo uno de ellos frente al resto.

DERIVA DE MUY CORTO TIEMPO

Si se mide la intensidad cada dos segundos, se ponen en evidencia fluctuaciones que son mayores que las estadísticas, cuyo periodo es de algunas decenas de segundos (Fig. 1). Estas corresponden a los que se conoce comunmente como deriva de muy corto tiempo.

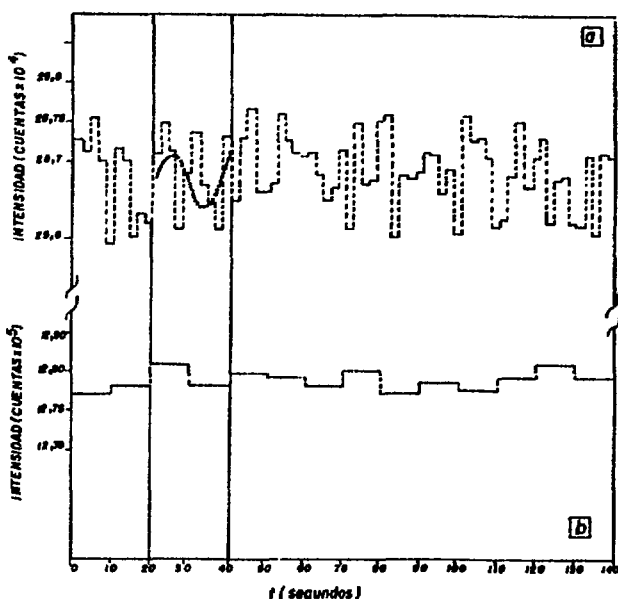


Fig 1 Mediciones de: a) 2 seg, b) 10 seg. Se puede ver que las fluctuaciones disminuyen cuando aumenta el tiempo de medición

El error cuadrático medio total, si se mantienen fijas las otras fuentes de error, será, de acuerdo a (1):

$$\sigma_{total} = \sqrt{\sigma_{est}^2 + \sigma_{inst}^2}$$

donde,

$$\sigma_{inst}^2 \cong \sigma_{der}^2 \cong \sigma_{mct}^2$$

entonces,

$$\sigma_{mct} = \sqrt{\sigma_{total}^2 - \sigma_{est}^2} \quad (2)$$

Calculado el σ_{total}^2 para aproximadamente 10 conjuntos de 10 mediciones de segundos, y usando (2), obtuvimos para el error relativo porcentual el valor:

$$\epsilon_{\text{mct}} \% = \frac{\sigma_{\text{mct}}}{N} \cdot 100 \cong 0.1$$

Este error podrá evitarse si se toma como tiempo mínimo de medición aquel que involucre al menos dos periodos de las fluctuaciones de muy corto tiempo (en nuestro caso el período estimado fue del orden de 20 segundos).

DERIVA DE CORTO Y LARGO TIEMPO

Si se toman en distintos días, durante algunas horas, mediciones de 200 s (la deriva de muy corto tiempo no influirá), podrán observarse las fluctuaciones de corto y largo tiempo, debidas a variaciones en el generador de alta tensión del tubo de rayos x.

Al analizar la deriva de corto tiempo se vieron fluctuaciones lentas en la intensidad del orden de una a dos decenas de minutos. Estas fluctuaciones además aparecían montadas sobre otra aún más lenta cuyo período correspondía a varias horas (6 a 8 horas aproximadamente).

Las mediciones se tomaron en lapsos de tiempo entre 2 hs. y 8 hs. durante varios días. Un análisis detallado de estas arrojó los siguientes errores porcentuales para ambas derivas:

$$\epsilon_{ct} \% \cong 0.02$$

$$\epsilon_{lt} \% \cong 0.5$$

Tomando ahora como tiempo de medición 1000 s obtuvimos para la deriva de corto tiempo $\epsilon_{ct} \% \cong 0.005$, pero el $\epsilon_{lt} \%$ se mantuvo inalterable. Esto es debido a que 200 s o 1000 s son tiempos pequeños frente a las fluctuaciones de largo tiempo (no así para las de corto tiempo). Un gráfico típico de la deriva de corto tiempo puede verse en la fig. 2.

Cabe acotar que en el σ_{lt} está involucrado el encendido y apagado del equipo, pues las mediciones hechas para estimarlo correspondieron a diferentes días. En nuestro caso no puede realizarse un cálculo de σ_{enc} pues para comenzar a medir luego de encender el equipo es necesario esperar mas de 5 horas para que se "estabilice", enmascarándose cualquier fluctuación por esta fuente.

2- *Goniometro*. Otra de las fuentes de error mencionadas es el goniómetro, cuyo sistema de movimiento mecánico no permite en general repetir la misma posición del cristal cada vez que se mide un mismo evento. El sistema posee capacidad de movimiento lento o rápido hacia el punto prefijado para medir, al que puede acceder desde diferentes posiciones en uno u otro sentido de movimiento.

Los errores provocados por esta fuente se evaluaron tomando mediciones de 40 s sobre Cobre puro y repitiendo 10 veces en todos los casos; se consideraron además ángulos cercanos y lejanos a una dada posición (Cu K α). Las desviaciones calculadas a partir de (1) no fueron significativas frente a la estadística en ninguno de los casos considerados.

Otro aspecto que se trató de indagar fue la aparente variación en la intensidad debido a un eventual calentamiento del cristal (que puede provocar

un cambio en el espaciado). Para ello se realizaron cada media hora barridos no continuos (Step Scanning) de peso 0.005^o (2θ) y tiempo de medición de 10 s por paso, durante 5 horas.

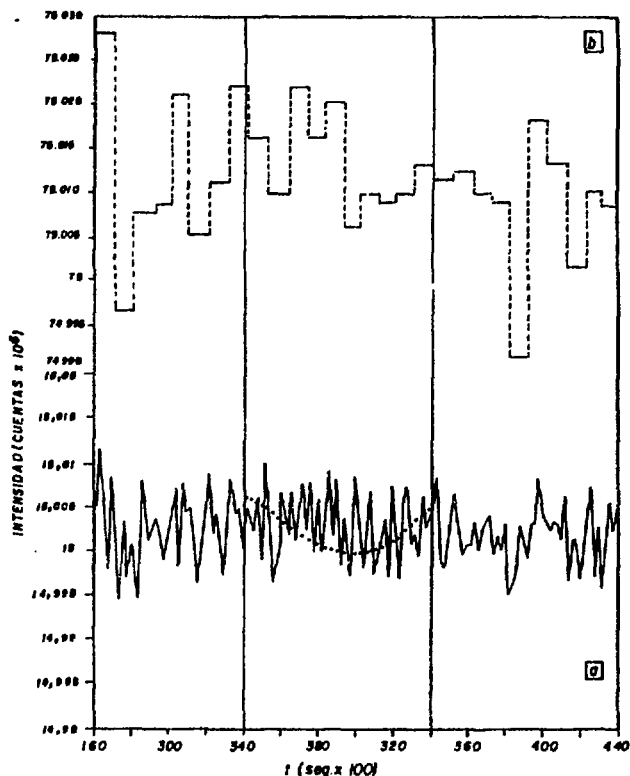


Fig 2 Fluctuaciones de corto tiempo. a) Tiempo de medición 200 seg. b) tiempo de medición 1000 seg

En este caso:

$$\sigma_{total} = \sqrt{\sigma_{cont}^2 + \sigma_{der}^2 + \sigma_{temp}^2} \quad (3)$$

donde,

$$\sigma_{der}^2 = \sigma_{mcl}^2 + \sigma_{cl}^2$$

A partir de (3) se obtuvieron valores para σ_{temp} pero resultaron también despreciables frente al resto, con lo que podría concluirse que el control de estabilidad en temperatura que el equipo posee produce errores despreciables frente a aquellos de tipo estadístico y por deriva.

3- Voltaje e intensidad del generador del tubo de rayos x. Variaciones en el potencial acelerador y la intensidad del filamento en el generador, pueden también ocasionar cambios en la intensidad medida, si entre cada medición llevamos estos parámetros a su mínimo valor o cambiamos por otros.

Para observar las contribuciones separadas y la de ambos se tuvieron en cuenta las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned} (V = \text{cte}) \quad \sigma_{\text{total}} &= \sqrt{\sigma_{\text{est}}^2 + \sigma_{\text{der}}^2 + \sigma_i^2} \\ (I = \text{cte}) \quad \sigma_{\text{total}} &= \sqrt{\sigma_{\text{est}}^2 + \sigma_{\text{der}}^2 + \sigma_k^2} \\ (\text{Variando } V \text{ e } I) \quad \sigma_{\text{total}} &= \sqrt{\sigma_{\text{est}}^2 + \sigma_{\text{der}}^2 + \sigma_{kv/i}^2} \end{aligned}$$

Se realizaron mediciones de 40 s en grupos de 10, variando los parámetros después de cada grupo y se obtuvieron los siguientes valores para el error relativo porcentual:

$$\begin{aligned} e_{kv} \% &\cong e_i \% \cong 0.04 \\ e_{kv/i} \% &\cong 0.05 \end{aligned}$$

Dado que es común en las mediciones sobre una muestra cambiar las condiciones de excitación al analizar los distintos elementos presentes, y dada la importancia en la precisión que estos cambios pueden ocasionar sería deseable tenerlos en cuenta de manera de no tratar de disminuir inútilmente los errores estadísticos más allá del orden marcado en cada caso por estos parámetros.

4- *Resolución del detector.* El sistema de detección del equipo Philips PW 1400 viene equipado con dos detectores, un contador proporcional de flujo (CP) usado con Argón-Metano (P10) y un detector de centelleo (C) de NaI. Es imprescindible un buen funcionamiento de estos detectores para obtener resultados confiables en una medición; en particular el contador proporcional es muy sensible a su estado de limpieza, a los cambios del gas y a las impurezas o partículas que este arrastra cuando fluye a través del mismo.

Por lo expuesto es necesario realizar con alguna frecuencia pruebas del estado de limpieza del CP midiendo la resolución. En la fig 3 puede observarse la resolución del CP en función del número atómico y de las líneas de emisión K y L de los elementos (este gráfico es provisto generalmente por el fabricante). En el mismo puede verse alrededor de la recta que muestra la resolución intrínseca del detector, un área permitida para valores posibles de resolución.

Para efectuar la medición de este parámetro es necesario realizar una curva de distribución de impulsos para cada elemento y medir el ancho del pico a la mitad de su altura (FWHM); valores medidos que caigan en el área rayada indicarán la necesidad de realizar una limpieza al detector. También en la figura 3 pueden verse los valores de la resolución medidos con nuestro equipo (indicados con asteriscos), tales valores mostraban la necesidad de una limpieza del CP. Posteriormente a las pruebas se realizó un servicio de mantenimiento al equipo en el que se pidió, en base a los resultados obtenidos, el cambio de la ventana y limpieza del detector. Nuevas pruebas para verificar la limpieza indicaron que este detector estaba ahora en óptimas condiciones de operación (los puntos marcados con una cruz en la figura mencionada corresponden a mediciones de la resolución hechas después de la limpieza).

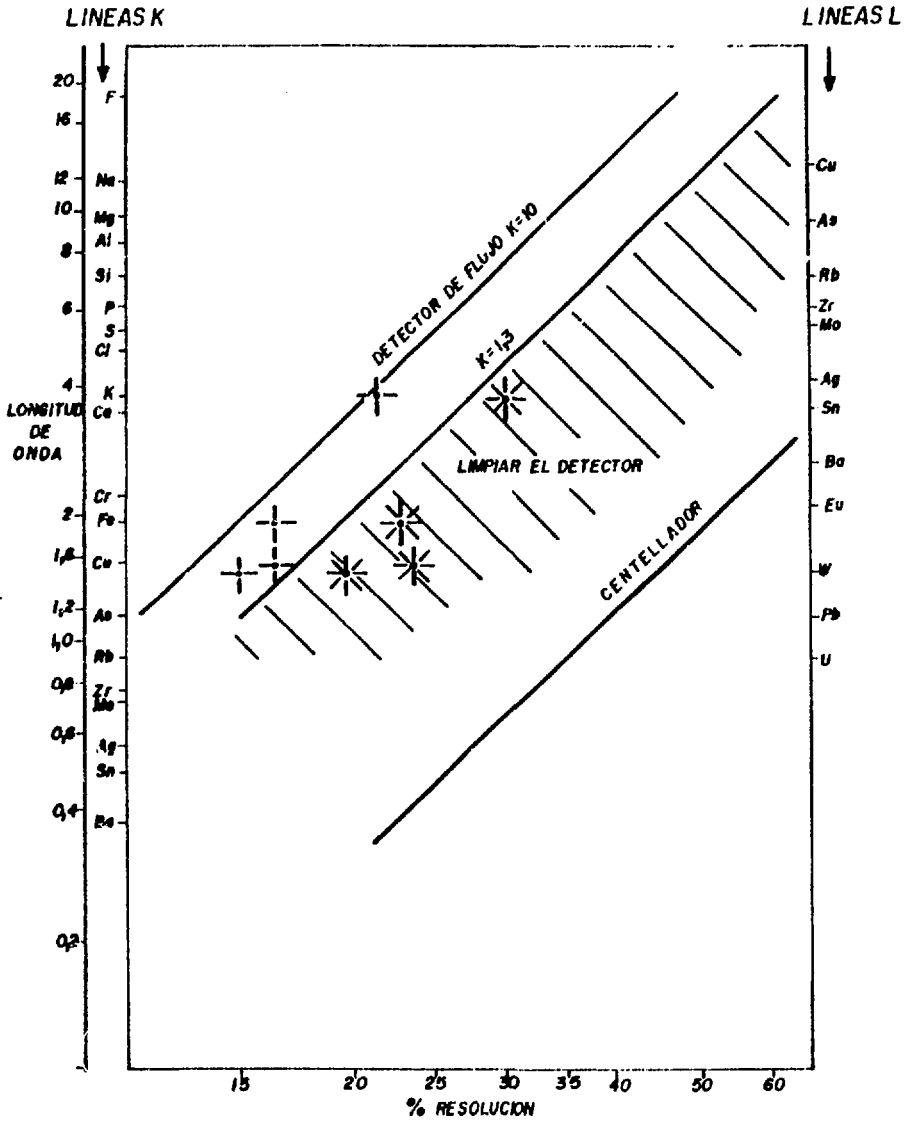


Fig. 3: Resolución del detector de flujo en función de la longitud de onda de los elementos. Las * indican mediciones realizadas antes de la limpieza del detector. Las x son posteriores a la limpieza.

Existen curvas similares para el C pero difícilmente este cambie su resolución en forma inesperada, salvo que haya sufrido un golpe o absorbido humedad, accidentes que difícilmente ocurren.

5- *Eficiencia de detección.* El analista muchas veces debe elegir entre el uso de un detector o la combinación de ambos, esta elección se hace generalmente en forma empírica o en base a los manuales del equipo, desconociendo en muchos casos la eficiencia con que cada detector puede medir la intensidad emitida

por un elemento de la muestra.

Normalmente el fabricante entrega con el equipo curvas indicativas confiables de la eficiencia de los detectores que lo integran, de ellas puede extraerse que en altas energías ($>10 \text{ kev} / \lambda \leq 1.2 \text{ \AA}$), el C es el detector adecuado pues tiene una eficiencia del 100%, mientras que para bajas energías ($< 5 \text{ kev} / \lambda \geq 2.5 \text{ \AA}$) el detector adecuado es el CP, pero su eficiencia de detección es menor que el 100%, anulándose prácticamente para energías del orden de 1 kev ($\lambda \cong 12.3 \text{ \AA}$). En energías intermedias es necesario determinar si el CP o C + CP es el sistema adecuado para alcanzar el 100% de eficiencia. Para obtener esta información deben llevarse a cabo mediciones en forma sucesiva con cada uno de los detectores y con la suma de ellos.

En nuestro caso se midieron intensidades de elementos de distinto número atómico, observando líneas de emisión en las zonas de bajas y altas energías, como así también en la región intermedia. Los resultados pueden observarse en la Tabla 1. De dichos valores podemos concluir que siempre es conveniente usar C + CP, cuando observamos líneas intermedias o aún suficientemente energéticas (Sn K_{α}) ya que, en este último caso no se tiene con el centellador máxima eficiencia. Para líneas de baja energía no se logrará mayor eficiencia usando C + CP pues el centellador no detecta estas radiaciones.

Los resultados precedentes pueden no coincidir con los sugeridos por el fabricante. Tal fue para nuestro equipo el caso del Cu y Fe para los que el manual sugiere usar CP solamente, mientras que de los resultados obtenidos en las pruebas notamos que hay mayor intensidad detectada cuando se usa el tandem C + CP. Debería entonces tenerse en cuenta que aunque el fabricante sugiere el uso de un detector u otro, esto no implica que esta configuración correspondiera a la de la máxima eficiencia de detección.

6- *Mínimo límite de detección.* Un dato de interés para el analista es la concentración mínima de un elemento de interés detectable con su equipo. Si,

MUESTRA	ELEMENTO	LINEA	DETECTOR		
			F + C %	F %	C %
Al	Al (13)	K_{α}	75	75	-
Fe_2O_3	Fe (26)	K_{α}	100	90,7	9,7
		K_{β}	100	84,06	16,3
Cu	Cu (29)	K_{α}	100	73,4	27.
$SnCl_4$	Sn (50)	K_{α}	100	5	97.

Tabla 1 Detección de algunos elementos:

Se puede observar que los elementos de alto número atómico (Sn) no son eficientemente medidos por un sólo detector y es necesaria la combinación de F + C. Por el contrario los elementos livianos (Al) a pesar de no tener una máxima eficiencia de detección solamente pueden ser medidos por F.

en primera aproximación, suponemos que la razón de intensidades es igual a la concentración, el mínimo límite detectable (C_{mid}) puede ser estimado por:

$$C_{mid} = \frac{3 \cdot \sqrt{I_f}}{I_p \cdot \sqrt{t \Sigma}} \quad (5)$$

donde,

I_f es la intensidad del fondo (cps) estimada debajo del pico.

I_p es la intensidad del pico (cps) en una muestra pura.

t es el tiempo de medición

La ecuación (5) expresa la razón entre tres desviaciones estandares del fondo y la intensidad del elemento puro. Notemos que la expresión anterior depende del tiempo de medición: cuanto más grande es éste más pequeña la mínima cantidad detectable (un valor de t usado comunmente para referenciar el C_{mid} es 400 segundos).

ELEMENTO	Z	C_{MLD}	
		$t = 40 \text{ s}$	$t = 400 \text{ s}$
Mg	12	112	57
Al	13	116	61
Ca	20	67	28
Fe	26	39	18
Cu	29	20	25
Sr	38	14	17

Tabla 2: *Mínimo límite de detección*
Para distintos elementos (línea $K\alpha$)
con tiempos de conteo de 40 y 400 s

Usando la expresión (5) en mediciones realizadas sobre varios elementos se obtuvieron los resultados de la Tabla 2. En las dos últimas columnas pueden verse datos de C_{mid} obtenidos en distintos tiempos de medición (40 s y 400 s). Se observa que el C_{mid} calculado usando $t=40$ s es aproximadamente el doble que con $t=400$ s, aunque no en todos los casos.

De esta manera se debe tener en cuenta que estos valores son sólo indicativos de los límites esperados para un elemento en una matriz de peso atómico similar; por otro lado estos pueden variar sensiblemente si se cambian las condiciones de excitación pudiéndose, en algunos casos, encontrar circunstancias de detección aún mas favorables.

7- *Tiempo Muerto*. El conocimiento de este parámetro es importante ya que permite realizar correcciones de pérdida de conteo a la intensidad medida. Para el cálculo de tiempo muerto en nuestro equipo se utilizó el método propuesto por Bonetto y Riveros⁽⁹⁾ siendo el resultado obtenido:

$$t_m = 185 \cdot 10^{-9} \text{ s}$$

que es del orden del tiempo muerto del contador proporcional. Ello se debe a

que el equipo Philips PW 1400 posee una auto-corrección que reduce el tiempo muerto de la electrónica asociada a 50 ns, predominando por lo tanto solamente el que corresponde al CP.

El hecho anterior permite medir intensidades del orden de 50 Kcps con correcciones despreciables por tiempo muerto.

8- *Condiciones de excitación en el generador.* Muchas veces es difícil elegir una sola condición de excitación (KV y mA) que permita observar adecuadamente

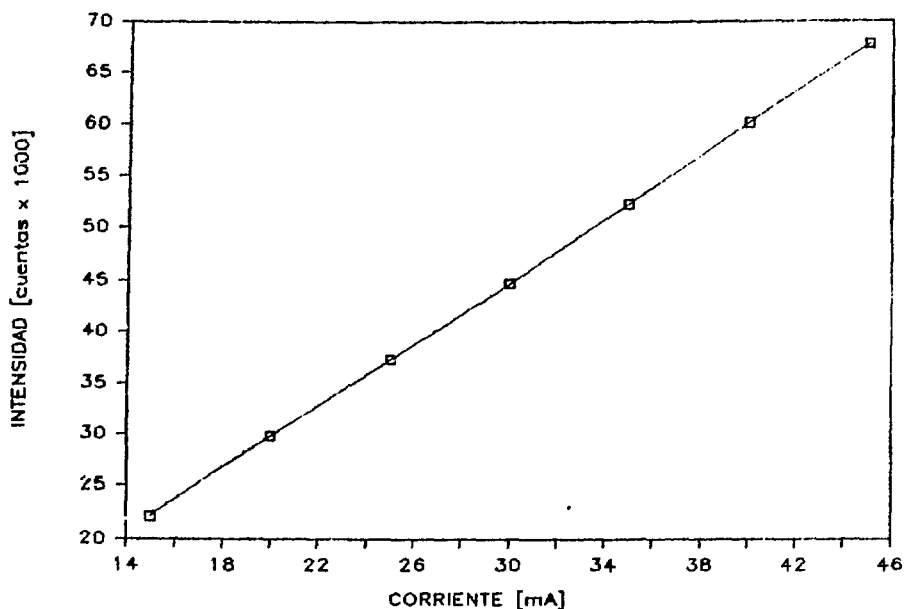


Fig. 4: Variación de la intensidad fluorescente del Cu K α con la corriente del filamento.

todos los elementos presentes en una muestra de interés. En estas circunstancias existe el problema de cómo comparar las intensidades de distintos elementos en una muestra, excitados en condiciones diferentes. Sin embargo es sabido que a potencial constante la forma del espectro del tubo de rayos x no cambia con la corriente, por lo tanto podemos esperar que la intensidad fluorescente emitida por un elemento en la muestra sea directamente proporcional a la corriente del filamento. En la Fig. 4 podemos observar el comportamiento lineal mencionado para el caso de la línea K α del Cu. Esto nos permite normalizar la intensidad fluorescente en cuentas/mA e independizarnos de la corriente del tubo.

En el caso del potencial, una variación en la tensión ocasiona un cambio en la forma del espectro; lo que implica que no siempre existirá una relación lineal entre la intensidad fluorescente medida y el potencial del tubo. En la Fig. 5 puede verse que sólo en algunos casos (Fig. 5a) existe linealidad en pequeños tramos y puede efectuarse normalización respecto al potencial. Es necesario recalcar que esta dependencia será en general diferente de un elemento a otro (Fig. 5b).

9- *Estabilización Luego del Encendido.* Para realizar mediciones "confiables" se sabe que el equipo debe tener un tiempo suficiente de estabilización previa

(el fabricante recomienda por lo menos 5 horas). Al realizar las mediciones para el estudio de la deriva del equipo, pudimos comprobar que luego del

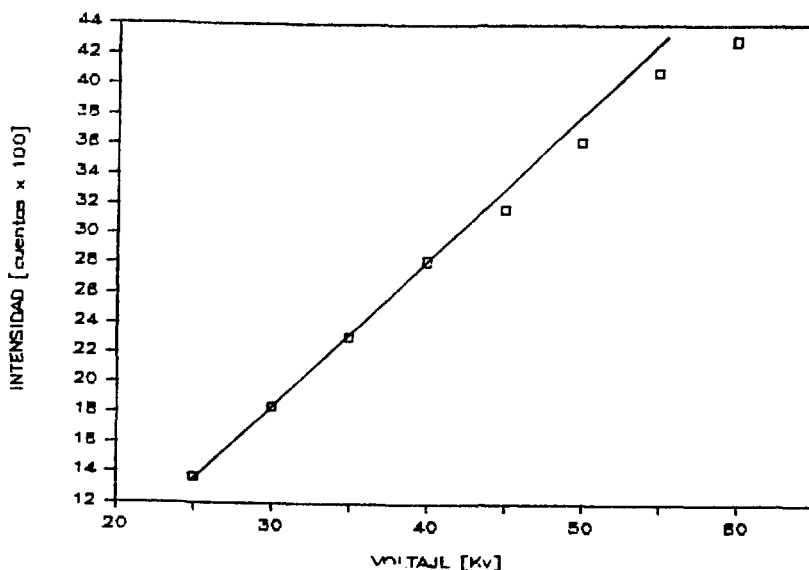


Fig. 5a: Variación de la intensidad fluorescente del Ni K α con el potencial del tubo de rayos x.

encendido la intensidad medida presenta variaciones monótonas considerables (crecimiento al principio y decrecimiento después) al tender a la estabilización. Estas pueden observarse en la Fig. 6 a y b.

De lo anterior se desprende que, coincidentemente con lo sugerido por el fabricante, sería deseable mantener siempre el equipo encendido o, si esto no es posible, lograr al menos una estabilización suficiente antes de comenzar a medir. Lo óptimo sería implementar sistemas de seguridad y protección que permitan mantener en régimen al equipo durante todo el día.

COMENTARIOS FINALES

Una revisión acerca de las magnitudes de los errores obtenidos para la intensidad medida, nos permite concluir que, aparte de los errores estadísticos, las fuentes más importantes de divergencias son aquellas que conciernen al generador del tubo de rayos x.

El error total en una medición ($\sigma_{II} \cong 0$) dependerá del tiempo que dure la misma. Por ejemplo si la medición de la muestra se realiza en algunas centenas

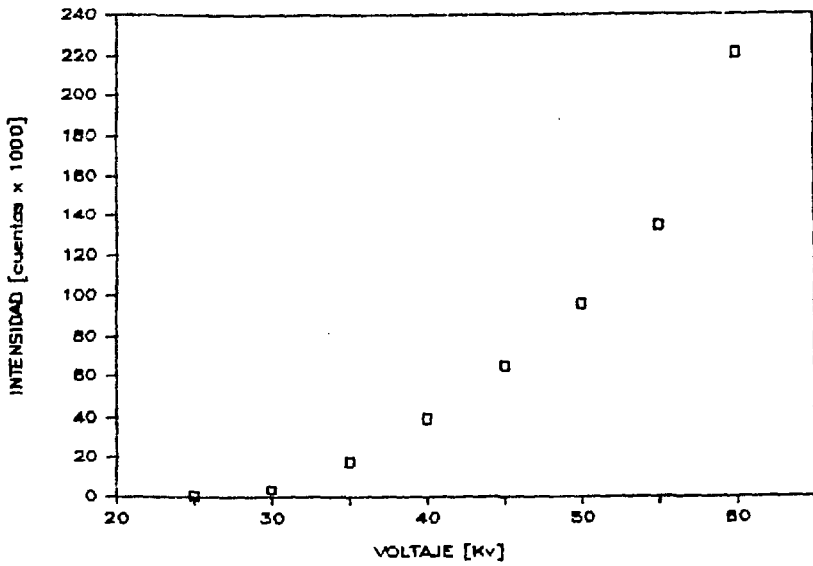


Fig. 5b: Variación de la intensidad fluorescente del Cd K α con el potencial del tubo de rayos x.

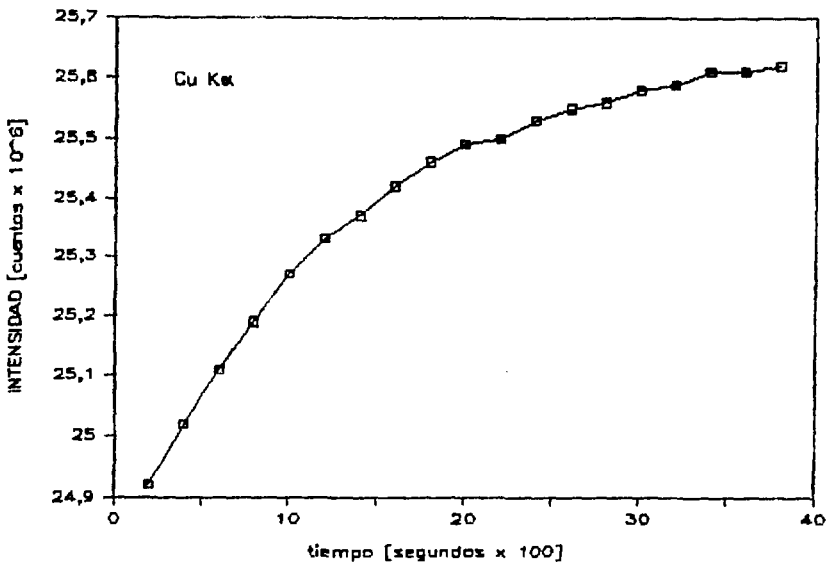


Fig. 6a: Crecimiento de la intensidad en la primera etapa de encendido.

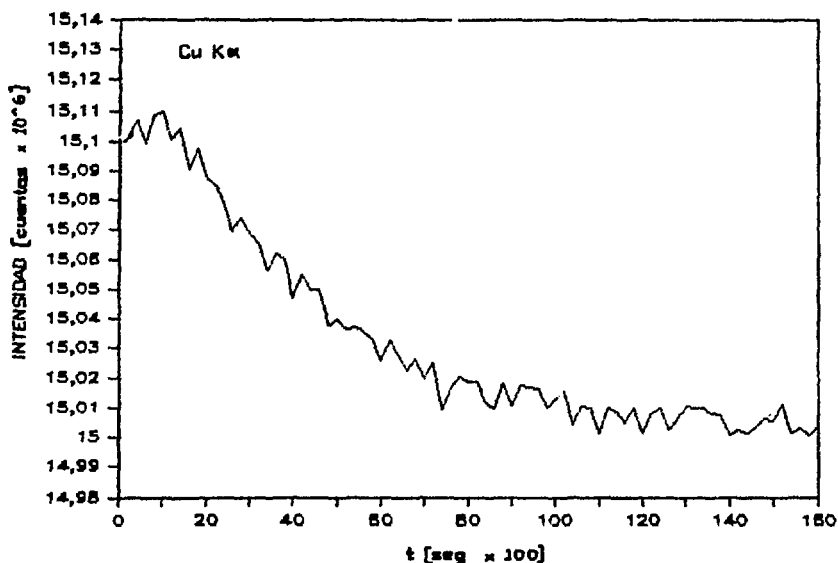


Fig. 6b: Tendencia a la estabilidad en la segunda etapa.

de segundos ($\cong 1000$ s), tomando como tiempo de medición de cada elemento $\cong 50$ s, el error predominante será:

$$\sigma_{total} \cong \sigma_{est} \quad \text{si } N \leq 10^5 \text{ cuentas} \Rightarrow E_{total} \% \cong 0.3$$

$$\sigma_{total} = \sqrt{\sigma_{est}^2 + \sigma_{ct}^2 + \sigma_{kv}^2 + \sigma_f^2} \quad \text{si } N \gg 10^6 \text{ cuentas}$$

$$\Rightarrow E_{total} \% \cong 0.05$$

Si la medición se realiza en distintos días el error predominante sobre el resto de los errores instrumentales será σ_{it} , en este caso:

$$\text{si } N \geq 10^6 \text{ cuentas} \Rightarrow E_{total} \% \cong E_{it} \% \cong 0.5$$

Si estos análisis se realizan en forma periódica, se podrán detectar eventuales fallas en los distintos componentes del sistema y controlar su verdadero significado. En nuestro caso, por ejemplo, este estudio nos permitió detectar una falta de limpieza en el detector de flujo.

No se controlaron en este estudio otras fuentes de error como:

- La no regularidad en la construcción de los portamuestras.
- El mecanismo de alojamiento de la muestra.
- La elección de un dado colimador.

Las pruebas mencionadas en este trabajo se realizaron tratando los datos en forma no automatizada. En la actualidad se está tratando de desarrollar en conjunto con el Grupo de Espectroscopia Atómica y Nuclear de la Facultad de Matemática, Astronomía y Física (UNC), un programa de computadora que permita agilizar el tratamiento de la información. Para ello también se prevee anexar al equipo una computadora tipo personal, complementando la HP ya existente y permitiendo su uso alternativo en la adquisición de espectros secuenciales de la manera de un sistema multicanal en su modo "multiscaling".

Finalmente, nos parece adecuado sugerir, en base a la experiencia acumulada en este trabajo, que al hacer uso de los parámetros de medición que el fabricante sugiere en los manuales de uso del equipo, se los considere en general como valores indicativos para una dada configuración experimental y no como condiciones óptimas; estas deberían ser una conclusión del analista luego de estudiar y alcanzar un buen conocimiento de las partes componentes de su equipo.

El uso de estos sistemas teniendo en cuenta solamente los datos sugeridos en los manuales pueden en algunos casos llevar a interpretaciones erróneas de las mediciones efectuadas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Dr. J. A. Riveros y a la Lic. C. Vázquez por la discusión y guía que realizaron en distintos aspectos de este trabajo. Ellos permitió enriquecer los contenidos de este manuscrito

* * * * *

REFERENCIAS

- 1- Trincavelli, J y otros; Memoria SARX 1985 - La Falda
- 2- Nockolds, C. (1976) Computer Assisted An Calibration, EDAX Ed. 6 (3).
- 3- Bonetto, R. y Riveros, J.; X Ray Spectrom., Vol. 13, N° 1, 1984.