

MEDICION DE ENRIQUECIMIENTO EN U-235 DE TAMBORES DE UO₂ Y CILINDROS DE UF₆ CON DETECTOR CZT/500s

1. INTRODUCCION

En el Informe ABACC-BA14 se analizaron los resultados de las mediciones de un patrón de U3O8 natural (CBNM-072-023) con el sistema MMCA-CZT/500s, para diferentes tiempos de medición (100, 300, 600 y 1800s), utilizando el código NaIGEM en el calculo de enriquecimiento. Los valores de las mediciones mostraron una desviación standard y un bias similar al obtenido con el sistema MMCA-Nal(2x1") .

Se observó un aumento en los errores sistemáticos y estadísticos cuando se mide el patrón de U natural en presencia del fondo gama proveniente de una fuente de Co-60 de 1 mCi. Este mismo comportamiento fue observado en las mediciones con detector de NaI.

Para establecer la performance del detector CZT/500s en la medición de enriquecimiento de U en tambores de UO₂ y en cilindros de UF₆ se llevaron a cabo la siguiente serie de mediciones en el laboratorio de ABACC, en el depósito de CONUAR y en el depósito de Salvaguardias del CAC.

2. RESULTADOS EXPERIMENTALES

2.1 MEDICIONES EN EL LABORATORIO DE ABACC (Tabla 1)

Mediciones repetitivas del patrón de U3O8 (CBNM-072).

Geometría G1 (colimador 32x7 mm)

Sin absorbedor

Tiempo de medición 100s (000000/000099.spe)

Tiempo de medición 300s (000200/000299.spe)

Tiempo de medición 600s (000100/000199.spe)

Con absorbedor (0,95 mm Fe)

Tiempo de medición 300s (9-100015/9-100019.spe)

Geometría G2 (colimador 24x12 mm)

Sin absorbedor

Tiempo de medición 300s (000000/000099.spe) (000113/000128.spe)

Tiempo de medición 600s (000129/000228.spe)

Con absorbedor (0,95 mm Fe)

Tiempo de medición 300s (000229/000278.spe)

Tiempo de medición 600s (000279/000381.spe)

Geometría G3 (colimador 24x7 mm)

Sin absorbedor

Tiempo de medición 300s (000100/000178.spe) (000279/000298.spe)

Tiempo de medición 600s (000179/000278.spe)

Tiempo de medición 1200s (000000/000100.spe)

Con absorbedor (0,95 mm Fe)

Tiempo de medición 600s (G3-000299/000398.spe)

2.2 MEDICIONES EN EL DEPOSITO DE CONUAR Y DEL CAC (Tabla 2-3)**Geometría G1 (colimador 32x7 mm)****Medición de patrón de U308 (CBNM-072-023) ubicando el detector sobre un tambor de 247 Kg de U308 natural**

Tiempo de medición 100s (prueba 2/5.spe)
Tiempo de medición 300 s (000000/000004.spe)
Tiempo de medición 600s (prueba 4.spe)
Tiempo de medición 1800s (CONU-CZT-072-1800.spe)

Mediciones del tambor T499 de U308 natural, en 3 posiciones diferentes

Posición 1 (300s) (000005/-00009.spe)
Posición 2 (300s) (000010/000014.spe)
Posición 3 (300s) (000016/000020.spe)

Medición de dos tambores de UO2 (ULE)

Tambor 72 (245 Kg UO2 0,85%) (300s) (000021/000029.spe)
Tambor 69 (254 Kg UO2 0,85%) (300s) (000030/000034.spe)

Medición de cilindros de UF6 en el depósito del CAC**Geometría G1**

Cilindro 5A con UF6 90% (100s) (BEP84-1-2.spe)
Cilindro 5A con UF6 20% (100s) (NB3256-1/12.spe)
Cilindro 5A con UF6 20% (300s) (NB3256-13.spe)
Cilindro 5A con UF6 0.72% (300s) (N62571/3.spe)
Tambor de UO2 natural (300s) (tambor250-97.spe)

DISCUSION DE LOS RESULTADOS

En la **tabla 1** se muestran los resultados de mediciones repetitivas del patrón de U3O8 CBNM-072 con el sistema MMCA-166-CZT/500s (G1, G2, G3) (ver app.1)) y diferentes tiempos de medición.

El valor de enriquecimiento se calculó con el código NaIGEM (en la tabla se muestran los parámetros de calibración para cada geometría).

En las mediciones con absorbedor de 0,95 mm de Fe, el enriquecimiento fue calculado para una densidad de Fe = 9.8 g/cm³ (ver app.2)

En la columna E_m se muestra el valor medio de cada serie de n mediciones.

En las columnas σE_i y $\sigma E_i\%$ se muestran los valores medio de la desviación standard y la desviación standard relativa, de cada medición aislada, calculada con el código NaIGEM

En las columnas $E_{muestra}$ y $E_{muestra}\%$ se muestran los valores de la desviación standard y la desviación standard relativa de la población de n mediciones.

En la columna E_{media} se muestra la desviación standard de la media ($\sigma E/\sqrt{n}$)

En la columna Bias se muestra el error de la media E_m respecto al valor declarado del patrón.

En las **figuras 2, 3 y 4** se muestran los graficos estadísticos de cada una de las series de mediciones repetitivas, para cada una de las geometrías ensayadas.

El intervalo de $E_m \pm 5\%$ corresponde al valor de ITV 2000 para el UO2 natural.

En la **tabla 2** se muestran los resultados de las mediciones de tambores de UO2 en el depósito de CONUAR con el sistema MMCA-166-CZT/500s-G1, así como también del patrón CBNM-072 posicionado encima de un tambor con 250 Kg de UO2.

Los tambores de UO2 se midieron durante 300s en forma repetitiva y en diferentes posiciones.

El patrón CBNM-072 se midió durante 100-300-600 y 1800s

En la **tabla 3** se muestran los resultados de las mediciones de Cilindros de UF6 en el depósito de Salvaguardias del CAC, con el sistema MMCA-166-CZT/500s-G1, así como también de un tambor de UO2 natural, con tiempos de medición de 100 y 300s.

En la **tabla 4** se comparan los resultados de las mediciones llevadas a cabo por ABACC y OIEA en el depósito de CONUAR, con detectores CZT/500s y NaI. Se muestran los valores medios obtenidos (E_m) así como la incerteza (σE) y la incerteza relativa ($\sigma E\%$), con los detectores calibrados en el laboratorio (ABACC y OIEA) y en el depósito de tambores de CONUAR.

El enriquecimiento fue calculado con el código NaIGEM. Para el detector CZT/s500s se tomó el valor de densidad del Fe medido experimentalmente (9,8 g/cm³) (app.2)

En las **figuras 5 y 6** se muestran las imágenes de ajuste de réplica de espectros, obtenidos con ambos detectores

RESUMEN MEDICIONES DE TAMBORES DE UO2 Y CILINDROS DE UF6

Identif. Muestra	N° Medic	E decl.	t.medic.	Em	σ Em	σ Em	Bias	σ EI	Bias max	Bias mín
	n	% U-235	s	U-235		%	%	%	%	%
CBNM-072	10	0,712	300	0,711	0,016	2,2	-0,1	7	3,5	-3,5
CBNM-072	5	0,712	300	0,710	0,012	1,7	-0,3	7	2,4	-1,8
T-499/U3O8/247 Kg.	5	0,712	300	0,695	0,018	2,5	-2,3	7	1,8	-4,6
T-499/U3O8/247 Kg.	5	0,712	300	0,706	0,015	2,2	-0,9	7	1,7	-3,8
T-499/U3O8/247 Kg.	5	0,712	300	0,714	0,017	2,4	0,3	7	3,9	-2,4
T-72/UO2/245 Kg.	9	0,850	300	0,846	0,022	2,6	-0,5	7	3,9	-4,9
T-69/UO2/254 Kg.	5	0,850	300	0,832	0,017	2,0	-2,1	7	0	-4,7
T-499/U3O8/247 Kg.	1	0,712	100	0,706	0,105	14,9	-0,8	14,9		
CBNM-072	1	0,850	100	0,729	0,093	12,8	2,4	12,8		
CBNM-072	1	0,850	300	0,738	0,041	5,6	3,7	7		
CBNM-072	1	0,850	300	0,718	0,050	7,0	0,9	7		
CBNM-072	1	0,850	600	0,737	0,037	5,0	3,5	5		
CBNM-072	1	0,850	1800	0,714	0,030	4,2	0,3	4		
BEP841-2.spe	1	90	100	93	2,45	2,6	3	2,6		
N6257-1.spe	1	0,712	300	0,69	0,074	10,7	-3	10,7		
N6257-3.spe	1	0,712	300	0,69	0,085	12,3	-3	12,3		
nb3256-2.spe	1	20	100	20,1	0,664	3,3	1	3,3		
nb3256-8.spe	1	20	100	20,2	0,669	3,3	1	3,3		
nb3256-9.spe	1	20	100	19,7	0,646	3,3	-2	3,3		
nb3256-1.spe	1	20	100	19,7	0,624	3,2	-2	3,2		
nb3256-6.spe	1	20	100	20,4	0,655	3,2	2	3,2		
nb3256-13.spe	1	20	300	19	0,527	2,8	-5	2,8		
Tambor250-97.spe	1	0,712	300	0,75	0,063	8,4	5	8,4		

(1) El cilindro nb3256 se midió en diferentes posiciones

(2) Como los cilindros de UF6 contienen muy poco material se despreciaron las medidas que dieron valores anormalmente bajos.

APÉNDICE 1 (Ver figura 1)

- Eficiencia detector NaI-01 Teledyne 2x1" (colimador 40x15 mm) 100%
- Eficiencia detector CZT/500s (10x10x5 mm) (colimador 32x7 mm) (G1)..... 9,7%
- Eficiencia detector CZT/500s (10x10x5 mm) (colimador 24x12 mm) (G2).... 5,0%
- Eficiencia detector CZT/500s (10x10x5 mm) (colimador 24x7 mm) (G3)..... 7,6%

APENDICE 2 (VER TABLAS 5 Y 6)

Se midió el patrón de U3O8 CBNM-072 a través de diferentes espesores de Fe (d_{mm}), con el sistema MMCA-166-CZT/500s-G1-G2-G3. Los valores de enriquecimiento fueron obtenidos utilizando el código NaIGEM.

1. En la columna E_1 se muestran los valores sin corregir por atenuación (Fe thickness = 0)
2. A partir de los valores de E_1 se calculó el coeficiente de atenuación aparente :

$$(\mu_{mm}^{-1}) = (\ln(E_1/E_0))/d_{mm} \quad \text{donde } E_0 = 0.712$$
3. A partir de E_1 y del valor medio del coeficiente de atenuación aparente ($\mu_m = 0.153$), se calculó el enriquecimiento de la muestra para diferentes espesores de Fe (d_{mm}) :

$$E_3 = E_1 \cdot \exp(\mu_m \cdot d_{mm})$$
4. En la columna E_2 se muestran los valores de enriquecimiento obtenidos con espesor de Fe = d mm y densidad 7,7 g/cm³
5. En la columna E_4 se muestran los valores de enriquecimiento obtenidos con espesor de Fe = d mm y densidad 9,8 g/cm³. (7,7. μ_m /0,121)

Espectro	Fe	E_1	μ	E_2	E_3	E_4
Identificación	d (mm)	% U235	mm ⁻¹	% U235	% U235	% U235
G2-072-7200-Fe0	0	0.712	-	0.712	0.712	0.712
G2-072-7200-Fe0.95	0.95	0.631	0.127	0.709	0.713	0.734
G2-072-3600-5mm	5	0.330	0.154	0.617	0.702	0.706
G2-072-3600-6.5mm	6.5	0.269	0.150	0.601	0.718	0.723
G2-072-3600-9mm	9	0.187	0.149	0.566	0.728	0.731
G2-072-3600-12mm	12	-	-	0.520	-	0.730
G3-072-3600-Fe0	0	0.712	-	0.712	0.712	0.712
G3-000299-000398	0.95	0.618	0.149	0.697	0.719	0.720
G3-5mm-3600	5	0.327	0.156	0.617	0.728	0.722
G3-6.5mm-3600	6.5	0.256	0.157	0.583	0.724	0.715
G3-9mm-3600	9	0.170	0.159	0.534	0.718	0.707
G3-12mm-3600	12	0.106	0.159	0.485	0.723	0.702

TABLA 1
MMCA-166-CZT/500S

GEOMETRÍA	File name	Nº Medic	Fe d mm	F/A	Centroid	FWHM	t.medic.	Σ	A	σA	A	σA	Em	σEi	σEmuestra	σEmedia	Bias
		n			Canal	Canales	s	nro cuentas	cps				% U-235	%	%	%	%
G1 (32x7 mm)	000000-000099	100	0	1,57	300,0	11,3	100	4749	1849	142	18,5	1,4	0,720	0,088	12,2	0,030	4,2
	000200-000299	100	0	1,56	300,0	11,3	300	14187	5537	246	18,5	0,8	0,710	0,063	8,9	0,016	2,3
	000100-000199	100	0	1,58	300,1	11,5	600	28402	10988	349	18,3	0,6	0,708	0,052	7,3	0,011	1,6
G2 (24x12 mm)	000000-000099	100	0	1,64	300,2	12,1	300	7633	2902	181,4	9,67	0,60	0,709	0,063	8,9	0,025	3,5
	000113-000128	16	0	1,67	299,5	12,2	300	7616	2861	181,7	9,54	0,61	0,699	0,060	8,6	0,020	2,9
	000129-000228	100	0	1,66	300,1	12,3	600	15227	5735	256,8	9,56	0,43	0,707	0,049	7,0	0,016	2,3
G3 (24x7 mm)	G3-000100-178-279-298	100	0	1,65	299,8	12,8	300	11366	4310	222	14,37	0,74	0,717	0,050	7,0	0,020	2,7
	G3-000179-000278	100	0	1,62	300,1	12,8	600	22711	8665	313	14,44	0,52	0,715	0,041	5,8	0,015	2,1
	G3-000000-000100	100	0	1,61	300,0	12,6	1200	45098	17301	440	14,53	0,01	0,717	0,035	4,9	0,009	1,2

GEOMETRÍA	File name	Nº Medic	Fe d mm	F/A	Centroid	FWHM	t.medic.	6	A	σA	A	σA	Em	σEi	σEmuestra	σEmedia	Bias
		n			Canal	Canales	s	nro cuentas	cps				% U-235	%	%	%	%
G1	9-1000015-19.spe	5	0,95	1,65	300	11,4	300	12880	4868	236	17,8	0,8	0,726	0,073	10,1	0,012	1,7
G2	000229-000278.spe	50	0,95	1,77	299,8	12,3	300	6894	2504	174	8,35	0,58	0,708	0,063	9,1	0,029	4,2
	000279-000381.spe	100	0,95	1,76	300,1	12,3	600	13736	4987	246	8,31	0,41	0,703	0,051	7,5	0,019	2,8
G3	000299-000398.spe	100	0,95	1,73	300,1	13,0	600	20424	7484	299	12,47	0,50	0,712	0,041	5,9	0,013	1,8
Muestra : CBNM-072		ROI 274-316 Ep. Fot : canal 300															

δFe = 9.8 g/cm3

G1	Espectro calibración : 261201-2.spe Coeficiente calibración : $2,163 \cdot 10^{-4} \pm 3,5\%$ Zero : -12 KeV Gain : 0,65371 KeV/canal FWHM (660 KeV) : 0,822 KeV
G2	Espectro calibración : G2-072-3600.spe Coeficiente calibración : $5,01 \cdot 10^{-4} \pm 4,9\%$ Zero : -12.69 KeV Gain : 0,65731 KeV/canal FWHM : 0,988 %
G3	Espectro calibración : G3-072-3600.spe Coeficiente calibración : $2,784 \cdot 10^{-4} \pm 3,6\%$ Zero : -12.69 KeV Gain : 0,65729 KeV/canal FWHM : 1,196 %

Em : media de n mediciones

σEi : valor medio de la Incerteza standard de una medida(*)

σEi% : valor medio de la Incerteza standard relativa de una medida (*)

σEmuestra : Desviacion standard de la poblacion de la muestra

σEmuestra% : Desviacion standard relativa de la poblacion de la muestra (CV)

σEmedia : Desviacion standard de la media

Bias : error de la media respecto al valor declarado

(*) Valor obtenido a traves del codigo NaIGEM

ITV (0.7119) = 5%

TABLA 2

MEDICIONES EN EL DEPOSITO DE CONUAR

MUESTRA		n° determ	F/A	Centroid	FWHM	Σ	A	σA	t medic.	A	σA	Espesor	Mater.	Em		σEt	σEm	σEm	Bias
Identif.	% U-235													n	Canal				
CBS-0728-LAB ABACC	0,712	10	1,65	298,7	12,2	13771	5211	244	300	17,37	0,81	2	Al	0,711	0,050	7,0	0,016	2,3	-0,1
CBNM-072-CONUAR	0,712	5	1,77	299,7	12,2	14961	5402	257	300	18,01	0,86	2	Al	0,710	0,050	7,0	0,012	1,7	-0,3
T-499/U308/247 Kg.	0,712	5	2,65	299,8	12,9	17949	4927	296	300	18,76	1,00	1,4	Fe	0,710	0,059	8,5	0,018	2,5	-0,3
T-499/U308/247 Kg.	0,712	5	3,10	300,1	11,7	18051	4402	302	300	16,76	1,02	1,4	Fe	0,720	0,055	7,8	0,015	2,2	1,1
T-499/U308/247 Kg.	0,712	5	2,75	300,1	12,1	18011	4809	298	300	18,31	1,01	1,4	Fe	0,728	0,057	8,0	0,017	2,4	2,3
T-72/UO2/245 Kg.	0,850	9	2,63	299,7	12,6	20716	5736	318	300	21,84	1,07	1,6	Fe	0,863	0,063	7,4	0,022	2,6	1,6
T-69/UO2/254 Kg.	0,850	5	2,72	300,0	12,0	21249	5722	323	300	21,79	1,09	1,4	Fe	0,849	0,058	7,0	0,017	2,0	-0,1
T-499/U308/247 Kg.	0,712	1	2,54	299,4	11,0	6129	1732	172	100	19,79	1,74	1,4	Fe	0,720	0,11	14,9	0,105	14,9	1,1
CBNM-072-CONUAR	0,712	1	1,50	299,6	11,8	5025	2010	145	100	20,10	1,45	2	Al	0,729	0,09	12,8	0,093	12,8	2,4
CBNM-072-CONUAR	0,712	1	1,57	298,8	12,4	13893	5406	243	300	18,02	0,81	2	Al	0,738	0,04	5,6	0,041	5,6	3,7
CBNM-072-CONUAR	0,712	1	1,84	298,9	11,4	15084	5307	260	300	17,69	0,87	2	Al	0,718	0,05	7,0	0,05	7,0	0,9
CBNM-072-CONUAR	0,712	1	1,80	299,1	12,3	30192	10777	366	600	17,96	0,61	2	Al	0,737	0,04	5,0	0,037	5,0	3,5
CBNM-072-CONUAR	0,712	1	2,08	300,6	12,5	98317	31903	674	1800	17,72	0,37	2	Al	0,714	0,03	4,2	0,03	4,2	0,3

Epic. Fotor 300

ROI 274-316

densidad Fe : 10 g/cm3

ROI 274-316

Epic. Foto 300

densidad Fe : 10 g/cm³

Em : Valor medio de n mediciones

σ_{Ei} : valor medio de la incerteza standard de una medida (calculada con el codigo NaI(GEM))

$\sigma_{Ei}\%$: valor medio de la incerteza standard relativa de una medida (calculada con el codigo NaI(GEM))

σ_{Em} : Desviacion standard de la media Em

$\sigma_{Em}\%$: Desviacion standard relativa de la media Em

Bias : error de la media respecto al valor declarado

Factor : 0,000196

NaI(GEM) Zero : -12 KeV

Gain : 0,65375 KeV/canal

FWHM : 1,151%

TABLA 3

MEDICIONES EN EL DEPOSITO DEL CAC

File name	E.Decl % U-235	nº determ n	F/A	Centroid Canal	FWHM Canales	Σ	A nro cuentas	σA nro cuentas	t medic. s	A cps	σA cps	Espesor mm	Mater.	Em % U-235	σEi %	σEr %	σEm %	Bias %
BEP841-2.spe	90	1	0,44	300,0	12,7	97788	68010	507	100	680,10	5,07	6,5	Monel	93	2,45	2,6	2,45	2,6
N6257-1.spe	0,712	1	4,38	299,4	13,0	8149	1516	209	300	5,05	0,70	6,5	Monel	0,69	0,07	10,7	0,07	10,7
N6257-3.spe	0,712	1	4,44	300,1	12,1	8107	1490	208	300	4,97	0,69	6,5	Monel	0,69	0,09	12,3	0,09	12,3
nb3256-2.spe	20	1	0,60	299,7	12,7	19666	12308	243	100	123,08	2,43	7,2	Monel	20,1	0,66	3,3	0,66	3,3
nb3256-8.spe	20	1	0,52	299,7	12,8	23171	15243	256	100	152,43	2,56	6,2	Monel	20,2	0,67	3,3	0,67	3,3
nb3256-9.spe	20	1	0,57	299,9	13,5	23041	14661	260	100	146,61	2,60	6,2	Monel	19,7	0,65	3,3	0,65	3,3
nb3256-1.spe	20	1	0,61	299,4	13,3	19288	11962	242	100	119,62	2,42	7,2	Monel	19,7	0,62	3,2	0,62	3,2
nb3256-6.spe	20	1	0,65	299,4	13,1	17972	10882	236	100	108,82	2,36	7,7	Monel	20,4	0,66	3,2	0,66	3,2
nb3256-13.spe	20	1	0,52	300,0	12,8	65372	43023	430	300	143,41	1,43	6,2	Monel	19	0,53	2,8	0,53	2,8
Tambor250-97.spe	0,712	1	2,75	300,6	11,4	18228	4866	300	300	16,22	1,00	1,4	Fe	0,75	0,06	8,4	0,06	8,4

Tambor 250-97.spe : tambor de UO2 medido en el deposito del CAC

ROI 274-316

densidad monel : 12 g/cm³

Em : Valor medio de n mediciones

σEi : valor medio de la Incerteza standard de una medida (calculada con el codigo NaIGEM)

σEi % : valor medio de la Incerteza standard relativa de una medida (calculada con el codigo NaIGEM)

σEm : Desviacion standard de la media Em

σEm % : Desviacion standard relativa de la media Em

Bias : error de la media respecto al valor declarado

Factor : 0,000196

NaIGEM Zero : -12 KeV

Gain : 0,65375 KeV/canal

FWHM : 1,151%

Factor : 0,000196

NaIGEM Zero : -12 KeV

Gain : 0,65375 KeV/canal

FWHM : 1,151%

MEDICIONES DE TAMBORES DE UO2 EN EL DEPOSITO DE CONUAR CON NaI Y CZT/500s

TABLA 4

DETECTOR	File name	Identif. Muestra	Nº Medic	E decl.		F/A	Centroid	FWHM	t.medic.	CONU1				CONU2					
				n	% U-235					Em	σEt	σEm	Bias	Em	σEt	σEm	Bias		
							Canal	Canales	s		% U-235	%	%	%	%	% U-23	%	%	%
CZT/500S	104021/104030	CBNM-072	10	0,712	1,65		298,7	12,2	300		0,016	7,1	2,2	-0,1	0,713	0,016	7,1	2,3	0,1
	104031/104040	CBNM-072	10	0,712	1,70		299,9	12,7	300		0,015	6,6	2,0	2,3	0,731	0,015	6,6	2,1	2,7
	000000/000004	CBNM-072	5	0,712	1,77		298,7	12,2	300		0,012	7,0	1,7	-0,3	0,711	0,011	7,0	1,5	-0,1
	prueba2.spe	CBNM-072	1	0,712	1,50		299,6	11,8	100		0,093	12,8	12,8	2,4	0,733	0,096	13,1	13,1	3,0
	prueba1.spe	CBNM-072	1	0,712	1,57		298,8	12,4	300		0,041	5,6	5,6	3,7	0,743	0,044	5,9	5,9	4,4
	prueba3.spe	CBNM-072	1	0,712	1,84		298,9	11,4	300		0,050	7,0	7,0	0,9	0,726	0,051	7,0	7,0	2,0
	prueba4.spe	CBNM-072	1	0,712	1,80		299,1	12,3	600		0,037	5,0	5,0	3,5	0,734	0,043	5,9	5,9	3,1
	CONU-CZT-072-1800.spe	CBNM-072	1	0,712	2,08		300,6	12,5	1800		0,030	4,2	4,2	0,3	0,712	0,034	4,8	4,8	0,0
CZT/500S	prueba5.spe	T-499/U308/247 Kg.	1	0,712	2,54		299,4	11,0	100		0,105	14,9	14,9	1,1	0,719	0,109	15,5	15,5	1,0
	000005/000009	T-499/U308/247 Kg.	5	0,712	2,65		299,8	12,9	300		0,018	8,5	2,5	-0,3	0,717	0,021	4,0	2,5	0,8
	000010/000014	T-499/U308/247 Kg.	5	0,712	3,10		300,1	11,7	300		0,015	7,9	2,2	1,1	0,725	0,015	4,0	2,2	1,8
	000016/000020	T-499/U308/247 Kg.	5	0,712	2,75		300,1	12,1	300		0,017	8,0	2,4	2,3	0,734	0,019	4,0	2,4	3,1
	000021/000029	T-72/UO2/245 Kg.	9	0,850	2,63		299,7	12,6	300		0,022	7,4	2,6	1,5	0,870	0,022	4,0	2,6	2,3
	000030/000034	T-69/UO2/254 Kg.	5	0,850	2,72		300,0	12,0	300		0,017	7,0	2,0	-0,1	0,853	0,014	4,0	2,0	0,4
	OIEA-NaI/G8029048	DRUM285A/90B	18	0,711			300				0,017	2,5		-1,2	0,706	0,016	2,3		-0,7
	OIEA-NaGI8029004	RAR1/20	20	0,711			300				0,033	4,9		-5,5	0,703	0,036	5,1		-1,1
NaI01	OIEA-NaGI8029004	DRUM73A/87B1704	14	0,711			300				0,019	2,9		-7,4	0,706	0,02	2,8		-0,7
	T-75-35.spe	CONUAR 270401	1	0,712	5,6		299,1	30,8	300		0,02	2,0	2,0	2,0	0,729	0,015	2	2,0	2,4
	T-75-36.spe	CONUAR 270402	1	0,712	6,4		299,3	28,4	300		0,01	2,1	2,1	-3,1	0,698	0,015	2,1	2,1	-2,0
	T-75-37.spe	CONUAR 270403	1	0,712	6		299,3	29,4	300		0,01	2,0	2,0	-3,1	0,695	0,015	2,2	2,0	-2,4
	T-75-38.spe	CONUAR 270404	1	0,712	6,1		298,9	27,9	300		0,02	2,1	2,1	-1,0	0,711	0,014	2	2,1	-0,1
	ram_lb_21.spe	CONUAR 270601-L MELO	3	0,712	7,2		314,3	28,2	300		0,01	1,8	2,3	-3,5	0,733	0,020	2,74	2,3	2,9
	ram_lb184.spe	CONUAR 270601-L MELO	3	0,712	7,4		313,5	28,7	300		0,014	2,0	2,3	-1,7	0,712	0,016	2,18	2,3	0,0
	rar_lambor10801.spe	CONUAR 270601-L MELO	1	0,712	6,8		313,8	26,1	300		0,01	1,9	1,9	-6,0	0,713	0,014	1,9	1,9	0,1
NaI01	rar_lambor10802.spe	CONUAR 270601-L MELO	1	0,712	6,7		313,6	27,4	300		0,01	1,9	1,9	-3,1	0,718	0,014	1,9	1,9	0,8
	rar_lambor10803.spe	CONUAR 270601-L MELO	2	0,712	8,7		313,5	28,9	300		0,014	2,0	3,1	-3,8	0,728	0,021	2,9	3,1	2,2

CONU1 : Detector calibrado en el laboratorio de ABACC y OIEA

CONU2 : Detector calibrado en el deposito de CONUAR

σ_{Et} : Valor medio de la incerteza standard de una medicion aislada calculada con el codigo NaIGEM

σ_{Em} : Valor medio de la incerteza standard relativa de una medicion aislada calculada con el codigo NaIGEM

TABLA 5
COEFICIENTE DE ATENUACION LINEAL APARENTE DEL Fe
(GEOMETRIA G1, G2, G3)

GEOMETRÍA	File name	n° medic	Fe d mm	F/A	Centroid Canal	FWHM Canales	t medic. s	A	σA	A	σA	E1	E2	E3	E4	μ _l mm-1	μ ₂ mm-1
G1 (32x7 mm) (9,7%) CBNM-072	281201-1.spe	1	0	0,46	300,1	12,7	1800	296120	202874	892	112,7	0,50	4,464	4,468	-7,7	0,15	-9,8
	281201-2.spe	1	1,25	0,51	300,0	12,5	1800	252209	166730	843	92,63	0,47	3,686	4,338	4,502	4,554	0,157
	281201-3.spe	1	1,25(*)	0,45	300,0	12,7	1800	293648	202918	883	112,7	0,491	4,465	4,471			0,153
	281201-4.spe	1	5	0,74	300,1	12,6	1800	152189	87684	706	48,71	0,39	2,002	3,813	4,456	4,618	0,168
	281201-5.spe	1	5(*)	0,44	300,0	12,4	1800	283897	197521	864	109,7	0,48	4,339	4,353			0,160
	281201-6.spe	1	9	0,97	299,7	13,2	1800	87428	44353	564	24,64	0,31	1,022	3,235	4,314	4,554	0,164
	281201-7.spe	1	9(*)	0,43	300,1	12,3	1800	253930	177008	816	98,3	0,453	3,873	3,884			0,164
	281201-8.spe	1	12	1,25	299,7	13,1	1800	57917	25748	480	14,30	0,27	0,607	2,806	4,140	4,421	0,172
	281201-9.spe	1	12(*)	0,44	300,1	12,5	1800	228016	153727	774	88,2	0,43	3,474	3,488			0,166
G2 (24x12 mm) (5%) CBNM-072	G2-072-3600.spe	1	0	1,8	299,6	11,9	3600	77854	28237	586	7,84	0,16	0,712	0,712	0,712	0,712	0,161
	0000229-000278.spe	50	0,95	1,77	299,8	12,3	300	6894	2504	174	8,35	0,58	0,620	0,696	0,722	0,721	0,146
	G2-072-3600-5mm.spe	1	5	2,8	299,2	11,8	3600	47063	12367	483	3,44	0,13	0,330	0,617	0,734	0,706	0,154
	G2-072-3600-6.5mm.spe	1	6,5	2,9	299,2	12,5	3600	40667	10373	451	2,88	0,13	0,269	0,601	0,761	0,723	0,150
	G2-072-3600-9mm.spe	1	9	3,6	299,5	11,4	3600	31882	7006	406	1,95	0,11	0,187	0,566	0,769	0,731	0,149
	G2-072-3600-12mm.spe	1	12	4,1	299,2	11,2	3600	23404	4802	352	1,28	0,10	0,12	0,52	0,73	0,73	0,151
	000129-000228	100	0	1,7	300,1	12,3	600	15227	5735	257	9,56	0,43	0,712	0,707	0,712	0,712	0,147
	000279-000381	100	0,95	1,8	300,1	12,3	600	13736	4387	246	8,31	0,41	0,639	0,689	0,744	0,737	0,142
																	0,154
G3 (24x7 mm) (7,5%) CBNM-072	G3-072-3600.spe	1	0	1,65	299,6	12,3	3600	136204	51413	769	14,28	0,21	0,712	0,712	0,712	0,712	0,142
	G3-000299-000398.spe	100	0,95	1,73	300,1	13,0	600	20424	7484	299	12,47	0,50	0,618	0,697	0,719	0,720	0,149
	G3-5mm-3600.spe	1	5	2,58	299,5	13,6	3600	81471	22738	630	6,32	0,18	0,327	0,617	0,728	0,722	0,163
	G3-6.5mm-3600.spe	1	6,5	2,87	299,1	13,1	3600	69466	17941	588	4,98	0,16	0,256	0,583	0,724	0,716	0,162
	G3-9mm-3600.spe	1	9	3,52	299,6	12,4	3600	54304	12024	530	3,34	0,15	0,170	0,534	0,718	0,707	0,161
	G3-12mm-3600.spe	1	12	4,83	299,0	13,8	3600	39904	6848	466	1,90	0,13	0,106	0,723	0,702	0,702	0,159
	prueba 1.spe	1	0	0,45	300,040	13,190	1800	247121	170705	811	94,836	0,451	4,463	4,463	4,463	4,463	
	prueba 3.spe	1	5	0,73	299,606	12,695	1200	86757	50175	532	41,813	0,443	2,095	3,854	4,563	4,571	0,151
	prueba 2.spe	1	6,4	0,79	299,619	12,534	1200	71002	39687	489	33,073	0,408	1,633	3,575	4,547	4,444	0,157
G3 Patrón U308 12 cm diametro	prueba 4.spe	1	9	0,93	299,829	13,741	3600	155595	80415	748	22,338	0,208	1,115	3,343	4,706	4,532	0,154
	prueba 5.spe	1	12	1,12	300,093	13,578	7200	211907	100010	901	13,39	0,125	0,7	3,021	4,775	4,827	0,164
	prueba 6.spe	1	2,06	0,55	300,089	13,689	1800	186722	120292	737	66,829	0,409	3,198	4,136	4,447	4,44	0,152
	prueba 7.spe	1	3,09	0,59	300,128	13,462	1800	164917	103841	702	57,689	0,39	2,736	4,041	4,486	4,493	0,158
	prueba 8.spe	1	4,12	0,65	299,811	13,640	1800	145492	88399	672	49,111	0,373	2,351	3,949	4,545	4,546	0,156
	prueba 9.spe	1	5,15	0,68	300,247	13,394	3600	253589	150534	898	41,815	0,249	1,989	3,8	4,534	4,529	0,159
	prueba 10.spe	1	6,18	0,75	300,012	13,061	3600	217494	124361	847	34,545	0,235	1,676	3,637	4,505	4,487	0,157
	prueba 11.spe	1	7,21	0,80	300,039	13,013	3600	189993	104971	800	29,159	0,222	1,431	3,515	4,536	4,488	0,158
	prueba 12.spe	1	8,24	0,85	300,007	13,291	3600	150177	81286	721	22,579	0,2	1,106	3,08	4,130	4,07	0,169
	prueba 13.spe	1	11,33	1,00	299,709	13,462	3600	112979	58450	645	15,681	0,179	0,778	3,174	4,767	4,65	0,154
	prueba 14.spe	1	12,36	1,11	299,863	13,963	3600	89203	42376	583	11,771	0,162	0,577	2,674	4,169	4,055	0,166
	prueba 15.spe	1	13,39	1,14	300,864	13,980	3600	77949	35492	548	10,137	0,152	0,484	2,554	4,124	4,009	0,167
																	0,168
																	0,163
																	0,158
G3 Patrón U308 12 cm diametro	prueba 19.spe	1	0	1,7	299,7	12,5	3600	160522	59617	838	16,56	0,233	0,712	0,712	0,712	0,712	0,158
	prueba 30.spe	1	0	1,7	300,0	12,9	3600	160299	59098	839	16,42	0,233	0,714	0,714	0,714	0,714	0,158
	prueba 20.spe	1	0,95	1,9	299,6	12,3	3600	136925	47103	787	13,08	0,219	0,594	0,669	0,692	0,696	0,191
	prueba 21.spe	1	1,28	2,0	299,6	12,8	3600	133432	44245	782	12,29	0,217	0,562	0,660	0,690	0,695	0,168
	prueba 25.spe	1	1,28	1,9	300,0	12,9	7200	266583	90992	1100	12,64	0,163	0,553	0,657	0,691	0,692	0,185
	prueba 29.spe	1	1,42	1,9	300,2	13,2	3600	133747	45613	779	12,67	0,216	0,559	0,668	0,702	0,707	0,170
	prueba 22.spe	1	2,23	2,2	299,7	12,3	3600	120191	38147	749	10,60	0,208	0,481	0,636	0,687	0,696	0,163
	prueba 26.spe	1	2,7	2,3	300,0	13,1	7200	235689	72380	1055	10,05	0,147	0,455	0,633	0,701	0,706	0,154
	prueba 27.spe	1	4,18	2,6	299,7	12,3	4000	115265	32162	749	8,04	0,187	0,371	0,821	0,724	0,734	0,166
G2 Patrón U308 12 cm diametro	prueba 28.spe	1	5,13	2,7	300,066	13,021	36000	937192	254400	2146	7,07	0,060	0,318	0,802	0,723	0,736	0,150
	prueba 24.spe	1	0	1,9	300,2	12,7	3600	96567	33323	661	9,26	0,18	0,712	0,712	0,712	0,712	0,167
	prueba 23.spe	1	3,51	2,3	300,1	13,1	36000	597486	180429	1584	5,01	0,47	0,398	0,601	0,723	0,712	0,175
																	0,155
(*) Distancia superficie colimador/muestra (sin absorbedor Fe)																	

E0 = 0,712 / 4,4623

G2-G3 μ₂ (mm-1) = (Ln(E0/E1))/dmm
G2 μ₁ (mm-1) = (Ln(7,84/E1))/dmm

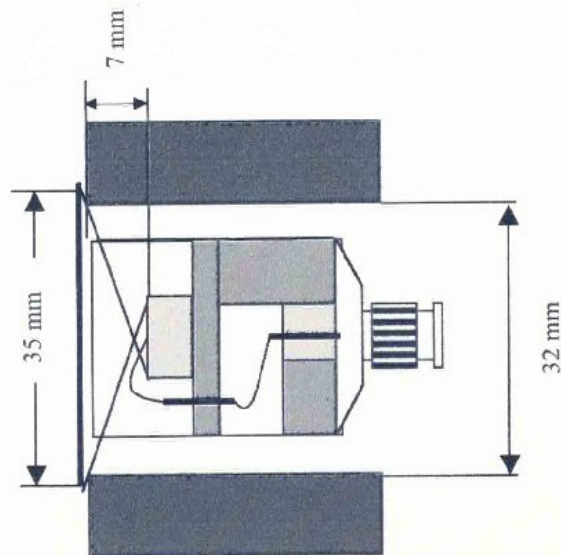
Espesor Fe = 0 mm
Espesor Fe = d mm, δFe = 7,7 g/cm3
E2 = Espectro de Fe
E3 = Espectro de Fe

E1 E3

(*) Distancia superficie colimador/muestra (sin absorbedor Fe)

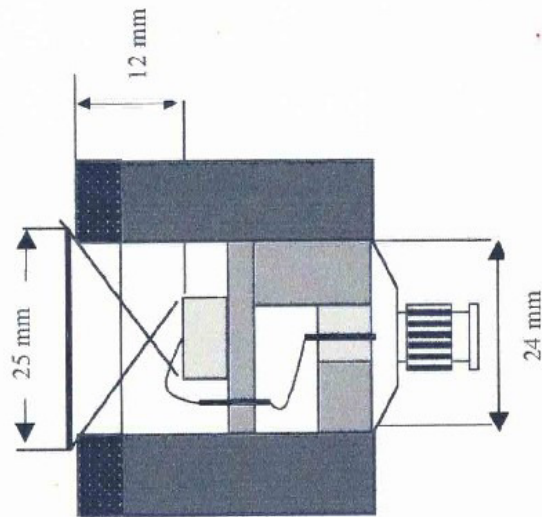
FIGURA 1

**GEOMETRIA G1
(32X7 mm)**



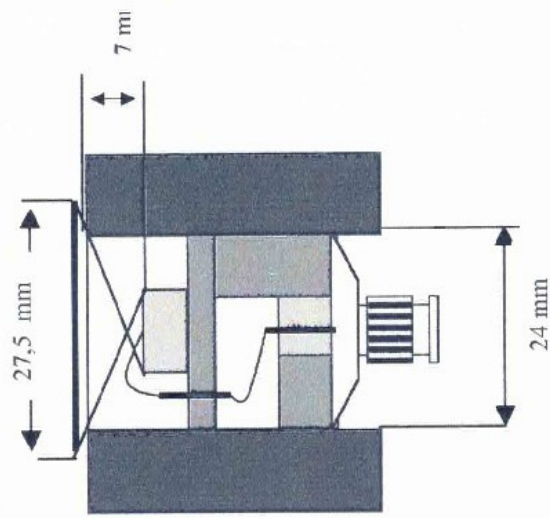
Espectro calibración : CZT-072.spe
 Coeficiente calibración : $2,241 \cdot 10^{-4} \pm 2,8 \%$
 Zero : -12 KeV
 Gain : 0.65408 KeV/canal
 FWHM : 1,22 %
 Eficiencia 9,7%

**GEOMETRIA G2
(24X12 mm)**



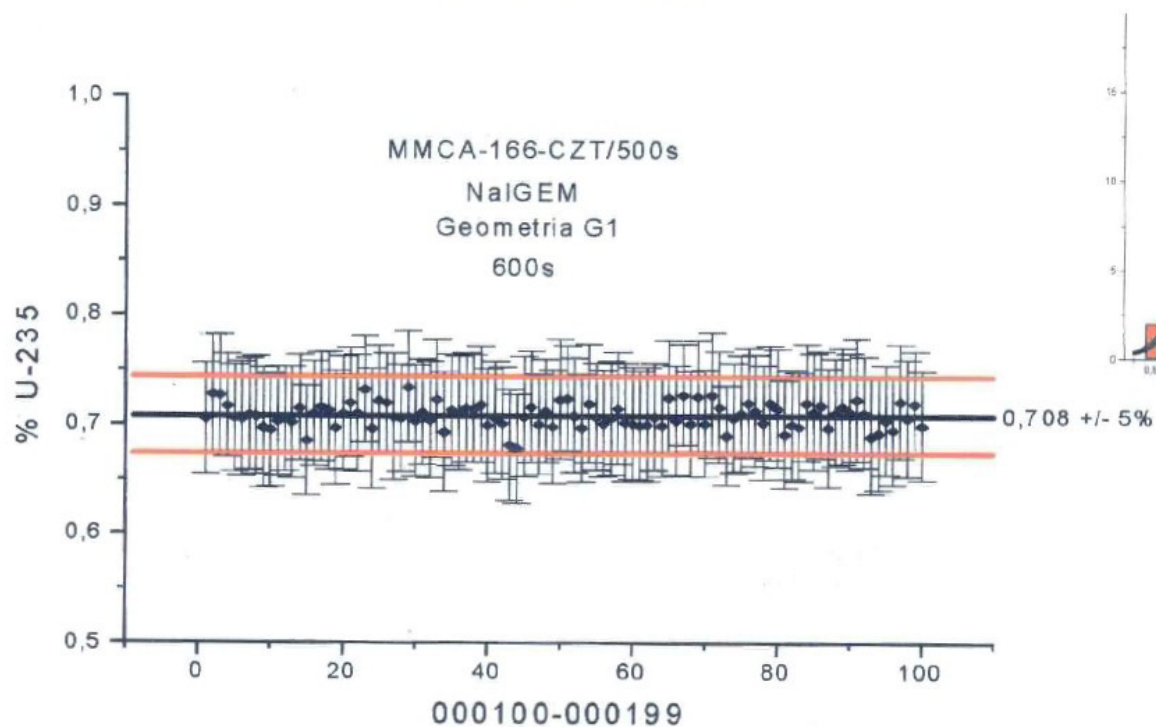
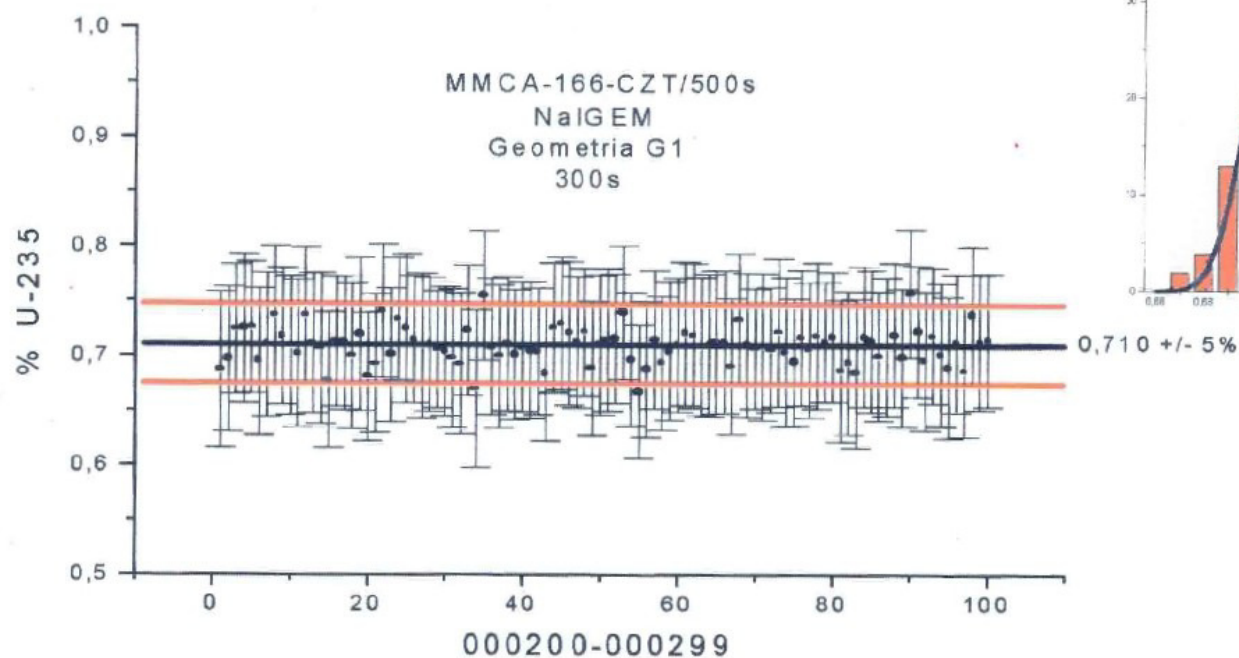
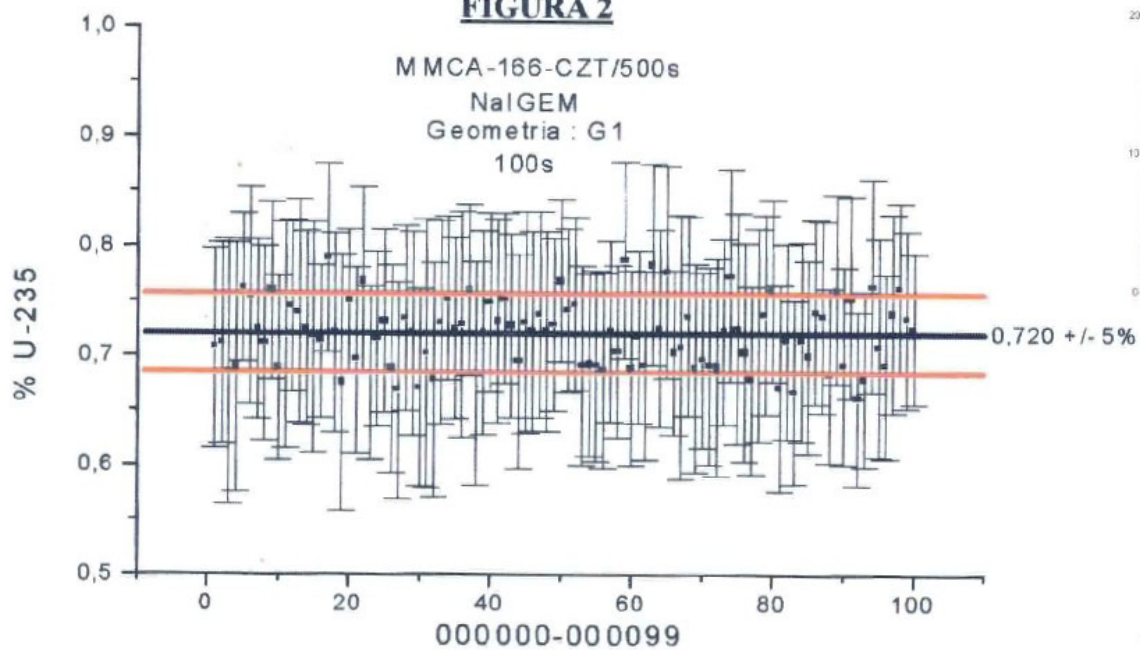
Espectro calibración : G2-072-3600
 Coeficiente calibración : $5,01 \cdot 10^{-4} \pm 4,9 \%$
 Zero : -12.69 KeV
 Gain : 0.65731 KeV/canal
 FWHM : 0.988 %
 Eficiencia 5,0%

**GEOMETRIA G3
(24x7 mm)**



Espectro calibración : G3-072-3600
 Coeficiente calibración : $2,784 \cdot 10^{-4} \pm 3,6 \%$
 Zero : -12.69 KeV
 Gain : 0.65729 KeV/canal
 FWHM : 1,196 %
 Eficiencia 7,6%

FIGURA 2



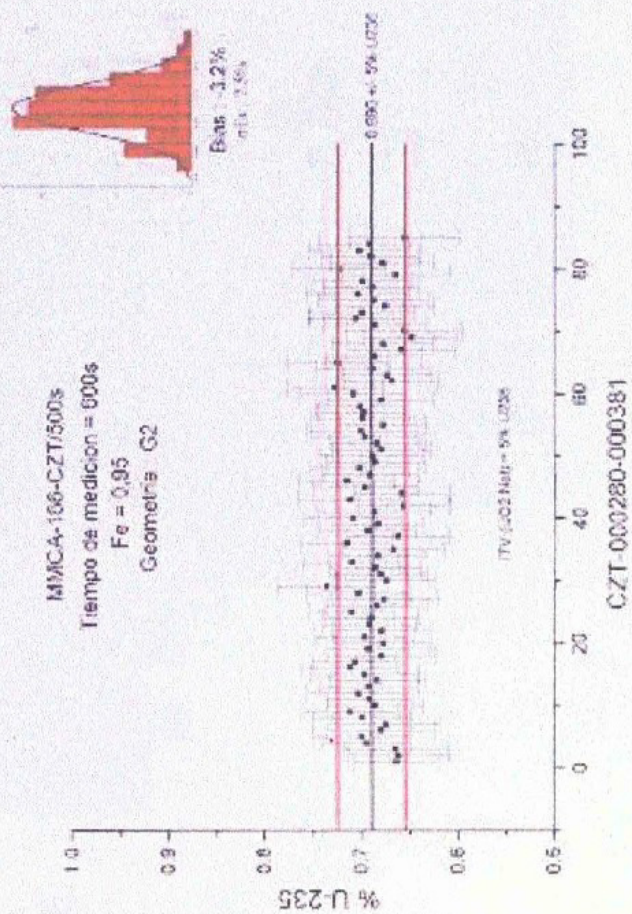
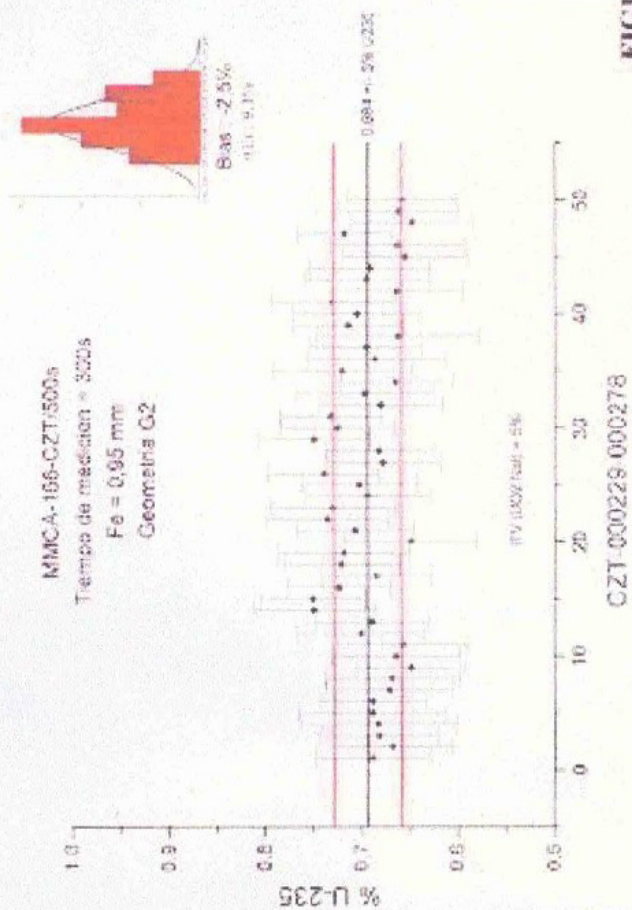
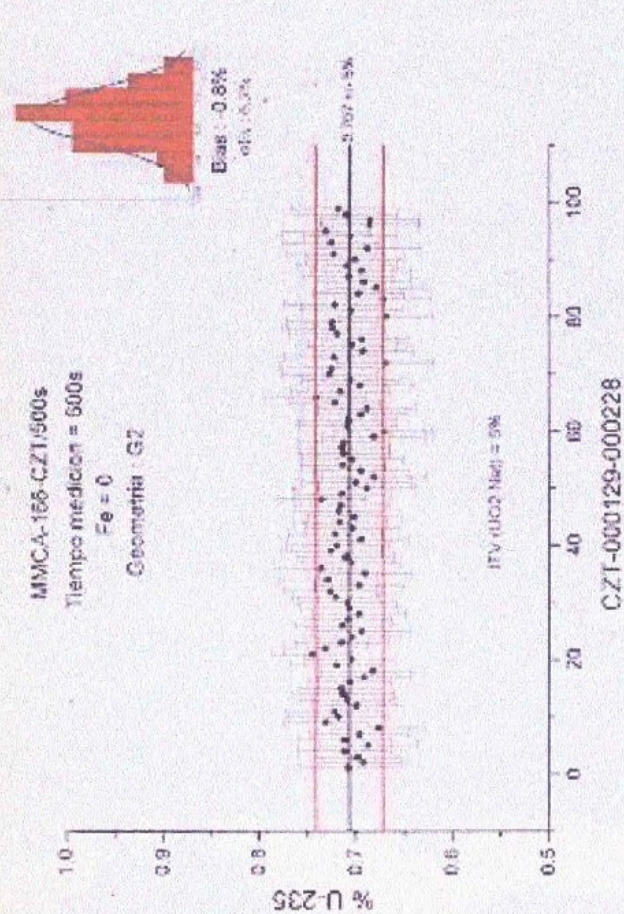
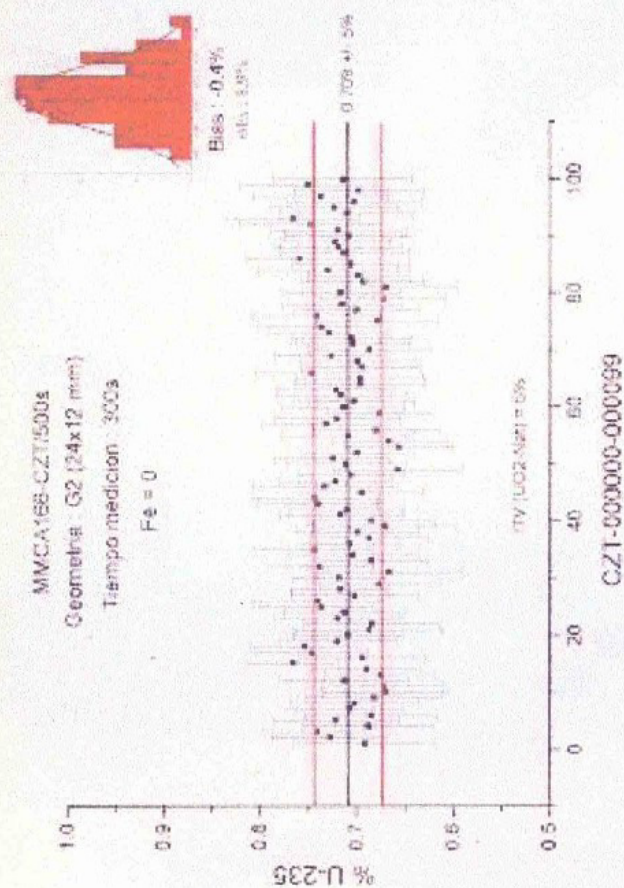


FIGURA 3

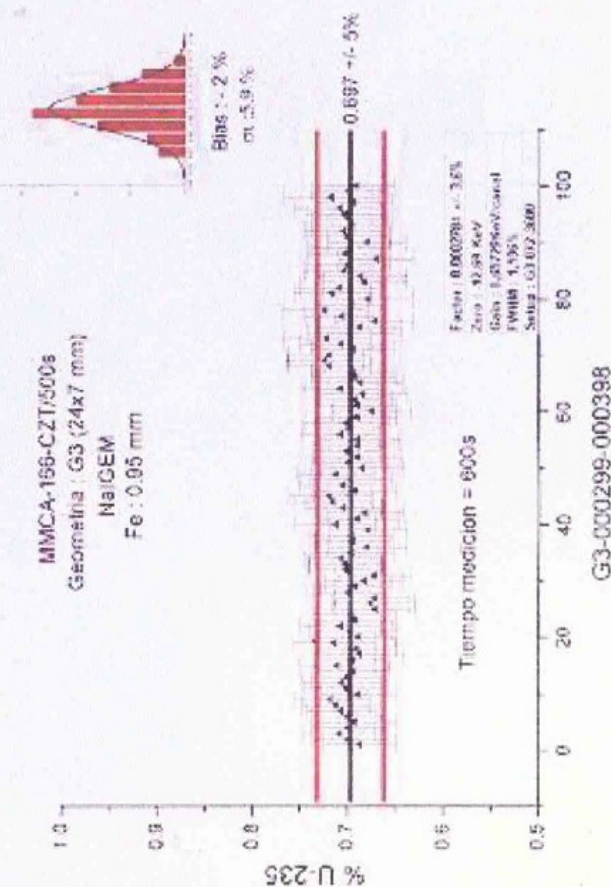
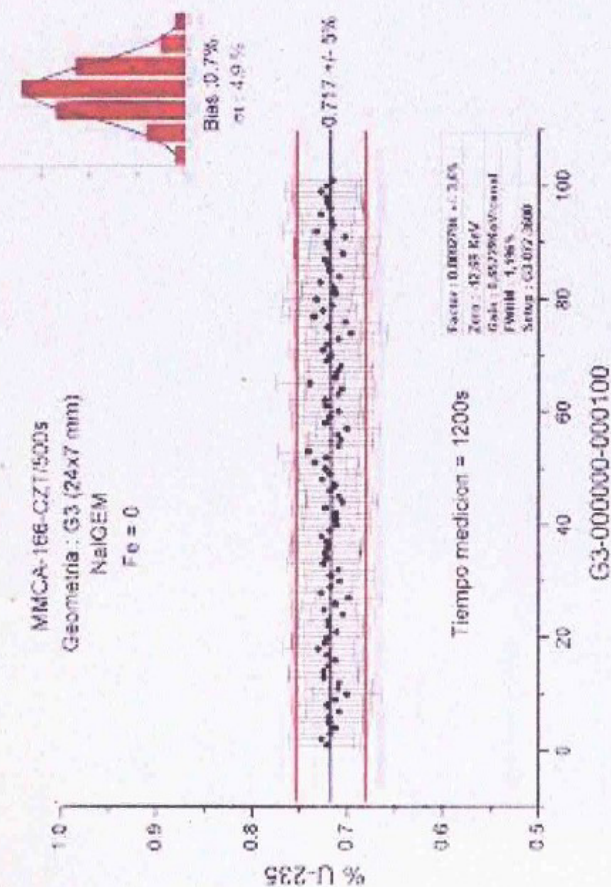
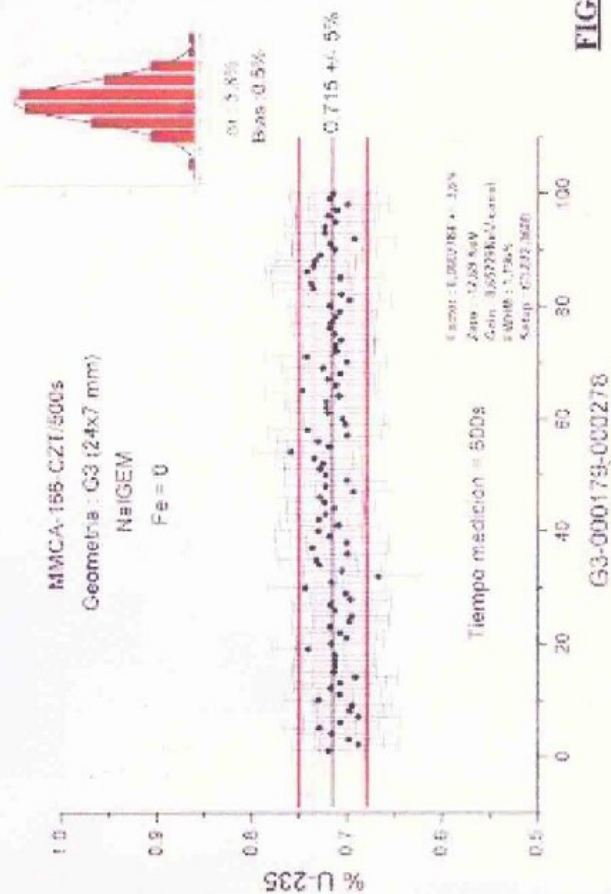
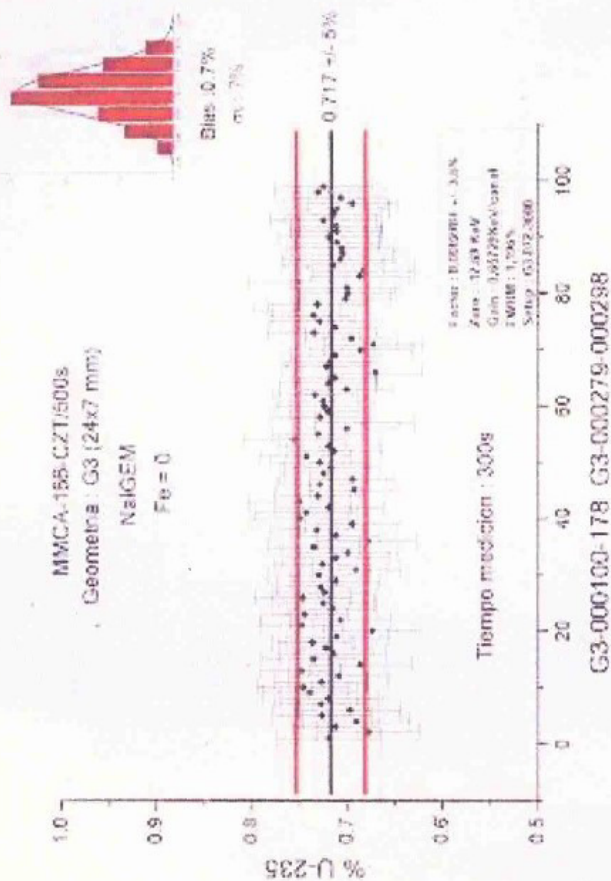


FIGURA 4

