



MX0600267

202
g.1

MODELOS DE REGRESION EN LA DETERMINACION DE
LA DOSIS ABSORVIDA CON CAMARA DE EXTRAPOLA-
CION PARA APLICADORES OFTALMOLOGICOS

"MODELOS DE REGRESION EN LA DETERMINACION
DE LA DOSIS ABSORVIDA CON CAMARA DE EX-
TRAPOLACION PARA APLICADORES OFTALMOLOGI-
COS"

Centro Nuclear de México, a 12 de junio de 1992.

Fís. Víctor M. Tovar M.
 Jefe de la Unidad C.M.R.I.
 P R E S E N T E.:

Por este medio nos permitimos informar a Ud. que la Solicitud de Servicio con Folio 91.3.8 y fecha 19/08/91, dirigida a la Gerencia de Informática (copia adjunta) con la descripción: "Análisis estadístico de datos correspondientes a curvas de extrapolación de aplicadores oftalmológicos series 1277 y 1245 (4 juegos de datos, tamaño de muestra n=9, para cada juego)"; ha sido concluida con esta fecha.

Adjuntamos a la presente el Informe Técnico (DSICGI-06-92) a veintidos hojas útiles, titulado.:

"MODELOS DE REGRESION EN LA DETERMINACION DE LA DOSIS ABSORVIDA CON CAMARA DE EXTRAPOLACION PARA APLICADORES OFTALMOLOGICOS"

correspondiente a dicha solicitud de servicio.

Dada la originalidad y la calidad técnico-científica del presente trabajo, comunicamos asimismo a Ud., que estamos preparando en base al mismo, un artículo, con el objeto de que sea publicado en la Revista Norteamericana Health Physics.

A T E N T A M E N T E

FIS. JOSE TRINIDAD ALVAREZ R.
 DEPTO. DE METR. DE RAD. IONI.
 GERENCIA DE SEG. RADIOLOGICA.

M. EN I. JOSE RICARDO MORALES P.
 DEPTO. DE SOPORTE TECNICO.
 GERENCIA DE INFORMATICA.

c.c.p. Dr. Arturo Cervini L. Gte. de Seguridad Radiológica.
 c.c.p. Ing. Víctor M. Pérez P. Gte. de Informática.
 c.c.p. Prof. Pedro Zamora. Gte. del C.I.D.N.
 c.c.p. Interesados.

**GERENCIA DE INFORMATICA
SOLICITUD DE SERVICIO**

GI - 001

Folio: 91.3.8
Clave prog. trabajo: _____

ININ

Para ser llenado por el solicitante

Nombre: JOSE T. ALVADEZ ROMERO Clave: 4248 Ext.: 484
Firma: [Firma] Clave Proyecto: _____
Adscripción: DEPTO. METROLOGIA DE RAD. IONIZANTES Clave Adscripción: _____

Descripción del Servicio:

ANALISIS ESTADISTICO DE DATOS CORRESPONDIENTES A
CURVAS DE EXTRAPOLACION DE APLICADORES OFTALMOLÓGICOS
SERIES: 1277 y 1245 (4 JUEGOS DE DATOS, TAMAÑO
DE MUESTRA $n=9$, PARA CADA JUEGO)

Documentación Fuente Anexa:

Fecha en que se requiere el servicio: 19/08/91

4 Juegos de datos ($n=9$, para cada juego)
con valores apareados (X, Y).

[Firma]
Vo. Bo. del Gerente

Para ser llenado por la Gerencia de Informática

Recibió la Solicitud

Nombre: A. VILLARREAL M. Fecha: 26/08/91
Firma: [Firma]

Autorizó la atención del servicio

Nombre: A. VILLARREAL M. Fecha: 26/08/91
Firma: [Firma]

Adscripción que atenderá el servicio: EPO. MATEMATICAS Clave: _____
RICARDO MORALES P.

Fecha estimada de entrega: 1/1/ Fecha real de terminación: 12/06/92

Entregó el servicio:

Nombre: Ricardo Morales Firma: [Firma]

Si los productos obtenidos de este servicio, son publicados parcial o totalmente como parte de otro trabajo, será obligatorio otorgar los créditos correspondientes al personal de la Gerencia de Informática que atendió la solicitud.

Recibió el Servicio

Nombre: J. ALVADEZ ROMERO Fecha: 12/06/92
Firma: [Firma]

Documentación Entregada:

Observaciones:

Informe Técnico completo.
DSIC 61-06/92
[Firma]

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES NUCLEARES

DIRECCION DE SISTEMAS DE INFORMACION Y CAPACITACION

GERENCIA DE INFORMATICA

DEPARTAMENTO DE SOPORTE TECNICO

PROYECTO 13010040

DIRECCION DE SERVICIOS TECNICOS

GERENCIA DE SEGURIDAD RADIOLOGICA

DEPARTAMENTO DE METROLOGIA DE RADIACIONES IONIZANTES

PROYECTO 120230

INFORME TECNICO: DSICGI-06-92

"MODELOS DE REGRESION EN LA DETERMINACION DE LA DOSIS ABSORBIDA
CON
CAMARA DE EXTRAPOLACION PARA APLICADORES OFTALMOLOGICOS"

FIS. JOSE T. ALVAREZ ROMERO.
Depto. De Metrología de Rad. Ionizantes. ININ
Apartado Postal 011601141, México.

M. I. J. RICARDO MORALES PAYAN.
Depto. De Soporte Técnico, Gcia. De Informática. ININ.
Centro Nuclear de México.

Junio de 1992.



RESUMEN

Se determina la Dosis absorbida para tejido blando equivalente, impartida por Aplicadores Oftalmológicos, ($^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$, 1850 MBq), utilizando una cámara de extrapolación de electrodos variables; al estimar la pendiente de la curva de extrapolación usando un modelo de regresión lineal simple se observa que los valores de dosis se subestiman desde un 17.7 por ciento hasta un 20.4 por ciento en relación a la estimación de dicha dosis mediante un modelo de regresión polinomial de grado dos, al mismo tiempo se observa un mejoramiento en el error standard para el modelo cuadrático hasta en un 50%. Finalmente se presenta la incertidumbre global de la dosis, tomando en cuenta la reproductibilidad del arreglo experimental. Como conclusión se puede inferir que en arreglos experimentales donde la fuente esté a contacto con la cámara de extrapolación, se recomienda substituir el modelo de regresión lineal por el modelo de regresión cuadrática, en la determinación de la pendiente de la curva de extrapolación, para mediciones mas exactas y precisas de la dosis absorbida

1.0 INTRODUCCION

Una de las aplicaciones de las radiaciones ionizantes con fines terapéuticos es la utilización de las partículas Beta emitidas por el $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ en el tratamiento del Pterigión, (Martínez C. y Peregrina A. 1991). Sin embargo el éxito del tratamiento depende de la exactitud y precisión de la dosis impartida, la literatura reporta que es necesario suministrar la dosis con una incertidumbre global menor al 5% (Andreo et al. 1987).

Por otra parte una de las funciones de la red de laboratorios Secundarios de Calibración Dosimétrica, (SSDL), es brindar asistencia técnica en el servicio de calibración radiológica y dosimetría a los usuarios de radiaciones ionizantes. En particular en México en el ININ, el departamento de Metrología de Radiaciones Ionizantes, cuenta en una de sus secciones con un laboratorio Patrón Secundario de Calibración Dosimétrica, asesorado por el Organismo Mundial de la Salud y el Organismo Internacional de Energía Atómica, este laboratorio cuenta con cuatro salas de calibración Radiológica: Gamma, (nivel terapia); Gamma, (nivel de Protección Radiológica); Neutrones y Alfa-Beta. La sala Alfa-Beta posee un conjunto de cuatro fuentes emisoras de radiación Beta, calibradas por el Laboratorio Primario PTB, además de una cámara de Extrapolación de electrodos variables con la que es posible calibrar campos externos de radiación Beta, (Alvarez R.J.T. 1988).

2.0 METODOLOGIA.

2.1 BREVES CONSIDERACIONES TEORICAS

La calibración radiológica del aplicador oftalmológico consiste en la medición de la rapidez de dosis absorbida en su superficie exterior, (Alvarez R.J.T. 1991, Pruitt J.S. 1987), ya que esta fuente radiactiva sellada se usa a contacto con el parpado del paciente. Dicha rapidez de dosis para tejido blando en la superficie exterior del aplicador se puede calcular de acuerdo con el principio de Bragg-Gray con la siguiente expresión :

$$\dot{D}(0)_T = K S_{(t,a)} \left(\frac{W}{e} \right) \left(\frac{1}{A_{(eff)}} \right) \left\{ d \frac{(K' I)}{(dL)} \right\}_{(CBG)} \quad (1)$$

$$K = \prod k_i = (kbr)(kra)(kwi)(kba)(kel)(kin) \quad (2)$$

$$K' = \prod k'_i = (f^{(-1)})(kad)(kdiv)(kpe)(kac)(kde) \quad (3)$$

Donde el significado de cada término puede consultarse en , (Pruitt J.S. 1987, Bhöm J. 1986).

3.0 CONDICIONES EXPERIMENTALES

3.1 INSTRUMENTACION.

- a. Cámara de extrapolación con separación de electrodos variable, con un diámetro de electrodo colector de 30×10^{-3} m.
- b. Electrómetro , con corriente de fuga menor o igual a 3×10^{-15} A.
- c. Fuente de Voltaje, con resolución de 0.1 V .
- d. Termómetro digital con resolución de 0.1 °C .
- e. Barómetro de columna de mercurio, con resolución de 100 Pa .
- f. Aplicadores Oftalmológicos: isótopos : $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$, actividad estimada : 1850 MBq , Marca ICN Tracelab, series: 1277, 1245.

3.2 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.,

Inicialmente se midió la corriente de fuga del sistema cámara-electrómetro con objeto de verificar que ésta fuera menor o igual a $3 \cdot 10^{-15}$ A. Inmediatamente se construyó la curva de extrapolación colocando el aplicador oftalmológico a contacto con la ventana de la cámara, tal curva consiste en la medición de la corriente de ionización del volumen efectivo en función de la separación de los electrodos de ésta, en el rango de 2.500×10^{-3} m a 0.500×10^{-3} m, en pasos de 0.250×10^{-3} m; tanto para polarización positiva como negativa del electrodo colector, con objeto de corregir los efectos de polarización debidos al poder de penetración de la radiación cargada. Asimismo se consideraron todas las correcciones indicadas en (2) y en (3).

4.0 RESULTADOS

Un parámetro importante para la determinación de la Dosis Absorbida es la pendiente de la curva de extrapolación, como se puede observar en la expresión (1). La literatura, (Pruitt J.S. 1987, Bhöm J. 1986), recomienda el uso de modelos lineales, en la determinación de dicha pendiente, es decir el ajuste por mínimos cuadrados de líneas rectas, con expresiones de la forma :

$$I = a_0 + a_1 L \quad (4)$$

Antes de realizar la estimación de los parámetros de la expresión (4), se realizaron pruebas usuales de bondad de ajuste a una distribución normal, (Schlotzhauer S.D. y Littell R.C.1987: Caps.4 y 5), conjuntamente con la prueba de homogeneidad de variancias de Bartlett (Snedecor y Cochran. 1967) para cada juego de datos compuesto de 9 parejas, con tres repeticiones cada una. En la Tabla I se resumen los resultados de estas pruebas :

En la Tabla II se presenta el análisis de variancia del ajuste lineal y los parámetros del modelo para las medidas experimentales correspondientes a la Curva 1 del aplicador 1277.

Puesto que los análisis de regresión para las curvas restantes son similares a los de Tabla II, en la Tabla III solo se muestran los valores mas relevantes de los parámetros de cada ajuste.

En la Tabla IV se resumen las mediciones de dos curvas para cada aplicador, con el objeto de obtener una estimación de reproductividad en la determinación de la dosis.

Los valores de la rapidez de dosis y de las incertidumbres globales, así como los de la rapidez de dosis promedio y su incertidumbre combinada asociada, obtenidos con el modelo de regresión lineal y anteriormente informados, (Alvarez R.J.T. 1991), difieren ligeramente con respecto a los de la Tablas IV y IX, debido esencialmente a:

i) El planteamiento y la prueba de las hipótesis estadísticas correspondientes, (Draper N.R., Smith H. 1981: 23, 85), que representan un control de calidad sobre la obtención y procesamiento de la información, como se verá mas adelante,

ii) La utilización de software actualizado, (SAS(R) 1988) y el uso de técnicas adecuadas para el ajuste y validación de la información.

4.1. REGRESION POLINOMIAL DE SEGUNDO GRADO.

Un indicador importante en la modelación de datos experimentales para la validación del modelo usado es la gráfica de residuos, la cual en teoría debe ser una distribución uniforme y simétrica en signos, (Draper N.R., Smith H. 1981:Cap.3). Como puede observarse, de las Gráficas I a IV, correspondientes a los cuatro ajustes lineales de la Tabla I, ninguno de los residuos cumple las condiciones anteriores; más bien son gráficas típicas de una falta de ajuste del modelo y el comportamiento parabólico de los residuos nos indica la necesidad de usar un modelo cuadrático. El modelo cuadrático empleado es una expresión del siguiente tipo:

$$I = a_0 + a_1 L + a_2 L^2 \quad (5)$$

En general, se dificulta la interpretación física de los parámetros, ya que no se puede cambiar físicamente en forma simultánea el valor del término cuadrático sin cambiar el valor del término lineal; sin embargo, para el caso de esta aplicación se simplifica, ya que solo interesa dicha interpretación cuando el valor del regresor es igual a cero.



En la Tabla V se presenta la Tabla de Análisis de Regresión para el ajuste cuadrático y los valores de los parámetros determinados por este modelo, para la curva 1 del aplicador 1277.

En la Tabla VI se muestra un resumen de los valores de los parámetros asociados a cada ajuste cuadrático para las correspondientes curvas de extrapolación de cada aplicador.

Los resultados de la determinación de la rapidez de Dosis Absorbida usando este modelo, se resumen en la Tabla VII.

La Tabla VIII muestra que a pesar de que los modelos cuadráticos en todos los casos conducen a una determinación mas exacta y precisa de la dosis absorbida , estos modelos aun están lejos de ser adecuados , lo que se prueba al comparar el error puro de los modelos y el error asociado a la falta de ajuste.

Finalmente en la Tabla IX, se muestra el análisis de las incertidumbres asociadas a cada factor de corrección y parámetros, que de acuerdo con la ecuación (1), contribuye a la determinación de la Rapidez de dosis absorbida, cabe señalar que el criterio de combinación de las incertidumbres es la suma cuadrática de ellas, que significa que estamos considerando estos factores de incertidumbre independientes, en este caso particular se muestra el análisis de incertidumbres de la curva 1 del ajuste lineal para aplicador 1277.

De acuerdo a lo señalado en el resumen el error standard de la pendiente con el uso del modelo cuadrático obtiene reducciones de hasta un 50 por ciento y en una proporción casi semejante para la incertidumbre global de los valores de rapidez de dosis determinados, de dichos valores obtenidos con las pendientes estimadas con el modelo lineal es claro que quedan subestimados en un porcentaje del orden del 17.7 por ciento a un 20.4 por ciento en relación a los obtenidos por el ajuste cuadrático.

Finalmente, los residuos del ajuste cuadrático presentan un mejor comportamiento que los del ajuste lineal, pero no del todo satisfactorio , ya que muestran una cierta regularidad, (ver Gráficas V a la VII).

5.0 CONCLUSIONES.

En arreglos experimentales donde la fuente esté a contacto con la cámara de extrapolación, se recomienda substituir el modelo de regresión lineal por el modelo de regresión cuadrática, en la determinación de la pendiente de la curva de extrapolación, para mediciones mas exactas y precisas de la dosis absorbida

De los valores de F de las Tablas III y VI, se infiere que el modelo cuadrático es más significativo que el modelo lineal y que la pendiente de la curva de extrapolación esta lejos de ser una constante en todo el intervalo experimental . Por lo tanto a pesar de que en la gráfica de ajuste lineal aparentemente la extrapolación es suficiente, queda probado estadísticamente que esto no constituye un criterio fehaciente para proceder de esta manera.

Sin embargo; el modelo de regresión cuadrática , bajo nuestras condiciones experimentales es todavía inadecuado, sobre todo por su significativa falta de ajuste probada por las F de la Tabla VIII , que muestra que el cuadrado medio del error puro esta lejos de ser equivalente al cuadrado medio por falta de ajuste, como requisito de un modelo verdadero, (Draper N.R. y Smith H.1981:33-40); concluyéndose asimismo que la prueba F de significancia de la regresión total de la Tabla V, no es válida todavía.

Por otra parte, como las R cuadradas de la Tabla VIII indican una variación explicada por la regresión del cien por ciento prácticamente, no es mucho lo que se podría mejorar agregando más términos al modelo y se concluye recurrir a una mejora desde el punto del vista del diseño experimental, en lo que concierne al uso de curvas características de operación.

Se recomienda interpretar al coeficiente a_2 del ajuste cuadrático como un factor de corrección que evalúa la combinación de dos efectos físicos , que se presentan cuando la fuente radiactiva esta en contacto con la ventana de la cámara de extrapolación , lo que implica desviaciones al Principio de Bragg-Gray.

El primer efecto físico es el cumplimiento de la ley del inverso del cuadrado de la distancia, (efecto geométrico), de tal manera que para corregirlo es necesario aplicar la dependencia cuadrática de la densidad de ionización generada por la fuente con respecto al punto medio de la cámara. Esto queda evidenciado al obtener la primera derivada del polinomio cuadrático, (5):

$$dI/dL = a_1 + 2a_2L \quad (6)$$

donde:

$$a_1 \equiv (dI/dL)_{L=0} \equiv (dI/dL)_{CBG} \quad (7)$$

Es decir a_1 evalúa la rapidez de cambio de la corriente de ionización corregida por el producto de factores K' , (3), respecto a la rapidez de cambio de la separación de los electrodos, bajo parte de las condiciones establecidas por el Principio de Bragg-Gray, la otra parte de las correcciones son efectuadas por el producto de factores K , de la expresión (2).

De esta manera a_2 , evalúa las variaciones del a_1 respecto a L , en condiciones diferentes a las Bragg-Gray, ($L \neq 0$).

El segundo efecto físico es un efecto de carga espacial, debido a las altas densidades de ionización presentes en este tipo de geometrías fuente-detector.

Esto se concluye de la falta de linealidad entre las corrientes de ionización medidas con polaridad negativa, a diferencia del comportamiento lineal de las corrientes de ionización medidas con polaridad positiva, para las nueve separaciones de los electrodos en tres de las curvas de extrapolación, (curva 1 y 2, del aplicador 1277 y la curva 1 del aplicador 1245). Este comportamiento no se observa para la curva 2 del aplicador 1245, (el que no se observe fehacientemente esta regularidad en las corrientes, se puede deber a errores experimentales, ya que de todos los datos experimentales los que menor se ajustan a los modelos tanto lineales como cuadráticos, son los correspondientes a esta curva, como puede concluirse de la tablas III, VI y VII).

Lo anterior se explica por la hipótesis : de que al ser los electrones los que se colectan con polarización negativa de la cámara, estos tienen una velocidad de arrastre mayor, (dada su pequeña masa en relación a la masa de los iones positivos), por lo tanto saturan más rápidamente a el electrodo colector, repeliendo a los electrones formados posteriormente; de esta manera estos efectos espaciales de carga o de "apantallamiento" impiden una eficiente colección de la carga negativa.

6.0 BIBLIOGRAFIA

Alvarez R.J.T., Medición de Curvas de Extrapolación para el Patrón Secundario de Radiación Beta No. 86 Calibrado en rapidez de dosis absorbida para Tejido Equivalente por el PTB, reporte interno, CMRI-LPSCD, Gerencia de Seguridad Radiológica, ININ, Salazar, Edo. México, octubre de 1988.

Alvarez R.J.T., Calibración Radiológica de Aplicadores Oftalmológicos; Memorias del VIII Seminario Anual de Metrología Págs.: 13.1 13.9, septiembre del 11 al 14 de 1991, Oro. Oro., México.

Andreo P.; et al, Absorbe dose determination in photon and electron beams, technical reports series 277, IAEA, Vienna Austria, August. 1987.

Bhöm J., The national primary standard of PTB for realizing the unit absorbed dose ratio to tissue for Beta radiation, PTB-DOS-13, ISSN01727095, RFA, April 1986.

Draper N.R. ; Smith H. Applied regression analysis. Second edition. New York : John Wiley & Sons, Inc.;1981.

Kaarls R. Report of the BIPM Working Group on Statement of Uncertainties, (1rst meeting- 21 to 23 October 1980) to the CIPM.

Martínez A.C ; Peregrina M. A. La diversidad de las aplicaciones de materiales radiactivos en la República Mexicana, sus beneficios e inconvenientes desde el punto de vista radiológico. En: Memorias del IV Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Seguridad Radiológica A.C., 6-9 de Marzo de 1991, Oaxaca, Oax. México.

Pruitt J.S. Calibration of Beta-Particle emitting opthalmic applicators PB-881088535/XAB, NBS/SP250/9, Washington DC, USA., Jul.,1987.

Statistical Analysis System.SAS/STATTM User's Guide,Release 6.03 Edition.SAS Institute Inc. Cary N.C. USA 1988.

Schlotzhauer S.E.; Littell R.C. SAS(R) System for Elementary Statistical Analysis.SAS Institute Inc., Cary,NC,USA;1987. ISBN 1-55544-076-2.

Snedecor W. G.; Cochran G. W. Statistical methods . Ames,Iowa : The Iowa State University Press; 1967:Cap.10.



TABLA I: PRUEBAS DE BONDAD DE AJUSTE Y DE HOMOGENEIDAD DE VARIANCIAS					
CURVA	APLICADOR	SHAPIRO -WILK		BARTLETT	
1	1277	W:Normal Prob <W	0.9321 0.0857	CHI-CUADRADA ALFA	-18.46 a
2	1277	W:Normal Prob < W	0.9325 0.0874	CHI-CUADRADA ALFA	4.70 0.79
1	1245	W:Normal Prob < W	0.9422 0.1879	CHI-CUADRADA ALFA	5.69 0.58
2	1245	W:Normal Prob < W	0.9321 0.0854	CHI-CUADRADA ALFA	17.31 0.03

a.- La prueba de Bartlett se invalida debido a que los datos repetidos para L=0.75 no tienen variabilidad.

TABLA II : ANALISIS DE VARIANCIA Y PARAMETROS DEL MODELO LINEAL: CURVA 1, APLICADOR 1277					
ANALISIS DE VARIANCIA					
FUENTE	G. De L.	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	VALOR DE F	PROB > F
MODELO	1	2.59953	2.59953	14 534.257	0.0001
ERROR	25	0.00447	0.00018		
TOTAL	26	2.60401			
ERROR CUADR. MEDIO		0.01337	R-CUADRADA	0.9983	
MEDIA VAR. DEPEND.		0.80439	R-CUADRADA AJUSTD.	0.9982	
C.V.		1.66260			
PARAMETROS ESTIMADOS					
VARIABLE	G. De L.	EST.DEL PARM	ERROR ESTAD.	T para H0	PROB.> T
INTERCEPTO	1	0.083340	0.00651118	12.800	0.0001
PENDIENTE	1	0.480697	0.00398727	120.558	0.0001

TABLA III : RESUMEN DE PARAMETROS DEL AJUSTE LINEAL PARA LAS CURVAS 1 Y 2 DE LOS APLICADORES 1277 Y 1245						
CURVA	SERIE DEL APLICADOR	INTERCEPTO	ERROR ESTANDAR	PENDIENTE	ERROR ESTANDAR	VALOR DE F
1	1277	0.083340	0.006511	0.480697	0.003987	14 534
2	1277	0.028569	0.071848	0.498059	0.004400	12 814
1	1245	0.086928	0.073652	0.494278	0.004787	10 661
2	1245	-0.02035	0.008105	0.512636	0.004963	10 667

TABLA IV : VALORES DE LA RAPIDEZ DE DOSIS ABSORBIDA USANDO MODELOS DE REGRESION LINEAL.					
CURVA	SERIE	RAPIDEZ DE DOSIS Gy S ⁻¹	INCERTIDUMBRE GLOBAL %	PENDIENTE 10 ⁻⁹ A m ⁻¹	ERROR ESTANDAR %
1	1277	0.0212	1.00	480.70	0.83
2	1277	0.0220	1.05	498.06	0.88
1	1245	0.0218	1.26	494.28	0.97
2	1245	0.0226	1.26	512.64	0.97
APLICADOR SERIE		VALOR PROMEDIO DE RAP. DE DOSIS ABS. Gy S ⁻¹		INCERTIDUMBRE GLOBAL K=1 %	
1277		0.0216		2.8	
1245		0.0222		3.1	

TABLA V : ANALISIS DE VARIANCIA Y PARAMETROS DEL MODELO CUADRATICO : CURVA 1 , APLICADOR 1277

ANALISIS DE VARIANCIA					
FUENTE	G. De L.	SUM. CUADRS.	CUADR. MEDIO	VALOR DE F	PROB >F
MODELO	2	2.60397	1.30199	923 985	0.0001
ERROR	24	0.00003	0.00000		
TOTAL	26	2.60401			
ERROR CUADR. MEDIO		0.00119	R-CUADRADA	1.0000	
MEDIA VAR. DEPEND.		0.80439	R-CUADR. AJUST.	1.0000	
C.V.	0.14757				
VARIABLE	G. De L.	PARAM. EST.	ERROR STD.	T para H0	PROB.> T
INTERCEP. (a ₀)	1	0.019057	0.00128304	14.853	0.0001
PENDT. (a ₁)	1	0.585888	0.00190758	307.137	0.0001
LCUADR. (a ₂)	1	-0.035064	0.00062482	-56.118	0.0001

TABLA VI :RESUMEN DE PARAMETROS DEL AJUSTE CUADRATICO PARA LAS CURVAS 1 Y 2 DE LOS APLICADORES 1277 Y 1245

CURVA	SERIE DEL APLICADOR	INTERCEPTO (a ₀)	PENDIENTE (a ₁)	ERROR ESTANDAR	LCUADR. (a ₂)	VALOR DE F
1	1277	0.019057	0.585888	0.001908	-0.03506	923 985
2	1277	-0.04220	0.613858	0.002677	-0.03860	503 631
1	1245	0.021529	0.602079	0.002316	-0.03641	553 656
2	1245	-0.10016	0.643234	0.003087	-0.04353	401 596



TABLA VII : VARIACION EXPLICADA Y FALTA DE AJUSTE USANDO EL MODELO DE REGRESION CUADRATICO PARA CURVAS 1 Y 2 DE APLICADORES 1277 Y 1245.

CURVA	SERIE DEL APLICADOR	R CUADRADA	CUADRADO MEDIO		F ALFA= 0.01	
			ERROR PURO	FALTA DE AJUSTE	CALCULO	TABLAS
1	1277	0.99998	0.00000001	0.0000056	757	2.66
2	1277	0.99998	0.00000001	0.0000111	997	2.66
1	1245	0.99998	4.4×10^{-9}	0.0000087	2056	2.85
2	1245	0.99998	0.00000001	0.0000147	1950	2.66

TABLA VIII : VALORES DE LA RAPIDEZ DE DOSIS ABSORBIDA USANDO MODELOS DE REGRESION POLINOMIAL DE GRADO 2.

CURVA	SERIE	RAPIDEZ DE DOSIS Gy S ⁻¹	INCERTIDUMBRE GLOBAL %	PENDIENTE 10 ⁻⁹ A m ⁻¹	ERROR ESTANDAR %
1	1277	0.0258	0.65	585.888	0.32
2	1277	0.0271	0.72	613.858	0.44
1	1245	0.0265	0.68	602.079	0.38
2	1245	0.0284	0.74	643.234	0.48
APLICADOR SERIE		VALOR PROMEDIO DE RAP. DE DOSIS ABS. Gy S ⁻¹	INCERTIDUMBRE GLOBAL K=1 %		
1277		0.0264	2.4		
1245		0.0274	3.5		

TABLA IX : ANALISIS DE INCERTIDUMBRES PARA RAPIDEZ DE DOSIS ABSORBIDA DE LA CURVA 1 DEL AJUSTE LINEAL PARA APLICADOR 1277 , (Bhöm 1986; Kaarls 1980).

FUENTE	TIPO A %	TIPO B%
K _{br}		0.1
K _{ba}		0.3
f ⁻¹		0.01
K _{wi}		0.2
K _{ab}		0.0
K _{ad}		0.10
K _{el}		0.10
K _{in}		0.0
K _{div}		0.12
K _{pe}		0.2
S _{t,a}		1.5
(W/e)		0.2
P ₀		0.04
A _{eff}	0.21 (v=6)	
(dI/dL) _{BGC}	0.83 (v=1)	

$U_{combinada} = 1.00 \%$

$U_{Global} = 3.00 \%$ (K = 3) , 95 % Nivel de Confianza.

TABLA IX (CONTINUACION): CALCULO DE LA INCERTIDUMBRE GLOBAL CONSIDERANDO LA REPRODUCTIBILIDAD DEL ARREGLO EXPERIMENTAL

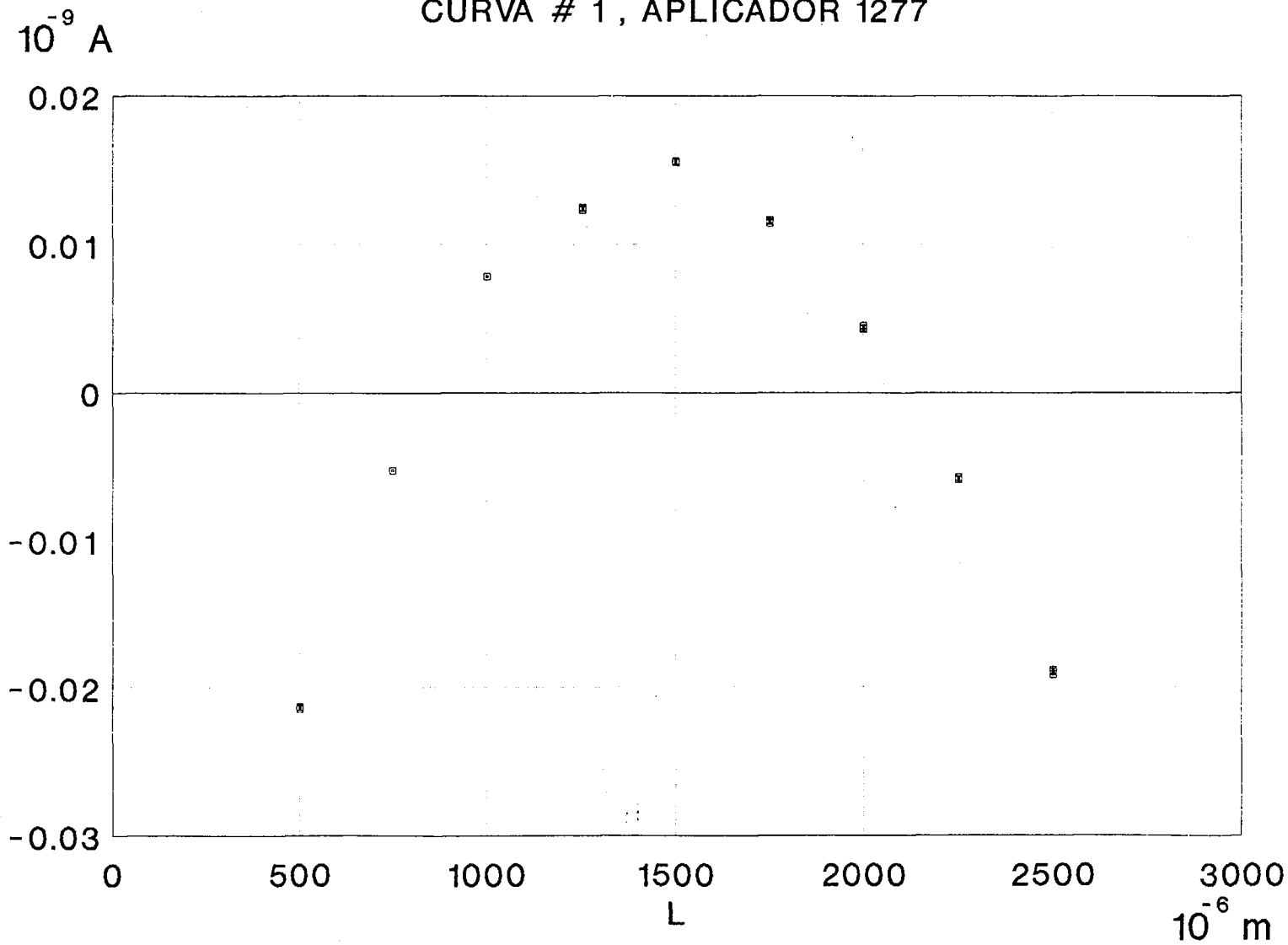
FUENTE	TIPO A %	TIPO B %
$U_{combinada}$ (Curva 1)	1.00	
$U_{combinada}$ (Curva 2)	1.05	
Reproductibilidad	2.51, (v=1)	

$U_{combinada} = 2.82 \%$

$U_{Global} = 8.5 \%$ (K = 3) , 95 % Nivel de Confianza.

RESIDUOS DE AJUSTE LINEAL

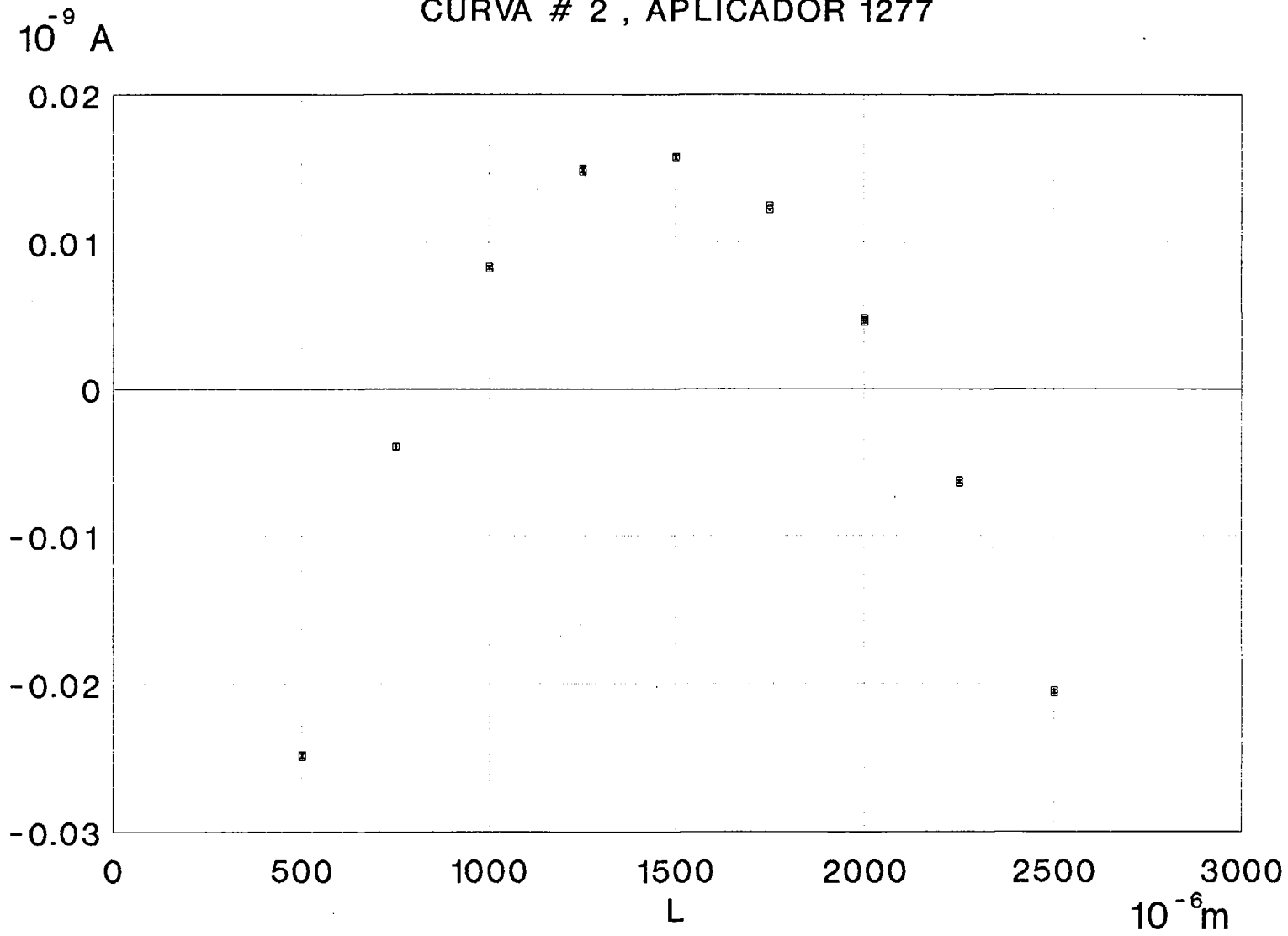
CURVA # 1, APLICADOR 1277



GRAFICA I

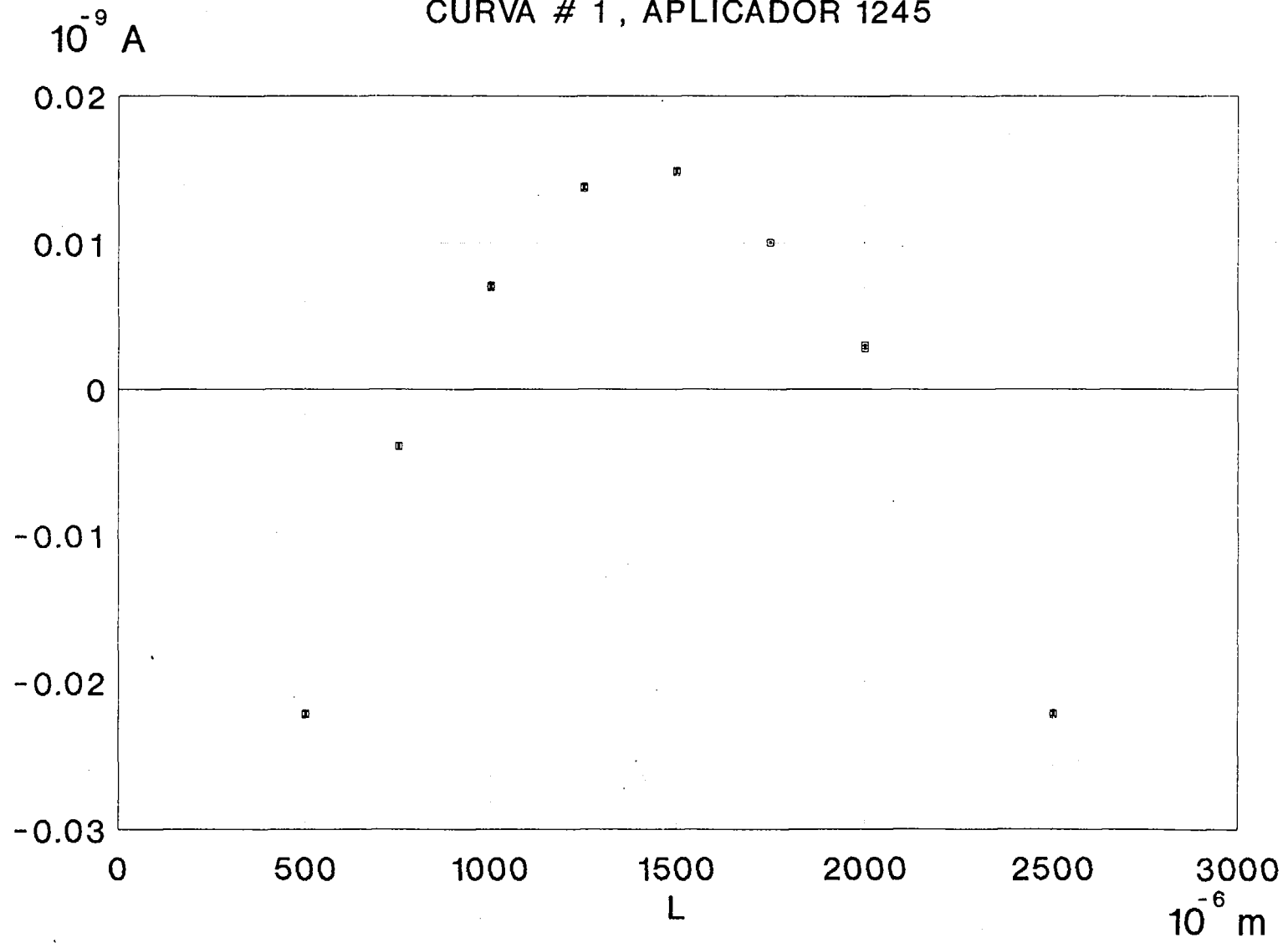
RESIDUOS DE AJUSTE LINEAL

CURVA # 2 , APLICADOR 1277



GRAFICA II

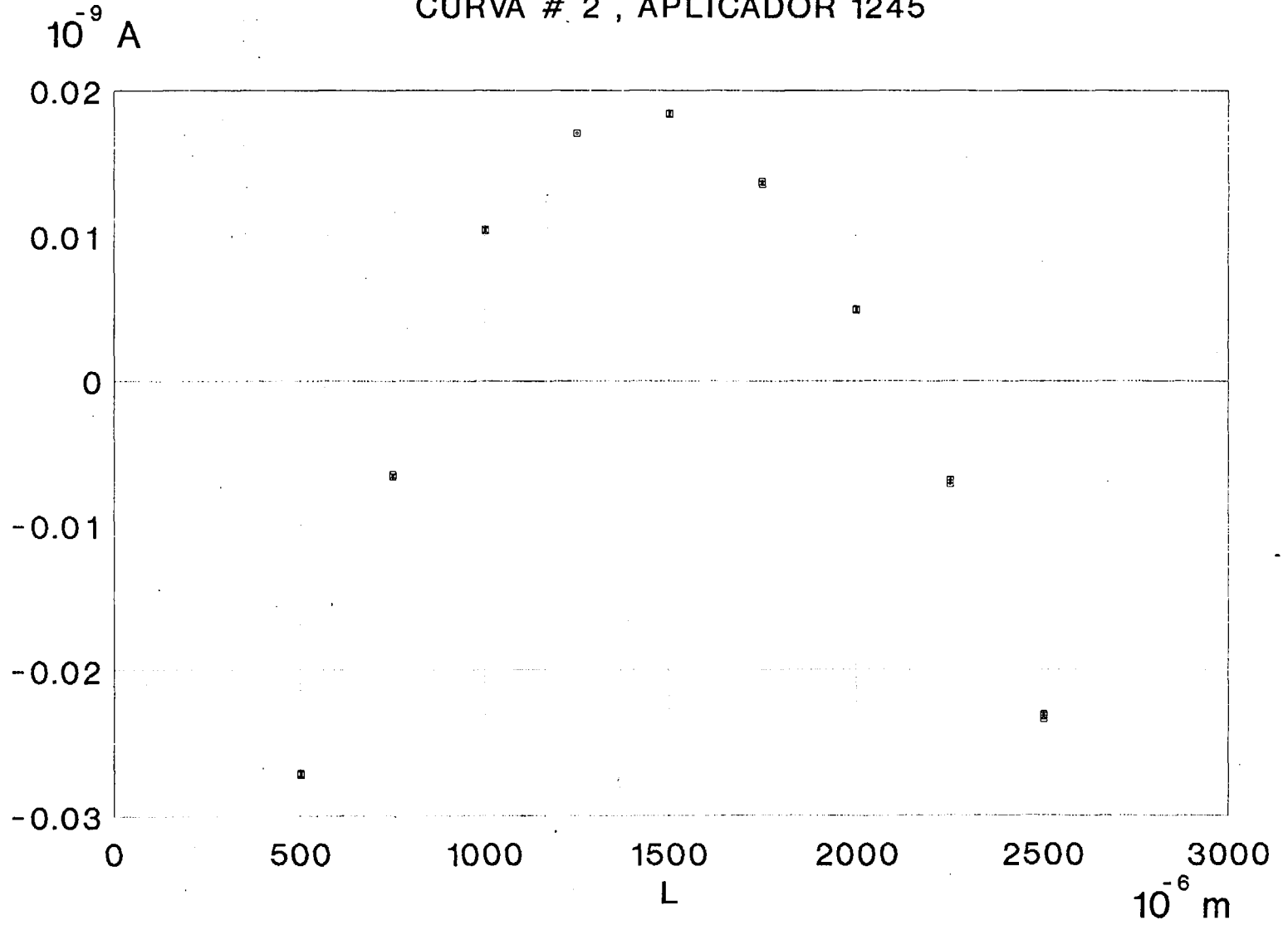
RESIDUOS DE AJUSTE LINEAL
CURVA # 1, APLICADOR 1245



GRAFICA III

RESIDUOS DE AJUSTE LINEAL

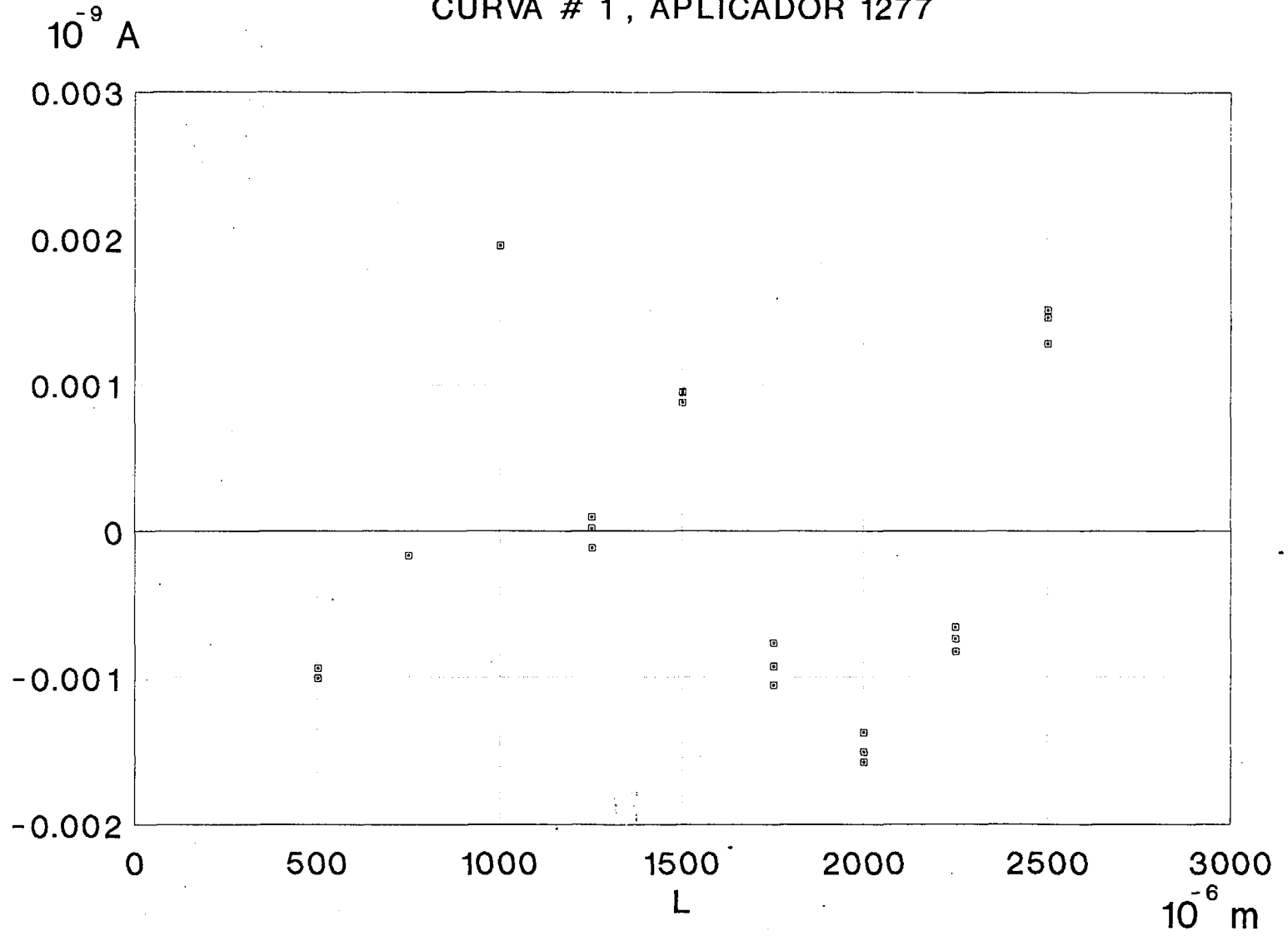
CURVA # 2 , APLICADOR 1245



GRAFICA IV

RESIDUOS DE AJUSTE CUADRATICO

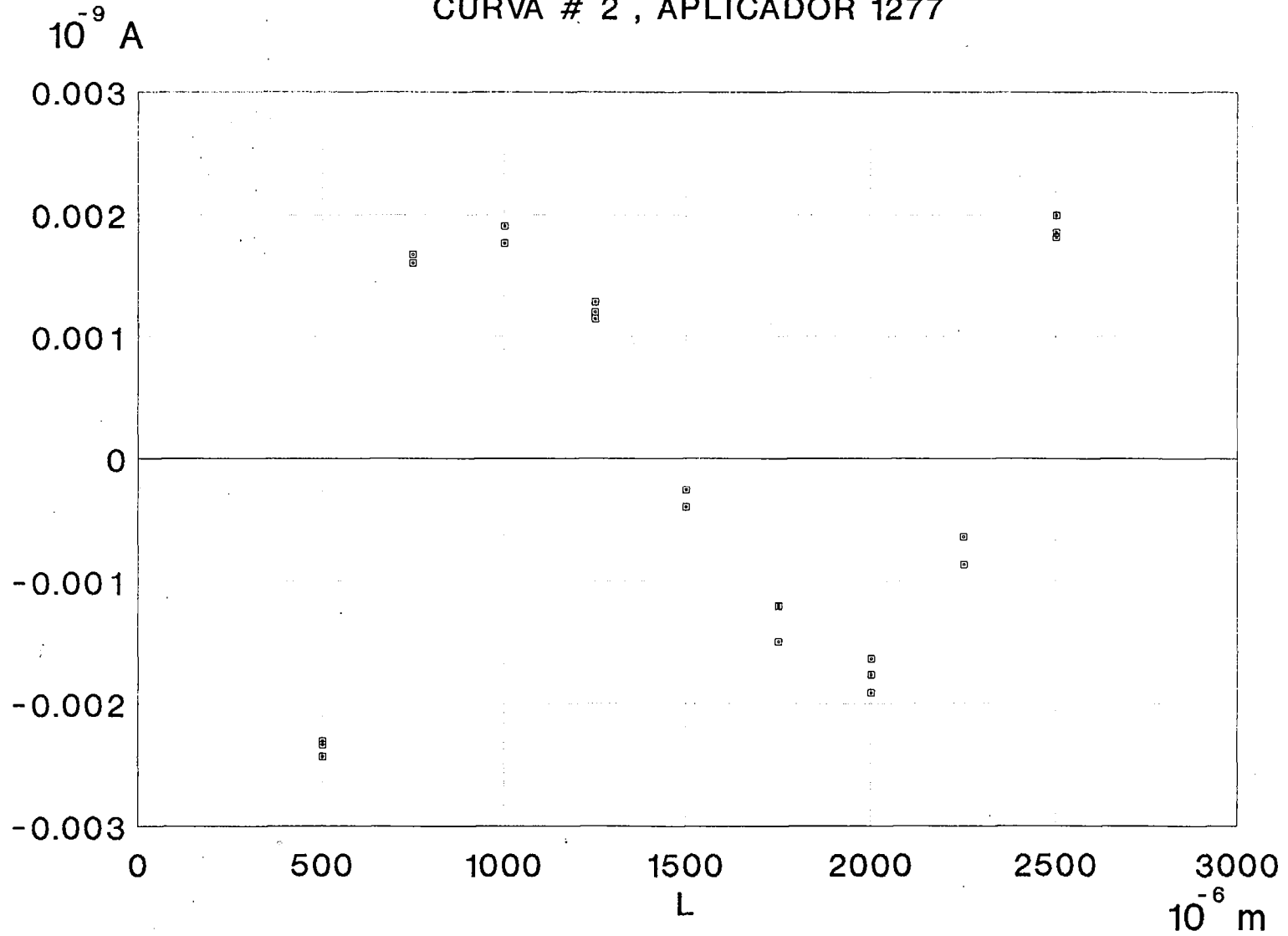
CURVA # 1, APLICADOR 1277



GRAFICA V

RESIDUOS DE AJUSTE CUADRATICO

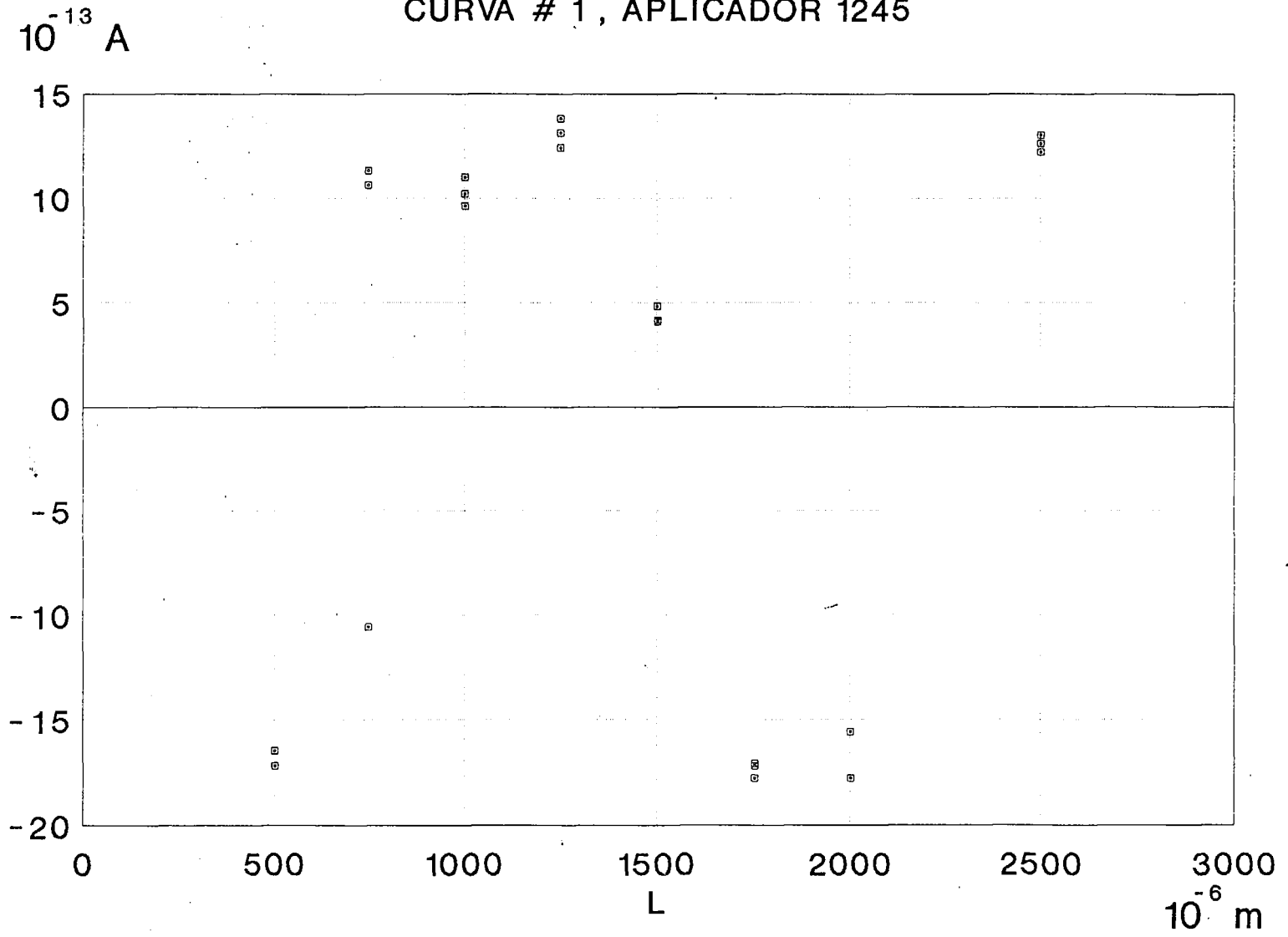
CURVA # 2 , APLICADOR 1277



GRAFICA VI

RESIDUOS DE AJUSTE CUADRATICO

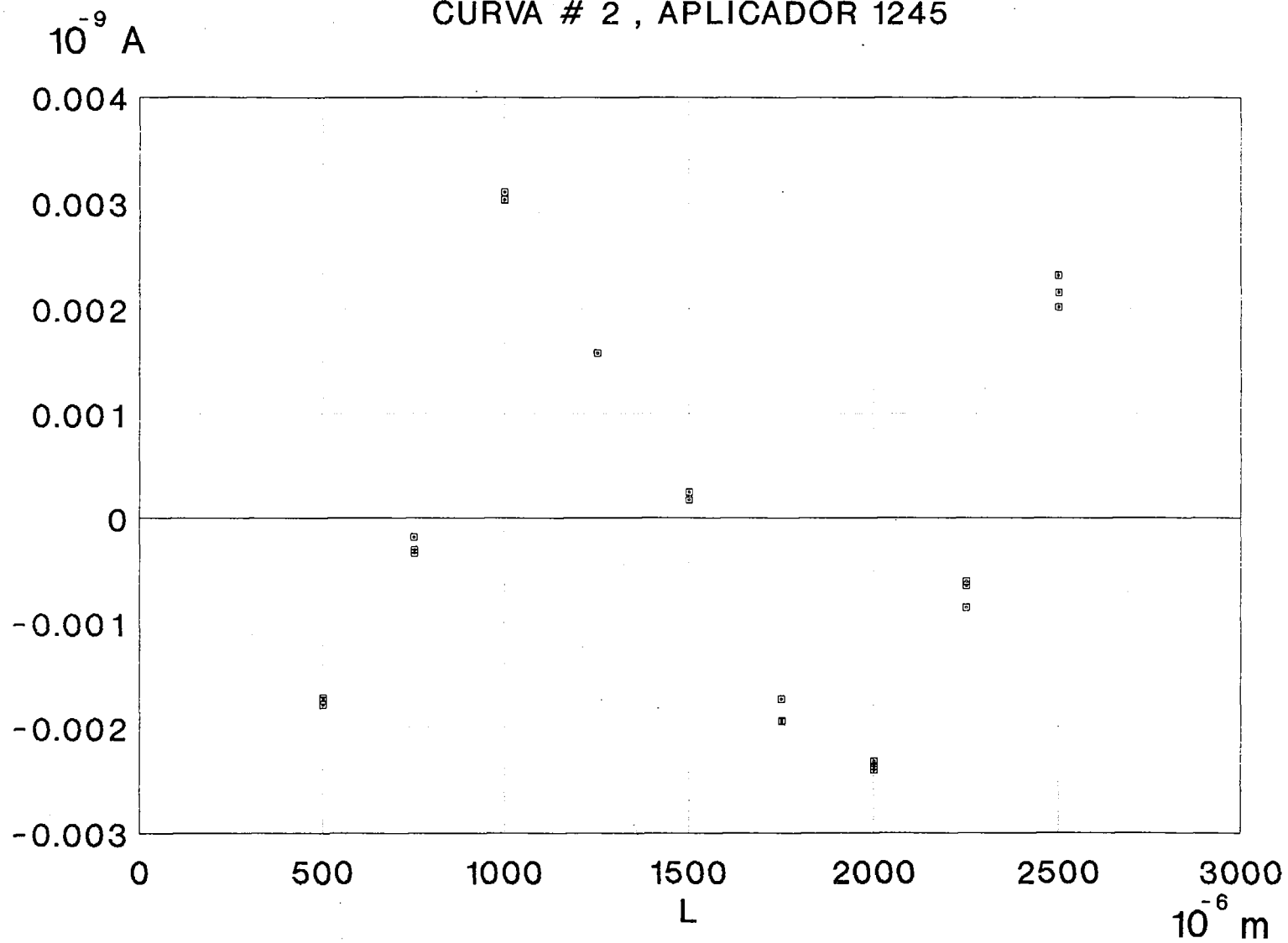
CURVA # 1, APLICADOR 1245



GRAFICA VII

RESIDUOS DE AJUSTE CUADRATICO

CURVA # 2 , APLICADOR 1245



GRAFICA VIII