

**Determinación experimental de las constantes  
inherentes al modelo de apuntamiento de la  
Antena I del IAR**

**Lic. Gisela Andrea Romero**

**Director: Dr. E. Marcelo Arnal**

# Índice general

<b>1. Introducción</b>	<b>2</b>
<b>2. Metodología</b>	<b>4</b>
2.1. Fuentes observadas . . . . .	5
2.1.1. Criterio de selección de fuentes . . . . .	5
<b>3. Observaciones</b>	<b>7</b>
<b>4. Barridos en <math>\alpha</math></b>	<b>14</b>
4.1. Curvas obtenidas . . . . .	14
4.2. Análisis general de los datos . . . . .	30
4.2.1. Buscando el modelo de apuntamiento . . . . .	42
4.2.2. Modelando los residuos . . . . .	50
4.2.3. Resultados . . . . .	53
<b>5. Barridos en <math>\delta</math></b>	<b>68</b>
5.1. Curvas obtenidas . . . . .	68
5.2. Análisis general de los datos . . . . .	85
5.2.1. Buscando el modelo de apuntamiento . . . . .	85
5.2.2. Comportamientos de las fuentes . . . . .	89
5.2.3. Modelando los residuos . . . . .	103
5.2.4. Resultados . . . . .	111
<b>6. Notas</b>	<b>112</b>
6.1. Corrección de coordenadas en el cenit . . . . .	112
<b>7. Error en el modelo de apuntamiento</b>	<b>114</b>
7.1. Barrido en ascensión recta . . . . .	114
7.1.1. Comportamiento de las fuentes con el flujo . . . . .	118
7.2. Barrido en declinación . . . . .	120
7.2.1. Comportamiento de las fuentes con el flujo . . . . .	125
<b>8. Conclusiones</b>	<b>129</b>

# Capítulo 1

## Introducción

La precisión en el apuntamiento de un radiotelescopio está ligada a la resolución angular del mismo,  $\theta$ . Como criterio general, la misma no debe ser inferior a  $\theta/20$ . Como toda estructura mecánica de gran porte, el reflector principal de los radiómetros del IAR sufre deformaciones mecánicas con respecto a la figura de un paraboloide ideal, cuando el radiotelescopio es apuntado a direcciones que se apartan de la vertical del lugar. El denominado *modelo de apuntamiento* tiene como meta, efectuar ciertas correcciones en la posición que compense estas deformaciones. De esta manera, el radiotelescopio obtendrá datos de las posiciones que realmente se desean observar.

El origen de estas deformaciones mecánicas radican principalmente en los efectos gravitatorios que afectan a las distintas partes de la estructura mecánica del disco principal de una manera que depende de la dirección de apuntamiento. Entre las mismas se encuentran: 1) la falta de ortogonalidad del eje polar y de la cremallera de ascensión recta, 2) las deformaciones en la estructura mecánica de la antena debidas al efecto combinado del peso del front-end del receptor, ubicado en el foco primario de la antena y del peso de la propia estructura de la antena. Estos efectos dependen del ángulo horario y de la declinación.

Otras causas que pueden dar lugar a errores de apuntamiento son: la incorrecta alineación entre el eje eléctrico del radiotelescopio con el eje óptico del mismo y errores en los ceros de las lecturas de las coordenadas.

Desde un punto de vista práctico, si estas deformaciones no son tenidas en cuenta, el radiotelescopio apuntará a una posición diferente a la que realmente se desea observar. Entonces, para garantizar una buena precisión de apuntamiento, es necesario determinar los posibles errores sistemáticos del radiómetro.

Debido a que se han realizado una serie de modificaciones en el radiómetro al que pertenece la Antena I del IAR, es necesario reestablecer los errores de apuntamiento que habían sido anteriormente calculados.

Para ello se ha llevado a cabo un programa observacional de radiofuentes pun-

tuales cuya posición en el continuo de radio en el rango de los 1420 MHz es bien conocida. De esta forma, han podido determinarse las coordenadas observacionales de las radiofuentes del programa y compararlas con las coordenadas del catálogo de las mismas. Estudiando el comportamiento de las diferencias encontradas es posible determinar el error en el apuntamiento en ambas coordenadas y de esa forma, obtener las correcciones necesarias para evitar estos errores.

En los siguientes capítulos se describe en forma detallada el procedimiento realizado para la determinación de las correcciones y de esta forma obtener el llamado *modelo de apuntamiento*.

# Capítulo 2

## Metodología

La manera experimental de corregir estas deformaciones mecánicas es mediante la aplicación en tiempo real de correcciones de apuntamiento que surgen del *modelo de apuntamiento*. Para la determinación experimental de este modelo fue necesario realizar las siguientes tareas:

1. Realizar observaciones en el continuo de radio y a la frecuencia de trabajo del radiómetro de fuentes puntuales. Las mismas deben poseer densidades de flujo y posiciones muy bien catalogadas. También deben ocupar un rango de declinación lo más amplio posible.
2. Las observaciones de continuo fueron realizadas de manera que se intercalen barridos de las fuentes de continuo mencionadas en el ítem anterior, en los dos ejes de coordenadas: el de ascensión recta ( $\alpha$ ) y el de declinación ( $\delta$ ).
3. Las fuentes se observaron de tal manera que cada una de las mismas cubra todo el horizonte visible por el radiotelescopio. En términos de valores de ángulos horarios corresponde a observar las fuentes entre las  $-2$  y  $+2$  horas.
4. Una vez que las observaciones han sido realizadas, se hizo un ajuste gaussiano a cada uno de los perfiles que resultaron de los barridos realizados. Este análisis permite estimar las posiciones de ascensión recta y declinación en las que se observa el máximo flujo y comparar esas posiciones con las posiciones de catálogo. Estas últimas son las posiciones en las que correspondería observar el máximo en el caso de estar trabajando con un radiómetro ideal (sin deformaciones mecánicas de su superficie). Este análisis se realizó para cada uno de los perfiles de las fuentes de continuo observadas.

5. Para cada fuente se construyeron curvas que grafican la diferencia entre la posición observada y la teórica de la fuente, como una función del ángulo horario de observación. Estas curvas son luego ajustadas mediante polinomios por el método de mínimos cuadrados. El ajuste debe realizarse de manera que para las distintas fuentes se use siempre el mismo grado en una coordenada dada. Las curvas resultantes para el barrido en ascensión recta y el de declinación aparecen en las secciones 4.1 y 5.1 de los Capítulos 4 y 5, respectivamente.
6. Los distintos coeficientes de los polinomios ajustados en el ítem anterior, poseen una dependencia con la declinación de la fuente. Se realiza un ajuste (también por mínimos cuadrados) que modele esa variación. El análisis cualitativo y cuantitativo de esta variación se desarrolla para la ascensión recta y para la declinación en las secciones 4.2 y 5.2 de los Capítulos 4 y 5, respectivamente.
7. Los resultados finales de modelar las variaciones descritas en el ítem anterior constituyen el denominado *modelo de apuntamiento* y aparecen en el Capítulo 6.

Finalmente, el modelo de apuntamiento se incorporará al programa de adquisición de datos en tiempo real. La bondad del mismo se verifica mediante la observación de un número pequeño de fuentes de continuo puntuales que se encuentran a declinaciones críticas. Por ejemplo, fuentes que se encuentren a una declinación cercana a los límites norte y sur del radiotelescopio, una fuente cuya declinación sea similar a la latitud geográfica del observatorio (ej.: que culmine cerca del cenit del lugar), y fuentes a declinaciones intermedias entre las mencionadas anteriormente.

## 2.1. Fuentes observadas

### 2.1.1. Criterio de selección de fuentes

Para obtener el *modelo de apuntamiento* las fuentes fueron seleccionadas con los siguientes criterios:

- Fuentes puntuales para la antena de 30 mts. del IAR
- $S_{1420\text{MHz}}^1 > 5 \text{ Jy}$

---

<sup>1</sup>Flujo en 1420 MHz

- Fuentes no polarizadas
- La distribución espacial de las fuentes debe ser medianamente uniforme.

Para la selección de las fuentes, se recurrió al catálogo del relevamiento de (Kühr H., Witsel A., Pauliny-Toth I.I.K. & Nauber U. , 1981, A&A Suppl.Se, 1981, 45, 367). Del mismo se seleccionaron 16 fuentes que fueron observadas con la Antena 1 del IAR. En la siguiente Tabla aparece el listado de las fuentes con la siguiente información: columna 1: denominación de las mismas, columnas 2 y 3: sus correspondientes coordenadas celestes B1950: ascensión recta (col 2), declinación (col 3), y en la columna 4 el flujo en 1420 MHz  $S_{1420MHz}$ .

Fuente	coordenadas [B1950]		$S_{1420MHz}$ [Jy] $\pm$ error
	$\alpha$ [ $^{\circ}$ ]	$\delta$ [ $^{\circ}$ ]	
S0915-11	138.92	-11.88	44.55 $\pm$ 0.33
S1251-12	192.99	-12.29	7.8 $\pm$ 0.23
S2211-17	332.93	-17.28	9.51 $\pm$ 0.1
S2104-25	316.11	-25.65	12.96 $\pm$ 0.19
S0442-28	70.65	-28.25	7.23 $\pm$ 0.15
S0521-36	80.30	-36.50	17.8 $\pm$ 0.1
S0043-42	10.98	-42.40	8.28 $\pm$ 0.12
S0518-45	79.57	-45.83	69.97 $\pm$ 2.03
S1932-46	293.08	-46.45	13.07 $\pm$ 0.13
S1302-49	195.63	-49.19	5.8 $\pm$ 1.16
S1733-56	263.34	-56.53	8.31 $\pm$ 0.25
S1934-63	293.69	-63.83	16.39 $\pm$ 0.15
S0407-65	61.98	-65.88	16.02 $\pm$ 0.43
S2153-69	328.26	-69.93	30.54 $\pm$ 0.31
S0410-75	62.49	-75.25	14.01 $\pm$ 0.22
S1637-77	249.29	-77.17	5.3 $\pm$ 0.92

# Capítulo 3

## Observaciones

Las observaciones consistieron en barridos en declinación y en ascensión recta dentro del rango de ángulos horarios comprendidos entre -2 y +2 horas. En la Tabla 3 aparece en la columna 1 el nombre de la fuente observada, en las columnas 2 y 3, las coordenadas de catálogo  $\alpha$  y  $\delta$ , respectivamente y en las columnas 4 y 5 la cantidad de barridos efectuados en ascensión recta y declinación, respectivamente.

Los perfiles fueron procesados con el programa *Graf Cont. Alfa* (barrido en ascensión recta) y *Graf Cont. Delta* (barrido en declinación). A cada uno de ellos se les hizo el siguiente proceso de reducción que será explicada con más detalle en el siguiente párrafo:

1. Se les sustrajo la línea de base, lo que permitió obtener el rms de cada perfil.
2. Se efectuó un ajuste gaussiano al perfil observado, con ello se obtuvieron las coordenadas y el valor de temperatura correspondientes al máximo de emisión de flujo.
3. Posteriormente, el programa calculó en forma automática la diferencias entre las coordenadas correspondientes al máximo de emisión y los valores del catálogo de referencia, es decir, o-c.
4. Se obtuvo la relación señal-ruido a partir del cociente entre el máximo de emisión y el rms.

Fuente	coordenadas [B1950]		cantidad de barridos en	
	$\alpha$ [°]	$\delta$ [°]	$\alpha$	$\delta$
S0915-11	138.92	-11.88	149	99
S1251-12	192.99	-12.29	63	60
S2211-17	332.93	-17.28	11	13
S2104-25	316.11	-25.65	12	16
S0442-28	70.65	-28.25	12	13
S0521-36	80.30	-36.50	13	13
S0043-42	10.98	-42.40	22	26
S0518-45	79.57	-45.83	10	40
S1932-46	293.08	-46.45	12	16
S1302-49	195.63	-49.19	79	42
S1733-56	263.34	-56.53	32	35
S1934-63	293.69	-63.83	9	11
S0407-65	61.98	-65.88	15	23
S2153-69	328.26	-69.93	29	27
S0410-75	62.49	-75.25	12	9
S1637-77	249.29	-77.17	0	61

**Cuadro 3.1:** Tabla

Los programas Graf Cont.Alfa y Graf Cont.Delta permiten desplegar el perfil observado (posición, número de cuentas registradas), elegir sectores del mismo donde se ajuste la línea de base, que en nuestro caso es un polinomio, de grado 3, sustraérsela al perfil y posteriormente, realizar el ajuste gaussiano en la zona de emisión. Si la reducción es razonable, le decimos a los programas que guarden los resultados en dos archivos independientes de salida. Uno de los mismos contiene al principio una serie de parámetros que caracterizan cada una de las observaciones (ver Figura 3.1) seguido por el número de cuentas obtenidas luego del proceso de reducción de los perfiles (ver Figura 3.3).

A continuación se explican algunos de los parámetros que aparecen en la Figura 3.1:

“Alfa, Delta de la fuente” se refieren a las posiciones de catálogo precesadas al instante de la observación.

“Cant. registros” son los puntos o posiciones en los que se realizó una medición durante un barrido completo de la fuente.

“Paso ascensión” es la separación entre dos puntos medidos consecutivos durante el barrido.

“Ascensión inicial del scan” y “Ascensión final del scan” son la primer y última

```

Nombre del archivo de observacion = ma0030ind.sca Scan nro = 2
Fecha de la observacion = 20040518
Alfa, Delta de la fuente = 139.572 -11.945
Equinoccio = actual
Cant. registros 106
Ascencion inicial del scan = 138.422
Ascencion final del scan = 140.722
Paso ascencion = .022 (grados)
Temp. calibracion = 302.1845 (cuentas)
Dispersion Tubo de Ruido (%) = .0206
Amplitud = 286.1013 (cuentas)
Alfa Pico = 139.626
(A,h) = 225.7973 59.8453
Dif.(ajuste-catalogo) = 5.430752441714049E-002 (grados)
HPBW (dec) = 26.1881 (minutos de arco)
Relacion S/N = 36
Error linea de base = 7.9 (+/- un sigma en cuentas)

```

**Figura 3.1:** Extracto del archivo de salida del programa de GrafCont.Alfa

posición en ascensión recta que abarcó el barrido en dicha coordenada.

Los siguiente parámetros son dados por el ajuste gaussiano:

“Dif.(ajuste-catalogo)”, es la diferencia entre las coordenadas correspondientes al máximo de emisión y los valores del catálogo de referencia, es decir, “o-c”.

“Alfa Pico, (A,h)” son las coordenadas horizontales (A,h) correspondientes al máximo de emisión, respectivamente.

“ Amplitud” es el valor del número de cuentas correspondientes al máximo de emisión .

“HPBW (dec)” obtenido del ajuste gaussiano, este valor no es muy confiable porque se basa en el ajuste al perfil observado. Este perfil es el resultado de la convolución del diagrama de antena con el de la fuente puntual (que en términos matemáticos se representa con una  $\delta$  de Dirac), si el radiotelescopio no está apuntando correctamente al centro de coordenadas de la fuente, el diagrama de antena estará deformado, con un ancho diferente al real.

Nombre del archivo de observacion = MA0026IND.SCD Scan nro = 1  
Fecha de la observacion = 20040520  
Alfa, Delta de la fuente = 71.194 -28.153  
Equinoccio = actual  
Cant. registros = 208  
Declinacion inicial del scan = -29.278  
Declinacion final del scan = -27.028  
Paso declinacion = .0109 (grados)  
Temp. calibracion = 318.0 (cuentas)  
Dispersion Tubo de Ruido (%) = .0112  
Amplitud = 57.85 (cuentas)  
Declinacion Pico = -28.174  
(A,h) = 249.3984 74.2451  
Dif.(ajuste-catalogo) = -2.141467473438752E-002 (grados)  
HPBW (dec) = 27.3137 (minutos de arco)  
Relacion S/N = 15  
Error linea de base = 3.8 (+/- un sigma en cuentas)

**Figura 3.2:** Extracto del archivo de salida del programa de GrafCont.Delta

Los parámetros del archivo de salida para el barrido en declinación (ver Figura 3.2) son análogos al barrido en ascensión recta, con la salvedad de que la coordenada espacial que va siendo modificada durante la observación es la declinación.

Luego del resumen de los parámetros en este archivo aparecen 4 columnas (Ver Figura 3.3): en la primera aparece la posición observada que es el promedio dado por la forma de observación llamada de “2 fases” (señal, tubo de ruido + señal), en la segunda el número de cuentas correspondiente a esa posición que puede ser el resultado de los residuos del ajuste de la línea de base, como el número de cuentas del ajuste gaussiano, en la siguiente columna los residuos del ajuste gaussiano y en la última columna el valor del tubo de ruido.

El promedio de la cuarta columna es el valor de la temperatura de calibración para esa observación y con su dispersión verificamos la estabilidad térmica del tubo de ruido.

El “Error línea de base” es el promedio de la segunda columna.

Finalmente, la “Relación S/N” se obtiene haciendo el cociente entre la “Amplitud” y el valor medio del residuo del ajuste gaussiano a la fuente central.

Posicion observada	Cuentas residuos	Cuentas del ajuste gaussiano de la fuente central	Truido
138.605	-3.2748	.0000	308.00
138.616	-3.2748	.0000	306.00
138.629	-4.4238	.0000	310.00
138.650	-9.8351	.0000	297.00
138.671	-4.1183	.0000	302.00
138.685	-4.0409	.0000	302.00
138.700	6.2994	.0000	311.00
138.718	1.3554	.0000	308.00
138.734	-1.0779	.0000	299.00
138.756	-3.0799	.0000	311.00
138.777	-4.3083	.0000	291.00
138.798	-2.4635	.0000	302.00
138.819	-10.6552	.0000	298.00
138.835	5.0761	.0000	314.00
138.853	-6.7764	.0000	302.00
138.877	6.8389	.0000	312.00
138.904	-7.7752	.0000	297.00
138.928	-2.1416	.0000	292.00
138.947	-2.5665	.0000	306.00

**Figura 3.3:** Extracto del archivo de salida del programa *GrafCont.Alfa*. En el mismo aparecen posiciones donde no hay emisión de la fuente, y por ende, fueron excluidos del ajuste gaussiano. La tercera columna indica el resultado del ajuste gaussiano que aparece con ceros porque en estas filas es nulo.

El otro archivo contiene los parámetros fundamentales del archivo anterior que son utilizados para estudiar el comportamiento de la diferencia entre el valor observado y el del catálogo de referencia contra el ángulo horario, es decir, (“o-c”, t). En la Figura (3.4) se muestra este archivo. Los parámetros aparecen en este orden: fecha de observación, el nombre de la fuente, el número de barrido, la ascensión recta y la declinación los valores de coordenadas con los que se caló el telescopio, la declinación correspondiente al máximo de emisión para el ajuste gaussiano, las coordenadas horizontales, la cantidad “o-c”, la relación señal-ruido del perfil, el ancho a potencia a mitad del perfil, el ángulo horario de la observación correspondiente a esa observación.

col 1	col 2	col 3	col 4	col 5	col6	col7	col 8
20040520	S0023-28	1	71.194	-28.153	-28.174	54.62	249.40
col 9	col 10	col 11	col 12	col 13			
15	27.31	-16.75	74.25	-.021			

**Figura 3.4:** Segundo archivo de salida del programa GrafCont.Delta. El contenido de cada columna referidas como “col número” aparece en el texto de este informe.

# Capítulo 4

## Barridos en $\alpha$

### 4.1. Curvas obtenidas

Una vez realizado el proceso de reducción de los perfiles individuales para cada una de las fuentes observadas, se estudió el comportamiento entre la diferencia entre el valor observado y el del catálogo de referencia contra el ángulo horario, es decir, (“o-c”,t). Para ello, se derivó la siguiente curva para cada conjunto de observaciones:

$$o - c = a * t^2 + b * t + c \quad (4.1)$$

donde  $a$ ,  $b$  y  $c$  son los coeficientes del ajuste por mínimos cuadrados al conjunto de observaciones (“o-c”,t).

Las siguientes figuras son los gráficos de esta curva para cada una de las fuentes barridas en  $\alpha$ . Las mismas se muestran en el mismo orden de aparición de las fuentes en las tablas de los Capítulos 2 y 3.

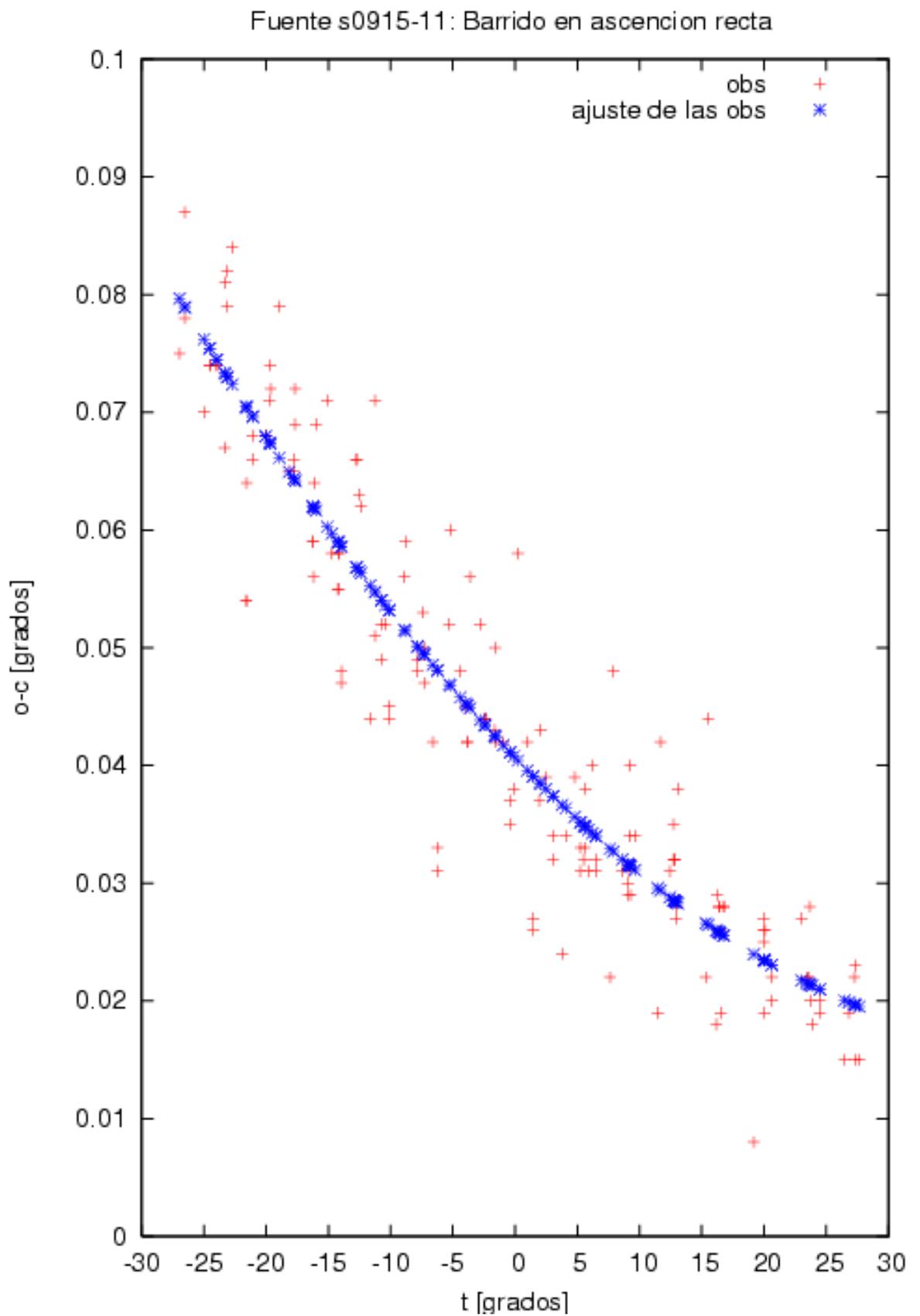


Figura 4.1: Hydra

Fuente s1251-12: Barrido en ascension recta

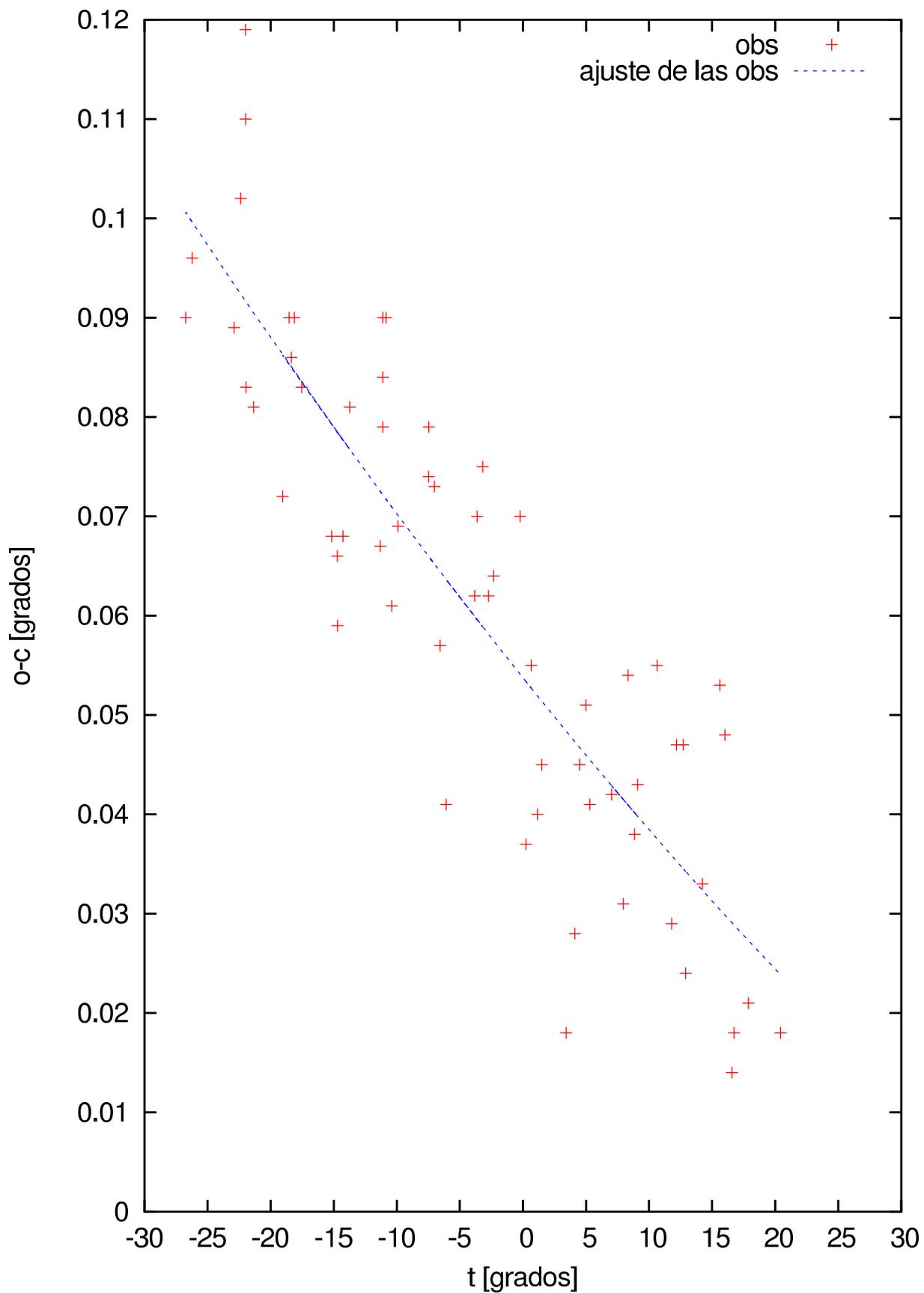


Figura 4.2: s1251-12

Fuente s2211-17: Barrido en ascension recta

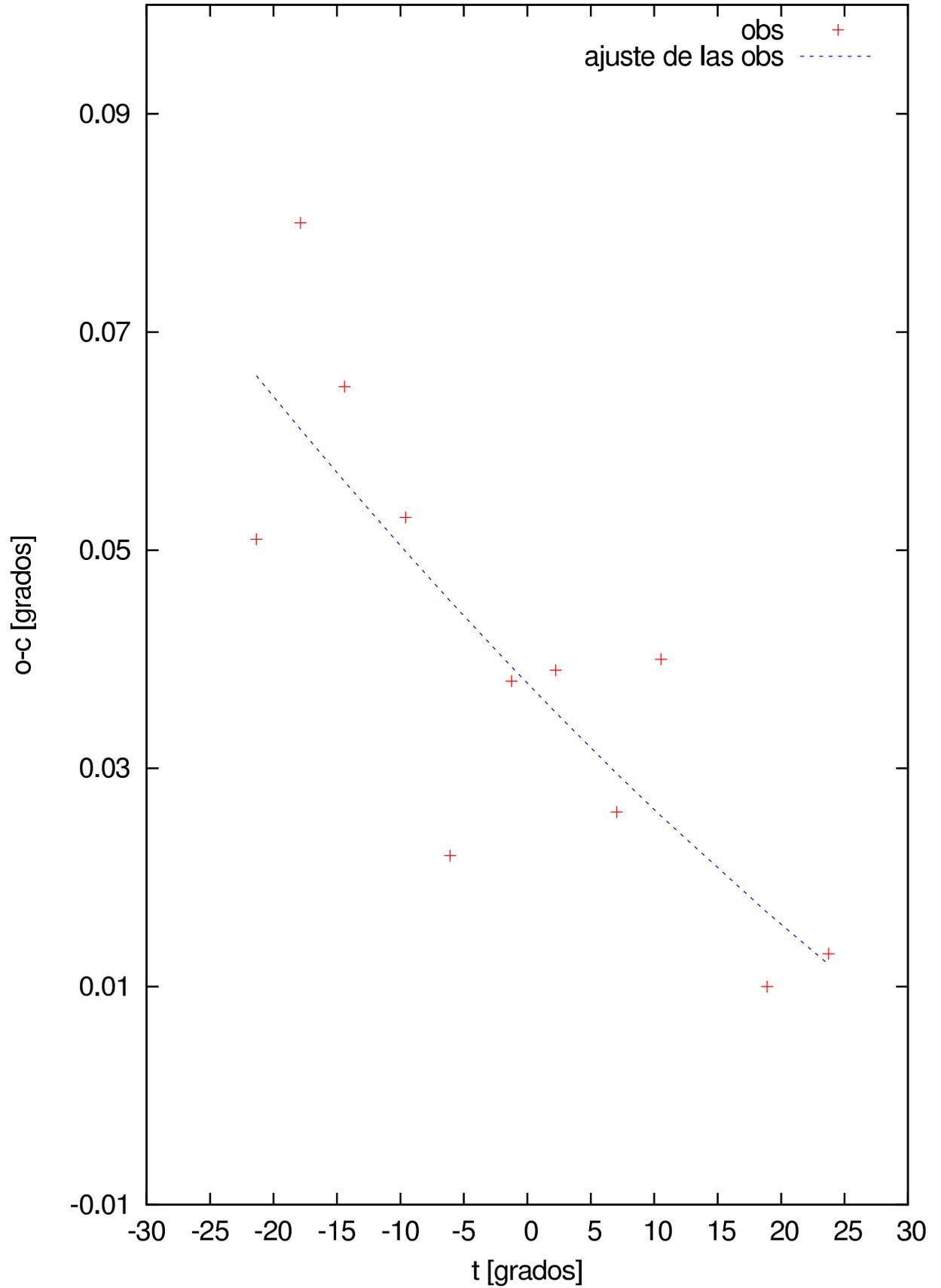


Figura 4.3: s2211-17

Fuente s2104-25: Barrido en ascension recta

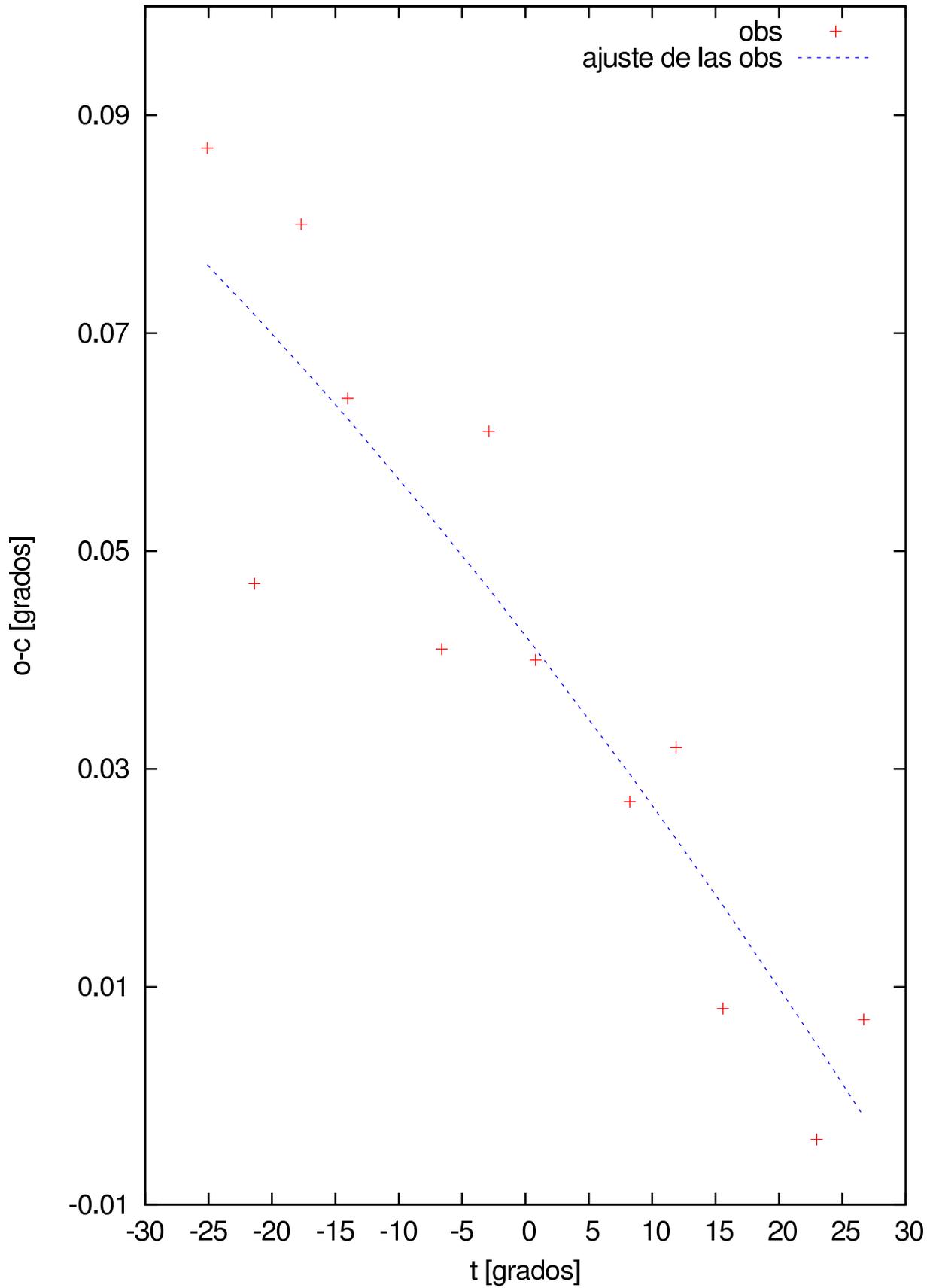


Figura 4.4: s2104-25

Fuente s0442-28: Barrido en ascension recta

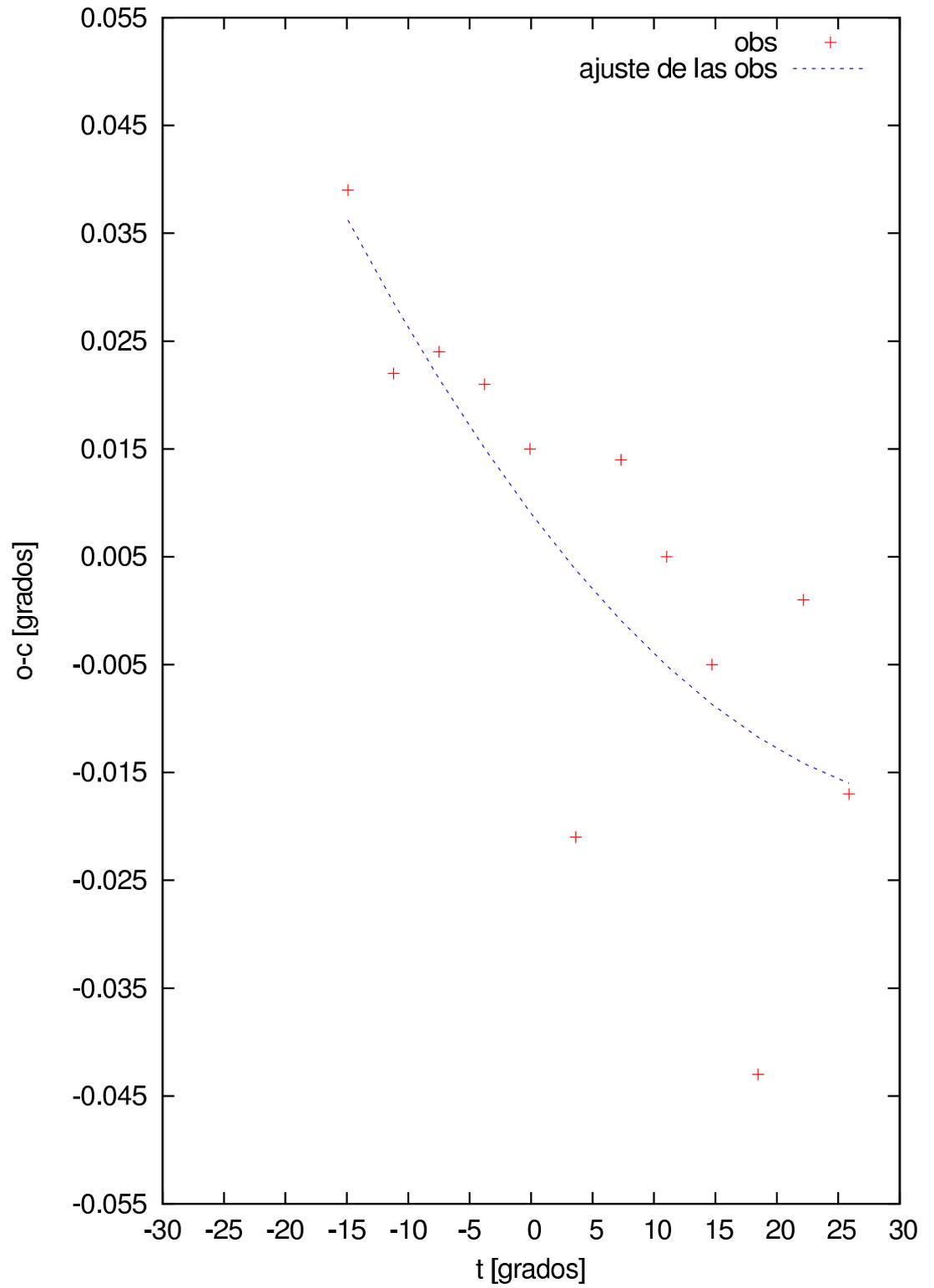


Figura 4.5: s0442-28

Fuente s0521-36: Barrido en ascension recta

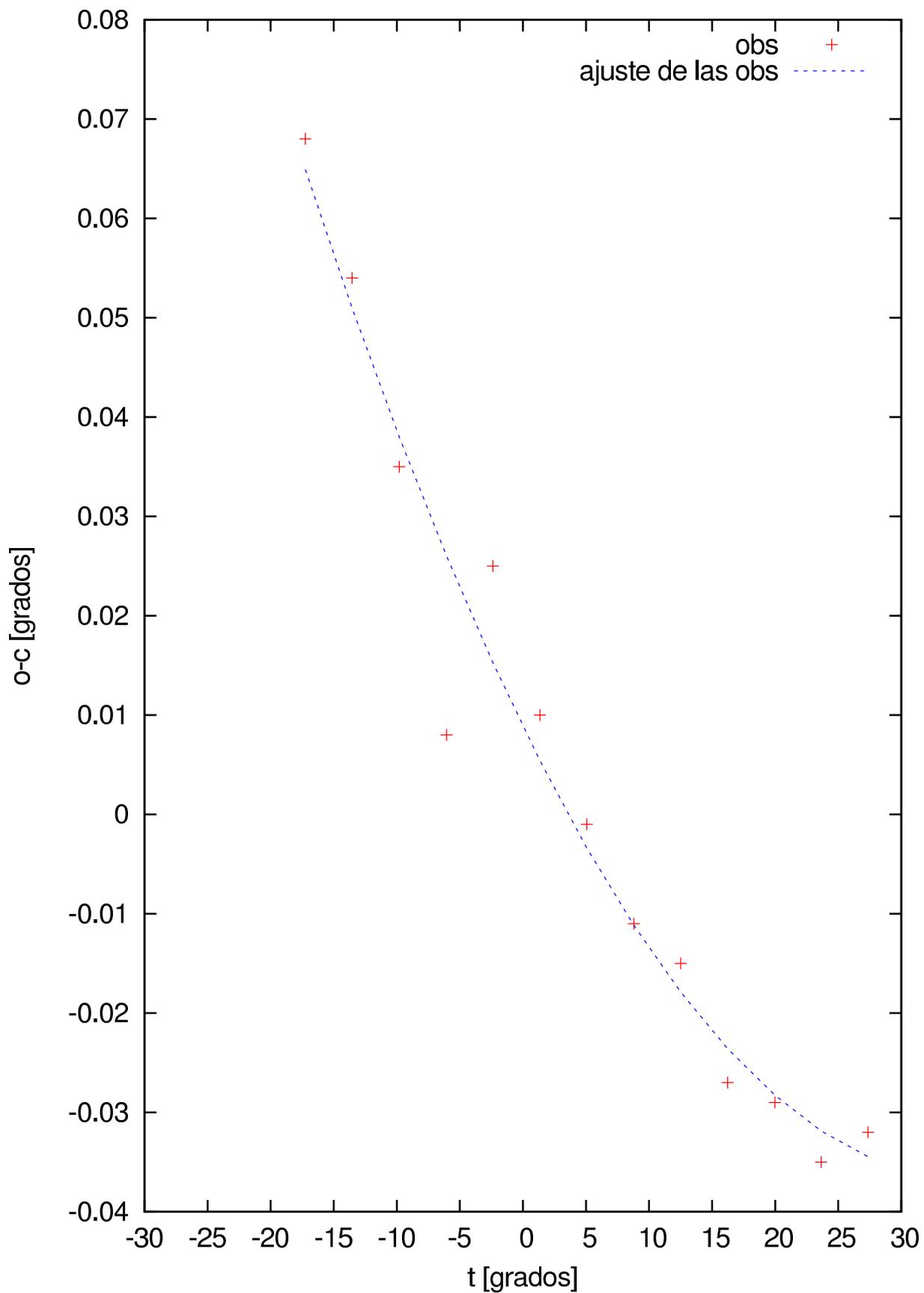


Figura 4.6: ss0521-36

Fuente s0043-42: Barrido en ascension recta

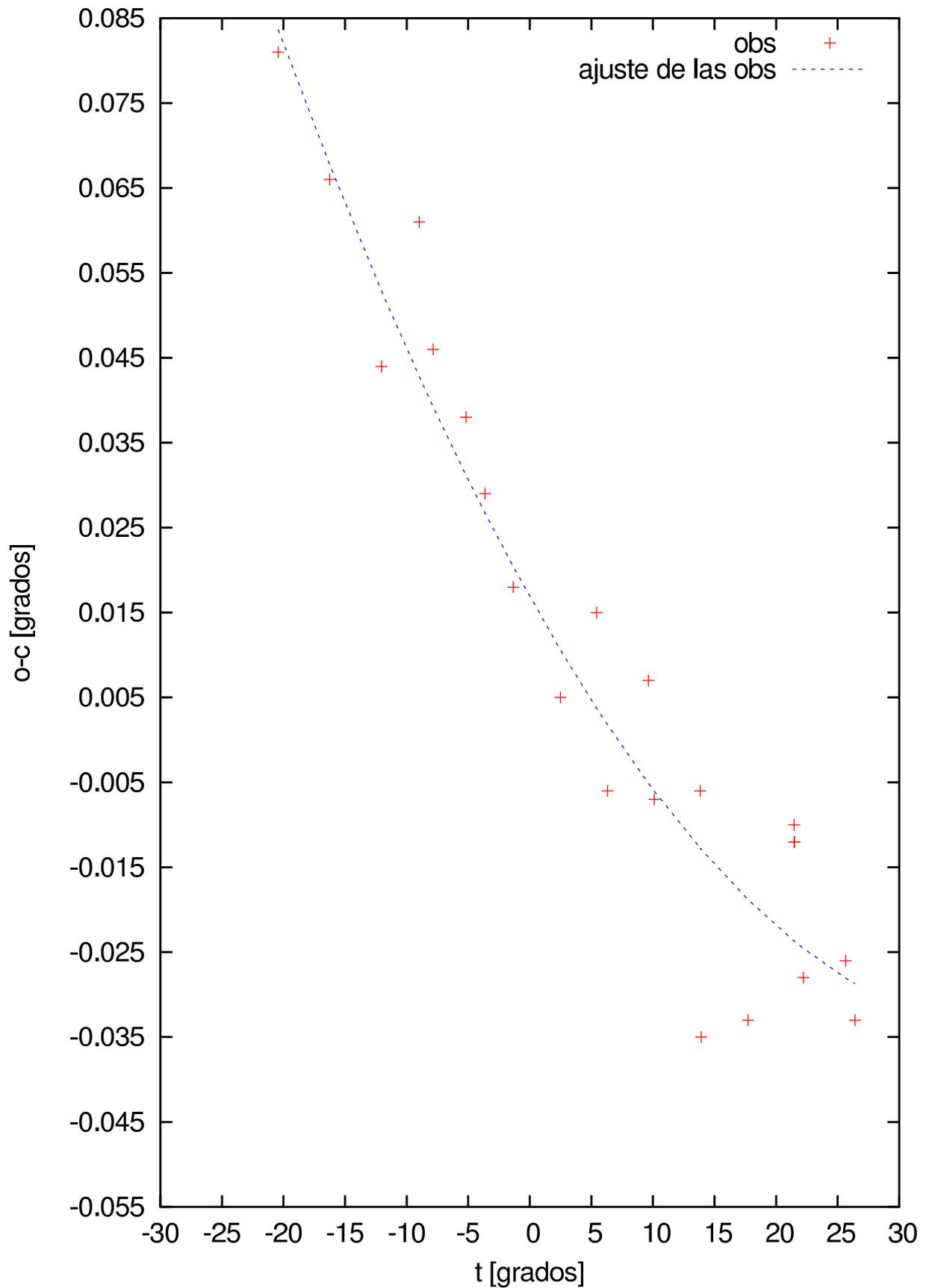


Figura 4.7: s0043-42

Fuente s0518-45: Barrido en ascension recta

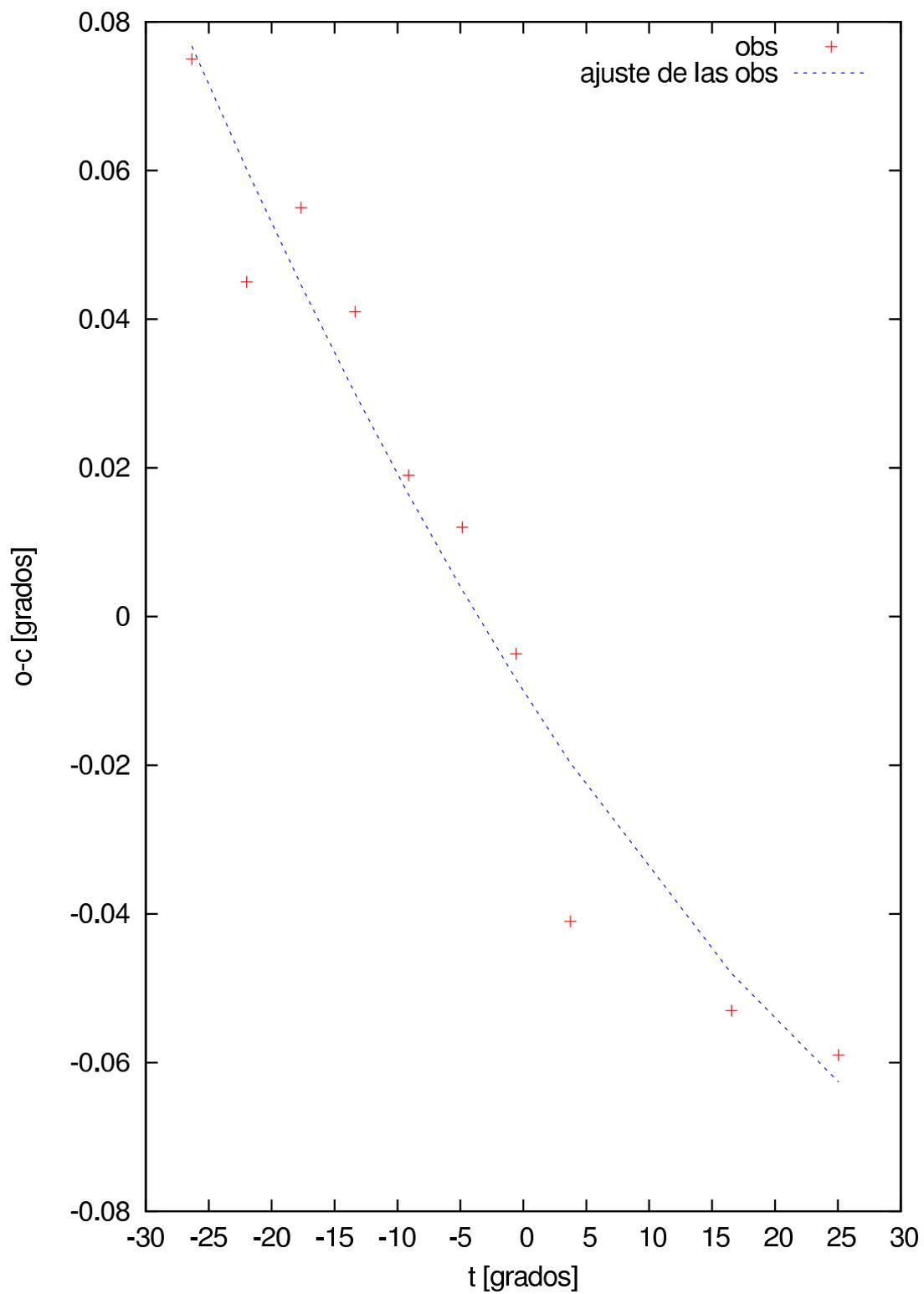


Figura 4.8: s0518-44

Fuente s1932-46: Barrido en ascension recta

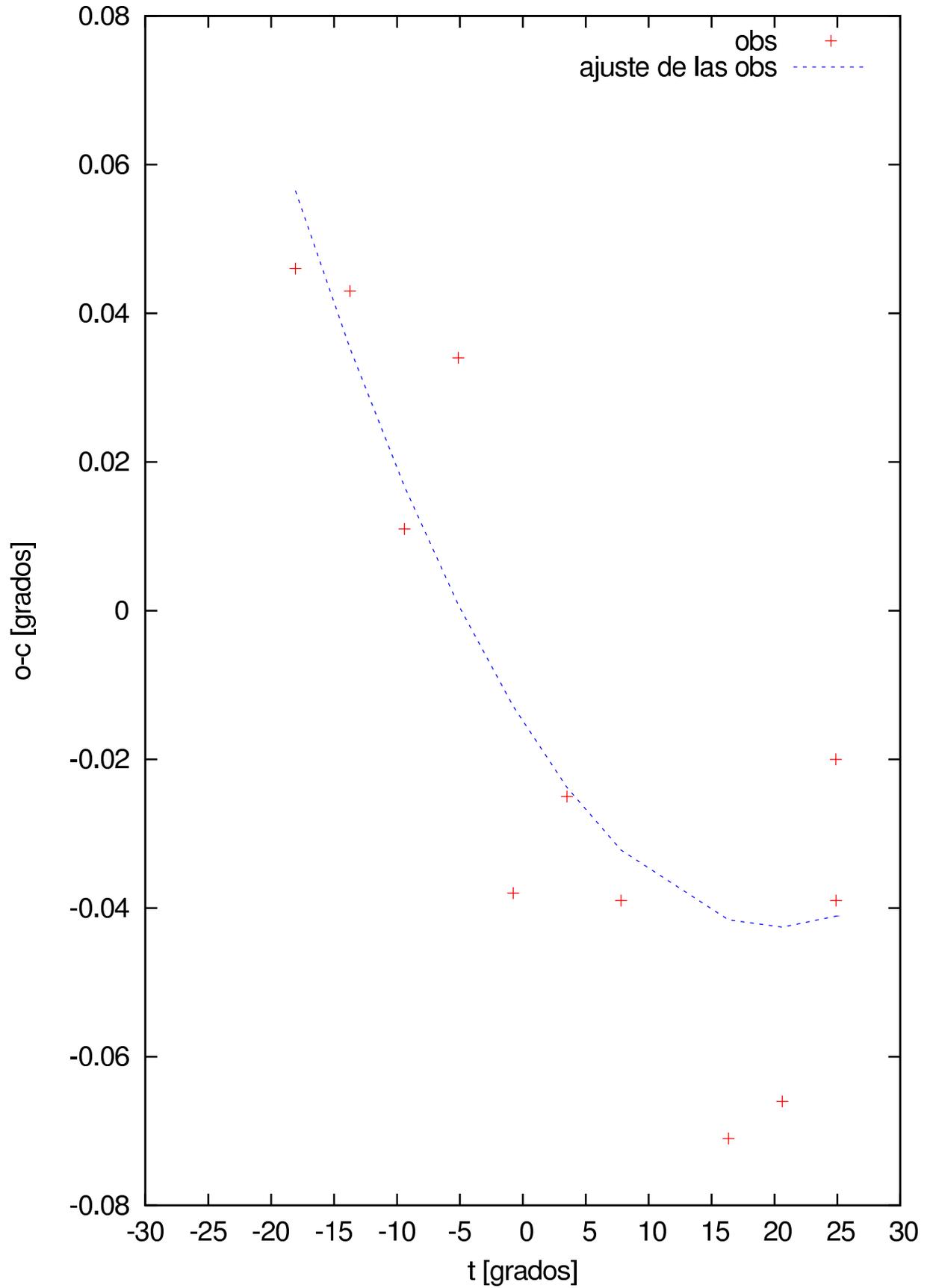


Figura 4.9: s1932-46

Fuente s1302-49: Barrido en ascension recta

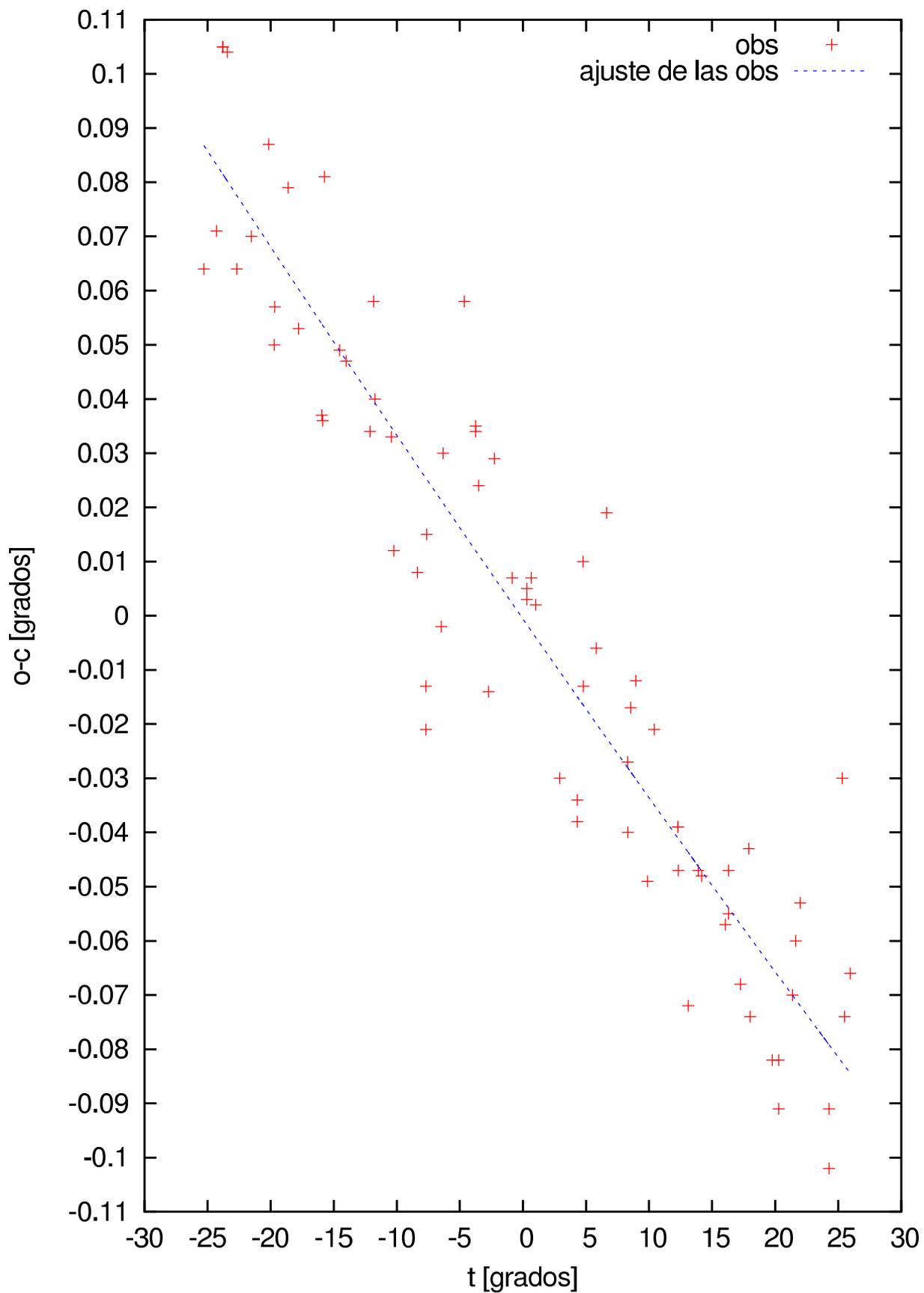


Figura 4.10: s1302-49

Fuente s1733-56: Barrido en ascension recta

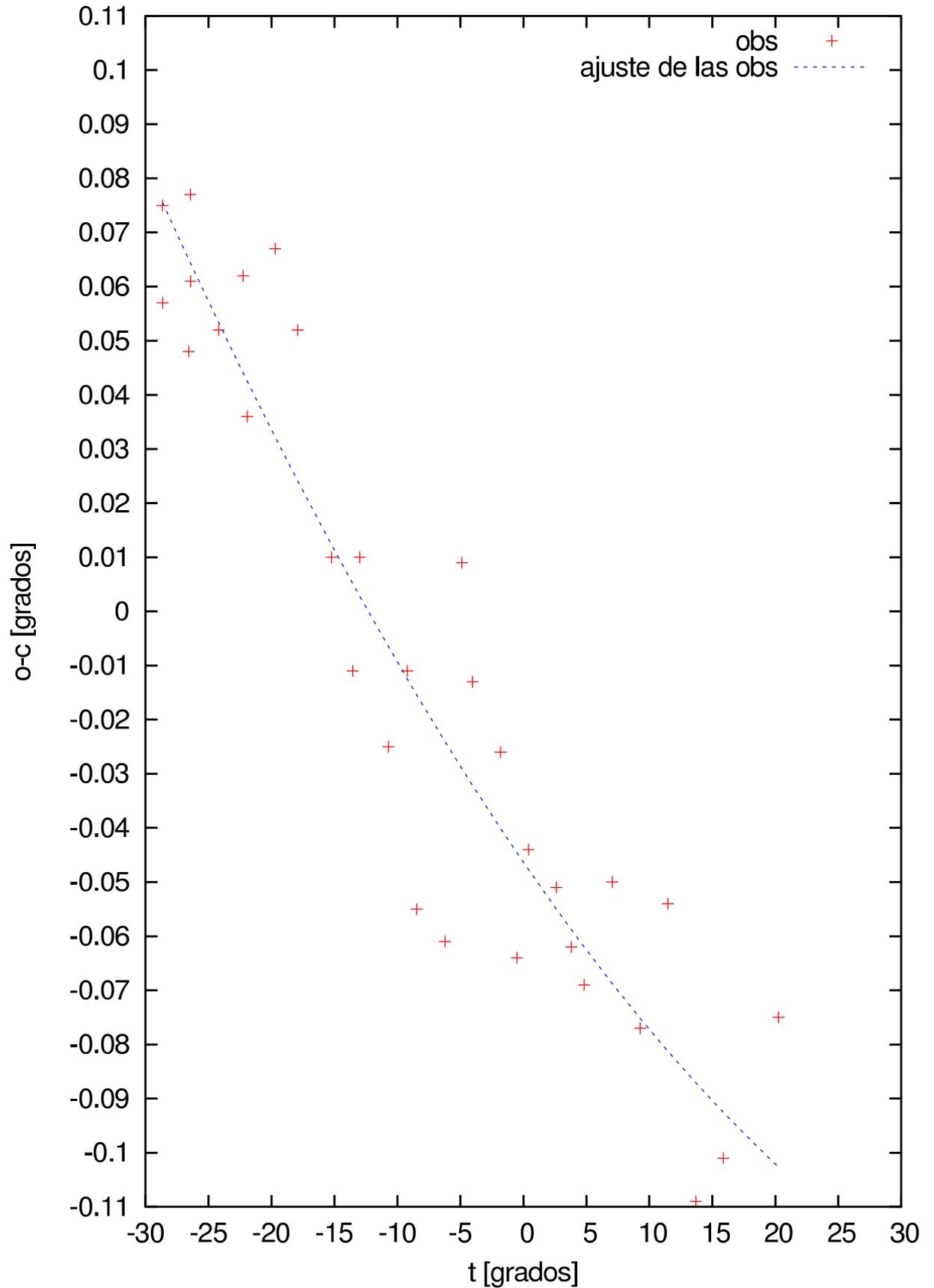


Figura 4.11: s1733-56

Fuente s1934-63: Barrido en ascension recta

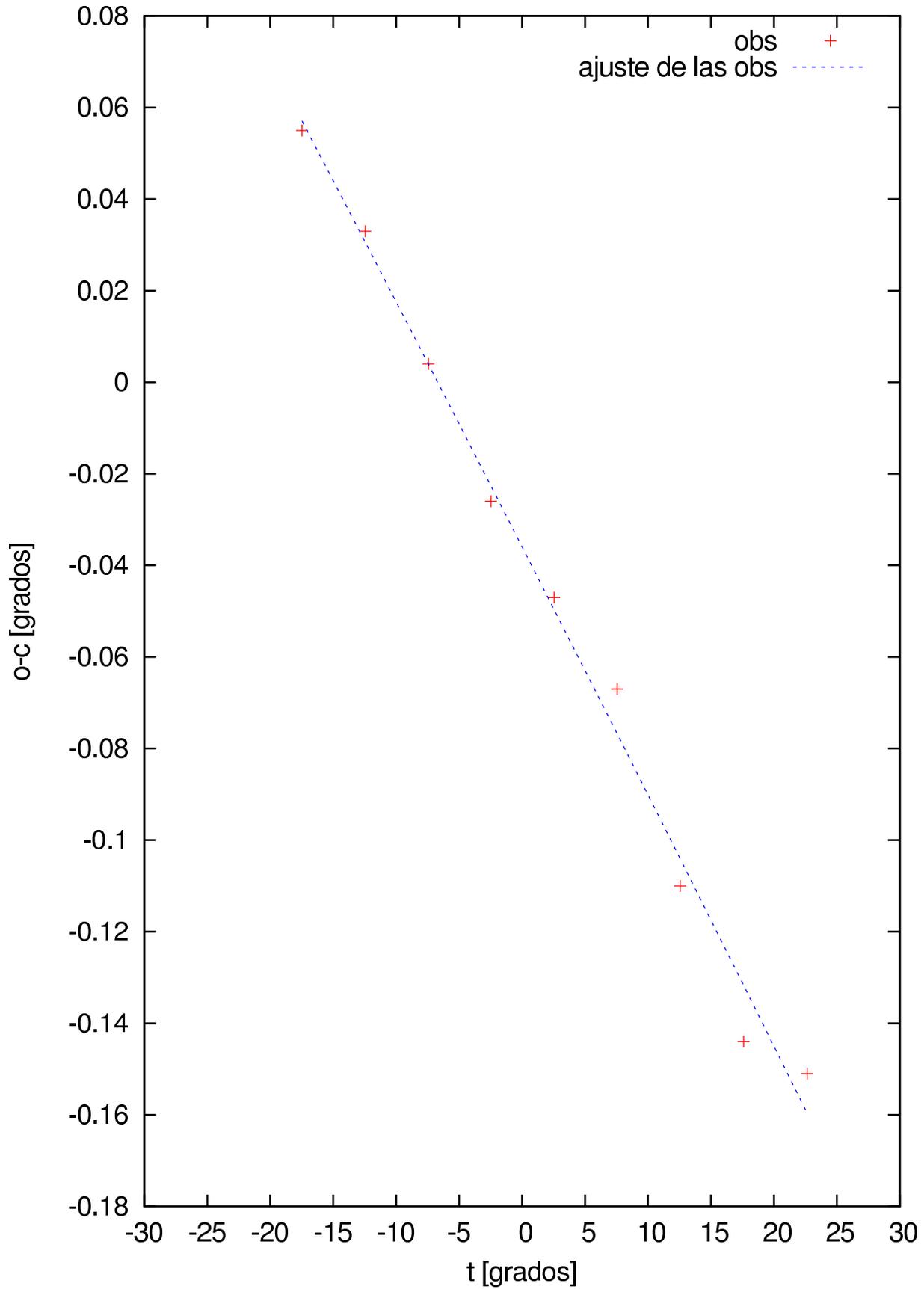


Figura 4.12: s1934-63

Fuente s0407-65: Barrido en ascension recta

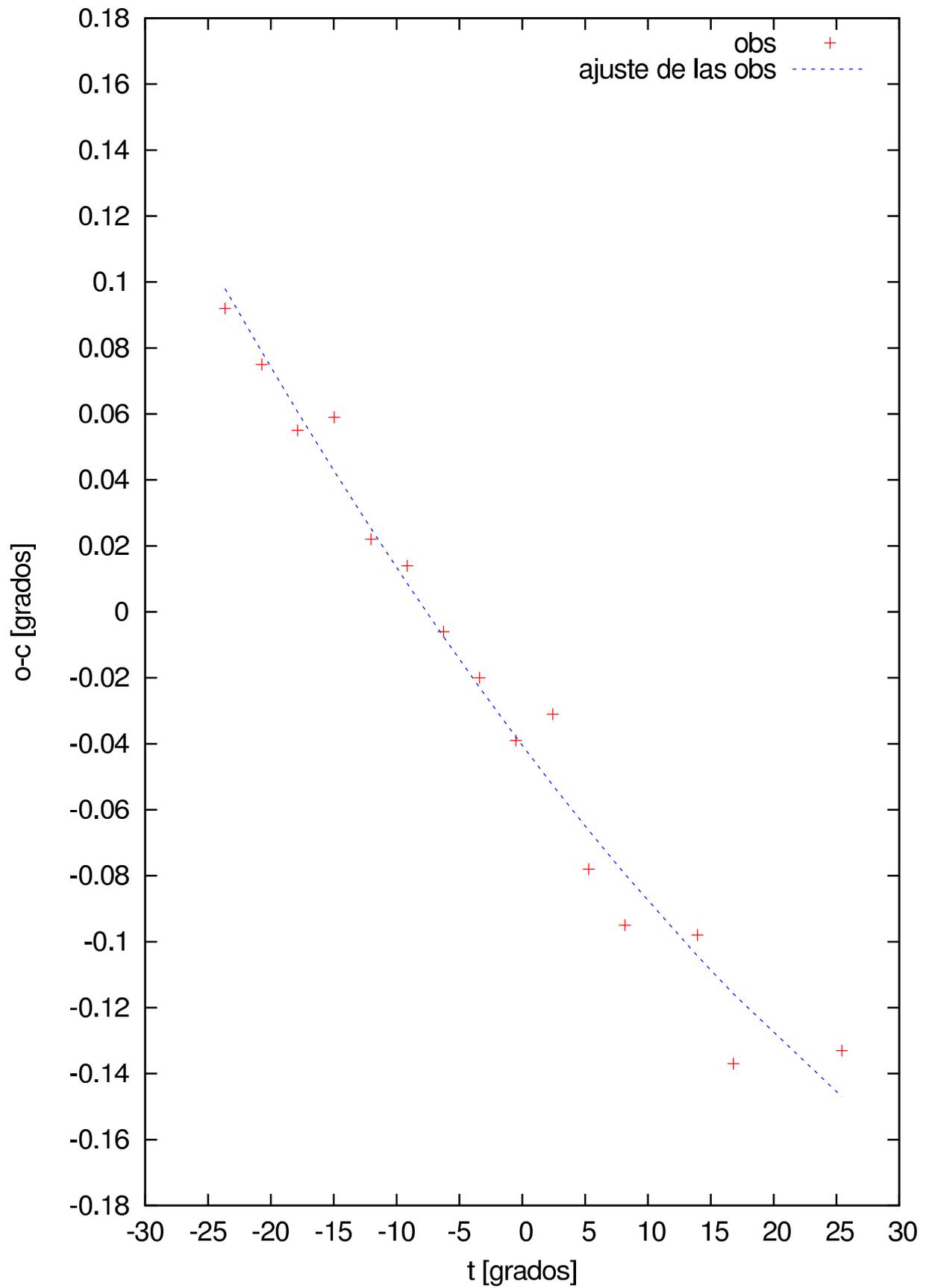


Figura 4.13: s0407-65

Fuente s2153-69: Barrido en ascension recta

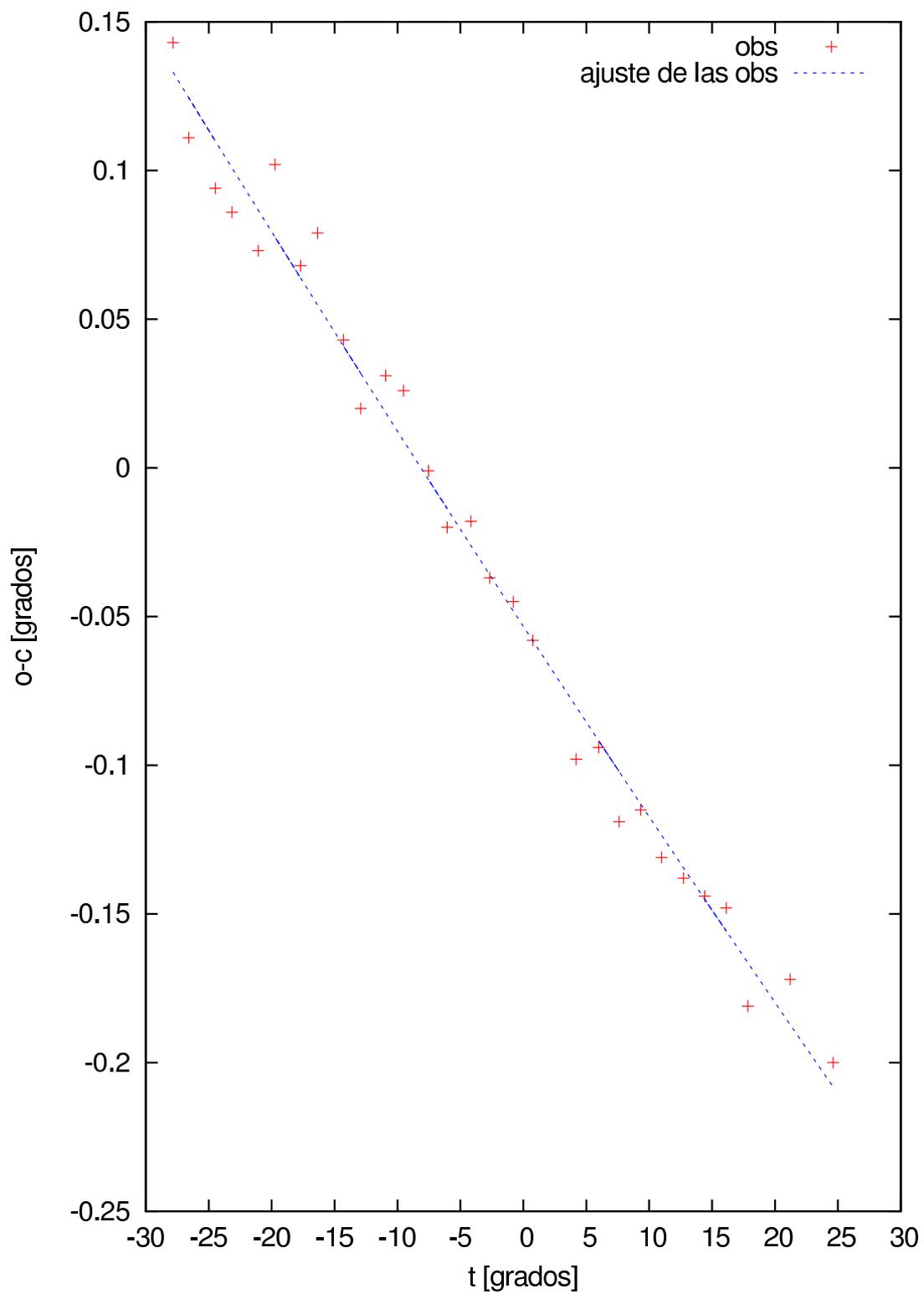


Figura 4.14: s2153-69

Fuente s0410-75: Barrido en ascension recta

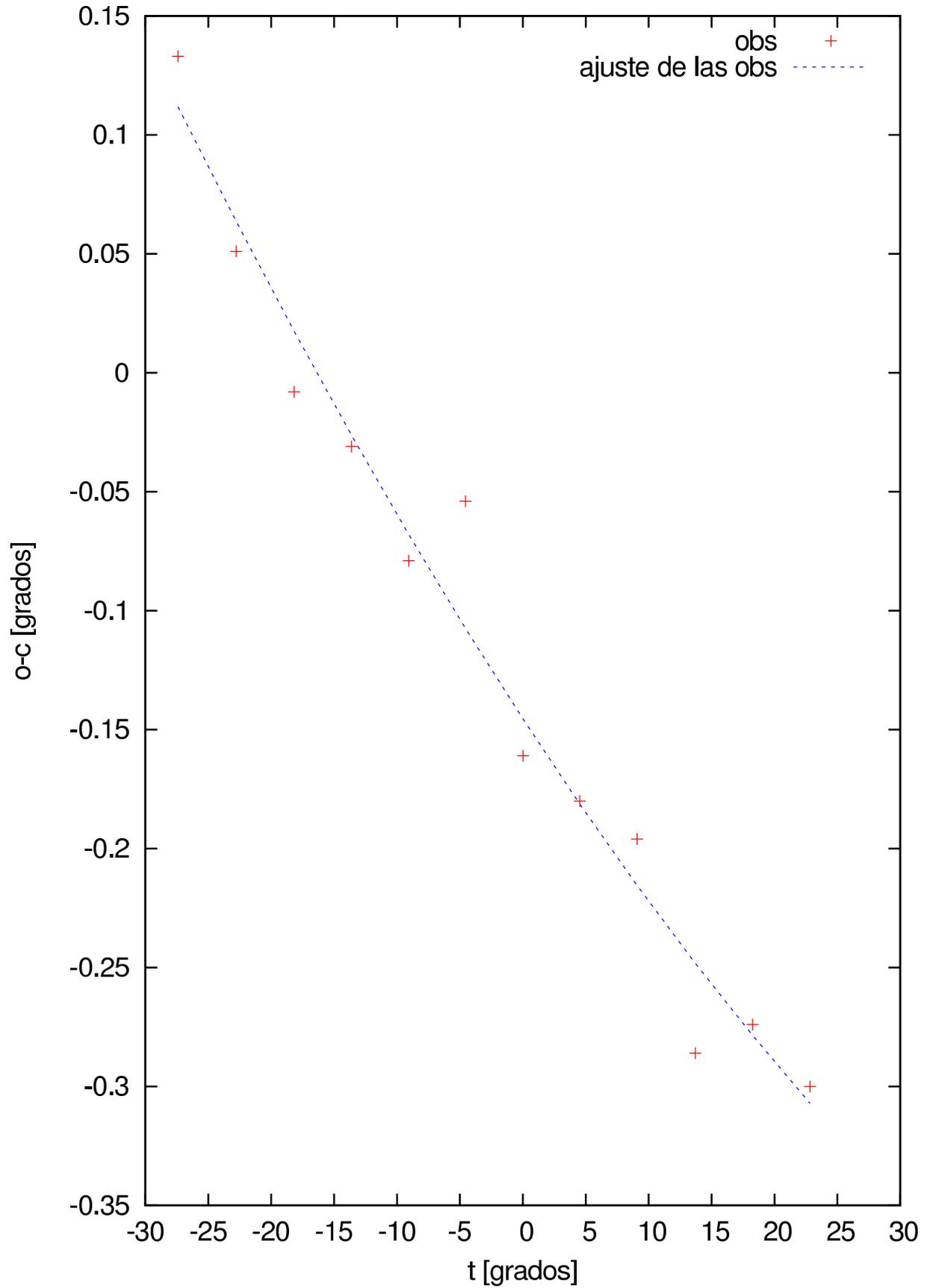


Figura 4.15: s0410-75

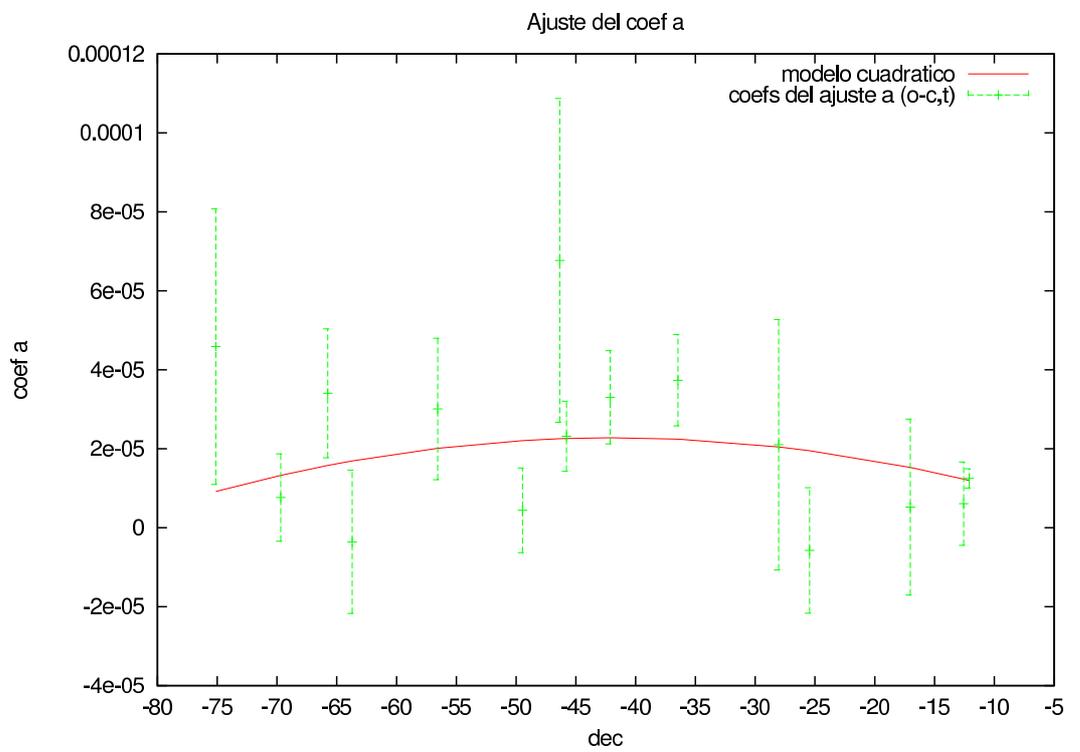
## 4.2. Análisis general de los datos

Luego de obtener los coeficientes  $a$ ,  $b$  y  $c$  de las curvas (o-c,t) para cada una de las fuentes, graficamos cada uno de ellos para estudiar el comportamiento de los coeficientes con la declinación. Comenzamos el análisis, ajustando un polinomio de grado 2 por mínimos cuadrados a los datos pesados por sus errores individuales.

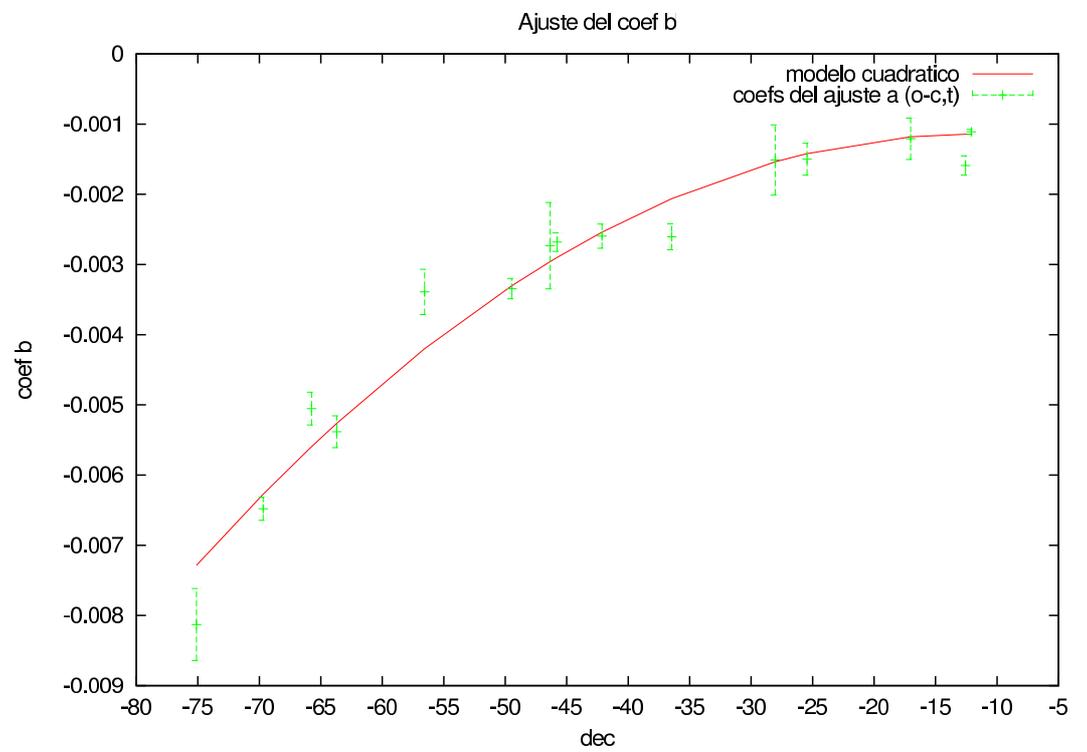
$$\begin{aligned}a(\delta) &= a * \delta^2 + b * \delta + c \text{ (Figura 416)} \\b(\delta) &= a * \delta^2 + b * \delta + c \text{ (Figura 417)} \\c(\delta) &= a * \delta^2 + b * \delta + c \text{ (Figura 418)}\end{aligned}\tag{4.2}$$

En las Figuras 4.16, 4.17 y 4.18 vemos que ninguna de las curvas pasa por la fuente que está más al sur de la muestra. De los tres coeficientes, es en el  $a$  donde es más notable la necesidad de ajustar un polinomio de mayor grado.

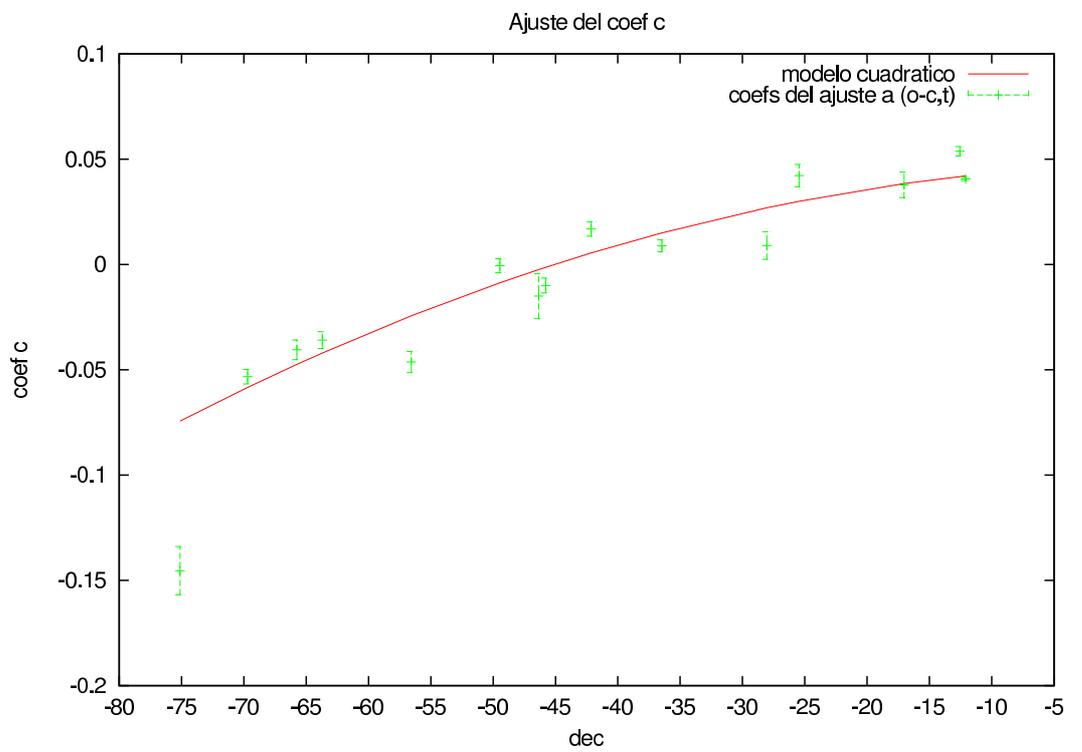
En la Figura 4.16 se ve que las fuentes que tienen mayor dispersión en el coeficiente  $a$  son las fuentes: s0410-75, s1932-46, s0442-28 y s2211-17. En particular, en las Figuras 4.20 y 4.21 que muestran la curvas para los barridos de las fuentes s1932-46 y s1934-63 se aprecian que tienen pocas observaciones que, además, no abarcan todo el rango de ángulos horarios. En el caso de las fuentes s0410-75, s1934-63, s1932-46, s0442-28 y s2211-17 tienen un número insuficiente de observaciones para considerarlas como una muestra representativa a lo largo de ángulos horarios (ver Figuras 4.19, 4.22 y 4.23). En los casos de s1932-46 y s1934-63 tenemos fuentes próximas a ellas con mejor calidad en los datos que son s0518-45 y s0407-65, respectivamente, por lo que las serán excluidas de la muestra. Sin embargo, esto no sucede para las fuentes s0410-75, s0442-28 y s2211-17 ya que son las únicas fuentes en un rango de  $5^\circ$  por lo que serán consideradas dentro de la muestra. Respecto a las fuentes s1733-56, s0518-45, s0521-36 y s0442-28 (Ver Figuras (4.24, 4.25, 4.26 y 4.22) hay algunos puntos que tienen baja relación S/N, por lo que serán sacados de las muestras y mejorará el ajuste de la curva (o-c,t).



**Figura 4.16:** Comportamiento de los coeficientes  $a$  con la declinación. El modelo cuadrático aparece indicado como una curva de color rojo, mientras que con verde se indican los coeficientes individuales con su barra de error.



**Figura 4.17:** Comportamiento de los coeficientes b con la declinación. El modelo cuadrático aparece indicado como una curva de color rojo, mientras que con verde se indican los coeficientes individuales con su barra de error.



**Figura 4.18:** Comportamiento de los coeficientes  $c$  con la declinación. El modelo cuadrático aparece indicado como una curva de color rojo, mientras que con verde se indican los coeficientes individuales con su barra de error.

Fuente s0410-75: Barrido en ascension recta

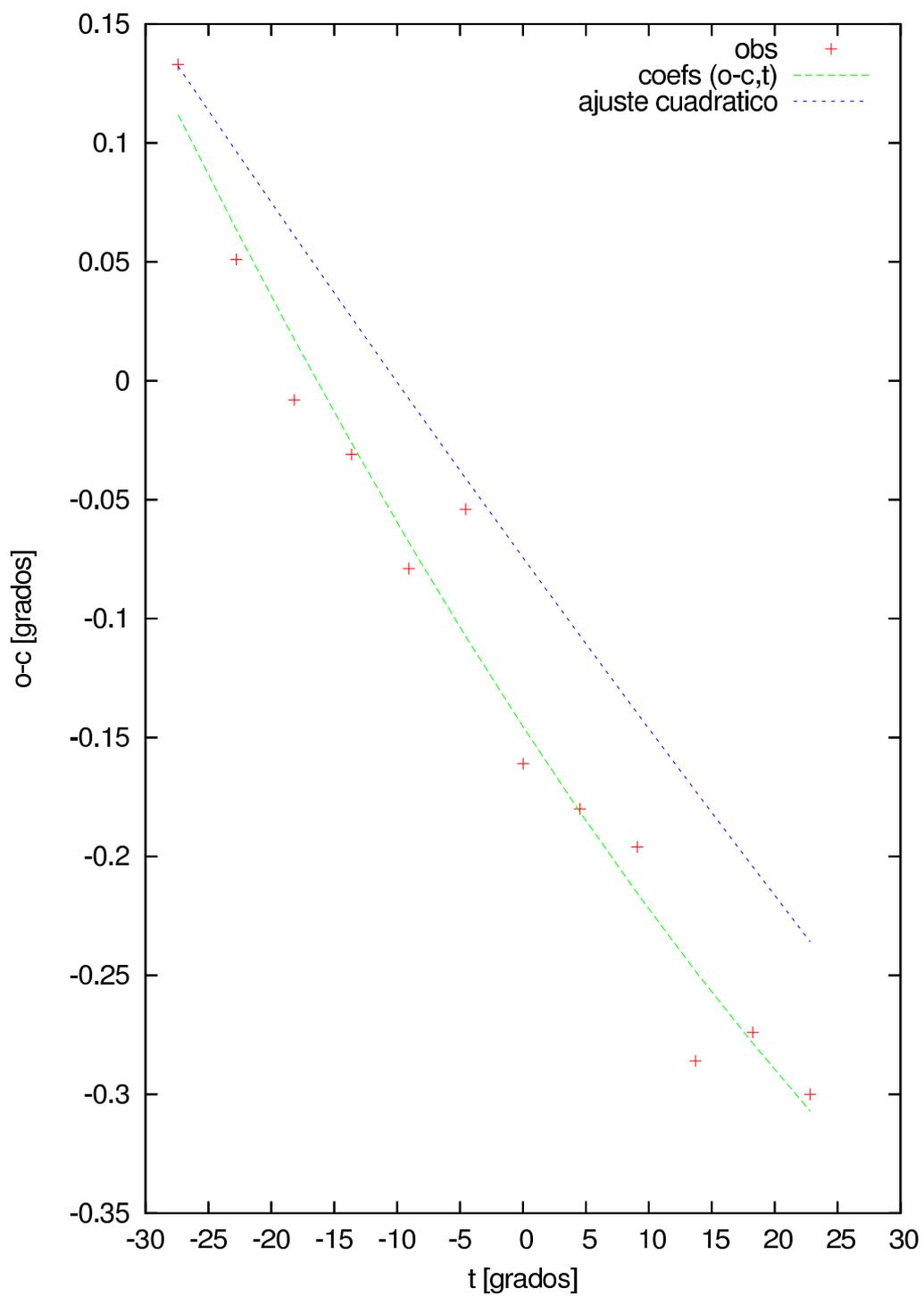


Figura 4.19: Fuente s0410-75

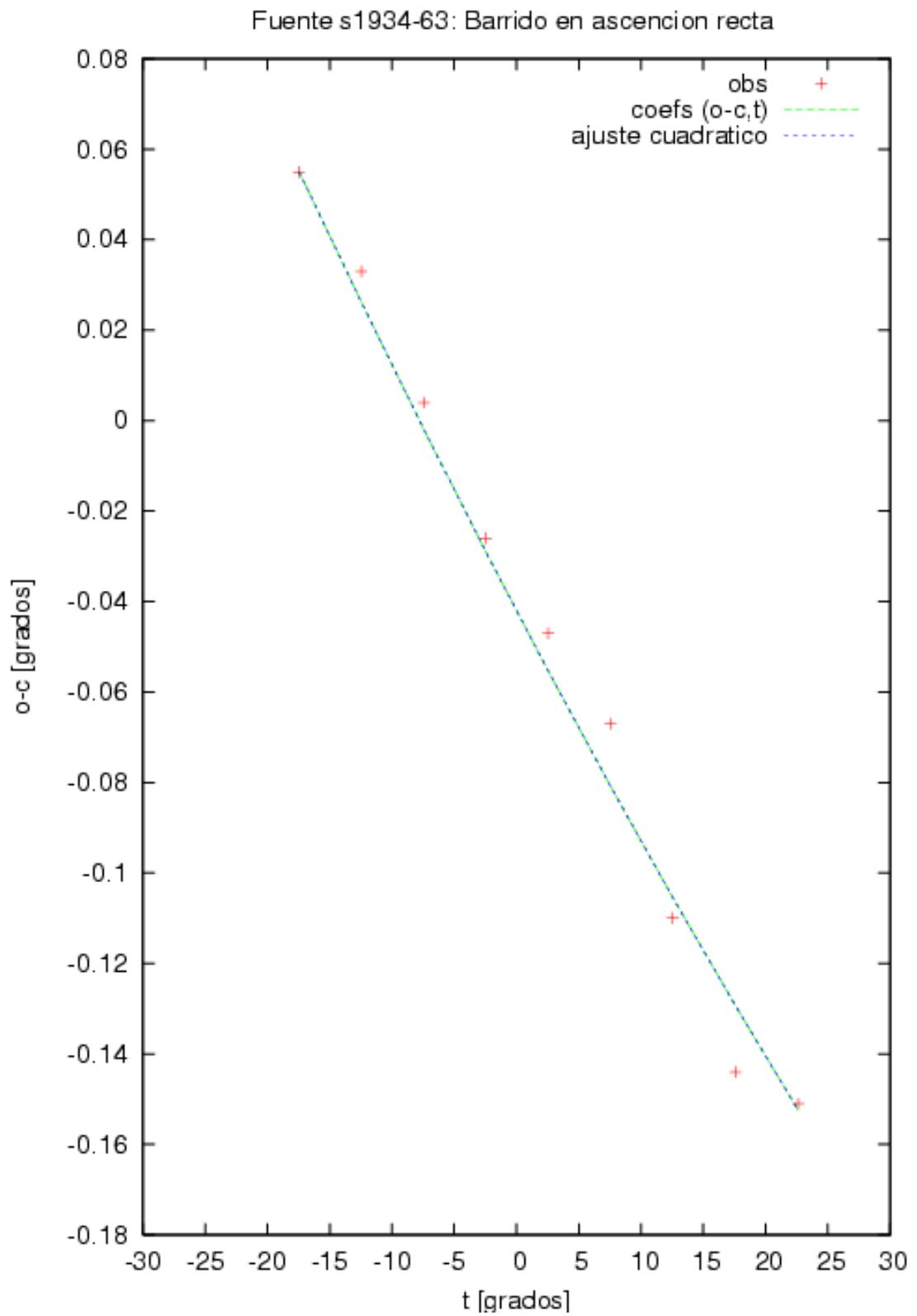


Figura 4.20: Fuente s1934-63 será excluída de la muestra

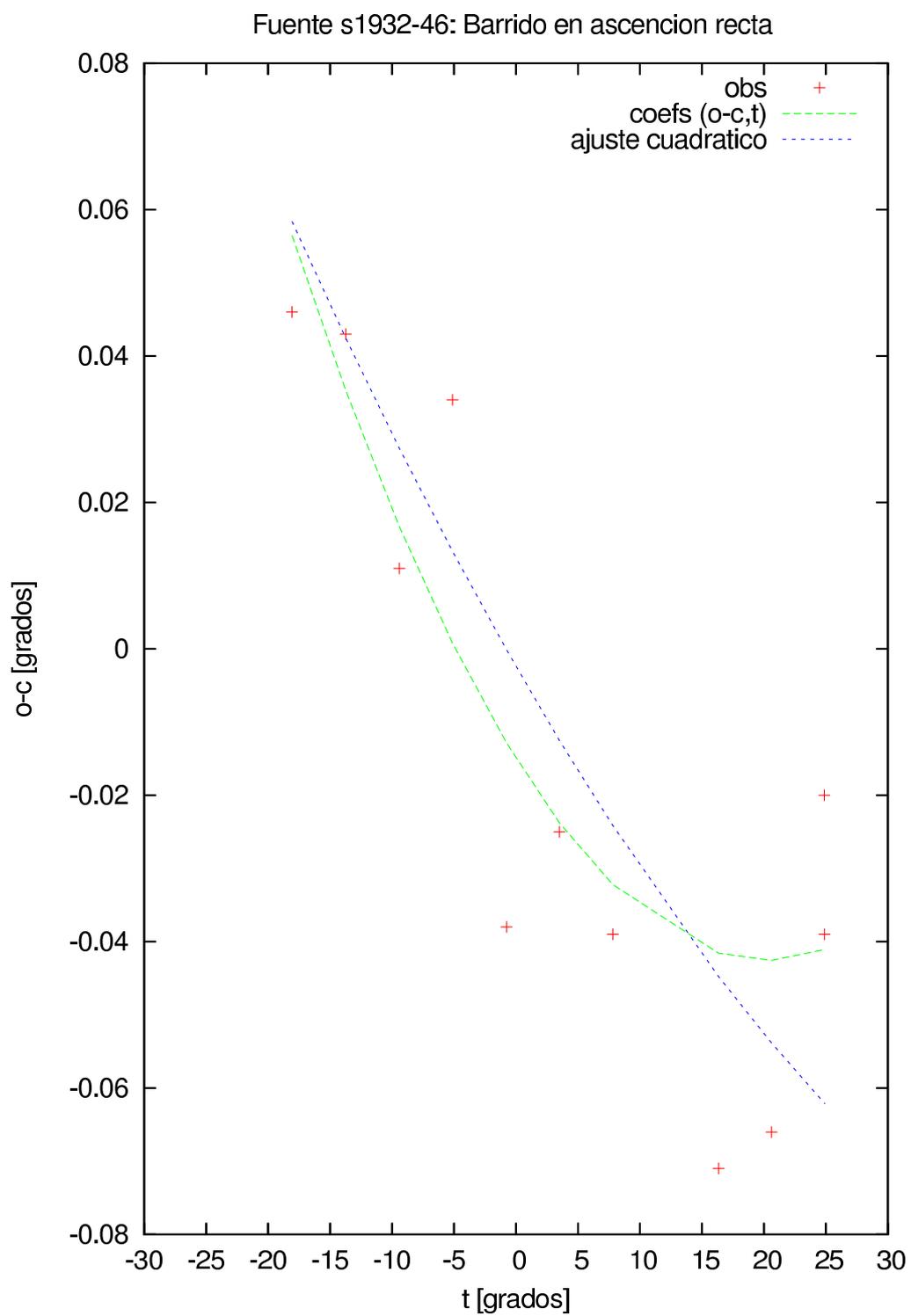


Figura 4.21: Fuente s1932-46 será excluída de la muestra

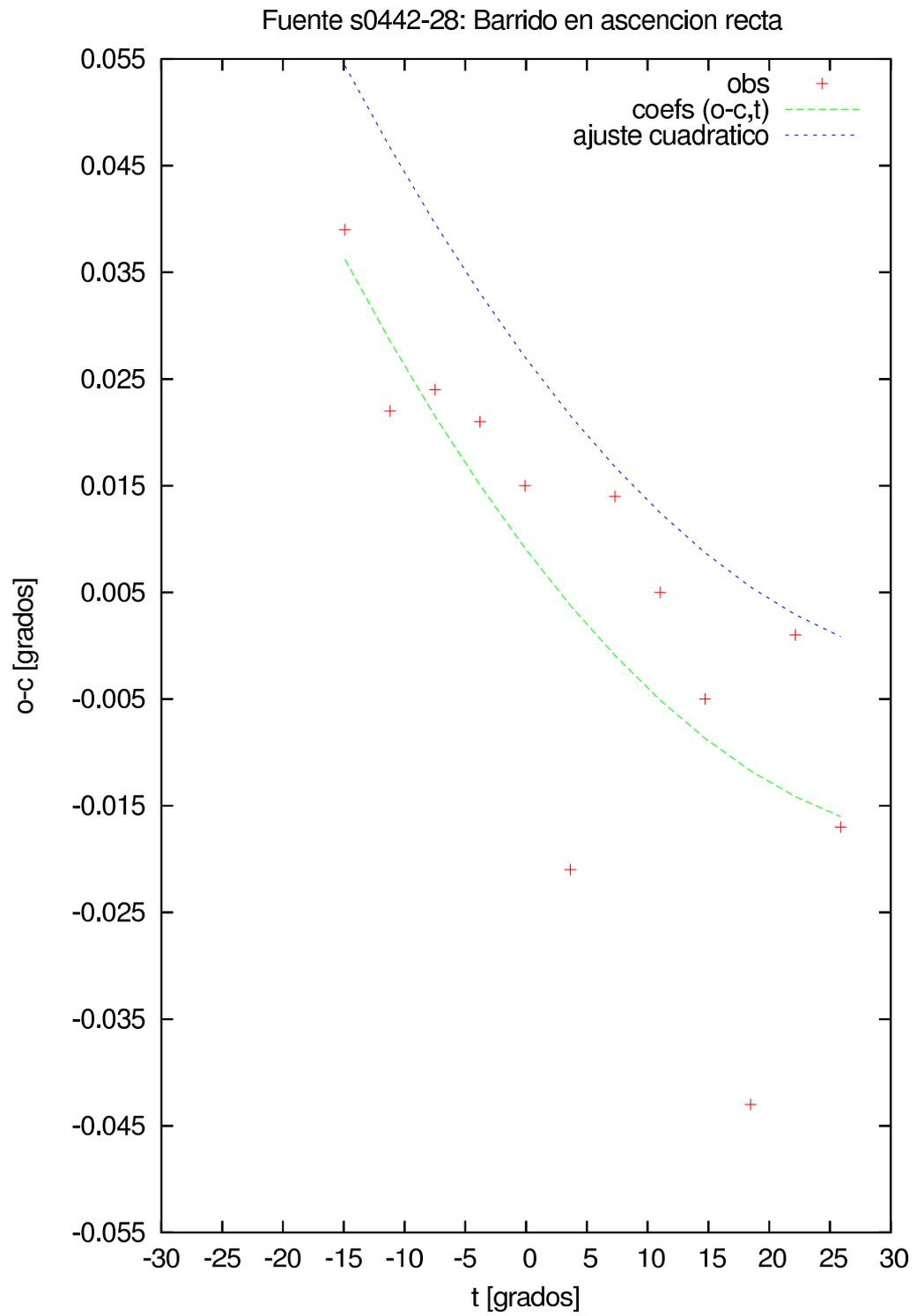


Figura 4.22: Fuente s0442-28

Fuente s2211-17: Barrido en ascension recta

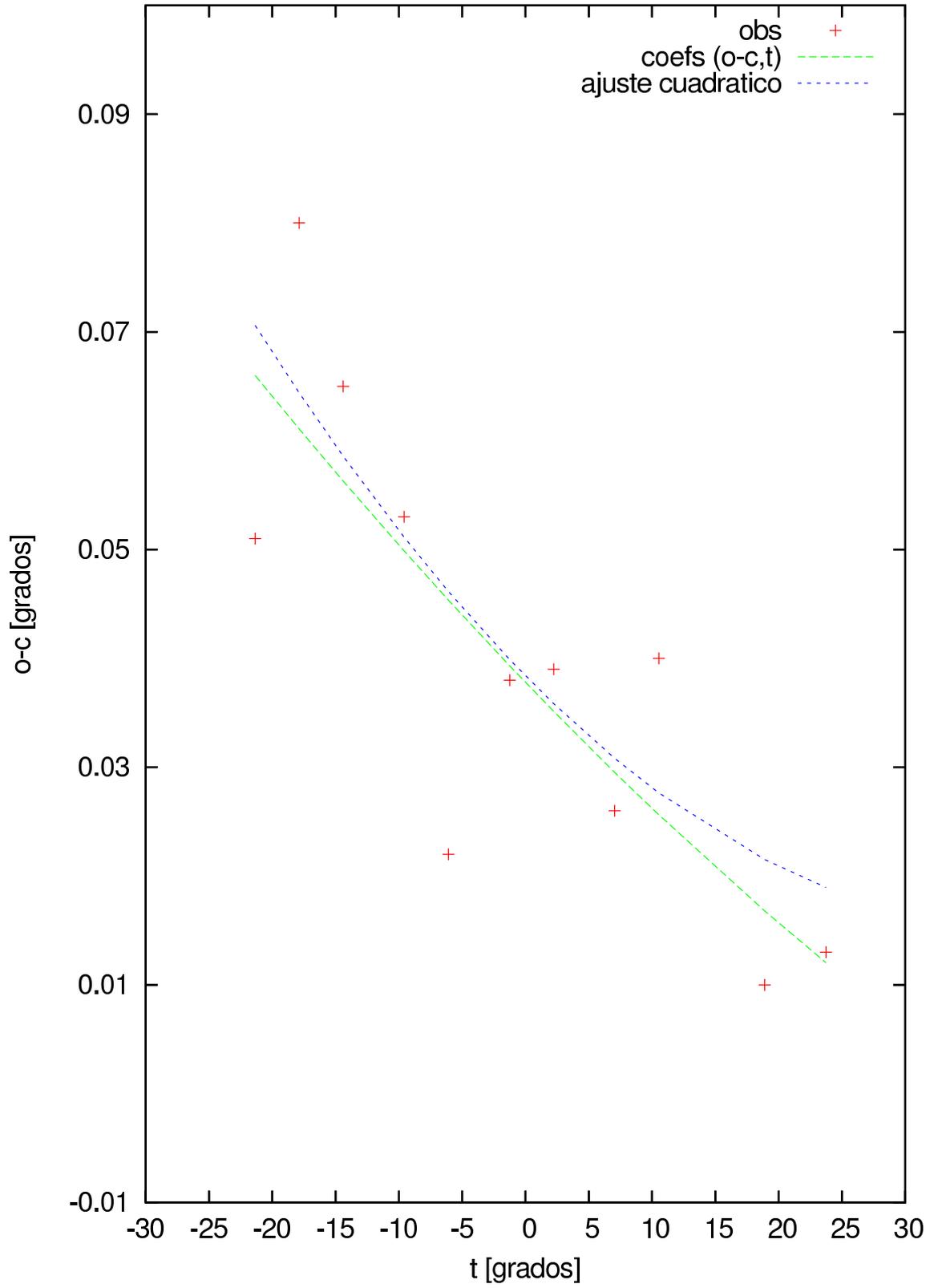


Figura 4.23: Fuente s2211-17

Fuente s1733-56: Barrido en ascension recta

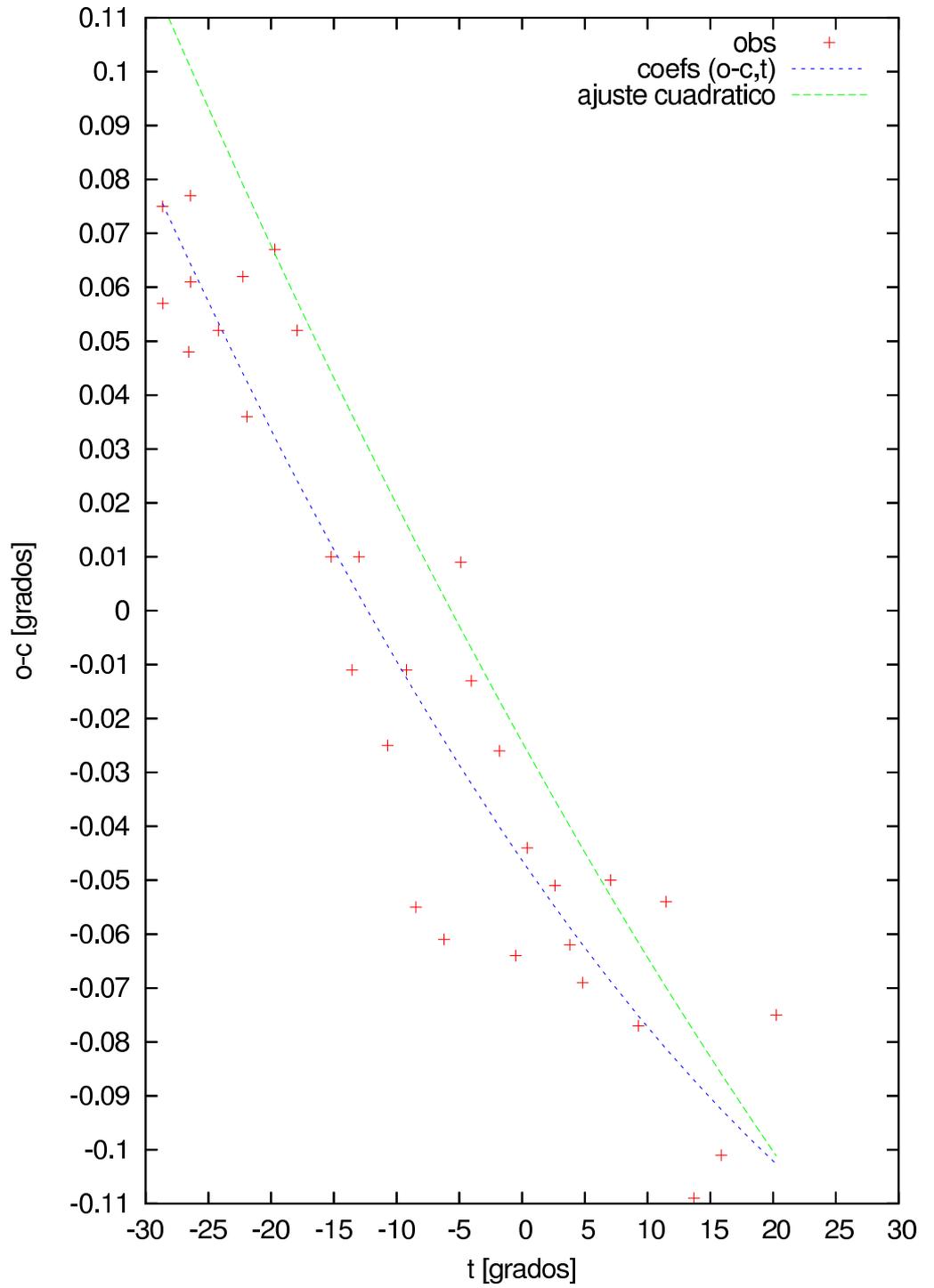


Figura 4.24: Fuente s1733-56

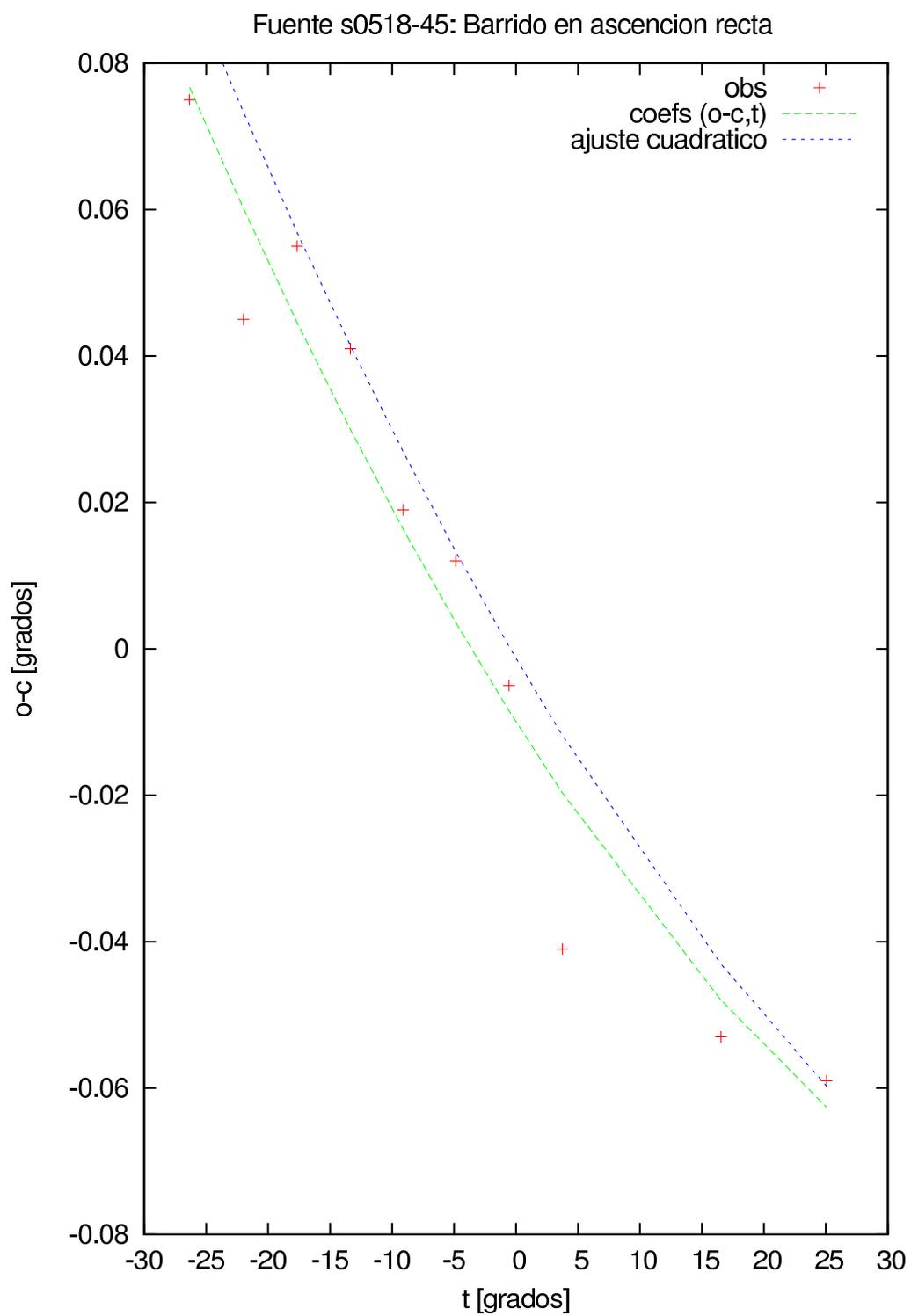


Figura 4.25: Fuente s0518-45

Fuente s0521-36: Barrido en ascension recta

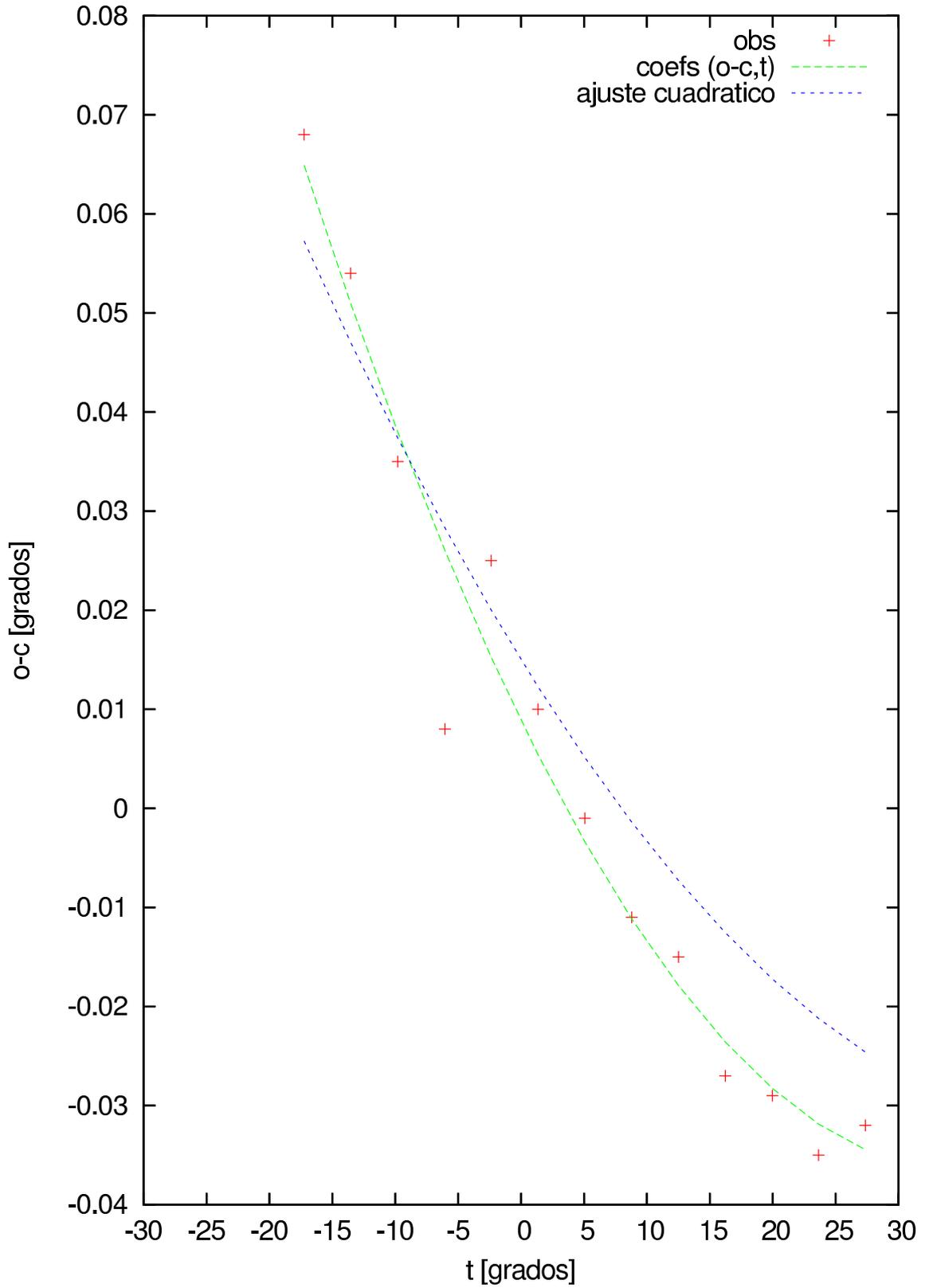


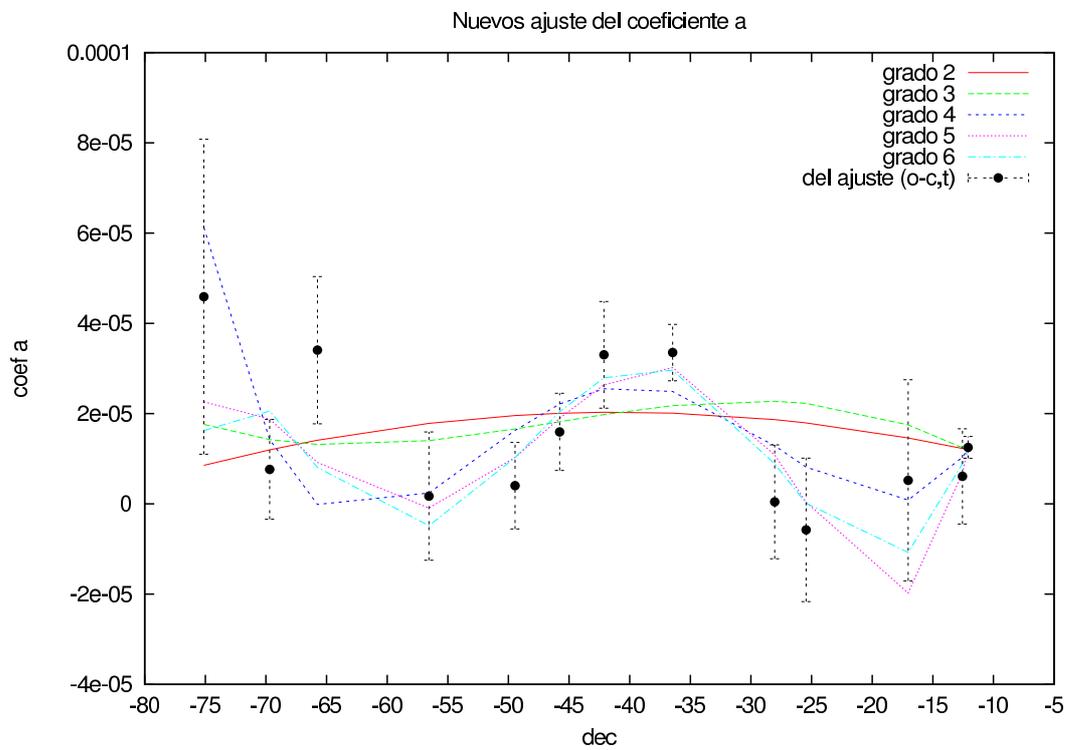
Figura 4.26: Fuente s1733-56

### 4.2.1. Buscando el modelo de apuntamiento

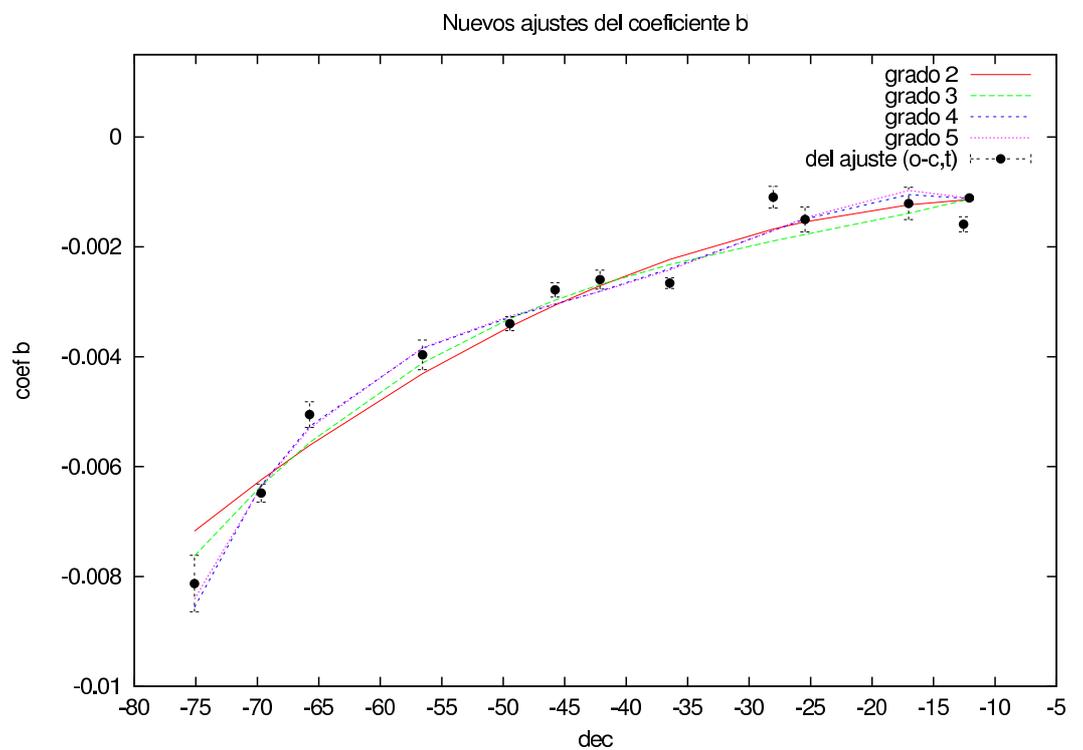
Luego de quedarnos con 13 fuentes y de haber sacado los puntos con baja relación S/N, se calcularon nuevamente los coeficientes para las fuentes s1733-56, s0518-45, s0442-48 y s0521-36:

$$o - c = a * t^2 + b * t + c \quad (4.3)$$

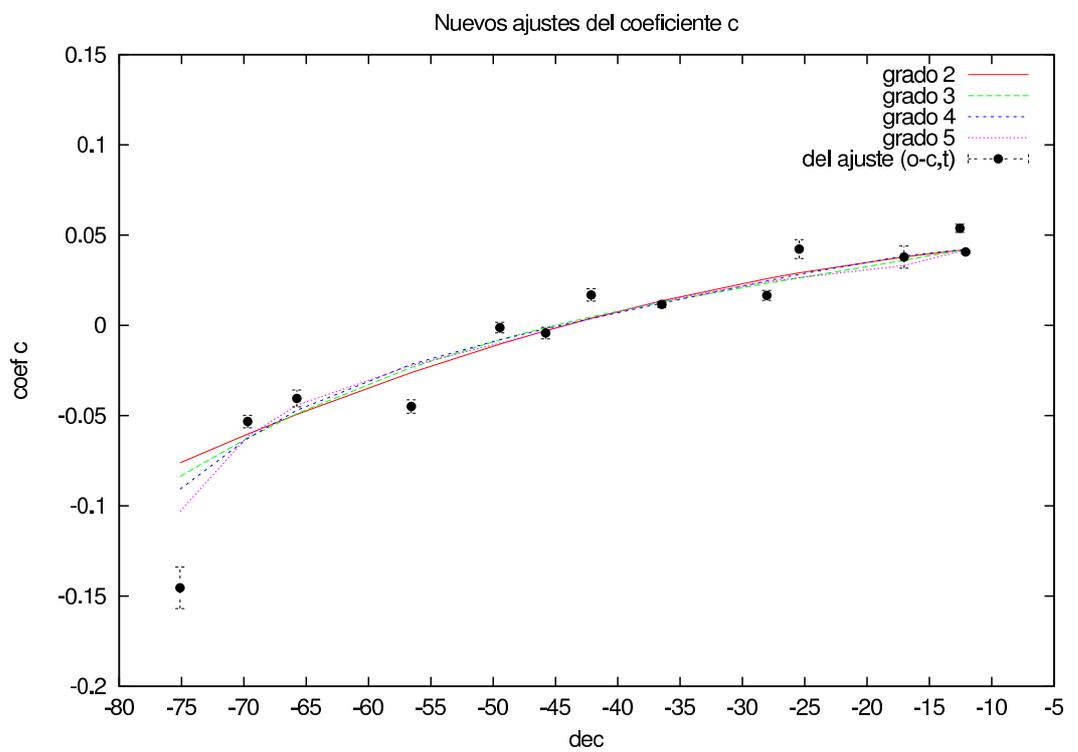
Con estos nuevos  $a$ ,  $b$  y  $c$  se encontró la nueva relación funcional con la declinación, ajustándose polinomios de diferente grados. Estos ajustes se ven en las Figuras 4.27, 4.28 y 4.29, donde aparecen polinomios de grado 2, 3, 4, 5 y 6 para el coeficiente  $a$  y de grado 2, 3, 4 y 5 para los coeficientes  $b$  y  $c$ . Para el coeficiente  $a$  el polinomio que mejor ajusta es el de grado 4, para el  $b$  no hay diferencias entre los polinomios de grado 4 y 5, mientras que para el  $c$  las discrepancias entre los grados 2 al 5 son mínimas, por lo que en los tres casos nos quedamos con el que mejor ajusta con menor grado.



**Figura 4.27:** Comportamiento de los coeficientes  $a$  con la declinación. Las distintas curvas representan ajuste por mínimos cuadrados de polinomios de diferentes grados que están indicados en la parte superior derecha de este gráfico. Los puntos negros indican los coeficientes individuales de las fuentes con su barra de error obtenidos del ajuste (o-c,t).



**Figura 4.28:** Comportamiento de los coeficientes b con la declinación. Las distintas curvas representan ajuste por mínimos cuadrados de polinomios de diferentes grados que están indicados en la parte superior derecha de este gráfico. Los puntos negros indican los coeficientes individuales de las fuentes con su barra de error obtenidos del ajuste (o-c,t).

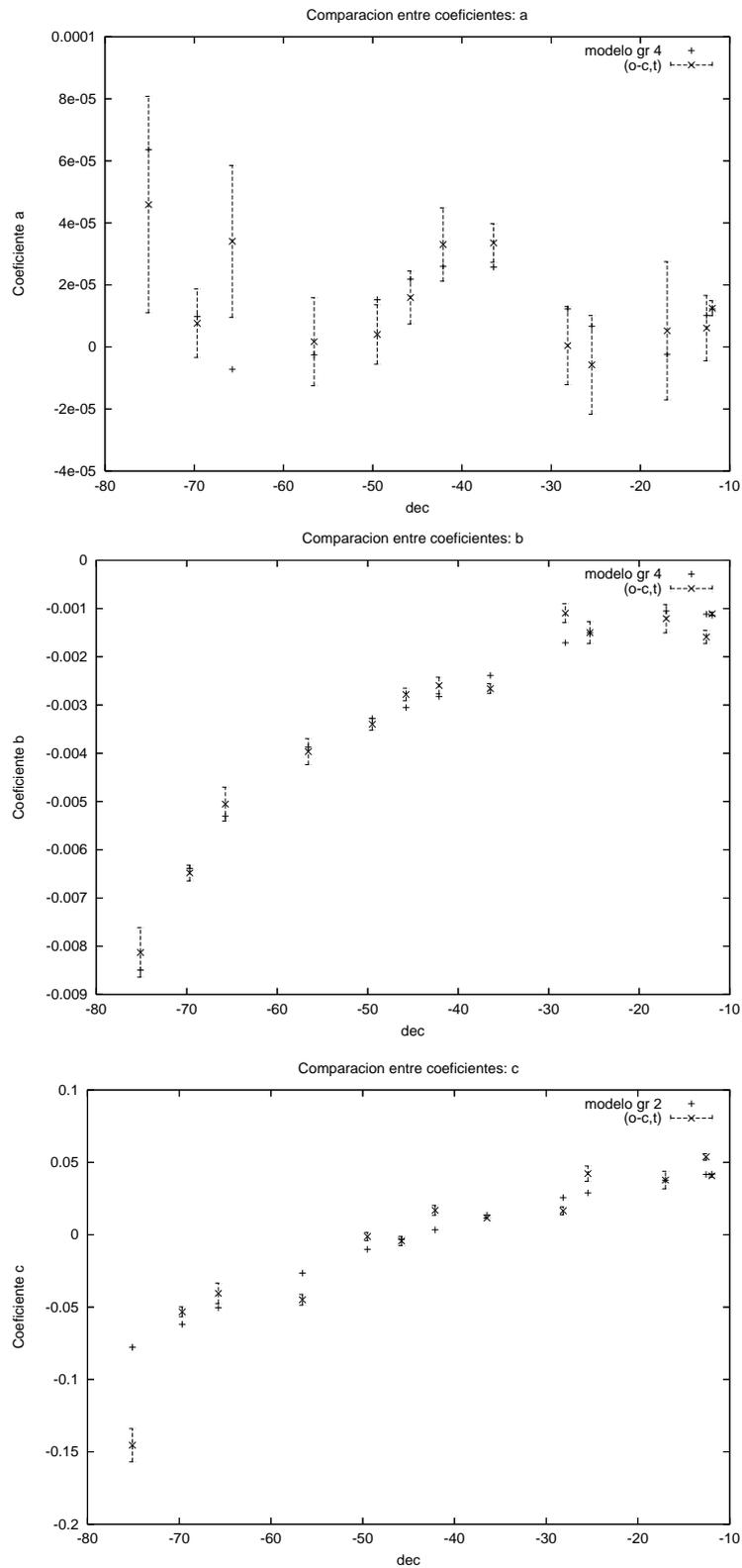


**Figura 4.29:** Comportamiento de los coeficientes  $c$  con la declinación. Las distintas curvas representan ajuste por mínimos cuadrados de polinomios de diferentes grados que están indicados en la parte superior derecha de este gráfico. Los puntos negros indican los coeficientes individuales de las fuentes con su barra de error obtenidos del ajuste (o-c,t).

Finalmente, los polinomios que mejor ajustan los coeficientes son: Los coeficientes  $a$  y  $b$  polinomio de grado 4 y el  $c$ , un polinomio de grado 2. Es decir,

$$\begin{aligned}a(\delta) &= aa * \delta^4 + ba * \delta^3 + ca * \delta^2 + da * \delta + ea \\b(\delta) &= ab * \delta^4 + bb * \delta^3 + cb * \delta^2 + db * \delta + eb \\c(\delta) &= ac * \delta^2 + bc * \delta + cc\end{aligned}\tag{4.4}$$

En la Figura 4.30 se ven la diferencia de valores. El que menos diferencia presenta entre los dos métodos de cálculo es el coeficiente  $b$ .

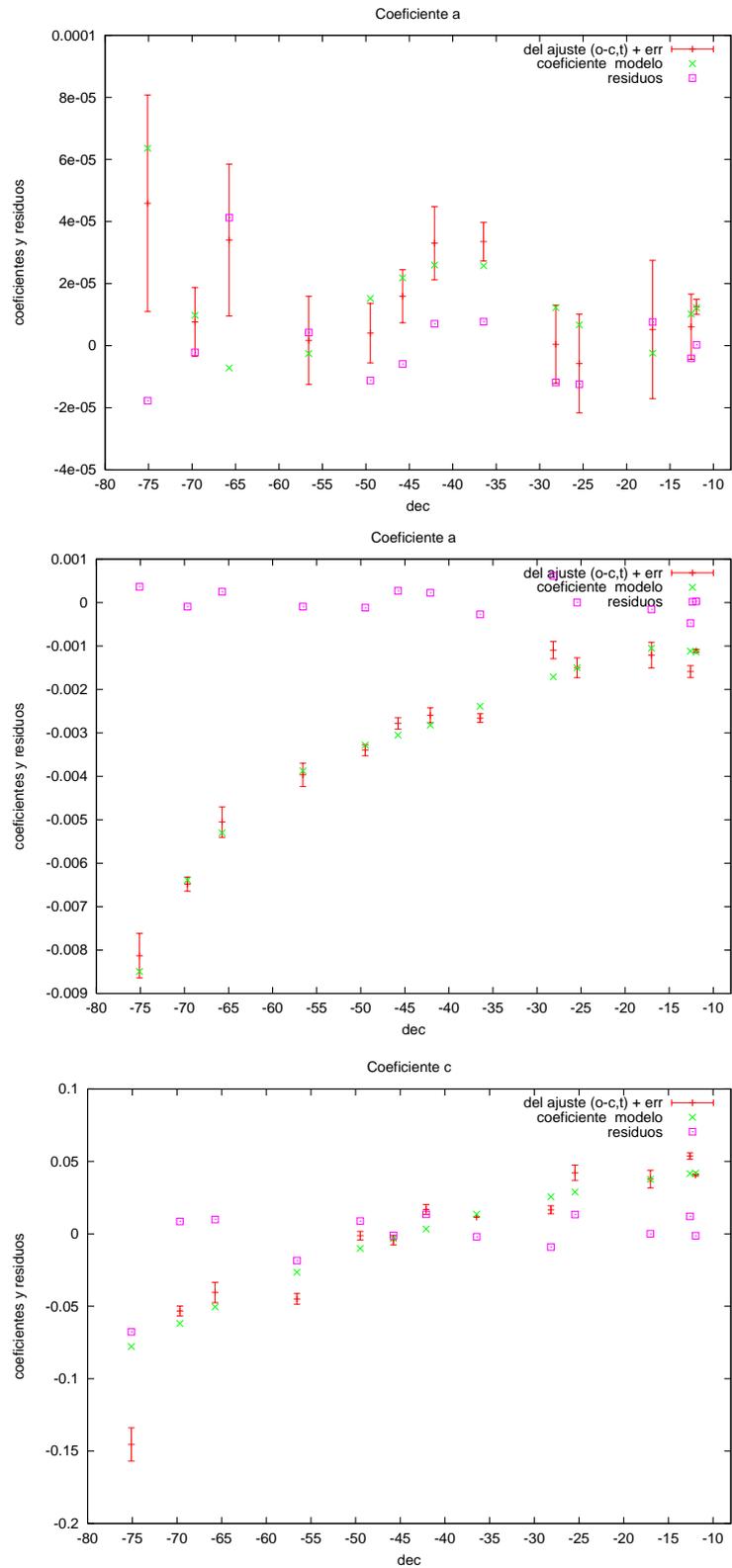


**Figura 4.30:** Con una cruz se indican los coeficientes obtenidos del ajuste de la curva  $(o-c,t)$  con su barra de error mientras que los obtenidos por el modelo aparecen con un signo más. Panel superior: Coeficiente  $a(\delta)$ . Panel central: Coeficiente  $b(\delta)$ . Panel inferior: Coeficiente  $c(\delta)$ .

Posteriormente, calculamos los residuos definidos de la siguiente forma:

$$\begin{aligned}res_a &= a(\delta) - a_{(o-c,t)} \\res_b &= b(\delta) - b_{(o-c,t)} \\res_c &= c(\delta) - c_{(o-c,t)}\end{aligned}\tag{4.5}$$

En la Figura 4.31 se han graficado los coeficientes con la barra de error obtenidos del ajuste a (o-c,t), los obtenidos del modelo de apuntamiento y los reiduos. Se observan diferencias sistemáticas para los coeficientes  $a$  y  $c$ , no así para el  $b$ .



**Figura 4.31:** Panel superior: Coeficiente  $a(\delta)$ . Panel central: Coeficiente  $b(\delta)$ . Panel inferior: Coeficiente  $c(\delta)$ . En esta Figura además de representarse los coeficientes de la Figura (4.30), se indican con rectángulos los residuos que presentan un comportamiento sistemático para los coeficientes a y c.

### 4.2.2. Modelando los residuos

El objetivo de esta sección es encontrar un modelo para los residuos definidos como: “coeficientes del modelo - coeficientes del ajuste de los datos”

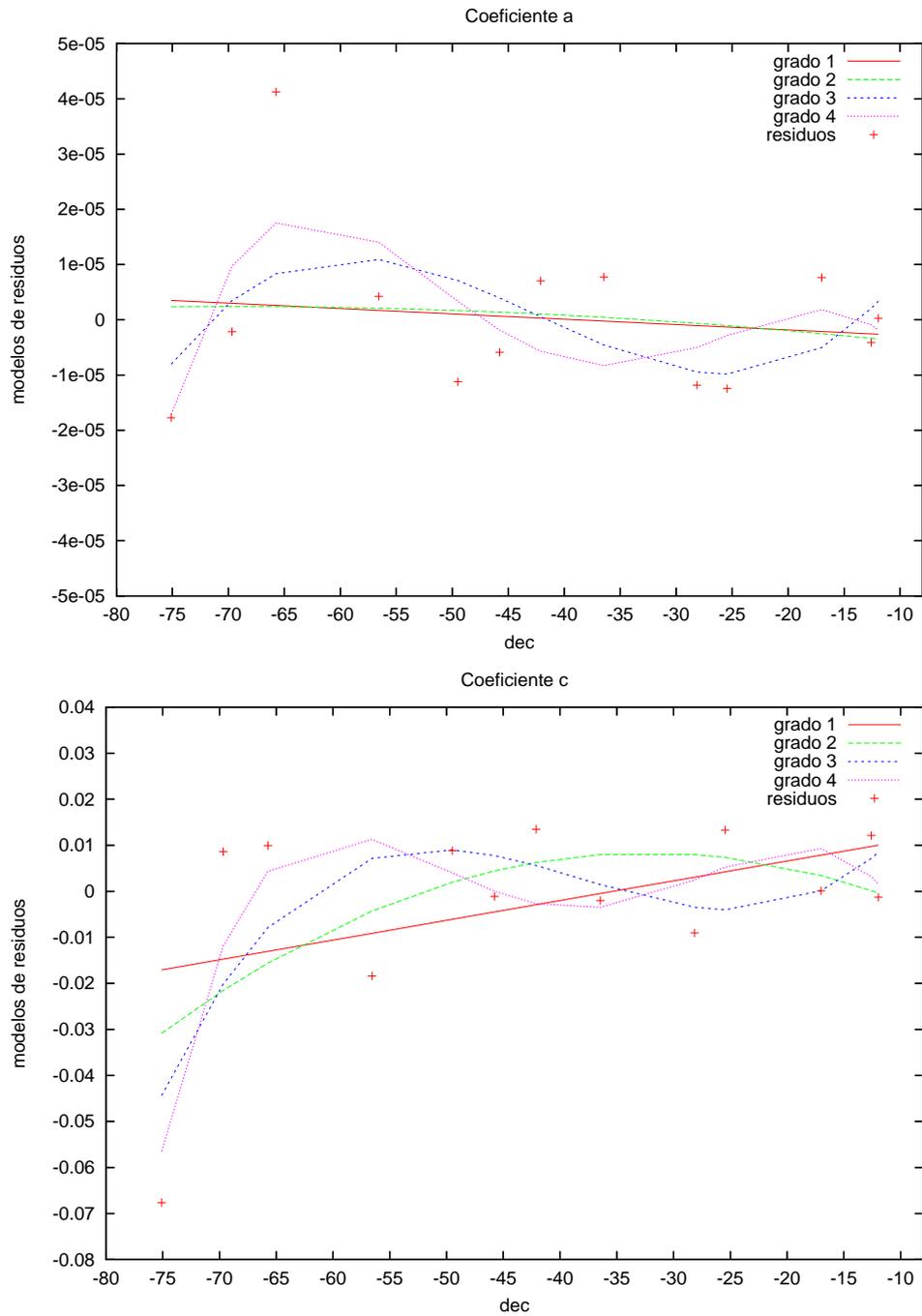
$$\begin{aligned}res_a &= a(\delta) - a_{(o-c,t)} \\res_b &= b(\delta) - b_{(o-c,t)} \\res_c &= c(\delta) - c_{(o-c,t)}\end{aligned}\tag{4.6}$$

Con el método de mínimos cuadrados ajustamos una serie de polinomios a los residuos de los coeficientes. Los resultados se ven en la Figura (4.32), donde puede apreciarse que para el coeficiente  $a$ , el mejor ajuste corresponde al polinomio de grado 3 y para el  $c$  el polinomio de grado 4. De esta forma obtenemos los  $res_a$  y  $res_c$ , es decir:

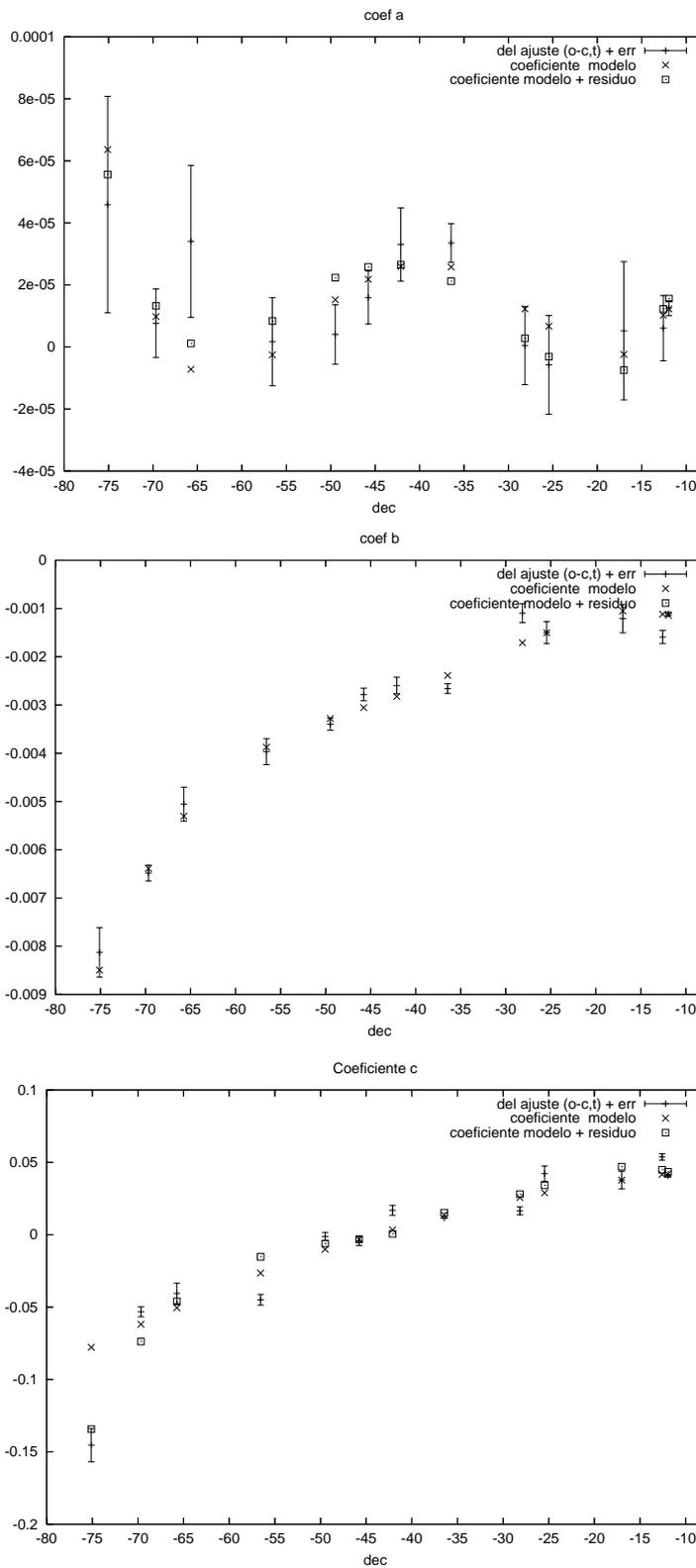
$$\begin{aligned}res_a &= aa_{res}(\delta)^3 + ba_{res}(\delta)^2 + \delta ca_{res} + da_{res} \\res_c &= ac_{res}(\delta)^4 + bc_{res}(\delta)^3 + cc_{res}(\delta)^2 + \delta dc_{res} + ec_{res}\end{aligned}\tag{4.7}$$

En la Figura (4.33) aparecen los coeficientes obtenidos de (o-c,t), del modelo de apuntamiento, y del modelo de apuntamiento con la corrección de residuos. En el caso del coeficiente  $b$  no hemos calculado ninguna corrección porque no encontramos sistematicidad. También observamos que mejora notablemente el ajuste para las declinaciones más negativas representada por la fuente s0410-75.

En el caso de la fuente s0407-65 se encuentra la mayor diferencia entre los coeficientes, por lo que se calculará nuevamente  $res_a$  y  $res_c$  sin esta fuente.



**Figura 4.32:** Modelos de residuos polinomios de grado 1, 2, 3 y 4. Panel inferior: Residuos del coeficiente  $c = "res_c"$ . Panel superior: Residuos del coeficiente  $a = "res_a"$ .



**Figura 4.33:** Comparación entre los coeficientes obtenidos del modelo y del ajuste a las observaciones y del modelo junto con la corrección por sistematicidad. Los paneles están ordenados como en la Figura (4.30).

### 4.2.3. Resultados

En el caso de la fuente s0407-65 es la que se más aparta luego de aplicar la corección. Así que calcularemos nuevamente  $res_a$  y  $res_c$  excluyendo a esta fuente y se la sumaremos a los coeficientes obtenidos del modelo Es decir,:

$$\begin{aligned} a_f(\delta) &= a(\delta) + res_a \\ b_f\delta &= b(\delta) + res_b \\ c_f(\delta) &= c(\delta) + res_c \end{aligned} \tag{4.8}$$

En las segundas columnas de las Tablas (4.2.3,4.2.3 y 4.2.3) se detallan los valores de  $a(\delta)$ ,  $b(\delta)$  y  $(\delta)$  para cada fuente obtenida del conjunto de ecuaciones (8.2), respectivamente. En las columnas terceras y cuartas, aprecen los coeficientes de (o-c,t) con sus errores, en las quintas, las correcciones del ajuste de los residuos. Cabe aclarar que :  $a_f(\delta)$  y  $c_f(\delta)$  son la suma de la segunda con la cuarta columna para cada uno de los coeficientes, la corrección en  $b$  es nula.

dec	a	a(o-c,t)	error(o-c,t)	correccion
-75.12	6.12456e-05	4.5894700E-5	3.49100E-5	-1.46282e-05
-69.69	1.42395e-05	7.6391800E-6	1.10500E-5	8.54329e-06
-56.56	2.41241e-06	1.70958e-06	1.422e-05	1.94081e-06
-49.46	1.62623e-05	4.02076e-06	9.571e-06	-1.69036e-06
-45.78	2.21254e-05	1.59493e-05	8.554e-06	2.10149e-06
-42.13	2.55152e-05	3.3025800E-5	1.18200E-5	-2.72108e-06
-36.46	2.49054e-05	3.35232e-05	6.257e-06	3.82962e-06
-28.04	1.28784e-05	4.45861e-07	1.261e-05	4.96951e-06
-25.45	8.1305e-06	-5.755000E-6	1.59000E-5	-5.00992e-06
-17.03	8.48992e-07	5.2086400E-6	2.22900E-5	3.41882e-06
-12.56	1.03272e-05	6.0931700E-6	1.05500E-5	1.15004e-06
-12.09	1.22085e-05	1.2497100E-5	2.44100E-6	-8.41812e-07

**Cuadro 4.1:** Resultados finales del coeficiente a

dec	b	b(o-c,t)	error(o-c,t)
-75.12	-0.00856208	-0.00812927	5.13200E-4
-69.69	-0.00634494	-0.0064808	1.64200E-4
-56.56	-0.00384846	-0.00396648	0.0002694
-49.46	-0.00328395	-0.00339768	0.0001257
-45.78	-0.00304596	-0.0027823	0.0001308
-42.13	-0.00280747	-0.00259606	1.72900E-4
-36.46	-0.00239704	-0.00265908	9.964e-05
-28.04	-0.00170374	-0.00109536	0.000197
-25.45	-0.00149602	-0.00150002	2.27500E-4
-17.03	-0.00104984	-0.0012095	2.94400E-4
-12.56	-0.00111357	-0.0015892	1.37400E-4
-12.09	-0.00113913	-0.00111037	3.49000E-5

**Cuadro 4.2:** Resultados finales del coeficiente b

dec	c	c(o-c,t)	error(o-c,t)	correccion
-75.12	-0.0761489	-0.145432	0.01149	0.0579082
-69.69	-0.0602213	-0.0532745	0.003447	0.0168879
-56.56	-0.0261924	-0.0449213	0.003709	-0.00796039
-49.46	-0.0104348	-0.00124949	0.002927	-0.00312375
-45.78	-0.00299758	-0.00428319	0.003207	-0.000172494
-42.13	0.00388666	0.016826	0.003424	0.00193468
-36.46	0.0136083	0.0115862	0.001632	0.00257395
-28.04	0.0258616	0.0165934	0.00274	-0.00230499
-25.45	0.0291059	0.0422438	0.005283	-0.00450245
-17.03	0.0379471	0.037796	0.006096	-0.00804215
-12.56	0.0415803	0.0537597	0.002263	-0.00326513
-12.09	0.0419196	0.0406644	7.91100E-4	-0.002306

**Cuadro 4.3:** Resultados finales del coeficiente c

Las siguientes figuras muestran tres curvas: gráficos coeficientes obtenidos de  $(o-c,t)$ , del modelo de apuntamiento, y del modelo de apuntamiento con la corrección de residuos que aparecen indicados en la parte superior derecha de cada una de las fuentes.

Fuente s0915-11: Barrido en ascension recta

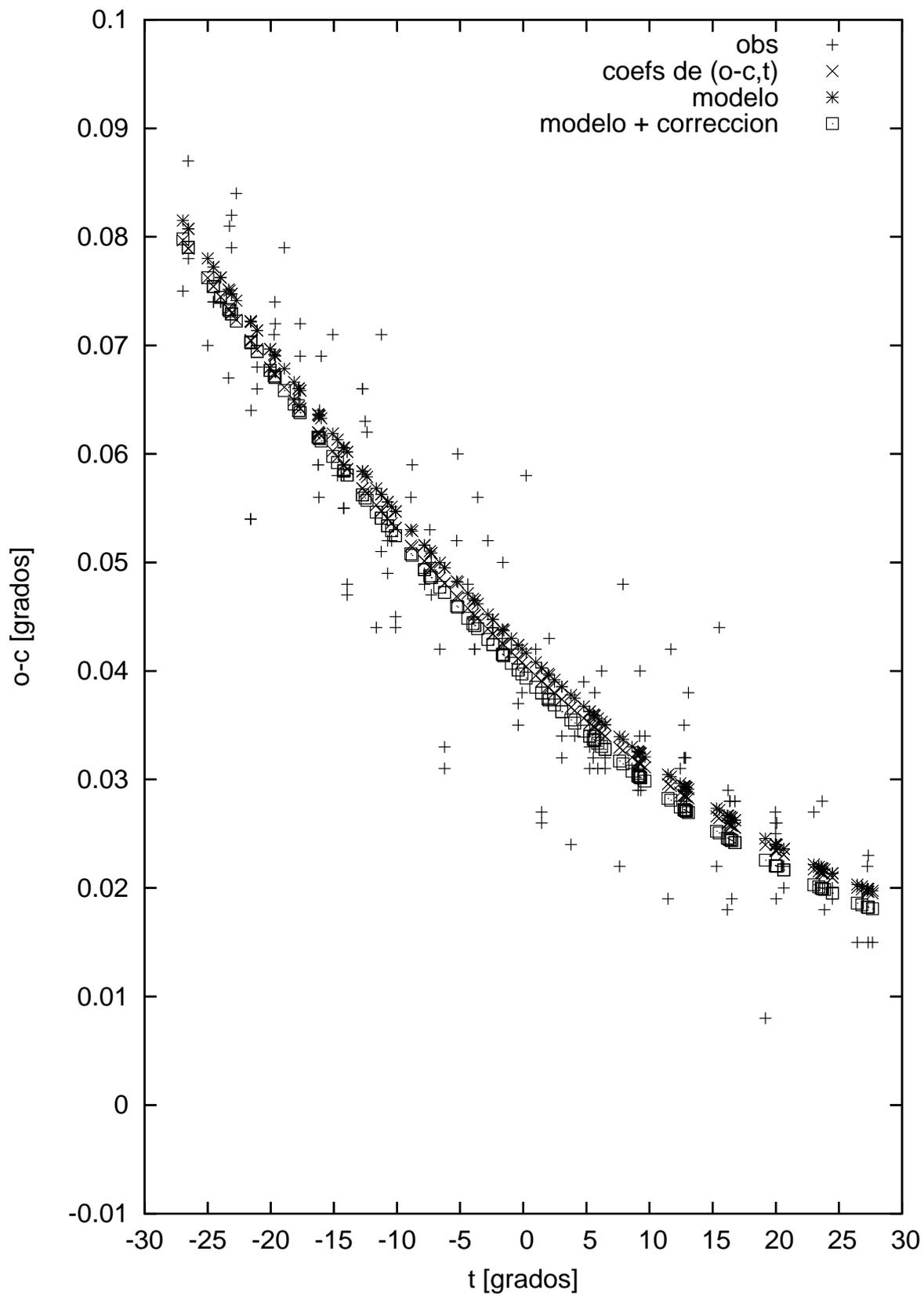


Figura 4.34: Hydra

Fuente s1251-12: Barrido en ascension recta

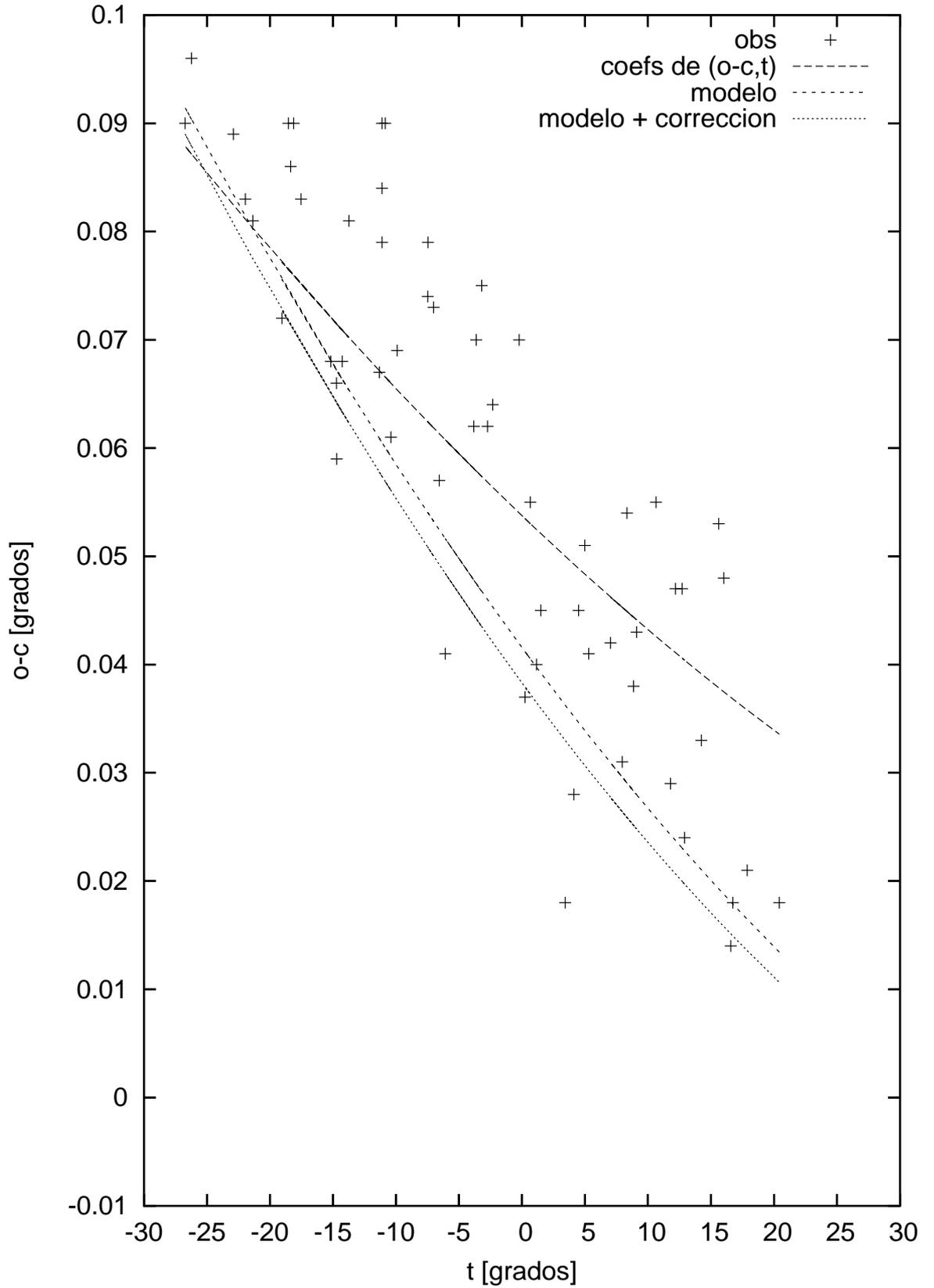


Figura 4.35: s1251-12

Fuente s2211-17: Barrido en ascension recta

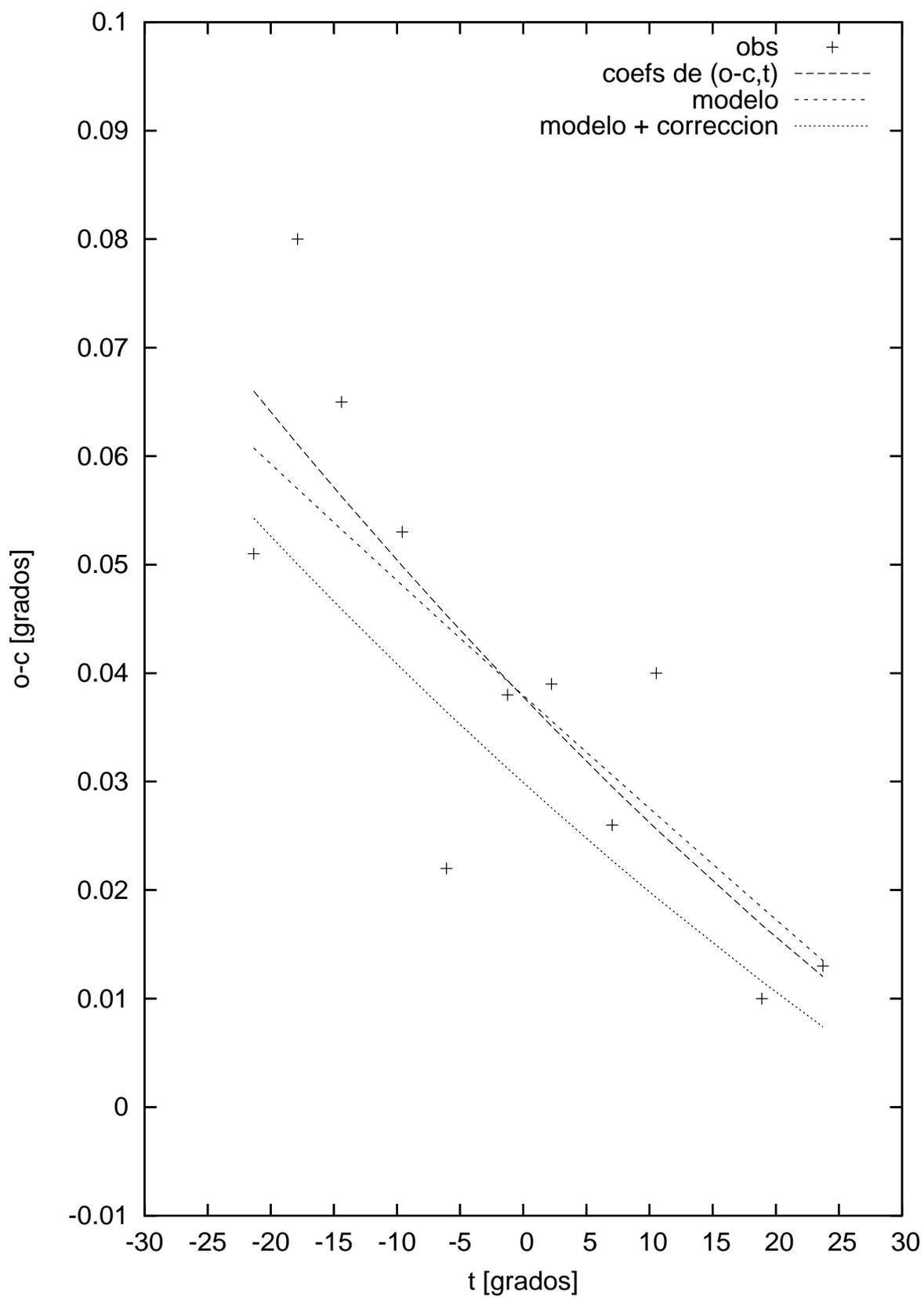


Figura 4.36: s2211-17

Fuente s2104-25: Barrido en ascension recta

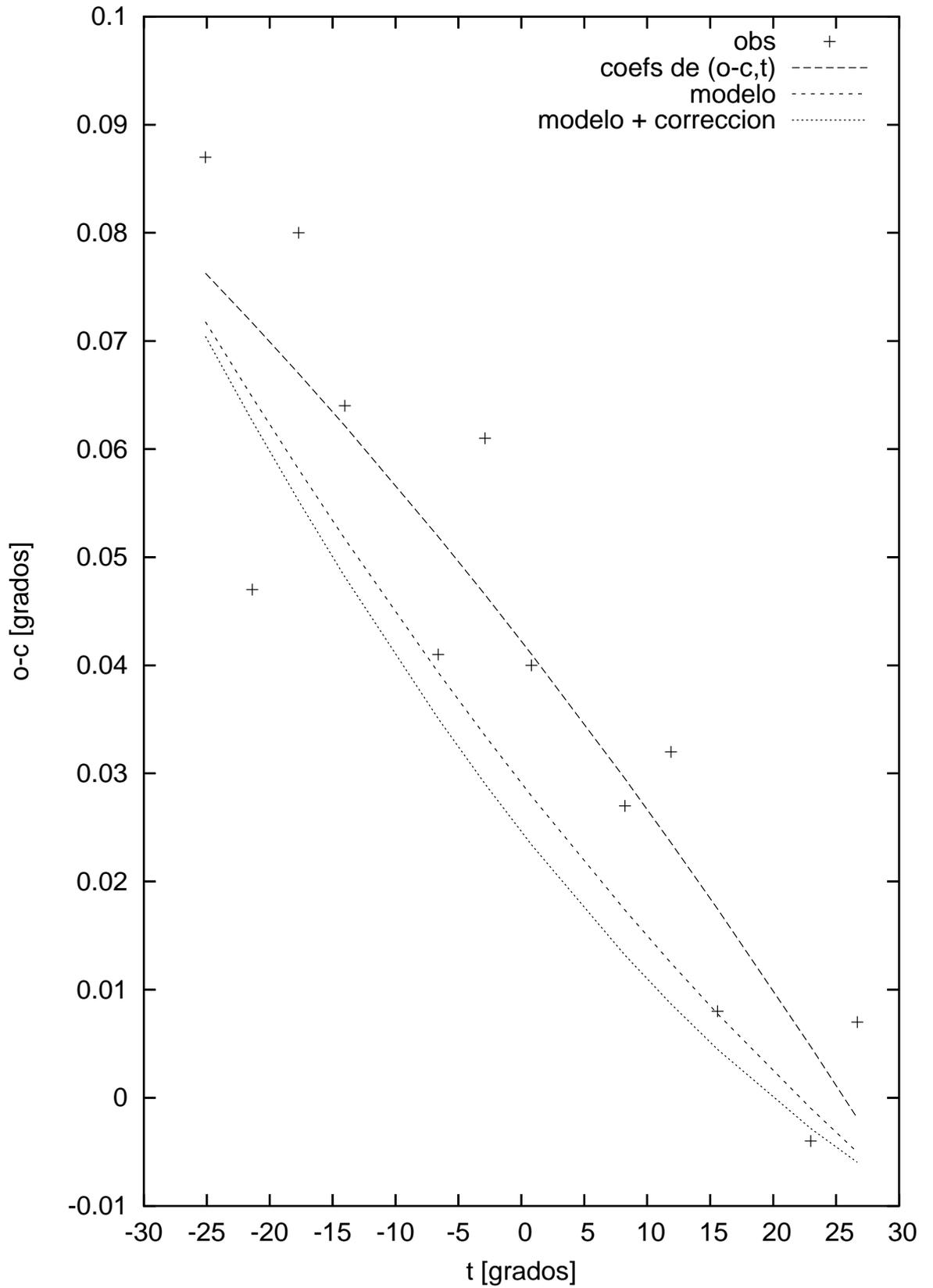


Figura 4.37: s2104-25

Fuente s0442-28: Barrido en ascension recta

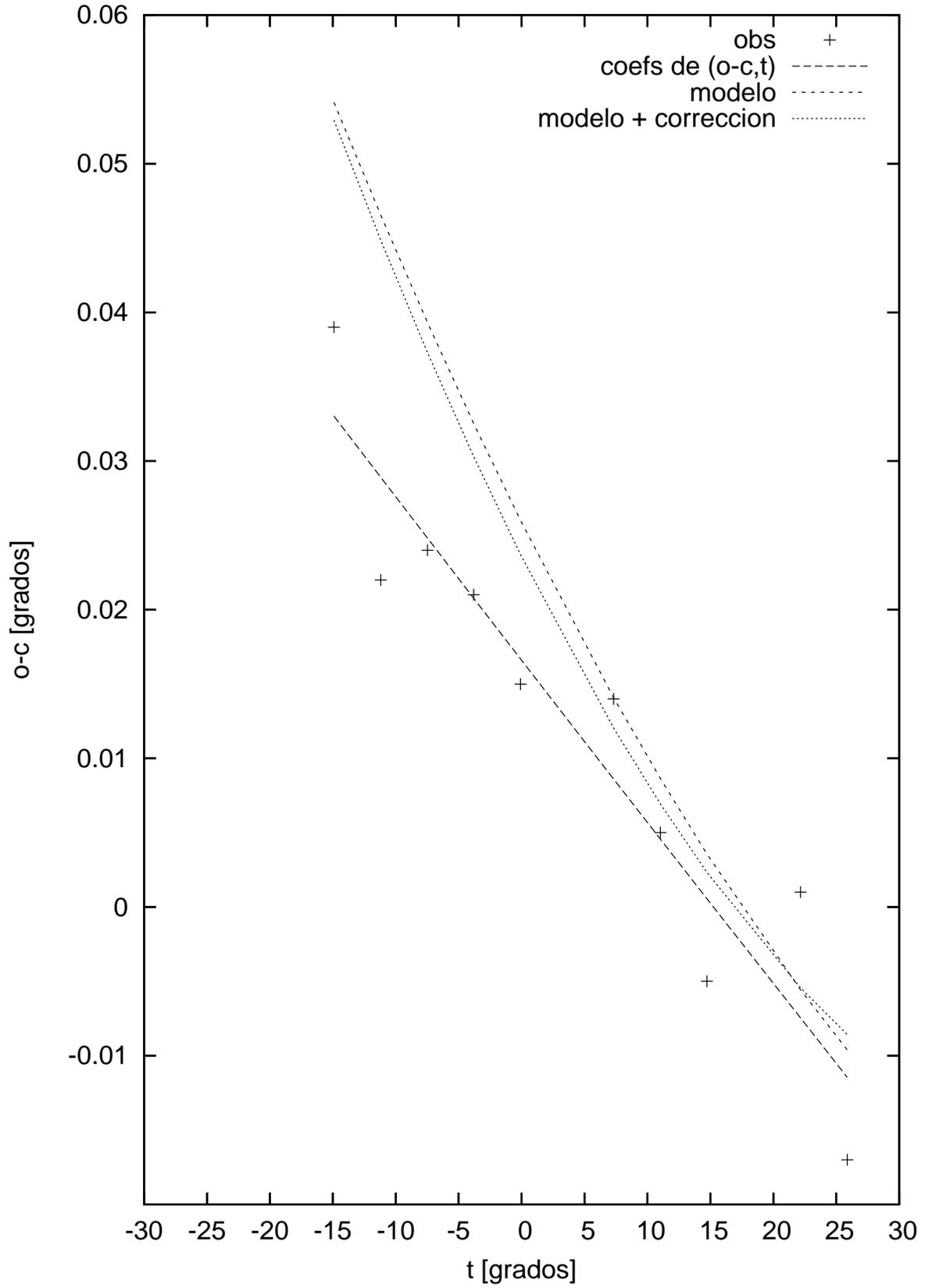


Figura 4.38: s0442-28

Fuente s0521-36: Barrido en ascension recta

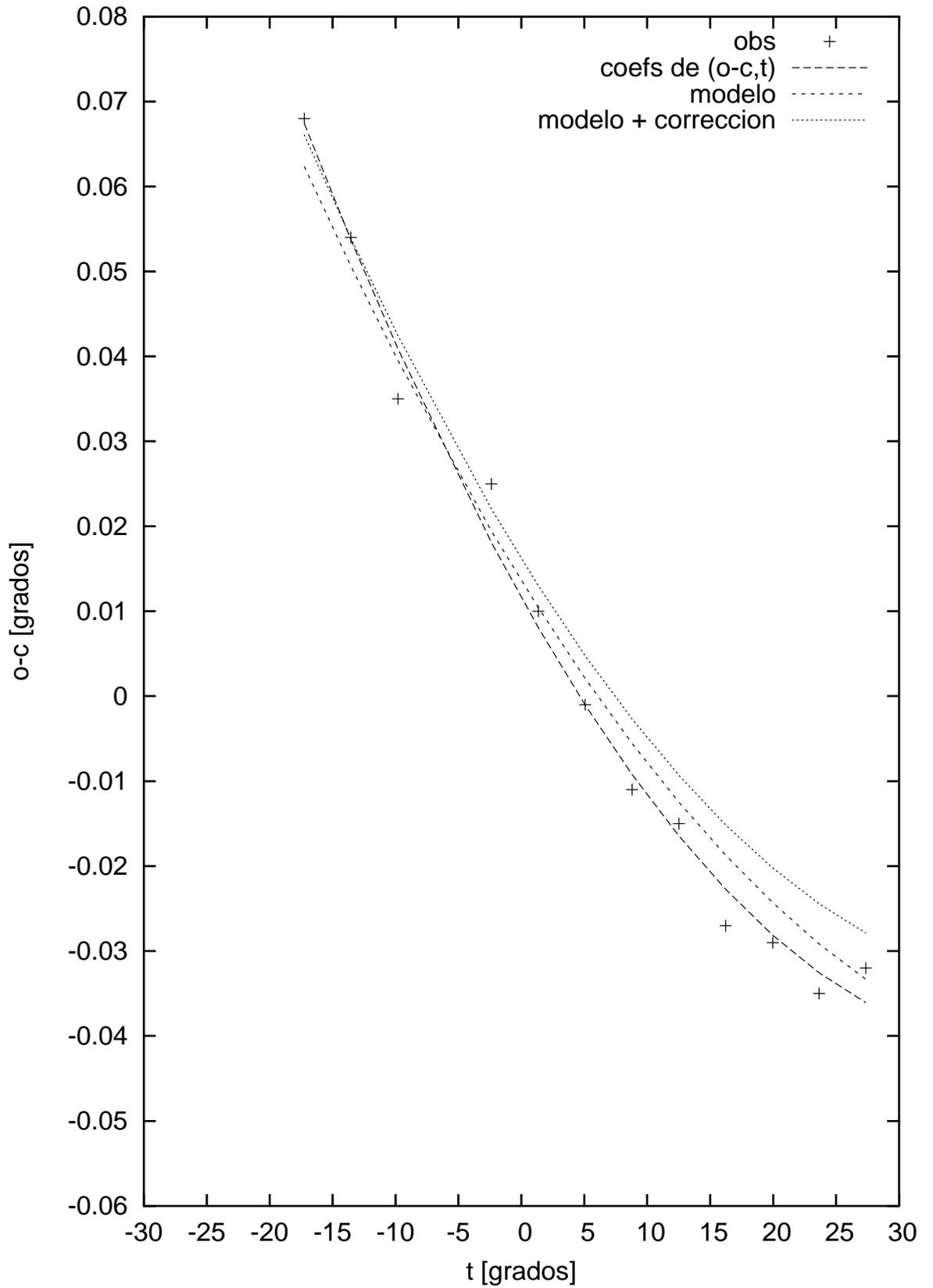


Figura 4.39: s0521-36

Fuente s0043-42: Barrido en ascension recta

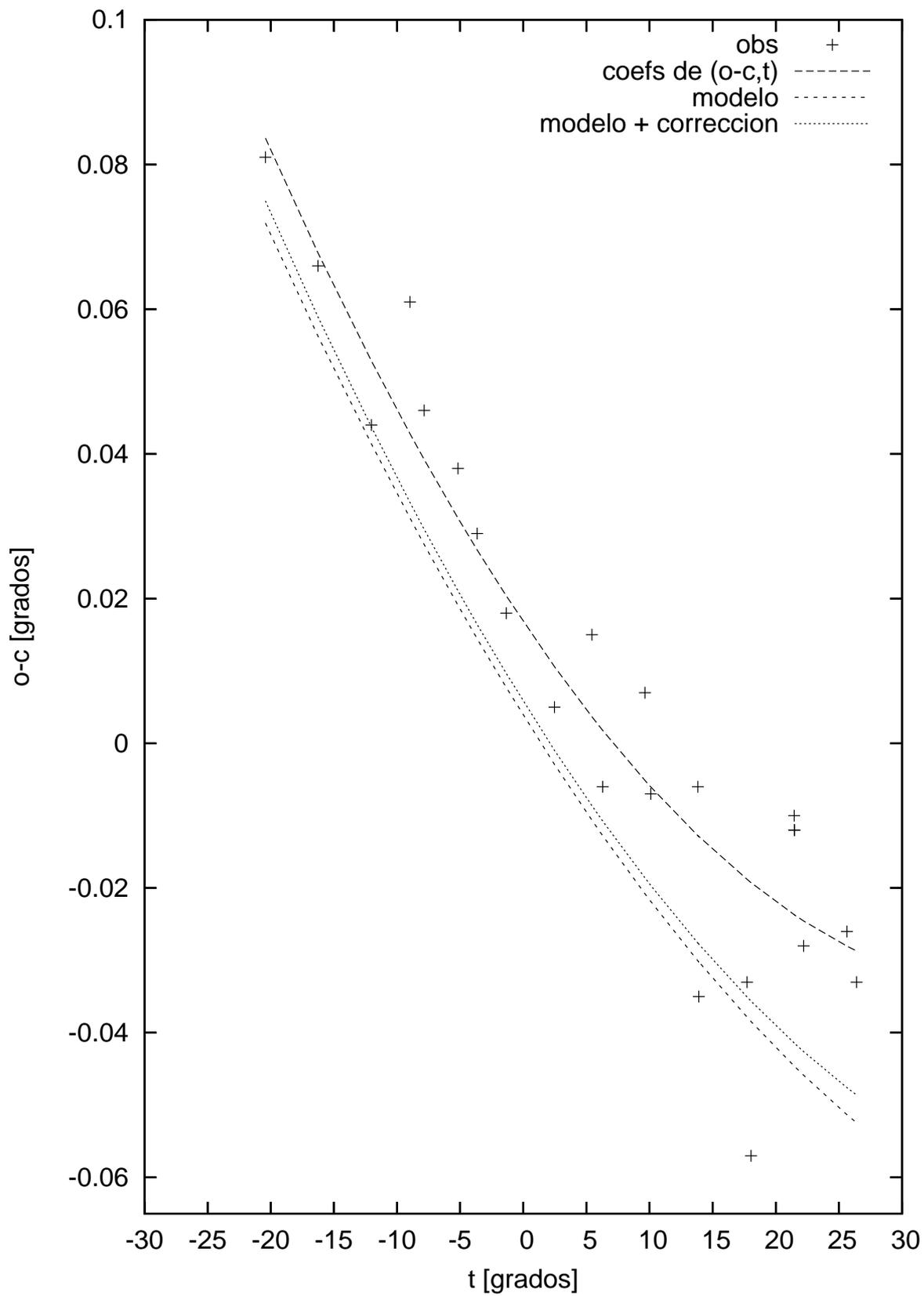


Figura 4.40: s0043-42

Fuente s0518-45: Barrido en ascension recta

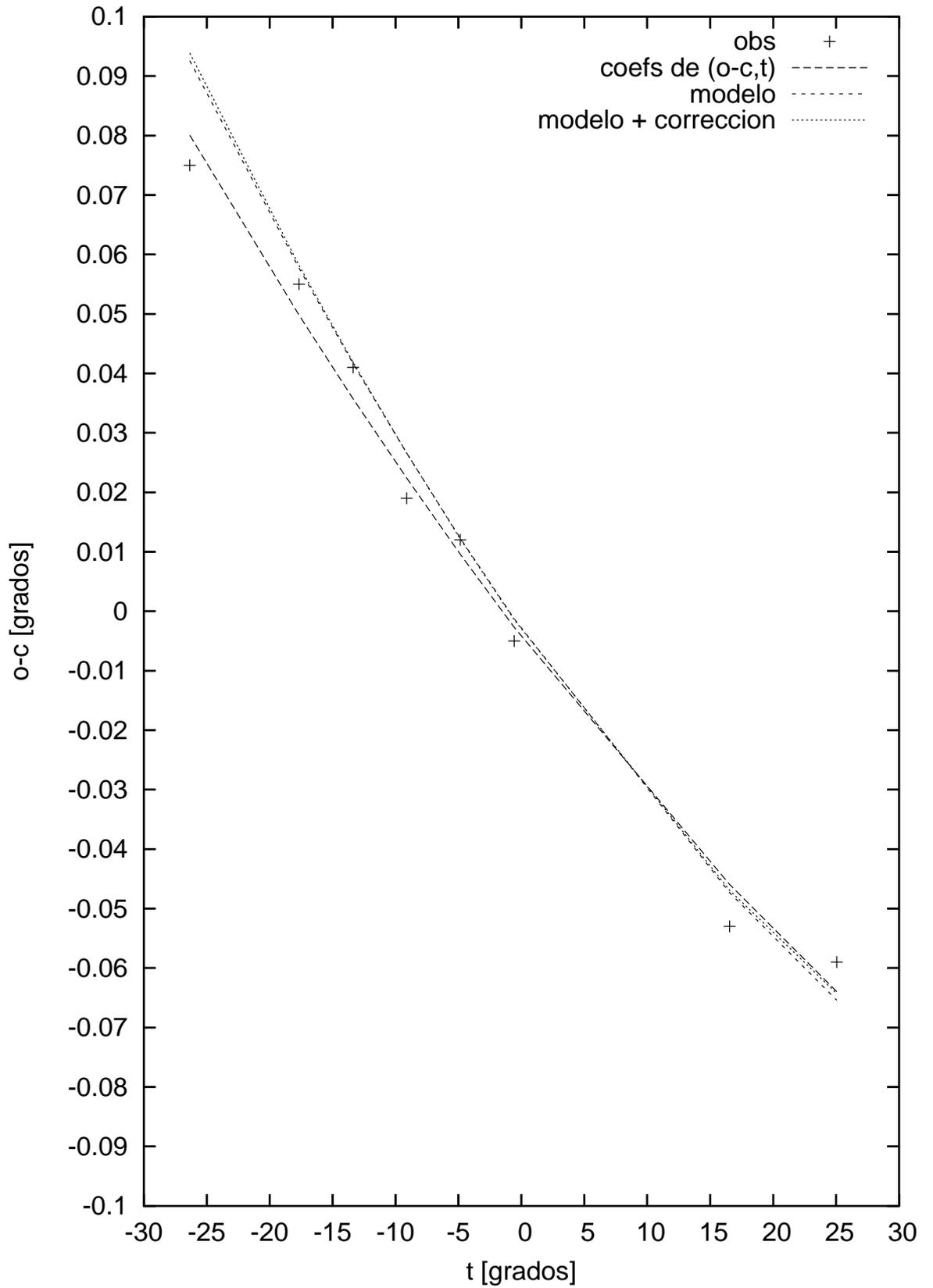


Figura 4.41: s0518-44

Fuente s1302-49: Barrido en ascension recta

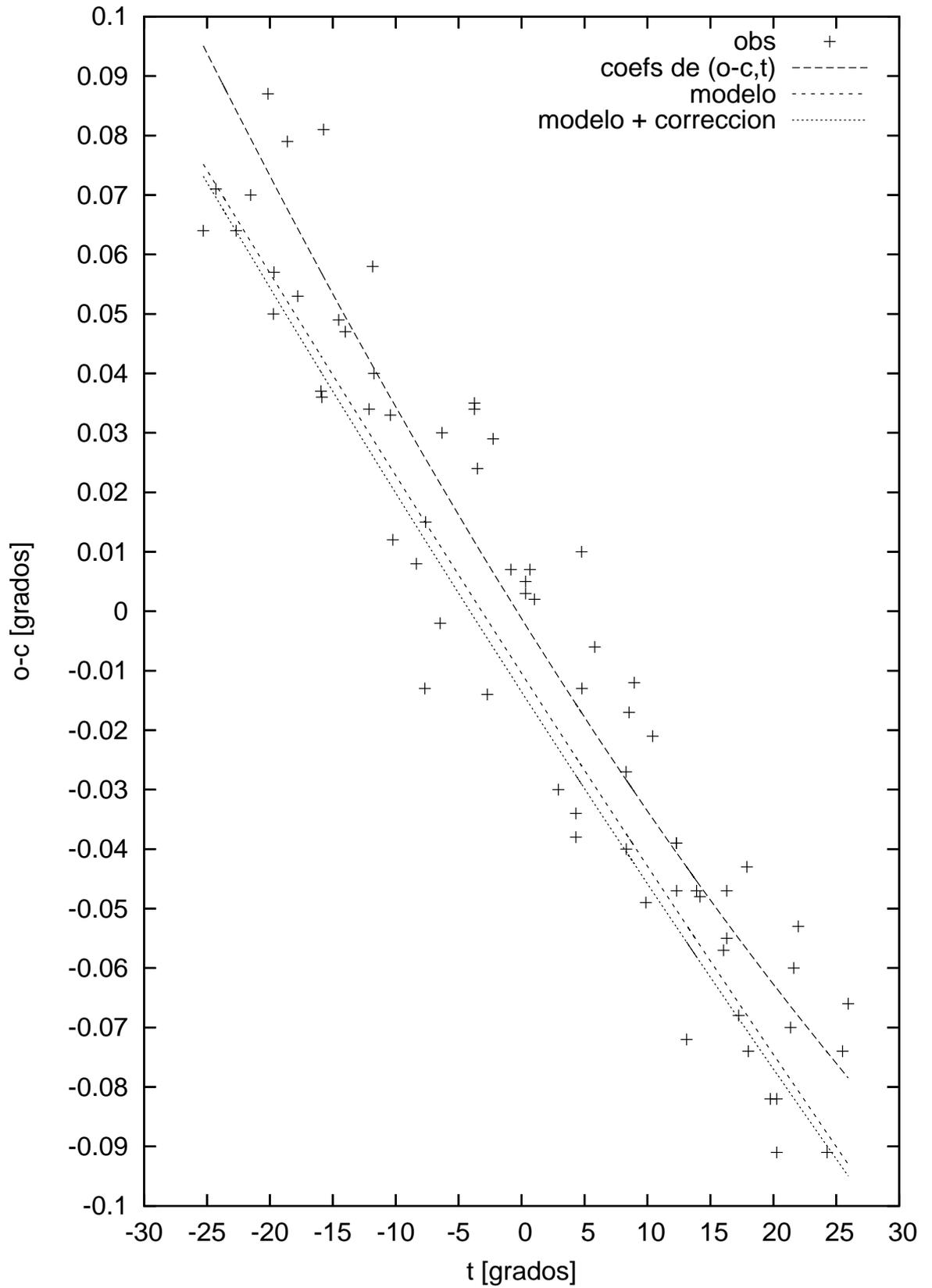


Figura 4.42: s1302-49

Fuente s1733-56: Barrido en ascension recta

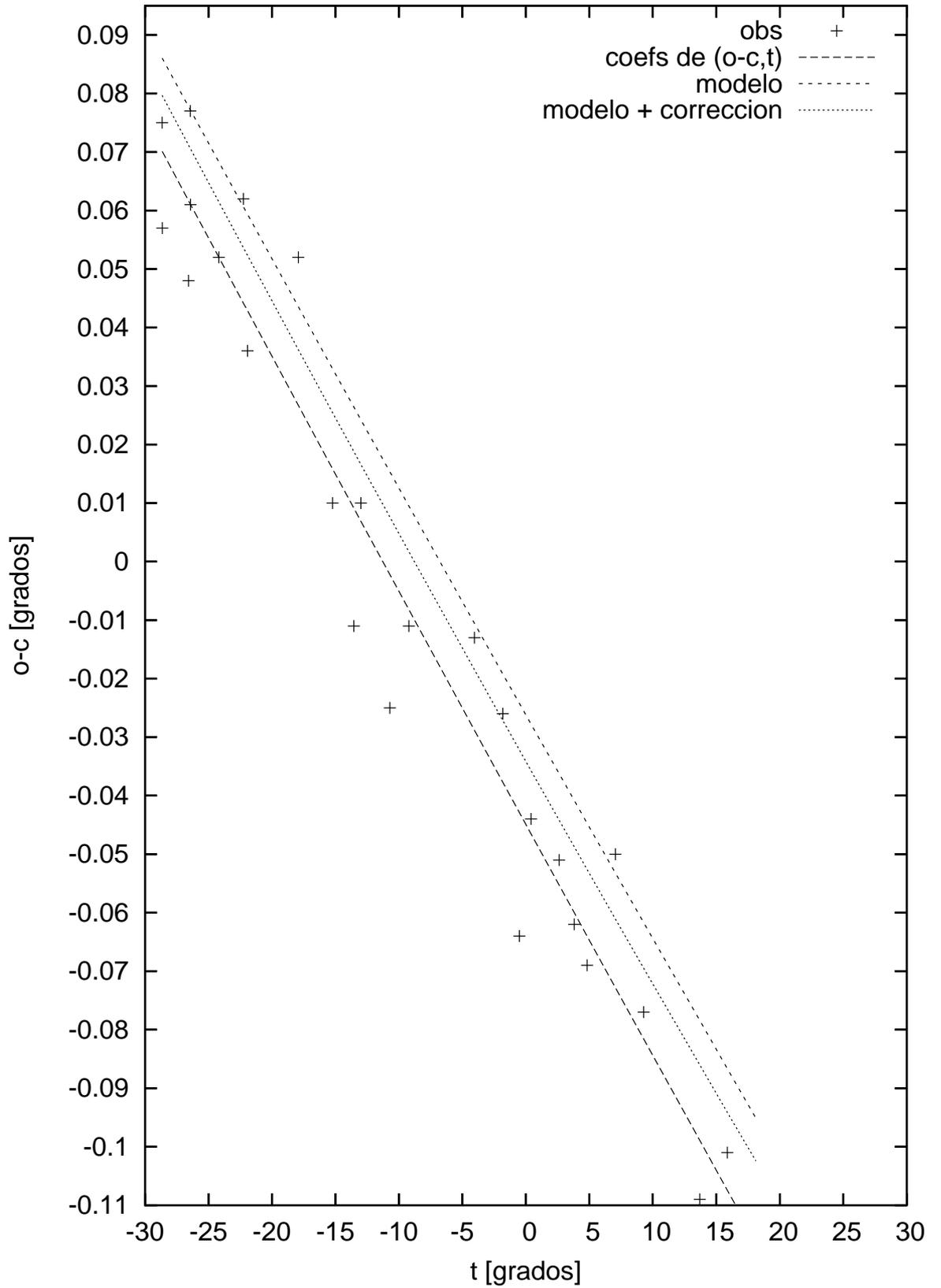


Figura 4.43: s1733-56

Fuente s2153-69: Barrido en ascension recta

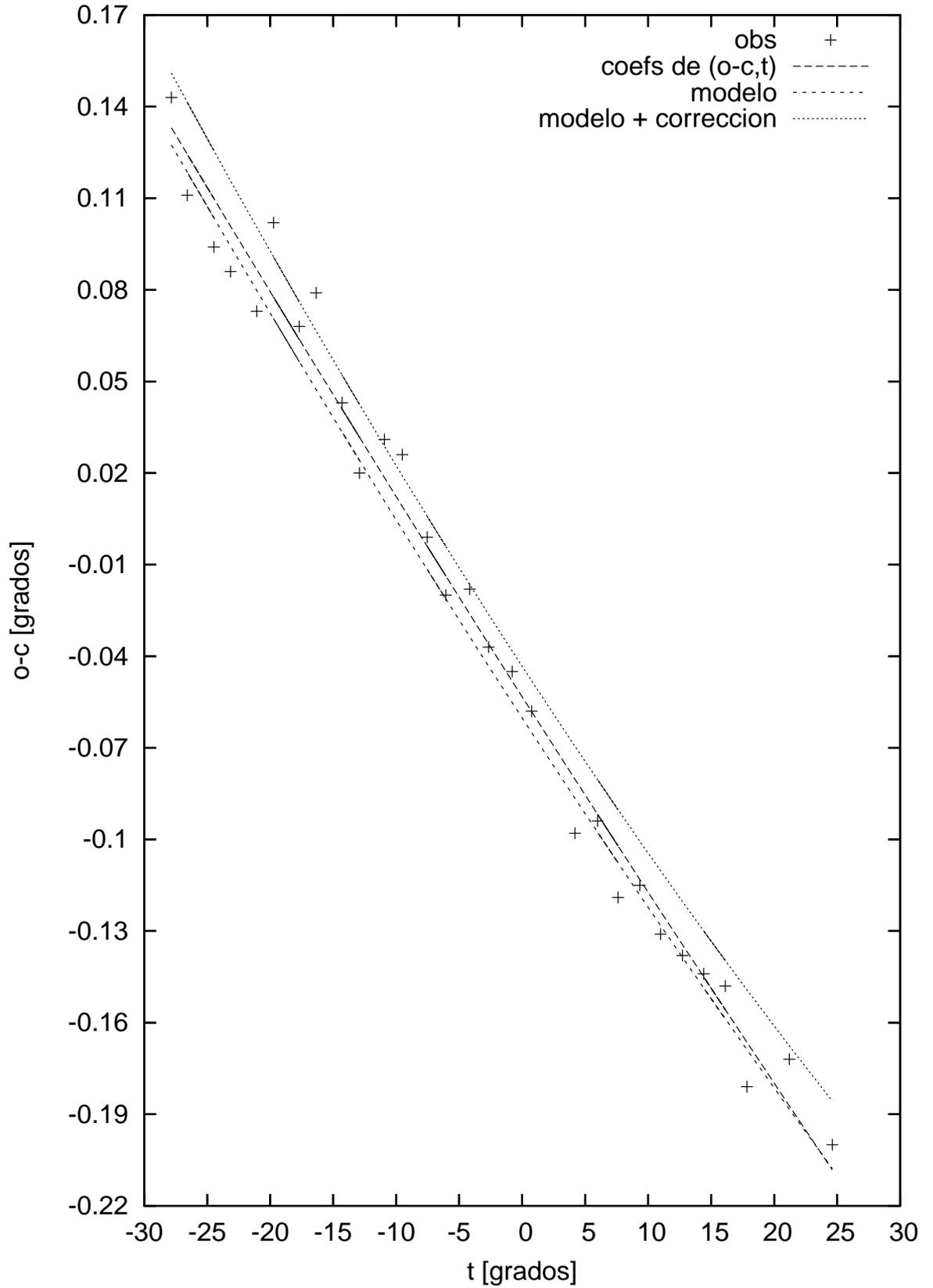


Figura 4.44: s2153-69

Fuente s0410-75: Barrido en ascension recta

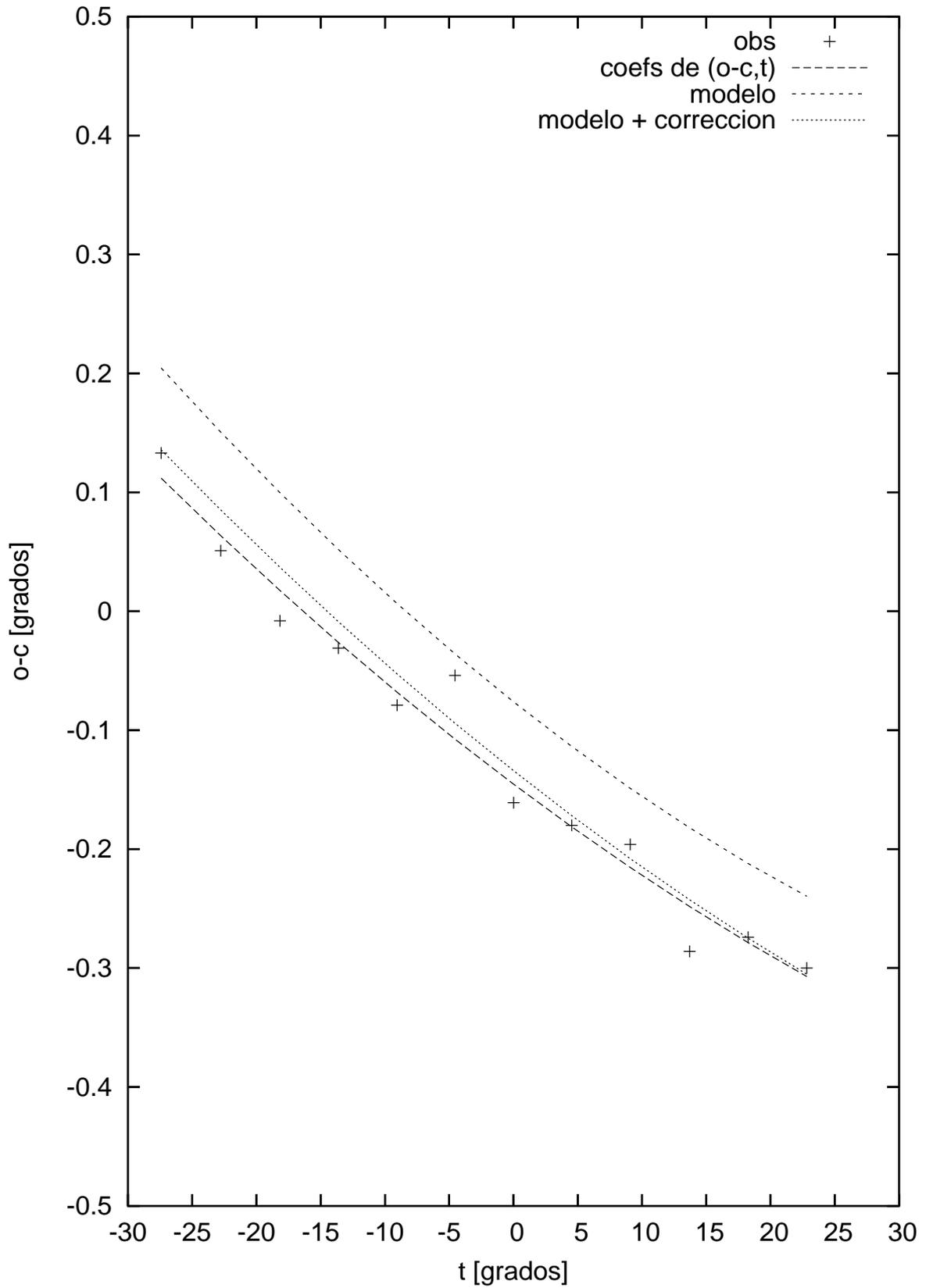


Figura 4.45: s0410-75

# Capítulo 5

## Barridos en $\delta$

### 5.1. Curvas obtenidas

Una vez realizado el proceso de reducción de los perfiles individuales para cada una de las fuentes observadas, se graficó el comportamiento entre la diferencia entre el valor observado y el del catálogo de referencia contra el ángulo horario, es decir, *o-c vs t*.

Para ello, se derivó la siguiente curva para cada conjunto de observaciones:

$$o - c = a * t^3 + b * t^2 + c * t + d \quad (5.1)$$

donde *a*, *b*, *c* y *d* son los coeficientes del ajuste por mínimos cuadrados al conjunto de observaciones (“o-c”,t).

Las siguientes figuras son los gráficos del comportamiento de cada una de las fuentes barridas en  $\delta$ . Se muestran en el mismo orden de aparición de las fuentes en las tablas anteriores. Las mismas se muestran en el mismo orden de aparición de las fuentes en las tablas de los Capítulos 2 y 3.

Fuente s0915-11: Barrido en declinacion

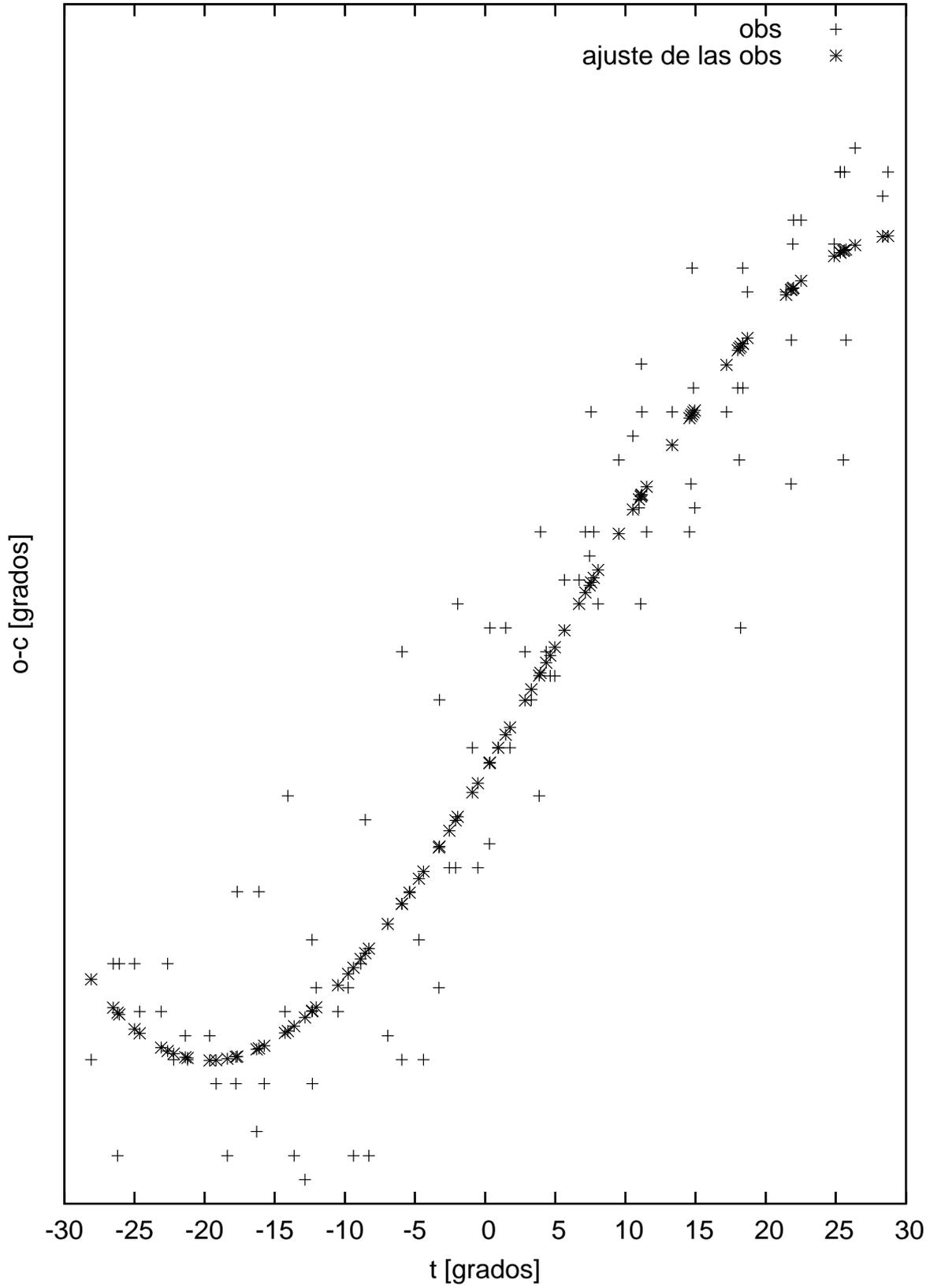


Figura 5.1: s0915-11

Fuente s1251-12: Barrido en declinacion

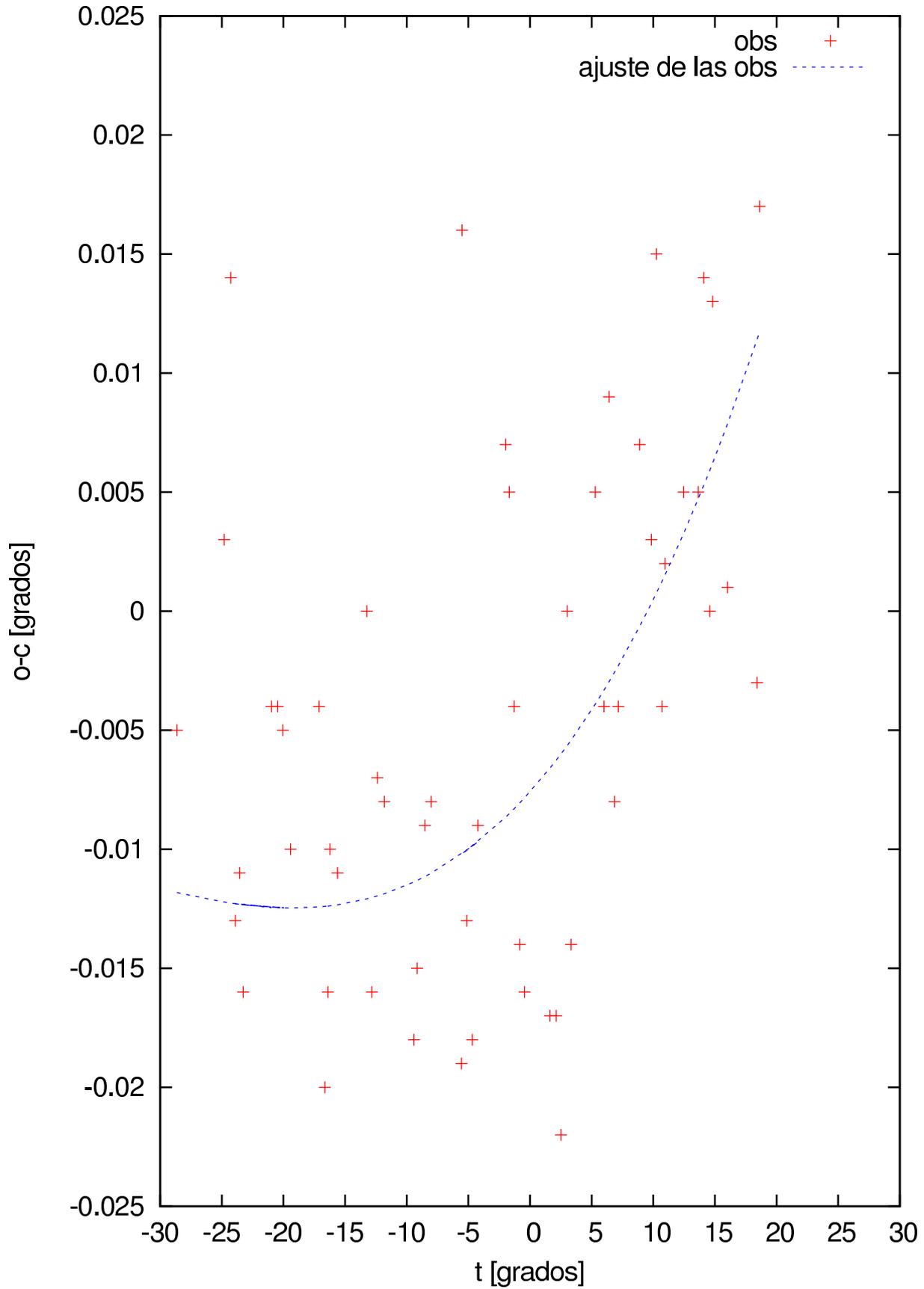


Figura 5.2: s1251-12

Fuente s2211-17: Barrido en declinacion

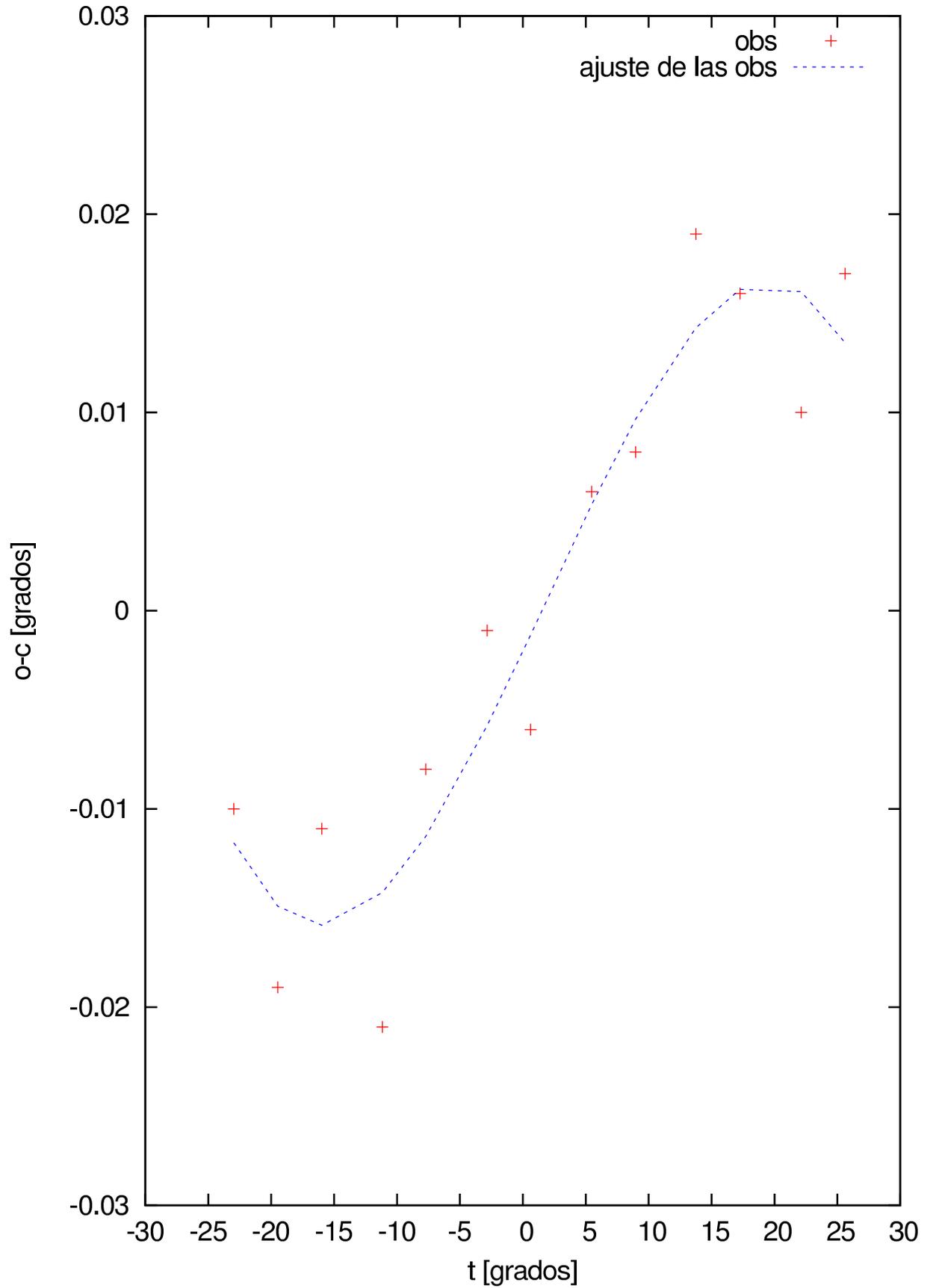


Figura 5.3: s2211-17

Fuente s2104-25: Barrido en declinacion

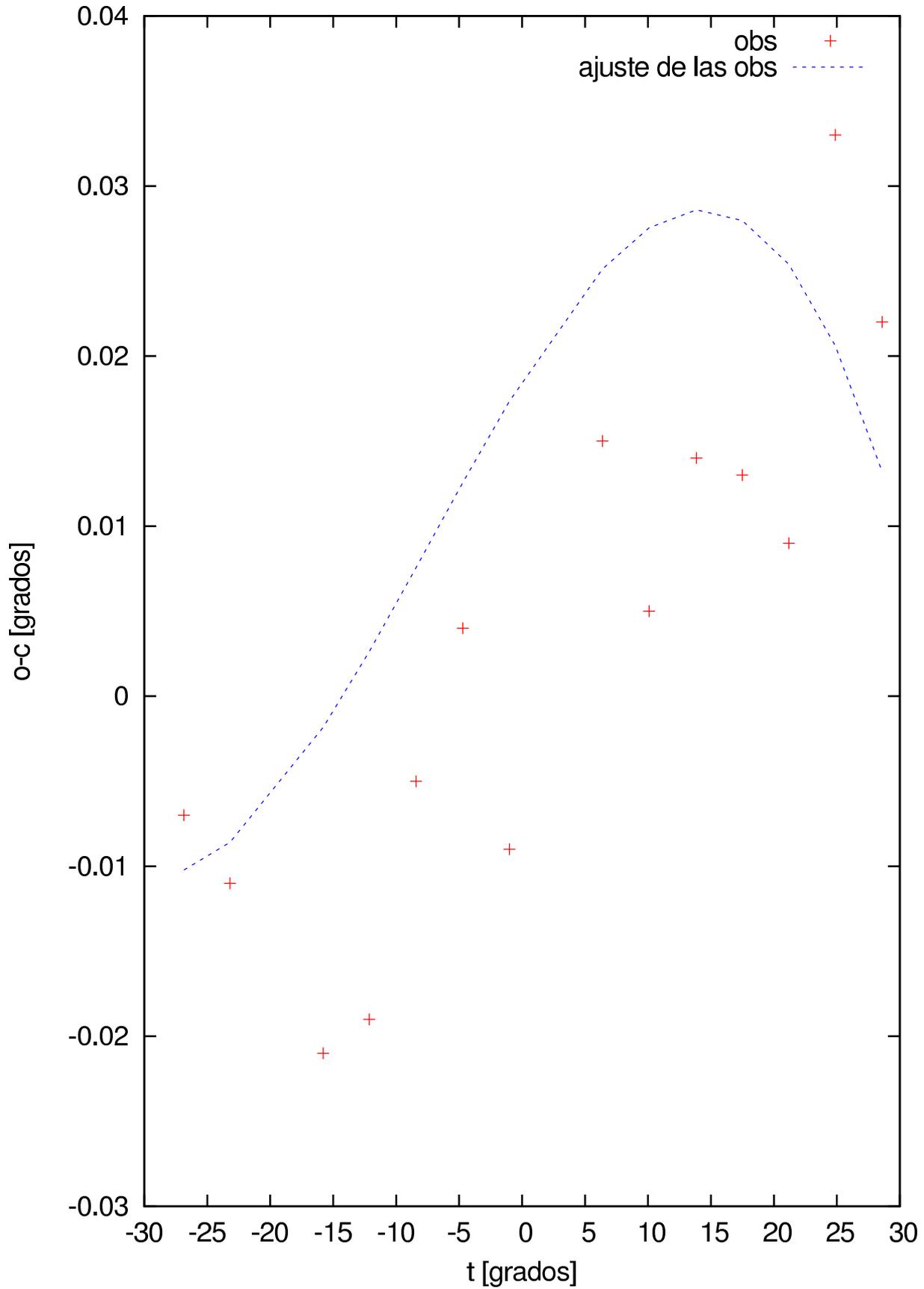


Figura 5.4: s2104-25

Fuente s0023-28: Barrido en declinacion

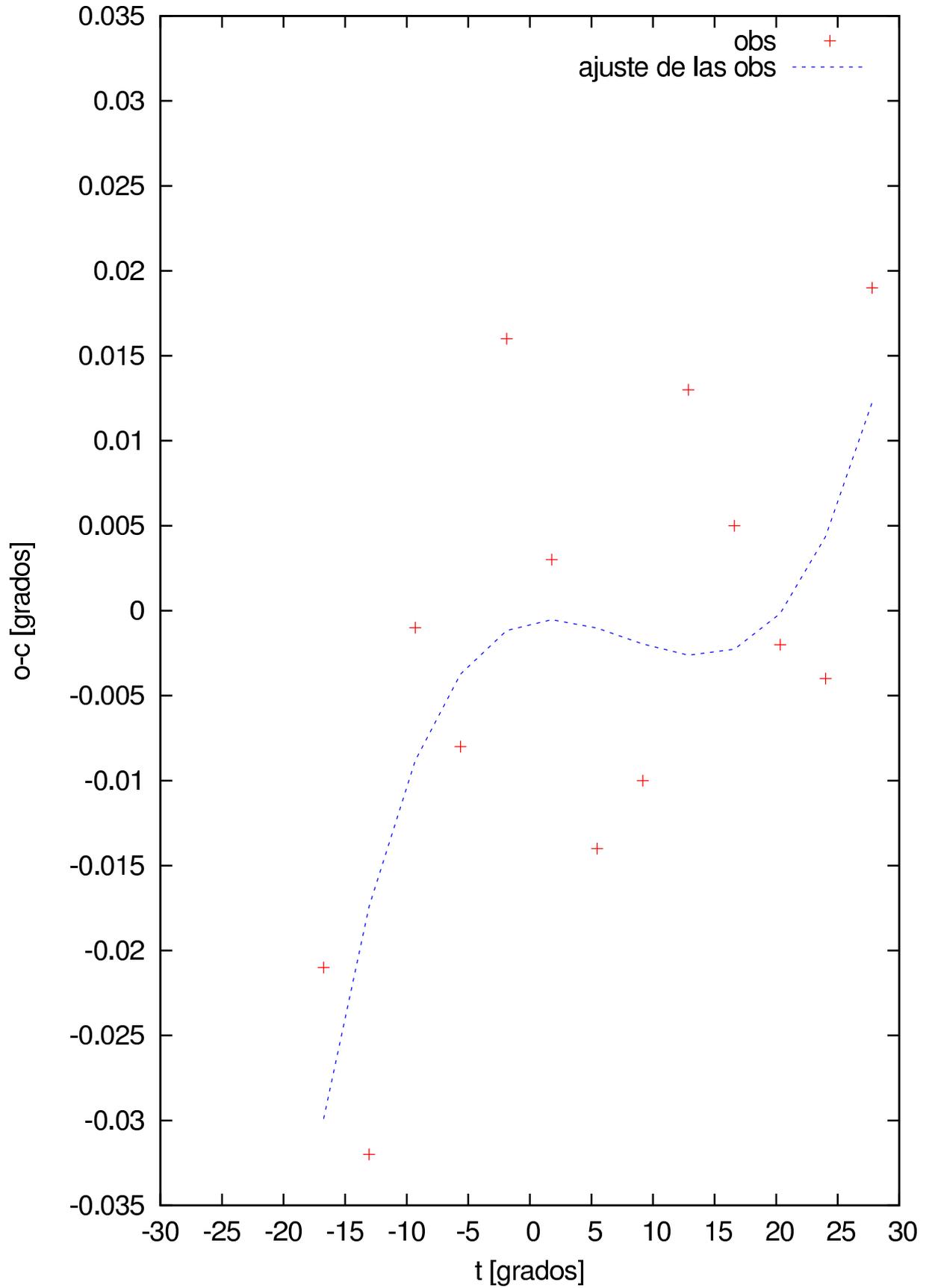


Figura 5.5: s0442-28

Fuente s0521-36: Barrido en declinacion

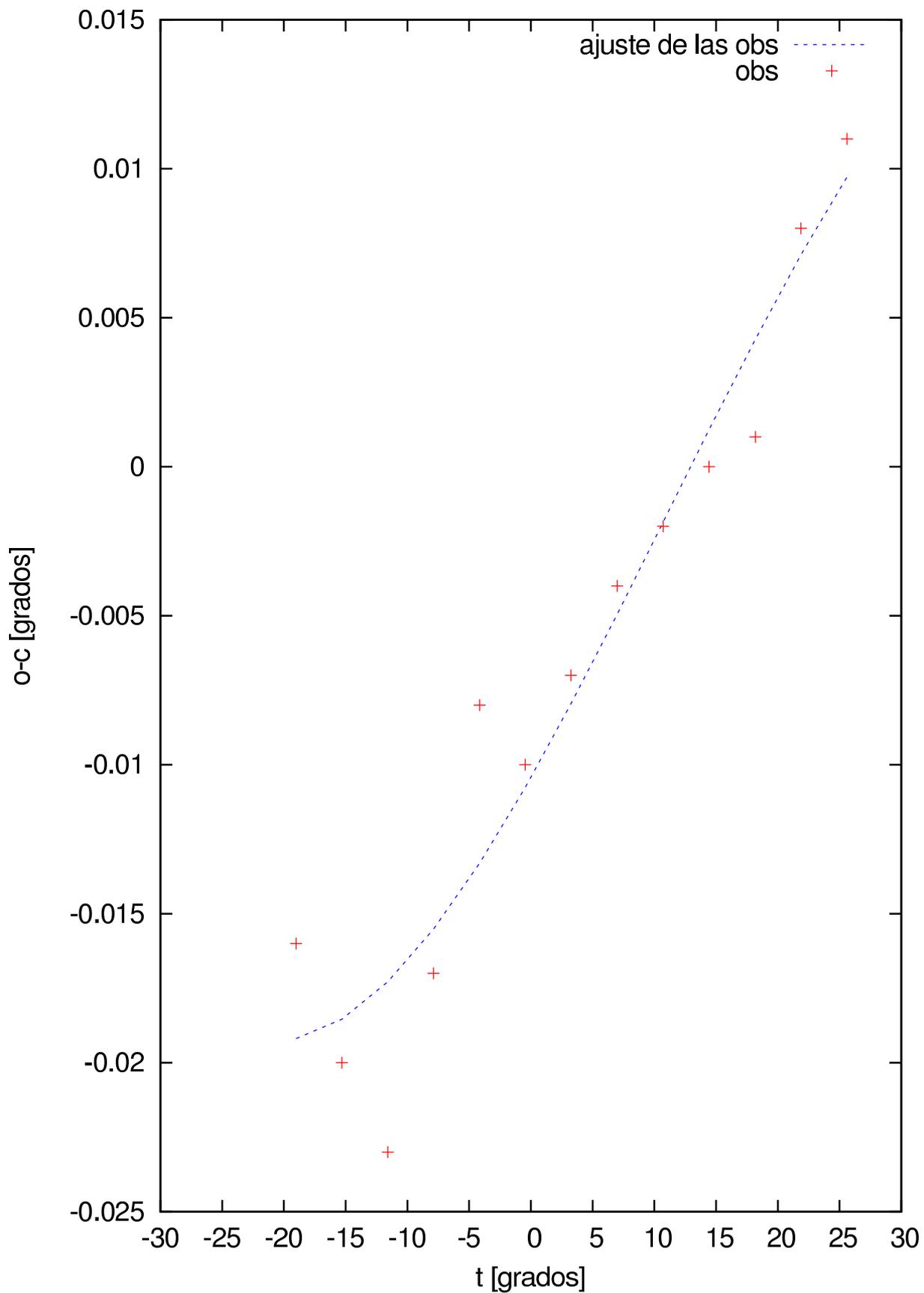


Figura 5.6: ss0521-36

Fuente s0043-42: Barrido en declinacion

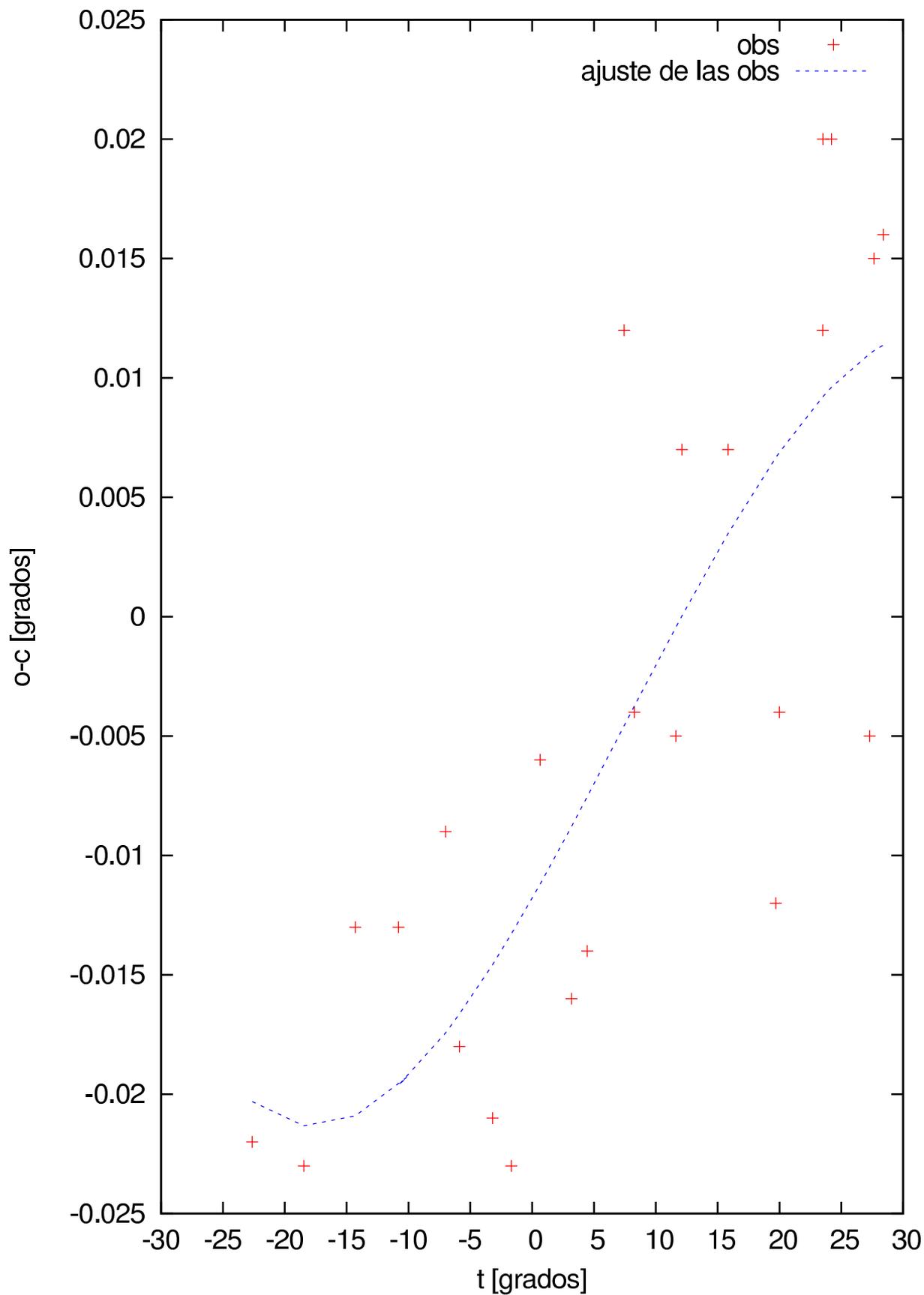


Figura 5.7: s0043-42

Fuente s0518-44: Barrido en declinacion

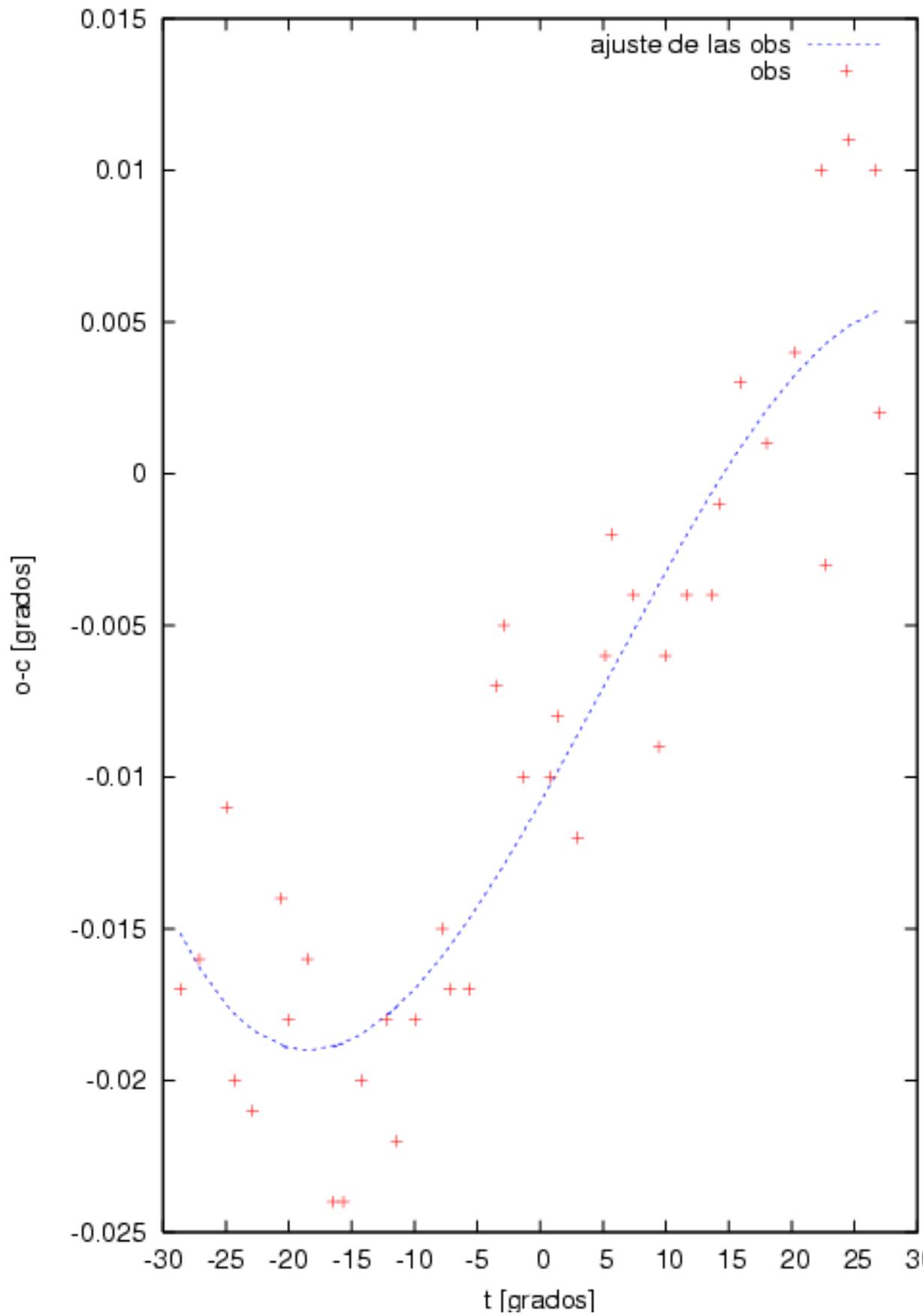


Figura 5.8: s0518-45

Fuente s1932-46: Barrido en declinacion

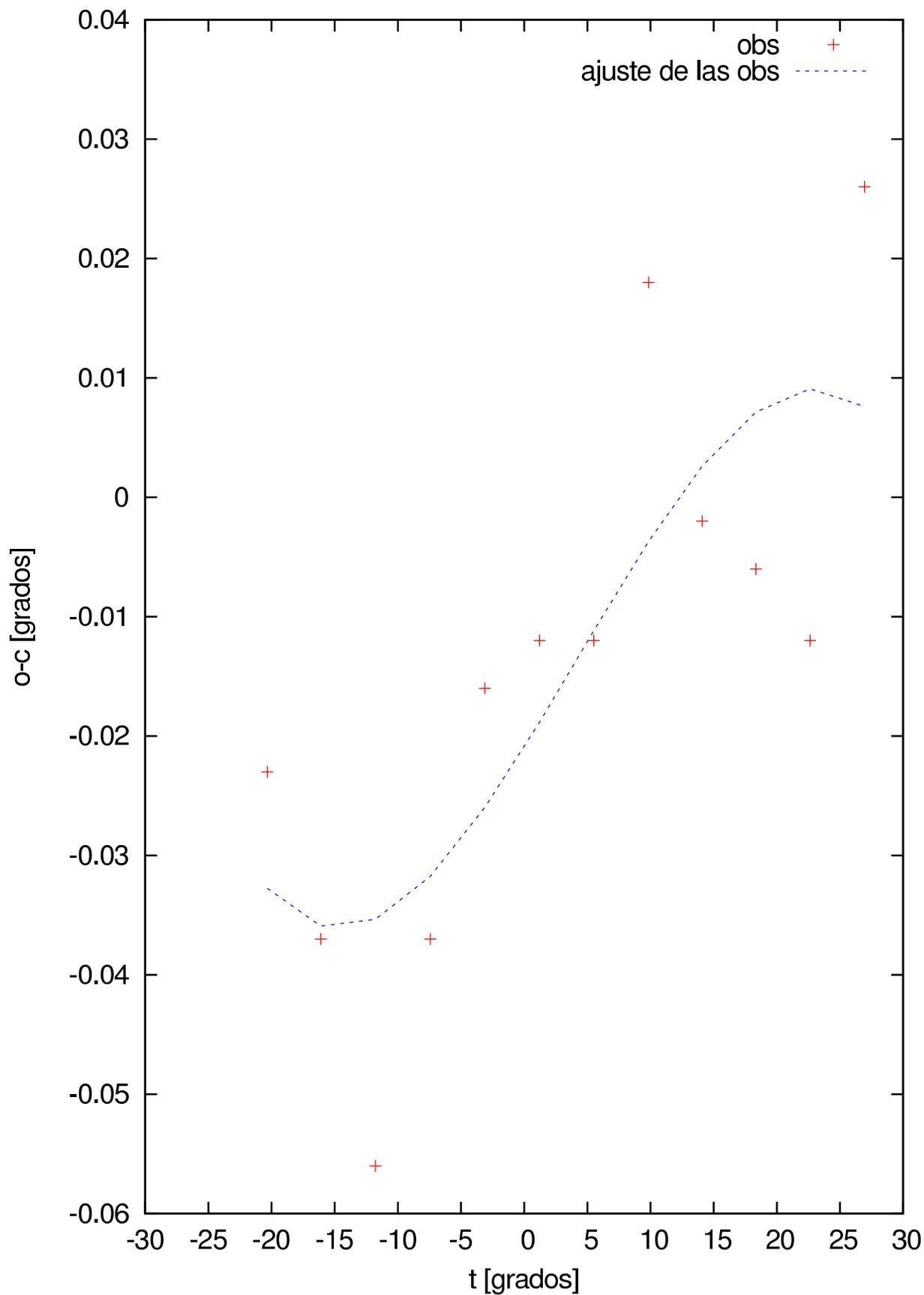


Figura 5.9: s1932-46

Fuente s1302-49: Barrido en declinacion

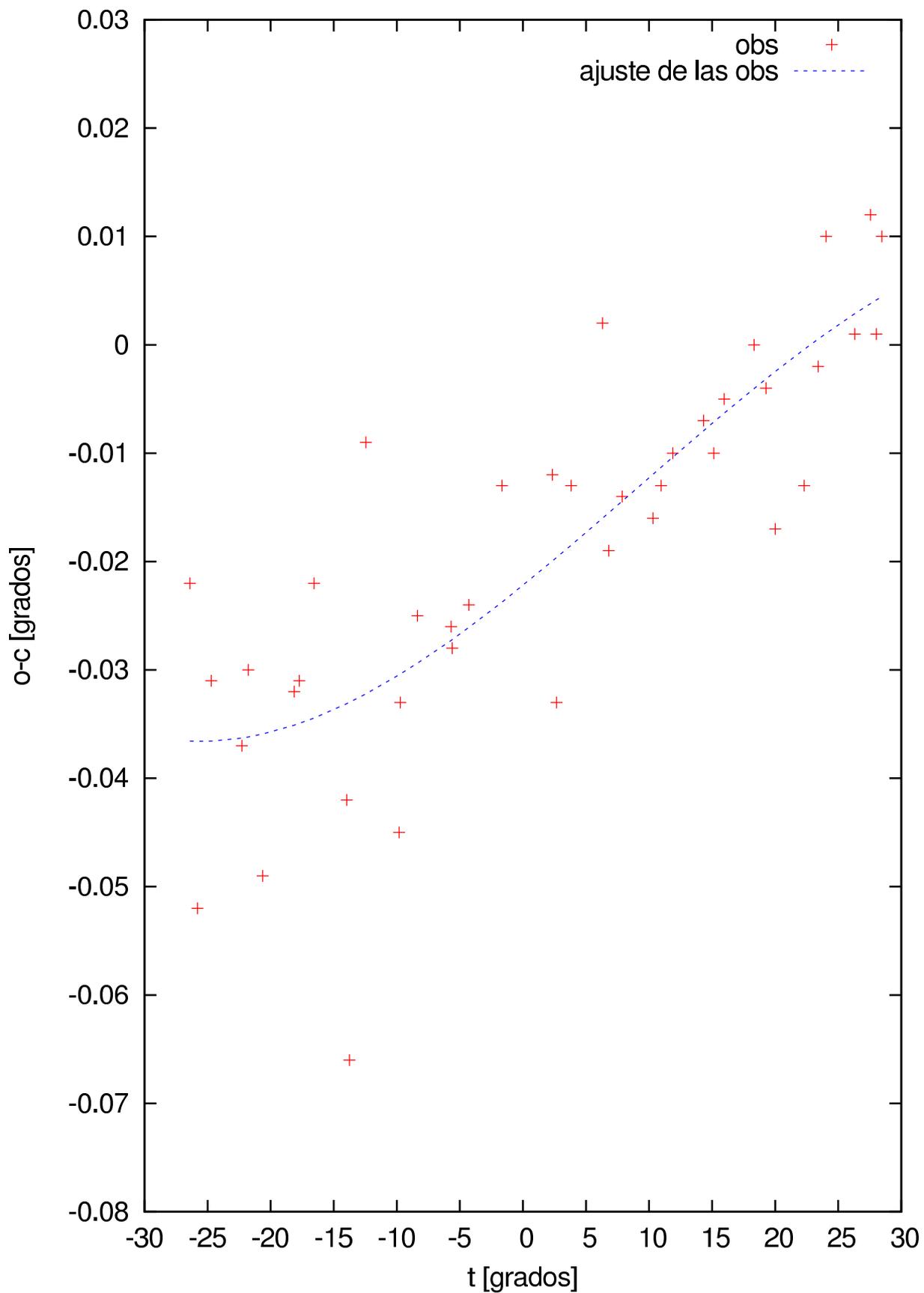


Figura 5.10: s1302-49

Fuente s1733-56: Barrido en declinacion

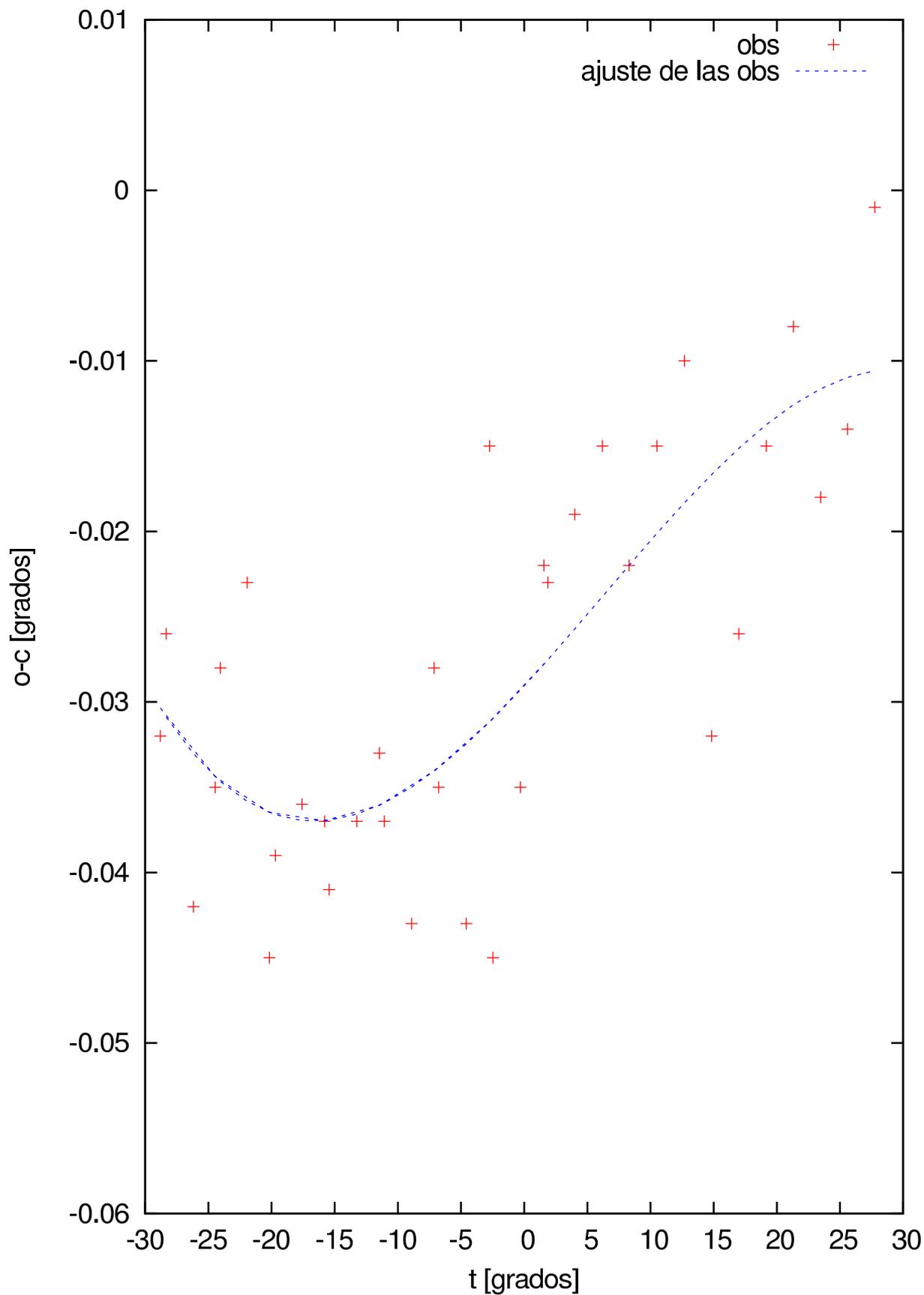


Figura 5.11: s1733-56

Fuente s1934-63: Barrido en declinacion

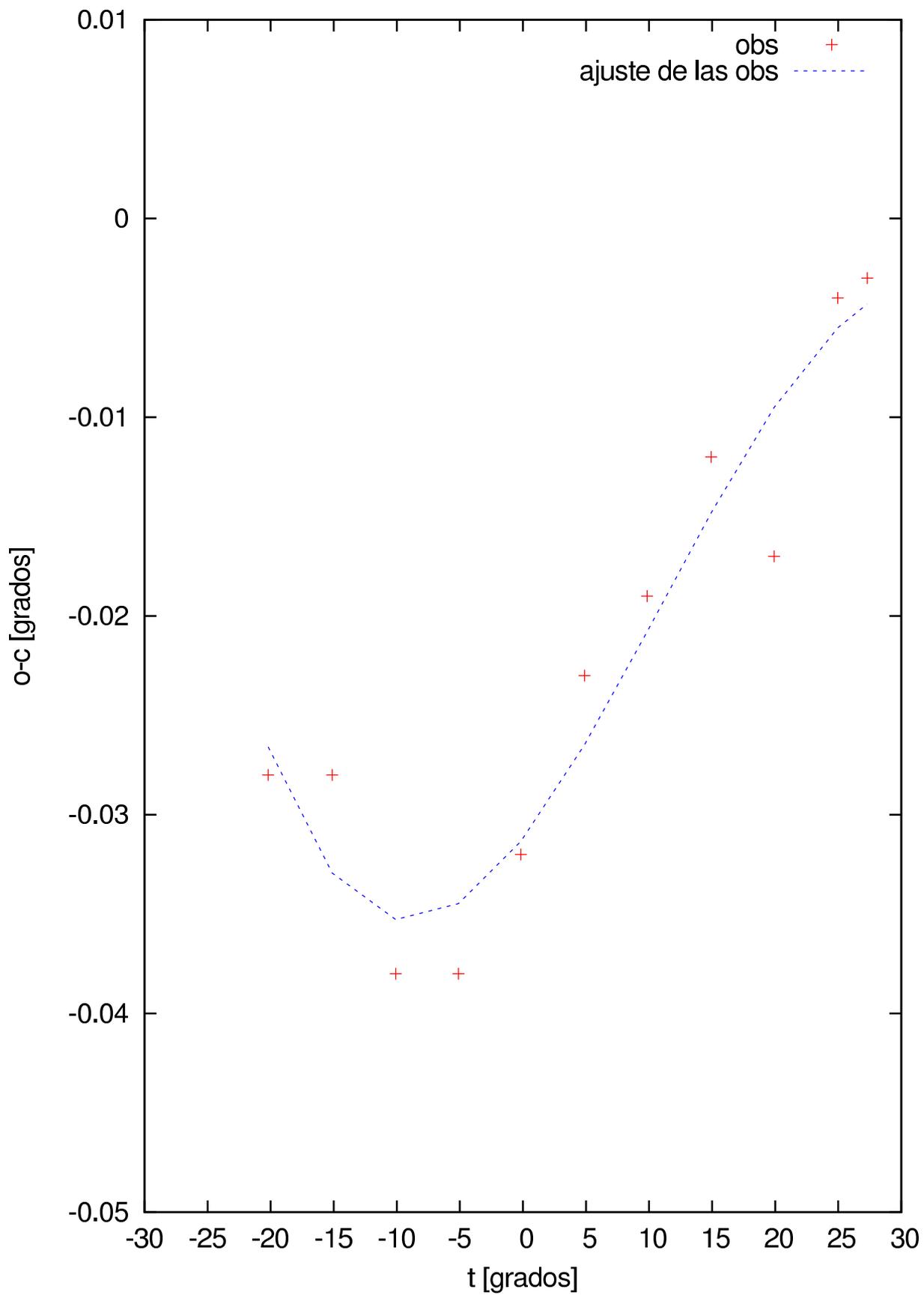


Figura 5.12: s1934-63

Fuente s0407-65: Barrido en declinacion

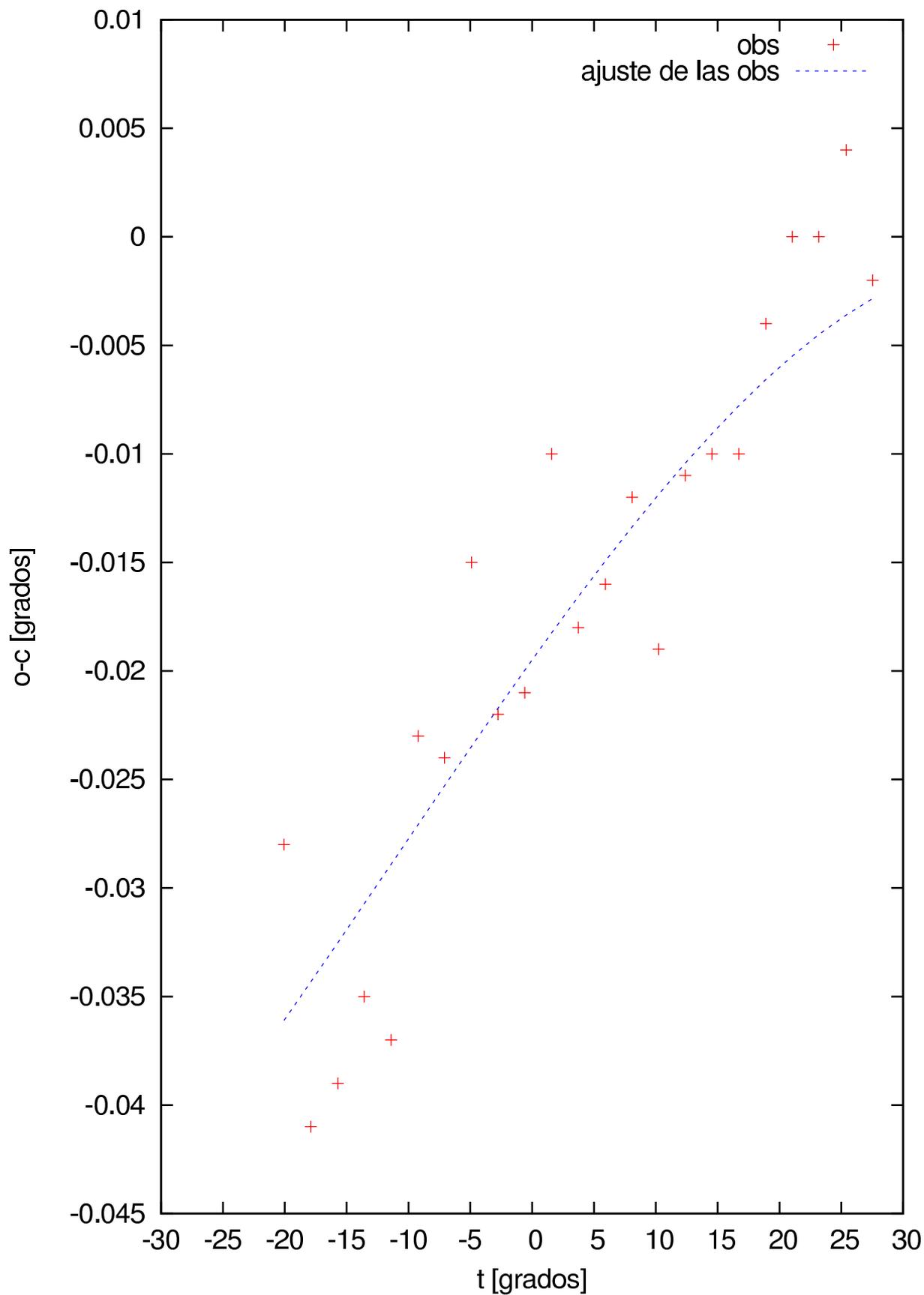


Figura 5.13: s0407-65

Fuente s2153-69: Barrido en declinacion

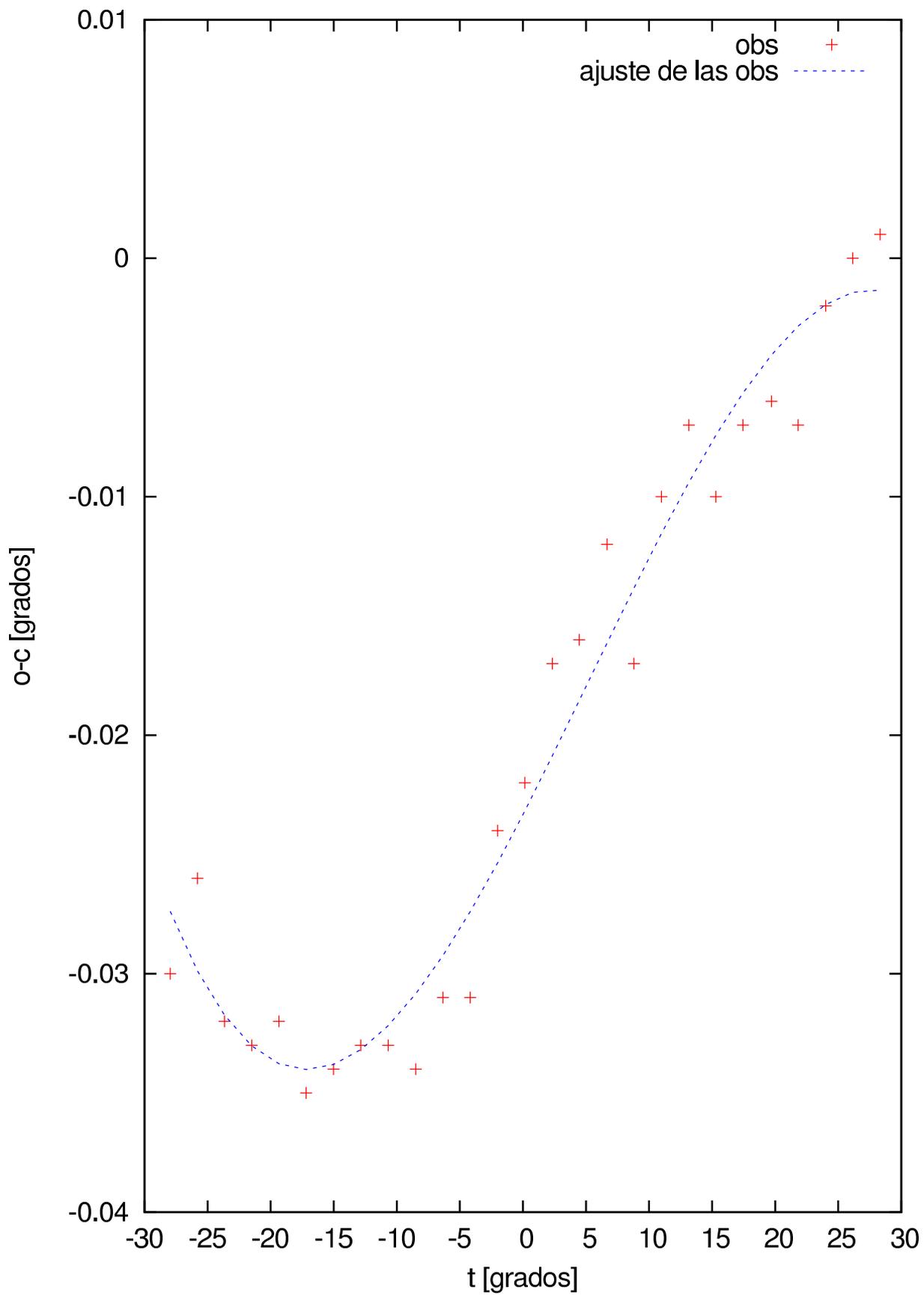


Figura 5.14: s044228

Fuente s0410-75: Barrido en declinacion

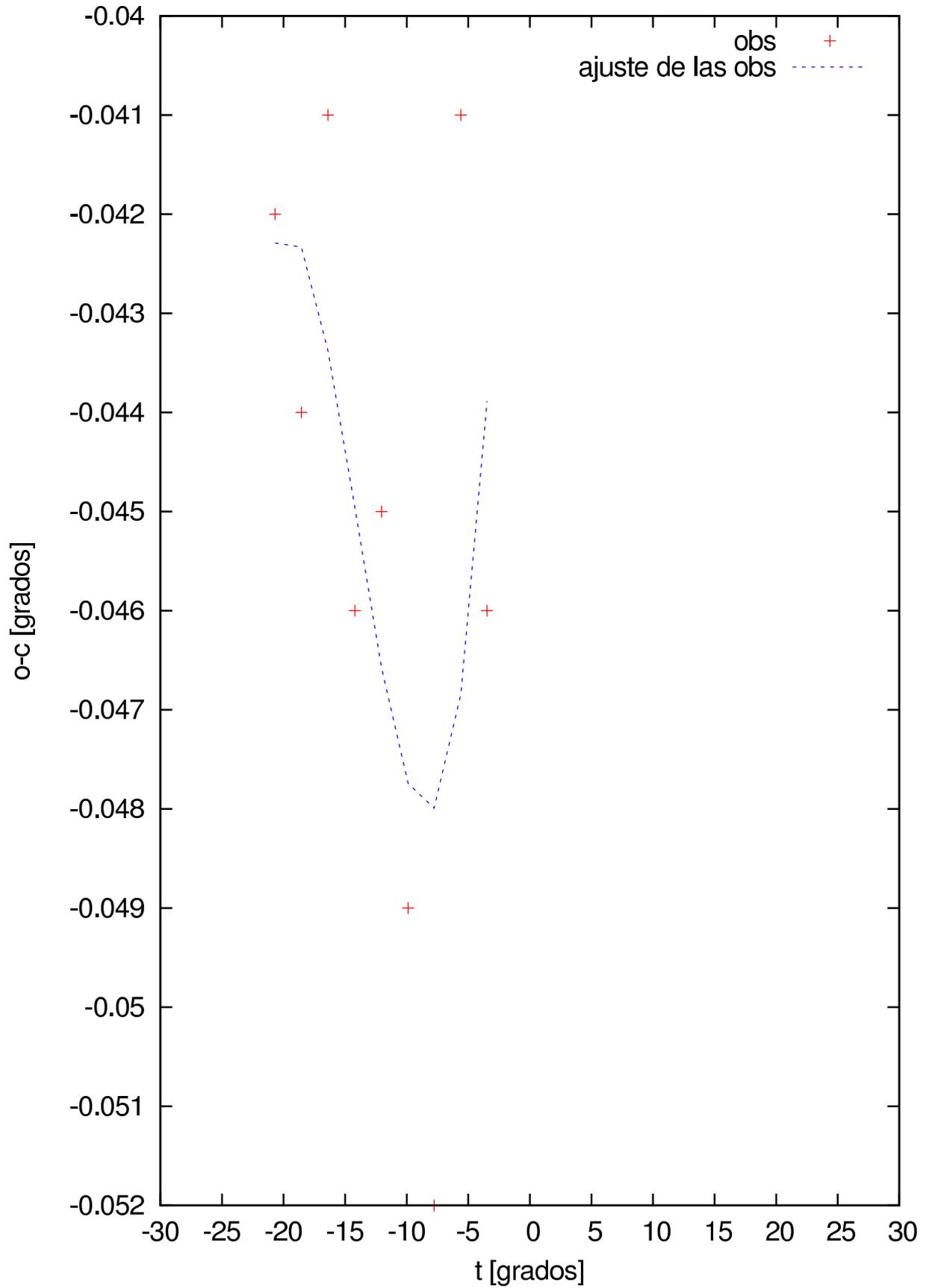


Figura 5.15: s0410-75

Fuente s1637-77: Barrido en declinacion

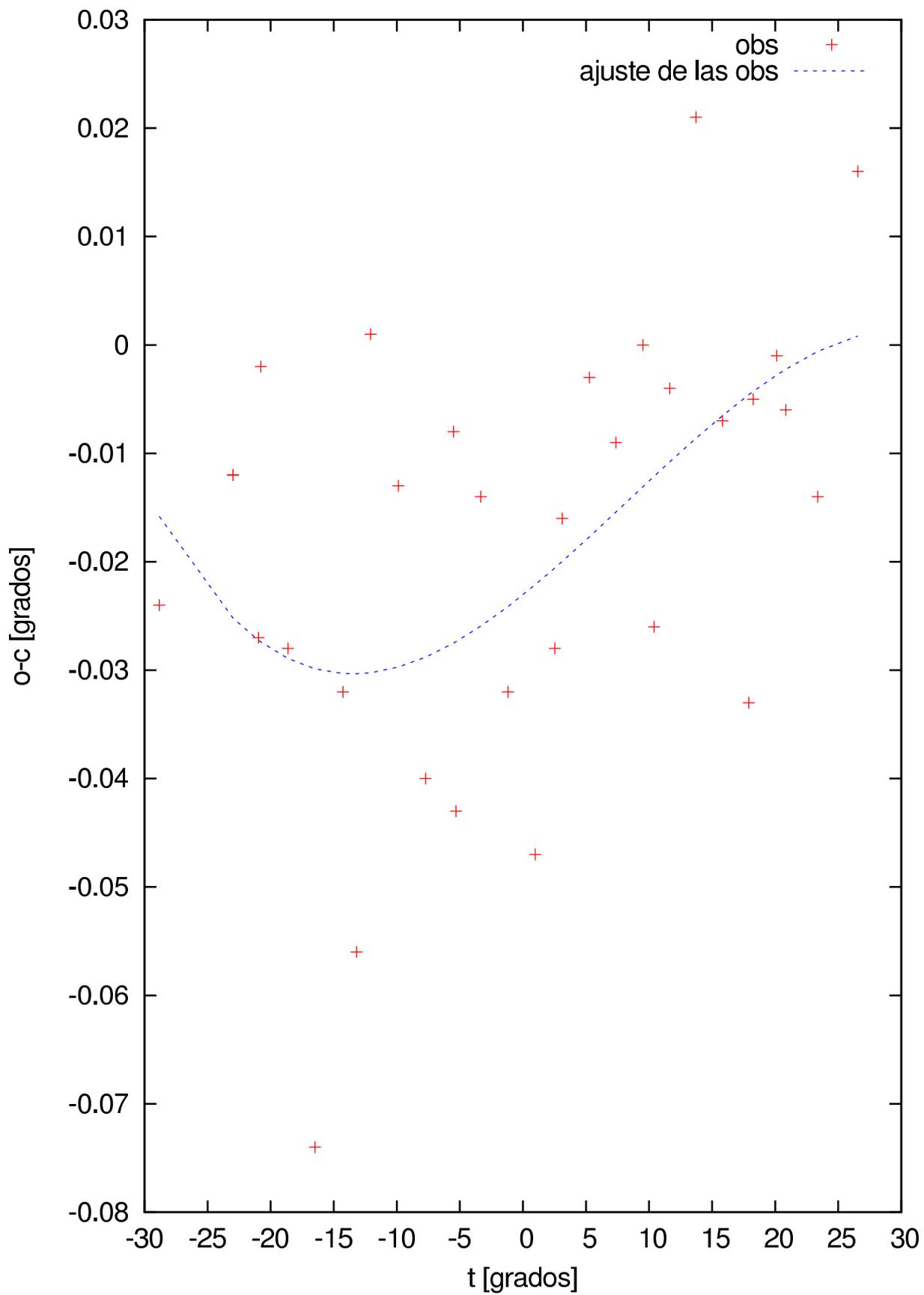


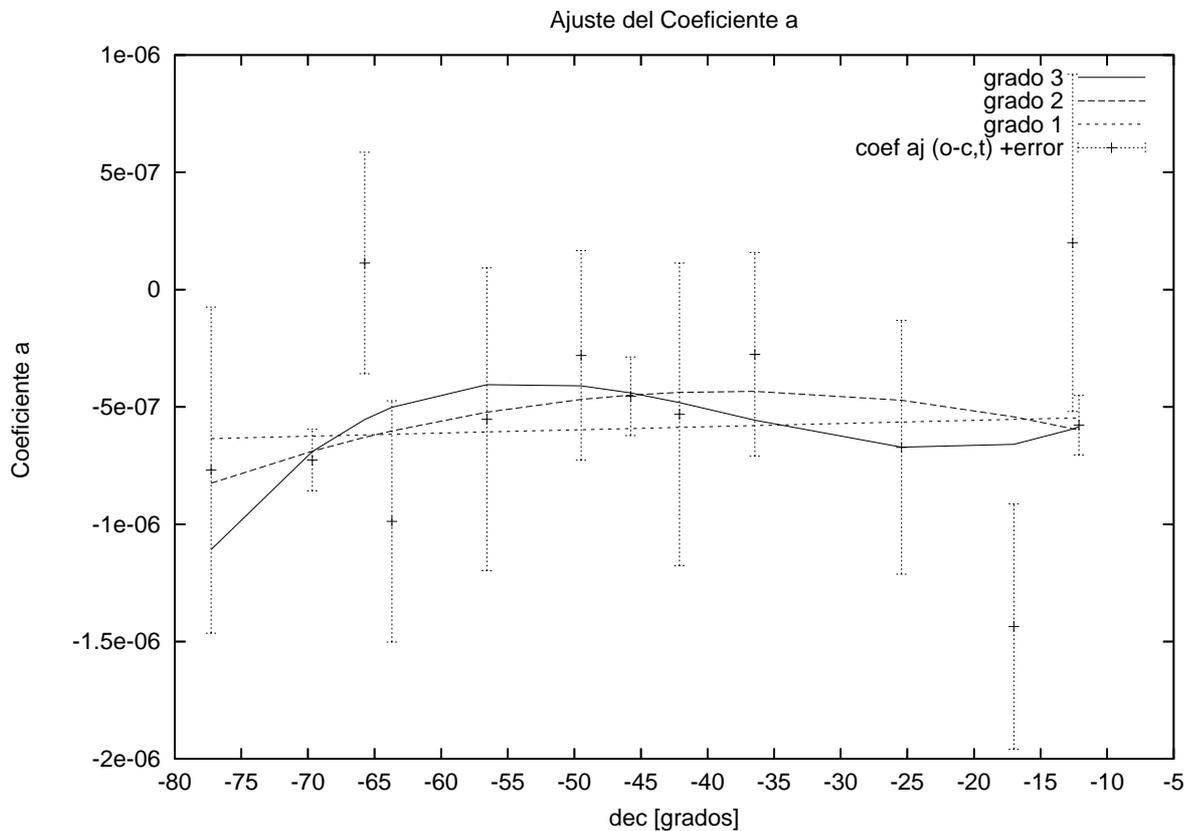
Figura 5.16: s1637-77

## 5.2. Análisis general de los datos

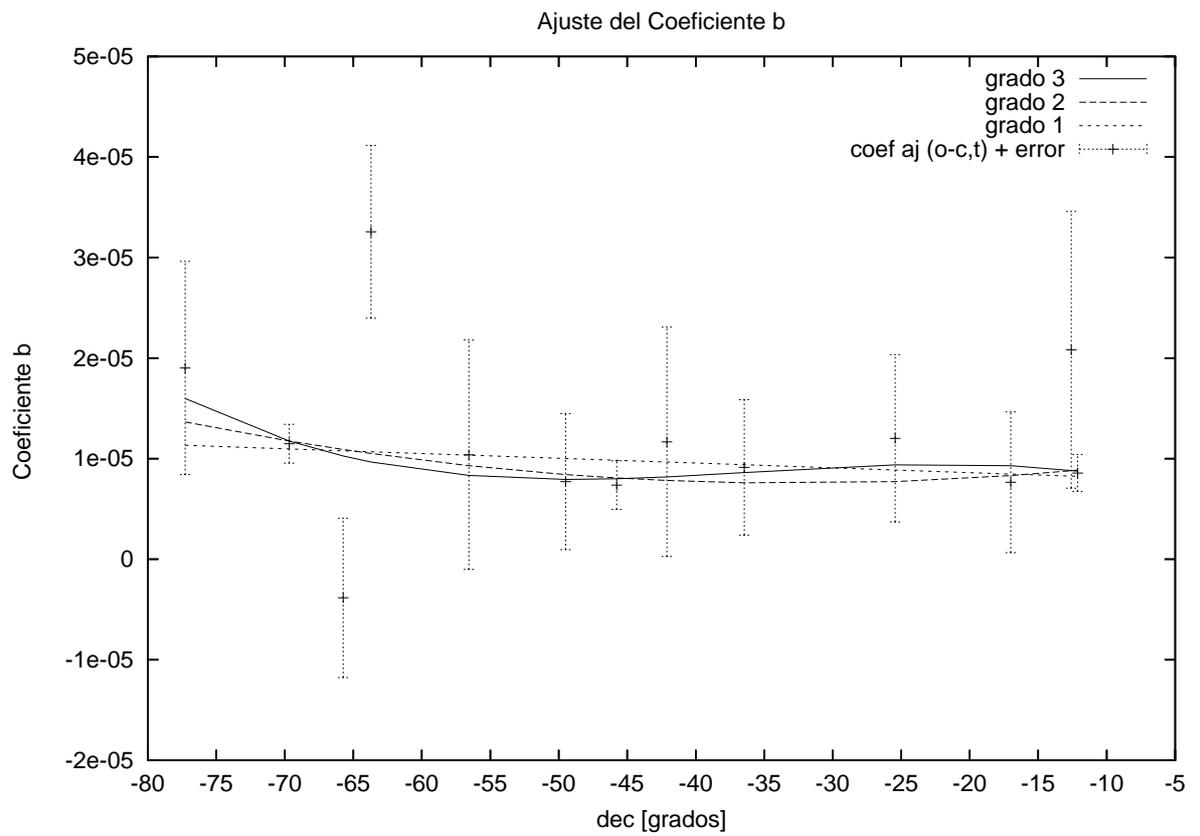
### 5.2.1. Buscando el modelo de apuntamiento

En las Figuras 5.15, 5.9 y 5.5 se muestran las observaciones de las fuentes s0410-75, s1932-46 y s0442-28, respectivamente. Se ve que los datos tienen baja relación señal-ruido, por lo que son excluidos para la obtención del modelo de apuntamiento. De esta forma, continuamos trabajando con el resto de las fuentes.

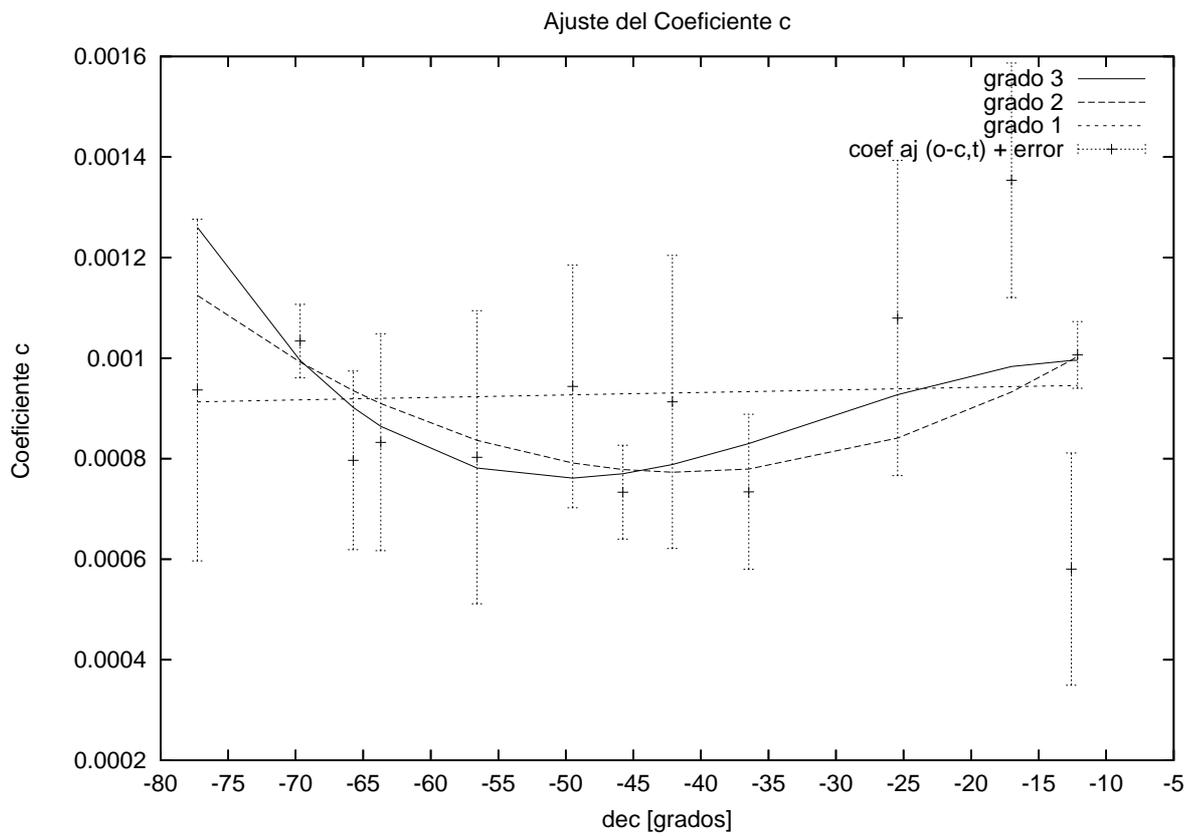
Con los coeficientes  $a$ ,  $b$  y  $c$  para las 13 fuentes, se buscó una relación funcional con la declinación, ajustándose polinomios de diferentes grados.



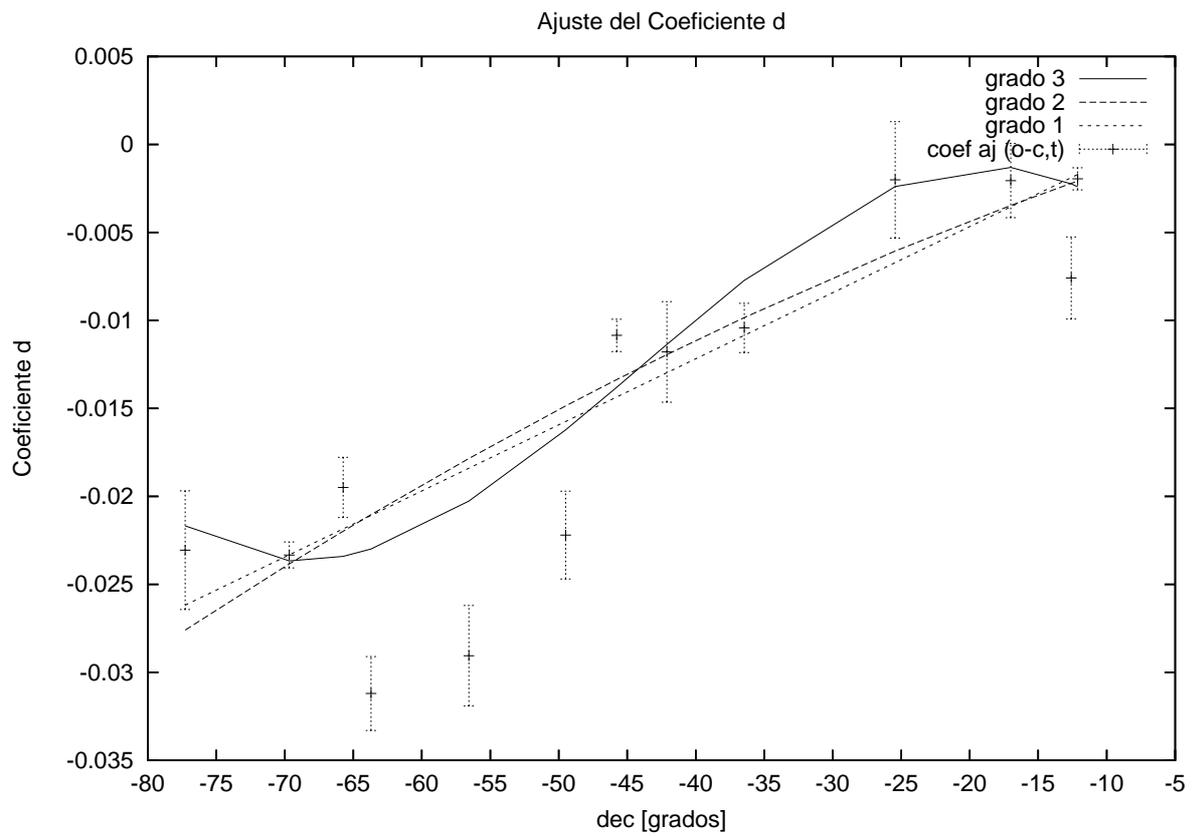
**Figura 5.17:** Comportamiento de los coeficientes  $a$  con la declinación. Las distintas curvas representan ajuste por mínimos cuadrados de polinomios de diferentes grados que están indicados en la parte superior derecha de este gráfico. Las cruces indican los coeficientes individuales de las fuentes con su barra de error obtenidos del ajuste (o-c,t).



**Figura 5.18:** Comportamiento de los coeficientes a con la declinación. Las distintas curvas representan ajuste por mínimos cuadrados de polinomios de diferentes grados que están indicados en la parte superior derecha de este gráfico. Las cruces indican los coeficientes individuales de las fuentes con su barra de error obtenidos del ajuste (o-c,t).



**Figura 5.19:** Comportamiento de los coeficientes  $a$  con la declinación. Las distintas curvas representan ajuste por mínimos cuadrados de polinomios de diferentes grados que están indicados en la parte superior derecha de este gráfico. Las cruces indican los coeficientes individuales de las fuentes con su barra de error obtenidos del ajuste (o-c,t).



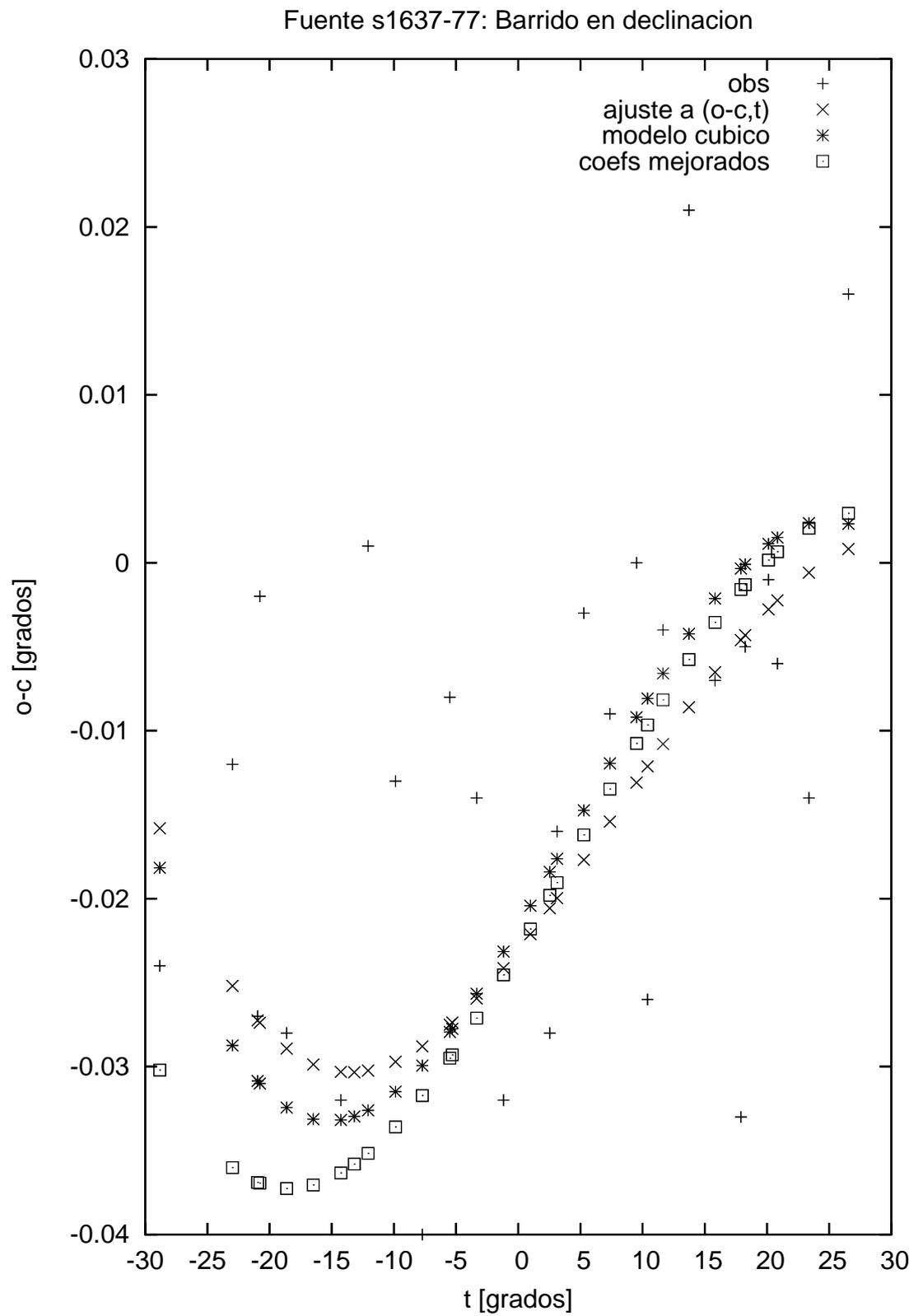
**Figura 5.20:** Comportamiento de los coeficientes  $a$  con la declinación. Las distintas curvas representan ajuste por mínimos cuadrados de polinomios de diferentes grados que están indicados en la parte superior derecha de este gráfico. Las cruces indican los coeficientes individuales de las fuentes con su barra de error obtenidos del ajuste (o-c,t).

### 5.2.2. Comportamientos de las fuentes

Una vez obtenidos los coeficientes,  $a(\delta)$ ,  $b(\delta)$ ,  $c(\delta)$  y  $d(\delta)$  por medio del ajuste de diferentes curvas, pueden obtenerse sus valores particulares para cada fuente, simplemente reemplazando por la declinación. Luego, se compararon distintos ajustes con estos resultados. De esta forma, se tomaron los coeficientes representados por un polinomio de grado 3 y, por otro lado, el caso donde los coeficientes  $a$  y  $d$  polinomio fuesen representados por un polinomio de grado 2, el  $b$  por uno de grado 1 y el  $c$ , por un polinomio de grado 3.

Los resultados aplicados a cada una de las fuentes aparecen en las siguientes figuras ordenadas en sentido decreciente, en valor absoluto, con la declinación. En la parte superior de las mismas se indican cada una de las curvas. El modelo cúbico se refiere a tomar todos los coeficientes ( $\delta$ ) de un polinomio de grado 3, los coeficientes mejorados indican el segundo caso explicado en el párrafo anterior.

Se observa que las observaciones se representan mejor con los coeficientes mejorados.



**Figura 5.21:** Fuente s1637-77. Para todas las fuentes los símbolos indican los mismo: con la cruz se indica la curva obtenida con el ajuste de los datos (o-c,t), con el signo más, las observaciones, los cuadrados, la curva con los coeficientes explicados en esta sección y el asterisco, considerando los coeficientes ( $\delta$ ) de grado 3.

Fuente s2153-69: Barrido en declinacion

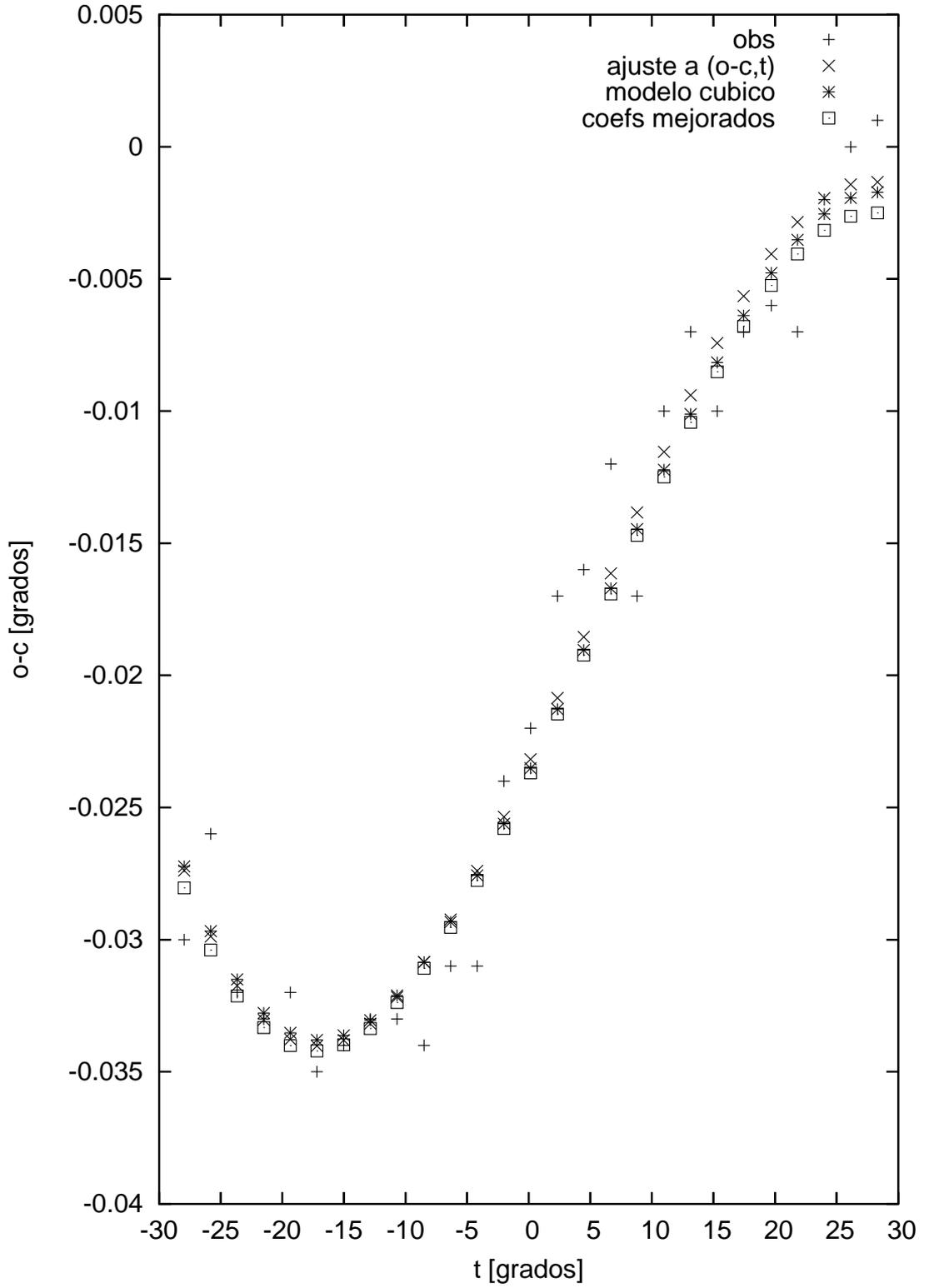


Figura 5.22

Fuente s0407-65: Barrido en declinacion

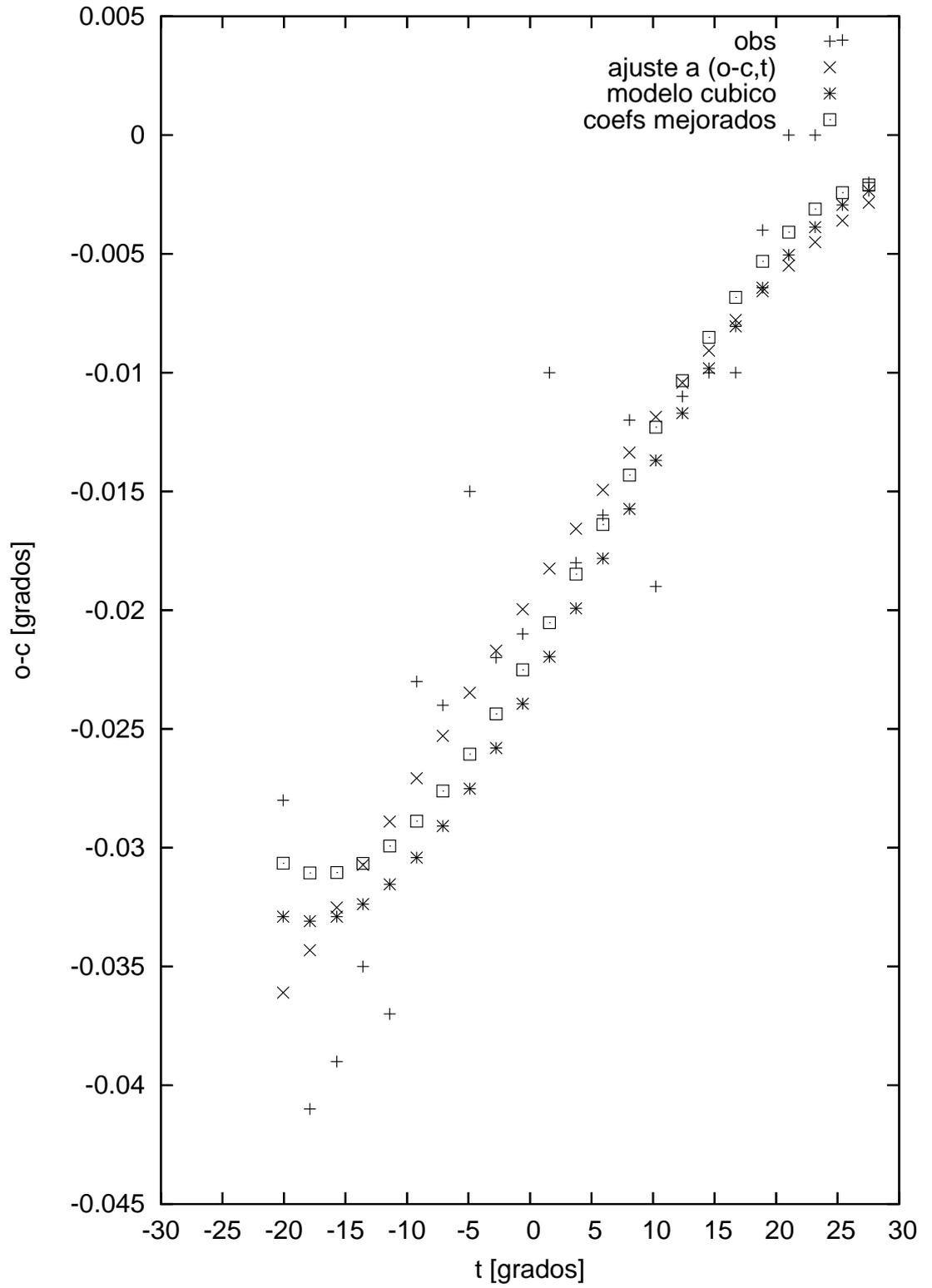


Figura 5.23

Fuente s1934-63: Barrido en declinacion

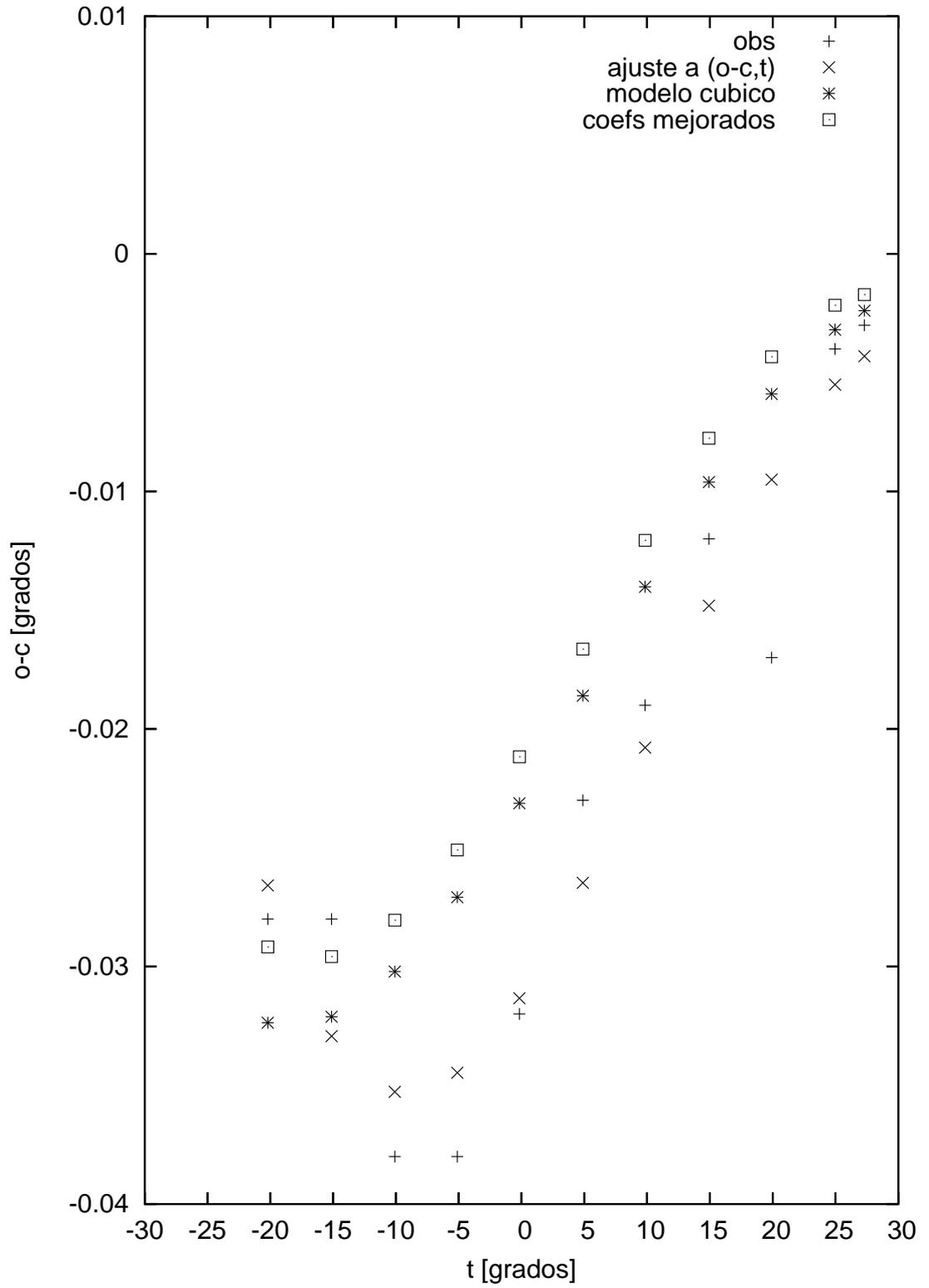


Figura 5.24

Fuente s1733-56: Barrido en declinacion

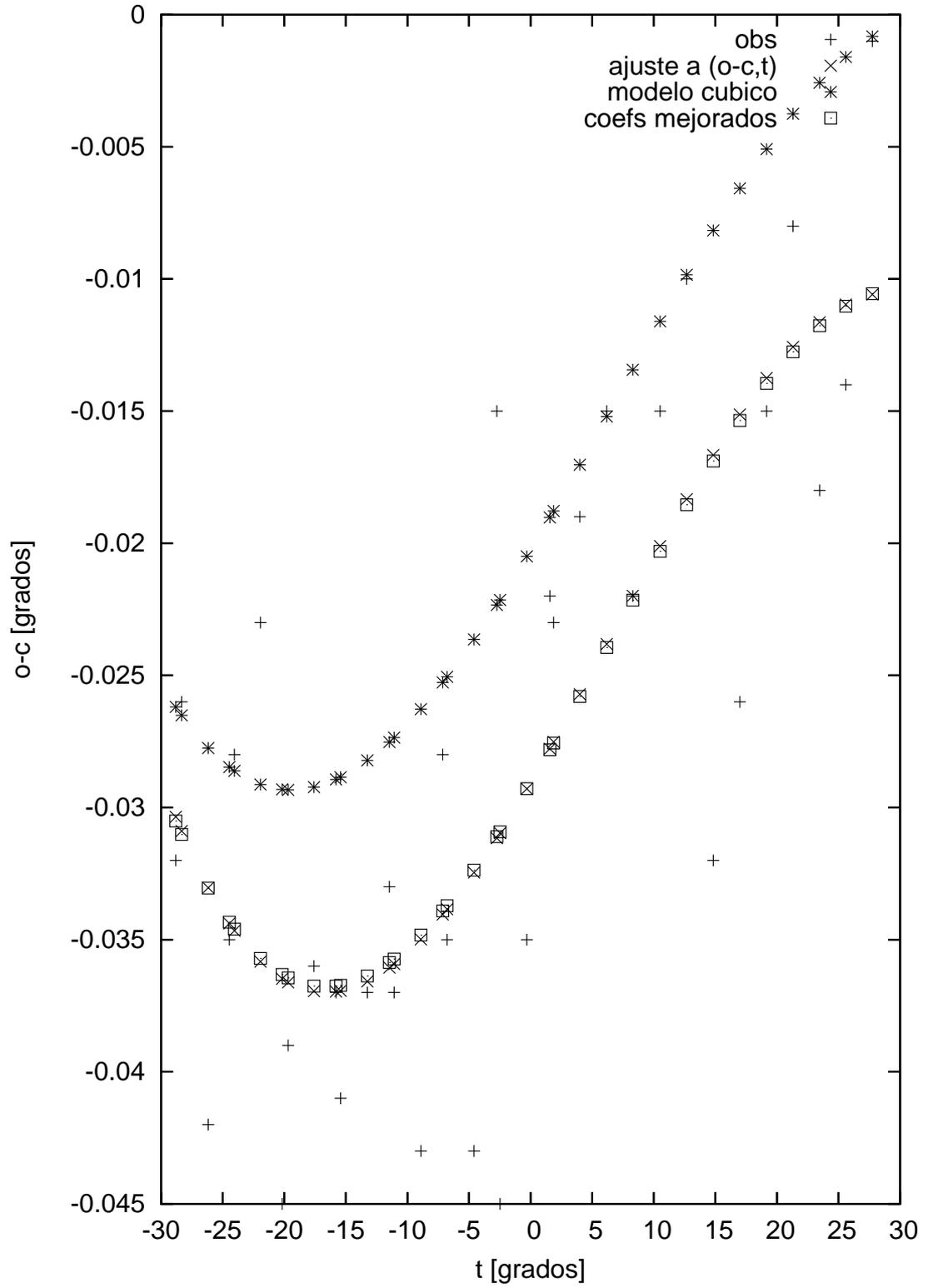


Figura 5.25

s1302-49: Barrido en declinacion

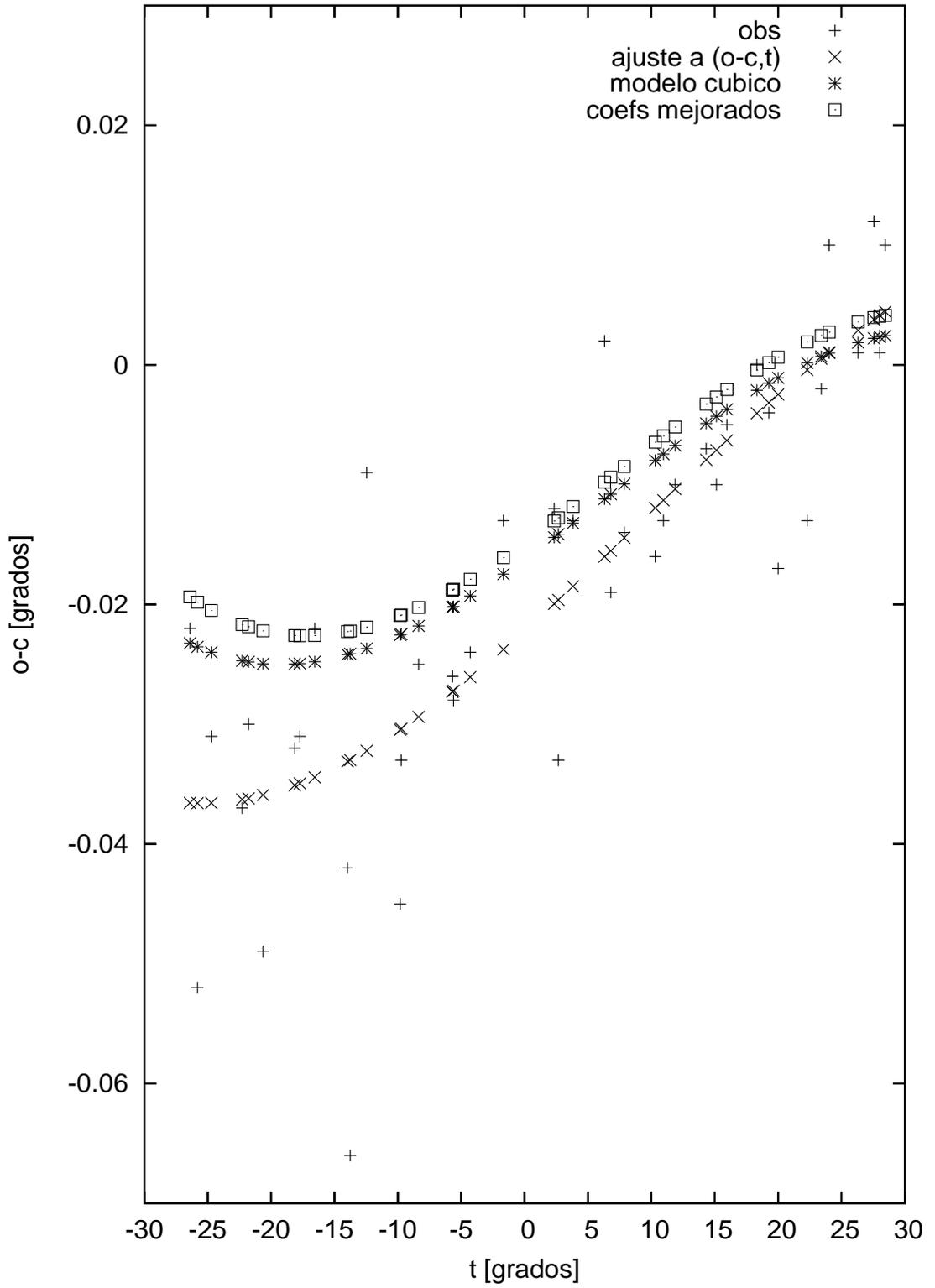


Figura 5.26

Fuente s0518-44: Barrido en declinacion

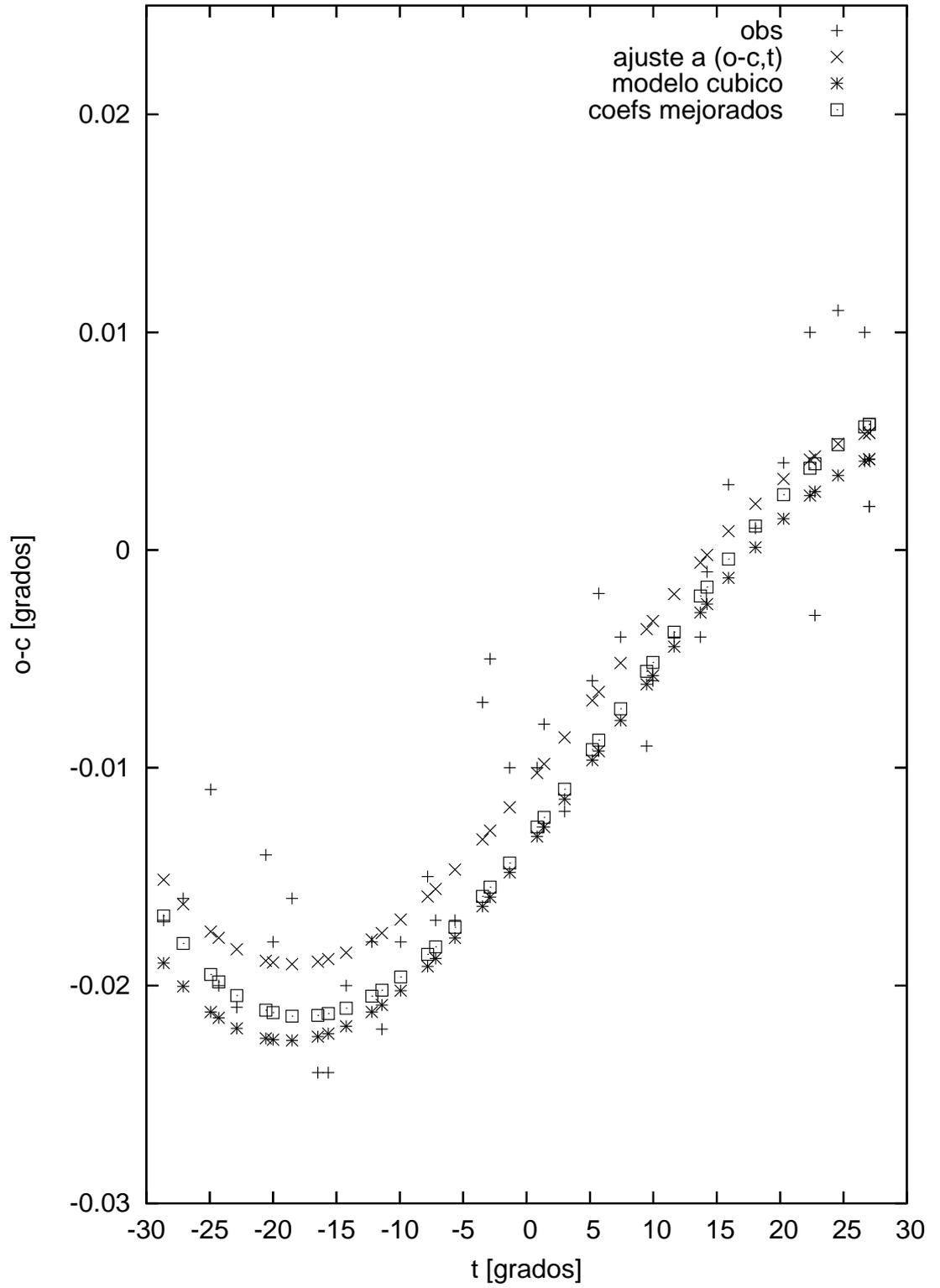


Figura 5.27

s0043-42-d.tot

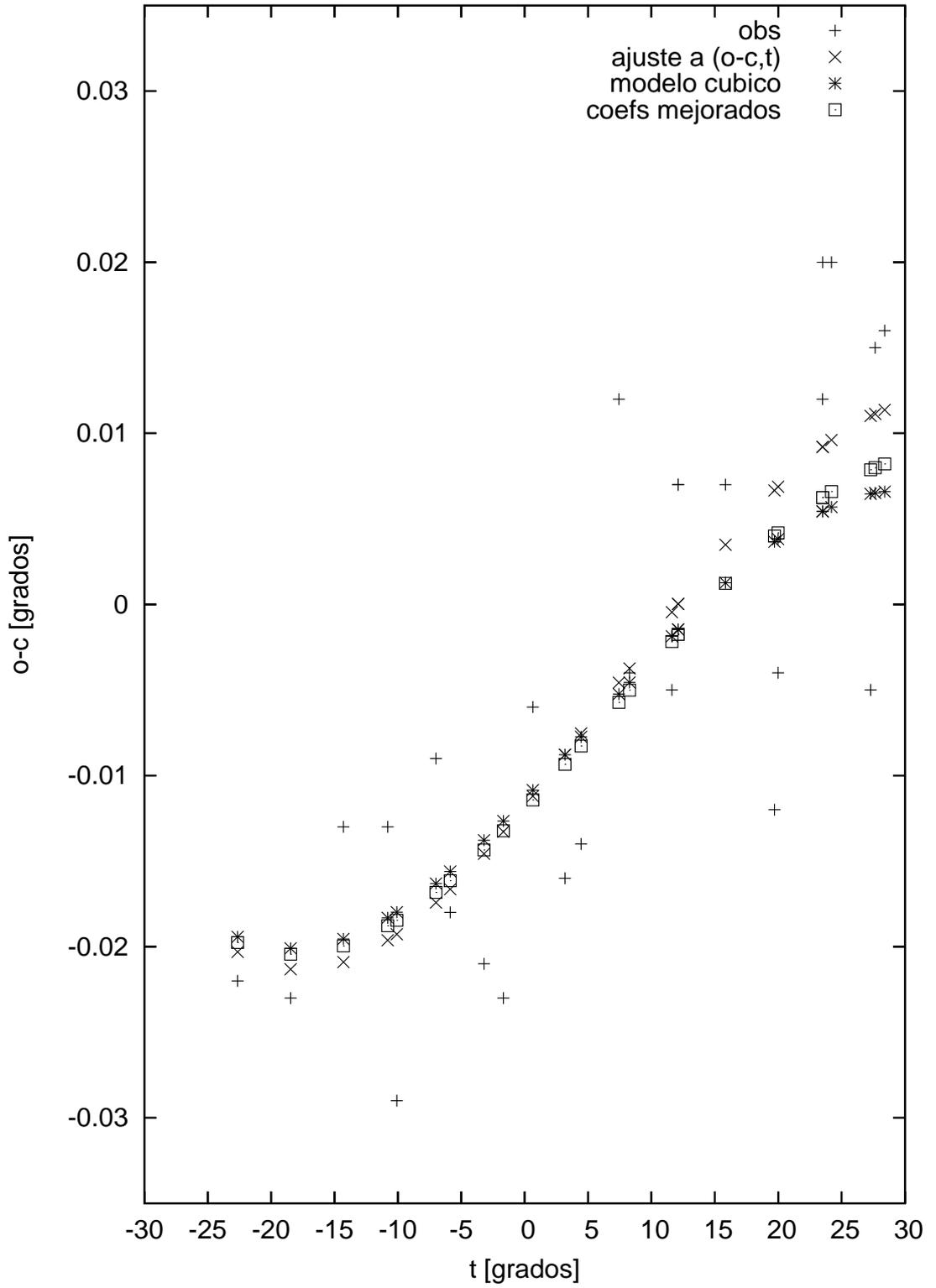


Figura 5.28

Fuente s0521-36: Barrido en declinacion

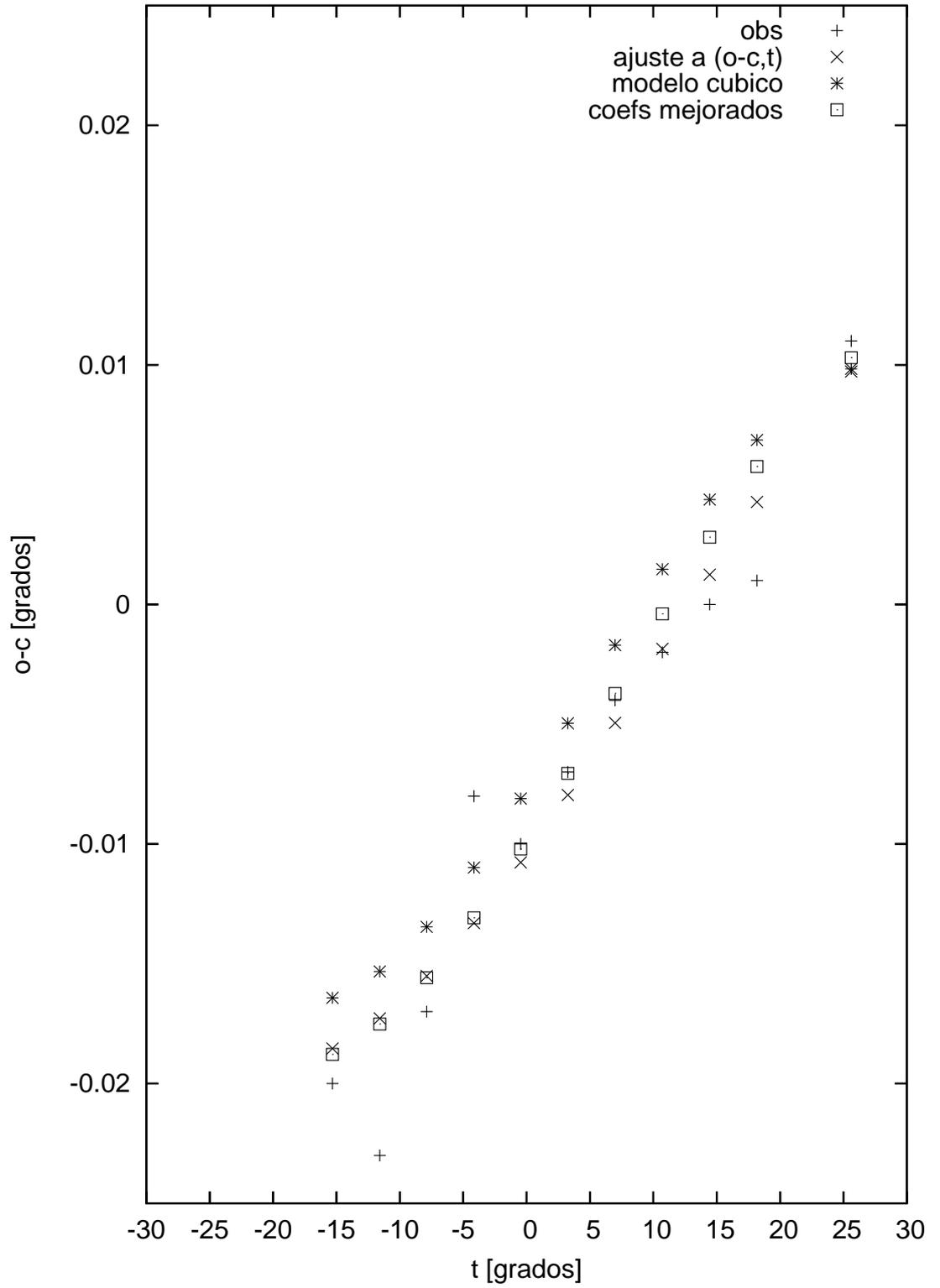


Figura 5.29

Fuente s2104-25: Barrido en declinacion

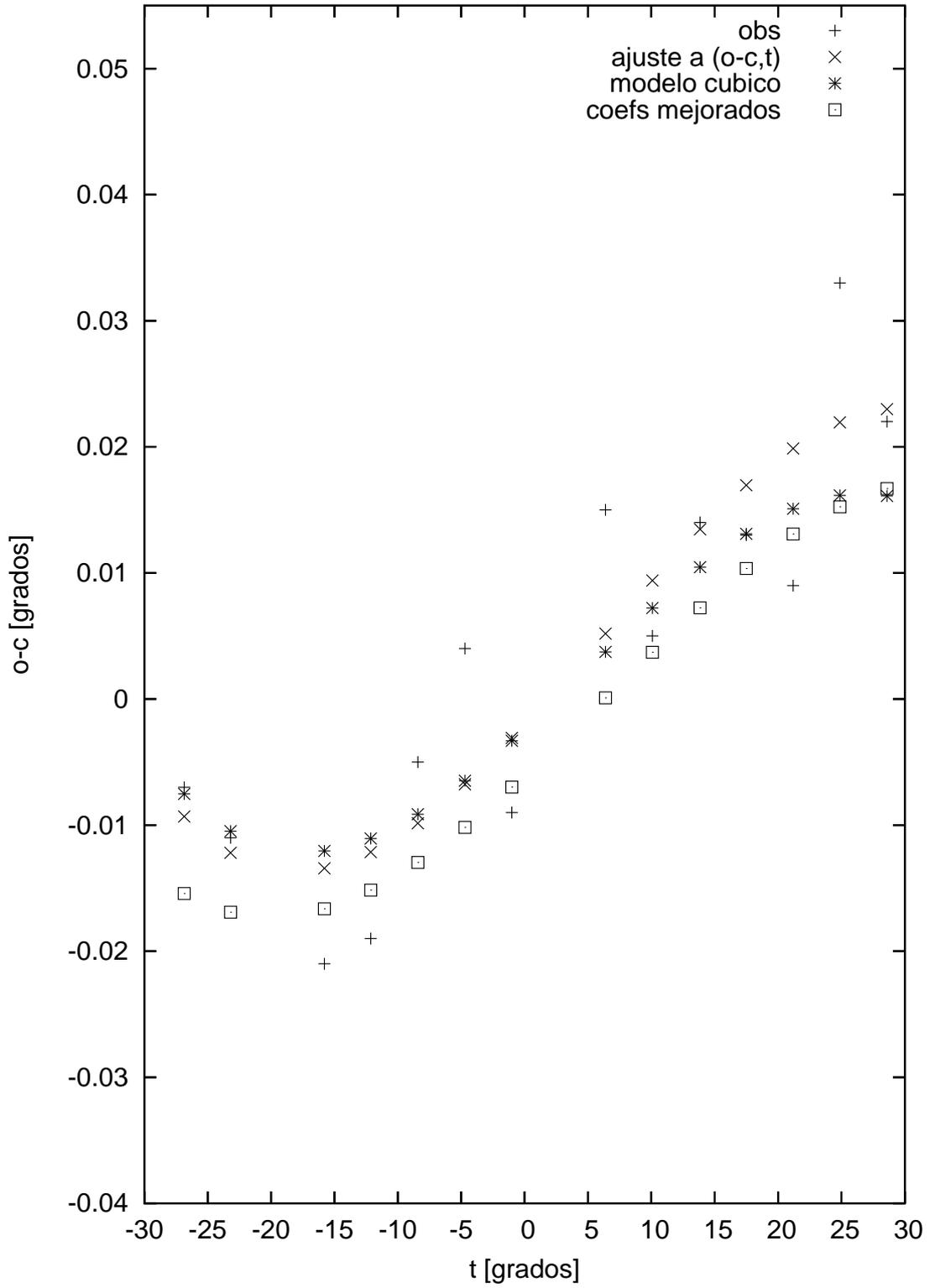


Figura 5.30

Fuente s2211-17: Barrido en declinacion

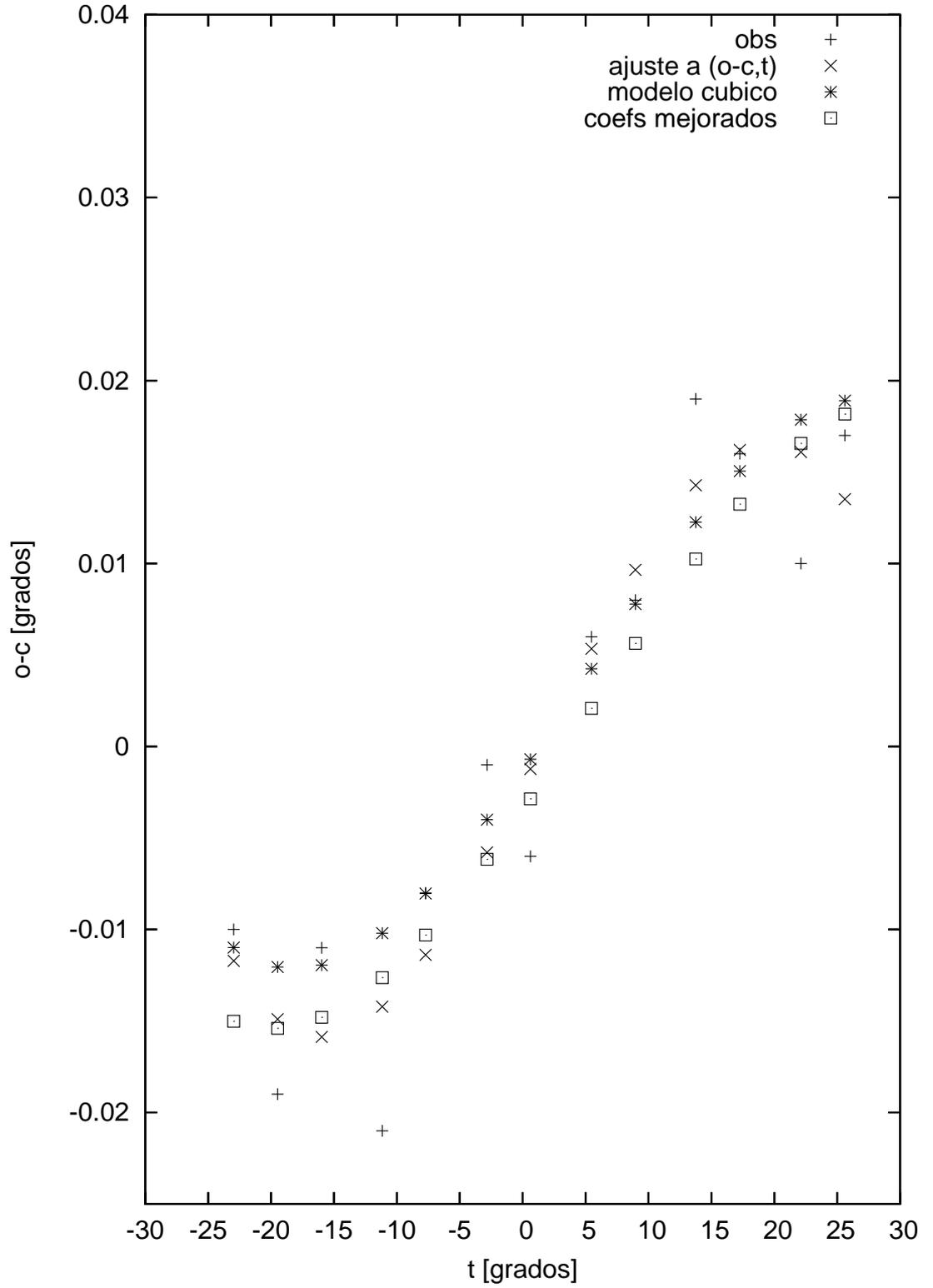


Figura 5.31

Fuente s1251-12: Barrido en declinacion

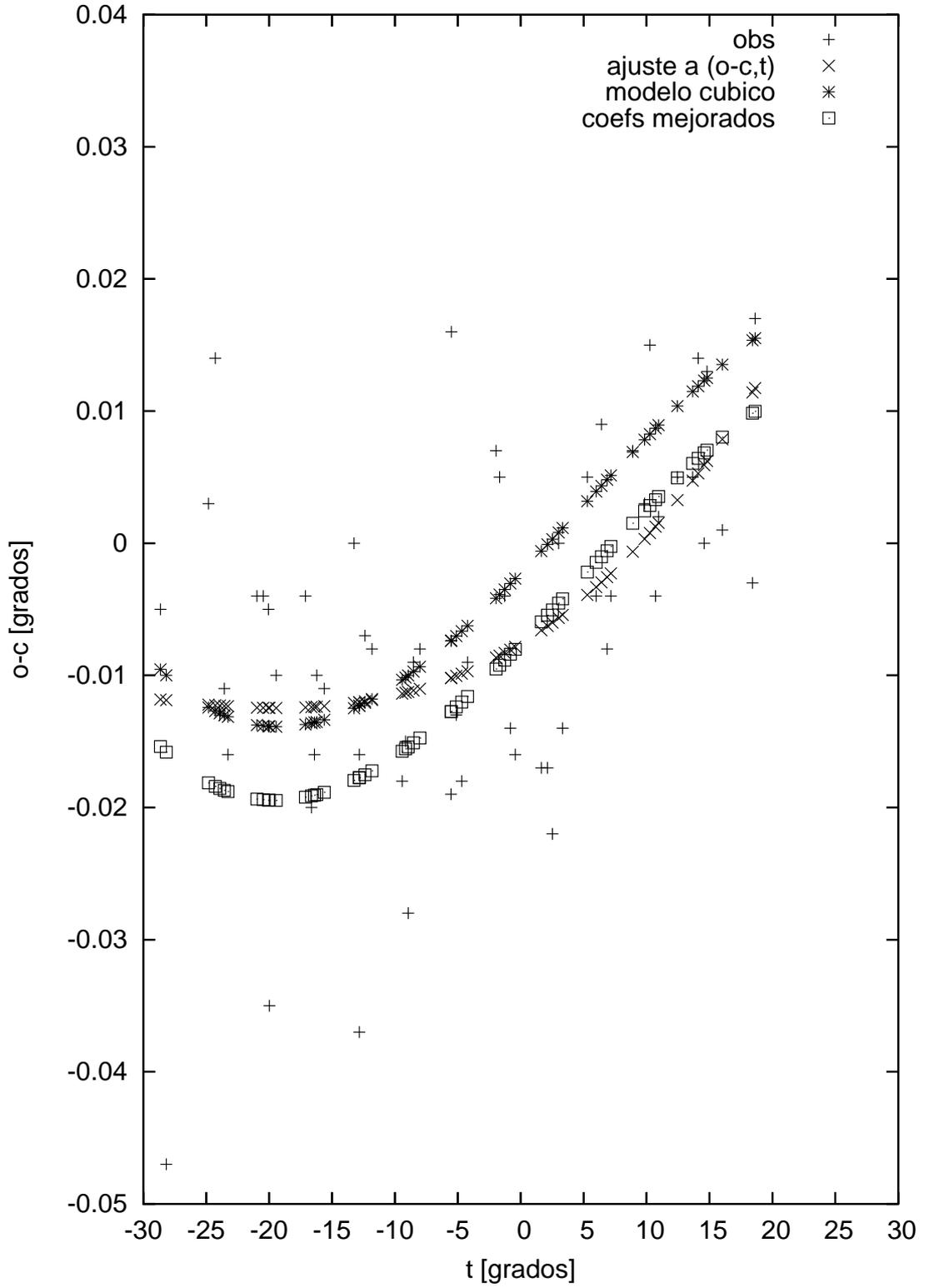


Figura 5.32

Fuente s0915-11: Barrido en declinacion

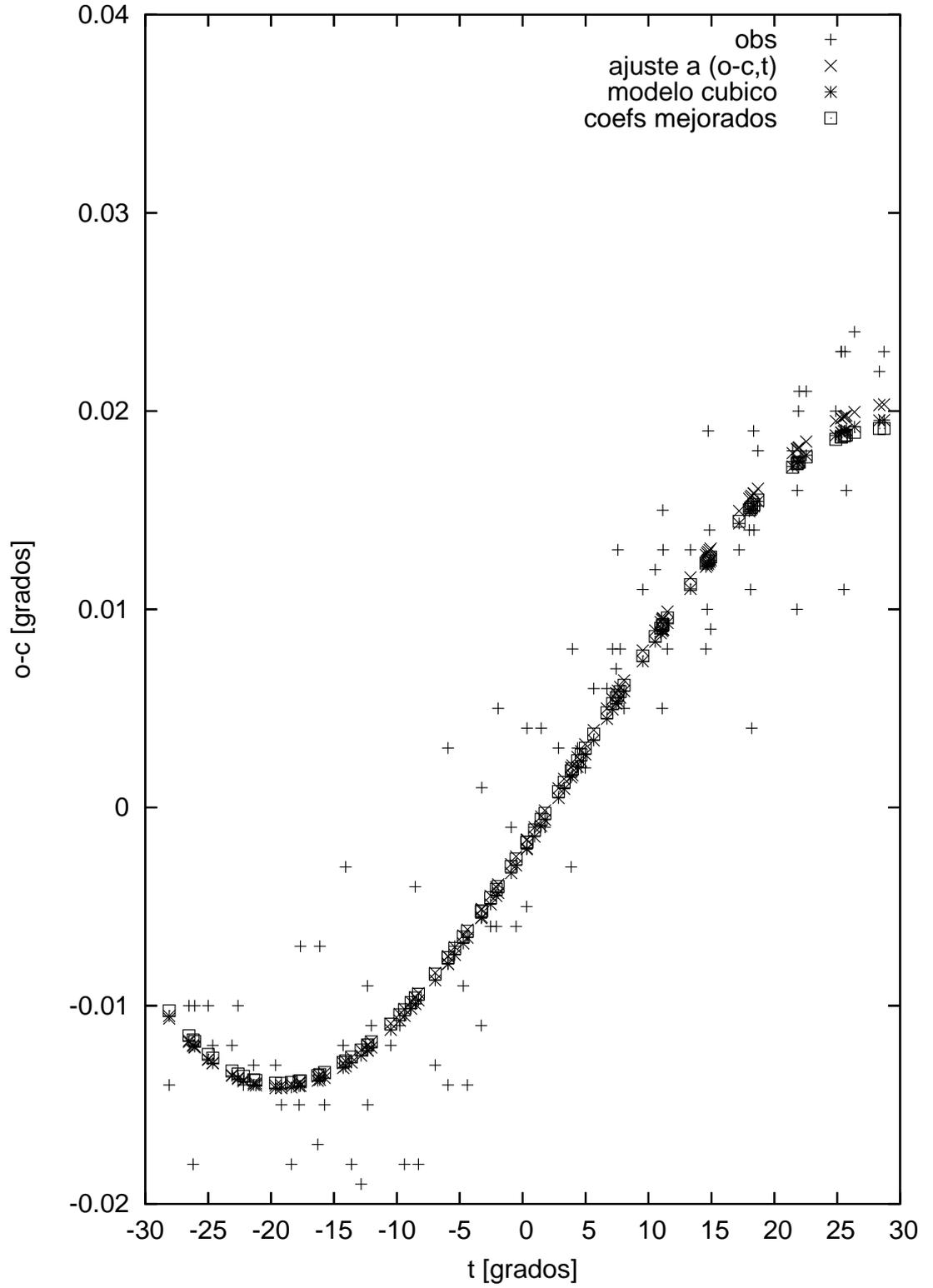


Figura 5.33

### 5.2.3. Modelando los residuos

El objetivo de esta sección es encontrar un modelo para los residuos. Para ello hemos comparado los residuos de la diferencia entre la curva obtenida por mínimos cuadrados del ajuste a las observaciones y de la curva obtenida con los coeficientes obtenidos del modelo de apuntamiento de las fuentes. Es decir,

$$\begin{aligned}a1(\delta) &= aa * \delta^2 + ab * \delta + ac \\b1(\delta) &= ba * \delta + bb \\c1(\delta) &= ca * \delta^3 + cb * \delta^2 + cc * \delta + cd \\d1(\delta) &= da * \delta^2 + db * \delta + dc\end{aligned}\tag{5.2}$$

resultando:

$$\begin{aligned}res_1 &= (a * t^3 + b * t^2 + c * t + d) - (o - c, t) \\res_2 &= (a1(\delta) * t^3 + b1(\delta) * t^2 + c1(\delta) * t + d1(\delta)) - (o - c, t)\end{aligned}\tag{5.3}$$

En las figuras los  $res_1$  y  $res_2$  aparecen identificados en la parte superior de los gráficos como “res de aj (o-c,t)” y “res de coef mejorados”, respectivamente.

En el caso de barrido en declinación, puede observarse que la diferencia entre ellos es muy pequeña, mucho menor que 0.04, en algunos casos un orden de magnitud inferior. En consecuencia, no es necesario hacer ninguna corrección.

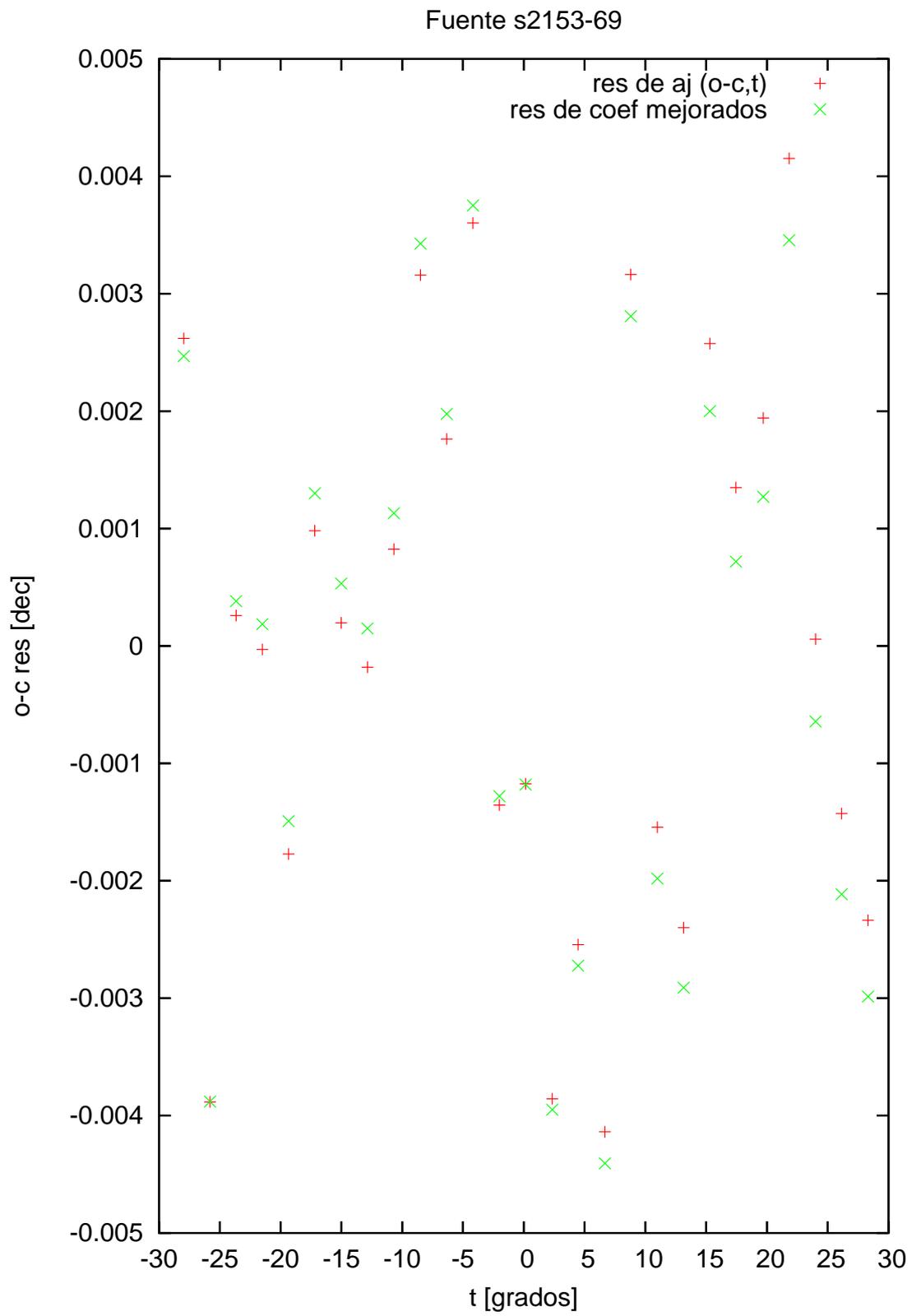


Figura 5.34

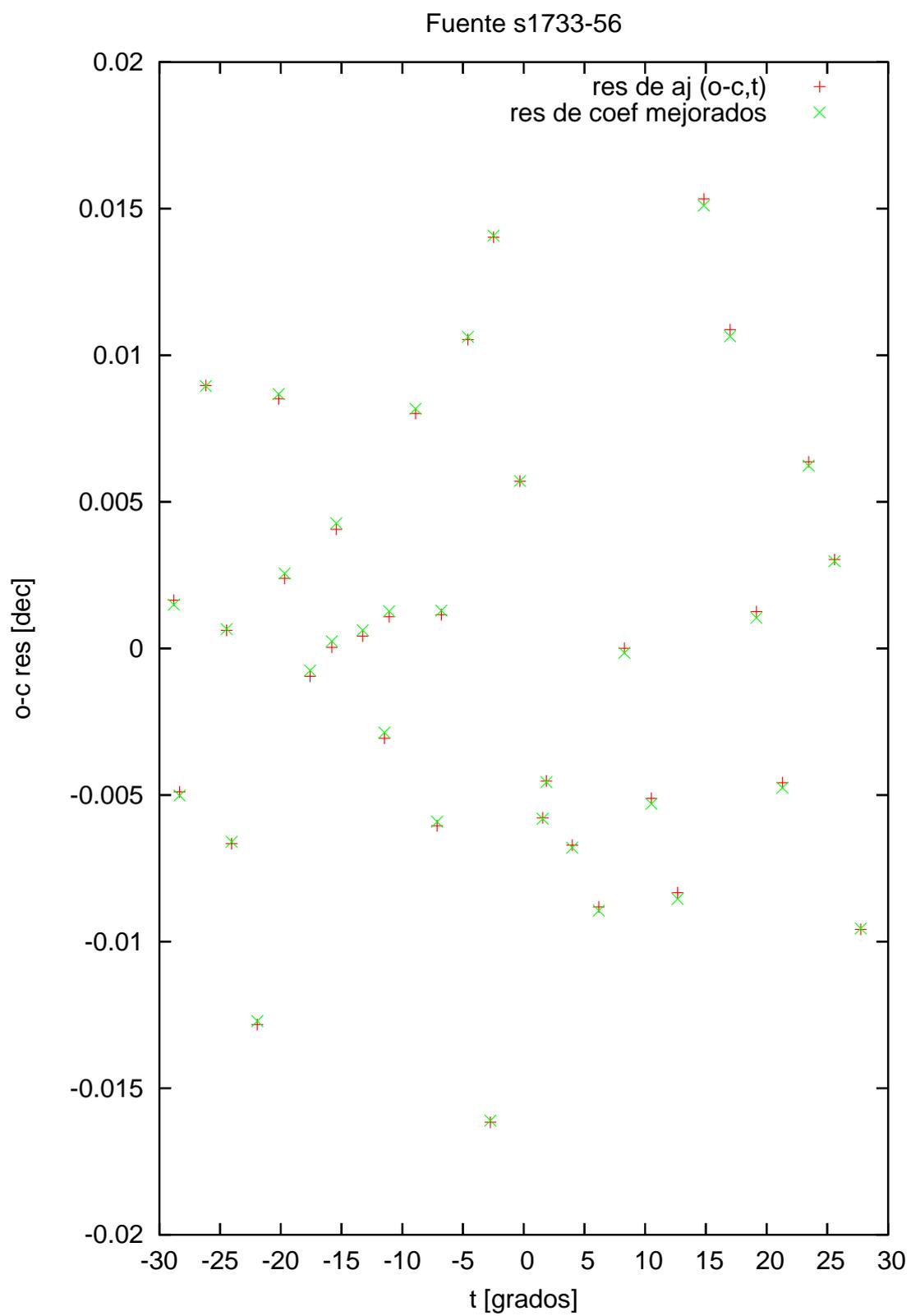


Figura 5.35

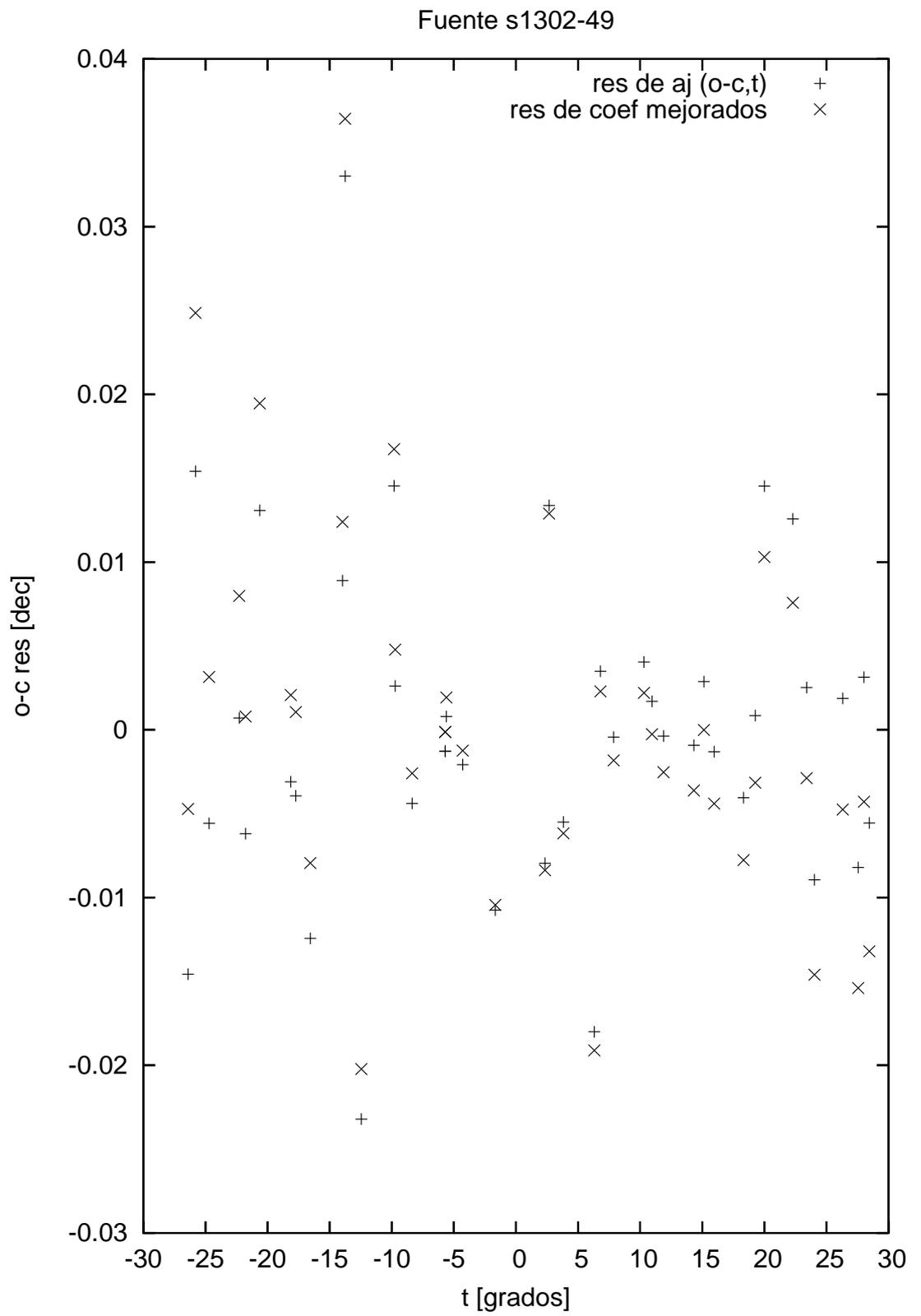


Figura 5.36

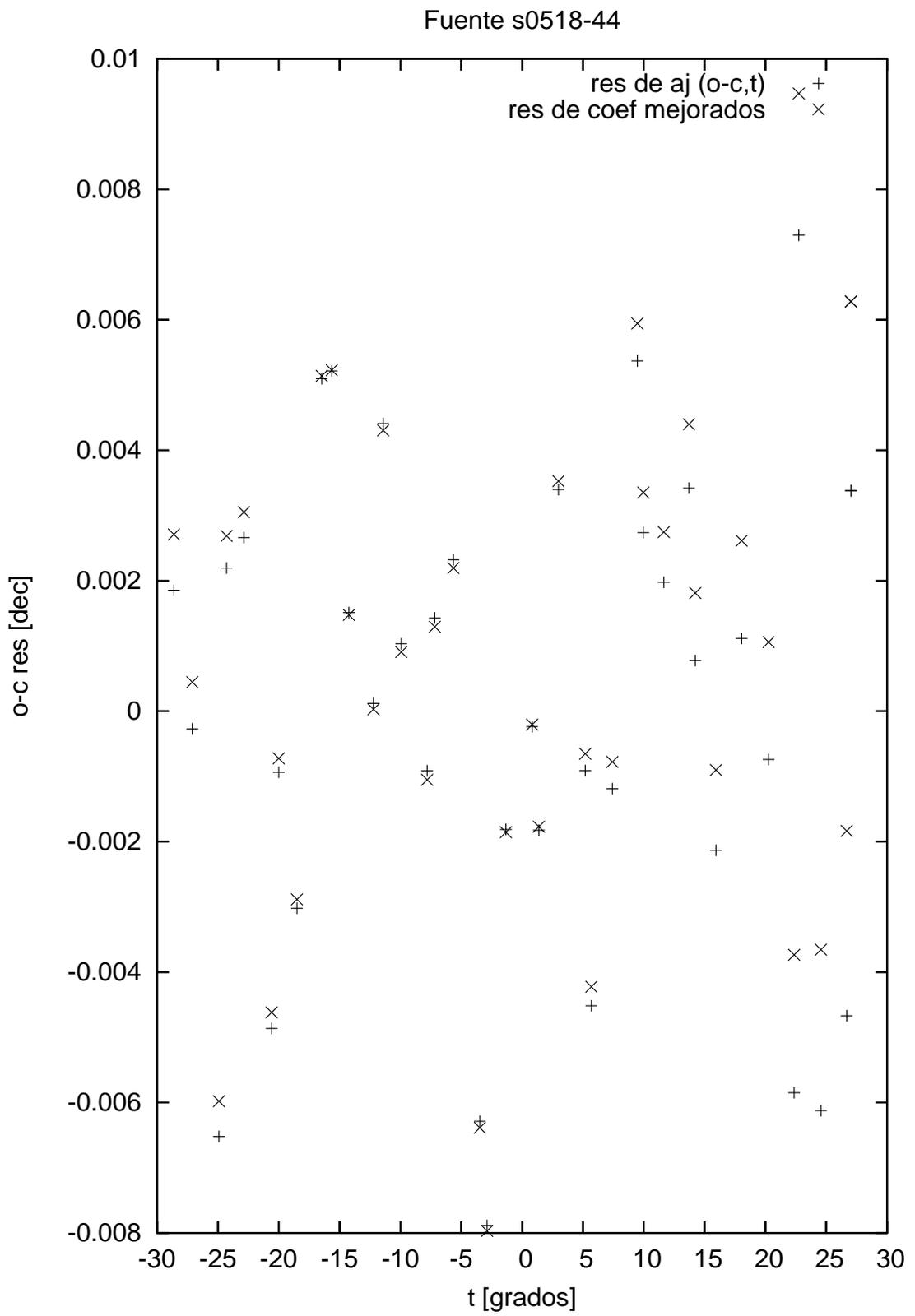


Figura 5.37

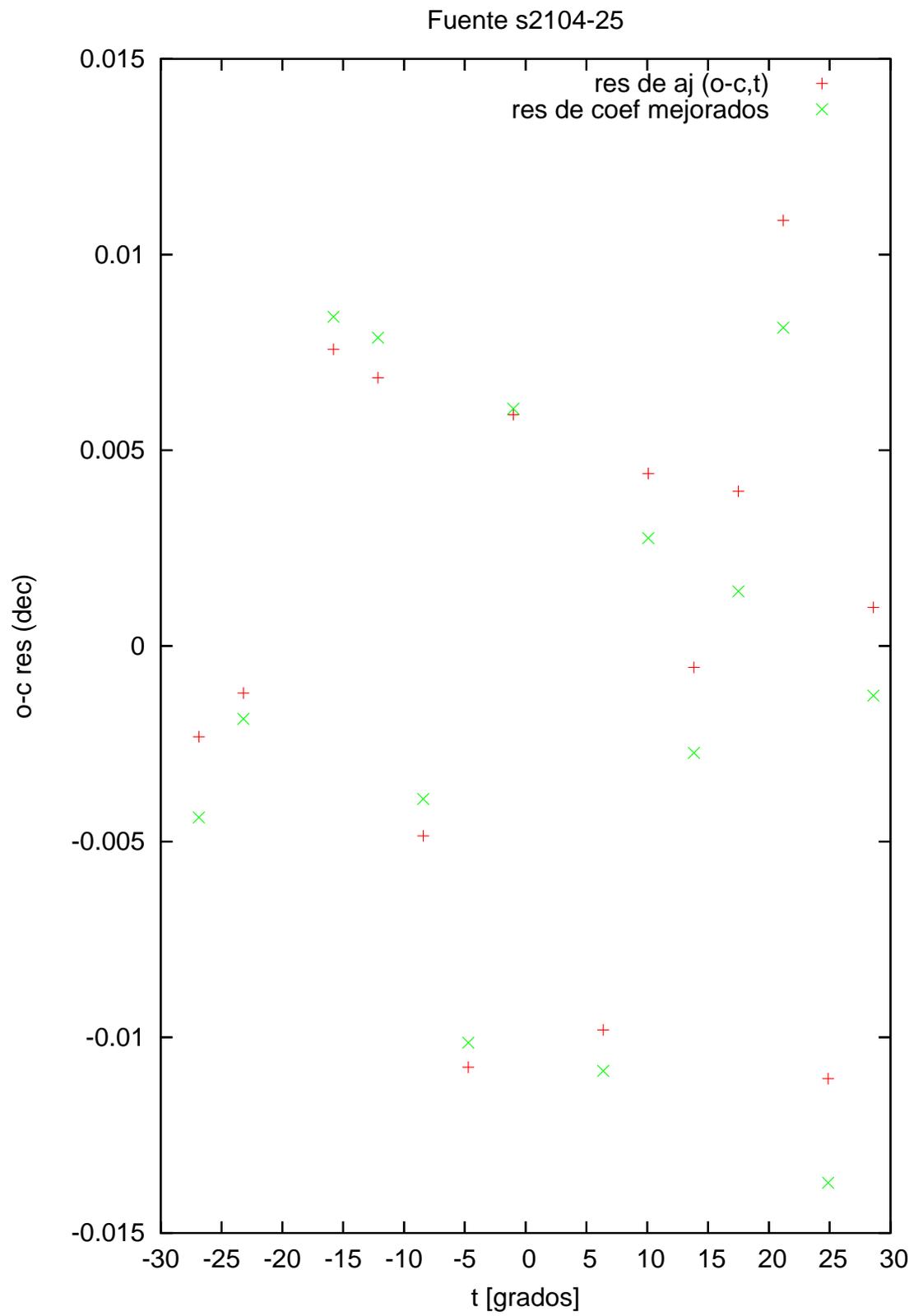


Figura 5.38

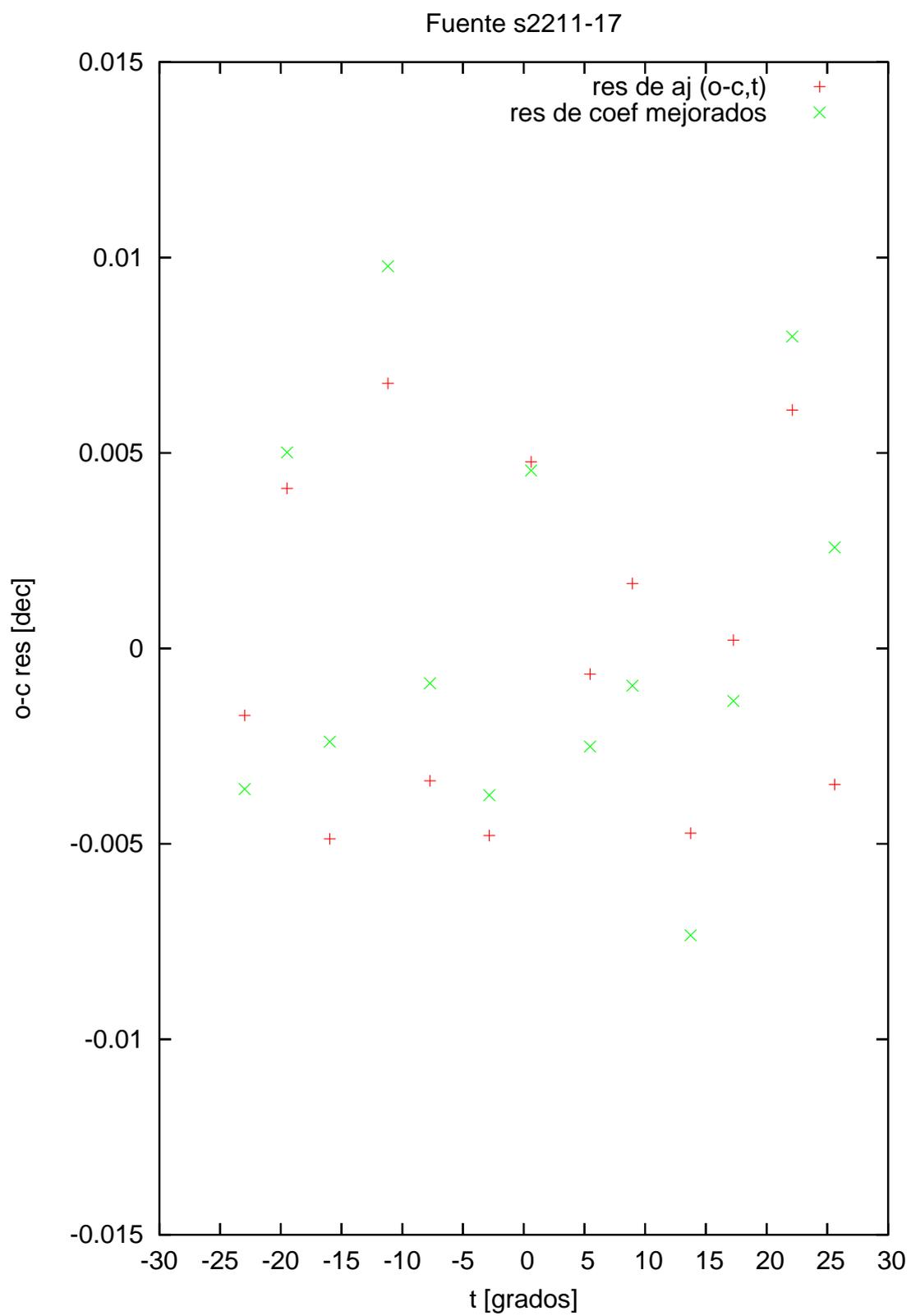


Figura 5.39

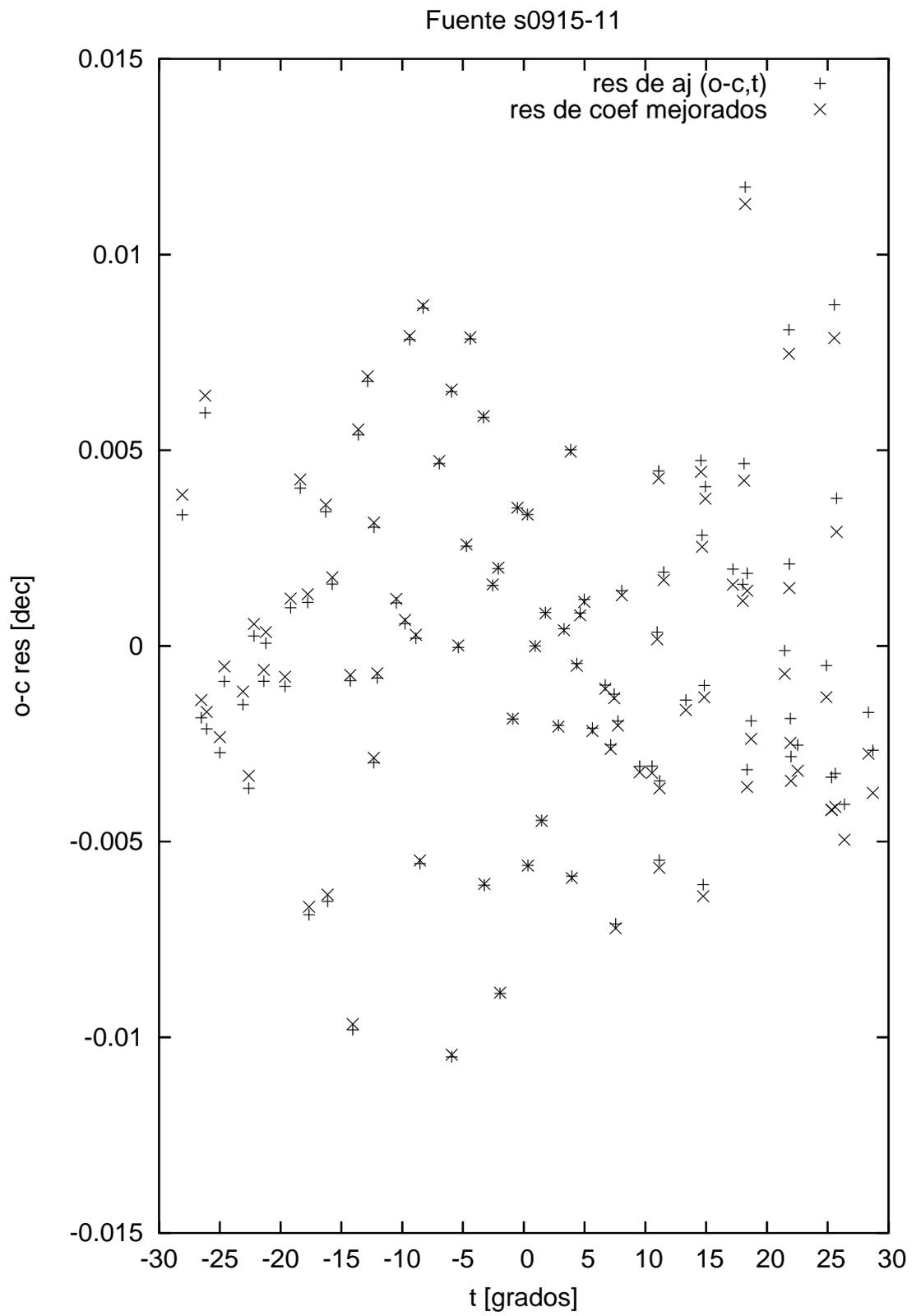


Figura 5.40

### 5.2.4. Resultados

A diferencia del barrido en ascención recta, en este caso no es necesario aplicar correcciones a los coeficientes ( $\delta$ ), por lo que nos quedamos con los coeficientes obtenidos en la sección 5.2.2. Es decir,

$$\begin{aligned}
 a(\delta) &= aa * \delta^2 + ab * \delta + ac \\
 b(\delta) &= ba * \delta + bb \\
 c(\delta) &= ca * \delta^3 + cb * \delta^2 + cc * \delta + cd \\
 d(\delta) &= da * \delta^2 + db * \delta + dc
 \end{aligned}
 \tag{5.4}$$

En la Tabla (5.2.4) se detallan los valores de  $a(\delta)$ ,  $b(\delta)$ ,  $c(\delta)$  y  $d(\delta)$  para cada fuente obtenida del conjunto de ecuaciones (8.2) en la columna 2 y en la columna 3 los de (o-c,t). En la Figura 4.30 se ven la diferencia de valores. El que menos separación presenta entre los dos métodos de cálculo es el coeficiente b.

#dec	a	b	c	d
-77.271	-8.2474e-07	1.13293e-05	0.00126	-0.0276024
-69.672	-6.88552e-07	1.09693e-05	0.000995255	-0.0238425
-65.737	-6.29431e-07	1.07829e-05	0.00090212	-0.0219768
-63.704	-6.01934e-07	1.06866e-05	0.000864421	-0.0210346
-56.567	-5.21845e-07	1.03485e-05	0.000781344	-0.017844
-49.489	-4.67692e-07	1.00132e-05	0.000761469	-0.0148599
-45.772	-4.49333e-07	9.83714e-06	0.000770143	-0.0133646
-42.106	-4.38025e-07	9.66348e-06	0.000788424	-0.0119383
-36.454	-4.33821e-07	9.39574e-06	0.000829981	-0.00983352
-25.435	-4.71771e-07	8.87376e-06	0.000927423	-0.00605889
-17.007	-5.41969e-07	8.47451e-06	0.000983334	-0.00346516
-12.581	-5.93125e-07	8.26485e-06	0.000995248	-0.00220488
-12.112	-5.99122e-07	8.24263e-06	0.000995558	-0.00207544

# Capítulo 6

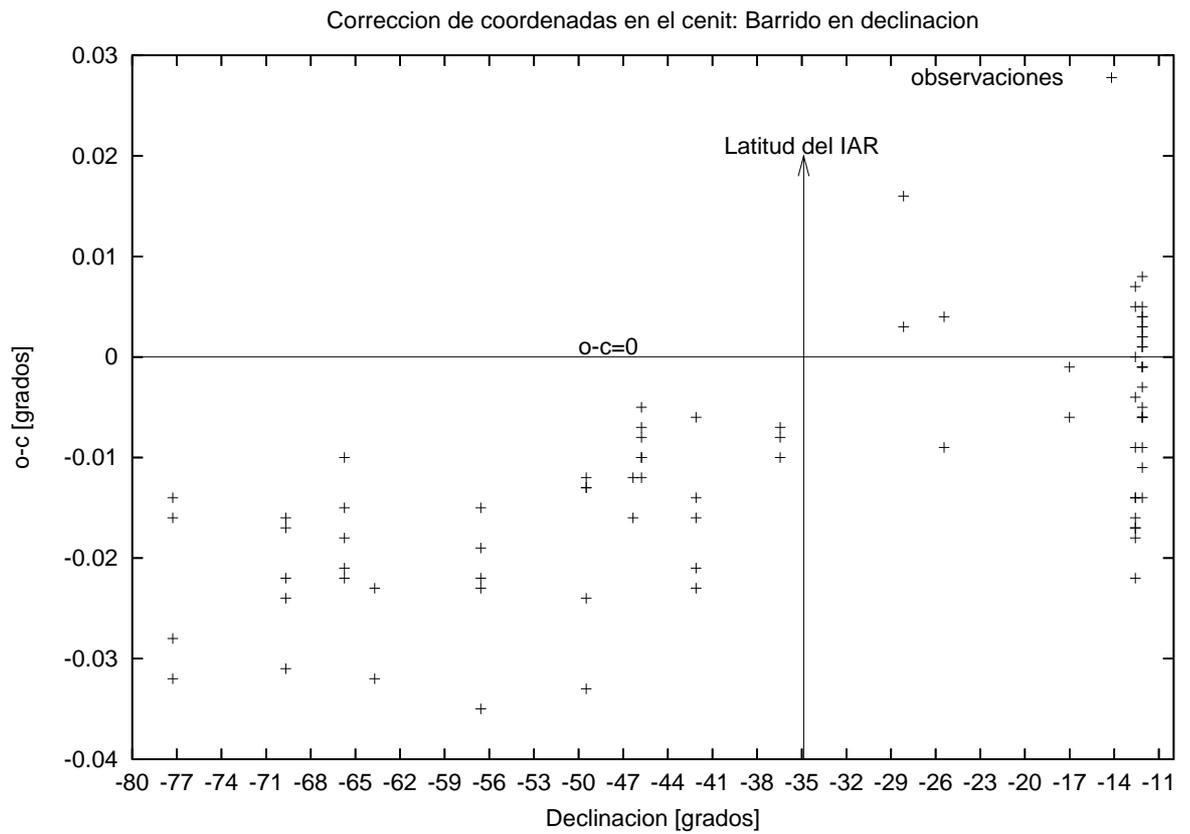
## Notas

### 6.1. Corrección de coordenadas en el cenit

En este Capítulo veremos otra forma de analizar el comportamiento de las diferencias entre las coordenadas de referencia y las observadas, es decir, el “o-c” observado. El mismo consiste en considerar sólo el efecto mecánico de la deflexión de la antena. En ese caso, cuando la radiofuente pasa por el meridiano del lugar, el signo de la cantidad “o-c” debería cambiar con la declinación. En otras palabras, supongamos que comenzamos a observar radiofuentes con diferentes declinación, recorriendo el meridiano del lugar. Si partimos de la máxima inclinación de la antena al sur, es decir, observando una radiofuente con declinación próxima a  $-90^\circ$ , las diferencias serían negativas hasta alcanzar la declinación correspondiente a la latitud del lugar, donde tomarían el valor medio cero ya que estamos apuntando al cenit, para luego pasar a ser positivas a medida que nos vamos acercamos al ecuador celeste.

Para verificar este comportamiento, graficamos los datos de las fuentes observadas “o-c” dentro del rango de ángulos horarios comprendidos entre  $-5^\circ$  y  $5^\circ$  para el barrido en declinación (Ver Figura 6.1). En este caso vemos que la curva representa lo esperado hasta declinación ( $\sim -16^\circ$ ), donde aparecen diferencias negativas.

De estas figuras se deduce que las diferencias entre la posición observada de la fuente y la teórica, no se deben exclusivamente a los efectos causados por las deformaciones mecánicas de la antena.



**Figura 6.1:** Comportamiento de la diferencia observada “o-c” con la declinación para el barrido en declinación. Para indicar la corrección nula se ha dibujado una recta que pasa por “o-c”=0, con una flecha se indica la declinación correspondiente a la latitud del lugar, donde se espera que cambie de signo si la diferencia “o-c” se debe a efectos mecánicos de la antena.

# Capítulo 7

## Error en el modelo de apuntamiento

### 7.1. Barrido en ascensión recta

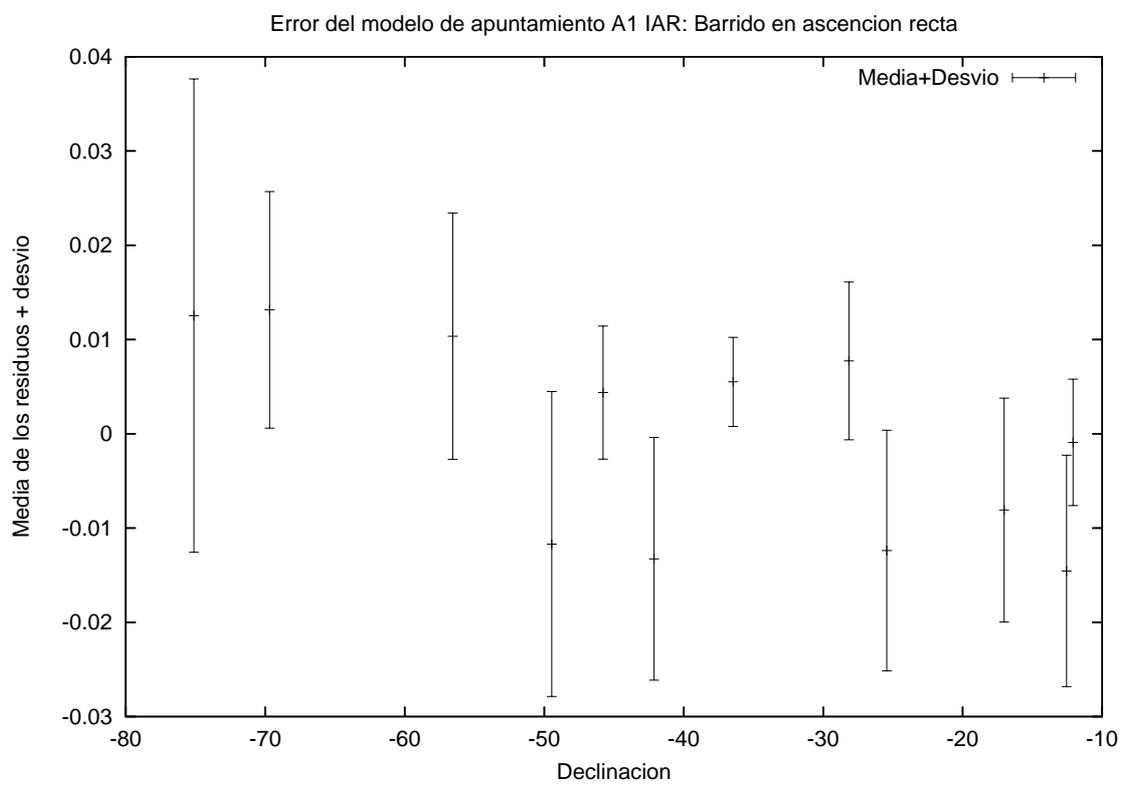
Calculados los residuos,  $res_f$ , para cada una de las fuentes, es decir:

$$res_f = (a_f(\delta) * t^2 + b_f(\delta) * t + c_f(\delta)) - (o - c, t) \quad (7.1)$$

estamos en condiciones de estudiar el comportamiento del valor medio y de la dispersión de los residuos del modelo de apuntamiento para cada una de las fuentes utilizadas. En las siguientes figuras se grafican estas cantidades en función de la declinación de las fuentes. En las Figuras 7.1, 7.2 y 7.3 aparecen la media con su error, la media y el desvío, respectivamente. En la Figura 7.1 puede apreciarse que teniendo en cuenta la magnitud de la dispersión, los valores son inferiores al valor aceptable como error, es decir, inferiores a 0.004. Sin embargo, cabe destacar, que las dispersiones son apreciables. Por otro lado, las fuentes con mayor dispersión son: s0410-75 y s1302-49.

En la Figura 7.2, donde se ve el comportamiento del valor medio, se encuentra que tiene valores cercanos a cero. Es notable que hacia declinaciones más cercanas al ecuador celeste, se observan valores tanto positivos como negativos para el mismo rango de declinaciones.

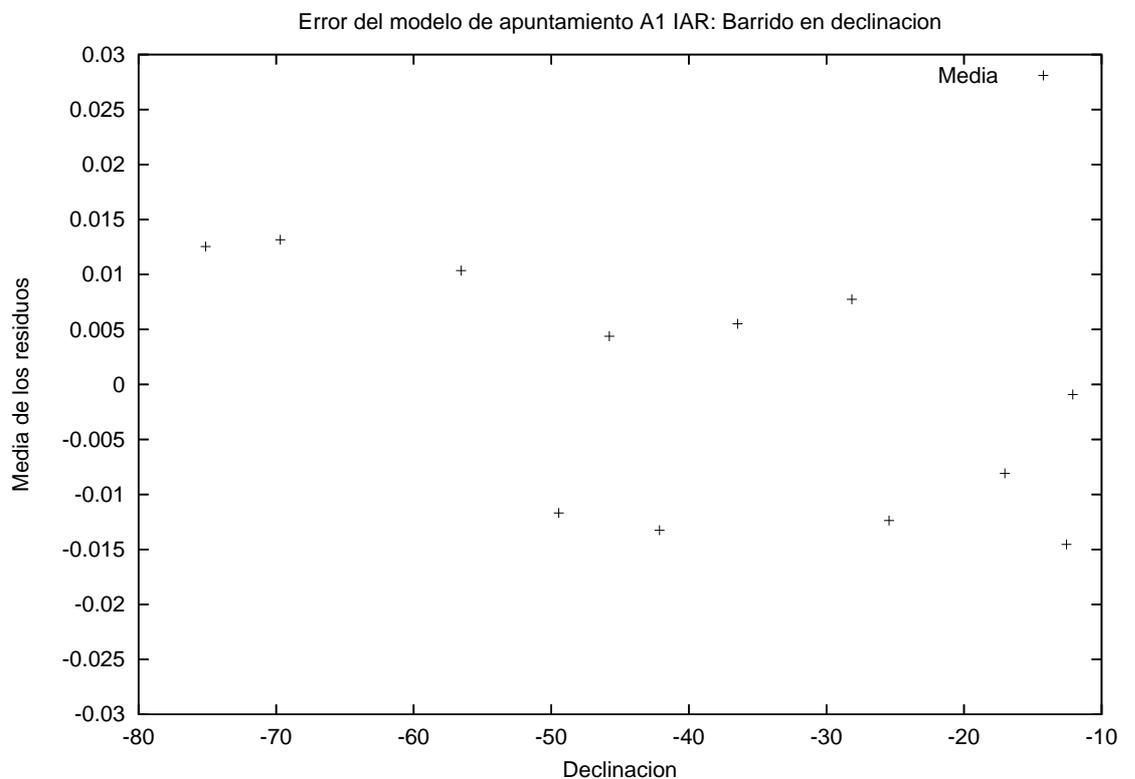
En la Tabla 7.1 aparecen detallados los valores de la media y de la dispersión de los residuos para cada una de las fuentes (columnas 2 y 3), en la columna 1 el nombre de las fuentes y en la cuarta el valor de la declinación para J2000.



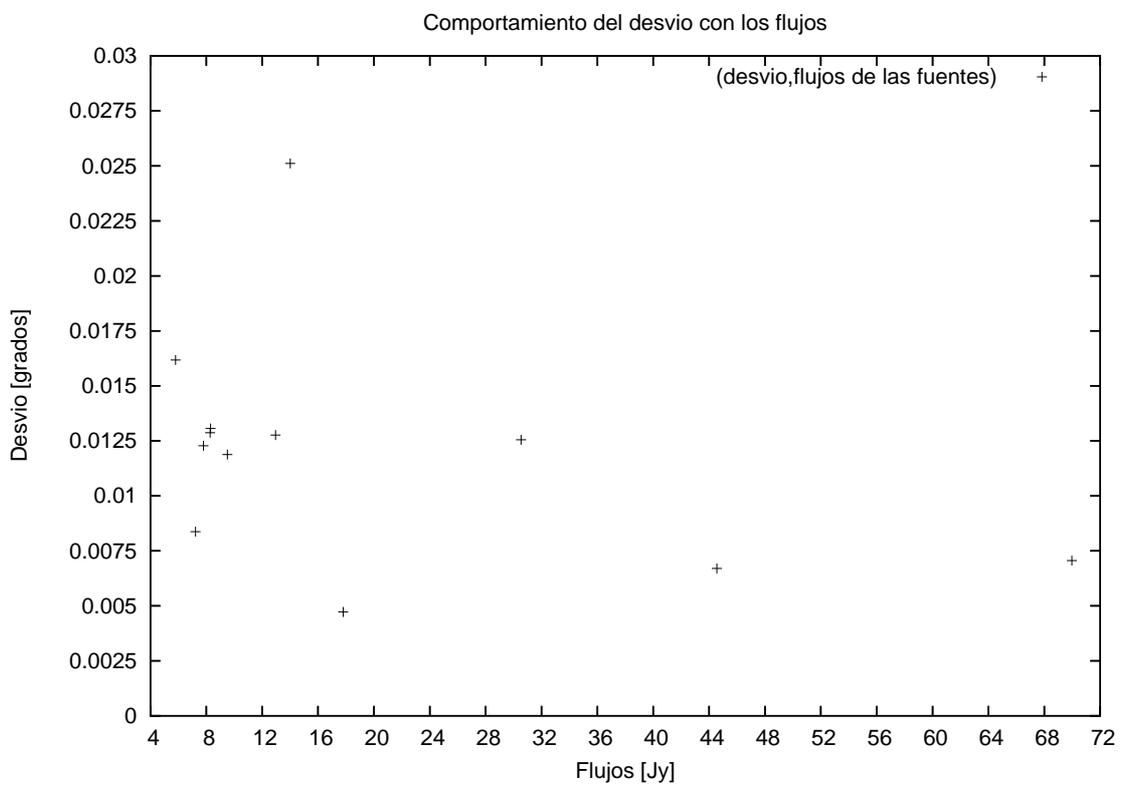
**Figura 7.1:** Comportamiento de la media con su dispersión de los residuos del modelo de apuntamiento,  $res_f$ , en función de la declinación de las fuentes. Las unidades de los ejes son grados.

Fuente	Media	Dispersion	Dec
s0043-42	-0.01326423	0.012873131	-42.13
s0410-75	0.012538305	0.025112806	-75.12
s0442-28	0.007737571	0.008368567	-28.16
s0518-45	0.00437989	0.007055748	-45.78
s0521-36	0.005511922	0.004722668	-36.46
s0915-11	-0.000910341	0.006703462	-12.09
s1251-12	-0.014547641	0.012275436	-12.56
s1302-49	-0.01169222	0.016176249	-49.46
s1733-56	0.010350103	0.013066953	-56.56
s2104-25	-0.012377906	0.012767209	-25.45
s2153-69	0.013155691	0.012551126	-69.69
s2211-17	-0.008091512	0.011879875	-17.03

**Cuadro 7.1:** En la tabla se detallan los valores de la media y la dispersión de los residuos para cada una de las fuentes (columnas 2 y 3). Los valores de la media, de su dispersión y de la declinación están en fracción de grados.



**Figura 7.2:** Comportamiento de la dispersión de los residuos del modelo de apuntamiento con la declinación. Las unidades de los ejes son grados.



**Figura 7.3:** En el gráfico aparecen la media y el desvío para las fuentes con las que se obtuvo el modelo de apuntamiento.

### 7.1.1. Comportamiento de las fuentes con el flujo

En la sección anterior vimos que los errores del modelo de apuntamiento presentan cierta correlación con la intensidad de las fuentes. Con el fin de estudiar este comportamiento mostraremos, en esta sección, una serie de gráficos en función el flujo de las fuentes. En la Figuras ??, ?? y ?? aparecen la media con el desvío, la media y el desvío, respectivamente.

En la Figura ?? existe cierta tendencia a tener menor dispersión en los residuos con el aumento de intensidad de la fuente.

En el caso del análisis del valor medio se ve que las fuentes más intensas, tienen valores más próximos al cero que al resto. La fuentes0521-36 es la tercera con valor medio más pequeño. En el caso de fuentes débiles, es claro que hay un conjunto de fuentes con media positivas y otras con valores negativos. Es notable estas fuentes débiles se encuentran en el rango de declinaciones entre  $-50^\circ$  a  $-10^\circ$  (Ver Figura 7.2). Por lo que la existencias de estos dos grupos observados en la Figura ??, no responde a una diferencia en los flujos. Estas discrepancias pueden deberse a una variación en la calidad de los datos entre las fuentes, por alguna modificación en las condiciones de observación.

En cuanto a las dispersiones, (Ver Figura ??), se ve una disminución del desvío con el aumento del valor de flujo. Cabe destacar, los casos de las fuentes s0410-75 y de s0521-36 que se apartan del resto en dos extremos opuestos. La primera presentando los valores superiores en la media y en la dispersión y la segunda, la menor en dispersión. Si consideramos que el telescopio sufre mayores deformaciones mecánicas por efectos gravitatorios a medida que se aleje del cenit, es lógico el caso de s0410-75. En el caso de s0521-36, es la fuente más próxima al cenit, donde los errores por ese tipo de deformaciones se esperan sean mínimas y, en consecuencia, la mejora de la calidad de los datos respecto al resto de las fuentes.

Fuentes	Dec	Flujo
s0410-75	-75.12	14.01
s2153-69	-69.69	30.54
s1733-56	-56.56	8.31
s1302-49	-49.46	5.8
s0518-45	-45.78	69.97
s0043-42	-42.13	8.28
s0521-36	-36.46	17.8
s0442-28	-28.16	7.23
s2104-25	-25.45	12.96
s2211-17	-17.03	9.51
s1251-12	-12.56	7.8
s0915-11	-12.09	44.55

**Cuadro 7.2:** En la tabla se detallan los valores del flujo de las fuentes en unidades de Jy.(columna 3)

## 7.2. Barrido en declinación

Calculados los residuos para cada una de las fuentes, es decir:

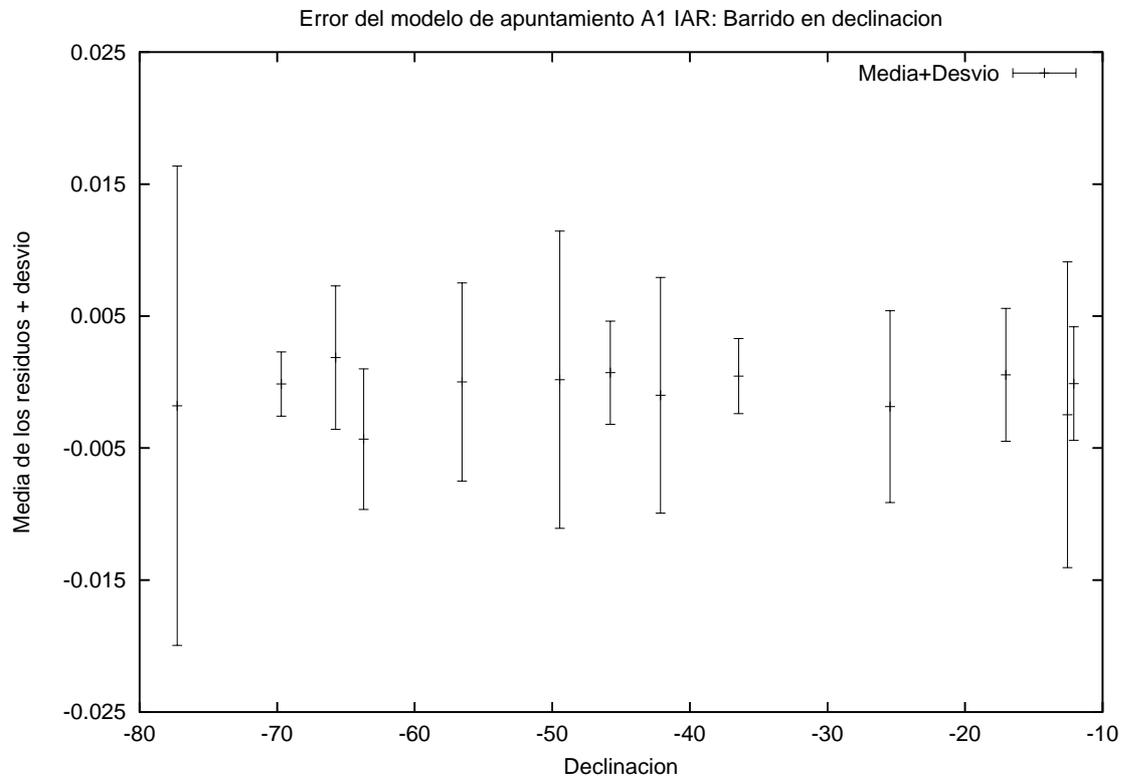
$$res_f = (a_f(\delta) * t^3 + b_f(\delta) * t^2 + c_f(\delta) * t + b_f(\delta)) - (o - c, t) \quad (7.2)$$

estamos en condiciones de obtener el valor medio y la dispersión de los residuos del modelo de apuntamiento para cada una de las fuentes. En las siguientes figuras aparecen graficadas estas cantidades en función de la declinación de las fuentes utilizadas. En las Figuras 7.4, 7.5 y 7.5 aparecen la media con el desvío, la media y el desvío, respectivamente. En la Figura 7.4 puede apreciarse que incluyendo la dispersión, los valores son inferiores al valor aceptable como error de juego libre, es decir, inferiores a 0.004. Las fuentes con mayor dispersión en los datos son: s1637-77, s1302-49 y s1251-12. Cabe destacar, que son las más débiles en cuanto a su flujo. En la Figura 7.5 es claramente visible que el valor de los residuos es cercano a cero y un orden de magnitud por debajo del valor de error para el juego libre del telescopio. En la Figura 7.5 se aprecia que las fuentes tienen una dispersión muy pequeña, del mismo orden de magnitud que la media, a excepción de las fuentes anteriormente mencionadas y de la fuente s0043-42 que tienen un desvío de un orden de magnitud superior del resto de las fuentes. Las mismas tienen flujos inferiores a 9 Jy.

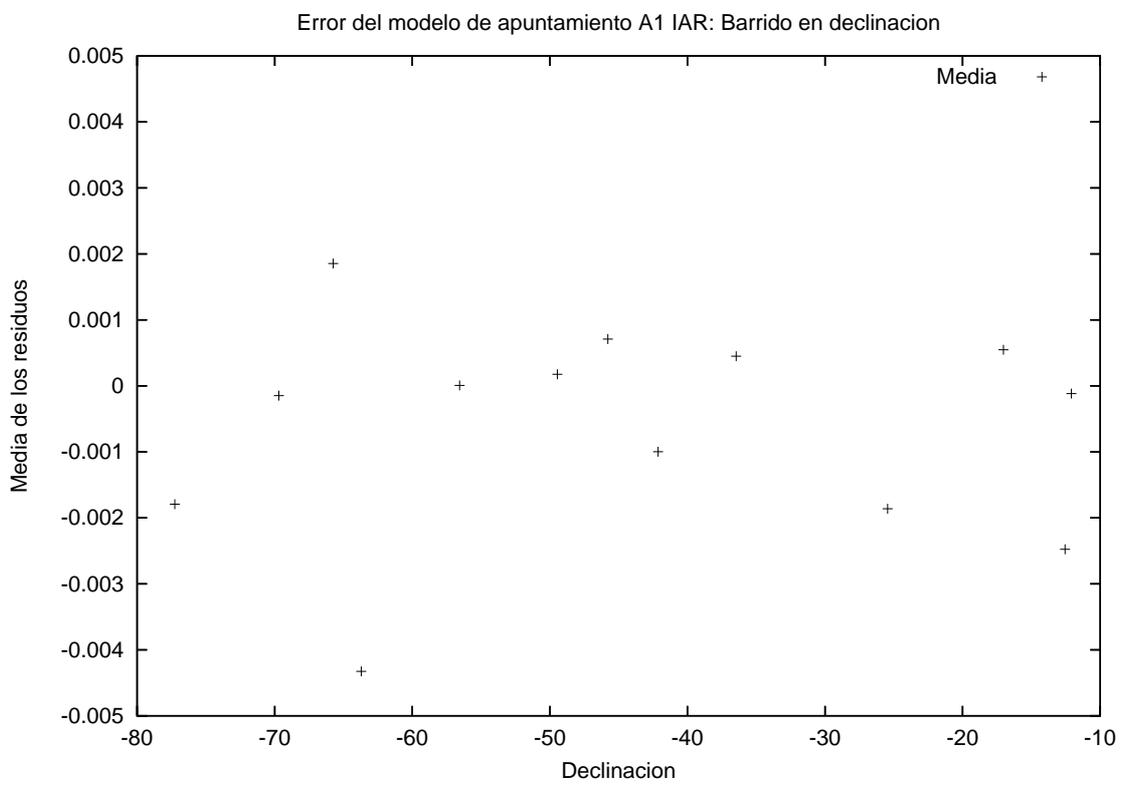
En la Tabla 7.3 aparecen detallados los valores de la media y de la dispersión de los residuos para cada una de las fuentes (columnas 2 y 3), en la columna 1 el nombre de las fuentes y en la cuarta el valor de la declinación para J2000.

Fuente	Media	Dispersion	Dec
s0043-42	-0.000998748	0.008924018	-42.13
s0407-65	0.001854034	0.005436977	-65.75
s0518-45	0.000710143	0.0039075	-45.78
s0521-36	0.000448946	0.002847055	-36.46
s0915-11	-0.000116452	0.004305914	-12.09
s1251-12	-0.002476413	0.01157869	-12.56
s1302-49	0.000175536	0.011262538	-49.46
s1637-77	-0.001791983	0.018157227	-77.26
s1733-56	7.24977E-06	0.007508534	-56.56
s1934-63	-0.004325714	0.005323679	-63.71
s2104-25	-0.00186277	0.007267422	-25.45
s2153-69	-0.000147859	0.002430647	-69.69
s2211-17	0.000548779	0.005035493	-17.03

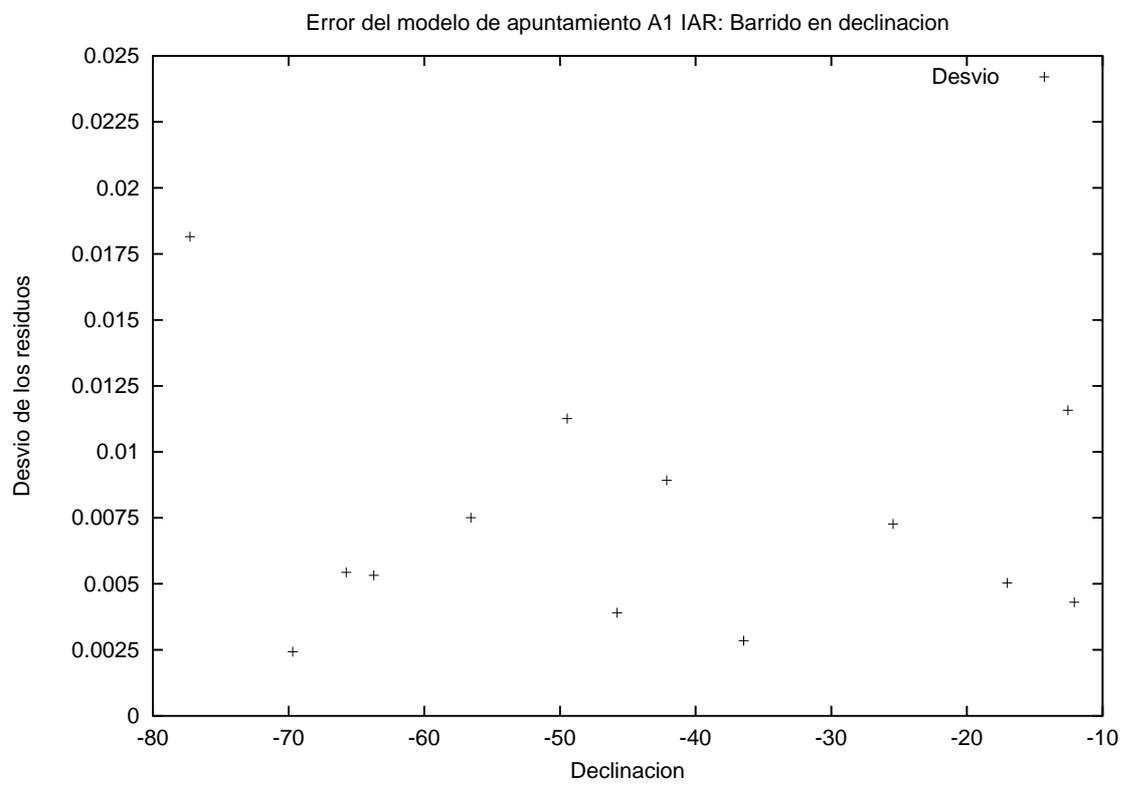
**Cuadro 7.3:** En la tabla se detallan los valores de la media y la dispersión de los residuos para cada una de las fuentes (columnas 2 y 3). Los valores de la media, de su dispersión y de la declinación están en fracción de grados.



**Figura 7.4:** Comportamiento de la media con su dispersión de los residuos del modelo de apuntamiento,  $res_f$ , en función de la declinación de las fuentes. Las unidades de los ejes son grados.



**Figura 7.5:** Comportamiento de la media de los residuos del modelo de apuntamiento con la declinación. Las unidades de los ejes son grados.



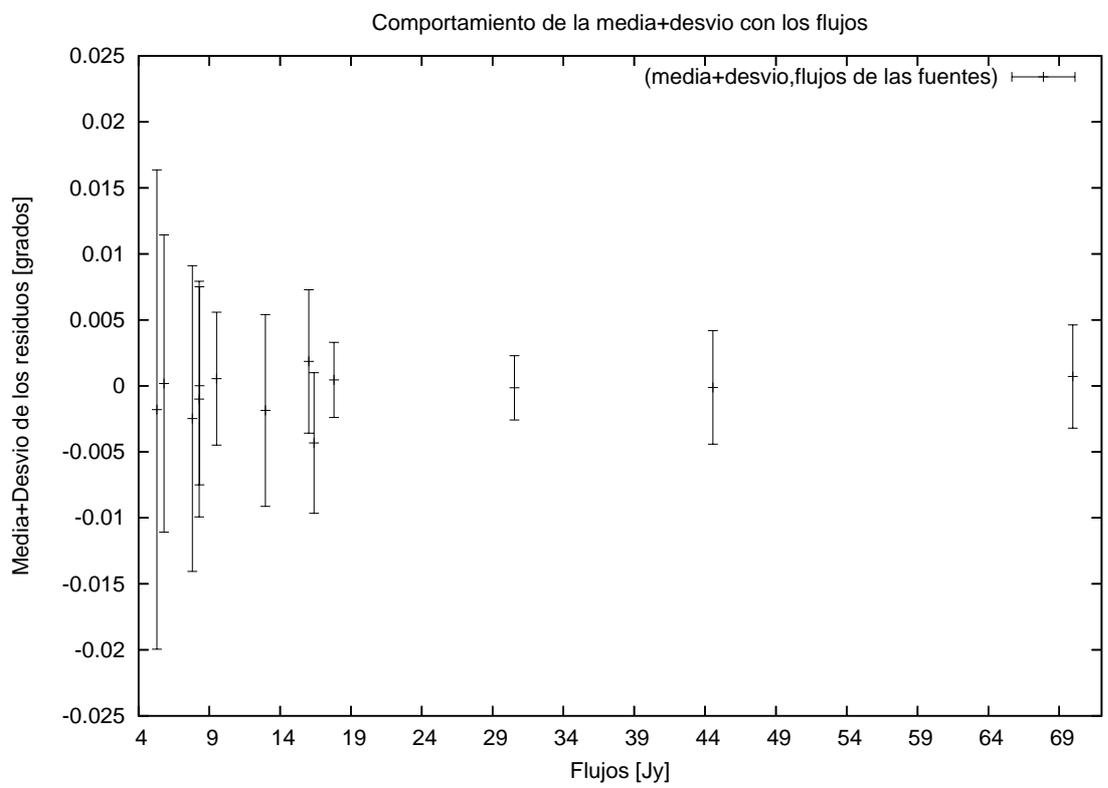
**Figura 7.6:** Comportamiento de la dispersión de los residuos del modelo de apuntamiento con la declinación. Las unidades de los ejes son grados.

Fuentes	Dec	Flujo
s1637-77	-77.26	5.3
s2153-69	-69.69	30.54
s0407-65	-65.75	16.02
s1934-63	-63.71	16.39
s1733-56	-56.56	8.31
s1302-49	-49.46	5.8
s0518-45	-45.78	69.97
s0043-42	-42.13	8.28
s0521-36	-36.46	17.8
s2104-25	-25.45	12.96
s2211-17	-17.03	9.51
s1251-12	-12.56	7.8
s0915-11	-12.09	44.55

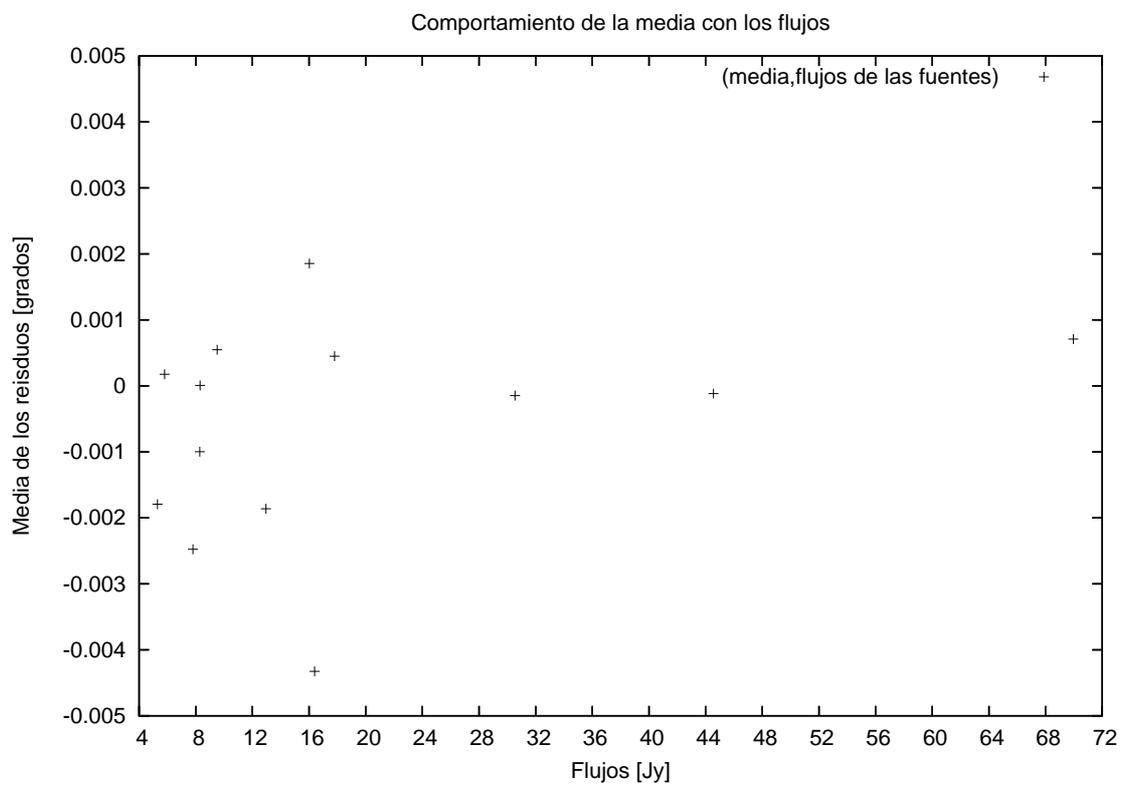
**Cuadro 7.4:** En la tabla se detallan los valores del flujo de las fuentes en unidades de Jy.(columna 3)

### 7.2.1. Comportamiento de las fuentes con el flujo

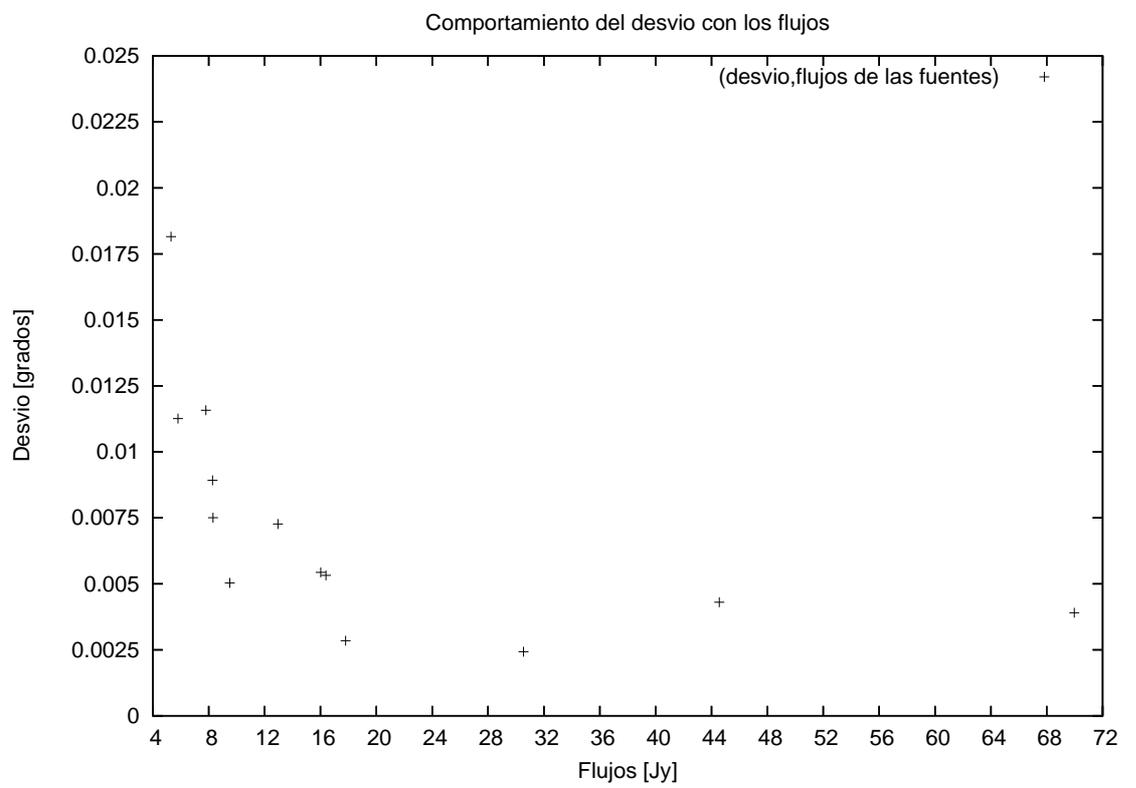
En la sección anterior vimos que los errores del modelo de apuntamiento presentan cierta correlación con la intensidad de las fuentes. Con el fin de estudiar este comportamiento mostraremos, en esta sección, una serie de gráficos en función el flujo de las fuentes. En la Figuras 7.7, 7.8 y 7.9 aparecen la media con el desvío, la media y el desvío, respectivamente. En la Figura 7.7 es claramente notable que las fuentes con mayor dispersión son las más débiles. Las fuentes s2153-69 ( $69.97 \pm 2.03$  [Jy]), s0518-45 ( $30.54 \pm 0.31$  [Jy]) y s0915-11 ( $44.55 \pm 0.33$  [Jy]) son las más intensas y las que menor dispersión presentan. Si analizamos, el valor de la media exclusivamente (Ver Figura 7.8) notamos que las que presentan el menor valor son s2153-69 y s0915-11 y s2211-17 ( $9.51 \pm 0.1$  [Jy]). Sin embargo, no se evidencia una correlación clara entre este valor con la intensidad de la fuente. La situación opuesta se presenta en la dispersión. En la Figura 7.9 se observa claramente la disminución del valor del desvío con el aumento del flujo emitido por la fuente. Cabe aclarar que se ve esta tendencia aunque suceden algunas peculiaridades como que en el caso de las fuente más intensas, se observa que el valor mínimo del desvío, lo tiene la fuentes2153-69 que es la de menor intensidad de las tres. Por otro lado, la fuente s1637-77 ( $5.3 \pm 0.92$ ) se aparta demasiado del resto, siendo que tiene un valor algo inferior a s1302-49 ( $5.8 \pm 2.03$ ). Estas discrepancias pueden deberse a una variación en la calidad de los datos entre las fuentes, por alguna modificación en las condiciones de observación.



**Figura 7.7:** En este gráfico se representa el comportamiento de la media y su dispersión en función del flujo de las fuentes.



**Figura 7.8:** En este gráfico se representa el comportamiento de la media de los residuos en función del flujo de las fuentes.



**Figura 7.9:** En este gráfico se representa el comportamiento del desvío de los residuos en función del flujo de las fuentes.

# Capítulo 8

## Conclusiones

El modelo de apuntamiento para la ascensión recta puede describirse con los siguientes polinomios:

Los coeficientes  $a$  y  $b$  polinomio de grado 4 y el  $c$ , un polinomio de grado 2. Es decir,

$$\begin{aligned}a(\delta) &= aa * \delta^4 + ba * \delta^3 + ca * \delta^2 + da * \delta + ea \\b(\delta) &= ab * \delta^4 + bb * \delta^3 + cb * \delta^2 + db * \delta + eb \\c(\delta) &= ac * \delta^2 + bc * \delta + cc\end{aligned}\tag{8.1}$$

donde,

```
aa=-3.96363e-10
ba= -4.65318e-08
ca=-1.62217e-06
da=-1.26692e-05
ab=-2.51791e-09
bb= -3.8656e-07
cb=-0.000422119
cb= -0.00375845
eb=-2.13003e-05
ac= -1.84036e-05
bc=0.000268232
cc=0.0478525
```

El modelo de apuntamiento para la declinación puede describirse con los siguientes polinomios:

$$\begin{aligned}a(\delta) &= aa * \delta^2 + ab * \delta + ac \\b(\delta) &= ba * \delta + bb \\c(\delta) &= ca * \delta^3 + cb * \delta^2 + cc * \delta + cd \\d(\delta) &= da * \delta^2 + db * \delta + dc\end{aligned}\tag{8.2}$$

donde,

$$\begin{aligned}aa &= -2.51203e-10 \\ab &= -1.89907e-08 \\ac &= -7.92286e-07 \\ba &= (-4.73712e-08 \\bb &= 7.66887e-06 \\ca &= -8.08837e-09 \\cb &= -7.51739e-07 \\cc &= -1.42004e-05 \\cd &= +0.000919472 \\da &= -1.78976e-06 \\db &= 0.00023179 \\dc &= 0.000994556\end{aligned}$$