

CENTRO ASTRONÓMICO DE YEBES
Informe Técnico 1991.7

**Medidas del comportamiento del servocontrol
del radiotelescopio de 14 m del CAY ***

Pere Planesas

* El presente trabajo ha sido financiado parcialmente mediante el Proyecto PB 90-408 de la CICYT

En este trabajo se describen nuevas medidas del comportamiento dinámico del sistema de servocontrol del radiotelescopio de 14m del Centro Astronómico de Yebes. Tales medidas se han llevado a cabo en diciembre de 1991 con el propósito de comprobar su estabilidad y/o medir las variaciones que pudiera haber habido desde la última ocasión en que tales medidas fueron realizadas.

1. Introducción

Trabajos previos a éste, a los que se hará referencia, son:

- Memoria del proyecto de fin de carrera de ingeniería presentada a la Universidad Politécnica de Barcelona en 1981 por Luis M. Calbet Rebollo. En este trabajo realizado en 1979/80 se hizo un estudio preliminar de caracterización de los servomecanismos de control del radiotelescopio de 14m del CAY. Se encontró una dependencia lineal entre la velocidad en que se mueve la antena y la corrección que se debe introducir al seguimiento en una y otra coordenadas (acimut y elevación) a fin de compensar el error de puntería que se tiene debido a la longitud finita de los intervalos entre comandos. Los valores obtenidos para intervalos entre comandos de 100 milisegundos fueron usados en las diversas versiones del programa de control durante varios años.
- Memoria de la tesina de licenciatura presentada a la Universidad Complutense de Madrid por Marisa Martínez Arizala. Este trabajo, realizado durante 1984/5, constituye el primer estudio detallado del comportamiento dinámico de los servos de control del radiotelescopio de 14m, y a él nos referiremos en diversas ocasiones. Se encontró un comportamiento peculiar en la dispersión de las medidas que analizaremos ahora en más detalle. Los programas de control MIREN y SERVO realizados en tal ocasión han servido de base para todos los estudios posteriores. Los valores obtenidos para intervalos entre comandos de 0.01 segundos eran similares a los que se venían usando en el programa de seguimiento, por lo que no fueron cambiados.
- Informe Técnico del CAY 1986-3, por J. Alcolea y A. Fuente. En él se detallan las medidas del comportamiento de los servos realizadas en julio de 1986, con ocasión de la sustitución del tacómetro del motor número 2 de elevación, y también para comprobar la estabilidad a largo plazo de los parámetros anteriormente determinados. Los nuevos valores determinados fueron introducidos al programa TRACK en abril de 1987. El intervalo medio entre comandos en el programa de control (TRACK) usado desde 1984 es de unos 70 milisegundos.
- Informe Técnico del CAY 1987-1, por J. Alcolea y A. Barcia. En él se detallan medidas del servo de acimut, realizadas en abril de 1987 con ocasión del reajuste de los offsets de la cadena amplificadora de los servos.

Los resultados numéricos obtenidos en los trabajos anteriores se detallan a continuación, descritos en la nomenclatura habitual:

parám.	1981	1985	1986	1987	unidades
X8AA	0.07	0.044	0.045	0.042	mg/(mg/s)
X8AB	-1	-1.0	-1.4	-1.2	mg
X8EA	0.07	0.040	0.037		mg/(mg/s)
X8EB	-1	-1.6	-2.0		mg
intervalo	10	7	7	7	0.01 seg

donde los errores en la posición de la antena (entendidos como posición comandada menos posición leída) vienen expresados por

$$\begin{aligned} \text{error en acimut} &= X8AA * V + X8AB \\ \text{error en elevación} &= X8EA * V + X8EB \end{aligned}$$

siendo V la velocidad a la que se mueve la antena, expresada en miligrados por segundo (mg/s).

2. Uso del programa MIREN

Se describe a continuación de una manera somera el uso del programa MIREN utilizado para la toma de datos. Se carga a partir de cinta de papel y su ejecución se controla a partir del teclado del terminal y de los pulsadores del Switch Register (S) del ordenador de control HP-2100. Los parámetros a introducir son:

			ejemplo
AP	acimut de partida	en grados	AP=0
EP	elevación de partida	en grados	EP=45
VA	velocidad en acimut	en gr/seg	VA=0.020
VE	velocidad en elevación	en gr/seg	VE=0
IN	intervalo entre comandos	en 0.01 seg	IN=6

donde: (1) la posición de partida (AP,EP) se actualiza automáticamente a la posición final de las medidas precedentes, (2) una de las dos velocidades debe ser distinta de cero, y (3) el intervalo entre comandos debe ser un número par (típicamente se hacen dos tandas de medidas con intervalos de 6 y 8 centésimas de segundo).

Al poner en marcha el programa, éste solicita valores para los parámetros X8AB y X8EB. Conviene introducir los que se estén usando en el programa de control TRACK, a fin de evitar en lo máximo el que suenen las alarmas acústicas correspondientes. Tales valores no tienen ningún otro efecto en la toma de datos.

Los comandos disponibles en MIREN desde teclado son:

- PA** para parar el ordenador momentáneamente, y se vuelve a poner en marcha pulsando la tecla RUN,
- GO** para comprobar la consistencia de los parámetros introducidos y preparar la antena para la toma de medidas, y

EX para terminar el programa.

Cualquier otro comando (ejemplo SH) permite ver el valor actual de los parámetros que definen las medidas que se van a tomar (AP,...,IN). Entre ellos aparece el valor AINC, que corresponde al intervalo en grados entre muestras ($AINC=VA*0.02$).

Los comandos disponibles en MIREN desde el Switch Register del HP-2100 sólo tienen efecto tras comandar GO desde el teclado. Estos comandos son tres y son compatibles con los del programa de control TRACK al que los astrónomos están habituados:

- Pulsar el bit 12 para mover la antena a la posición de partida (AP,EP); si la posición actual difiere de la de partida en más de 0.01 grados, se encenderá el bit 11 y/o el bit 14 del switch register.
- Pulsar el bit 0 para iniciar la toma de datos, una vez alcanzada la posición de partida y una vez estabilizada la velocidad, lo cual puede requerir varios segundos especialmente si es elevada.
- Pulsar el bit 15 para finalizar la toma de datos.

Al finalizar la toma de datos, en pantalla aparecen el número de muestras tomado (una cada 0.02 segundos), el error medio y la dispersión de tales errores. En un minuto se toman unas 3000 muestras, lo que la experiencia demuestra que es más que suficiente para que las medidas sean significativas.

Ejemplo: determinaciones del error y su dispersión en medidas tomadas en intervalos de tiempo muy distintos. Se partió de los parámetros AP=20, EP=40, VA=0, VE=0.010, IN=6.

número de muestras	error medio	sigma	tiempo total
244	-0.00184	0.00010	5 seg
746	-0.00190	0.00010	15 seg
2250	-0.00177	0.00013	45 seg
6774	-0.00180	0.00011	2m 15s
20258	-0.00178	0.00011	6m 45s

Asimismo se tomaron medidas a distintas velocidades y con direcciones distintas para comprobar la no existencia de histéresis. Los resultados de tales medidas figuran en la tabla siguiente:

AP=20,EP=45,IN=6		
VA	<error> *10 ⁵	sigma *10 ⁵
0.001	-135	22
-0.001	-165	26
-0.001	-157	25
0.001	-141	24
0.001	-134	24

0.010	-112	15
-0.010	-189	14
-0.010	-182	12
0.010	-119	13
0.010	-102	14
0.100	+221	51
-0.100	-538	53
-0.100	-512	40
0.100	+176	56
0.100	+185	30

3. Medidas realizadas en diciembre de 1991

Las medidas se realizaron el día 2 de diciembre. Debido a que la consola de la antena había estado apagada durante muchas horas, fue necesario esperar varias horas a que los diversos equipos se calentaran y se encontraran en un estado estacionario de funcionamiento. Se mantuvo la antena quieta durante una hora, en modo "manual velocity" (es decir, no se encontraba en "standby"). Se comprobó que las medidas realizadas tras este tiempo eran mucho más consistentes entre sí y no presentaban las derivas sistemáticas que aparecieron en medidas tomadas recién puesta en marcha la antena.

Se tomaron medidas para intervalos de comando de 6 y 8 centésimas de segundo, dado que el intervalo medio en el programa TRACK es de 7 centésimas. El resultado final vendrá dado por el promedio de las medidas tomadas con los dos intervalos. Como se puede ver en la tabla siguiente, el error medio aumenta considerablemente al incrementar el intervalo entre comandos de 6 a 8 centésimas de segundo:

IN	AP=20,EP=45		
	VA	<error> *10 ⁵	sigma *10 ⁵
6	0.1	+182	44
8	0.1	+304	44
6	-0.1	-525	55
8	-0.1	-617	24

Las medidas tomadas en los trabajos antes descritos (sección 1) muestran que los parámetros X8 que tratamos de determinar no dependen apenas de la posición inicial (AP,EP) que se considere. Por ello, sólo hemos considerado una posición de partida para acimut y otra para elevación.

En cuanto a las velocidades VA y VE consideradas, hemos incluido algunas más de las habituales en trabajos previos, especialmente en lo que concierne a altas velocidades. La razón para ello son las medidas de holografía que están siendo tomadas gracias a la presencia del satélite de comunicaciones ITALSAT.

Este satélite geoestacionario tiene un transmisor a 49.49 GHz que da una señal suficientemente intensa como para permitir una rápida toma de datos, con velocidades de la antena de hasta 0.05 grados/seg.

Los datos obtenidos y que van a ser usados en los ajustes se encuentran en las tablas de las páginas siguientes. En cada serie de datos se han repetido las medidas correspondientes a las velocidades 0.001, 0.010 y 0.100, para comprobar la consistencia. En la mayor parte de casos los dos o tres conjuntos de valores han discrepado en menos de 1σ , y sólo en un caso tal discrepancia ha llegado a valer 2σ . Los resultados de los dos o tres grupos de medidas han sido promediados y figuran en las tablas siguientes como una sola entrada.

AP=20,EP=45,IN=6,VA>0

VA	<error> *10 ⁵	sigma *10 ⁵	cuentas /1000
0.001	-127	22	12.
0.002	-122	17	4.9
0.005	-111	15	6.0
0.010	-100	12	12.
0.020	-067	11	4.0
0.035	-027	15	5.5
0.050	+078	22	7.0
0.080	+154	33	6.0
0.100	+232	66	42.

AP=20,EP=45,IN=8,VA>0

VA	<error> *10 ⁵	sigma *10 ⁵	cuentas /1000
0.001	-126	28	5.8
0.002	-135	20	4.4
0.005	-107	15	3.8
0.010	-086	11	3.2
0.020	-060	12	3.0
0.035	+008	14	2.3
0.050	+105	24	3.7
0.080	+238	22	4.5
0.100	+307	43	5.6

AP=20,EP=45,IN=6,VA<0

VA	<error> *10 ⁵	sigma *10 ⁵	cuentas /1000
-0.001	-141	44	7.6
-0.002	-150	20	6.1
-0.005	-165	17	8.3
-0.010	-175	23	6.0
-0.020	-211	15	3.9

-0.035	-281	15	5.2
-0.050	-363	21	3.5
-0.080	-449	35	4.9
-0.100	-545	23	7.4

AP=20,EP=45,IN=8,VA<0

VA	<error> *10 ⁵	sigma *10 ⁵	cuentas /1000
-0.001	-150	24	9.6
-0.002	-151	22	3.7
-0.005	-163	15	2.9
-0.010	-189	15	2.3
-0.020	-234	14	2.5
-0.035	-320	19	3.3
-0.050	-355	18	4.7
-0.080	-542	40	2.3
-0.100	-637	34	6.2

Tras las medidas anteriores, la antena quedó parada durante 80 minutos y luego se puso en marcha para calentar motores durante otros 20 minutos antes de empezar a tomar nuevas medidas. Las medidas con movimiento en elevación cuyos resultados se pueden encontrar a continuación fueron hechas con la antena desplazándose típicamente entre 20 y 50 grados, subiendo o bajando.

AP=20,EP=20,IN=6,VE>0

VE	<error> *10 ⁵	sigma *10 ⁵	cuentas /1000
0.001	-209	25	7.9
0.002	-212	22	2.6
0.005	-206	15	4.1
0.010	-191	12	5.1
0.020	-146	22	1.7
0.035	-102	21	2.6
0.050	-023	25	3.2
0.080	+061	41	2.9
0.100	+114	70	6.0

AP=20,EP=20,IN=8,VE>0

VE	<error> *10 ⁵	sigma *10 ⁵	cuentas /1000
0.001	-206	26	11.
0.002	-214	22	7.2
0.005	-202	14	4.2
0.010	-179	13	8.2
0.020	-131	14	3.2
0.035	-066	20	2.8

0.050	+009	25	3.6
0.080	+144	44	3.8
0.100	+238	60	11.

AP=20,EP=50,IN=6,VE<0

VE	<error> *10 ⁵	sigma *10 ⁵	cuentas /1000
-0.001	-233	31	8.6
-0.002	-237	23	3.2
-0.005	-243	17	1.7
-0.010	-252	20	4.1
-0.020	-304	15	4.7
-0.035	-347	19	2.6
-0.050	-395	30	2.1
-0.080	-518	44	2.2
-0.100	-601	76	5.1

AP=20,EP=30,IN=8,VE<0

VE	<error> *10 ⁵	sigma *10 ⁵	cuentas /1000
-0.001	-233	32	6.6
-0.002	-235	23	3.0
-0.005	-254	14	2.7
-0.010	-266	14	3.7
-0.020	-329	16	1.8
-0.035	-381	17	2.8
-0.050	-454	24	2.3
-0.080	-616	48	3.2
-0.100	-721	60	4.9

4. Resultados obtenidos en la predicción de errores medios

Los resultados de los ajustes lineales obtenidos figuran en la tabla siguiente:

IN	coord.	velocidad	X8A	incert.	X8B	incert.	sigma
cseg			mg/(mg/s)		mg		mg
6	AZ	positiva	0.0366	0.0014	-1.331	0.066	0.14
8	AZ	positiva	0.0454	0.0012	-1.368	0.057	0.12
6	AZ	negativa	0.0403	0.0010	-1.398	0.050	0.11
8	AZ	negativa	0.0493	0.0013	-1.385	0.060	0.13
6	EL	positiva	0.0343	0.0011	-2.170	0.051	0.11
8	EL	positiva	0.0458	0.0005	-2.215	0.023	0.05
6	EL	negativa	0.0367	0.0007	-2.254	0.034	0.07
8	EL	negativa	0.0489	0.0009	-2.229	0.044	0.09

Estos ajustes han sido efectuados sin ponderado, tal como se hizo en los casos reseñados en los informes técnicos de 1986 y 1987. Conviene hacer notar aquí que los resultados obtenidos en el primero de los trabajos correspondían a un ajuste ponderado. El valor medio de los parámetros obtenidos es:

$$\begin{aligned} X8AA &= 0.043 \pm 0.006 \\ X8AB &= -1.37 \pm 0.03 \\ X8EA &= 0.041 \pm 0.007 \\ X8EB &= -2.22 \pm 0.04 \end{aligned}$$

Hemos realizado también ajustes con ponderado. Los valores medios obtenidos son muy parecidos a los anteriores (las diferencias son del orden del 1%) y la dispersión de los cuatro valores usados para calcular las medias es algo menor.

Como se puede apreciar, comparando estos valores con los de la primera tabla de este trabajo, los valores de los parámetros no han variado significativamente a lo largo de los últimos años.

En las figuras 1 y 2 figuran los valores medidos para el error medio (triángulos para IN=6, cuadrados para IN=8), así como el resultado del ajuste de los datos para ambos casos, con una única recta para velocidades positivas y negativas. Los parámetros deducidos de estas rectas se encuentran en la tabla siguiente:

IN	coord.	velocidad	X8A	incert.	X8B	incert.	sigma
cseg			mg/(mg/s)		mg		mg
6	AZ	pos+neg	0.0389	0.0006	-1.428	0.031	0.13
8	AZ	pos+neg	0.0475	0.0006	-1.443	0.030	0.14
6	EL	pos+neg	0.0361	0.0005	-2.252	0.023	0.10
8	EL	pos+neg	0.0475	0.0004	-2.276	0.020	0.09

5. Estudio de la dispersión en las medidas

En las figuras 3 a 6 se representan la dispersión de las medidas de los errores medios. Tal como ya se había hecho notar en la tesina de M. Martínez, se produce el extraño fenómeno de encontrar una dispersión mayor a muy bajas (pocos miligrados por segundo) y muy altas (centésimas de grado por segundo). Lo primero se interpretó como un efecto del rozamiento estático quizás combinado con el hecho de que la antena sigue prácticamente los escalones de los comandos al estar cada posición comandada muy cerca de la precedente. Por ejemplo, para $V=0.001$ y $IN=6$ estas posiciones distan entre sí 6×10^{-5} grados, que es un valor bastante menor que la propia resolución de la antena, en cuanto a distinguir dos posiciones como diferentes. Esta resolución es de 1 miligrado, luego deberán pasar un segundo hasta que la antena reciba un comando de posición que la haga desplazar. La dispersión en las medidas (supuestas distribuidas uniformemente en el intervalo de 1 miligrado) será de $0.001/12^{0.5} = 29 \times 10^{-5}$ grados. Este valor coincide con el promedio de las dispersiones medidas a esta velocidad.

La dispersión en las medidas dejará de verse afectada por la resolución de los comandos de posición cuando la distancia entre dos posiciones comandadas consecutivas sea mayor que 1 miligrado. Para un intervalo entre comandos de 0.06 segundos, ello corresponde a una velocidad mayor que 0.017 gr/seg. En efecto, en las figuras citadas se aprecia que la dispersión es mínima para velocidades del orden de 0.02-0.04 gr/seg. Sin embargo, de esta forma no se explica fácilmente el rápido decrecimiento en sigma para velocidades de 0.002 y 0.005, que deberían presentar el mismo efecto que la velocidad 0.001.

Para mayores velocidades la dispersión aumenta con la velocidad. En principio podría esperarse que aumentara linealmente, es decir que fuera mayor proporcionalmente al valor del error medio. Sin embargo, en las figuras citadas se aprecia que la dependencia es más bien cuadrática. Hay una excepción a ello, que corresponde a la disminución de la dispersión en el caso de velocidades en acimut negativas de 0.1 gr/seg. Para mejor caracterizar el comportamiento de la dispersión en las medidas hace falta claramente hacer medidas a velocidades más altas.

Estas medidas fueron realizadas el 17 de diciembre. La temperatura ambiente era más baja que en las medidas anteriores y la antena había permanecido prácticamente parada durante varios días. Tras la correspondiente espera para calentar motores, se tomaron medidas de los errores y dispersiones para velocidades de hasta 0.6 grados/segundo, en acimut y en elevacion, y para velocidades crecientes y decrecientes. Se usó sólo el intervalo IN=6 y cada medida corresponde a entre 700 y 3000 muestras. Los resultados se encuentran en las tablas siguientes y en las figuras 7 a 10:

AP=20,EP=45,IN=6,VA>0			AP=167,EP=45,IN=6,VA<0		
VA	<error> *10 ⁵	sigma *10 ⁵	VA	<error> *10 ⁵	sigma *10 ⁵
0.001	-136	23	-0.001	-150	23
0.02	-063	10	-0.02	-220	15
0.04	-015	17	-0.04	-295	23
0.06	+067	34	-0.06	-385	20
0.08	+174	19	-0.08	-453	29
0.10	+194	23	-0.10	-503	31
0.12	+286	51	-0.12	-610	47
0.14	+355	42	-0.14	-701	27
0.16	+429	74	-0.16	-771	63
0.18	+504	44	-0.18	-832	76
0.20	+568	63	-0.20	-888	76
0.22	+642	95	-0.22	-993	75
0.24	+695	95	-0.24	-1073	81
0.26	+784	83	-0.26	-1140	65
0.28	+819	129	-0.28	-1205	97
0.30	+945	85	-0.30	-1280	68
0.40	1246	191	-0.40	-1649	101

0.50 1628 137
 0.60 1883 313
 acim.final=167

-0.50 -1973 201
 -0.60 -2311 244
 acim.final=26

AP=20,EP=20,IN=6,VE>0

VE	<error> *10 ⁵	sigma *10 ⁵
0.001	-207	20
0.02	-173	20
0.04	-095	37
0.06	-033	51
0.08	+007	76
0.10	+037	108
0.12		
0.14	+220	151
0.16		
0.18	+386	149
0.20		
0.22	+511	151
0.24		
0.26	+663	121
0.28		
0.30	+770	135
0.40	1092	174
0.50	1533	174
0.60	1754	229

elev.final=77

AP=20,EP=77,IN=6,VE<0

VE	<error> *10 ⁵	sigma *10 ⁵
-0.001	-228	37
-0.02	-289	23
-0.04	-352	34
-0.06	-423	34
-0.08	-475	44
-0.10	-542	56
-0.12	-643	67
-0.14	-717	87
-0.16	-816	95
-0.18	-839	115
-0.20	-951	117
-0.22	-1004	99
-0.24	-1039	129
-0.26	-1132	119
-0.28	-1204	140
-0.30	-1271	141
-0.40	-1593	148
-0.50	-1999	181
-0.60	-2310	190

elev.final=20

Los valores de los errores medios de las tablas anteriores pueden ser ajustados de la misma manera que antes se hizo. El resultado de tal ajuste figura en la tabla siguiente. Estas rectas son muy similares a las antes determinadas para IN=6. La diferencia entre ambas es menor que 1 miligrado para velocidades inferiores (en valor absoluto) a 0.25 gr/seg.

IN	coord.	velocidad	X8A	incert.	X8B	incert.	sigma
cseg			mg/(mg/s))		mg		mg
6	AZ	pos+neg	0.0361	0.0002	-1.691	0.048	0.31
6	EL	pos+neg	0.0342	0.0002	-2.407	0.049	0.29

Como puede comprobarse en las dos últimas figuras, el comportamiento de la dispersión de las medidas en acimut puede considerarse que crece linealmente con la velocidad para velocidades mayores (en valor absoluto) de 0.1 gr/seg. Hay, sin embargo, una buena dispersión en estas medidas. El comportamiento a velocidades menores es distinto, y el conjunto da una sensación de dependencia cuadrática. Los dos tipos de ajustes descritos se encuentran representados en la figura 9.

El comportamiento de la dispersión de las medidas en el caso de la elevación es también muy peculiar, con una dependencia fuerte hasta velocidades del orden de 0.2 gr/seg y sin apenas variación a partir de tal velocidad. Estos distintos comportamientos pueden tener que ver con la distinta configuración de los motores para el movimiento en los dos ejes. En el eje de elevación se tienen dos motores contrarrotando, mientras que en acimut hay dos parejas de motores contrarrotando.

6. Valores de los parámetros de los servos

De acuerdo con los resultados obtenidos en el apartado 4 y vista su consistencia con los obtenidos en el apartado 5, tomaremos como nuevos valores de los parámetros que caracterizan el comportamiento de los servos de la antena de 14m los que constan a continuación:

$$X8AA = 0.043 \text{ mg}/(\text{mg}/\text{s})$$

$$X8AB = -1.4 \text{ mg}$$

$$X8EA = 0.041 \text{ mg}/(\text{mg}/\text{s})$$

$$X8EB = -2.2 \text{ mg}$$

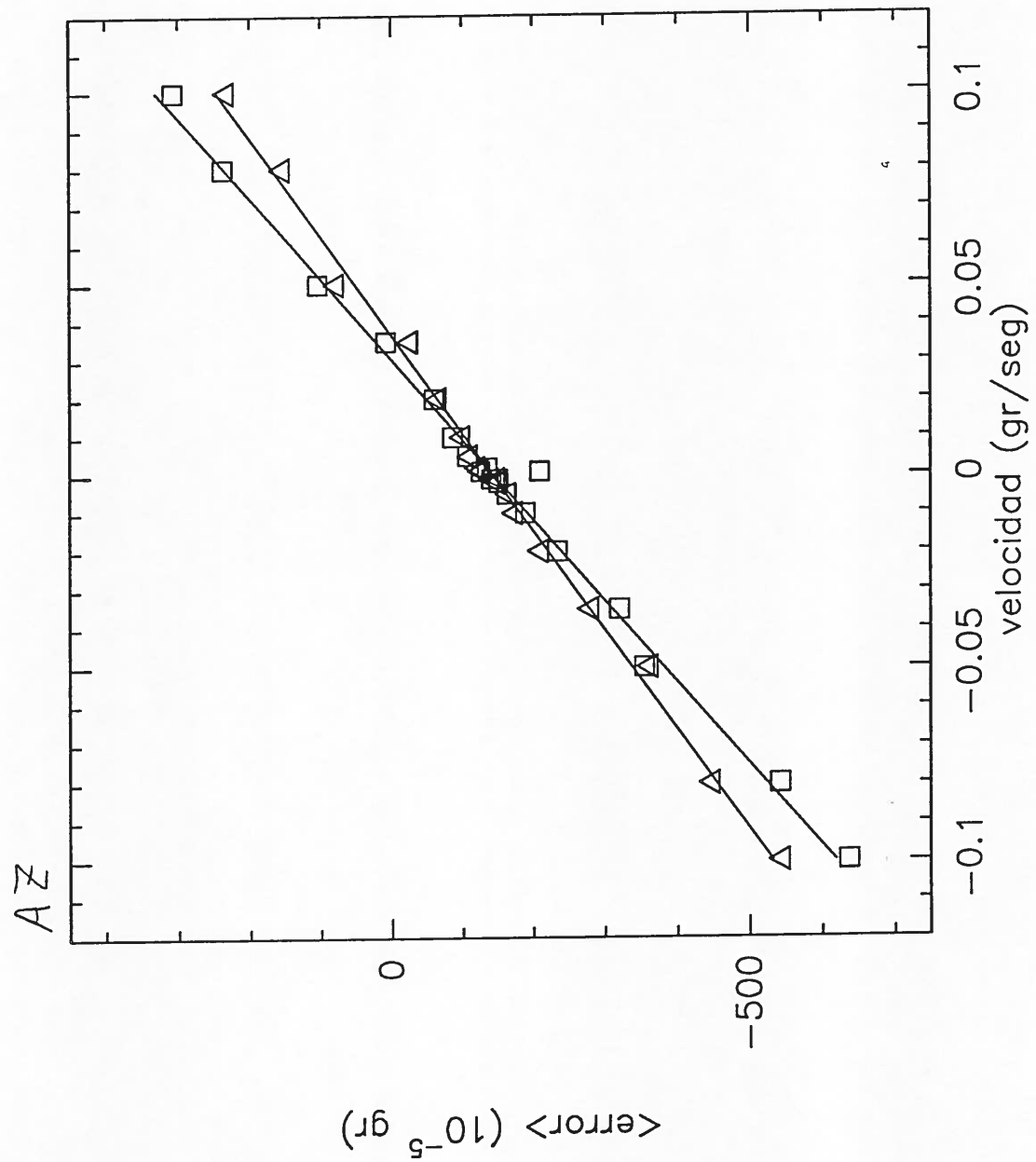


FIGURA 1

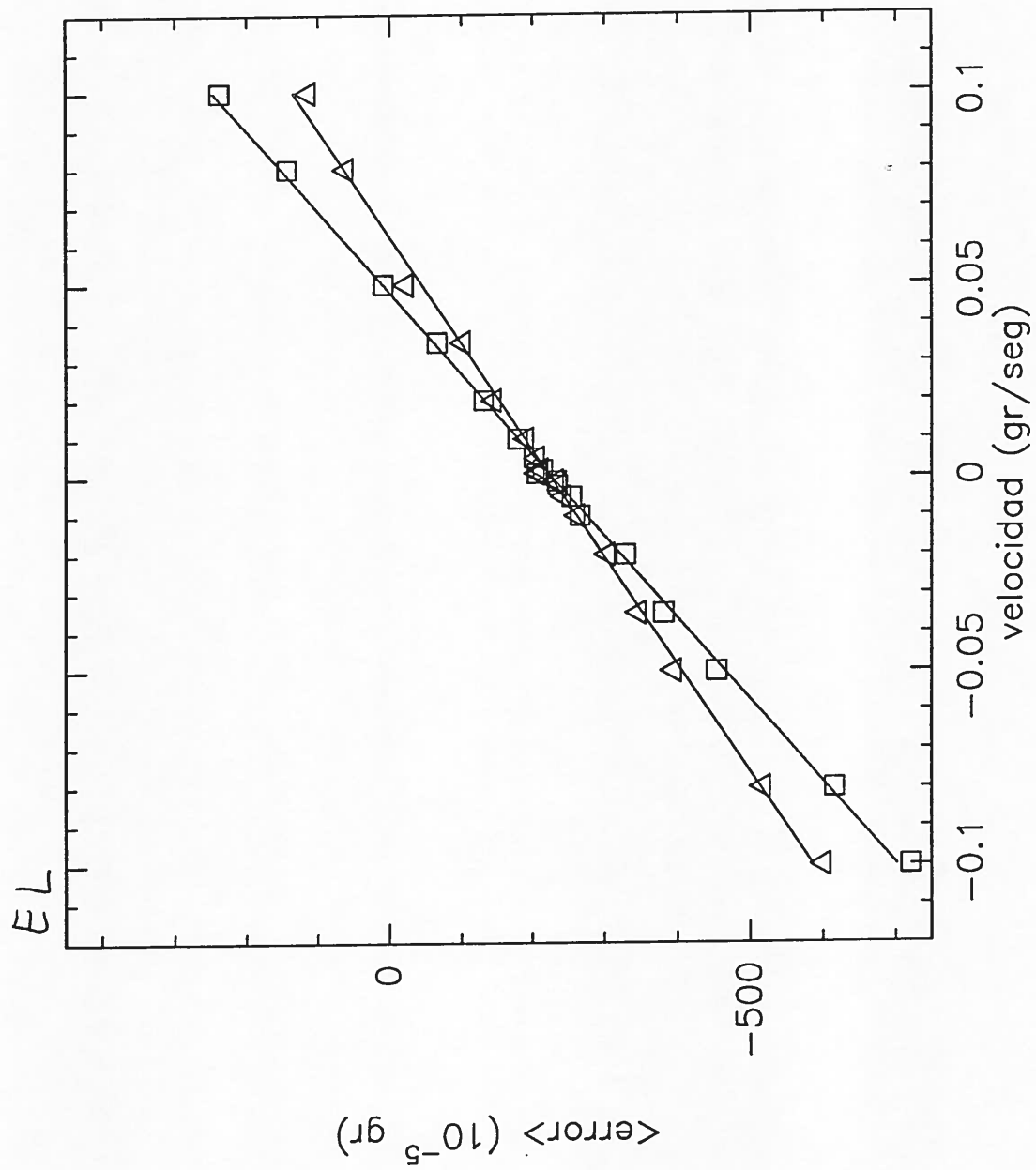


FIGURA 2

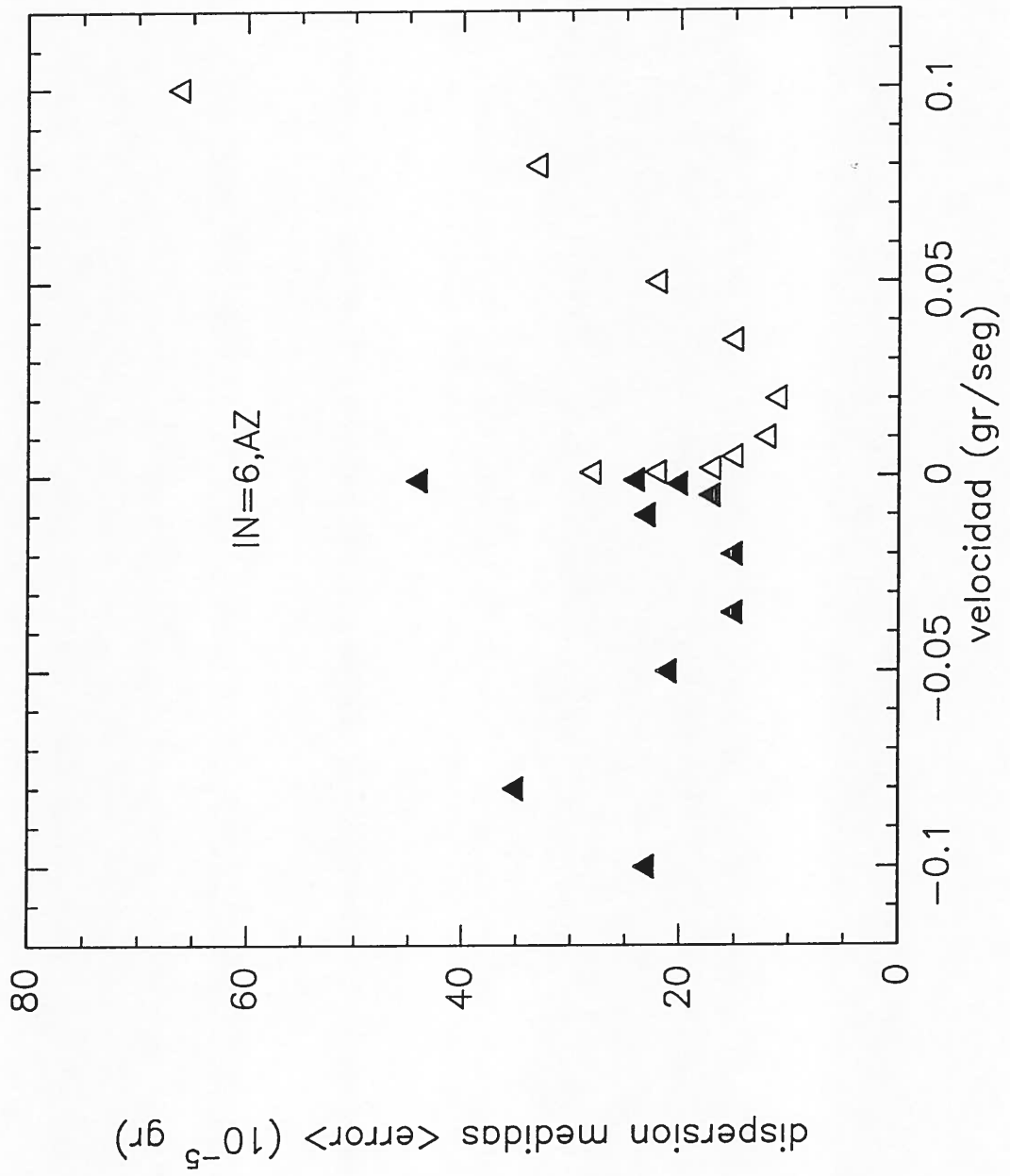


FIGURA 3

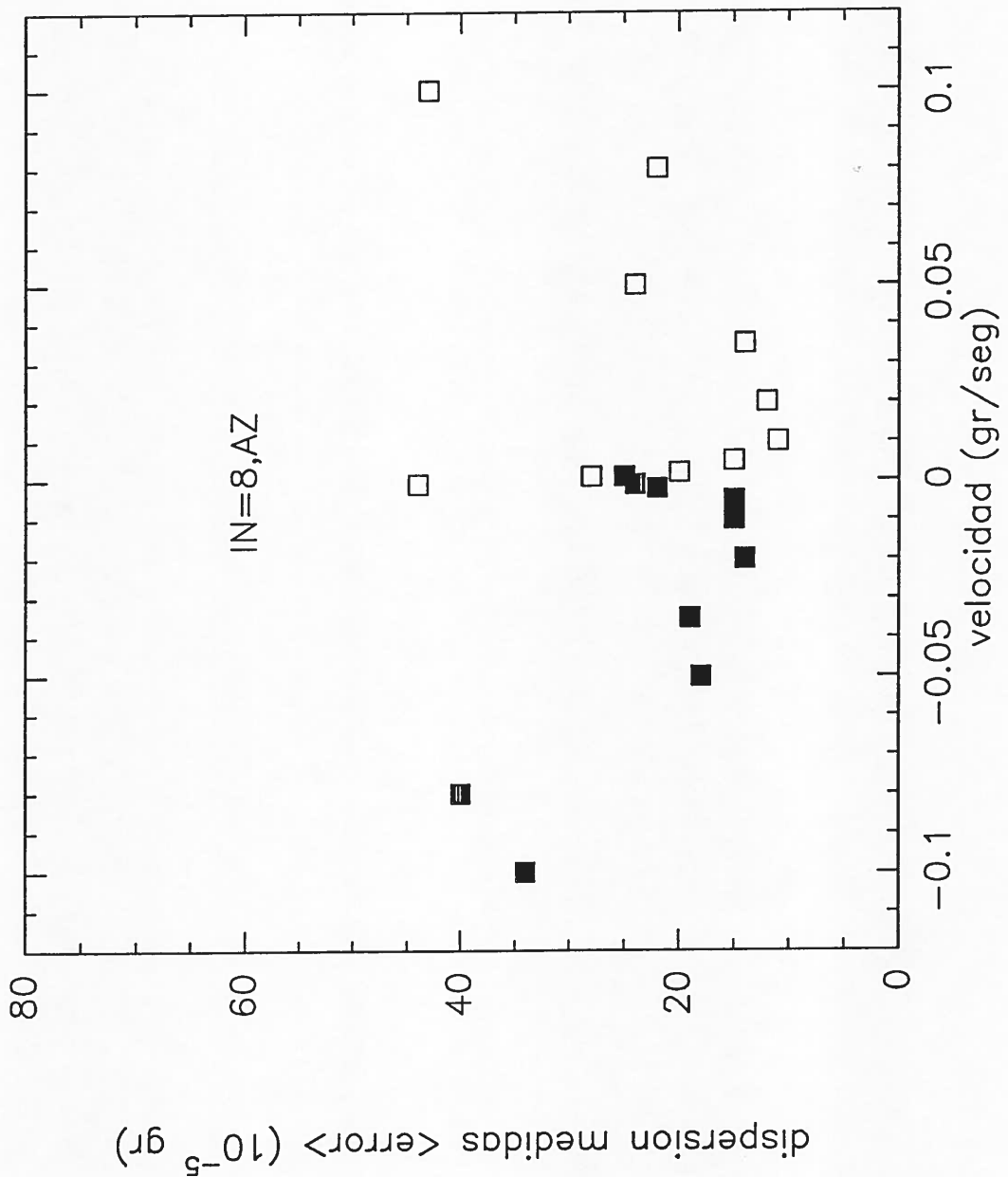


FIGURA 4

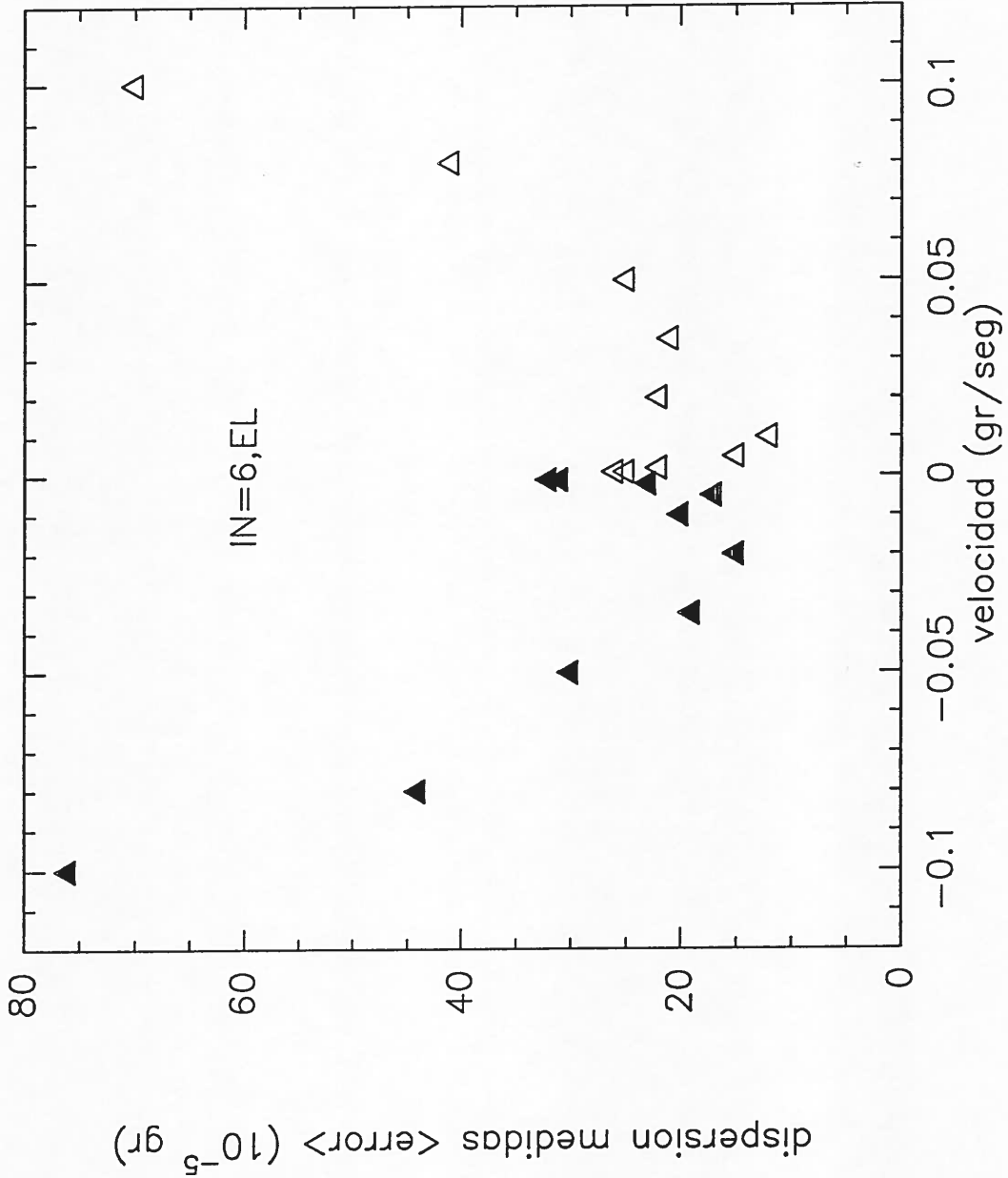


FIGURA 5

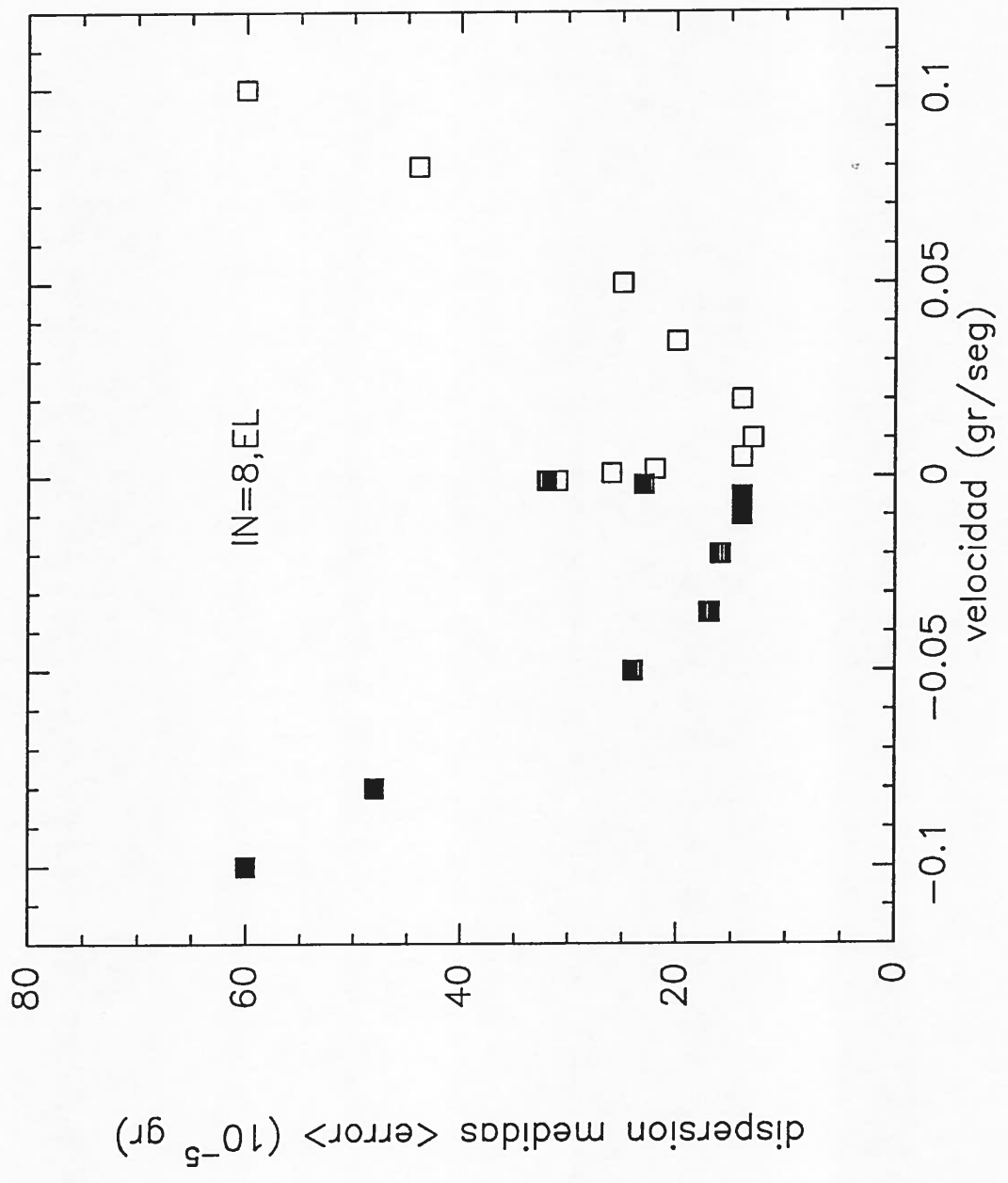


FIGURA 6

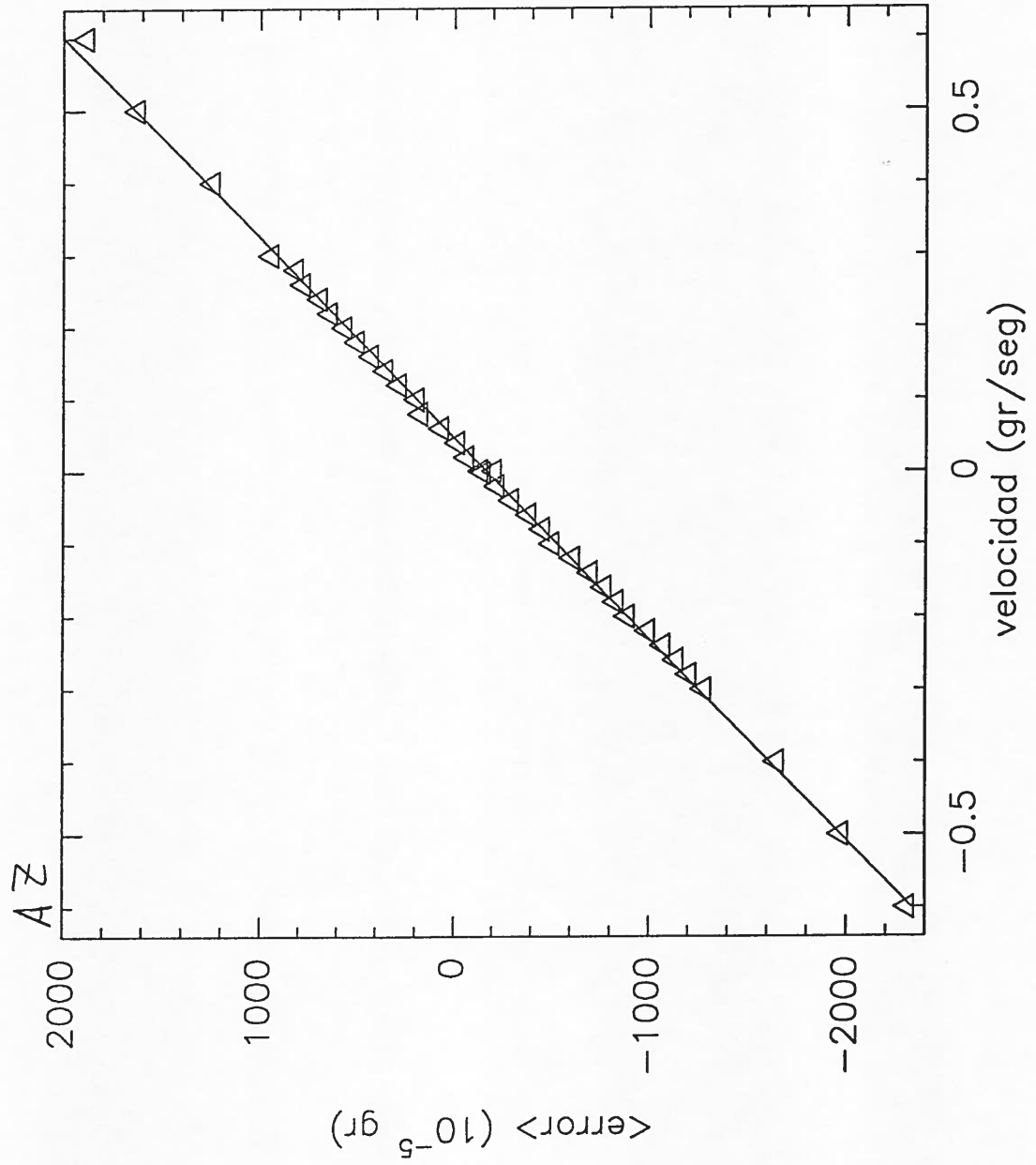


FIGURA 7

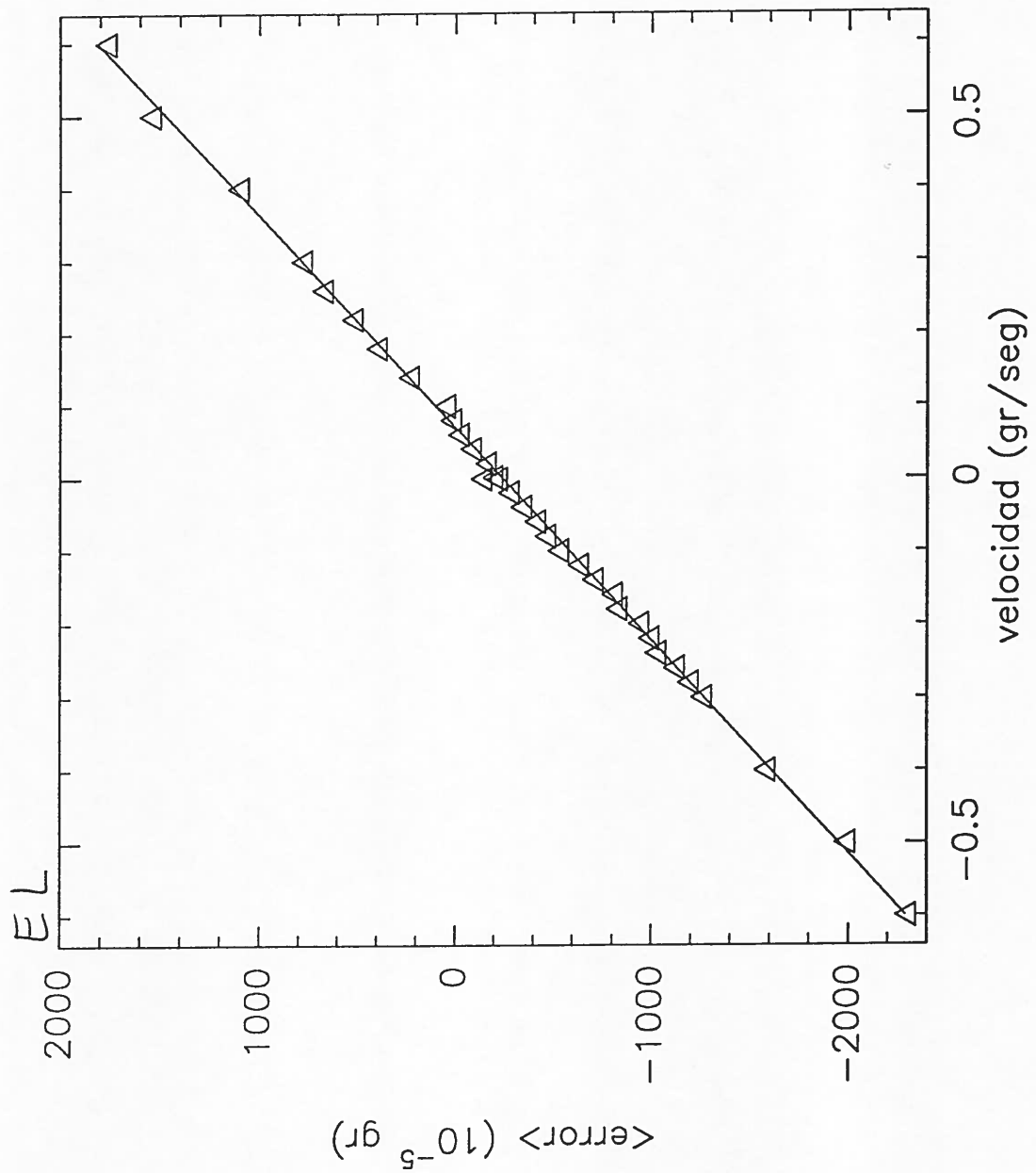


FIGURA 8

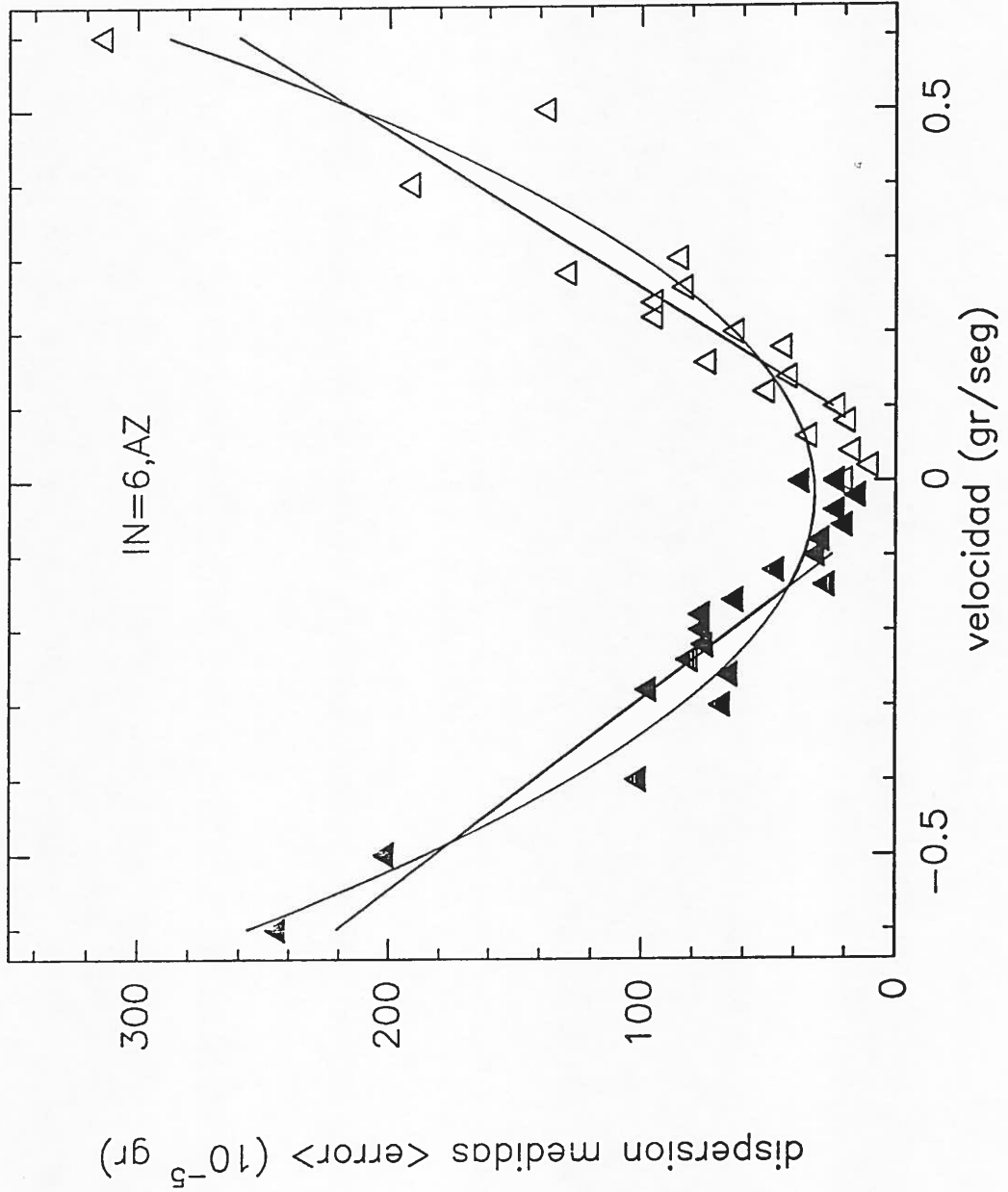


FIGURA 9

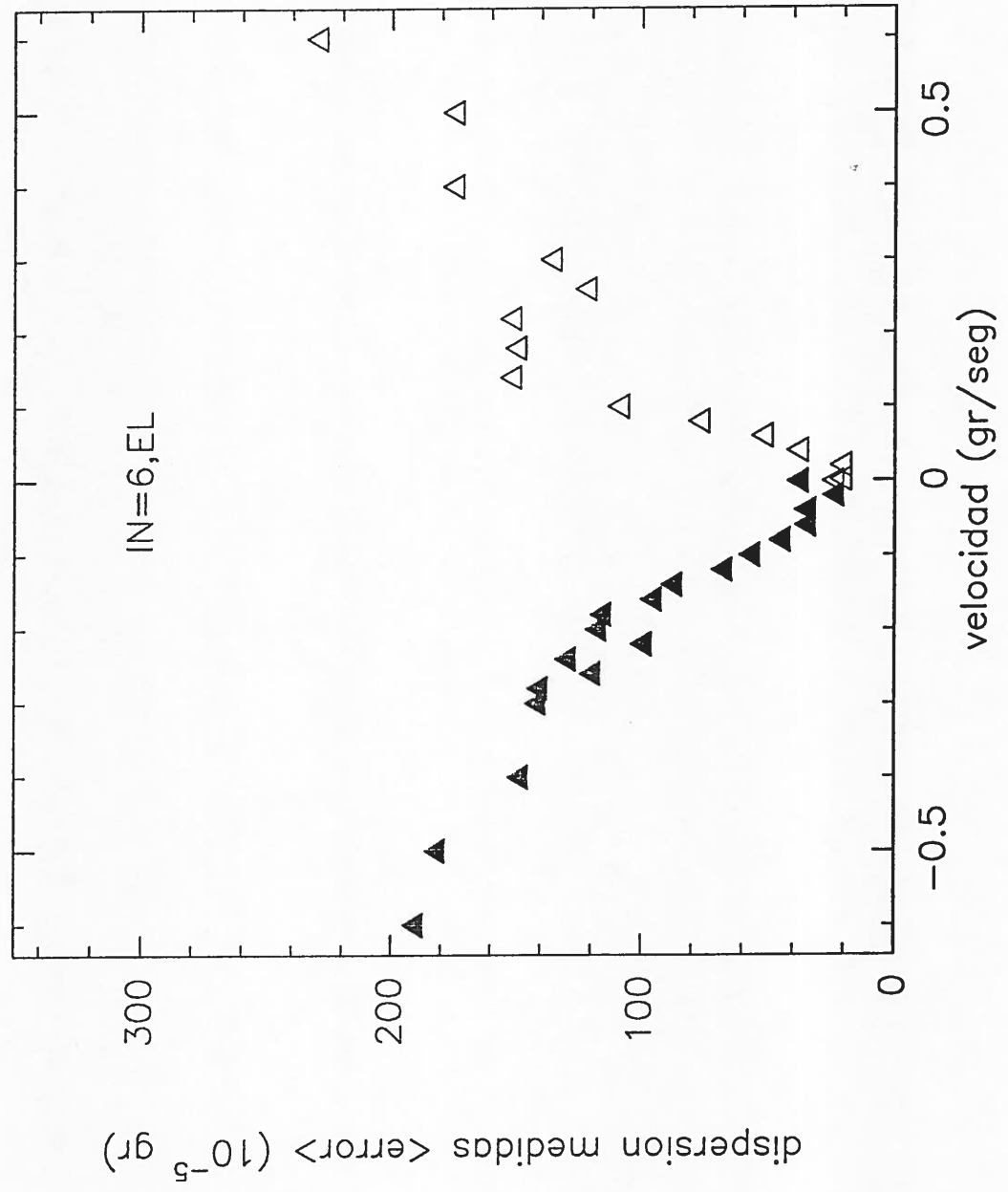


FIGURA 10