

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

CRITERIOS DE DISEÑO CONSIDERANDO
LA COMPONENTE VERTICAL DEL MOVIMIENTO
(parte II)

ESTEVA MEDINA JESUS ANTONIO

8559890-6

SEMESTRE 90-I

INTRODUCCION

En general, la práctica actual de diseño de estructuras resistentes a sismos considera únicamente la componente horizontal del movimiento por ser la que influye de manera más importante en su comportamiento . Se ha observado que en zonas cercanas al epifoco la componente vertical del movimiento puede ser de igual o mayor magnitud que la correspondiente a la componente horizontal, por lo que se debe tomar en cuenta en los criterios de diseño.

En la referencia 1 (trabajo de investigación I) se llevó a cabo un estudio sobre el estado del arte de las investigaciones sobre el efecto de la componente vertical en las estructuras y se justificó la necesidad de llevar a cabo una revisión de las recomendaciones que sobre este efecto se proponen en el Reglamento de Construcciones del Estado de Guerrero. En este primer trabajo se propuso un espectro de diseño para la componente vertical a partir del análisis de diversos sismos registrados en la zona.

En este trabajo se estudia un edificio de un nivel modelado como un marco bidimensional . Se analizaron los siguientes grupos:

- Estructuras diseñadas ante la acción horizontal del sismo y sujetas a movimientos solo horizontales

- Estructuras diseñadas para resistir movimientos tanto horizontales como vertical, y sujetas a dichos movimientos

En este trabajo se busca lograr obtener ductilidades globales similares para los dos grupos mencionados previamente mediante la consideración de un efecto por componente vertical. Esto se logra suponiendo una expresión que toma en cuenta la relación entre las aceleraciones espectrales de diseño horizontales y verticales .

MODELO ESTRUCTURAL

En este trabajo se estudia la respuesta de un marco plano que forma parte de un edificio de un nivel con una planta cuadrada de 10 m por lado. El edificio está formado por tres marcos de una crujía en una dirección y en la otra por dos marcos de dos crujías (figuras 1 y 2). La estructura se considera empotrada en el suelo y soporta una carga total (muerta y viva) de 556.4 kg/m^2 . Basado en lo anterior y realizando un prediseño se propusieron las secciones de las vigas y columnas mostradas en la tabla 1.

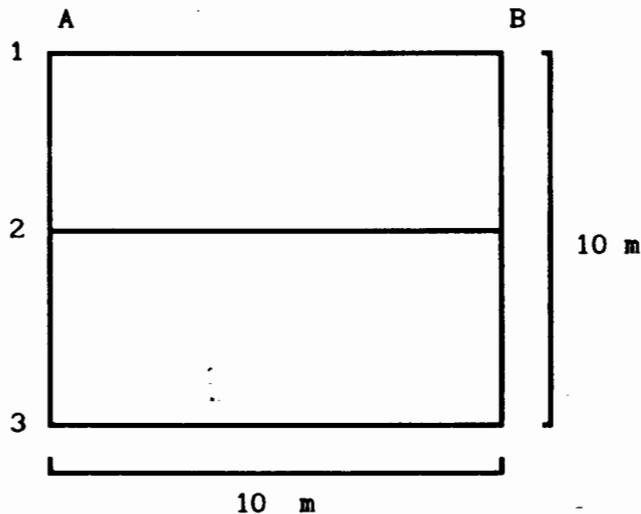


FIGURA 1. Edificio estudiado

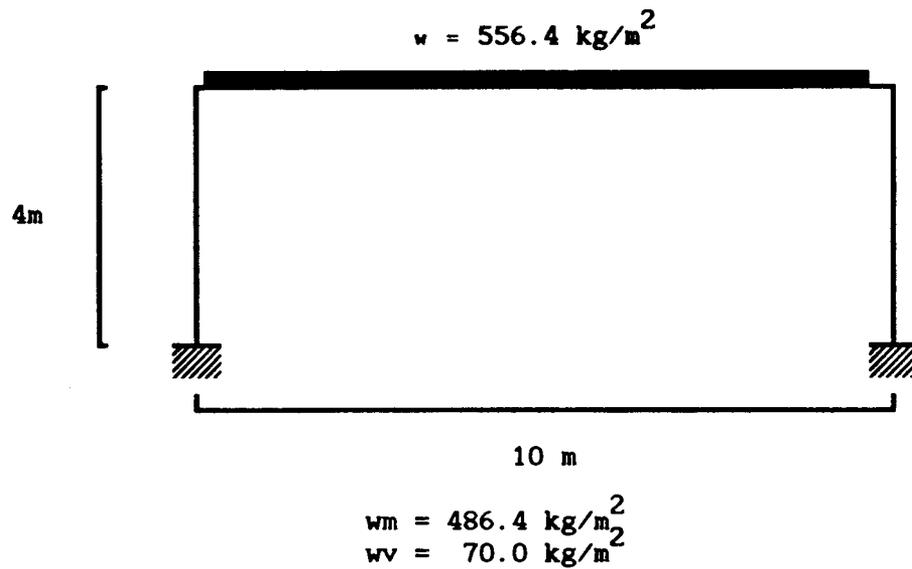


FIGURA 2. Marco estudiado y condiciones de carga

ENTREPISO	Ac	Ic	NIVEL	Av	Iv
1	40x40	5333.3	1	30x60	540000

Ac = Area de la sección transversal de la columna (cm²)

Ic = Inercia de la columna (cm⁴)

Av = Area de la sección transversal de la viga (cm²)

Iv = Inercia de la viga (cm⁴)

TABLA 1. Secciones propuestas para las columnas y trabes del marco estudiado.

SISTEMA ESTUDIADO

El marco del edificio que se analiza corresponde al localizado sobre el eje de referencia 2 de la figura 1. En la figura 2 se presenta el marco estudiado, así como las condiciones de carga que se supusieron actuando en las vigas. Estas cargas se calcularon tomando en cuenta la carga asociada con el área tributaria correspondiente al marco (figura 1). En este estudio no se supuso la existencia de vigas secundarias..

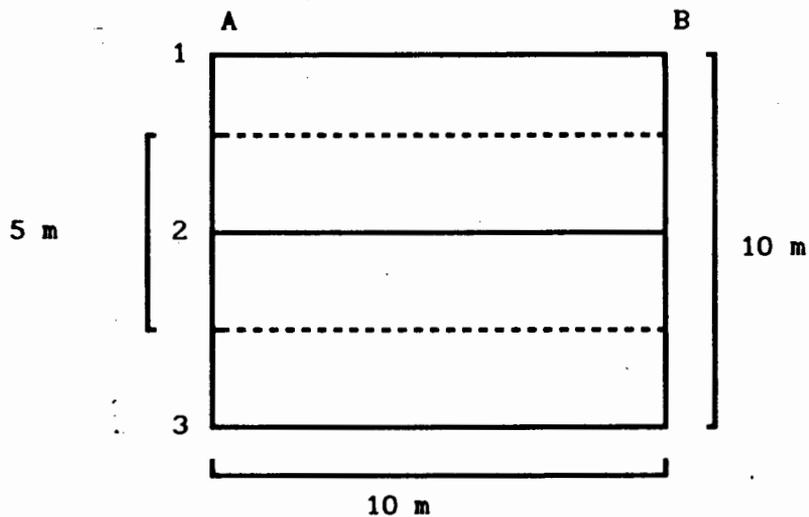


FIGURA 3. Área tributaria del marco estudiado.

CRITERIOS DE ANALISIS Y DISEÑO DE LOS SISTEMAS ESTUDIADOS

DISEÑO DE LOS MARCOS

En este estudio se busca el lograr ductilidades globales similares entre dos grupos de marcos:

GRUPO I) Marcos diseñados siguiendo las recomendaciones propuestas por el Reglamento de Construcciones de Guerrero considerando unicamente las componentes horizontales del movimiento.

GRUPO II) Marcos diseñados siguiendo las recomendaciones propuestas por el Reglamento de Construcciones de Guerrero pero suponiendo un efecto debido a la componente vertical del movimiento distinto al recomendado en este.

GRUPO I

Para determinar la resistencia requerida de cada elemento estructural del marco del grupo I, se procedió como sigue:

- Se propusieron las secciones de los elementos y las cargas verticales actuantes, de acuerdo con las consideraciones planteadas previamente. Los valores correspondientes se presentan en la tabla 1.

- Se desarrolló el análisis de esfuerzos debidos a carga vertical y sismo. La determinación de las fuerzas laterales se hizo siguiendo el criterio modal espectral, utilizando el espectro propuesto por el Reglamento de Construcciones de Guerrero para el tipo de terreno I de la zona D (figuras 4, 5 y 6). La estructura se idealizó suponiendo su masa repartida en cuatro tramos a lo largo de la viga (figura 7).

En el Reglamento de Construcciones de Guerrero se propone tomar en cuenta aceleraciones verticales iguales a 0.75 de las especificadas en la tabla 2 (correspondientes a construcciones del grupo B según el artículo 174 ; para las del grupo A se deben incrementar los coeficientes en un 50 por ciento). Los efectos de estas se combinan con los de las aceleraciones horizontales y los de las fuerzas gravitacionales .

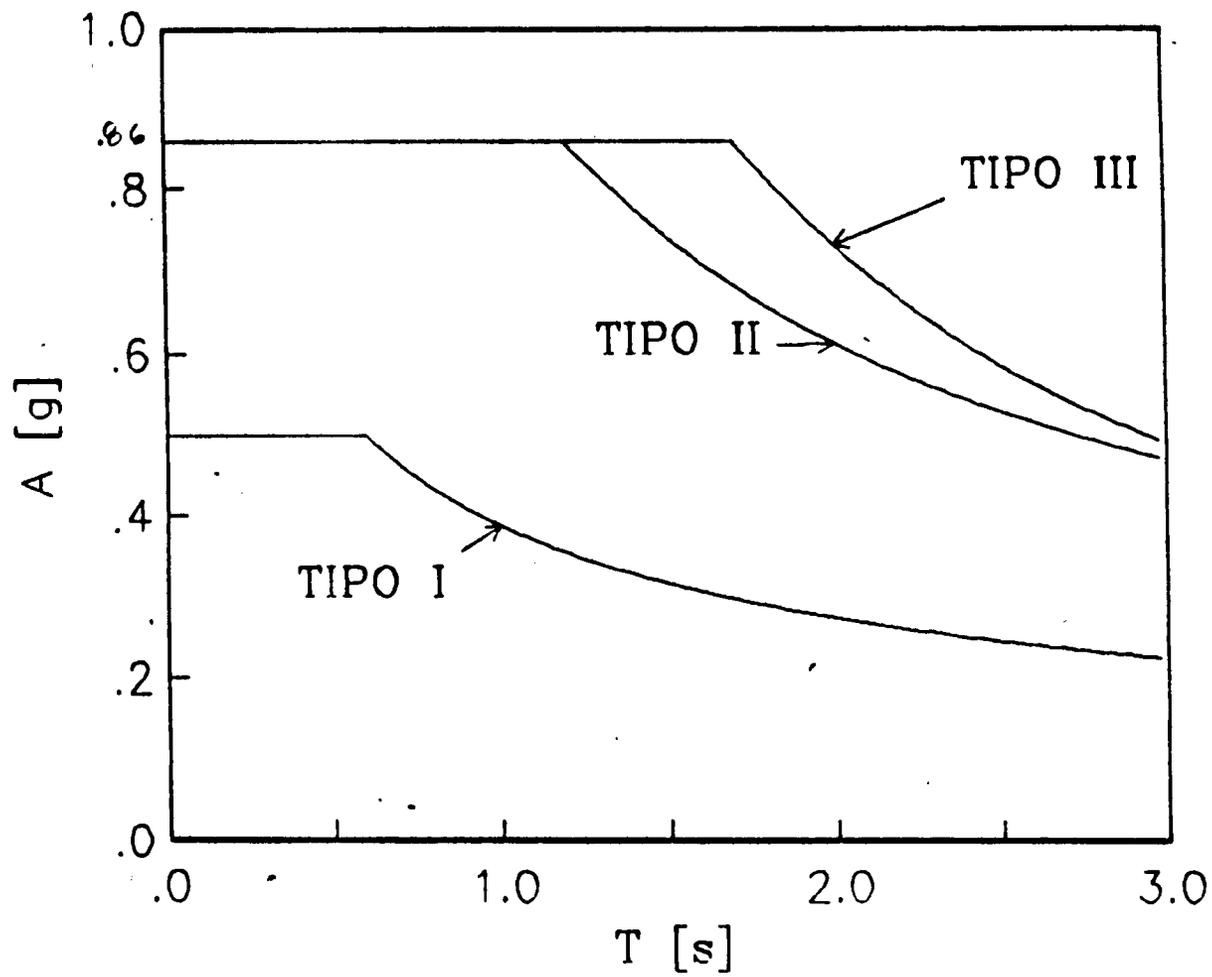
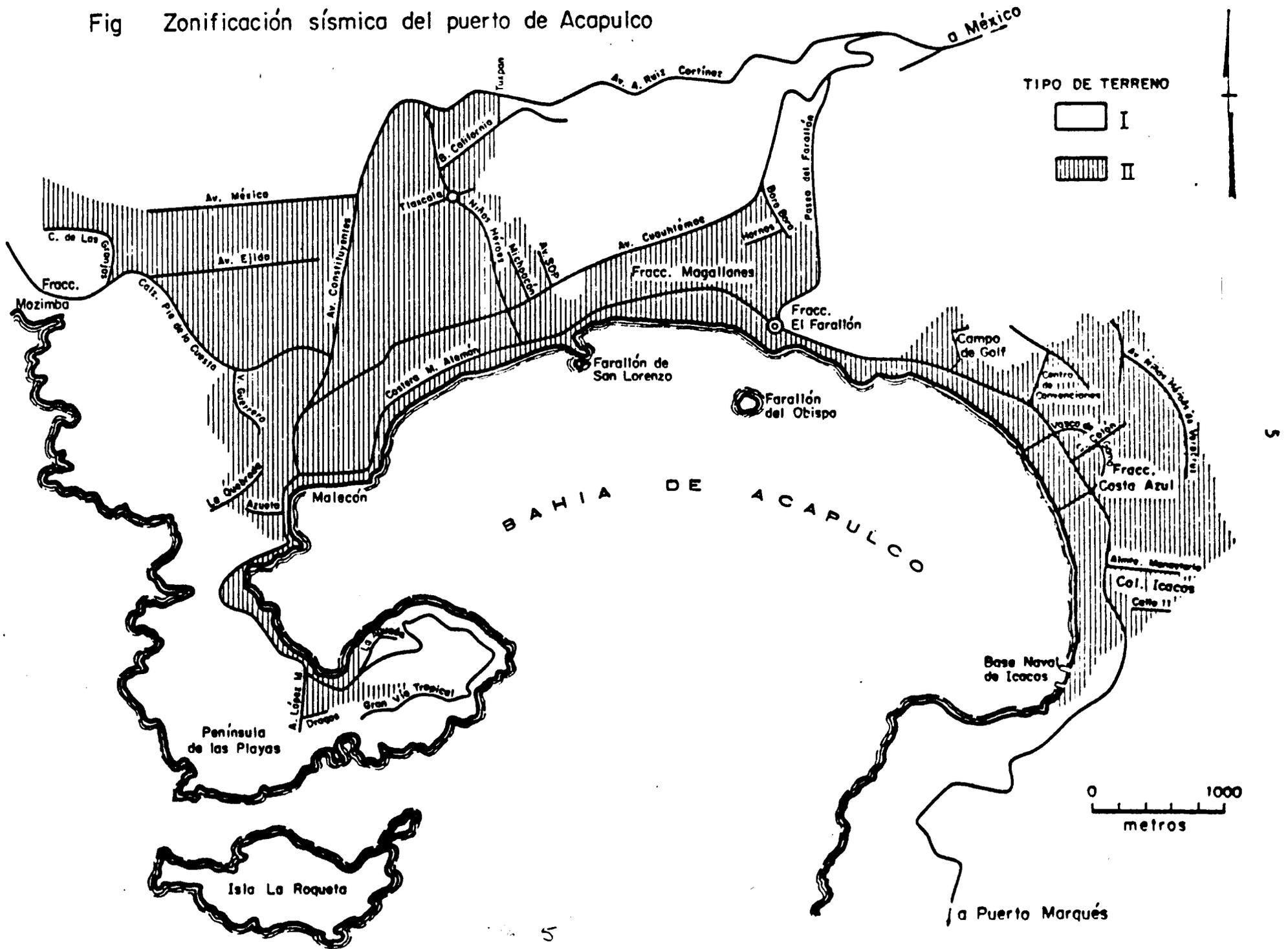


FIGURA 1 Espectros de diseño para la zona D

Fig Zonificación sísmica del puerto de Acapulco



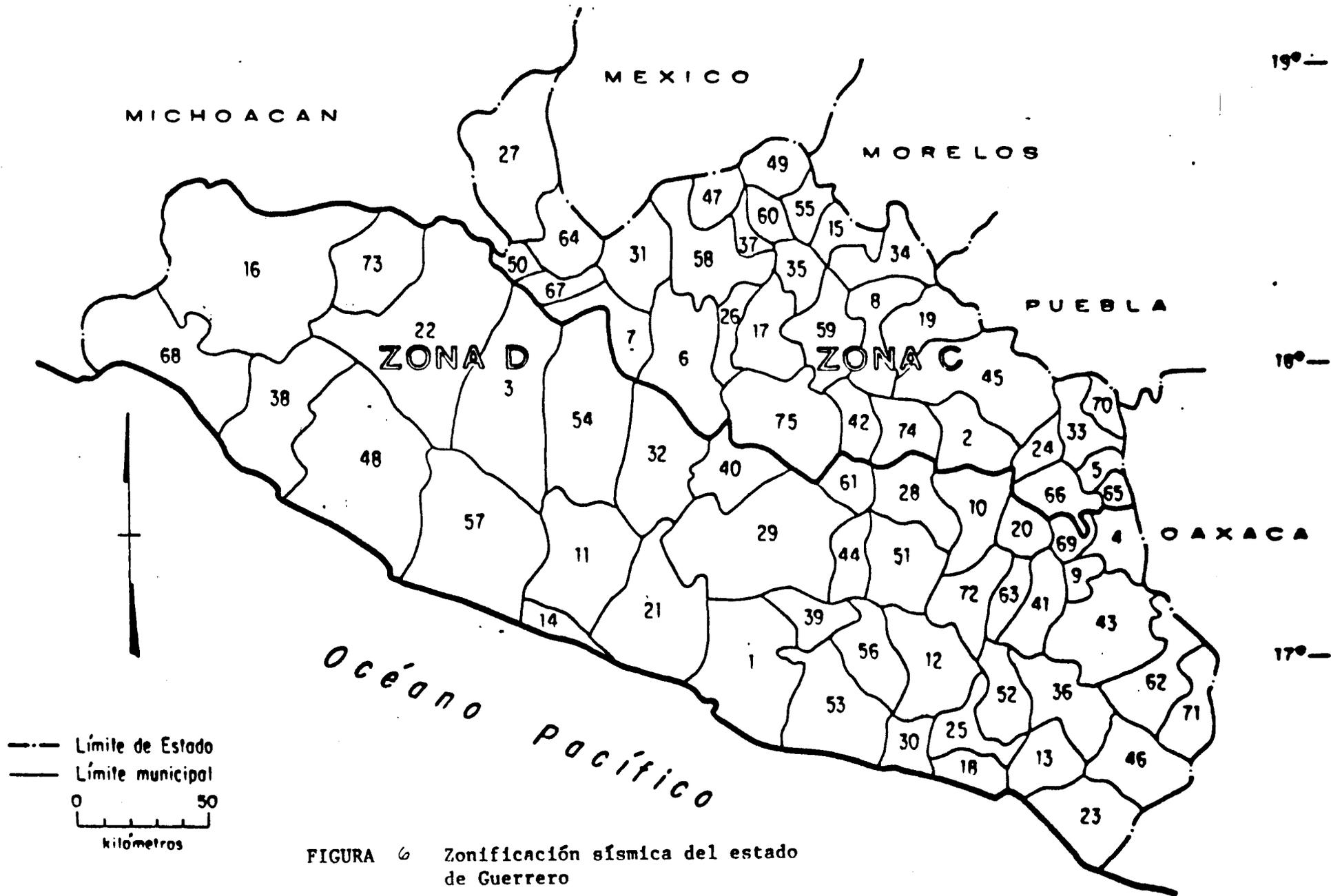
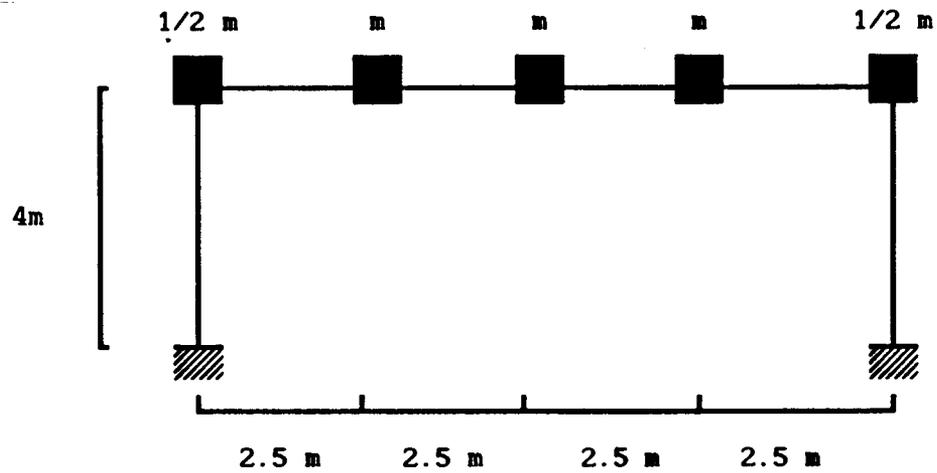


FIGURA 6 Zonificación sísmica del estado de Guerrero



$$m = \text{masa total} / 4 = .70897 \text{ kg/m/s}^2$$

FIGURA 7. Idealización del marco estudiado.

ZONA DEL ESTADO	TIPO DE TERRENO	c
C	I	0.36
	II	0.64
	III	0.64
D	I	0.50
	II	0.86
	III	0.86

TABLA 2. Coeficientes sísmicos para construcciones del grupo B.

Los efectos tridireccionales se toman en cuenta dentro de las Normas Técnicas Complementarias para diseño por sismo del Reglamento de Construcciones del Estado de Guerrero (versión 1989) considerando que para el diseño de las estructuras que no cumplen con las condiciones de regularidad establecidas en la sección 6 de esas mismas normas, así como para el diseño de columnas y muros de rigidez, y los cimientos respectivos, de estructuras regulares, las componentes horizontales y vertical del movimiento se combinan entre sí y con los efectos gravitacionales. Se recomienda que se sume vectorialmente en las secciones críticas de la estructura los efectos gravitacionales, los de un componente del movimiento del terreno y 0.3 o 0.5 de los efectos de los otros; correspondiendo el primero de esos valores a edificios y el segundo a péndulos invertidos, tanques elevados, torres, chimeneas y estructuras semejantes. Se supone en cada caso la más desfavorable de dichas combinaciones, asignando a los efectos sísmicos el signo más desfavorable.

Para el diseño de estructuras regulares, se menciona que es suficiente el combinar por separado, en cada una de las tres direcciones de análisis, los efectos gravitacionales con los efectos del componente del movimiento del terreno paralelo a la dirección considerada.

En la sección 4 de dichas Normas Complementarias se menciona que el factor reductivo de comportamiento sísmico Q no se aplica a los efectos de las aceleraciones verticales del terreno.

GRUPO II

Para el grupo II se tuvieron las siguientes combinaciones de cargas con sus factores correspondientes:

No	factor de carga	CH	CV	CM	Cv
1	1.4	0	0	1	1
2	1.1	0.3	1	1	1
3	1.1	1	0.3	1	1
4	1.1	-0.3	1	1	1
5	1.1	-1	0.3	1	1
6	1.1	0.3	- 1	1	1
7	1.1	1	- 0.3	1	1
8	1.1	-0.3	- 1	1	1
9	1.1	-1	- 0.3	1	1

donde CH = componente horizontal

CV = componente vertical

Cv = carga viva

CM = carga muerta

Para fines de diseño se adoptó como componente horizontal la propuesta por el Reglamento suponiendo adecuado el espectro de diseño. Para la componente vertical se tomó el 0.80 de la correspondiente horizontal. Esta última consideración se basa en los resultados obtenidos en la referencia 1, sin embargo en la referencia 2 se presentan resultados en que se tienen relaciones entre aceleraciones máximas verticales y horizontales de hasta 2, por lo que hacen falta llevar a cabo estudios que consideren un mayor porcentaje de participación de este efecto.

Se propuso considerar los efectos debidos a la componente vertical del movimiento como una carga uniformemente repartida calculada considerando como coeficiente sísmico vertical la siguiente expresión:

$$C_v = \alpha \quad C_h \quad S_v/S_h \quad (1)$$

donde: S_v = ordenada del espectro vertical para el correspondiente periodo fundamental de vibración
 S_h = ordenada del espectro horizontal para el correspondiente periodo fundamental de vibración
 α = variable en estudio con valores de 1 a 5
 C_h = componente horizontal

A continuación se presentan las principales diferencias entre las consideraciones planteadas en este trabajo para tomar en cuenta el efecto vertical en el diseño y las recomendaciones propuestas por el reglamento para este fin :

- Al utilizar la expresión se debe calcular el periodo vertical de la estructura para determinar su ordenada espectral y en el reglamento se propone considerar como ordenada vertical 0.75 de la horizontal, sin embargo, no se aclara si esta es la correspondiente al periodo horizontal o al valor máximo del espectro.

- La relación S_v/S_h en el reglamento es de 0.75 y en este trabajo se propone tomarla de 0.80 .

- Se supone una variable α que afecta el valor de la componente vertical. Este parámetro se varia con el fin de obtener ductilidades globales similares a la obtenidas con los diseños de los marcos del grupo I.

- En este trabajo se considera el efecto de la componente vertical tanto en diseño de vigas como de columnas, y en el reglamento solo se afectan elementos como columnas y muros de estructuras regulares.

El criterio de diseño propuesto en este trabajo consiste en aumentar las cargas consideradas actuando en la dirección vertical de una manera mas precisa que la propuesta en otros trabajos, en los cuales solo se supone aumentar el factor de carga en todos los casos (referencias 3, 4).

En el proceso de diseño de los marcos se observó que la combinación de cargas muerta y viva fue la mas desfavorable para los casos en que en la determinación de la componente vertical los valores del factor α de la expresión(1) iban de 0 a 1.

El criterio de diseño propuesto en esta sección puede ser mas confiable y seguro que las recomendaciones propuestas en el Reglamento ya que toma en cuenta ciertas características y propiedades de las estructuras que influyen de manera importante en su comportamiento.

EXCITACIONES SISMICAS

Las estructuras mencionadas previamente se analizaron sometiéndolas a una familia de ocho sismos registrados en dos estaciones colocadas en terreno firme a partir de 1973. Algunas de sus características se muestran en la tabla 3.

La notación que se adoptó para la identificación de estos se explica a continuación:

Los sismos se identifican con las notaciones:

- AP## estación Pellandini

- AS## estación SAHOP

Los números que siguen a las letras que identifican a la estación corresponden al año en que ocurrió el sismo. En el caso del sismo de 1985 se tienen dos registros, el del 19 de septiembre, y el del 21, el cual se identifica como 85I. La última letra de los títulos de las gráficas significa la dirección: L (longitudinal), T (transversal), V (vertical).

Registro	Duración (seg)	Aceleración máxima (m/s ²)
AS73T	7	20
AS73V	7	7
AP79T	15	30
AP79V	15	25
AS79L	15	43
AS79V	15	15
AS80T	26	20
AS80V	26	7
AS85T	12	25
AS85V	12	16
AP85T	10	28
AP85V	10	16
AS85IT	14	35
AS85IV	14	24
AP85IT	12	27
AP85IV	12	24

TABLA 3. Sismos utilizados en los análisis.

Debido a que con estos sismos las estructuras no incursionaban dentro del rango inelástico, estos se escalaron de tal forma que su aceleración máxima del terreno corresponda a la que se obtiene de la figura 8 para un periodo de recurrencia de 100 años.

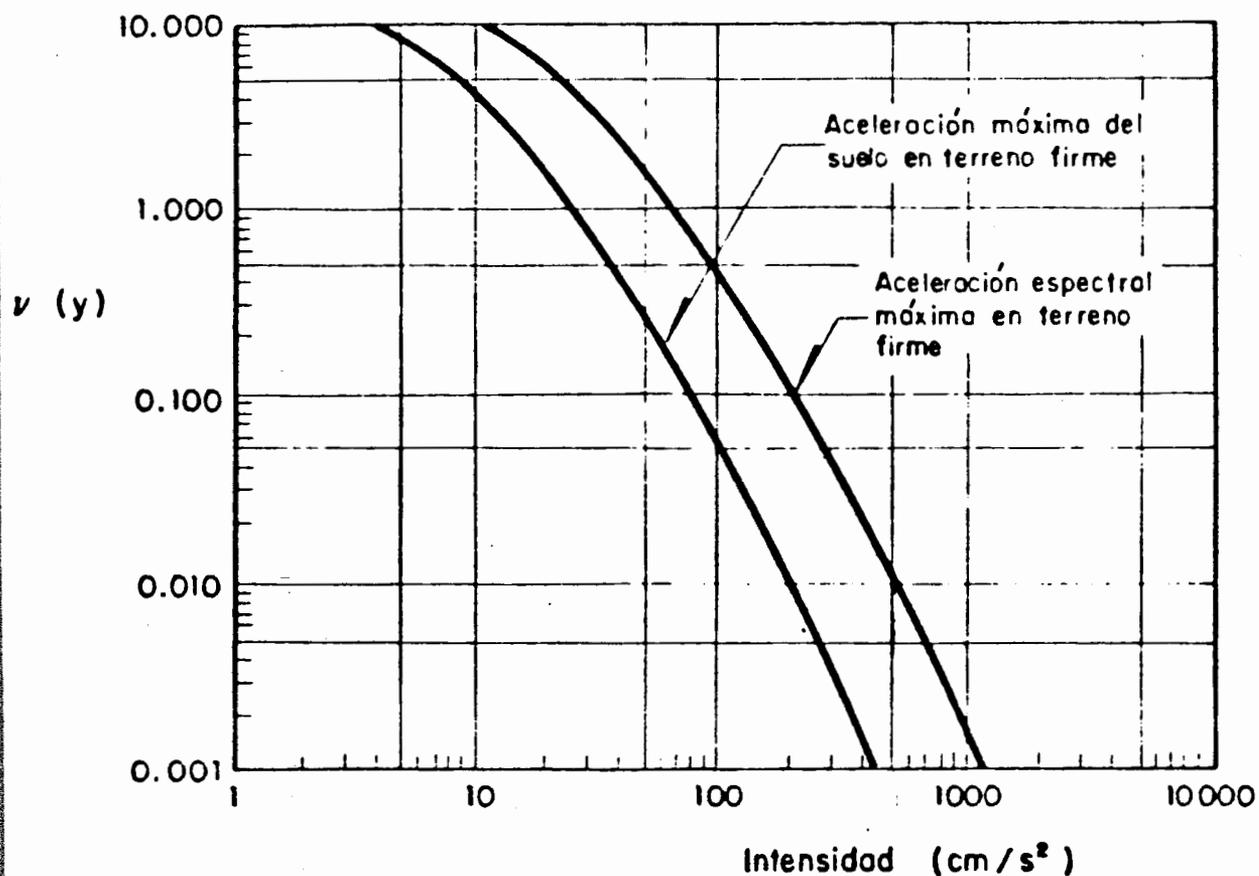


FIGURA 8. Curva intensidad-recurrencia para terreno

En el apéndice A se pueden observar los espectros y acelerogramas de las excitaciones sísmicas utilizadas en el estudio.

ANALISIS DE RESULTADOS

Las respuestas estructurales se calcularon empleando el programa DRAIN 2D. Este consiste en un análisis paso a paso de la respuesta dinámica que toma en cuenta efectos no lineales en el comportamiento de los miembros estructurales.

El criterio utilizado en este trabajo para estudiar el efecto del componente vertical del movimiento en el comportamiento de la estructura consistió en comparar la ductilidad global obtenida de dos grupos de marcos, unos diseñados considerando únicamente la componente horizontal y sometidos a esta , y otros diseñados considerando tanto la componente horizontal como la vertical y sometidos a estas.

DEMANDAS DE DUCTILIDAD GLOBAL.

La determinación de la ductilidad global de los marcos se describe a continuación:

- se calculó la rigidez tangente inicial como la fuerza cortante entre las distorsiones laterales en el rango elástico



- se obtuvo a partir de los análisis llevados a cabo con el programa DRAIN 2D la rigidez secante mínima en el rango elastoplástico

- la ductilidad global resulta de la relación de la rigidez secante mínima entre la rigidez tangente inicial

En este trabajo se analizaron un total de 32 casos. Estos correspondieron a cuatro diseños diferentes. En la tabla 4 se muestran los casos estudiados.

α	casos estudiados excitaciones sísmicas	
	componente horizontal	componentes horizontal y vertical
0	8	0
0 a 1	0	8
1	0	8
1.25	0	8

TABLA 4. Casos estudiados.

Para cada valor de α analizado se tuvieron ocho casos, y los resultados obtenidos de estos se promediaron y se graficaron en la figura 9. En esta se puede observar que a medida que se aumenta el valor de α , el cual incrementa la carga vertical, la relación entre las ductilidades globales de las estructuras del grupo I y II aumenta. Esto se debe a que al cambiar el diseño de la estructura y hacerla mas resistente la ductilidad que presentan las estructuras del grupo II disminuye.

Se observa que para valores de α menores de 1 las relaciones entre ductilidades son constantes. Esto se debe a que en estos casos la combinación de cargas que se toma para el diseño es la correspondiente a la de cargas muerta y viva, y solo para valores de α mayores o iguales a 1 el diseño se ve afectado por las consideraciones para tomar en cuenta la componente vertical.

El tener relaciones entre ductilidades de aproximadamente 1 indica que la respuesta de los dos grupos de estructuras es muy similar. Esta es la condición considerada como adecuada, ya que la respuesta de las estructuras del grupo I se supone correcta debido a que el criterio de diseño utilizado es el tradicional.

RELACION ENTRE DUCTILIDADES GLOBALES

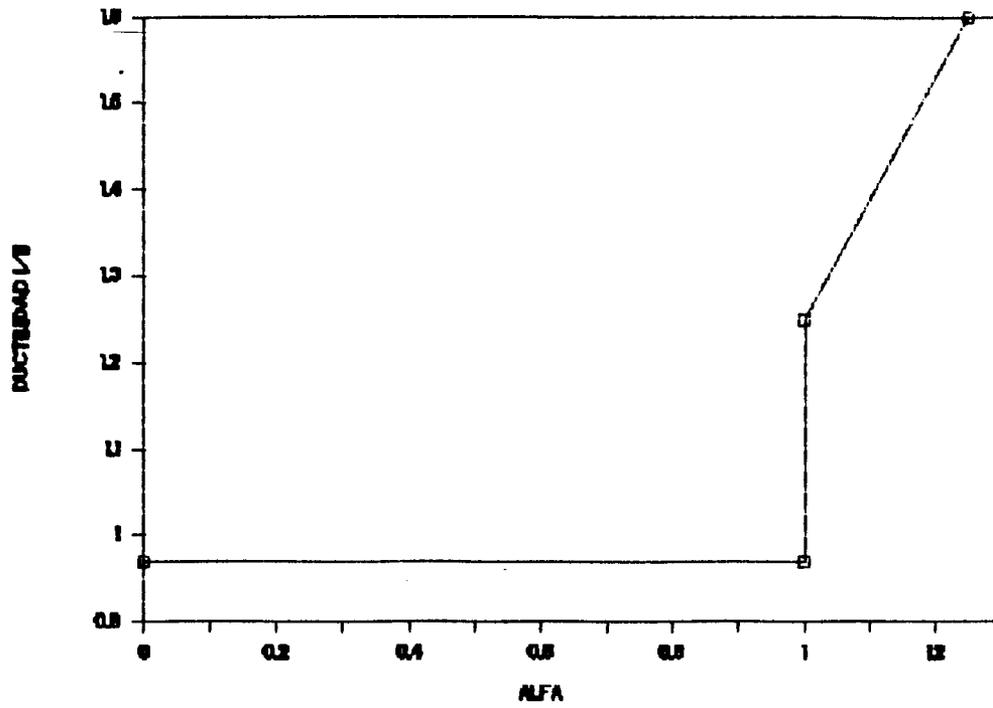


FIGURA 9. Comparación de ductilidades entre estructuras del grupo I y II.

MECANISMOS DE FLUENCIA DE LOS MARCOS.

En los análisis llevados a cabo se pudieron observar mecanismos característicos de fluencia. La presencia o ausencia del componente sísmico vertical no modificó estos mecanismos, los cuales se caracterizaron por una determinada disposición de las articulaciones plásticas. En las figuras 10 y 11 se muestran estos mecanismos para los casos en los que los marcos se desplazan lateralmente hacia la derecha o hacia la izquierda.

Las primeras articulaciones plásticas que se forman son las que corresponden a los nudos 3 y 5, posteriormente se forman las de los nudos 2 y 6 y finalmente la del centro del claro (nudo 4).

El hecho de que en el diseño haya regido la carga muerta y viva da origen a que las secciones mas débiles sean las que corresponden a los nudos 3 y 5, por lo que se entiende el que fluyan primero. En todos los casos fluyo la sección del centro del claro, lo cual pone de manifiesto el que la sollicitación máxima de momento positivo siempre fue mayor que el momento resistente de diseño controlado por la cargas de gravedad.

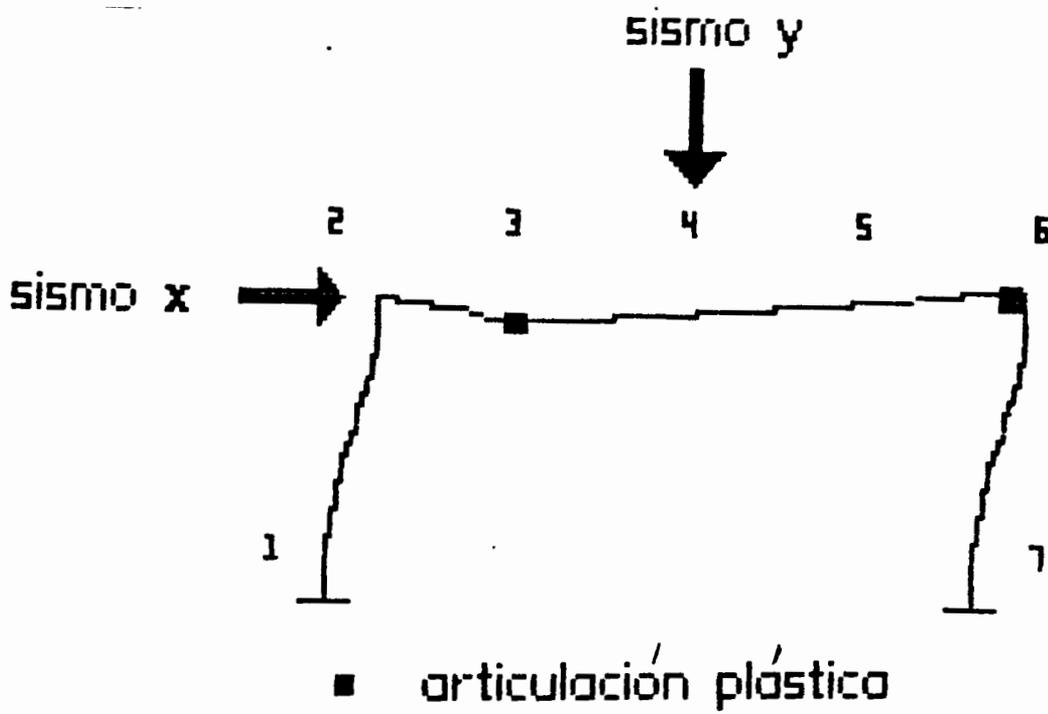


FIGURA 10. Mecanismo de fluencia hacia la derecha.

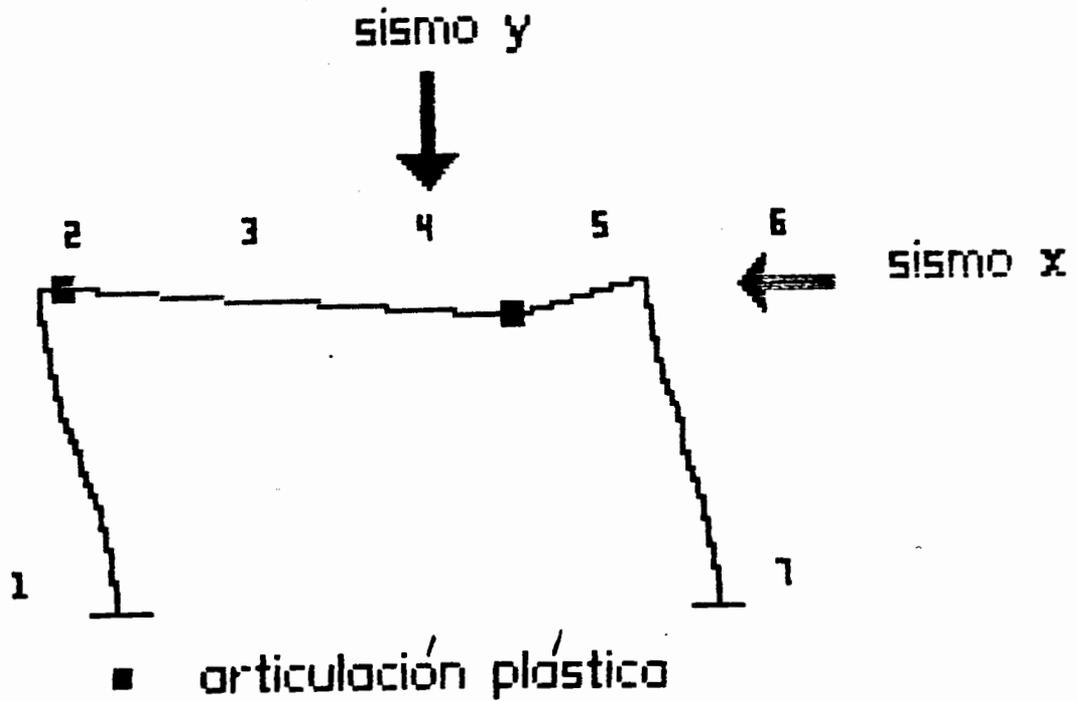


FIGURA 11. Mecanismo de fluencia hacia la izquierda.

CONCLUSIONES.

En este trabajo se presenta un análisis comparativo entre un grupo de marcos de concreto reforzado diseñados de acuerdo al Reglamento de Construcciones del Estado de Guerrero considerando unicamente la componente horizontal del movimiento y sujetos a esta y otros diseñados considerando un efecto adicional por la componente vertical del movimiento y sujetos a las componentes horizontal y vertical.

Se propone un criterio de diseño que considera la componente vertical del movimiento de una manera que puede ser mas segura y confiable que lo propuesto en otros trabajos ya que toma en cuenta ciertas propiedades de las estructuras y de la componente vertical que no se incluyen en estos. Este criterio consiste en suponer una carga uniformemente repartida actuando en dirección vertical. Esta se incrementa al aumentar un factor denominado α . Se pudo observar que para valores de α menores de 1 el efecto debido a la componente vertical del movimiento no afecta el diseño.

Se analizaron cuatro grupos de marcos diseñados para valores de α diferentes. Se obtuvo la ductilidad global promedio en cada caso y se calcularon las relaciones entre ductilidades

correspondientes a marcos diseñados considerando la componente horizontal y sometidos a esta y otros diseñados considerando las componentes horizontal y vertical y sometidos a estas. El hecho de tener relaciones entre ductilidades con valores cercanos a 1 para diseños en los que la componente vertical no se consideró indica que esta no influye de manera significativa en estos casos. Estos diseños corresponden a estructuras en las cuales la combinación de carga mas desfavorable es la debida a las cargas muerta y viva.

Se puede concluir que para casos en los que el diseño de las estructuras este determinado por las condiciones de carga muerta y viva se puede despreciar el efecto debido a la componente vertical del movimiento. Se llegó a esta conclusión a partir de los resultados obtenidos de comparar ductilidades globales, sin embargo, es necesario determinar las ductilidades locales ya que se pueden llegar a obtener resultados que difieran con los presentados en este trabajo.

RECOMENDACIONES DE ESTUDIOS FUTUROS

En este estudio se lleva a cabo un enfoque determinista del problema estudiado, es recomendable efectuar un análisis similar desde un punto de vista probabilista utilizando metodos de simulación.

Se deben llevar a cabo estudios donde se analicen las relaciones entre ductilidades locales, ya que en este solo se analizaron las relaciones entre las ductilidades globales.

Debido a que este trabajo tiene como objetivo principal el plantear un criterio de diseño que tome en cuenta el componente vertical, su aplicación se llevó a cabo en estructuras simples. Se deben llevar a cabo análisis de estructuras de un mayor número de niveles, en las cuales la combinación de cargas mas desfavorable en su diseño no sea la correspondiente a las cargas muerta y viva.

En este trabajo se hace énfasis en el estudio de el comportamiento de la viga ya que el reglamento no contempla consideraciones especiales para su diseño. Se deben llevar a cabo estudios en los que se concentre la atención en el comportamiento de las columnas, ya que la componente vertical aumenta de manera significativa las cargas que soportan y si a esto se le agregan efectos de segundo orden (P- Δ) , estos elementos estan muy propensos a fallar.

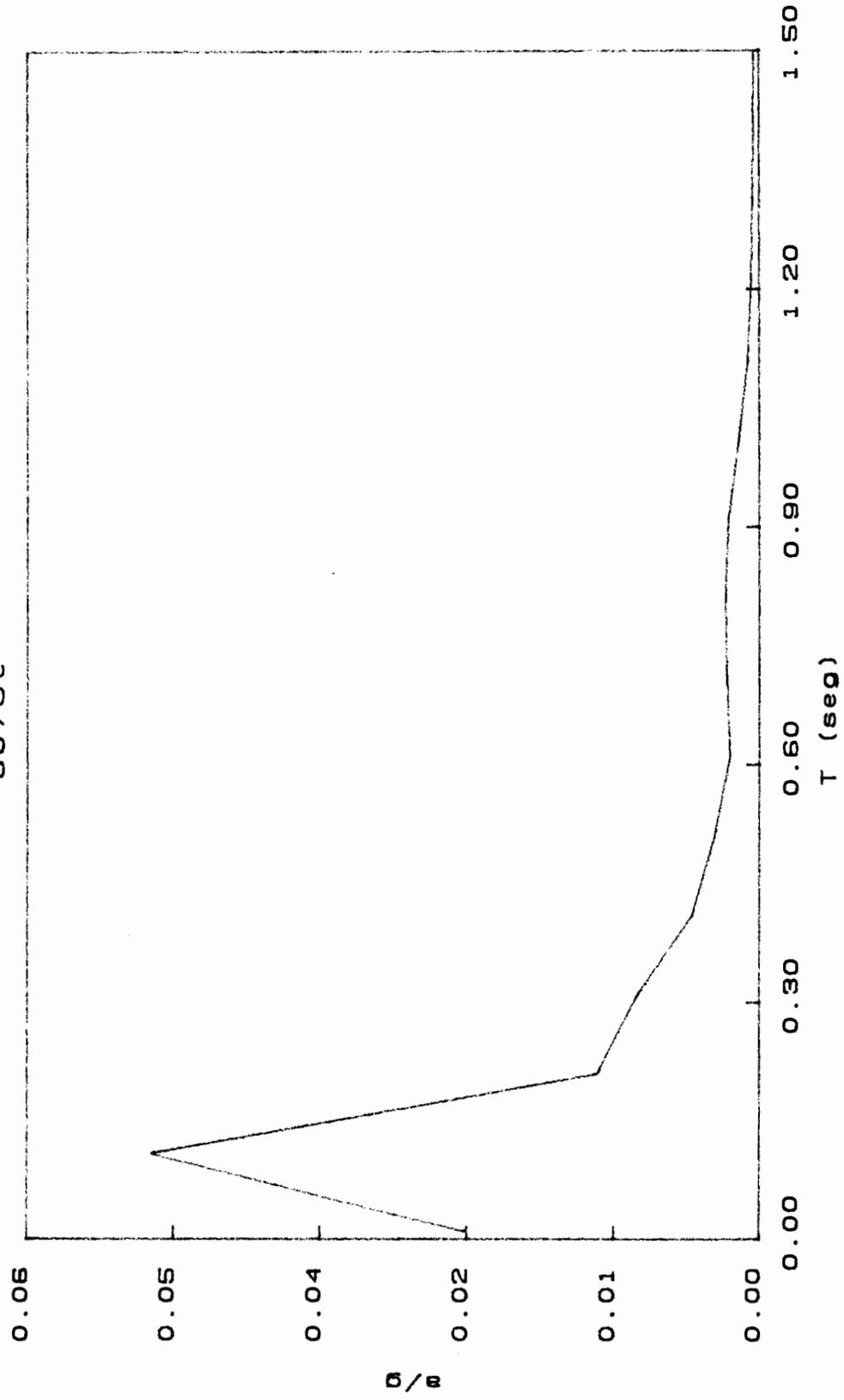
BIBLIOGRAFIA

- 1) ESTEVA, M. Jesús A., TRABAJO DE INVESTIGACION I, D.E.P.F.I., U.N.A.M., 1990.
- 2) ANDERSON, J., et al., FURTHER RESULTS OF THE GUERRERO STRONG MOTION ACCELEROGRAPH ARRAY, S.M.I.S 1990.
- 3) ROSENBLUETH, E. EFECTOS DEL COMPONENTE SISMICO VERTICAL EN EDIFICIOS ALTOS, IV Congreso Nacional de Ingenieria Sísmica, Oaxaca, MEXICO, 1975.
- 4) SOVERO M., Guillermo, UN CRITERIO DE REDUCCION POR DUCTILIDAD DEL COMPONENTE SISMICO VERTICAL, Tesis Doctoral, DEPFI, UNAM, 1986.

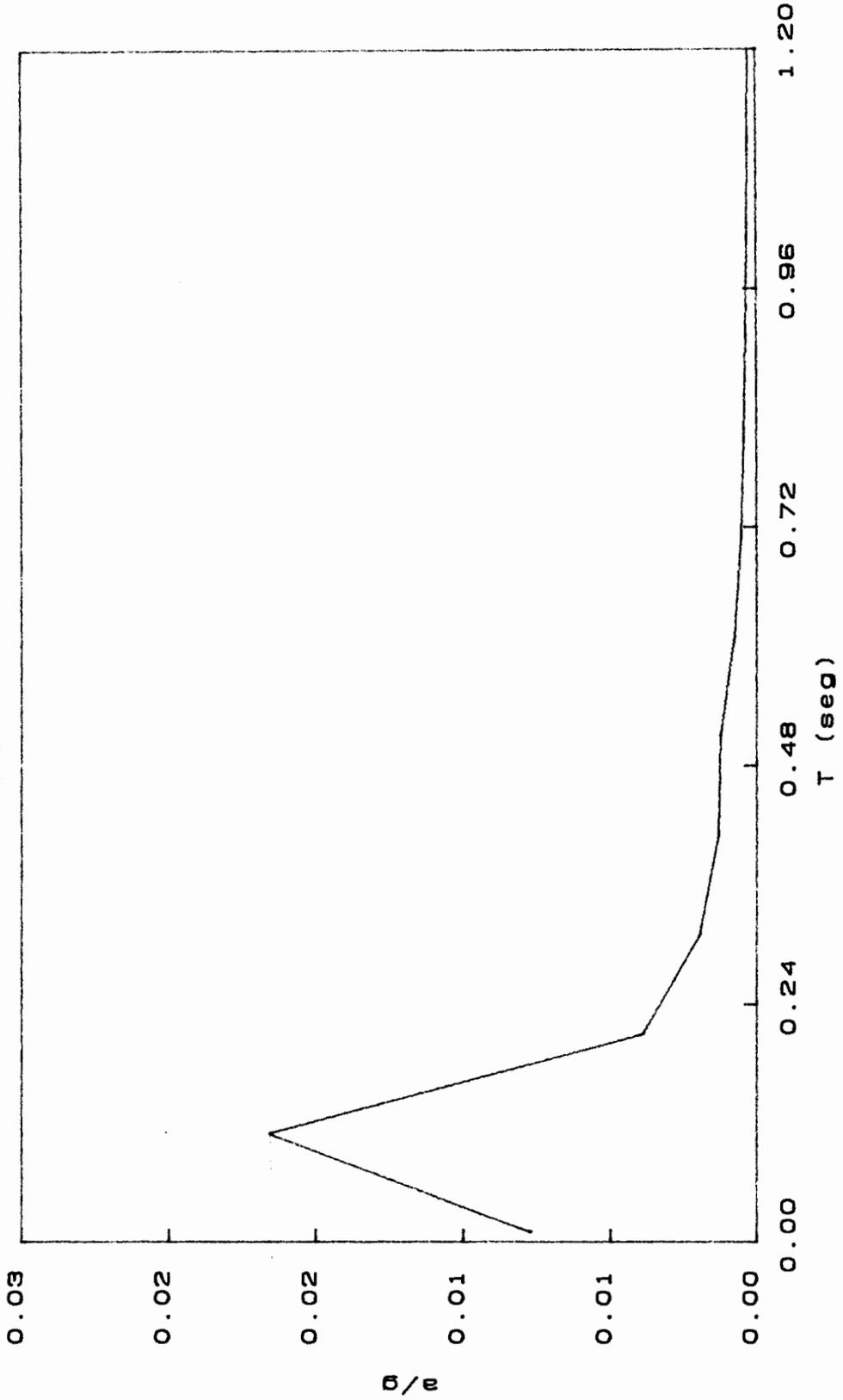
APENDICE A

REGISTROS SISMICOS

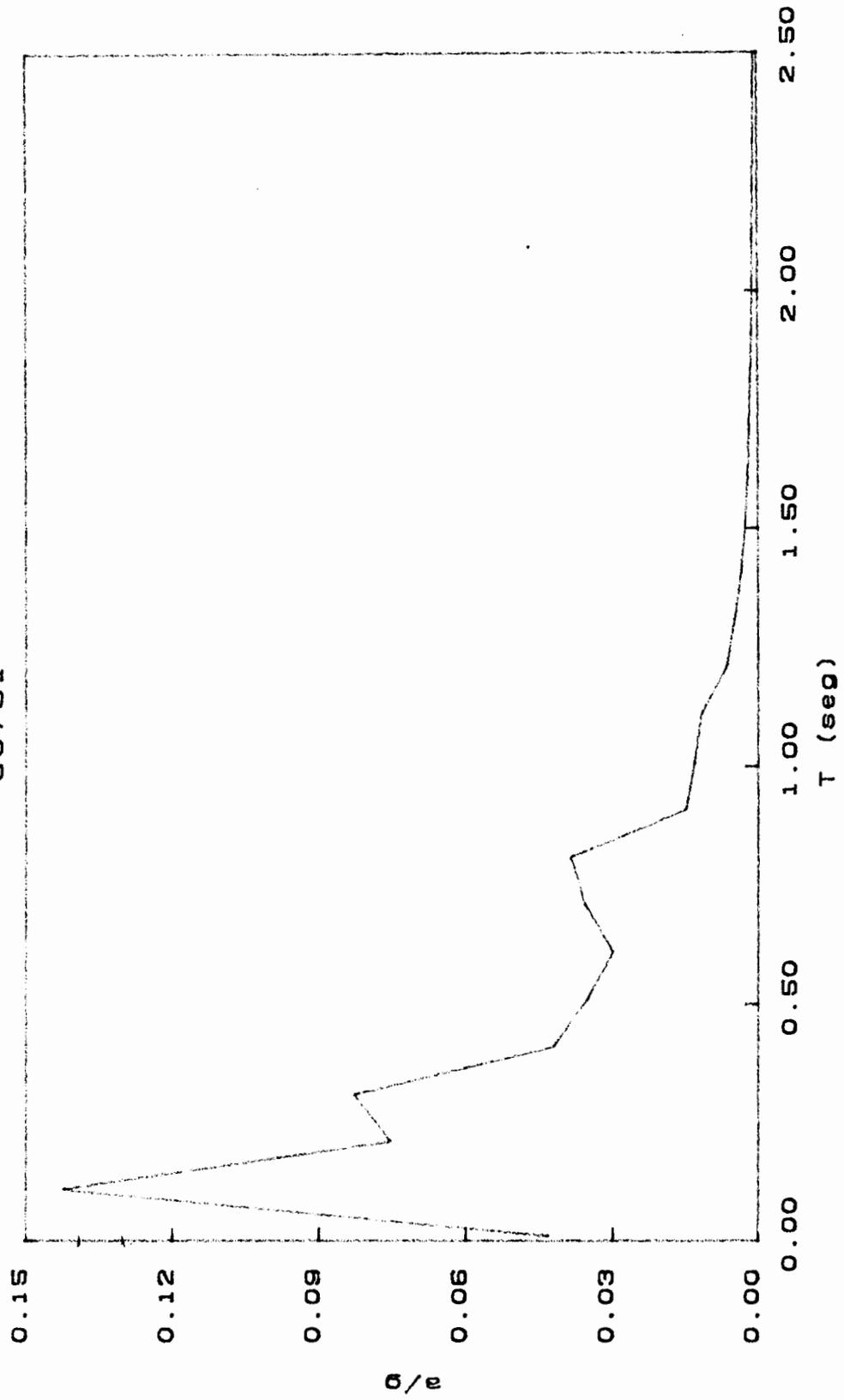
as73t



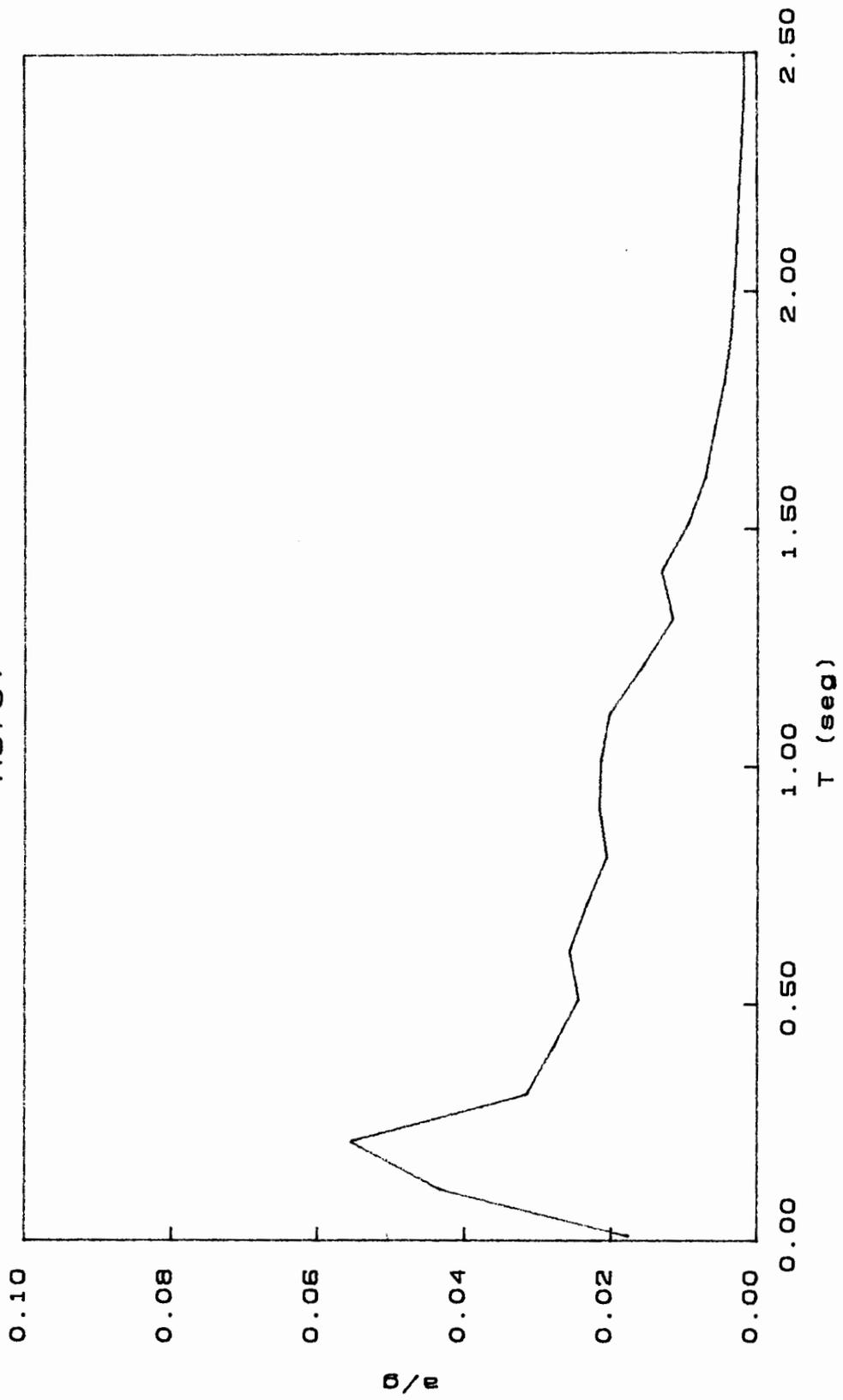
AS73V



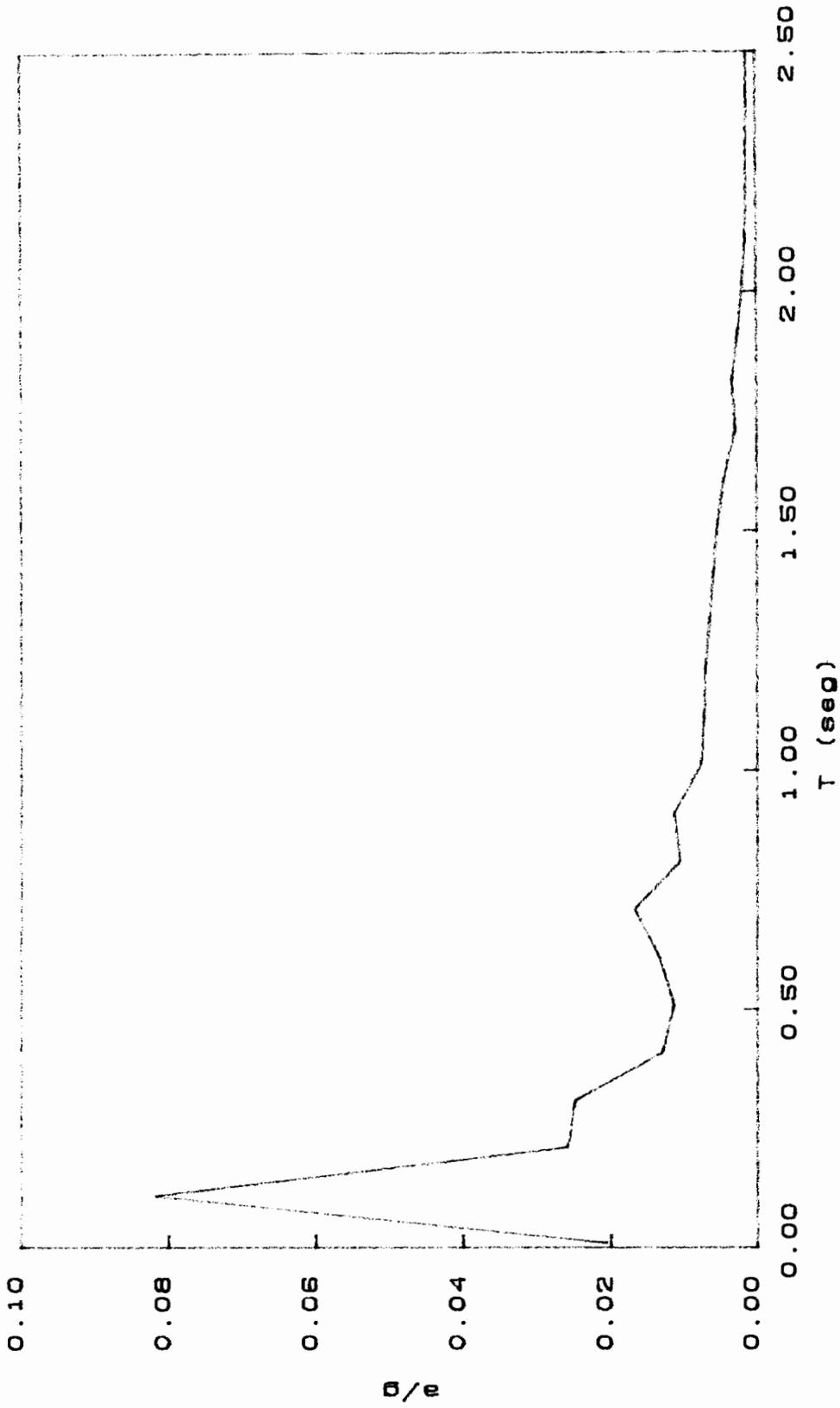
as791



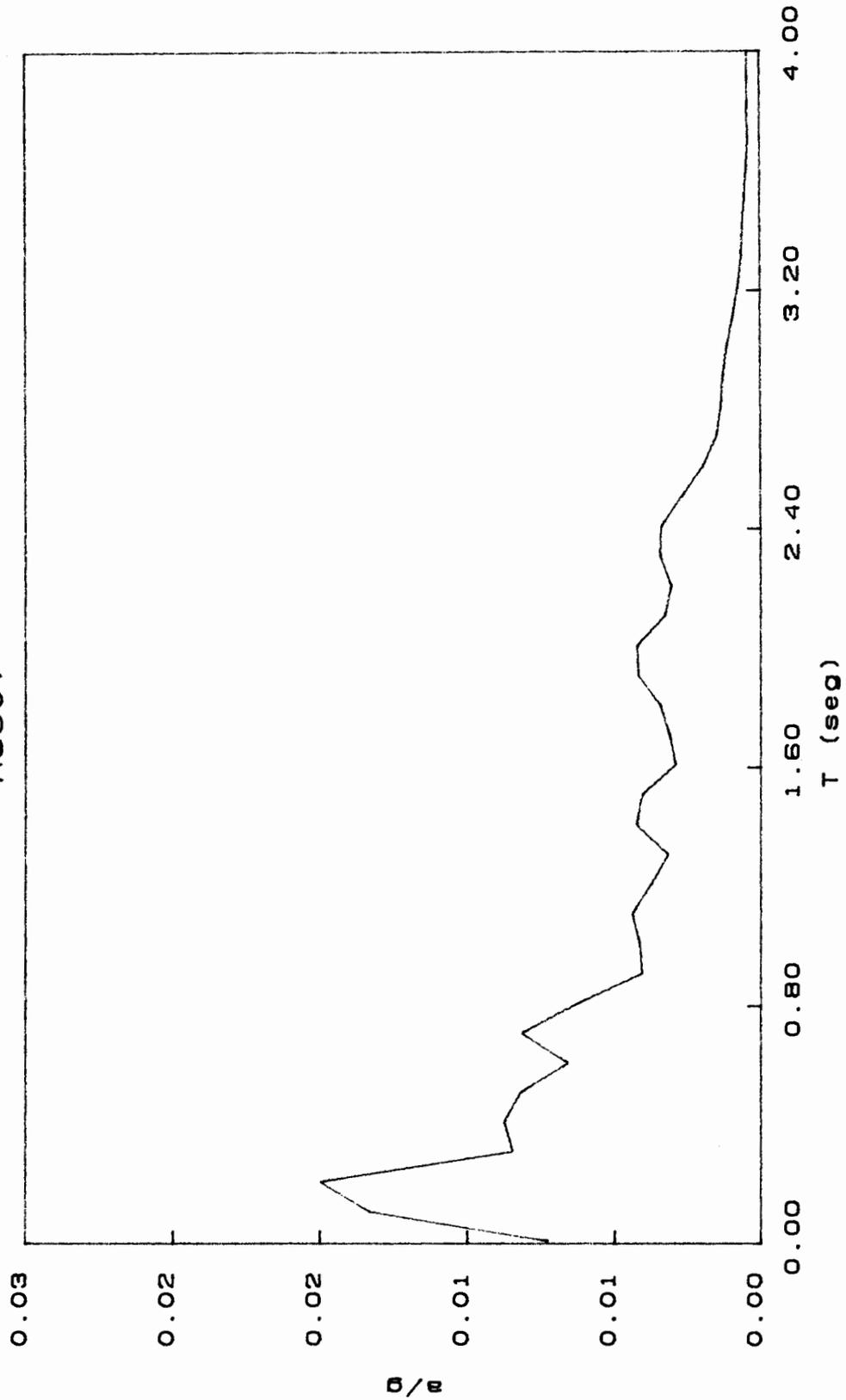
AS79V



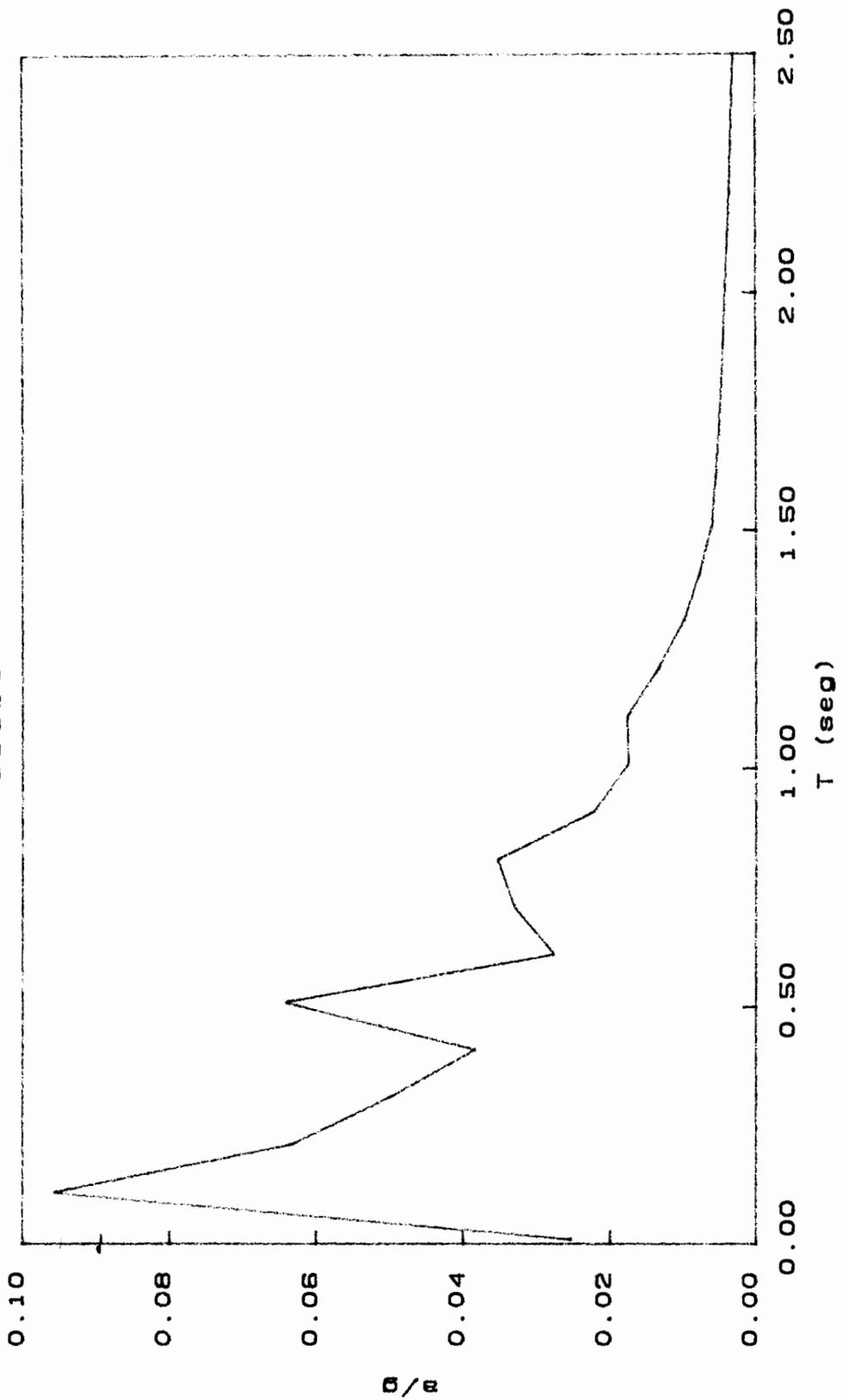
as80t



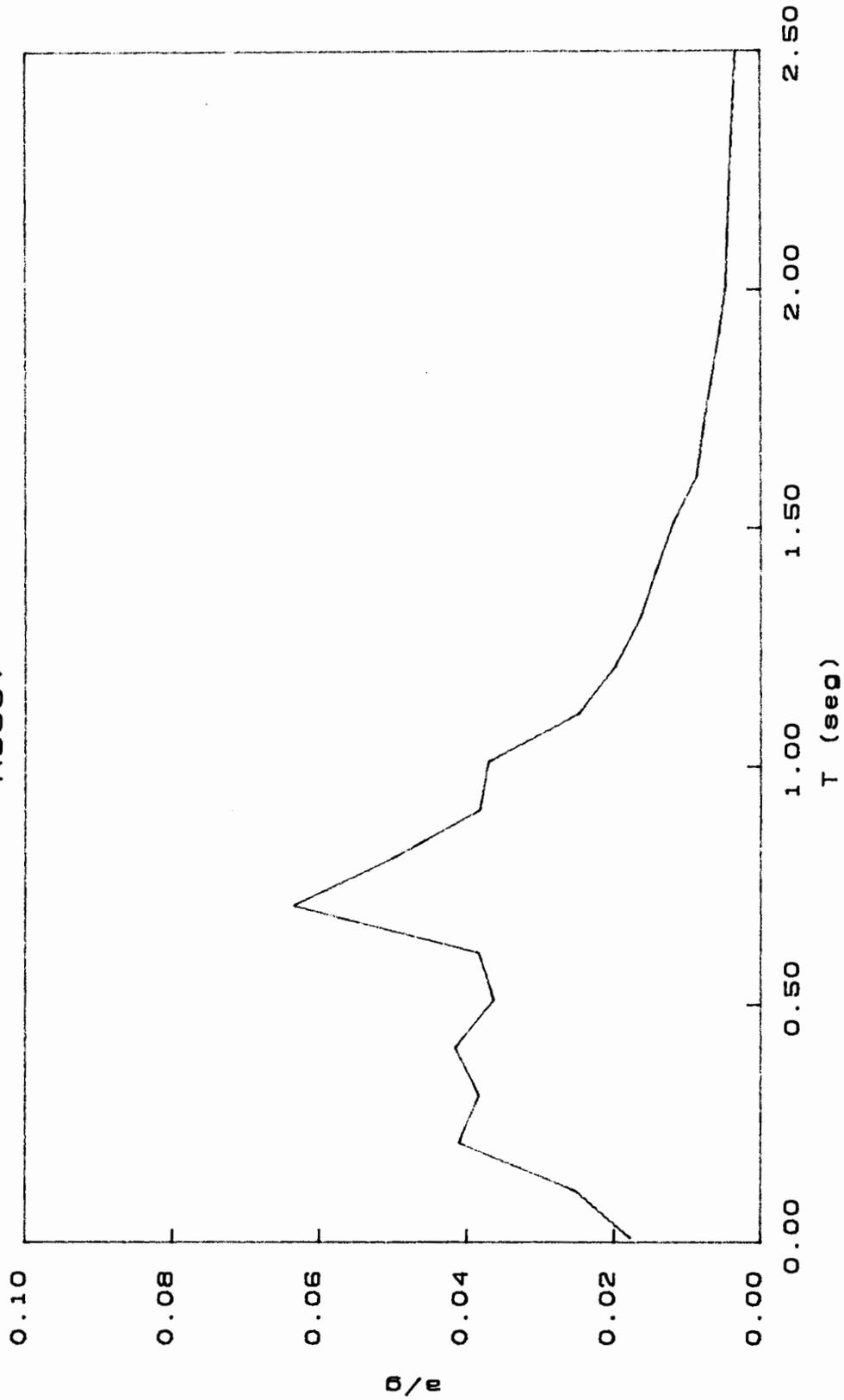
AS80V



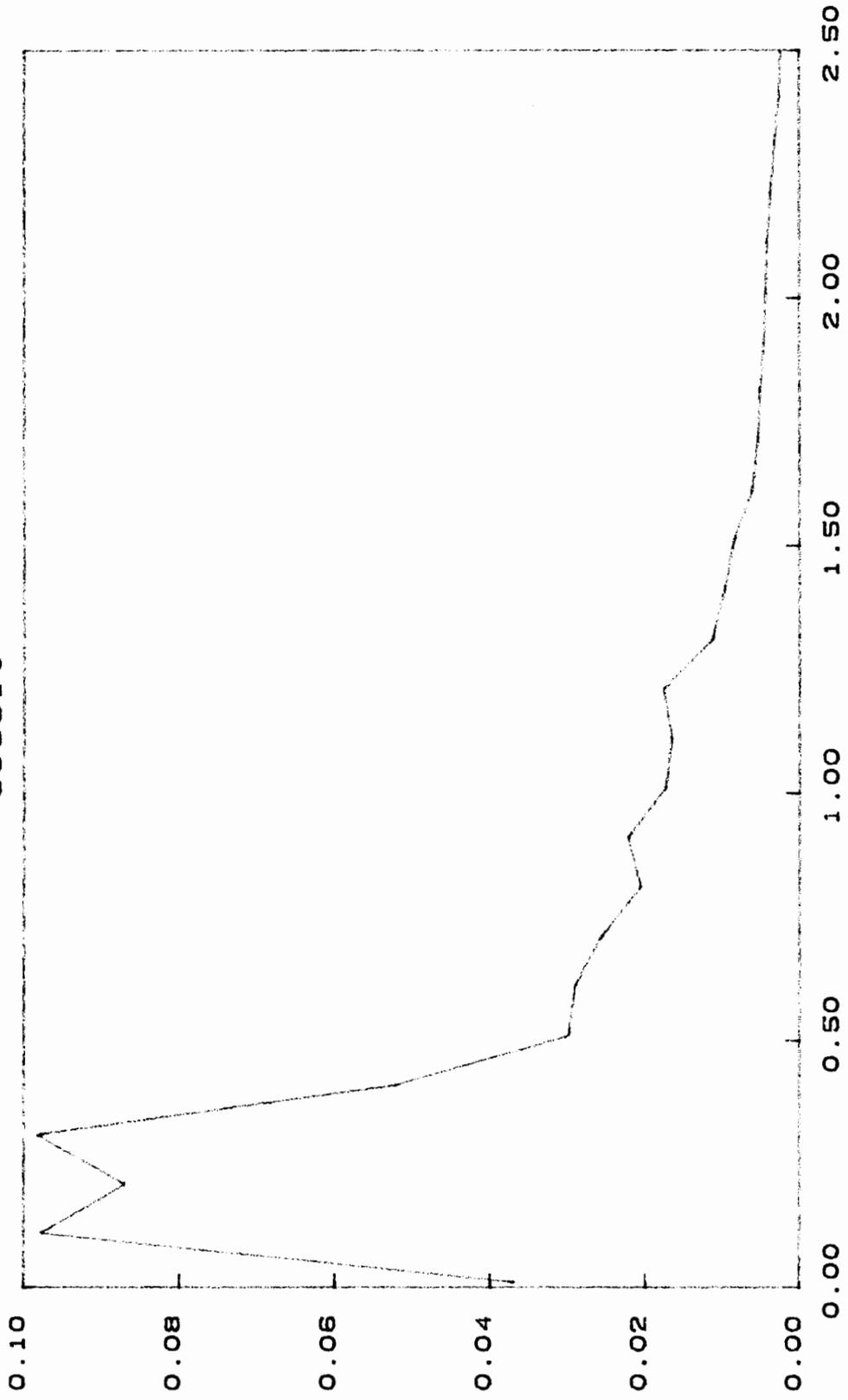
as85t



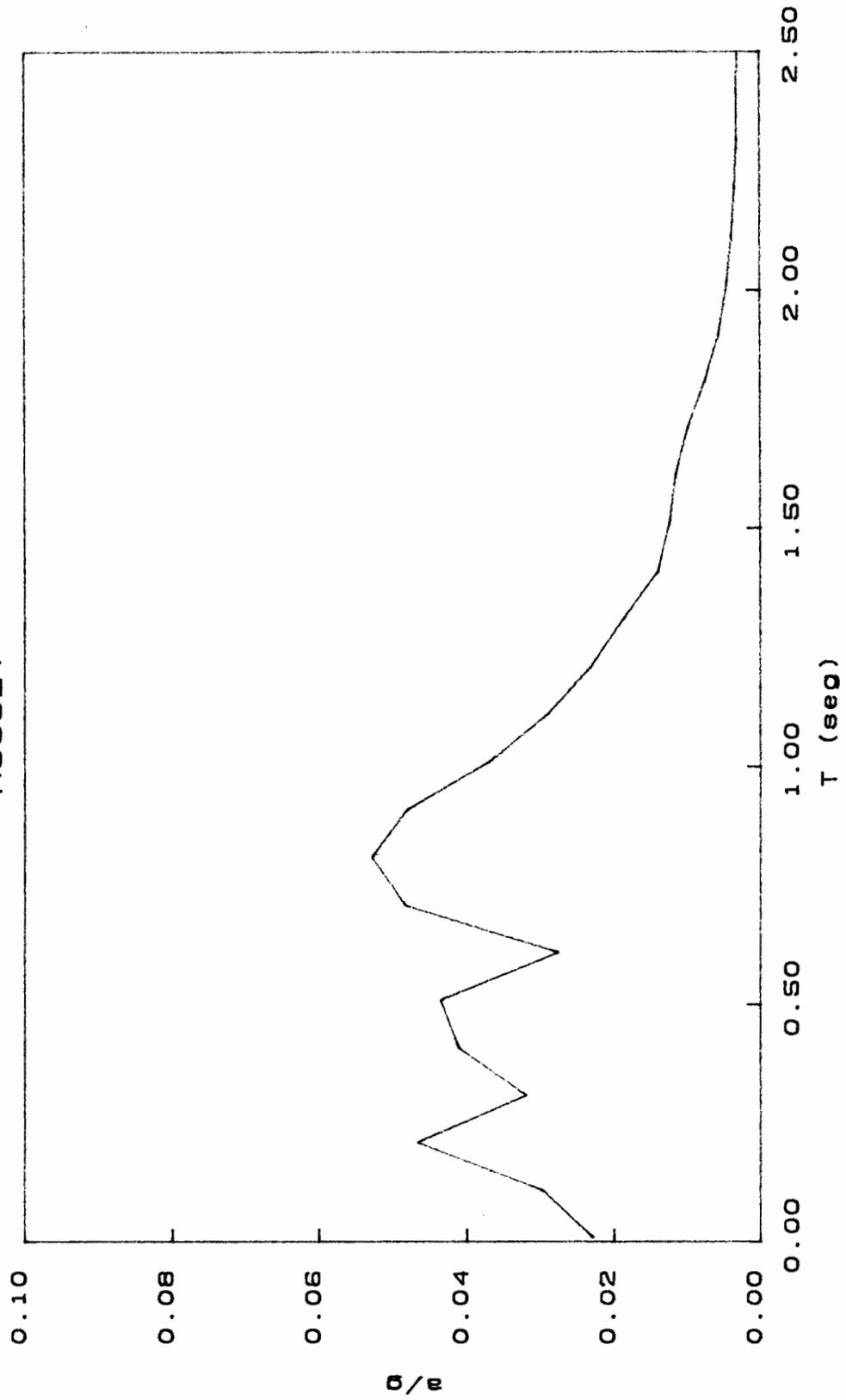
AS85V



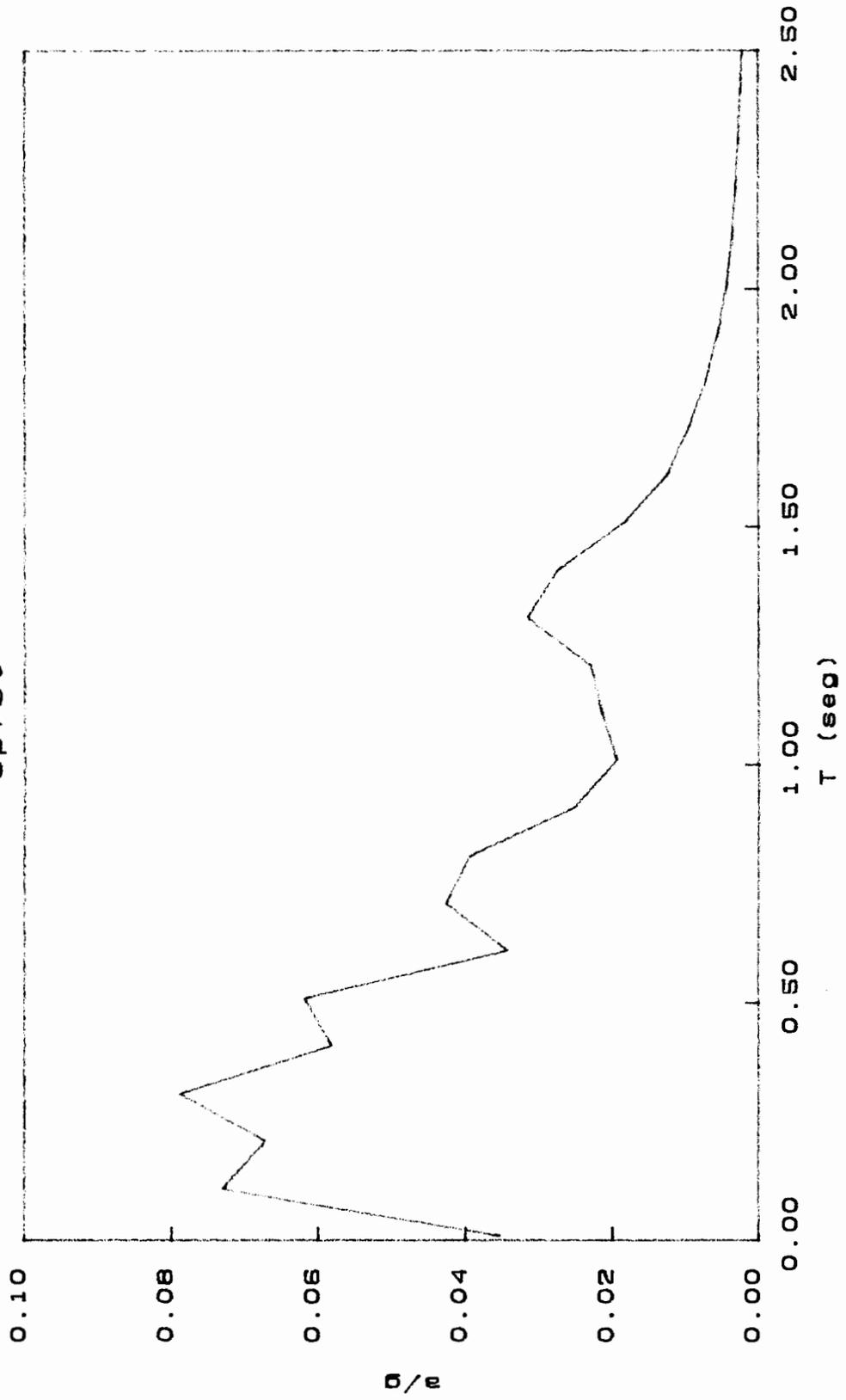
as851t



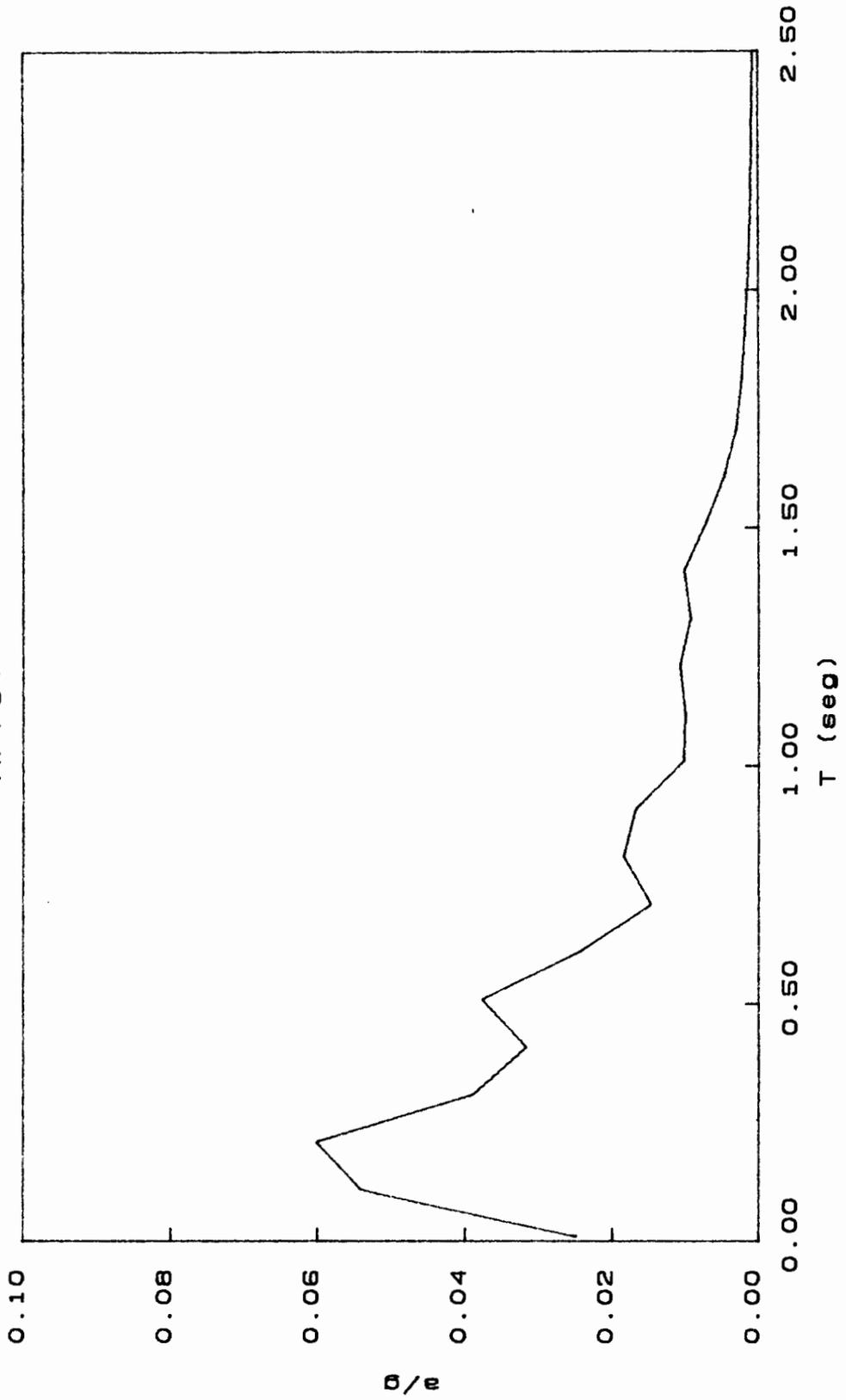
AS85IV



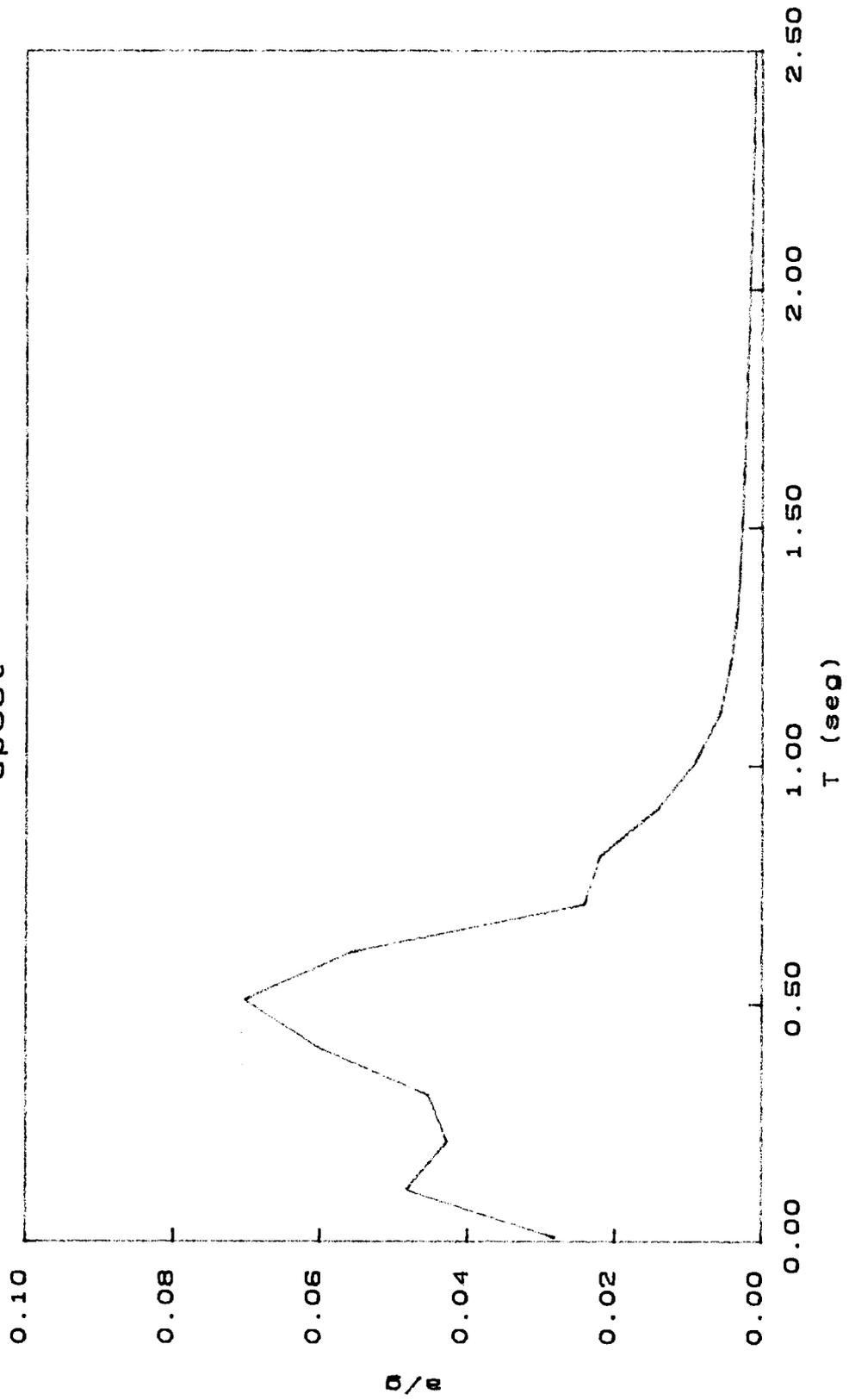
ap79t



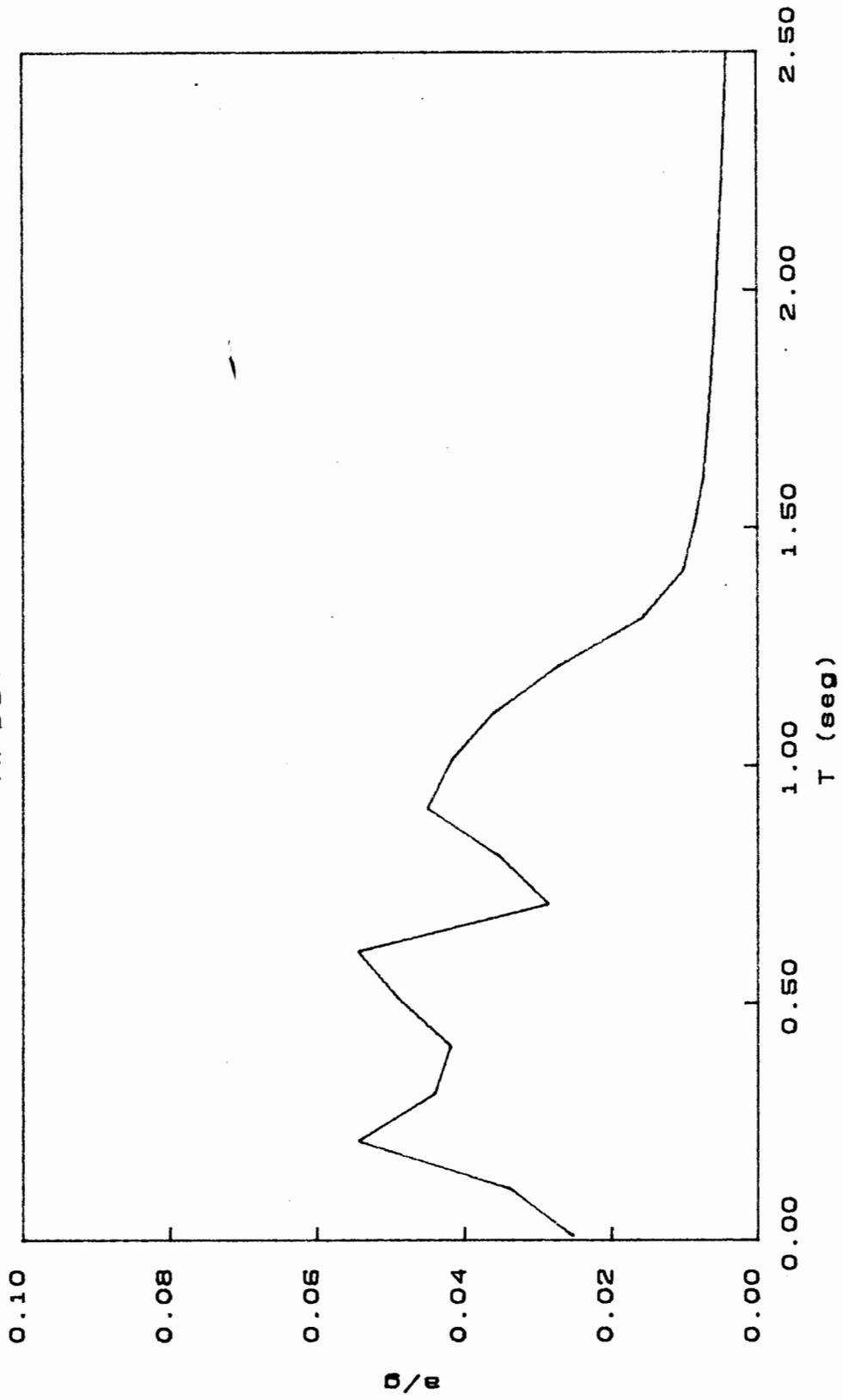
AP79V



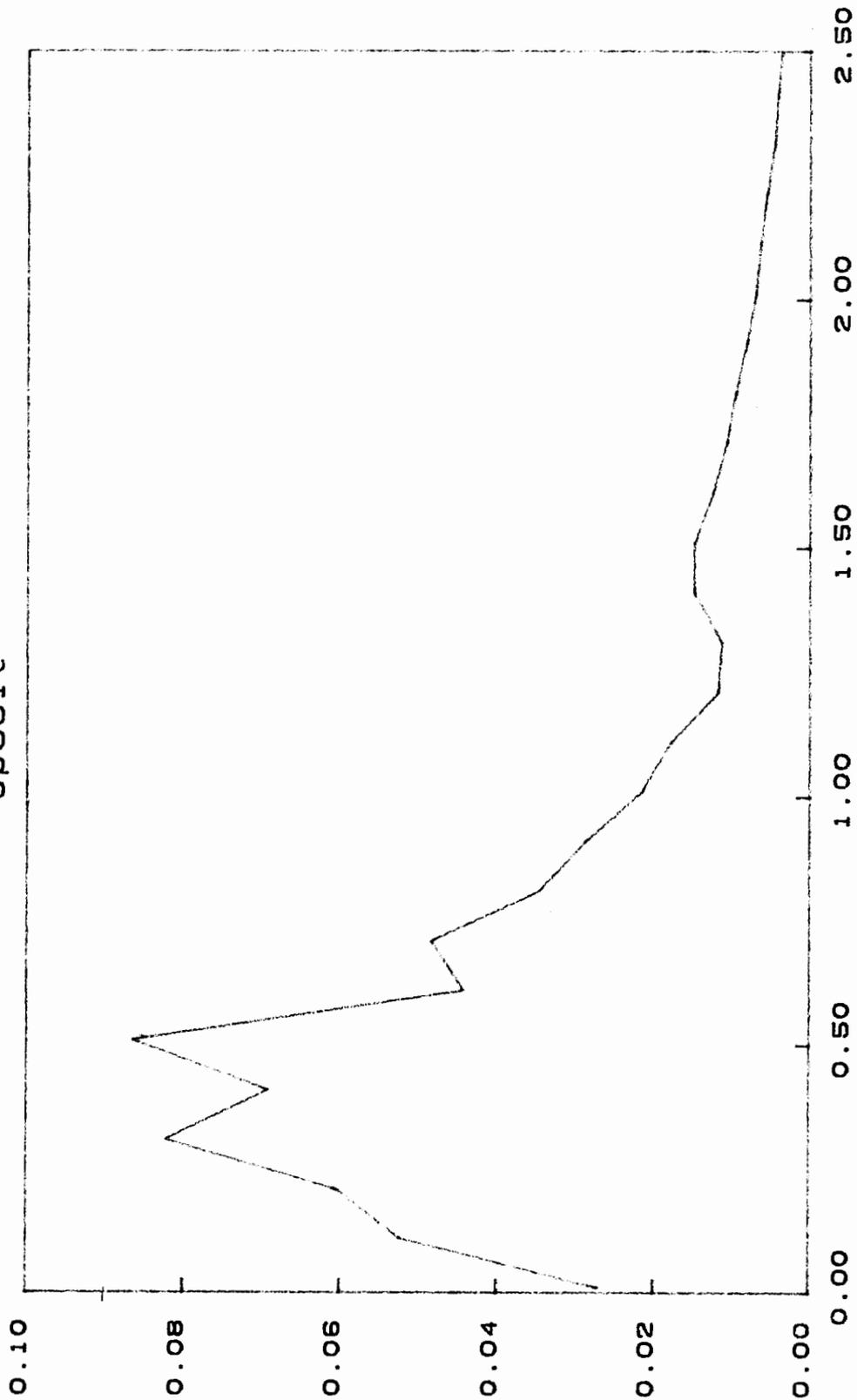
ap85t



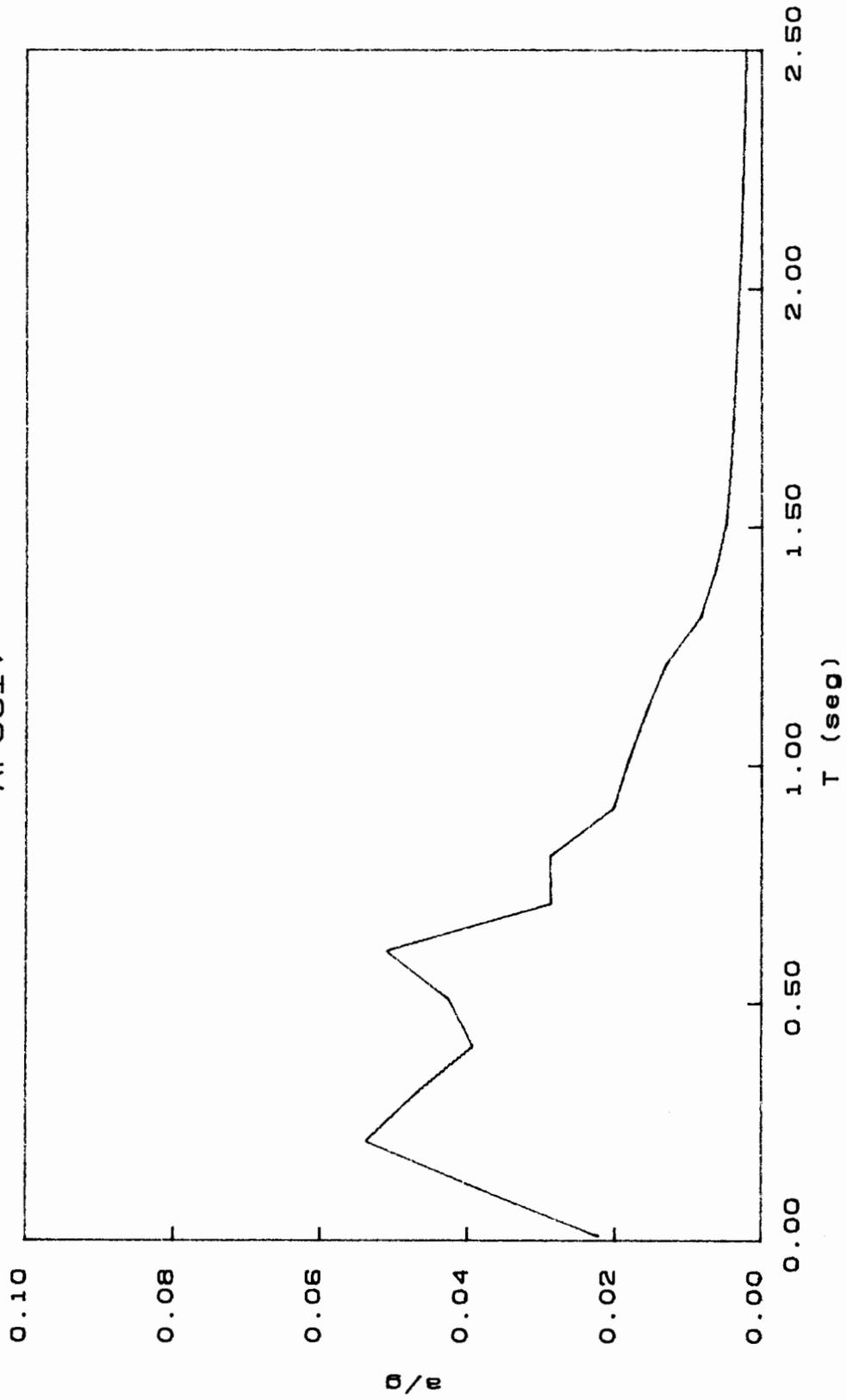
AP85V



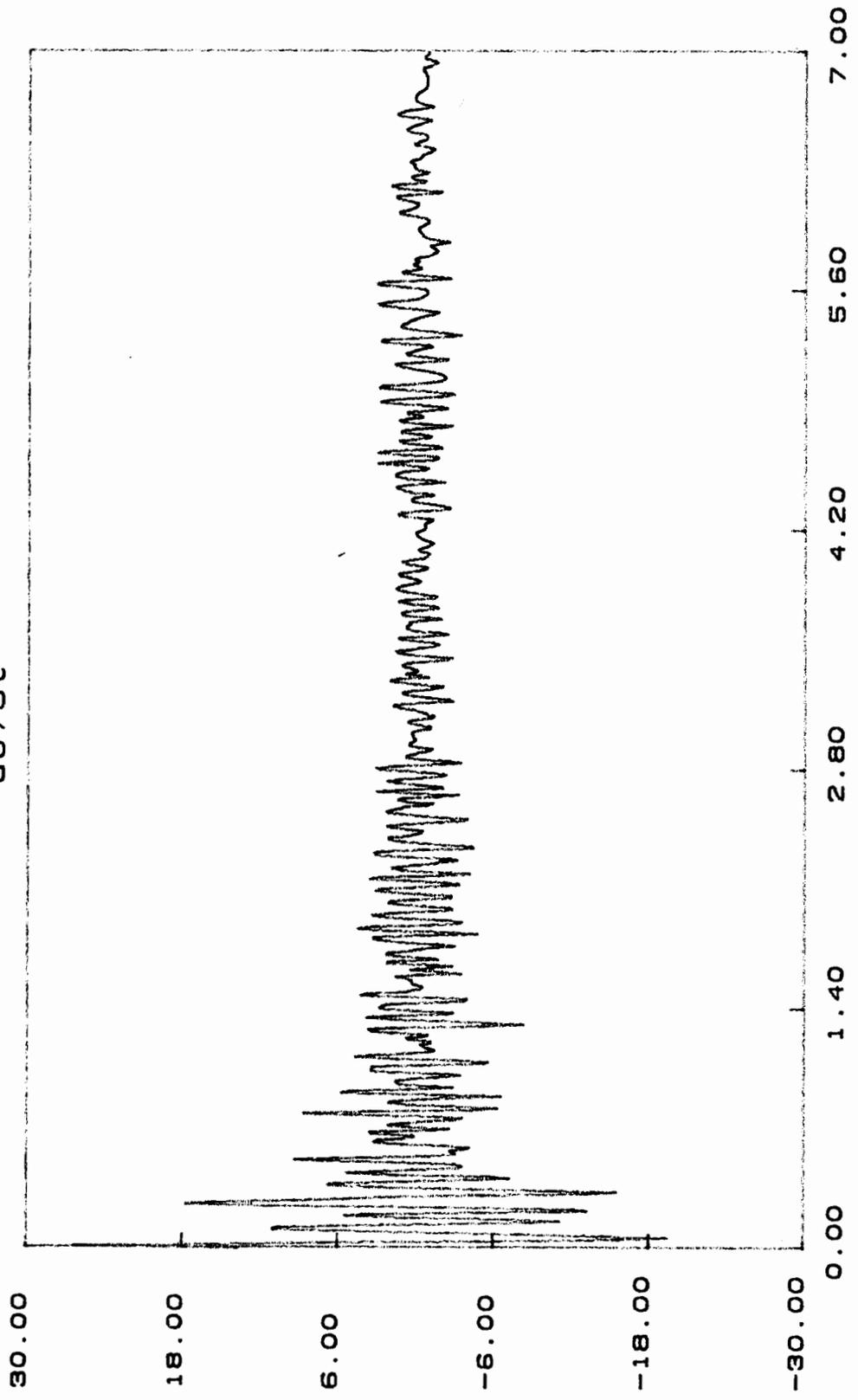
ap851t



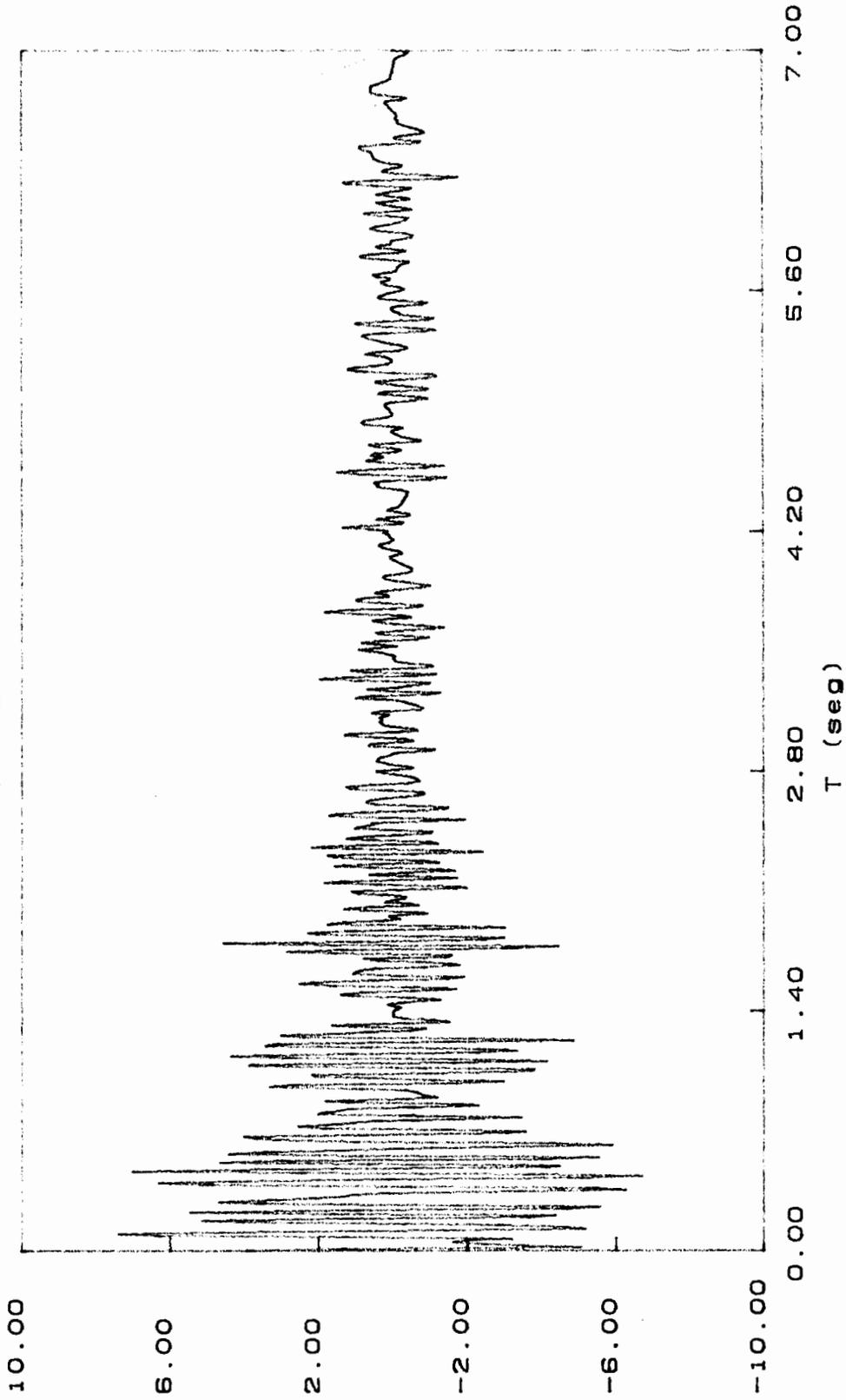
AP85IV



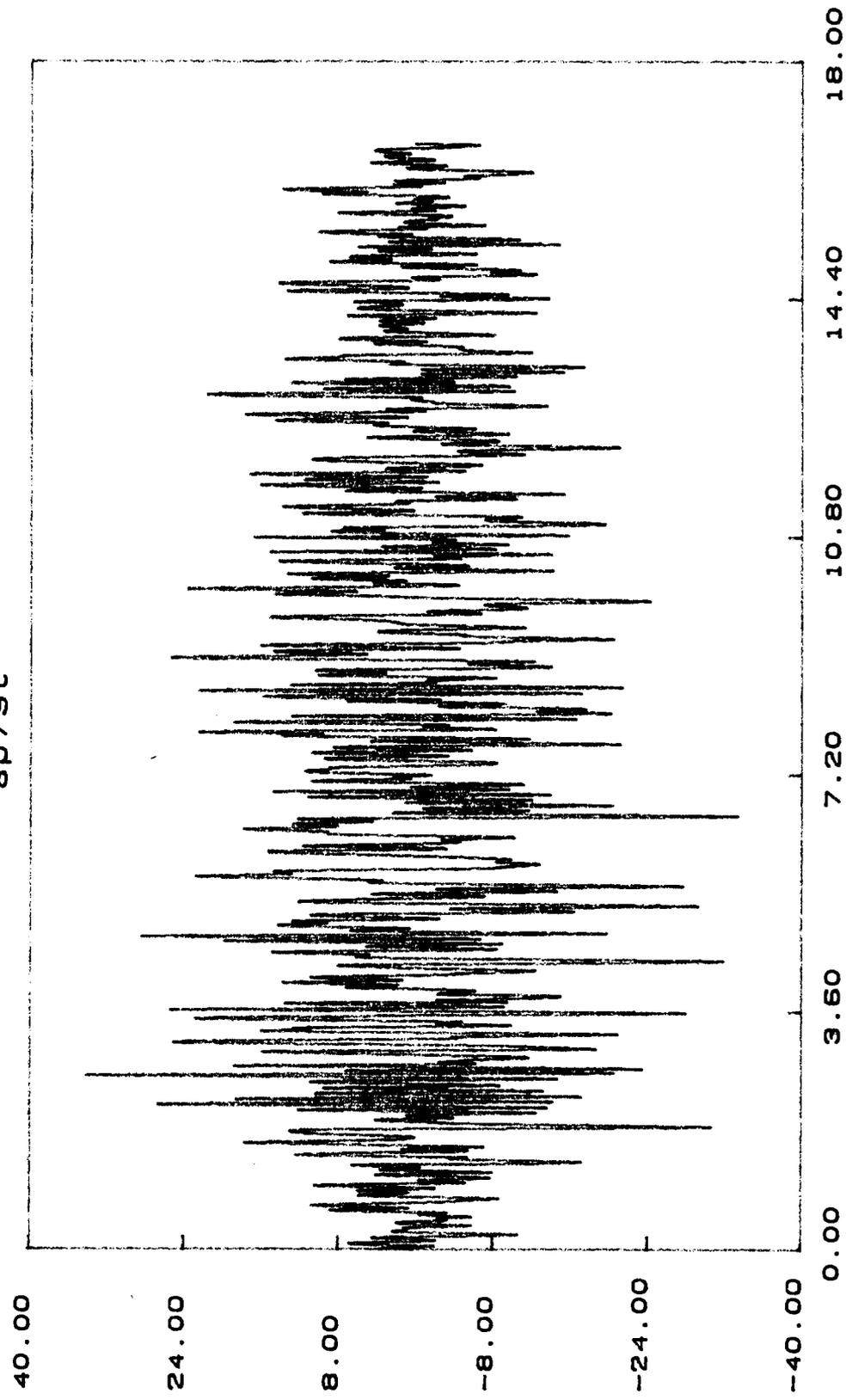
as73t



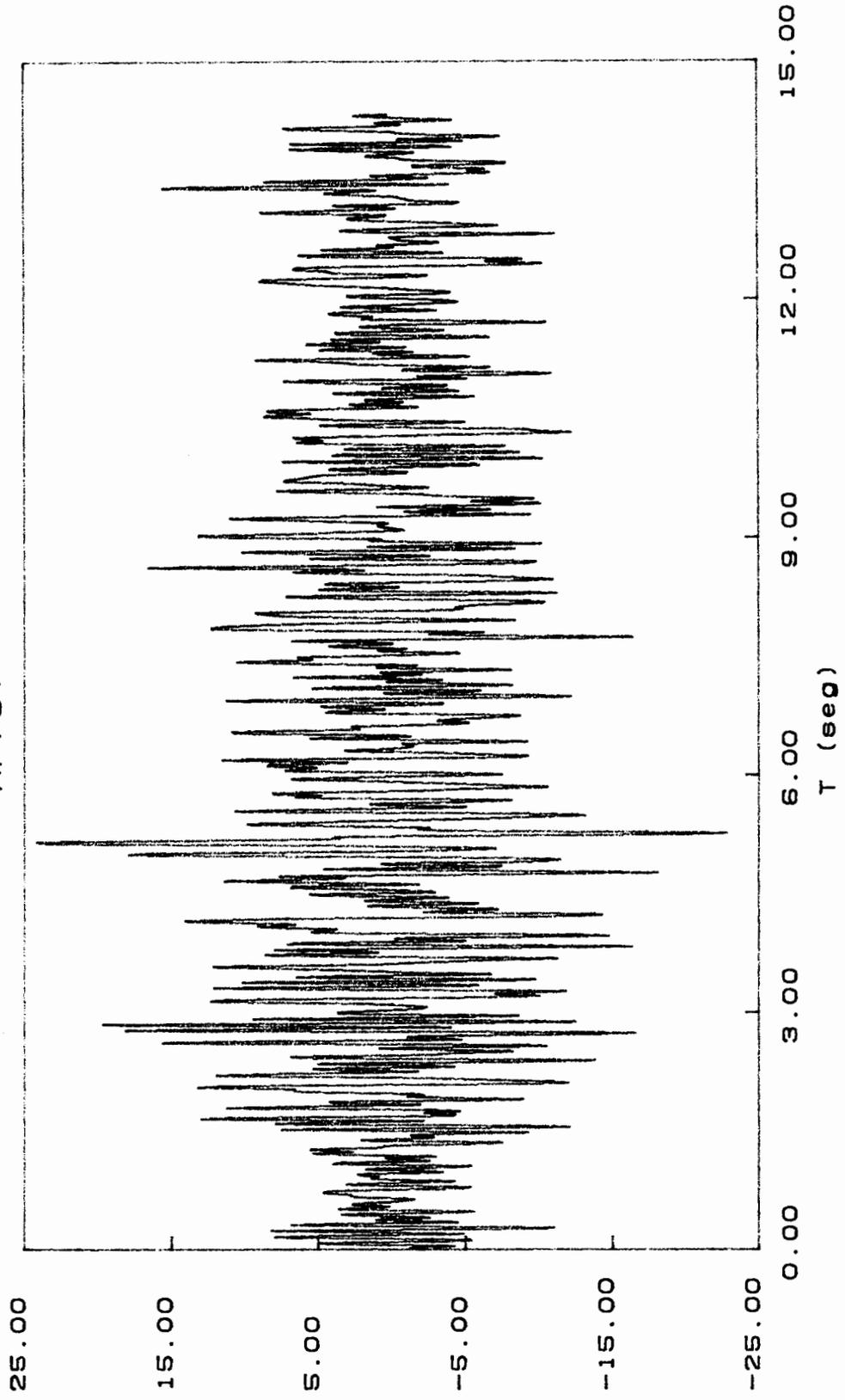
AS73V



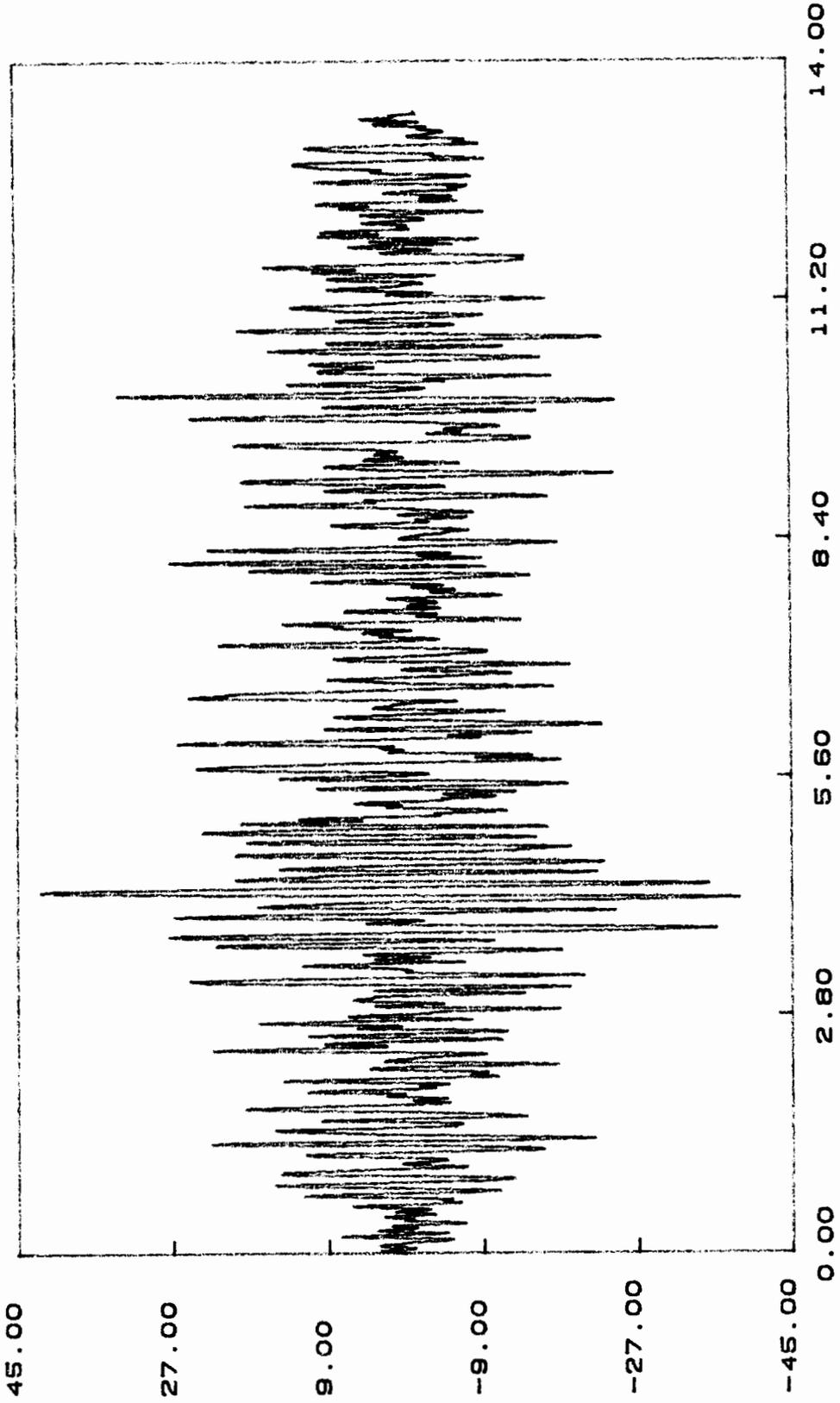
ap79t



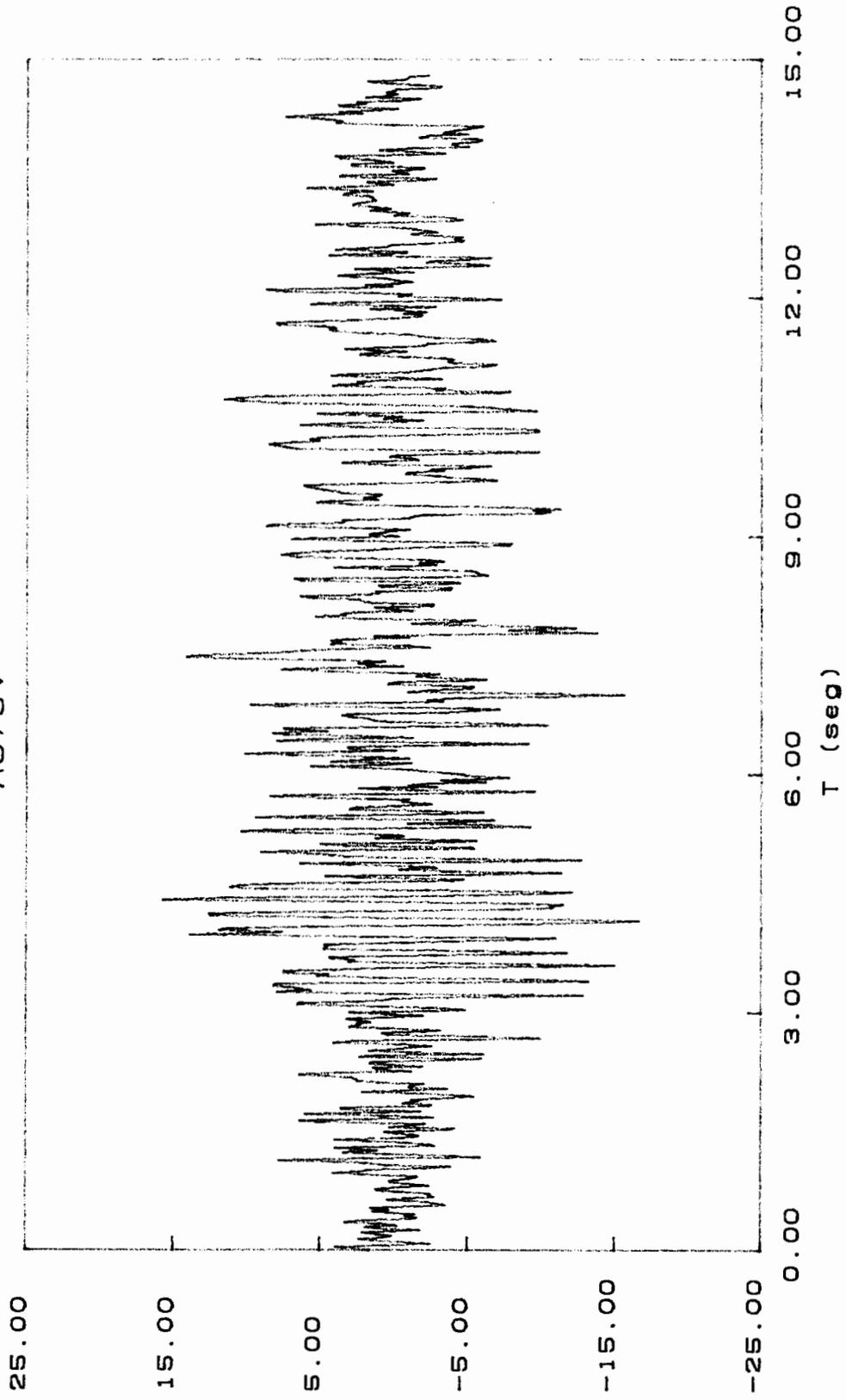
AP79V



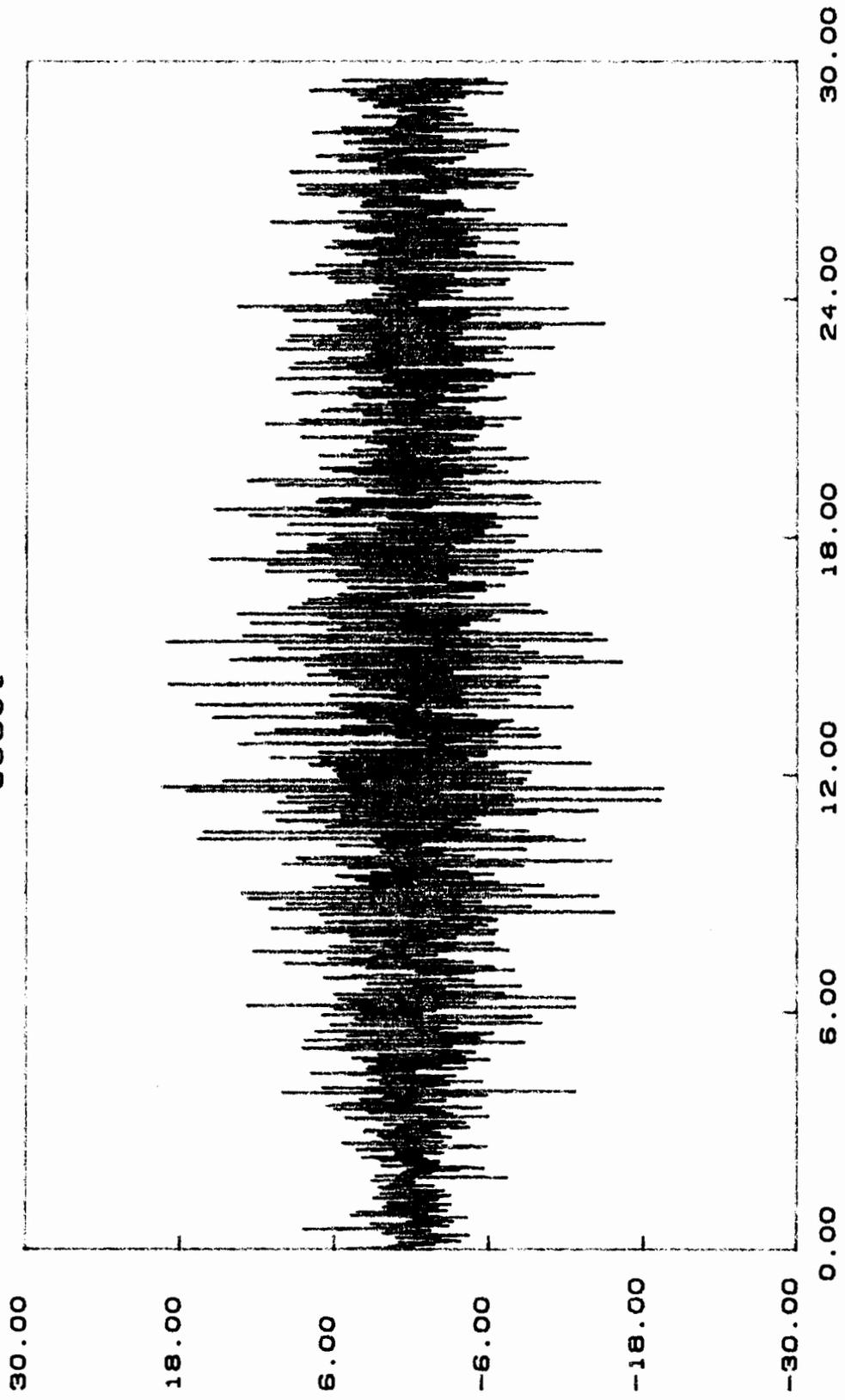
as791



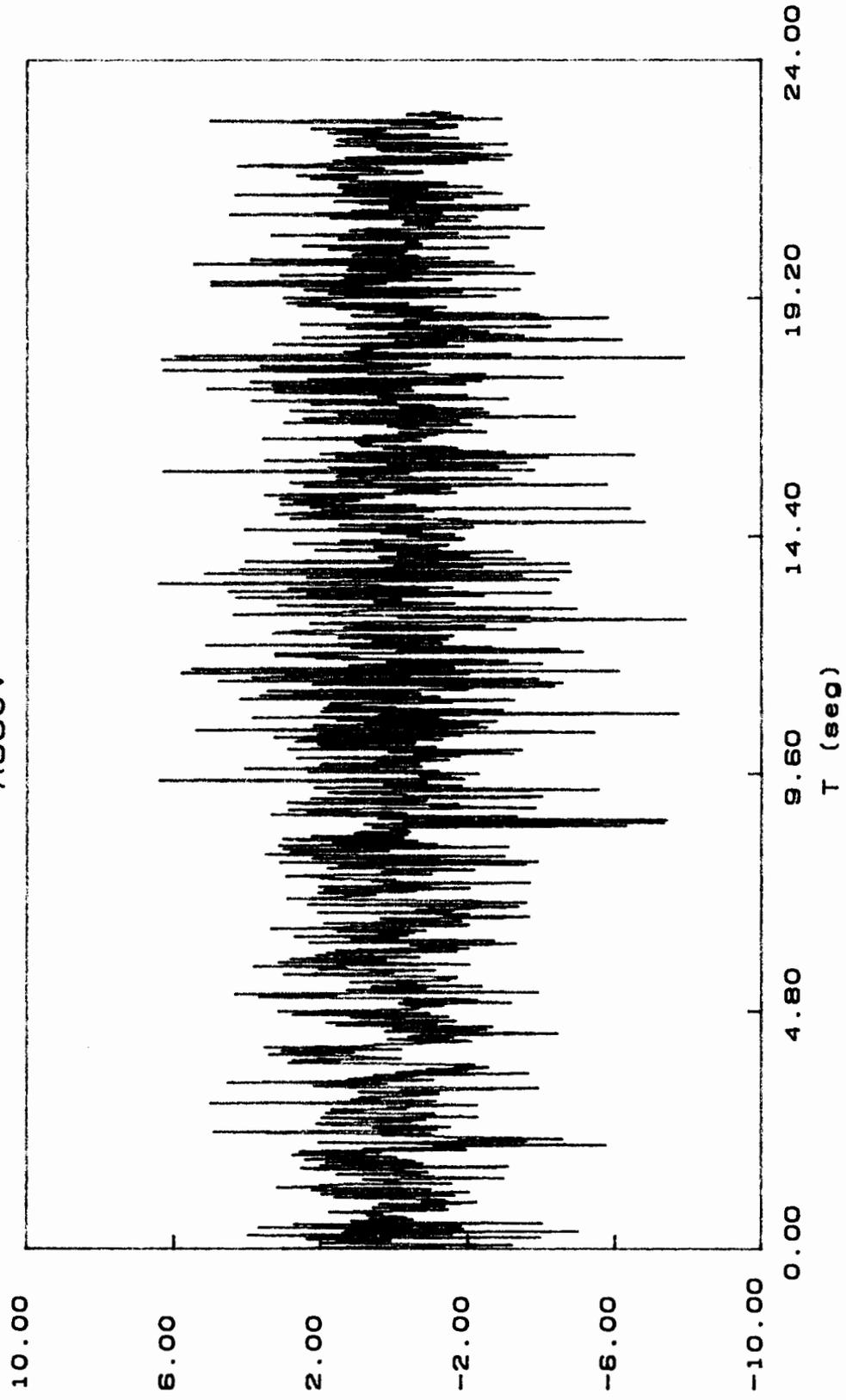
AS79V



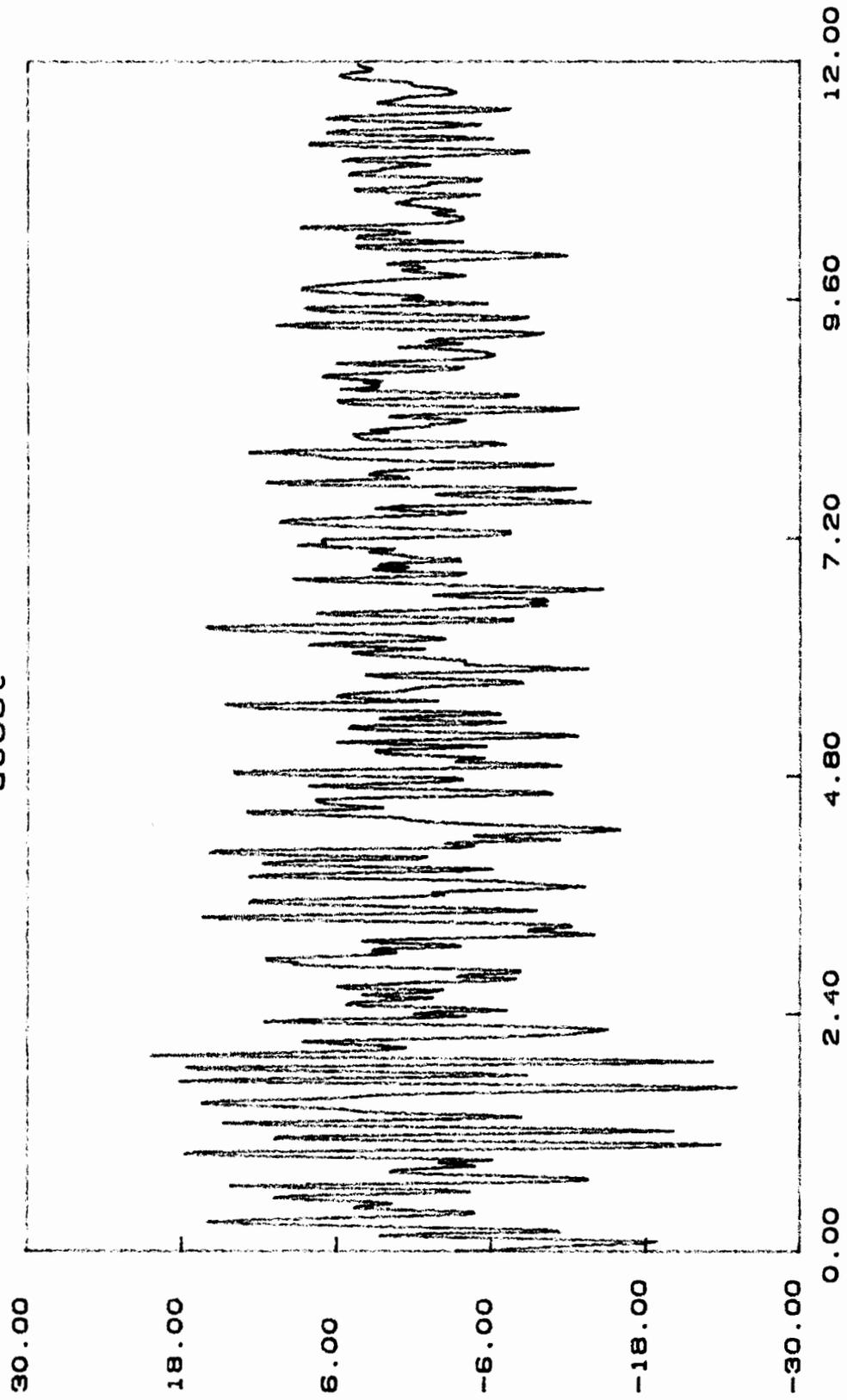
as80t



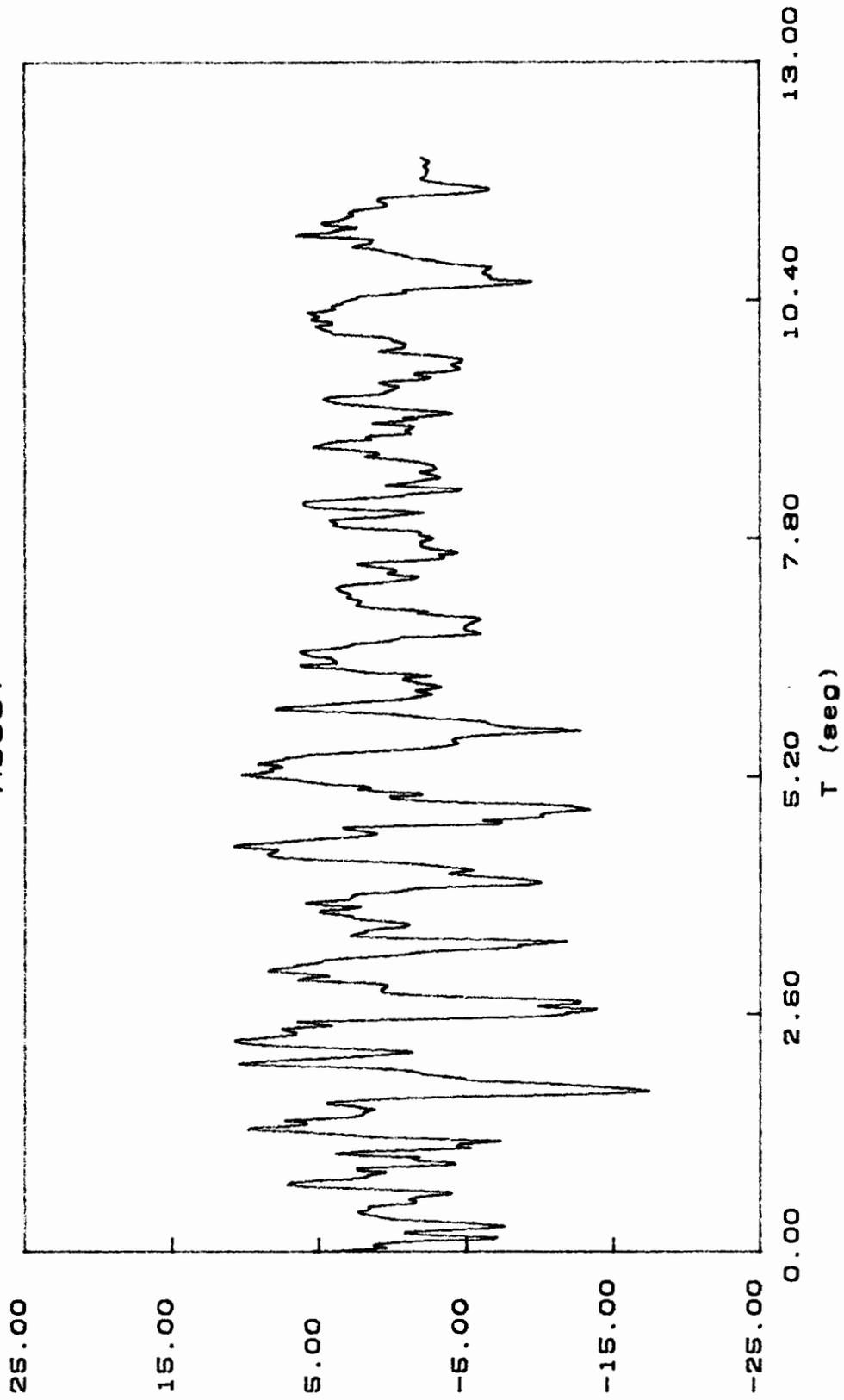
AS80V



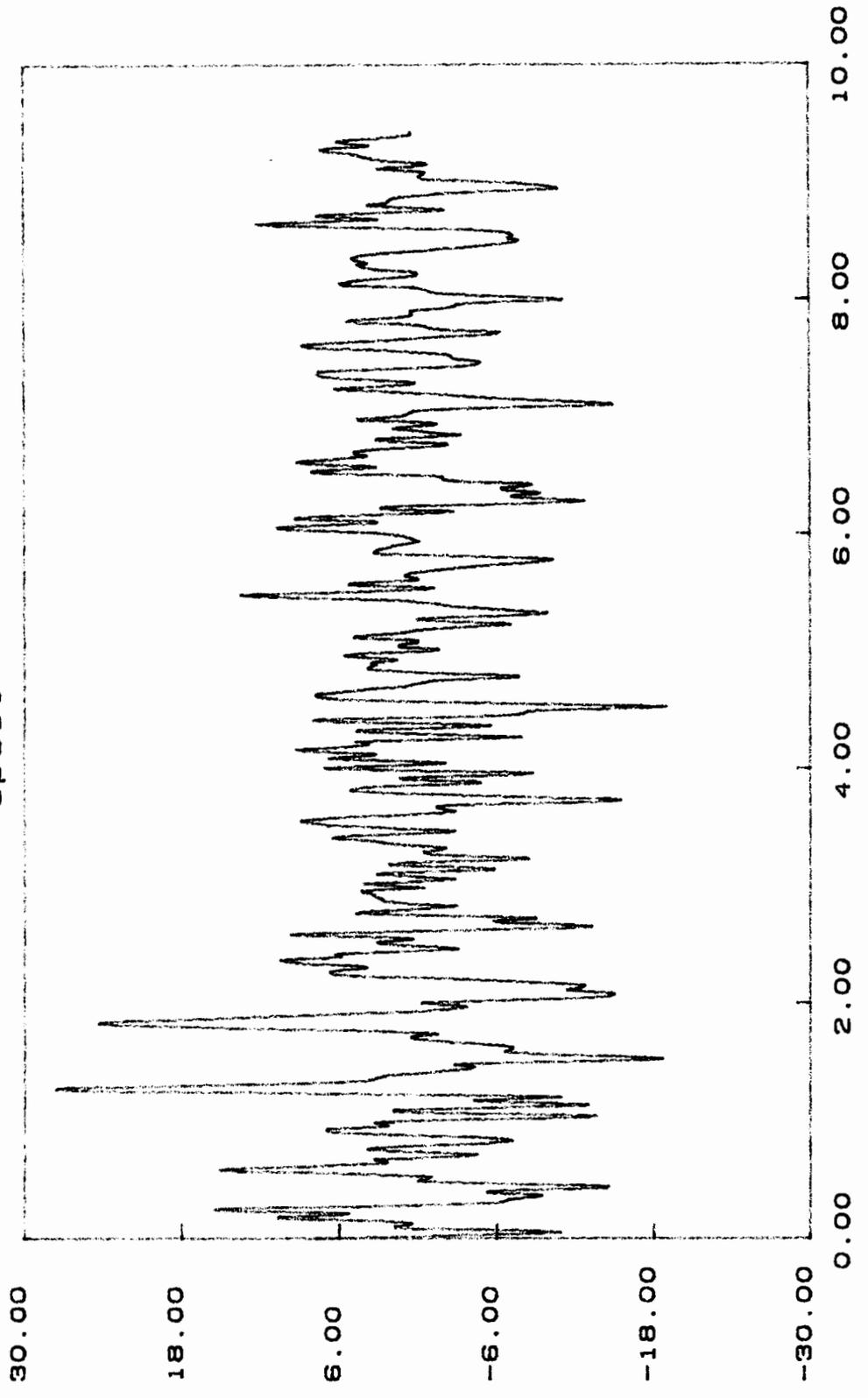
as85t



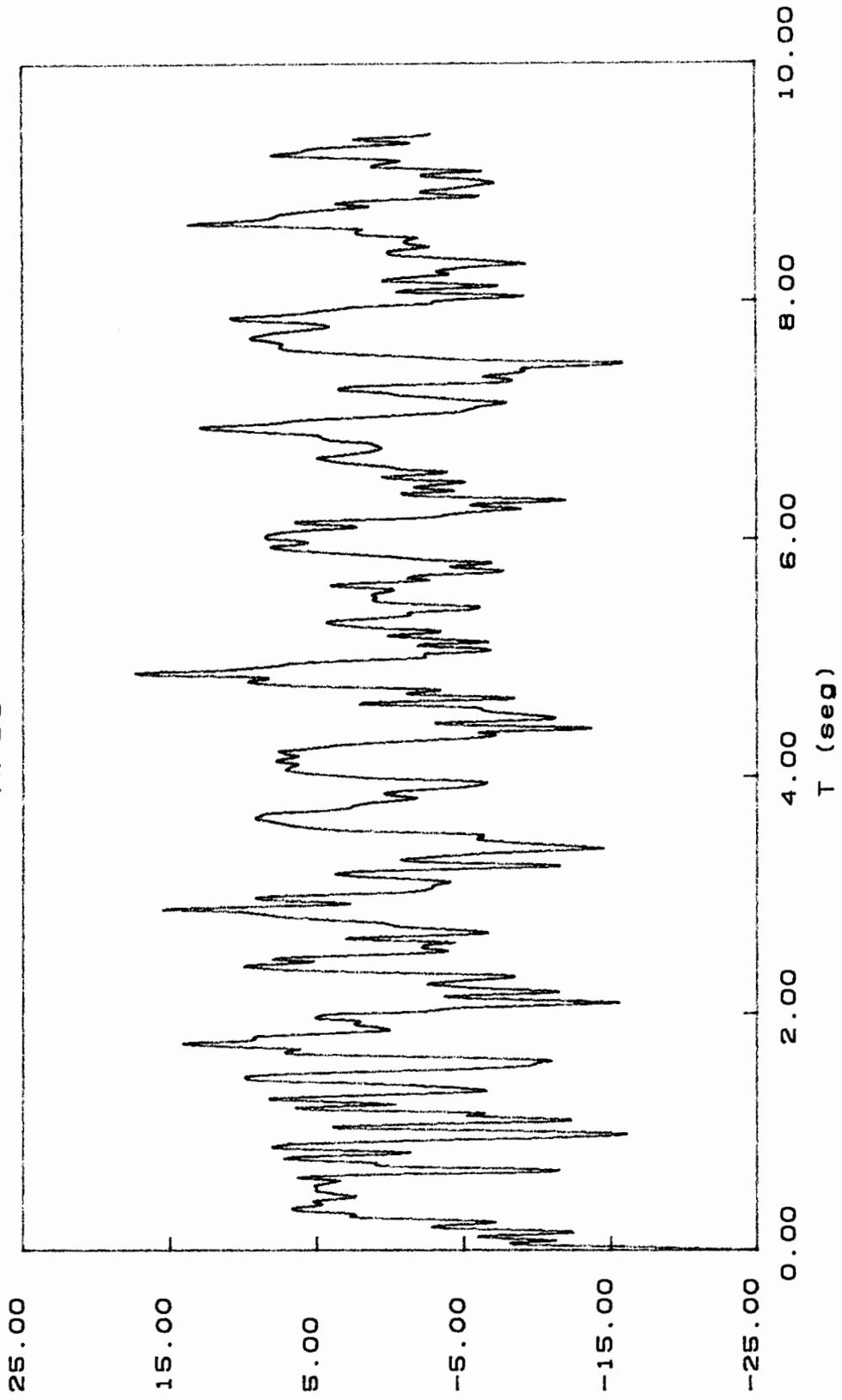
AS85V



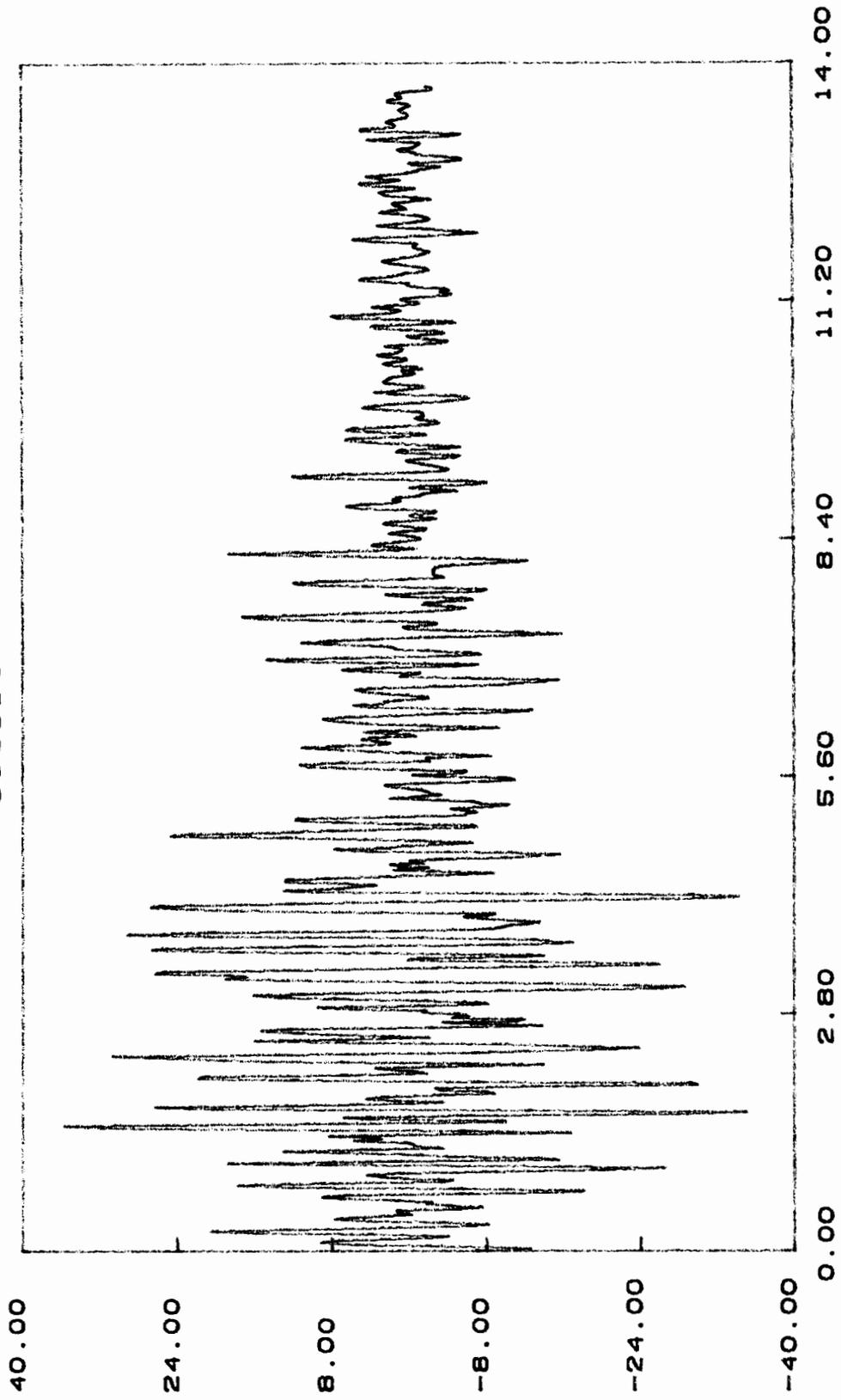
ap85t



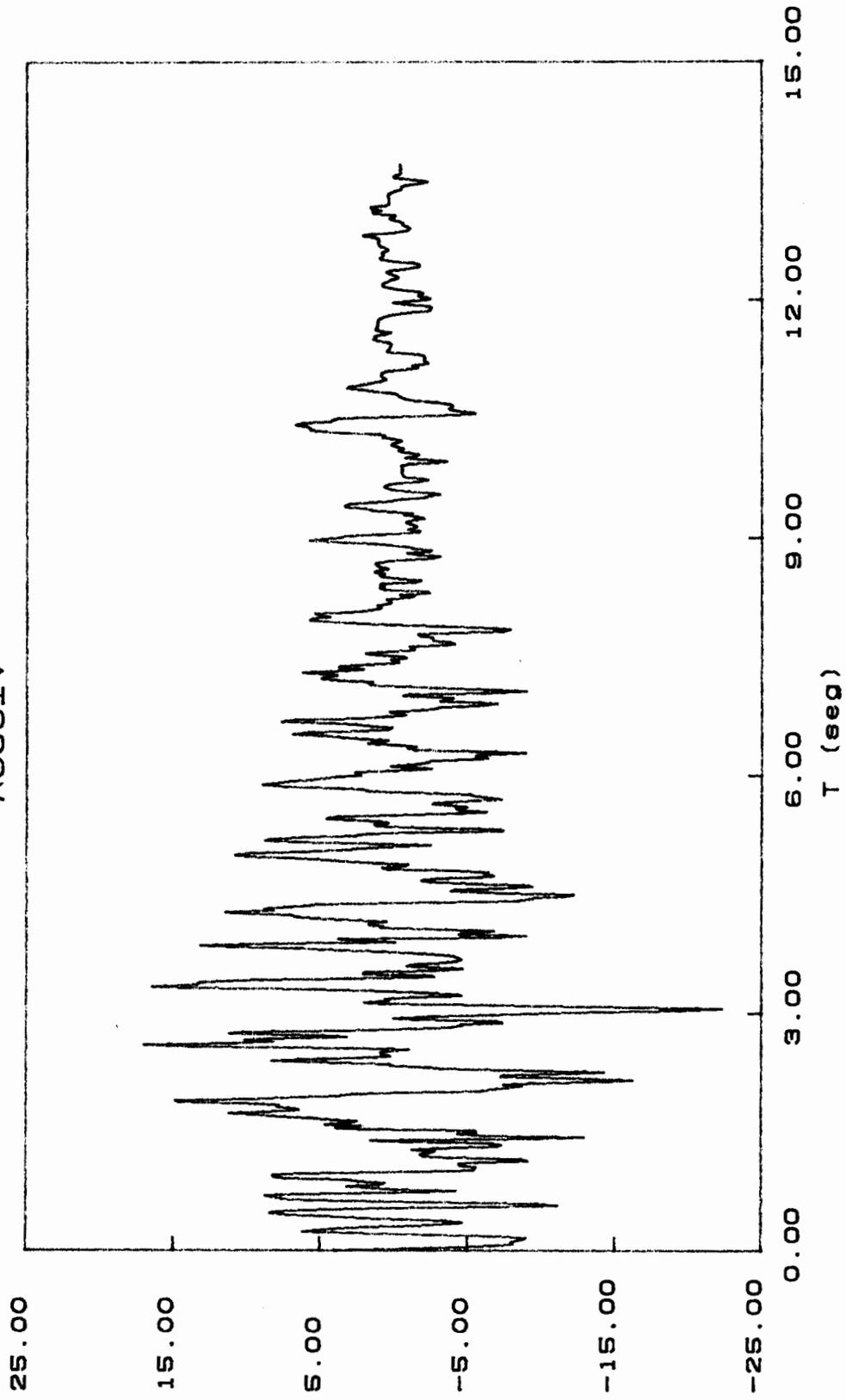
AP85V



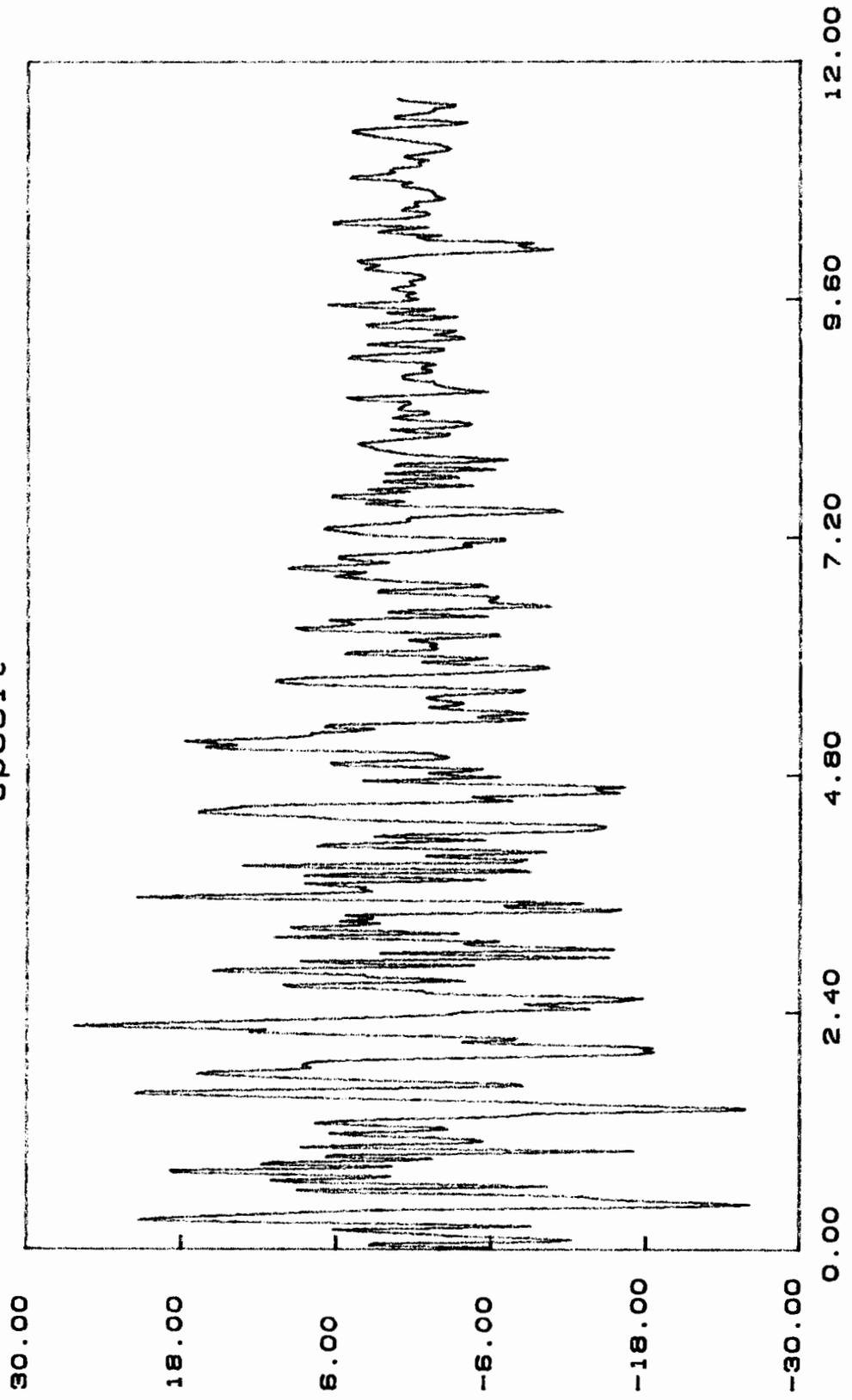
as85it



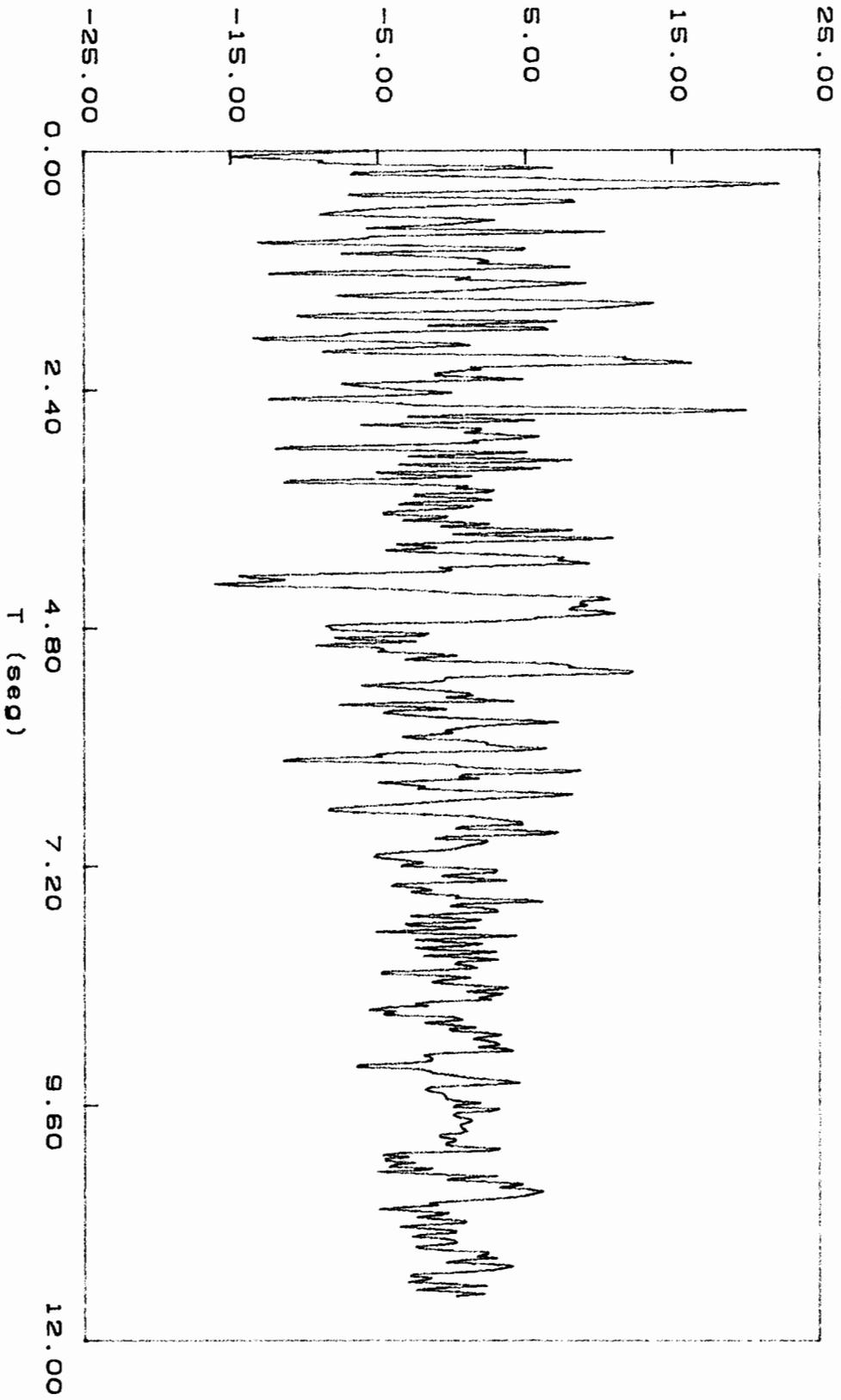
AS85IV



ap851t



AP851V



F/DEPFI/TI-2/1990



717728