

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO

(FACULTAD DE INGENIERIA)

ANALISIS DINAMICO NO LINEAL DE MARCOS DUCTILES

(DE ACUERDO AL R. C. D. F)

TRABAJO PRESENTADO A LA DIVISION DE ESTUDIOS DE

POSGRADO F.I. POR

MARTIN HERNANDEZ RANGEL

COMO REQUISITO PARA OBTENER

EL GRADO DE

MAESTRO EN INGENIERIA

(ESTRUCTURAS)



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



DEPA



DEPA

T. UNAM  
1 9 9 1  
HER

## INDICE

### I INTRODUCCION

1.1 Antecedentes

1.2 Actividades y objetivos

### II SISTEMA ESTRUCTURAL ESTUDIADO

2.1 Descripción de los marcos

2.2 Evaluación de cargas

Análisis lineal (resultados)

2.3 Criterios de diseño

### III RESPUESTA INELASTICA DEL SISTEMA ESTRUCTURAL

3.1 Alcances del programa LARZWD-1.0

3.2 Modelo de histéresis

3.3 Propiedades de los elementos

### IV ANALISIS DE RESULTADOS

### V CONCLUSIONES

625 502162

## CAPITULO I

### INTRODUCCION

#### 1.1 ANTECEDENTES

Los daños causados por los sismos del 19 y 20 de septiembre de 1985 en los edificios de la ciudad de México provocaron que el reglamento de construcciones del Distrito Federal fuera modificado notablemente, estos cambios determinaron la demolición de algunos edificios seriamente dañados y el reforzamiento estructural de otros. La razón principal de estos cambios se debió a que el sismo alcanzó diferentes intensidades en la zona del lago, una gran magnitud (8.1), las ondas sísmicas al llegar al valle de México fueron amplificadas al filtrarse por los estratos arcillosos, siendo la aceleración máxima en el suelo del orden del 20% de g, además de que la duración en su fase intensa según el registro de S.C.T (fig 3.3.2) fue de 40 seg. y el periodo de vibración del terreno fue de aproximadamente 2 seg.

El grupo I.C.A. presentó un informe (ref 5) en el que se sectoriza la zona afectada de la ciudad de México, que está delimitada al norte y al poniente por el Circuito Interior, hacia el sur por la avenida Eugenia y hacia el oriente por la Calzada de la Viga. La zona ocupa una superficie de 43 de los 1100 km<sup>2</sup> con

que cuenta el área metropolitana.

La tabla 1.1 muestra el número de edificios dañados con relación al número de niveles

No DE NIV.	No DE E. DAÑADOS	EDIFICIOS EXISTENTES	% DE DAÑO
<=2	346	37484	1.0
3 A 5	179	13498	1.3
6 A 8	136	1616	8.4
9 A 12	72	531	13.5
>12	24	229	10.4

TABLA 1.1 PORCENTAJE DE EDIFICIOS DAÑADOS CON RELACION AL NUMERO DE PISOS.

Se puede observar que el mayor porcentaje de daños se localiza en los edificios de 9 a 12 niveles con 72 construcciones afectadas de un total de 531 ( 13.5% ), en los mayores de 12 niveles con 24 de un total de 229 que representa el 10.4% y en los de 6 a 8 niveles con 8.4 por ciento, las estructuras menores de 5 niveles presentaron un bajo porcentaje (menor de 1.3%). Estos daños se deben principalmente a la filtración y amplificación de las ondas sísmicas en las arcillas de la zona del lago, transformándose estas ondas en un movimiento armónico con período dominante de dos segundos (fig.3.3.2), por lo

que los daños en las estructuras esqueléticas de 6 a 20 niveles se incrementaron considerablemente, disminuyendo su resistencia y rigidez, aumentando su período de vibración (cercano a los dos segundos) y produciéndose grandes desplazamientos.

Según el tipo de estructuración el mayor porcentaje de daños (tabla 1.2) se presentó en las estructuras esqueléticas con losa reticular y maciza, 6 y 3 por ciento respectivamente, siendo las estructuras menos afectadas las de mampostería y las rigidizadas con muros de concreto.

SISTEMA ESTRUCTURAL	EDIFICIOS EXISTENTES	EDIFICIOS DAÑADOS	% DE DAÑO
ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERIA	49098	999	1
E. ESQUELETICAS CON LOSA MACIZA	8038	236	3
E. ESQUELETICAS CON LOSA RETICULAR	2127	125	6
E. RIGIDIZADA CON MUROS DE CONCRETO	155	3	2

TABLA 1.2 PORCENTAJE DE EDIFICIOS DAÑADOS CON RELACION AL SISTEMA ESTRUCTURAL

En la ciudad de México 12 estaciones registraron el movimiento del sismo de 1985 siendo el de S.C.T. el más

representativo, lo que puso de manifiesto que los espectros de diseño sísmico especificados hasta ese momento por el reglamento del Distrito Federal en una zona del lago fueran superados ampliamente. Todo esto trajo como consecuencia una serie de estudios sobre el comportamiento sísmico de las estructuras en México.

## 1.2 ACTIVIDADES Y OBJETIVOS

Ante la dificultad de mostrar todos los casos de estructuración, en este trabajo se pretende analizar marcos planos de 2 y 3 claros desde 2 hasta 16 niveles, que forman parte de una serie de edificios de planta cuadrada construidos a base de marcos de concreto reforzado y losas macizas, la elección de este tipo de estructuración se debe a que es uno de los sistemas con mayor porcentaje de daño.

Las actividades y objetivos a seguir son:

Analizar los marcos linealmente considerando los aspectos de ductilidad que marcan las Normas Técnicas Complementarias para el diseño de estructuras de concreto del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (1987), ubicándolos en una zona de alto riesgo sísmico ( para la evaluación de las fuerzas sísmicas laterales, realizar el análisis dinámico modal espectral).

Evaluar el comportamiento estructural de los marcos con un programa de análisis no lineal (LARZWD-1.0), considerando el acelerograma registrado en la S.C.T. el 19 de septiembre de 1985.

Correlacionar el comportamiento del análisis elástico con el inelástico

Verificar si el número de claros en los marcos tiene influencia notoria en la disminución de la rigidez ante la excitación sísmica

Verificar si el desplazamiento máximo permitido por las N.T.C. de diseño por sismo es adecuado para el control de daño.

## CAPITULO II

### SISTEMA ESTRUCTURAL ESTUDIADO

#### 2.1 DESCRIPCION DE LOS MARCOS

Se estudian marcos planos cuya altura varia de 2 a 16 niveles, que forman parte de una serie de edificios compuestos por marcos ortogonales con dos opciones: planta cuadrada de 2 y 3 claros. fig 2.1

El sistema estructural esta formado por losas macizas perimetralmente apoyadas, trabes y columnas de concreto reforzado, todos los marcos tienen una longitud de claro de 6 m. y altura de entrepiso de 3.5 m. en la planta baja y 3.1 en los niveles superiores.

Para el análisis diseño y estudio se considera que la estructura está completamente empotrada y que la contribución de los muros a la rigidez y resistencia del sistema es nula.

Los marcos forman parte de un edificio de oficinas (estructura tipo B) y se ubica dentro del Distrito Federal.

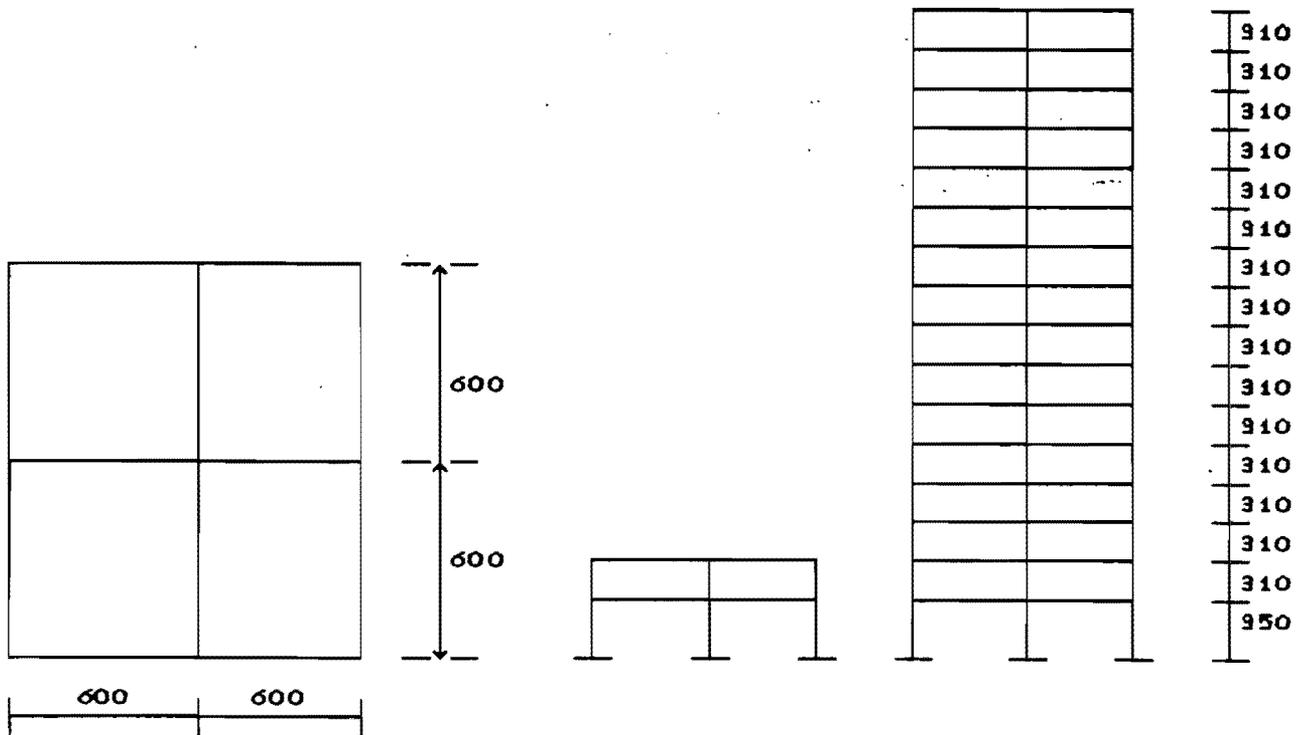
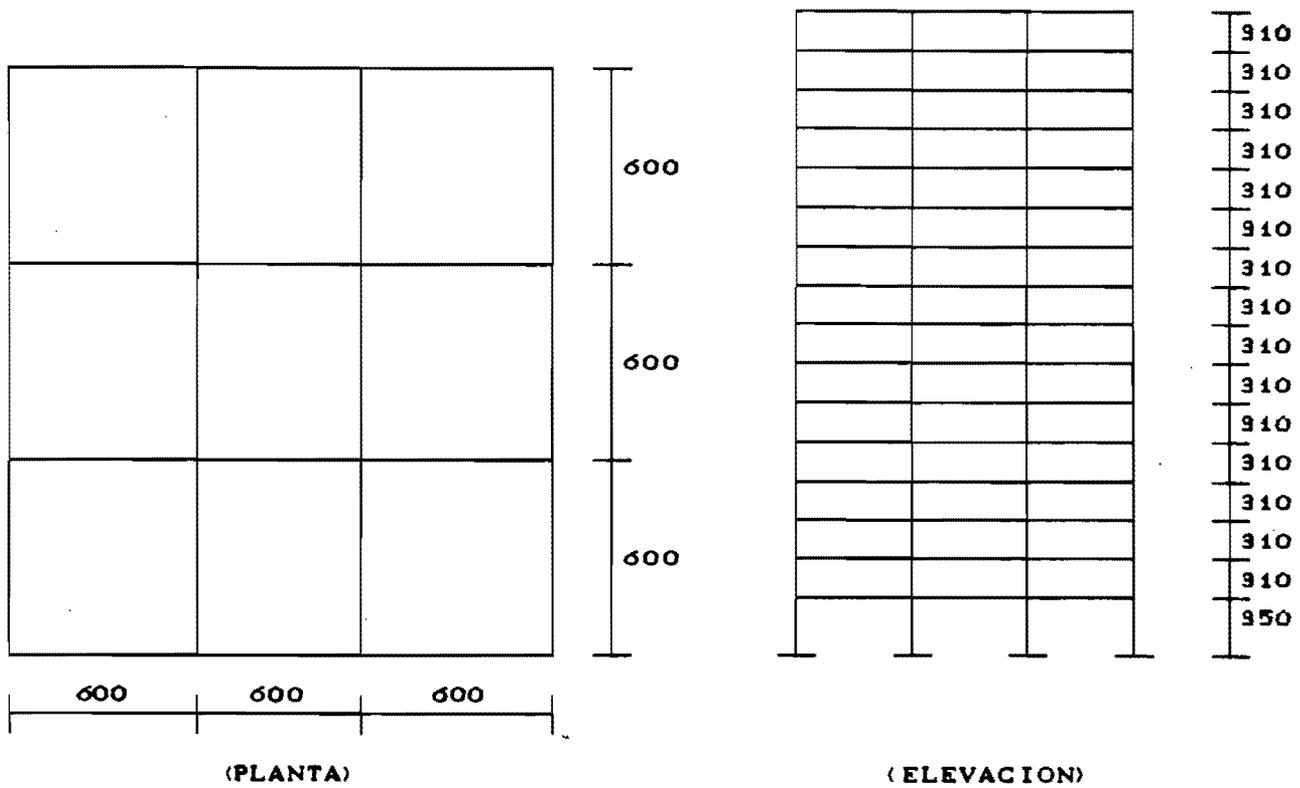


FIG 2.1 MARCOS 2 CLAROS



(PLANTA)

(ELEVACION)

FIG 2.1 MARCO 9 CLAROS

## 2.2 EVALUACION DE CARGAS

En cada nivel actua la siguiente combinación de cargas: Acciones permanentes y variables, tomándose para la carga viva la intensidad máxima y un factor de carga de 1.4

Acciones permanentes variables y accidentales, aquí la carga viva se considera con su valor instantáneo y un factor de carga de 1.1

### 2.2.1 Cargas muertas

El análisis de las cargas se realizo tomando en cuenta las cargas del área tributaria correspondiente al marco.

las cargas consideradas son las siguientes.

losa .....	0.24 ton/m <sup>2</sup>
acabado de piso.....	0.10 ton/m <sup>2</sup>
plafon (yeso).....	0.03 ton/m <sup>2</sup>
sobrecarga por muros.....	0.05 ton/m <sup>2</sup>
sobrecarga por reglamento..	0.04 ton/m <sup>2</sup>

Ademas se considera el peso propio de trabes y columnas, el cual varia con la sección de las mismas.

### 2.2.2 Carga viva

Según la combinación de cargas el R.D.F.87 especifica diferentes valores para la carga viva, para las combinaciones aquí analizadas se tiene:

carga viva máxima intensidad..	0.25 ton/m <sup>2</sup>
carga viva instantanea.....	0.18 ton/m <sup>2</sup>

### 2.2.3 Carga accidental

Para la evaluación de las fuerzas sísmicas laterales

se realiza un análisis dinámico modal espectral, los valores del espectro de diseño se obtienen del R.D.F. 87 para la zona III. El coeficiente de diseño sísmico  $C$  tiene un valor de 0.4 por tratarse de una estructura tipo B y el factor de comportamiento sísmico que depende de las características de la estructura tiene un valor de 4 (N.T.C. para el diseño por sismo).

Se incluyen todos los modos naturales de vibración con periodo mayor o igual a 0.10 seg. y en ningún caso menos de los tres primeros modos de translación. Para la superposición de las respuestas modales el criterio que se utiliza es la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados. Como la fuerza cortante basal  $V_0$  es menor en general que 0.8 del cortante basal estático, se incrementaron todas las fuerzas de diseño y desplazamientos laterales de tal forma que  $V_0$  iguale a este valor (tabla 2.2 y 2.3). Las secciones de los marcos se determinaron de tal manera que los desplazamientos de entrepiso causados por las fuerzas sísmicas laterales estén al límite de los permitidos por el reglamento, para tal efecto se toma 0.006 veces la altura de entrepiso como desplazamiento límite (tabla 2.1)

No DE CLAROS	NIV	SECCION (CM.)			No DE CLAROS	NIV	SECCION (CM.)		
		COLUMNAS	TRABE				COLUMNAS	TRABE	
			BASE	ALTURA				BASE	ALTURA
2	2	40 X 40	30	40	3	2	40 X 40	30	40
	1	40 X 40	30	40		1	40 X 40	30	40
2	4	60 X 60	30	50	3	4	65 X 65	30	50
	3	60 X 60	30	50		3	65 X 65	30	50
	2	60 X 60	30	50		2	65 X 65	30	50
	1	60 X 60	30	50		1	65 X 65	30	50
2	6	60 X 60	40	60	3	6	55 X 55	40	60
	5	60 X 60	40	60		5	55 X 55	40	60
	4	70 X 70	40	60		4	65 X 65	40	60
	3	70 X 70	40	60		3	65 X 65	40	60
	2	80 X 80	40	60		2	75 X 75	40	60
	1	80 X 80	40	60		1	75 X 75	40	60
2	8	75 X 75	40	65	3	8	75 X 75	40	65
	7	75 X 75	40	65		7	75 X 75	40	65
	6	85 X 85	40	65		6	85 X 85	40	65
	5	85 X 85	40	65		5	85 X 85	40	65
	4	85 X 85	40	65		4	85 X 85	40	65
	3	95 X 95	40	65		3	95 X 95	40	65
	2	95 X 95	40	65		2	95 X 95	40	65
	1	95 X 95	40	65		1	95 X 95	40	65
2	10	70 X 70	50	60	3	10	70 X 70	50	60
	9	70 X 70	50	60		9	70 X 70	50	60
	8	80 X 80	50	60		8	80 X 80	50	60
	7	80 X 80	50	60		7	80 X 80	50	60
	6	90 X 90	50	70		6	90 X 90	50	70
	5	90 X 90	50	70		5	90 X 90	50	70
	4	90 X 90	50	70		4	90 X 90	50	70
	3	100 X 100	50	70		3	100 X 100	50	70
	2	100 X 100	50	70		2	100 X 100	50	70
	1	100 X 100	50	70		1	100 X 100	50	70
2	12	80 X 80	50	65	3	12	80 X 80	50	65
	11	80 X 80	50	65		11	80 X 80	50	65
	10	80 X 80	50	65		10	90 X 90	50	65
	9	90 X 90	50	65		9	90 X 90	50	65
	8	90 X 90	55	75		8	100 X 100	55	75

TABLA 2.1 DIMENSIONES DE LOS ELEMENTOS QUE INTEGRAN EL SISTEMA

No DE CLAROS	NIV	SECCION (CM.)		No DE CLAROS	NIV	SECCION (CM.)	
		COLUMNAS	TRABE BASE ALTURA			COLUMNAS	TRABE BASE ALTURA
2	7	90 X 90	55 75	3	7	100 X 100	55 75
	6	100 X 100	55 75		6	110 X 110	55 75
	5	100 X 100	55 75		5	110 X 110	55 75
	4	100 X 100	55 75		4	110 X 110	55 75
	3	110 X 110	55 75		3	115 X 115	55 75
	2	110 X 110	55 75		2	115 X 115	55 75
	1	110 X 110	55 75		1	115 X 115	55 75
2	14	80 X 80	60 70	3	14	85 X 85	60 70
	13	80 X 80	60 70		13	85 X 85	60 70
	12	90 X 90	60 70		12	95 X 95	60 70
	11	90 X 90	60 70		11	95 X 95	60 70
	10	100 X 100	60 80		10	105 X 105	60 80
	9	100 X 100	60 80		9	105 X 105	60 80
	8	100 X 100	60 80		8	105 X 105	60 80
	7	110 X 110	60 80		7	115 X 115	60 80
	6	110 X 110	60 80		6	115 X 115	60 80
	5	115 X 115	60 80		5	120 X 120	60 80
	4	115 X 115	60 80		4	120 X 120	60 80
	3	120 X 120	60 80		3	125 X 125	60 80
	2	120 X 120	60 80		2	125 X 125	60 80
	1	120 X 120	60 80		1	125 X 125	60 80
2	16	115 X 115	60 80	3	16	115 X 115	55 80
	15	115 X 115	60 80		15	115 X 115	55 80
	14	125 X 125	60 80		14	125 X 125	55 80
	13	125 X 125	60 80		13	125 X 125	55 80
	12	135 X 135	60 80		12	135 X 135	55 80
	11	135 X 135	60 80		11	135 X 135	55 80
	10	145 X 145	60 90		10	145 X 145	55 90
	9	145 X 145	60 90		9	145 X 145	55 90
	8	145 X 145	60 90		8	145 X 145	55 90
	7	145 X 145	60 90		7	145 X 145	55 90
	6	150 X 150	60 90		6	150 X 150	55 90
	5	150 X 150	60 90		5	150 X 150	55 90
	4	150 X 150	60 90		4	150 X 150	55 90
	3	150 X 150	60 90		3	150 X 150	55 90
	2	150 X 150	60 90		2	150 X 150	55 90
	1	150 X 150	60 90		1	150 X 150	55 90

TABLA 2. 1 DIMENSIONES DE LOS ELEMENTOS QUE INTEGRAN EL SISTEMA

No. CLASOS	NIV	ALTURA (CM.)	PESO TON.	FUERZA ESTÁTICA (TON.)	MODO	PERIODO (SEG.)	FRECUENCIA CIRCULAR	F. DINAMI. CORREGIDA (TON.)
2	2	660	41.2	5.38	1	0.5276	11.91	4.81
	1	950	41.2	2.86	2	0.2142	29.34	2.43
2	4	1280	47.4	7.44	1	0.6689	9.39	6.31
	3	970	47.4	5.64	2	0.2527	24.86	4.76
	2	660	47.4	3.84	3	0.1675	37.50	3.11
	1	350	47.4	2.04	4	0.1315	47.78	1.29
2	6	1900	52.6	9.07	1	0.7280	8.630	7.40
	5	1590	52.6	7.59	2	0.2702	23.25	6.30
	4	1280	55.5	6.45	3	0.1726	36.40	5.33
	3	970	55.5	4.88	4	0.1325	47.41	3.96
	2	660	58.8	3.52	5	0.0956	65.70	2.60
	1	350	58.8	1.87				1.09
2	8	2520	58.3	10.47	1	0.876	7.17	8.45
	7	2210	58.3	9.18	2	0.3206	19.60	7.46
	6	1900	61.8	8.97	3	0.2099	30.90	6.86
	5	1590	61.8	7.00	4	0.1511	41.58	5.79
	4	1280	61.8	5.64	5	0.1240	50.65	4.62
	3	970	65.8	4.55	6	0.0970	64.16	3.58
	2	660	65.8	3.09				2.22
	1	350	65.8	1.64				0.94
2	10	3140	62.0	11.50	1	1.0026	6.27	9.60
	9	2830	62.0	10.36	2	0.3862	16.27	8.50
	8	2520	65.0	9.67	3	0.2385	26.34	7.80
	7	2210	65.0	8.50	4	0.1779	35.91	6.76
	6	1900	69.0	7.74	5	0.1426	44.07	6.12
	5	1590	69.0	6.48	6	0.1084	57.97	5.18
	4	1280	69.0	5.22				4.16
	3	970	73.2	4.18				3.23
	2	660	73.2	2.85				2.07
	1	350	73.2	1.51				0.97
2	12	3760	68.8	13.00	1	1.1020	5.70	10.85
	11	3450	68.8	11.93	2	0.4236	14.83	9.68
	10	3140	68.8	10.86	3	0.2624	23.95	8.69
	9	2830	72.6	10.33	4	0.1930	32.55	8.14

TABLA 2.2 RESULTADOS DEL ANALISIS ESTÁTICO Y DINAMICO MODAL ESPECTRAL

No. CLAROS	NIV	ALTURA (CM.)	PESO TON.	FUERZA ESTATICA (TON.)	MODO	PERIODO (SEG.)	FRECUENCIA CIRCULAR	F. DIMAMI. CORREGIDA (TON.)
2	8	2520	72.6	9.19	5	0.1556	40.37	7.27
	7	2210	72.6	8.07	6	0.1304	48.17	6.45
	6	1900	76.8	7.93	7	0.1140	55.10	5.90
	5	1590	76.8	6.14	8	0.0927	67.76	4.97
	4	1280	76.8	4.94				9.97
	3	970	81.5	3.97				3.07
	2	660	81.5	2.70				1.97
	1	350	81.5	1.43				0.96
2	14	4980	79.0	14.08	1	1.1822	5.91	11.64
	13	4070	73.0	13.08	2	0.4501	13.96	10.53
	12	3760	76.0	12.58	3	0.2811	22.35	9.98
	11	3450	76.0	11.51	4	0.2047	30.70	9.09
	10	3140	76.0	11.20	5	0.1640	38.30	8.82
	9	2830	81.0	10.10	6	0.1368	45.93	8.05
	8	2520	81.0	8.99	7	0.1193	52.65	7.25
	7	2210	85.0	8.27	8	0.1063	59.11	6.71
	6	1900	85.0	7.11				5.82
	5	1590	88.0	6.16				5.02
	4	1280	88.0	4.96				4.00
	3	970	91.0	3.89				3.02
	2	660	91.0	2.64				1.92
	1	350	91.0	1.40				0.95
2	16	5000	91.9	17.67	1	1.2500	5.02	14.85
	15	4690	91.3	16.58	2	0.478	13.14	13.44
	14	4380	96.7	16.40	3	0.2966	21.18	13.14
	13	4070	96.7	15.24	4	0.2184	28.77	12.14
	12	3760	102.5	14.92	5	0.1734	36.29	11.81
	11	3450	102.5	13.70	6	0.1450	43.92	10.89
	10	3140	108.7	13.21	7	0.1248	50.37	10.46
	9	2830	108.7	11.91	8	0.1107	56.73	9.51
	8	2520	108.7	10.60				8.54
	7	2210	108.7	9.90				7.59
	6	1900	112.0	8.24				6.65
	5	1590	112.0	6.89				5.59
	4	1280	112.0	5.55				4.35
	3	970	112.0	4.20				3.16

TABLA 2.2 RESULTADOS DEL ANALISIS ESTATICO Y DINAMICO MODAL ESPECTRAL (CONTINUACION)

No. CLAROS	NIV	ALTURA (CM.)	PESO TON.	FUERZA ESTÁTICA (TON.)	MODO	PERIODO (SEG.)	FRECUENCIA CIRCULAR	F. DIMAMI. CORREGIDA (TON.)
2	2	660	112.0	2.86				2.02
	1	350	112.0	1.52				1.06
3	2	660	67.0	8.8	1	0.5600	11.09	7.95
	1	950	67.0	4.6	2	0.2290	27.49	4.10
3	4	1280	77.4	12.2	1	0.6750	9.3	10.36
	3	970	77.4	9.2	2	0.2578	24.4	7.71
	2	660	77.4	6.3	3	0.1706	36.8	5.02
	1	950	77.4	9.9	4	0.1929	47.5	2.09
3	6	1900	81.6	14.01	1	0.7800	8.01	11.38
	5	1590	81.6	11.73	2	0.2900	21.70	9.70
	4	1280	85.1	9.85	3	0.1800	34.20	8.10
	9	970	85.1	7.46	4	0.1400	44.50	6.10
	2	660	89.3	5.33	5	0.1000	60.95	4.00
	1	350	89.3	2.83				1.70
3	8	2520	91.0	16.29	1	0.9000	6.97	13.05
	7	2210	91.0	14.29	2	0.9270	19.24	11.60
	6	1900	95.8	12.93	3	0.2070	30.38	10.62
	5	1590	95.8	10.82	4	0.1540	40.87	8.98
	4	1280	95.8	8.71	5	0.1260	49.84	7.20
	3	970	101.2	6.87	6	0.0990	62.86	5.53
	2	660	101.2	4.74				9.44
	1	350	101.2	2.52				1.44
3	10	3140	96.7	17.87	1	1.0200	6.13	14.81
	9	2830	96.7	16.10	2	0.3900	16.04	13.18
	8	2520	101.1	15.00	9	0.2400	26.09	12.09
	7	2210	101.1	13.15	4	0.1800	34.95	10.47
	6	1900	106.2	11.88	5	0.1400	43.60	9.41
	5	1590	106.2	8.94	6	0.1100	57.13	7.97
	4	1280	106.2	8.00				6.42
	9	970	111.8	6.98				4.98
	2	660	111.8	4.30				3.19
	1	350	111.8	2.30				1.48

TABLA 2.2 RESULTADOS DEL ANALISIS ESTÁTICO Y DINÁMICO MODAL ESPECTRAL (CONTINUACION)

NO. CLASOS	NIV	ALTURA (CM.)	PESO TON.	FUERZA ESTATICA (TON.)	MODO	PERIODO (SEG.)	FRECUENCIA CIRCULAR	FUERZA DINAMICA (TON.)
3	12	3760	106.5	20.12	1	1.0900	5.76	16.61
	11	3450	106.5	18.46	2	0.4200	14.96	14.91
	10	3140	111.6	17.61	3	0.2556	24.56	14.14
	9	2830	111.6	15.87	4	0.1910	32.89	12.56
	8	2520	117.2	14.84	5	0.1526	41.20	11.69
	7	2210	117.2	13.02	6	0.1280	49.07	10.36
	6	1900	123.5	11.79	7	0.1120	56.03	9.57
	5	1590	123.5	9.87				8.10
	4	1280	123.5	7.94				6.47
	3	970	126.8	6.18				4.85
	2	660	126.8	4.20				3.05
	1	350	126.8	2.23				1.42
3	14	4380	114.8	23.03	1	1.1700	5.34	19.90
	13	4070	114.8	20.47	2	0.4406	14.96	19.21
	12	3760	120.2	19.80	3	0.2742	22.91	18.23
	11	3450	120.2	18.17	4	0.1997	31.46	17.03
	10	3140	126.1	17.35	5	0.1599	39.30	15.69
	9	2830	126.1	15.64	6	0.1334	47.10	14.31
	8	2520	126.1	13.92	7	0.1169	54.01	12.80
	7	2210	132.7	12.85	8	0.1038	60.53	11.14
	6	1900	132.7	11.04				9.40
	5	1590	136.2	9.49				7.58
	4	1280	136.2	7.64				5.73
	3	970	139.8	5.94				3.89
	2	660	139.8	4.04				2.19
	1	350	139.8	2.14				0.78
3	16	5000	134.0	25.87	1	1.2587	4.99	21.30
	15	4690	134.0	24.26	2	0.4798	13.26	19.50
	14	4380	141.1	23.86	3	0.2925	21.48	19.05
	13	4070	141.1	22.17	4	0.2149	29.24	17.66
	12	3760	148.8	21.60	5	0.1707	36.81	17.13
	11	3450	148.8	19.82	6	0.1428	44.00	15.70
	10	3140	157.2	19.06	7	0.1230	51.08	15.17
	9	2830	157.2	17.17	8	0.1091	57.58	13.81
	8	2520	157.2	15.29	9	0.0987	63.62	12.44
	7	2210	157.2	13.41				10.96

TABLA 2.2 RESULTADOS DEL ANALISIS ESTATICO Y DINAMICO MODAL ESPECTRAL (CONTINUACION)

No. CLAROS	NIV	ALTURA (CM.)	PESO TON.	FUERZA ESTATICA (TON.)	MODO	PERIODO (SEG.)	FRECUENCIA CIRCULAR	FUERZA DINAMICA (TON.)
3	6	1900	161.6	11.85				9.68
	5	1590	161.6	9.92				8.04
	4	1280	161.6	7.99				6.33
	3	970	161.6	6.05				4.57
	2	660	161.6	4.12				2.88
	1	350	161.6	2.18				1.46

TABLA 2.2 RESULTADOS DEL ANALISIS ESTATICO Y DINAMICO MODAL ESPECTRAL (CONTINUACION)

No DE CLAROS	NIVEL	DESPLAZ. REL (CM)	No DE CLAROS	NIVEL	DESPLAZ. REL (CM)
2	1	1.487	3	1	1.882
	2	1.433		2	1.738
2	1	1.200	3	1	1.170
	2	1.800		2	1.800
	3	1.648		3	1.680
	4	1.202		4	1.300
2	1	0.830	3	1	1.026
	2	1.381		2	1.604
	3	1.582		3	1.810
	4	1.435		4	1.590
	5	1.219		5	1.390
	6	0.741		6	0.800
2	1	0.817	3	1	0.892
	2	1.467		2	1.578
	3	1.716		3	1.810
	4	1.775		4	1.870
	5	1.624		5	1.690
	6	1.379		6	1.430

TABLA 2.3 DESPLAZAMIENTOS RELATIVOS MAXIMOS PRODUCIDOS POR LAS FUERZAS LATERALES OBTENIDAS DEL ANALISIS DINAMICO MODAL ESPECTRAL

No DE CLAROS	NIVEL	DESPLAZ. REL (CM)	No DE CLAROS	NIVEL	DESPLAZ. REL (CM)
2	7	1.090	9	7	1.110
	8	0.712		8	0.710
2	1	0.828	3	1	0.897
	2	1.455		2	1.543
	3	1.626		3	1.780
	4	1.864		4	1.880
	5	1.760		5	1.812
	6	1.660		6	1.698
	7	1.600		7	1.727
	8	1.570		8	1.602
	9	1.300		9	1.317
	10	0.860		10	0.841
2	1	0.799	3	1	0.813
	2	1.421		2	1.455
	3	1.711		3	1.732
	4	1.846		4	1.834
	5	1.840		5	1.798
	6	1.767		6	1.682
	7	1.719		7	1.524
	8	1.583		8	1.491
	9	1.550		9	1.598
	10	1.500		10	1.457
	11	1.200		11	1.186
	12	0.850		12	0.800
2	1	0.770	3	1	0.780
	2	1.405		2	1.408
	3	1.695		3	1.702
	4	1.890		4	1.896
	5	1.860		5	1.851
	6	1.840		6	1.823
	7	1.770		7	1.737
	8	1.712		8	1.662
	9	1.580		9	1.515
	10	1.440		10	1.379
	11	1.420		11	1.333
	12	1.290		12	1.202

TABLA 2.3 DESPLAZAMIENTOS RELATIVOS MAXIMOS PRODUCIDOS POR LAS FUERZAS LATERALES OBTENIDAS DEL ANALISIS MODAL ESPECTRAL

No DE CLAROS	NIVEL	DESPLAZ. REL (CM)	No DE CLAROS	NIVEL	DESPLAZ. REL (CM)
2	13	1.090	3	13	0.982
	14	0.780		14	0.676
2	1	0.697	3	1	0.670
	2	1.229		2	1.280
	3	1.567		3	1.620
	4	1.749		4	1.790
	5	1.821		5	1.858
	6	1.838		6	1.859
	7	1.821		7	1.824
	8	1.764		8	1.760
	9	1.700		9	1.680
	10	1.630		10	1.600
	11	1.600		11	1.550
	12	1.520		12	1.479
	13	1.400		13	1.391
	14	1.210		14	1.130
	15	1.003		15	0.920
	16	0.797		16	0.697

TABLA 2.3 DESPLAZAMIENTOS RELATIVOS MAXIMOS PRODUCIDOS POR LAS FUERZAS LATERALES OBTENIDAS DEL ANALISIS DINAMICO MODAL ESPECTRAL

## 2.3 CRITERIOS DE DISEÑO

Con la combinación de cargas especificada se realiza un análisis lineal de los marcos y se obtienen los elementos mecánicos. Aplicando las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño de Estructuras de Concreto del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (1987), se obtienen las áreas de acero en columnas y trabes necesarias para resistir los elementos mecánicos. Como la estructura se diseña con  $Q$  (factor de ductilidad) igual a 4 se aplican todos los requisitos para marcos dúctiles especificados en dicho reglamento. Algunos de los aspectos más importantes de estos requisitos relacionados con el acero de refuerzo de las secciones y que influyen notablemente en el comportamiento de la estructura son:

### 2.3.1 Miembros a flexión

En toda sección se dispondrá de refuerzo longitudinal tanto en el lecho inferior como en el superior. En cada lecho el área de refuerzo no será menor que  $0.7\sqrt{f'cbd}/f_y$  y constará de por lo menos dos barras corridas del No. 4; el área de acero a tensión no excederá del 75 por ciento de la correspondiente a la falla balanceada de la sección. Se suministrarán estribos cerrados de diámetro no menor de 7.9 mm, el primer estribo se colocará a no más de 5 cm de la cara del miembro de apoyo. La separación de estribos no excederá ninguno de los

valores siguientes a) 0.25d, b) 8 veces el diámetro de la barra longitudinal mas delgada, c) 24 veces el diámetro de la barra del estribo y d) 30 cm. Se asegurará que no se presente falla por cortante antes que puedan formarse articulaciones plásticas en los extremos de los elementos, para ello puede dimensionarse con base en la fuerza cortante de diseño obtenida del análisis, si al factor de resistencia se le asigna un valor de 0.6 en lugar de 0.8

### 2.3.2 Miembros a flexocompresión

La cuantía de refuerzo longitudinal,  $p$ , no será menor que 0.01, ni mayor que 0.04 y solo se permitirá formar paquetes de dos barras. En columnas de núcleo rectangular, la suma de las áreas de estribos y grapas,  $A_{sh}$ , en cada dirección de la columna no será menor que:  $0.3(A_g/A_c - 1) s h_c (f'_c/f_y)$ , ni que  $0.12(f'_c/f_y) s h_c$

Donde:  $A_c$  = Area transversal del núcleo

$A_g$  = Area transversal de la columna

$f_y$  = Esfuerzo de fluencia del refuerzo transversal

$h_c$  = Dimensión del núcleo

$s$  = Separación del refuerzo transversal

Este refuerzo transversal debe estar formado por estribos cerrados, de una pieza sencilla o sobrepuestos, de diámetro no menor que 9.5 mm (No 3). Puede complementarse con grapas del mismo diámetro que los estribos, espaciados igual que estos a lo largo del miembro. La separación del refuerzo

transversal no debe exceder de la cuarta parte de la menor dimensión transversal del elemento ni de 10 cm.

Los elementos a flexocompresión se dimensionarán de manera que no fallen por fuerza cortante antes que se formen las articulaciones plásticas en las vigas. Para ello el dimensionamiento por fuerza cortante se realizará a partir de la fuerza de diseño obtenida del análisis, usando un factor de resistencia igual a 0.5; cabe señalar que todas las columnas fueron diseñadas con la condición de refuerzo mínimo que establecen dichas normas (tabla 2.3.1), es decir se utilizó una cuantía ( $\rho$ ) de 0.01 en todas las secciones.

Los parámetros de resistencia que se tomaron para el análisis y diseño de la estructura son:

Concreto	$f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$	y	$E = 14000\sqrt{f'c}$
Acero	$fy = 4200 \text{ kg/cm}^2$	y	$E = 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$

TRABE		MARCO	NIVEL	A'S	AS
BASE (CM)	ALTURA (CM)			COMPRESION (CM <sup>2</sup> )	TENSION (CM <sup>2</sup> )
30	40	2 NIVELES 2 CLAROS	1,2	3.80	10.14
		2 NIVELES 3 CLAROS	1,2	3.80	11.40
30	50	4 NIVELES 2 CLAROS	1,2,3	3.81	11.40
			4	3.81	8.55
		4 NIVELES 3 CLAROS	1,2,3,4	3.81	11.40
40	60	6 NIVELES 2 CLAROS	1,4	5.70	12.99
			2,3	5.70	15.84
			5,6	5.70	10.14
		6 NIVELES 3 CLAROS	1,2,3	6.97	15.84
			4	6.97	12.99
			5	6.97	10.14
			6	6.97	6.97
40	65	8 NIVELES 2 CLAROS	1,5,6	6.97	15.21
			2,3,4	6.97	17.10
			7,8	6.97	12.99
		8 NIVELES 3 CLAROS	1,5,6	6.97	15.84
			2,3,4	6.97	18.06
			7,8	6.97	11.40
50	60	10 NIVELES 2 CLAROS	7,8	8.55	20.28
			9,1	8.55	15.84
		10 NIVELES 3 CLAROS	7,8	8.24	18.06
			9,1	8.24	12.99
50	70	10 NIVELES 2 CLAROS	1	8.55	17.10
			2,3,4,5,6	8.55	22.80
		10 NIVELES 3 CLAROS	1	8.55	18.06
			2,3,4,5,6	8.55	22.80
50	65	12 NIVELES 2 CLAROS	9,1,11,12	8.55	18.06
		12 NIVELES 3 CLAROS	9,1	8.24	20.28
			11,2	8.24	12.99

TABLA 2.9.1 ACERO DE REFUERZO LONGITUDINAL EN TRABES

TRABE		MARCO	NIVEL	A'S	AS
BASE (CM)	ALTURA (CM)			COMPRESION (CM <sup>2</sup> )	TENSION (CM <sup>2</sup> )
50	75	12 NIVELES 2 CLAROS	1	10.14	20.28
			2,6 7,8	10.14	25.35
			3,4 5	10.14	28.83
55	75	12 NIVELES 3 CLAROS	1	10.14	20.28
			2,6 7,8	10.14	25.38
			3,4 5	10.14	28.80
55	80	16 NIVELES 9 CLAROS	11,12,19	11.40	25.90
			14	11.40	18.06
			15,16	11.40	15.80
55	90	16 NIVELES 9 CLAROS	1	12.99	22.80
			2	12.99	33.90
			3,4 5,6,7	12.99	36.75
			8,9 10	12.99	33.90
60	70	14 NIVELES 2 CLAROS	11,12,13,14	11.80	20.28
		14 NIVELES 3 CLAROS	11	11.40	20.28
			12	11.40	18.06
			13,14	11.40	12.99
60	80	14 NIVELES 2 CLAROS	1,9,10	11.80	25.35
			2,8	11.80	28.83
			3,4,5,6,7	11.80	33.93
		14 NIVELES 3 CLAROS	1	11.80	22.80
			2,7,8	11.80	30.72
			3,4,5,6	11.80	33.90
			9,10	11.80	25.90
		16 NIVELES 2 CLAROS	11,12,13	12.99	25.90
			14,15,16	12.99	20.28
		60	90	16 NIVELES 2 CLAROS	1,2,10
3,8,9	15.80				36.75
4,5,6,7	15.80				38.64

TABLA 2.9.1 ACERO DE REFUERZO LONGITUDINAL EN TRABES

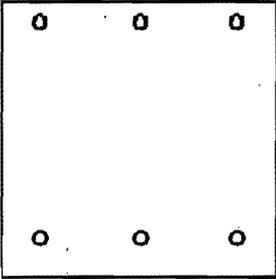
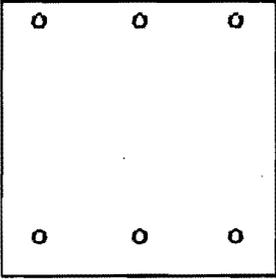
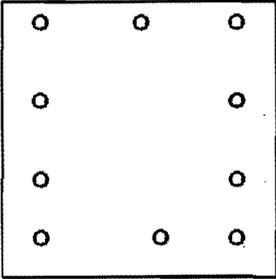
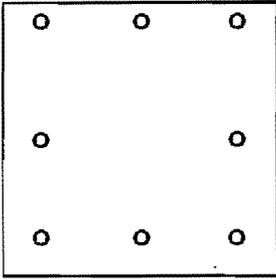
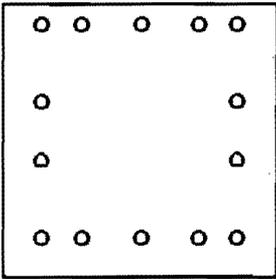
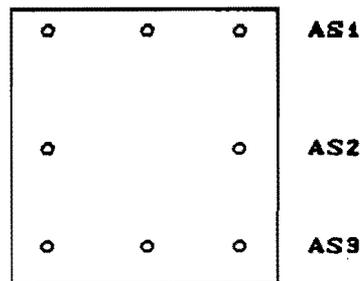
<p>Columna : 40 x 40  Marco : 2 niveles 2 claros  2 niveles 3 claros</p> <p>AS1 = AS2 = 2 vrs.No 6 + 1 vrs.No 4 =  = 6.97 cm<sup>2</sup></p>	
<p>Columna : 55 x 55  Marcos : 6 niveles 3 claros</p> <p>As1 = As2 = 9 vrs.No 8 = 15.21 cm<sup>2</sup></p>	
<p>Columna : 60 x 60  Marco : 4 niveles 2 claros</p> <p>As1 = As4 = 4 vrs.No 6 = 11.4 cm<sup>2</sup>  As2 = As3 = 2 vrs.No 6 = 5.7 cm<sup>2</sup></p>	
<p>Columna : 60 x 60  Marco : 6 niveles 2 claros</p> <p>As1 = As3 = 2 vrs.No 8 + 1 vrs.No 6 = 12.9  As2 = 2 vrs.No 8 = 10.14 cm<sup>2</sup></p>	
<p>Columna : 65 x 65  Marco : 4 niveles 3 claros</p> <p>As1 = As4 = 5 vrs.No 6 = 14.25 cm<sup>2</sup>  As2 = As3 = 2 vrs.No 6 = 5.7 cm<sup>2</sup></p>	

TABLA 2.9.2 ACERO DE REFUERZO LONGITUDINAL EN COLUMNAS

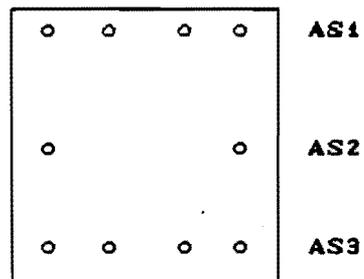
Columna : 65 x 65  
 Marco : 6 niveles 3 claros

$A_{s1} = A_{s9} = 9 \text{ vrs. No } 8 = 15.21 \text{ cm}^2$   
 $A_{s2} = 2 \text{ vrs. No } 8 = 10.14 \text{ cm}^2$



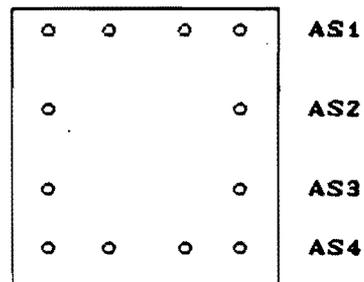
Columna : 70 x 70  
 Marco : 6 niveles 2 claros  
 10 niveles 2 claros  
 10 niveles 3 claros

$A_{s1} = A_{s9} = 9 \text{ vrs. No } 8 + 1 \text{ vrs. No } 6 =$   
 $= 18.06 \text{ cm}^2$   
 $A_{s2} = 2 \text{ vrs. No } 8 = 10.14 \text{ cm}^2$



Columna : 75 x 75  
 Marco : 8 niveles 2 claros  
 6 niveles 3 claros  
 8 niveles 3 claros

$A_{s1} = A_{s4} = 3 \text{ vrs. No } 8 + 1 \text{ vrs. No } 6 =$   
 $= 18.06 \text{ cm}^2$   
 $A_{s2} = A_{s3} = 2 \text{ vrs. No } 8 = 10.14 \text{ cm}^2$



Columna : 80 x 80  
 Marcos : 6 niveles 2 claros  
 10 niveles 2 claros  
 12 niveles 2 claros  
 10 niveles 3 claros  
 12 niveles 3 claros

$A_{s1} = A_{s2} = 4 \text{ vrs. No } 8 = 20.28 \text{ cm}^2$   
 $A_{s2} = A_{s9} = 2 \text{ vrs. No } 8 = 10.14 \text{ cm}^2$

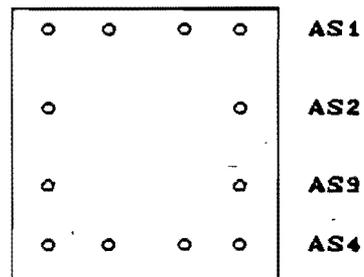
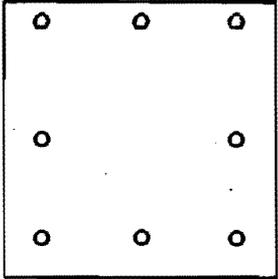


TABLA 2.9.2 ACERO DE REFUERZO LONGITUDINAL EN COLUMNAS

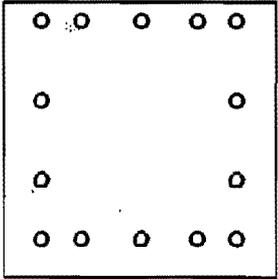
Columna : 80 x 80  
 Marcos : 14 niveles 2 claros



AS1  
 AS2  
 AS3

As1 = As3 = 3 vrs. No 10 = 23.76 cm<sup>2</sup>  
 As2 = 2 vrs. No 10 = 15.84 cm<sup>2</sup>

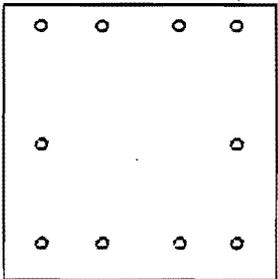
Columna : 85 x 85  
 Marcos : 8 niveles 2 claros  
 8 niveles 3 claros



AS1  
 AS2  
 AS3  
 AS4

As1 = As4 = 5 vrs. No 8 = 25.95 cm<sup>2</sup>  
 As2 = As3 = 2 vrs. No 8 = 10.14 cm<sup>2</sup>

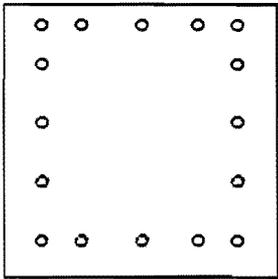
Columna : 85 x 85  
 Marcos : 14 niveles 3 claros



AS1  
 AS2  
 AS3

As1 = As3 = 3 vrs. No 10 + 1 vrs. No 8 =  
 = 28.83 cm<sup>2</sup>  
 As2 = 2 vrs. No 10 = 15.84 cm<sup>2</sup>

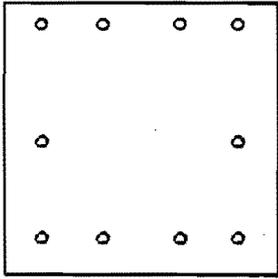
Columna : 90 x 90  
 Marcos : 10 niveles 2 claros  
 12 niveles 2 claros  
 10 niveles 3 claros  
 12 niveles 3 claros



AS1  
 AS2  
 AS3  
 AS4  
 AS5

As1 = As5 = 4 vrs. No 8 + 1 vrs. No 6 =  
 = 29.13 cm<sup>2</sup>  
 As2 = As3 = As4 = 2 vrs. No 8 = 10.14 cm<sup>2</sup>

Columna : 90 x 90  
 Marcos : 14 niveles 2 claros



AS1  
 AS2  
 AS3

As1 = As3 = 4 vrs. No 10 = 31.68 cm<sup>2</sup>  
 As2 = 2 vrs. No 10 = 15.84 cm<sup>2</sup>

TABLA 2.9.2 ACERO DE REFUERZO LONGITUDINAL EN COLUMNAS

<p>Columna : 95 x 95  Marcos : 8 niveles 2 claros  8 niveles 3 claros</p>		<p>AS1 AS2 AS3 AS4 AS5</p>
<p>As1 = As5 = 5 vrs.No 8 + 1 vrs.No 6 =  = 28.2 cm<sup>2</sup>  As2 = As3 = As4 = 2 vrs.No 8 = 10.14 cm<sup>2</sup></p>		
<p>Columna : 95 x 95  Marco : 14 niveles 3 claros</p>		<p>AS1 AS2 AS3 AS4</p>
<p>As1 = As4 = 9 vrs.No 10 + 1 vrs.No 8 =  = 28.83 cm<sup>2</sup>  As2 = As3 = 2 vrs.No 10 = 15.84 cm<sup>2</sup></p>		
<p>Columna : 100 x 100  Marcos : 10 niveles 2 claros  12 niveles 2 claros  10 niveles 3 claros  12 niveles 3 claros</p>		<p>AS1 AS2 AS3 AS4 AS5 AS6</p>
<p>As1 = As6 = 5 vrs.No 8 + 1 vrs.No 6 =  = 28.2 cm<sup>2</sup>  As2 = As3 = As4 = As5 = 2 vrs.No 8 =  = 10.14 cm<sup>2</sup></p>		
<p>Columna : 100 x 100  Marcos : 14 niveles 2 claros</p>		<p>AS1 AS2 AS3 AS4</p>
<p>As1 = As4 = 4 vrs.No 10 = 31.68 cm<sup>2</sup>  As2 = As3 = 2 vrs.No 10 = 15.84 cm<sup>2</sup></p>		
<p>Columna : 105 x 105  Marcos : 14 niveles 3 claros</p>		<p>AS1 AS2 AS3 AS4</p>
<p>As1 = As4 = 5 vrs.No 10 = 39.6 cm<sup>2</sup>  As2 = As3 = 2 vrs.No 10 = 15.84 cm<sup>2</sup></p>		

TABLA 2.3.2 ACERO DE REFUERZO LONGITUDINAL EN COLUMNAS

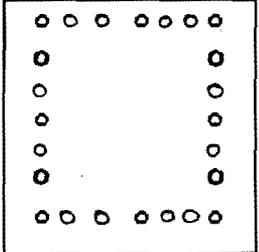
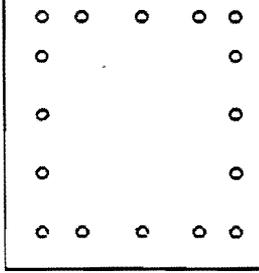
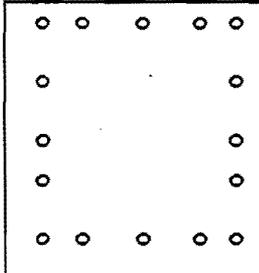
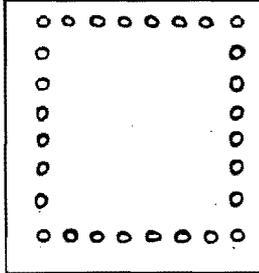
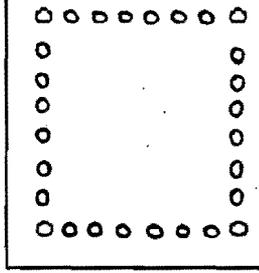
<p>Columna : 110 x 110  Marcos : 12 niveles 2 claros  12 niveles 3 claros</p> <p>As1 = As7 = 6 vrs. No 8 + 1 vrs. No 6 =  = 99.27 cm<sup>2</sup></p> <p>As2 = As9 = As4 = As5 = As6 = 2 vrs. No 8 =  = 10.14 cm<sup>2</sup></p>	
<p>Columna : 110 x 110  Marcos : 14 niveles 2 claros</p> <p>As1 = As5 = 4 vrs. No 10 + 1 vrs. No 8 =  = 96.75 cm<sup>2</sup></p> <p>As2 = As9 = As4 = 2 vrs. No 10 = 15.84 cm<sup>2</sup></p>	
<p>Columna 115 x 115  Marcos : 14 niveles 2 claros  16 niveles 2 claros  14 niveles 3 claros  16 niveles 3 claros</p> <p>As1 = As5 = 5 vrs. No 10 = 99.6 cm<sup>2</sup></p> <p>As2 = As9 = As4 = 2 vrs. No 10 = 15.84 cm<sup>2</sup></p>	
<p>Columna : 115 x 115  Marcos : 12 niveles 3 claros</p> <p>As1 = As7 = 7 vrs. No 8 + 1 vrs. No 6 =  = 98.94 cm<sup>2</sup></p> <p>As2 = As3 = As4 = As5 = As6 = 2 vrs. No 8 =  = 10.14 cm<sup>2</sup></p>	
<p>Columna : 120 x 120  Marcos : 14 niveles 2 claros  14 niveles 3 claros</p> <p>As1 = As5 = 6 vrs. No 10 = 47.52 cm<sup>2</sup></p> <p>As2 = As9 = As4 = 2 vrs. No 10 = 15.84 cm<sup>2</sup></p>	

TABLA 2.9.2 ACERO DE REFUERZO LONGITUDINAL EN COLUMNAS

<p>Columna : 125 x 125  Marcos : 16 niveles 2 claros  14 niveles 3 claros  16 niveles 3 claros</p> <p><math>A_{s1} = A_{s6} = 5 \text{ vrs. No } 10 + 1 \text{ vrs. No } 8 =</math>  <math>= 44.67 \text{ cm}^2</math></p> <p><math>A_{s2} = A_{s3} = A_{s4} = A_{s5} = 2 \text{ vrs. No } 10 =</math>  <math>= 15.84 \text{ cm}^2</math></p>		<p>AS1 AS2 AS3 AS4 AS5 AS6</p>
<p>Columna : 135 x 135  Marcos : 16 niveles 2 claros  16 niveles 3 claros</p> <p><math>A_{s1} = A_{s7} = 6 \text{ vrs. No } 10 + 1 \text{ vrs. No } 8 =</math>  <math>= 52.59 \text{ cm}^2</math></p> <p><math>A_{s2} = A_{s3} = A_{s4} = A_{s5} = A_{s6} = 2 \text{ vrs. No } 10 =</math>  <math>= 15.84 \text{ cm}^2</math></p>		<p>AS1 AS2 AS4 AS6 AS7</p>
<p>Columna : 145 x 145  Marcos : 16 niveles 2 claros  16 niveles 3 claros</p> <p><math>A_{s1} = A_{s7} = 8 \text{ vrs. No } 10 = 63.96 \text{ cm}^2</math></p> <p><math>A_{s2} = A_{s3} = A_{s4} = A_{s5} = A_{s6} = 2 \text{ vrs. No } 10 =</math>  <math>= 15.84 \text{ cm}^2</math></p>		<p>AS1 AS2 AS4 AS6 AS7</p>
<p>Columna : 150 x 150  Marcos : 16 niveles 2 claros  16 niveles 3 claros</p> <p><math>A_{s1} = A_{s8} = 8 \text{ vrs. No } 10 = 63.96 \text{ cm}^2</math></p> <p><math>A_{s2} = A_{s3} = A_{s4} = A_{s5} = A_{s6} = A_{s7} =</math>  <math>= 2 \text{ vrs. No } 10 = 15.84 \text{ cm}^2</math></p>		<p>AS1 AS8</p>

TABLA 2.9.2 ACERO DE REFUERZO LONGITUDINAL EN COLUMNAS

## CAPITULO III

### RESPUESTA INELASTICA DEL SISTEMA ESTRUCTURAL

Cuando un sistema estructural es sometido a una excitación sísmica intensa y de larga duración, la variación de la rigidez de sus elementos causada por la fluencia del acero de refuerzo longitudinal y el agrietamiento del concreto, determinan un comportamiento no lineal del mismo, por lo que es necesario considerar en el análisis la degradación de la rigidez que determina una relación no lineal entre fuerzas y desplazamientos.

#### 3.1 ALCANCES DEL PROGRAMA LARZWD-1.0

El programa Larzwd fue desarrollado para obtener la respuesta dinámica no lineal de estructuras planas de concreto reforzado sujetas a excitaciones sísmicas. El programa está capacitado para analizar los marcos con muros trabajando en paralelo. Su aplicación directa está en la investigación y no en el diseño.

Los alcances del programa están definidos por la forma de introducir los datos, la primera opción se realiza mediante el uso de una hoja de cálculo pero no se tiene acceso a

toda la capacidad del programa, algunas de estas limitaciones son:

- 1) Todos los marcos y muros deben tener el mismo número de pisos.
- 2) Todos los elementos deben tener rigidez y resistencia finita.
- 3) Todas las propiedades de los elementos son simétricas respecto a la línea central de los elementos (la relación momento curvatura es anti-simétrica).

La segunda opción permite que toda la capacidad del programa sea desarrollada, pero el suministro de datos se realiza utilizando el archivo de entrada estandar, el cual es más laborioso. El programa está habilitado para realizar el análisis paso a paso no lineal de marcos planos, asignando a cada nodo tres grados de libertad: Desplazamiento horizontal, vertical y rotación, la masa se considera concentrada en los nodos.

Las fuerzas de amortiguamiento y el movimiento del terreno se consideran en la dirección horizontal paralela al plano del marco. La matriz de amortiguamiento se supone como una combinación de la matriz de masas y la matriz de rigideces

$$[C] = C_1 [M] + C_2 [K]$$

Donde: [C] es la matriz de amortiguamiento, [M] es la matriz de masa, [K] es la matriz de rigideces.

Los coeficientes de amortiguamiento se suponen equivalentes al factor de amortiguamiento (fracción del amortiguamiento crítico)  $S_1$  y  $S_2$  que son tomados por los dos primeros modos de la estructura, además es necesario estimar las

frecuencias angulares  $w_1$  y  $w_2$  correspondientes también a los dos primeros modos.

$$\text{Amortiguamiento de la masa} = C_1 = 2 * w_1 * w_2 * \frac{S_2 * w_1 - S_1 * w_2}{(w_1^2 - w_2^2)^2}$$

$$\text{Amortiguamiento de la rigidez} = C_2 = 2 * \frac{S_1 * w_1 - S_2 * w_2}{(w_1^2 - w_2^2)^2}$$

El análisis paso a paso se realiza mediante la integración numérica de la ecuación de movimiento para un incremento finito de tiempo ( $\Delta t$ ), se considera que la aceleración al igual que las propiedades del sistema (masa amortiguamiento y rigidez) permanecen constantes durante ese intervalo.

$$[M](\Delta \ddot{r}) + [C](\Delta \dot{r}) + [K](\Delta r) = \Delta p$$

Donde  $\Delta \ddot{r}$ ,  $\Delta \dot{r}$ ,  $\Delta r$  son los incrementos finitos de aceleración, velocidad y desplazamiento respectivamente en los nodos.

La secuencia para calcular la respuesta en cualquier intervalo de tiempo es:

- 1.- Se obtiene la matriz de rigidez instantánea.
- 2.- Se forma la matriz de rigidez estructural instantánea.
- 3.- Se plantea la ecuación de movimiento con la fuerza de inercia, de amortiguamiento, de restitución elástica y exterior.
- 4.- Se obtienen los desplazamientos en los nodos y con ello los incrementos de deformaciones y fuerzas en los elementos.

Para tomar en cuenta la degradación de la rigidez en traveses y columnas (la fluencia solo puede tener lugar en articulaciones plásticas concentradas en los extremos) se emplean las reglas de Takeda.

### 3.2 MODELO DE HISTERESIS DE TAKEDA

Al realizar el análisis no lineal de estructuras de concreto reforzado bajo cargas cíclicas y compararlo con los resultados experimentales se determinó que las fórmulas matemáticas de funciones cerradas no permitían la versatilidad suficiente para igualar el comportamiento medido, por lo que se tuvo especial interés en el comportamiento histerético de los miembros y aunque los multiseundos de modelos histeréticos consisten de porciones lineales si reproducen los resultados experimentales. El modelo de Takeda es una de las alternativas de sistemas histeréticos implementado en el programa Larzwd-1.0, la relación básica es en forma de una curva bilineal con rigidez inicial y una subsecuente rigidez de endurecimiento. Este modelo no incluye los efectos de estrangulamiento (tendencia para muy bajo incremento de rigidez próximo al origen seguido por un endurecimiento), los cuales son observados muy frecuentemente en resultados experimentales.

Para estados de carga y descarga en el modelo histerético bilineal la rigidez se incrementa considerablemente en comparación con los correspondientes valores medidos, por lo que para correlacionar los resultados de las pruebas con el modelo se ha desarrollado un nuevo modelo histerético bilineal, el cual considera la carga y descarga con ramas invertidas.

Basado en varios resultados experimentales el modelo

de Takeda consiste en 16 reglas de operación, de una curva primaria trilineal. La curva primaria puede incluir deformaciones adicionales causadas por falta de adherencia, sin embargo no se cubre el efecto de estrangulamiento el cual es causado por el deslizamiento del acero de refuerzo. Las reglas determinan diferentes características de rigideces en los estados de agrietamiento, fluencia, descarga y ciclos sucesivos de recarga. El modelo considera el agrietamiento como un punto de ruptura que disipa energía bajo cargas cíclicas aun en estado de prefluencia, lo que coincide con la realidad.

Las curvas fuerza desplazamiento durante ciclos de baja amplitud y que estan dentro del límite de ciclos de amplitud mas grande previamente obtenido, están relacionadas con las reglas utilizadas en el modelo de Takeda, por ejemplo la curva fuerza desplazamiento fig (3.2.1) no requiere de ninguna regla especial si va de  $X_3$  a  $R_2$ , pero la trayectoria real es de  $X_3$  a  $R_3$  que si requiere una regla especial. El modelo de Takeda ignora la deformabilidad que puede ocurrir en vigas, columnas o conexiones a bajas amplitudes fig (3.2.2)

### 3.3 PROPIEDADES DE LOS ELEMENTOS

Para obtener la respuesta del sistema estructural el programa Larzwd requiere el suministro de los coeficientes de amortiguamiento tanto de la matriz de la masa como de rigidez,

el modelo de histéresis (el único modelo disponible en el programa es el de Takeda), las propiedades de los materiales que conforman los elementos como módulo de elasticidad y de cortante, descripción de la geometría del marco y peso por nivel, también se requiere la resistencia tipo de los elementos la cual es identificada por la relación momento curvatura que se define por tres líneas rectas fig (3.3.1). El primer punto se refiere al agrietamiento del elemento, la curvatura de agrietamiento es determinada por el programa usando el módulo de elasticidad y el momento de inercia. El segundo y tercer punto se refieren a la fluencia y post-fluencia del miembro y para su determinación se utiliza el programa CO-SECOR(Ref. 6 ), el cual toma en cuenta la distribución del acero de refuerzo, carga axial y confinamiento.

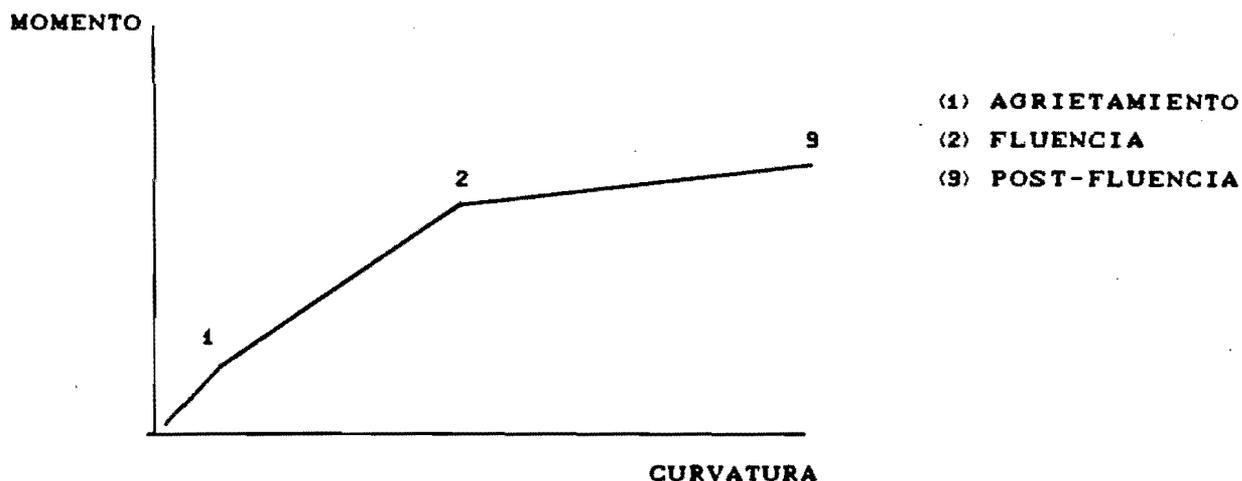


FIG. (9. 9. 1)

Se requiere información del exponente  $\mu$  en la

expresión que define la pendiente de regreso  $K_r$  del modelo de histéresis de takeda. Se recomienda que  $\mu$  varíe entre 0.4 y 0.5

$$K_r = K_y (D_y/D_u)^\mu$$

Donde :  $K_r$  = Pendiente de la trayectoria de la curva fuerza deformación, después de la fluencia.

$K_y$  = Pendiente de la línea de fluencia al agrietamiento.

$D_y$  = Deformación correspondiente al punto de fluencia.

$D_u$  = Máxima deformación lograda después de la carga.

El acelerograma utilizado para obtener la respuesta del sistema es el de la componente EW de S.C.T ocurrido el 19 de septiembre de 1985 (fig 3.3.2)

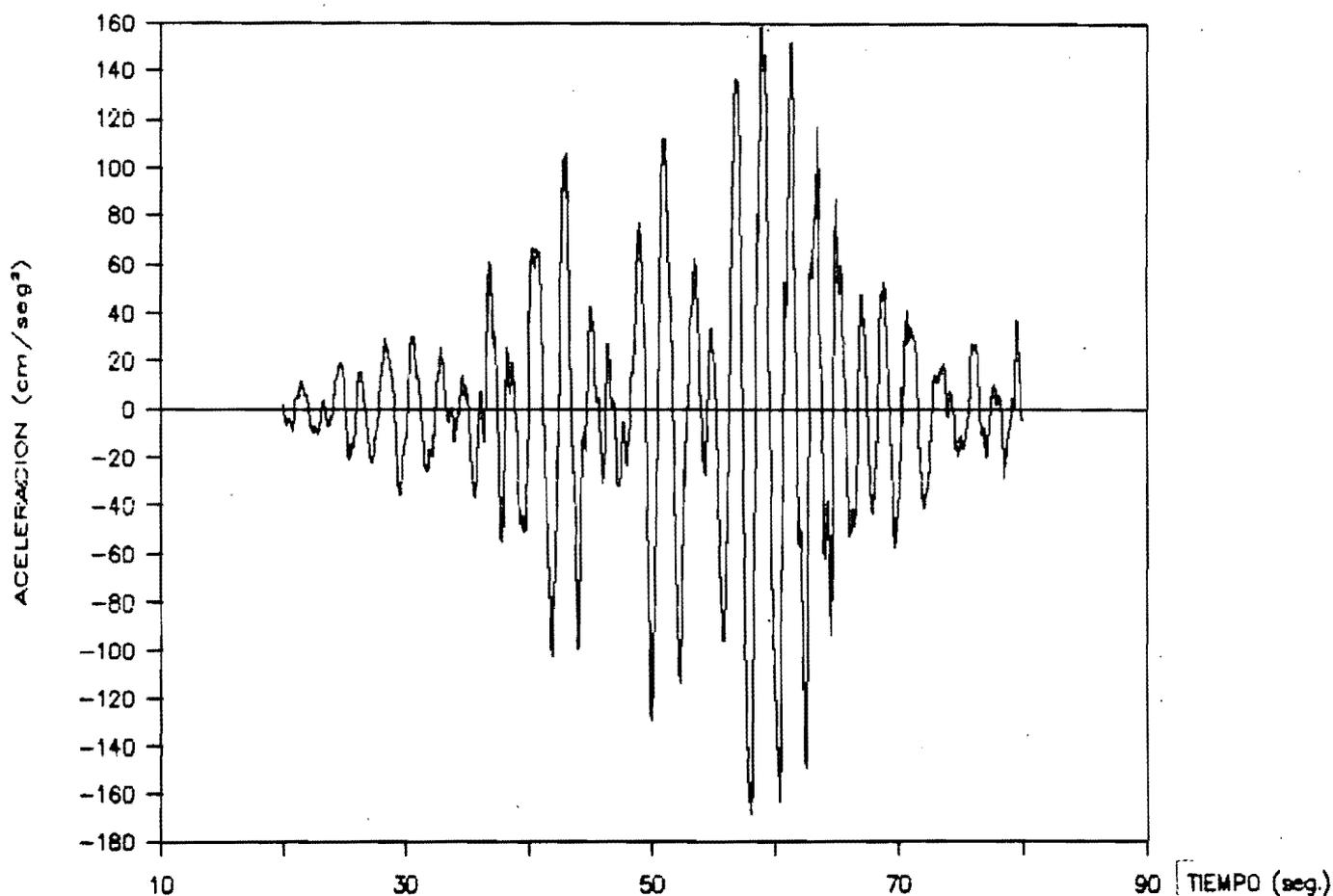


FIG (3.3.2) ACELEROGRAMA SCT-EW

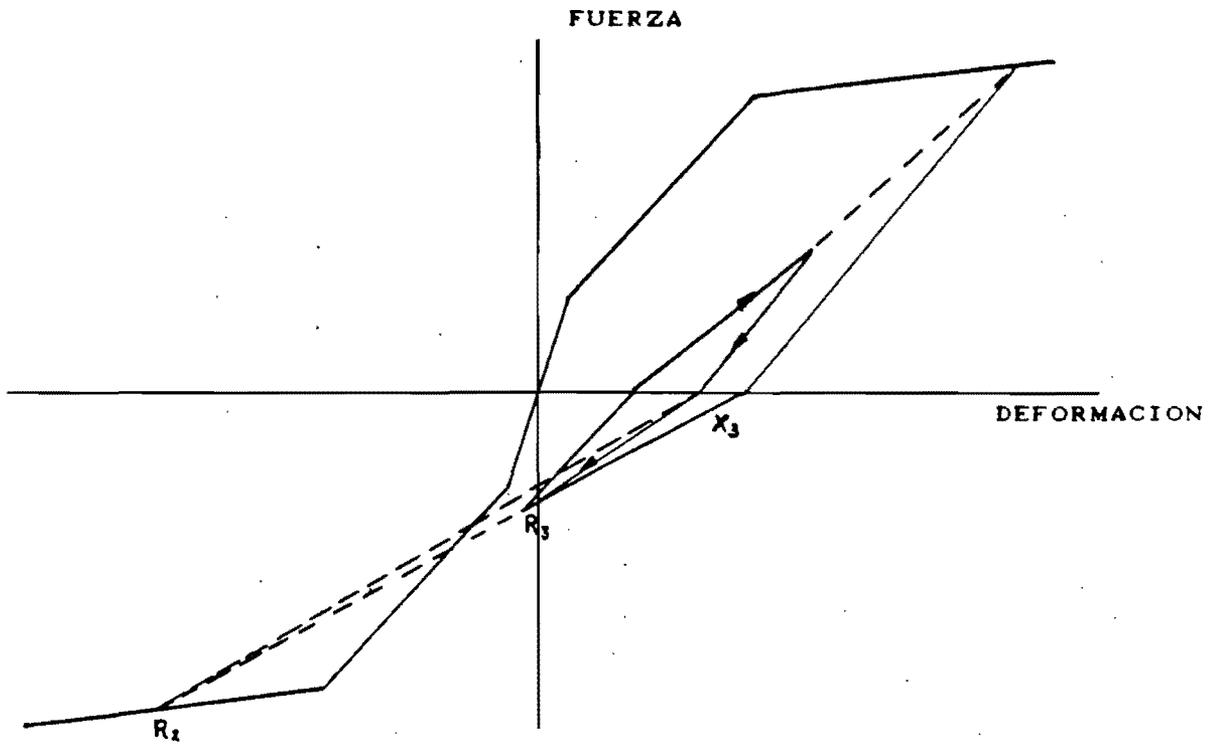


FIG 3.2.1 HISTERESIS DE TAKEDA

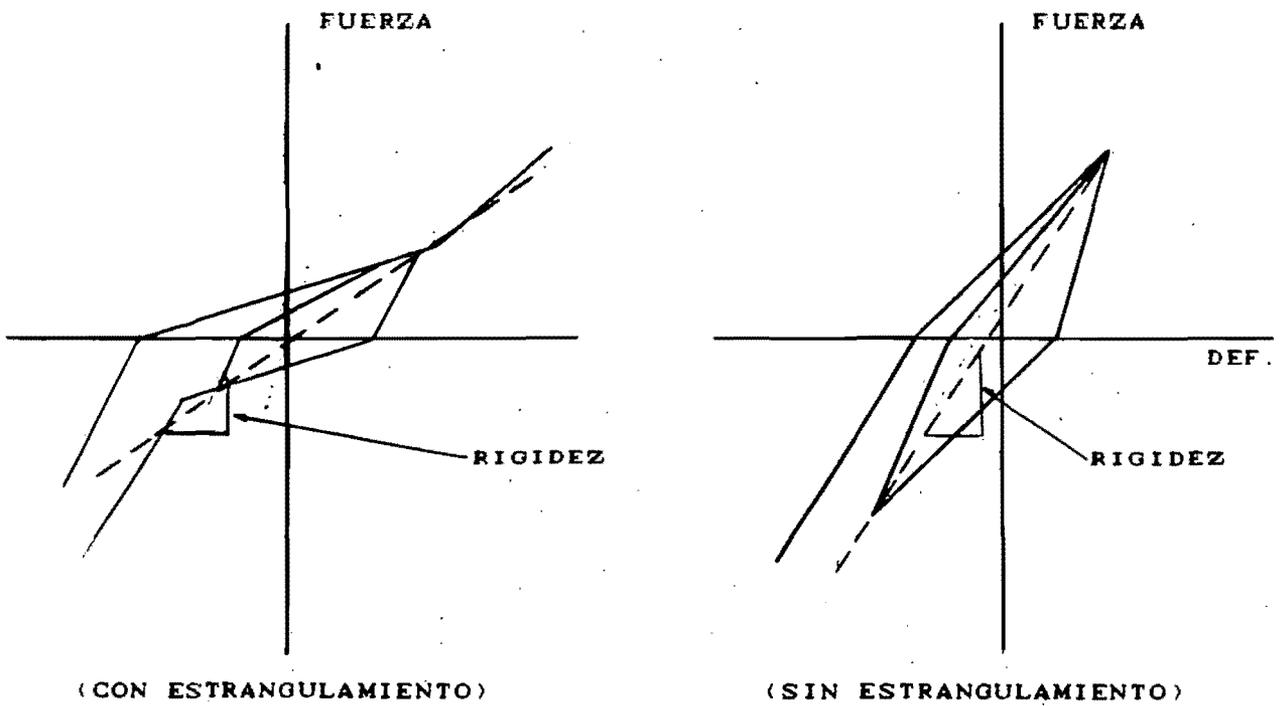


FIG 3.2.2 RIGIDEZ PROMEDIO

## CAPITULO IV

### ANALISIS DE RESULTADOS

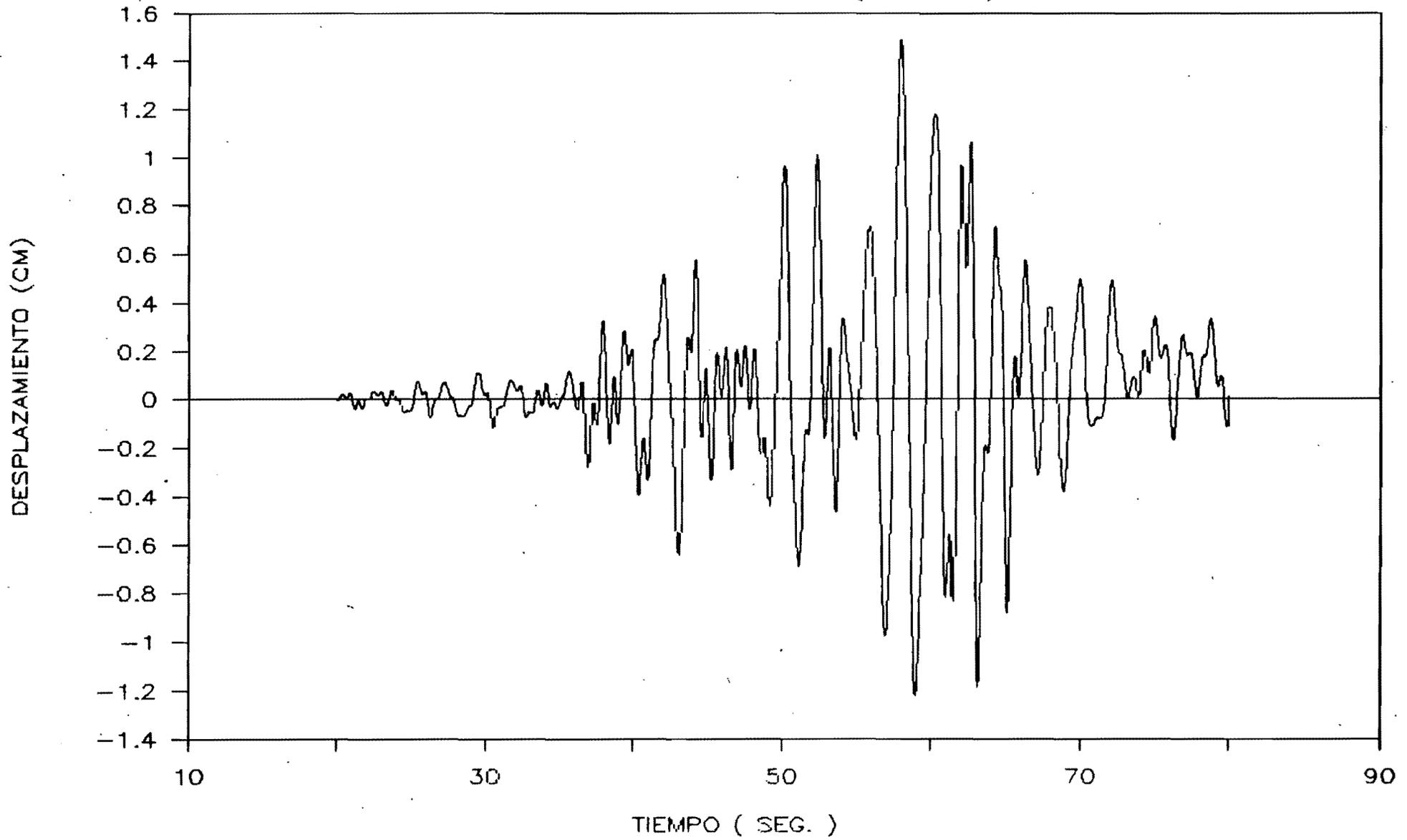
Ante la imposibilidad de mostrar todas las gráficas obtenidas se presentan algunas de las cuales son representativas del comportamiento de las estructuras analizadas a través del tiempo, resumiendo posteriormente el comportamiento general de las mismas.

Respecto a las gráficas desplazamiento relativo tiempo se puede observar que en la mayor parte de los niveles el desplazamiento aumenta en forma gradual hasta llegar a un máximo en el segundo 58; este tipo de comportamiento es similar al que se presenta en las gráficas aceleración-tiempo y cortante basal tiempo. Otro aspecto importante de estas gráficas es que la respuesta máxima se presenta en repetidas ocasiones en un intervalo de tiempo de 5 seg. aproximadamente.

Analizando los resultados generales (tabla 4.1), se puede observar que en los marcos de 4 niveles con 2 y 3 claros los desplazamientos relativos son menores que los permitidos por el reglamento, el máximo desplazamiento se presenta en el segundo nivel, con una aceleración muy similar en ambos casos (194.5 y 193.9 cm/seg<sup>2</sup>). La relación que existe entre el cortante en la

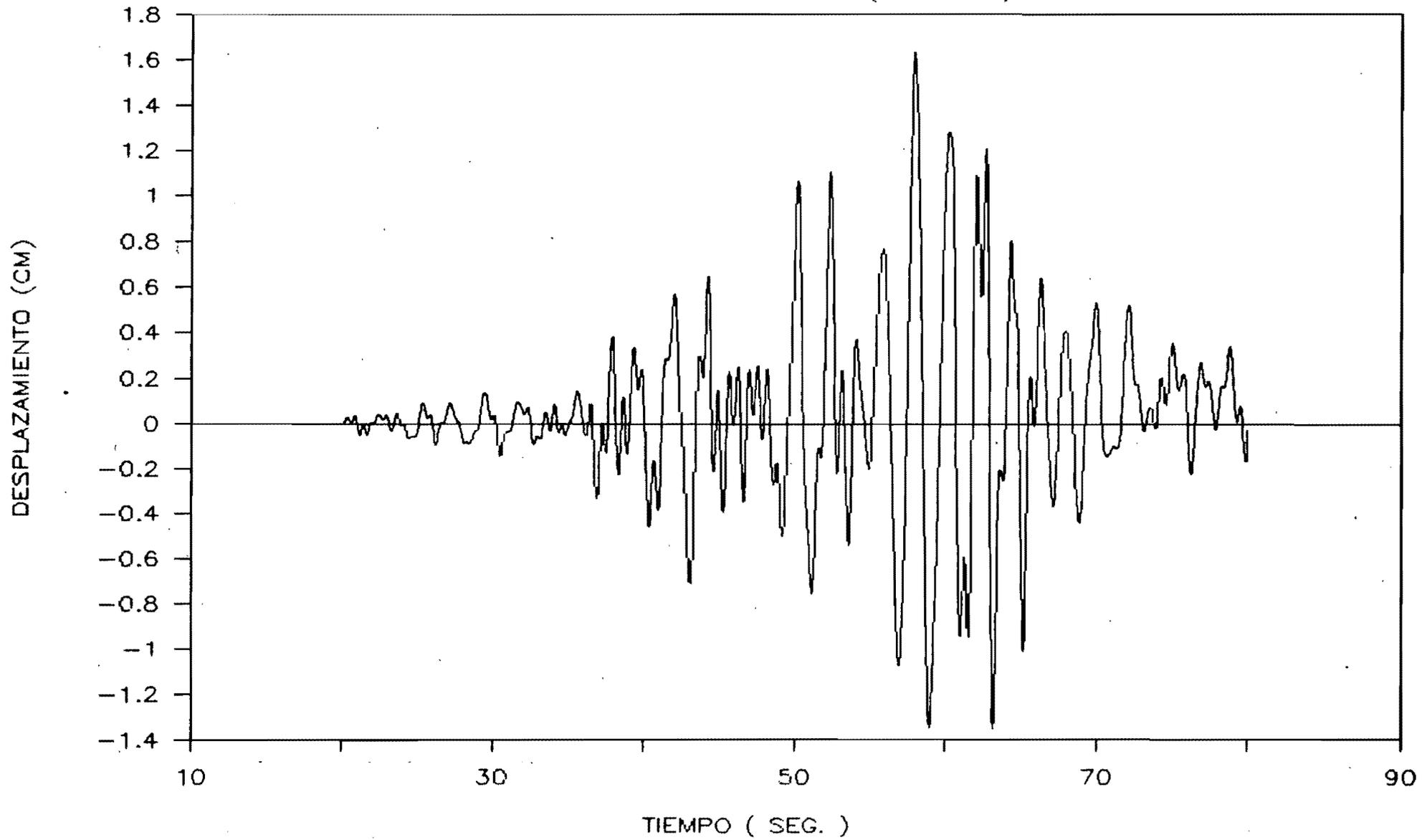
# DESPLAZAMIENTO RELATIVO - TIEMPO

MARCO 4 NIVELES 2 CLAROS ( NIVEL 1 )



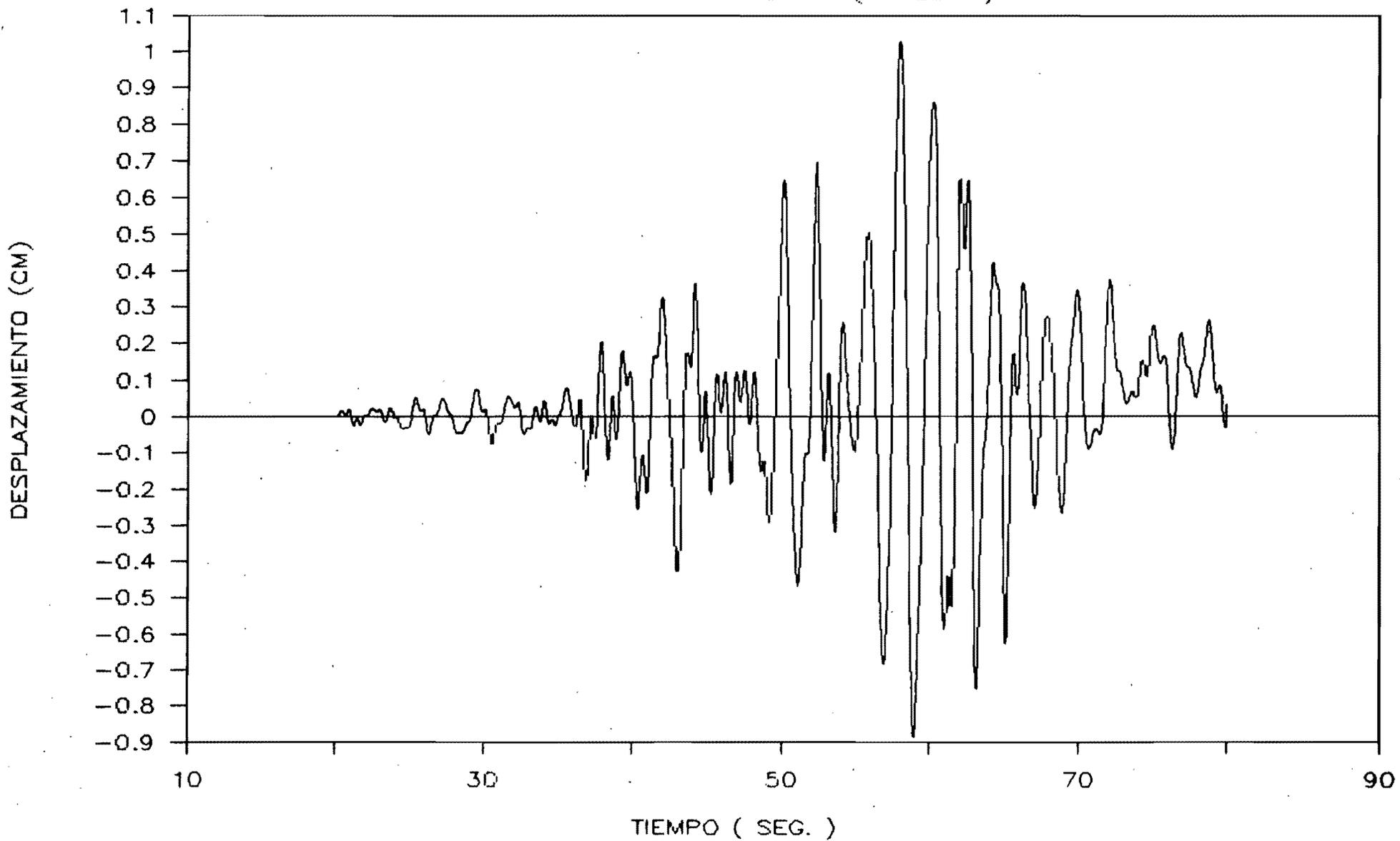
# DESPLAZAMIENTO RELATIVO-TIEMPO

MARCO 4 NIVELES 2 CLAROS ( NIVEL 2 )



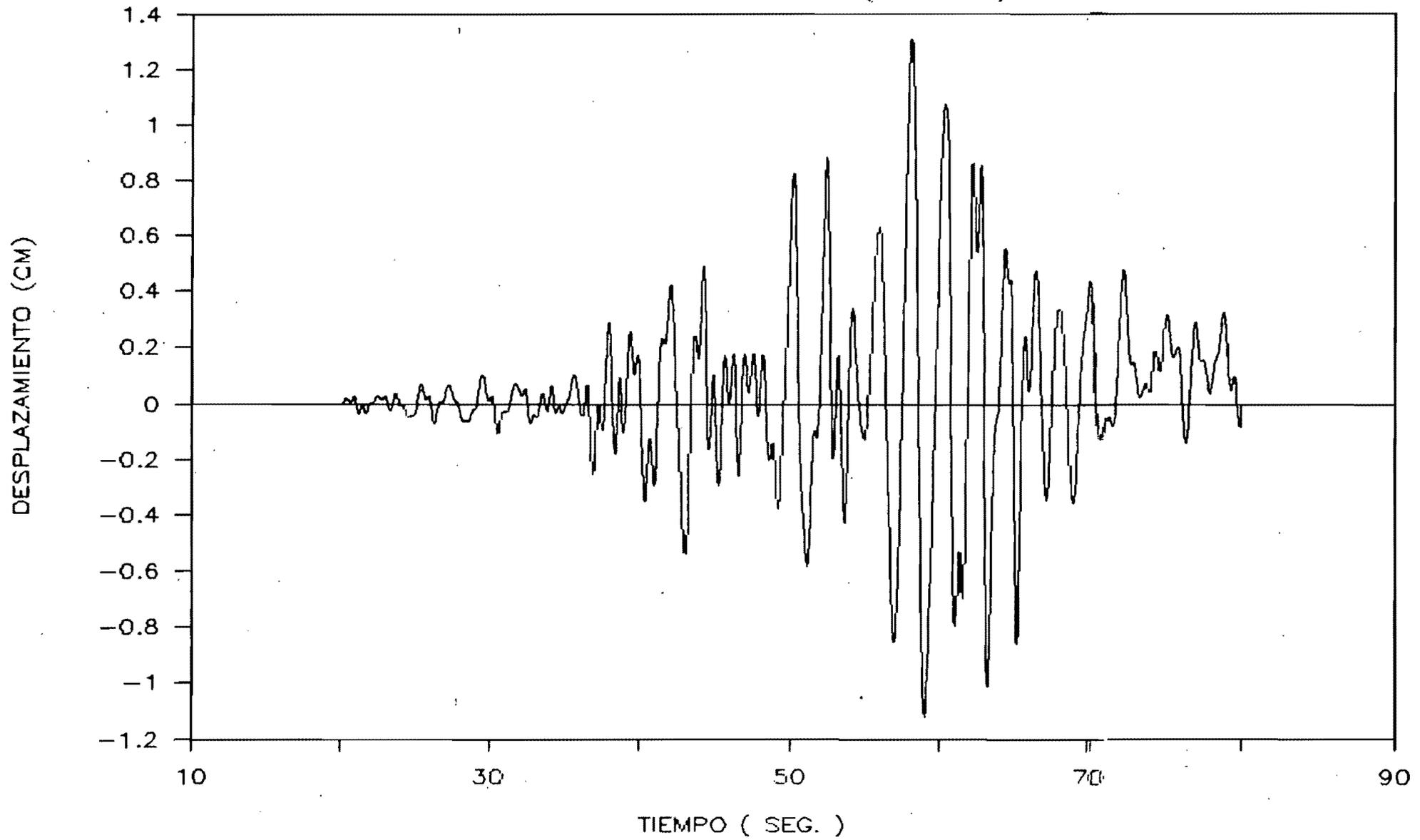
# DESPLAZAMIENTO RELATIVO-TIEMPO

MARCO 6 NIVELES 2 CLAROS ( NIVEL 1 )



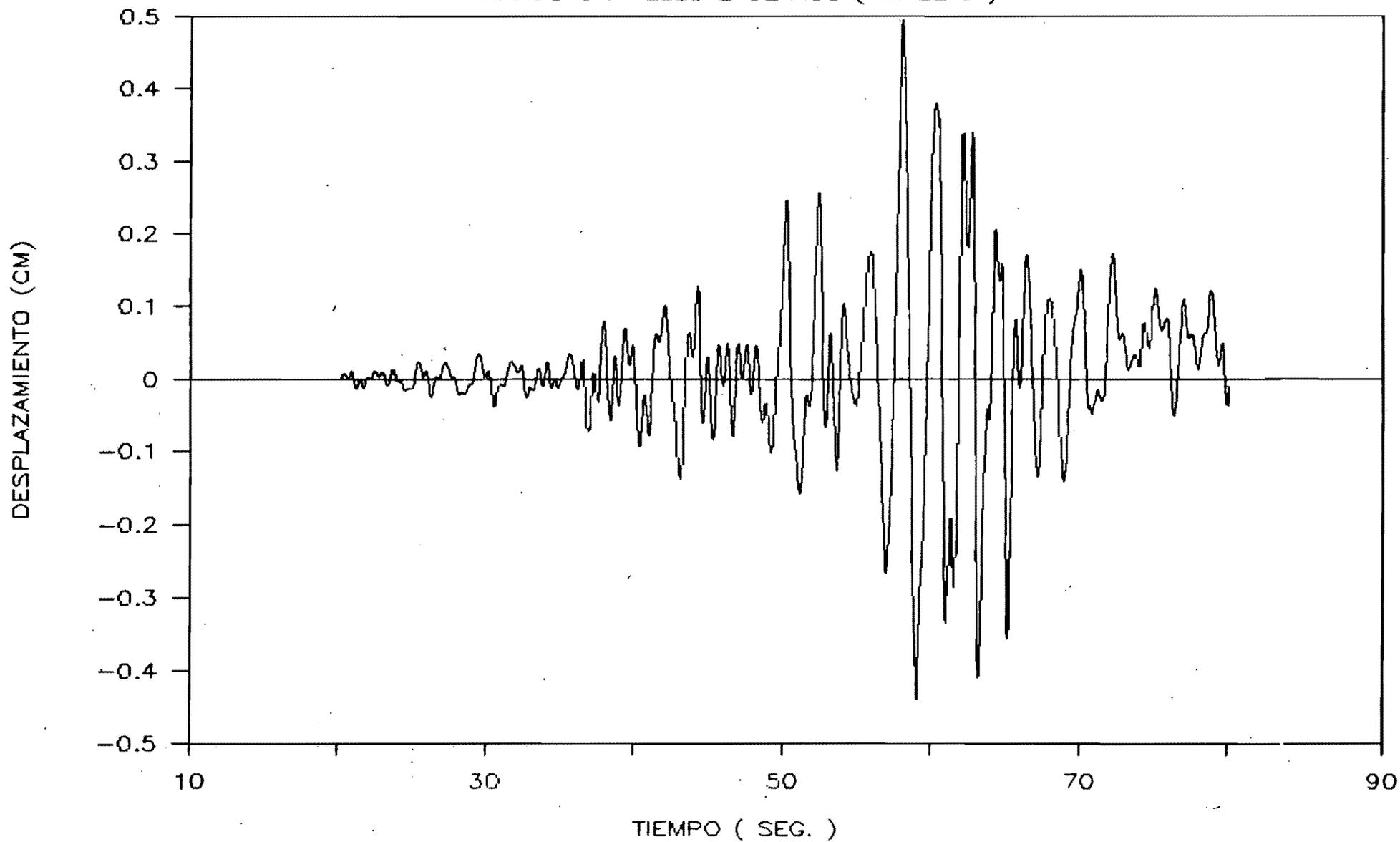
# DESPLAZAMIENTO RELATIVO-TIEMPO

MARCO 6 NIVELES 2 CLAROS ( NIVEL 3 )



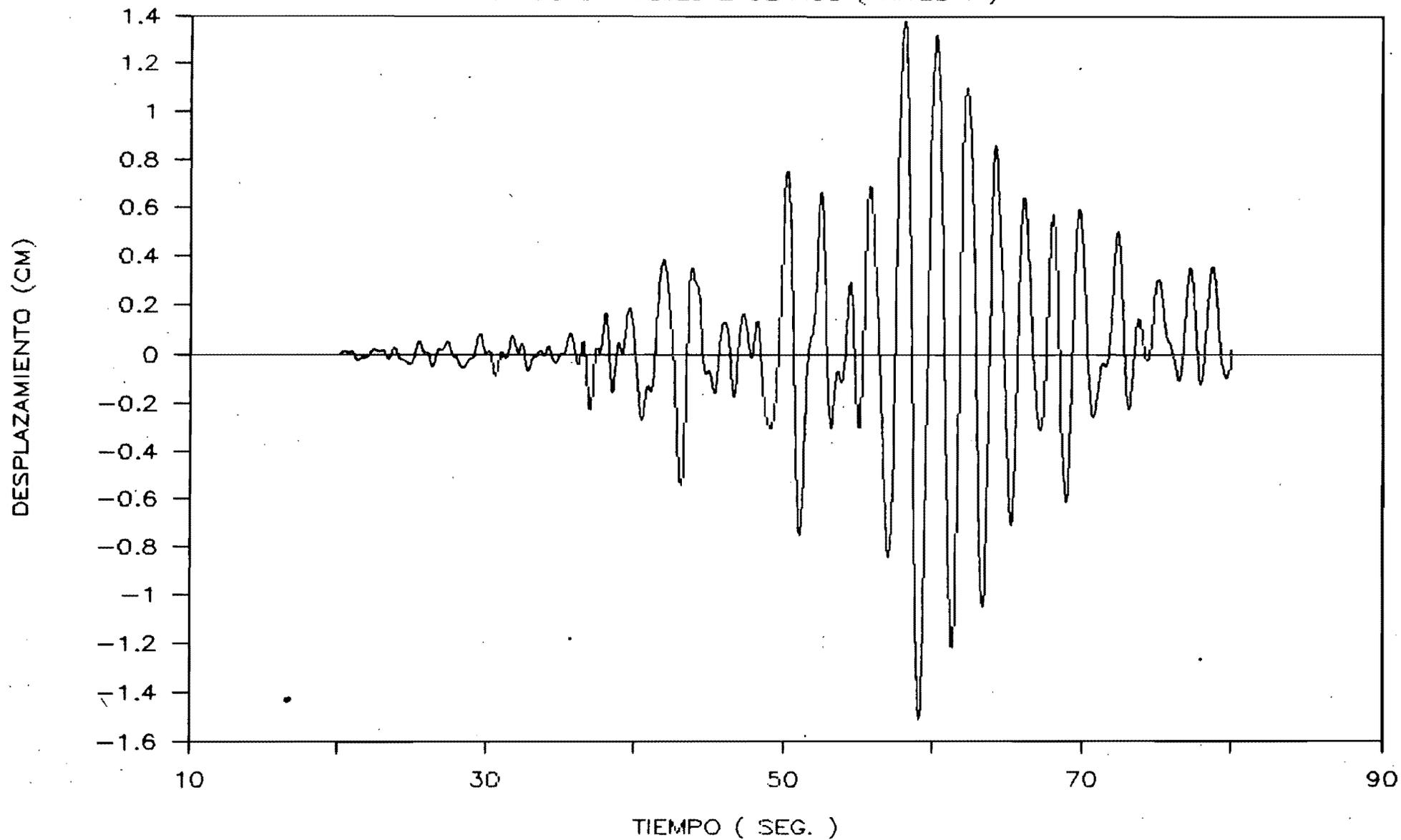
# DESPLAZAMIENTO RELATIVO-TIEMPO

MARCO 6 NIVELES 2 CLAROS ( NIVEL 6 )



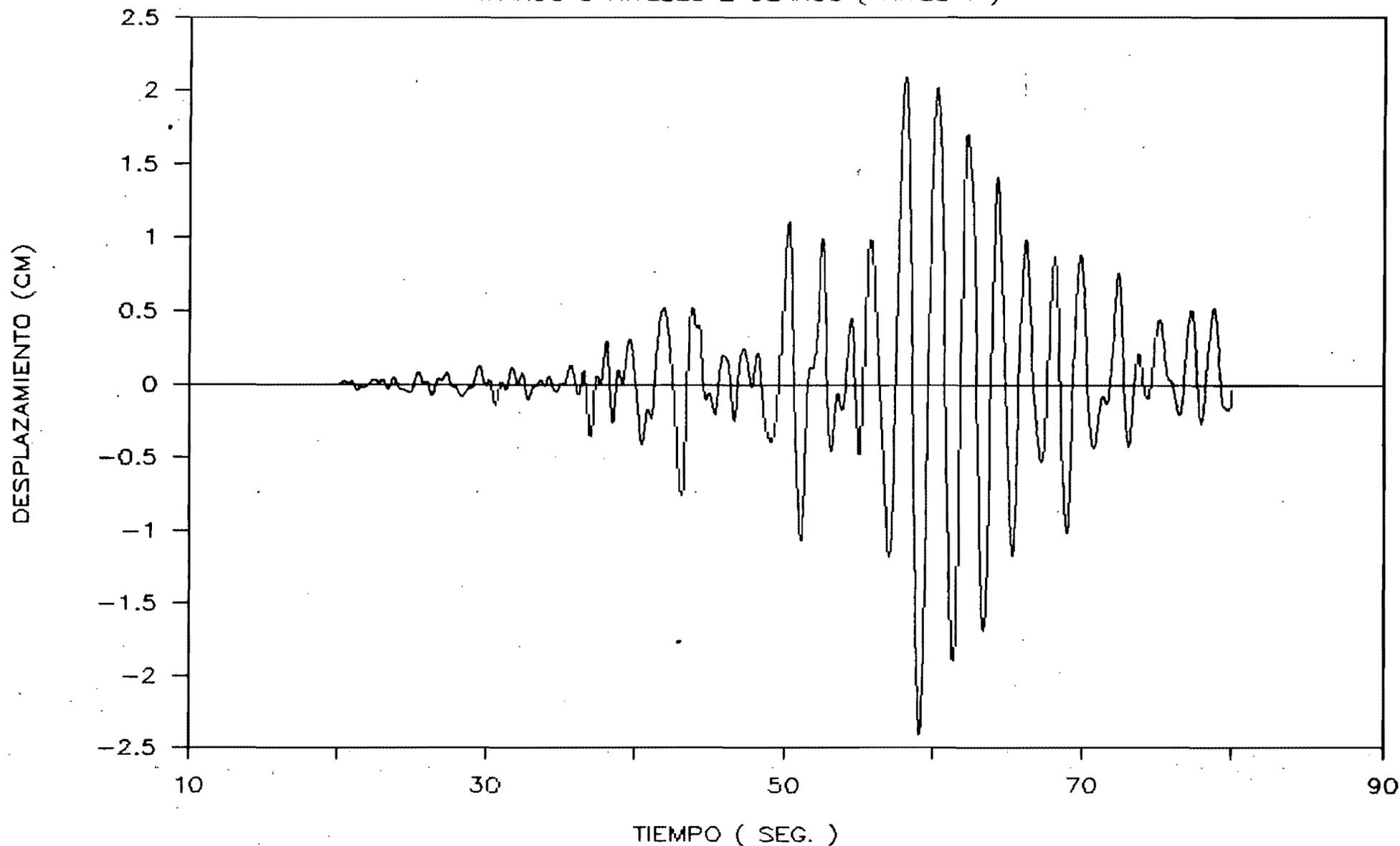
# DESPLAZAMIENTO RELATIVO-TIEMPO

MARCO 8 NIVELES 2 CLAROS ( NIVEL 1 )



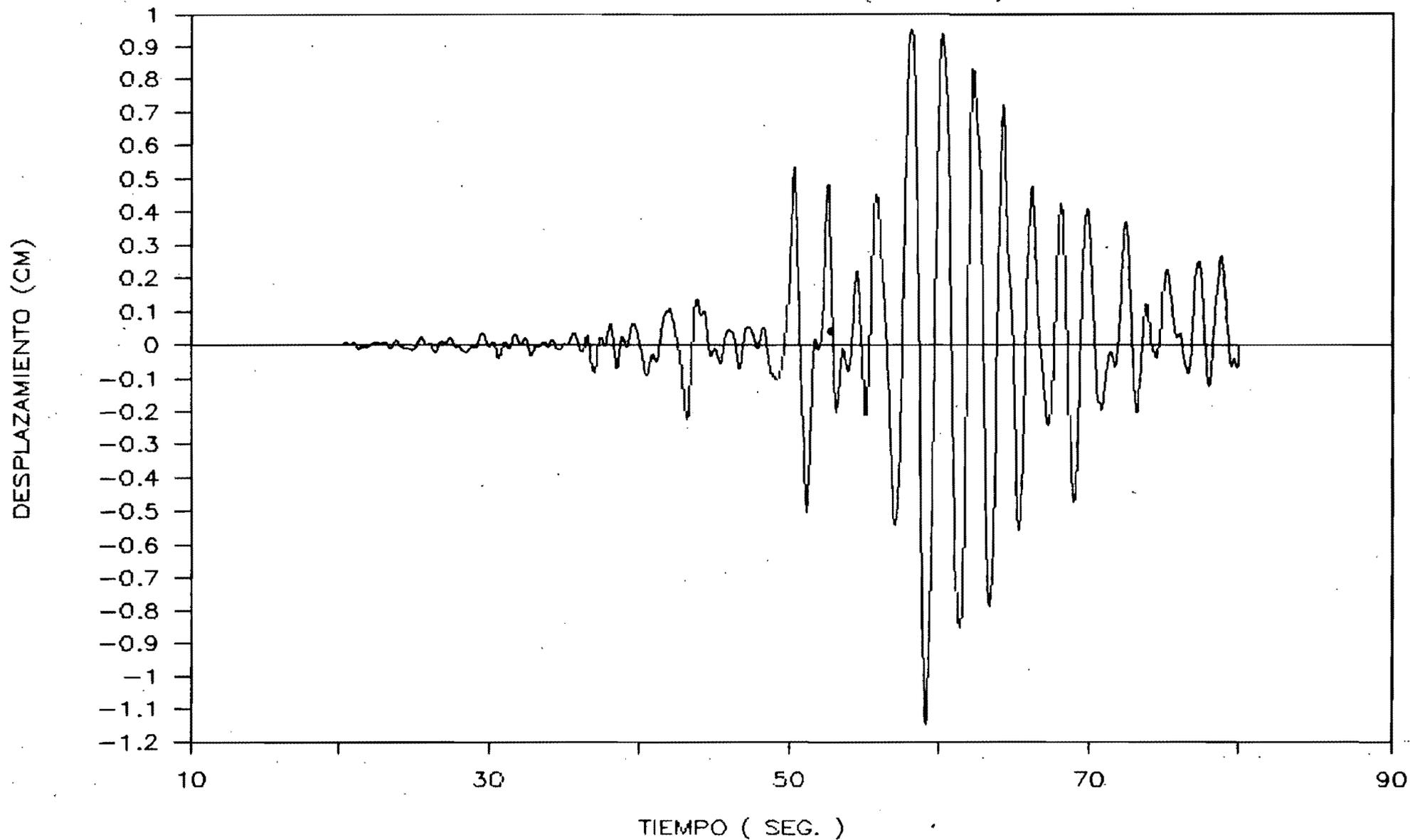
# DESPLAZAMIENTO RELATIVO-TIEMPO

MARCO 8 NIVELES 2 CLAROS ( NIVEL 4 )



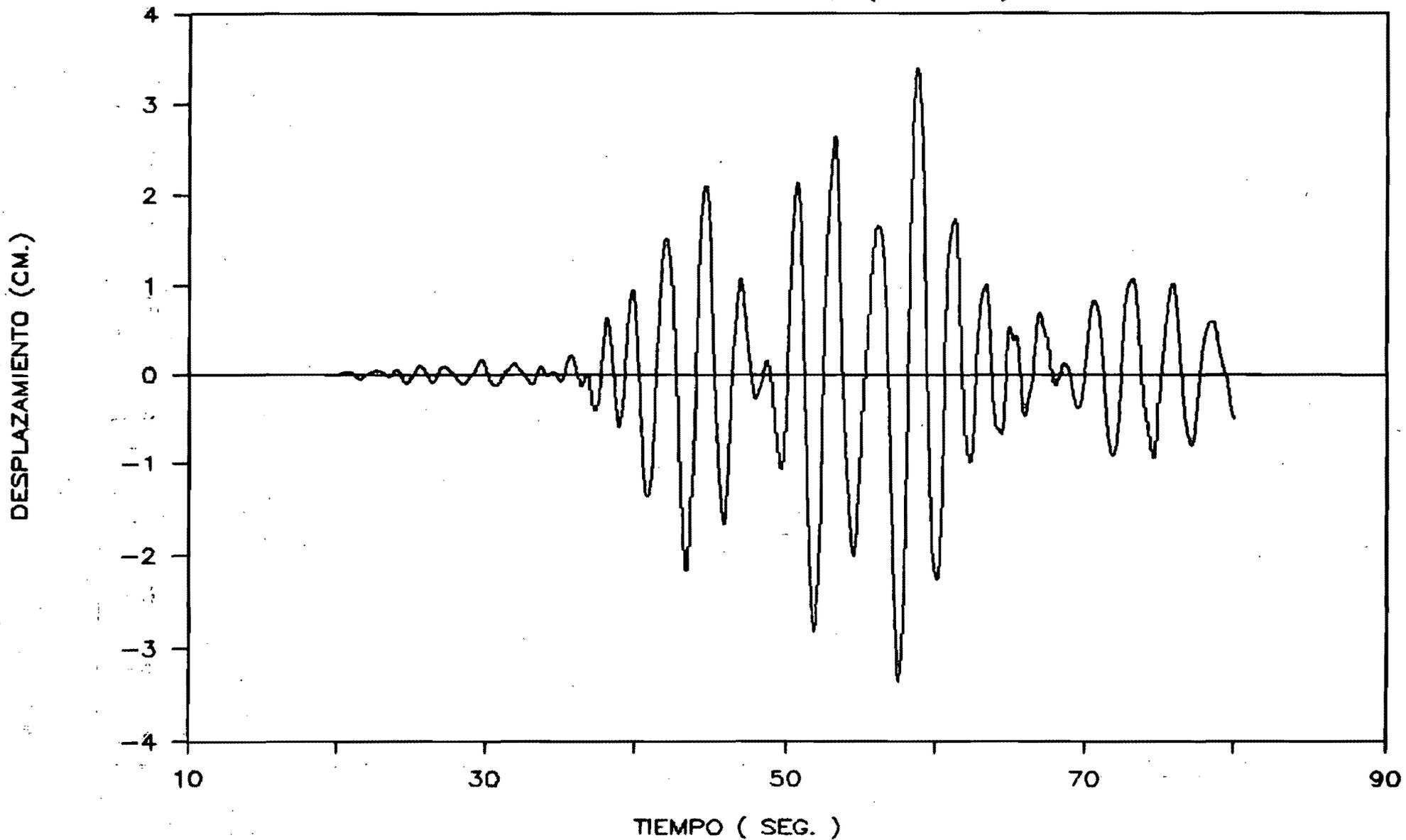
# DESPLAZAMIENTO RELATIVO-TIEMPO

MARCO 8 NIVELES 2 CLAROS. ( NIVEL 8 )



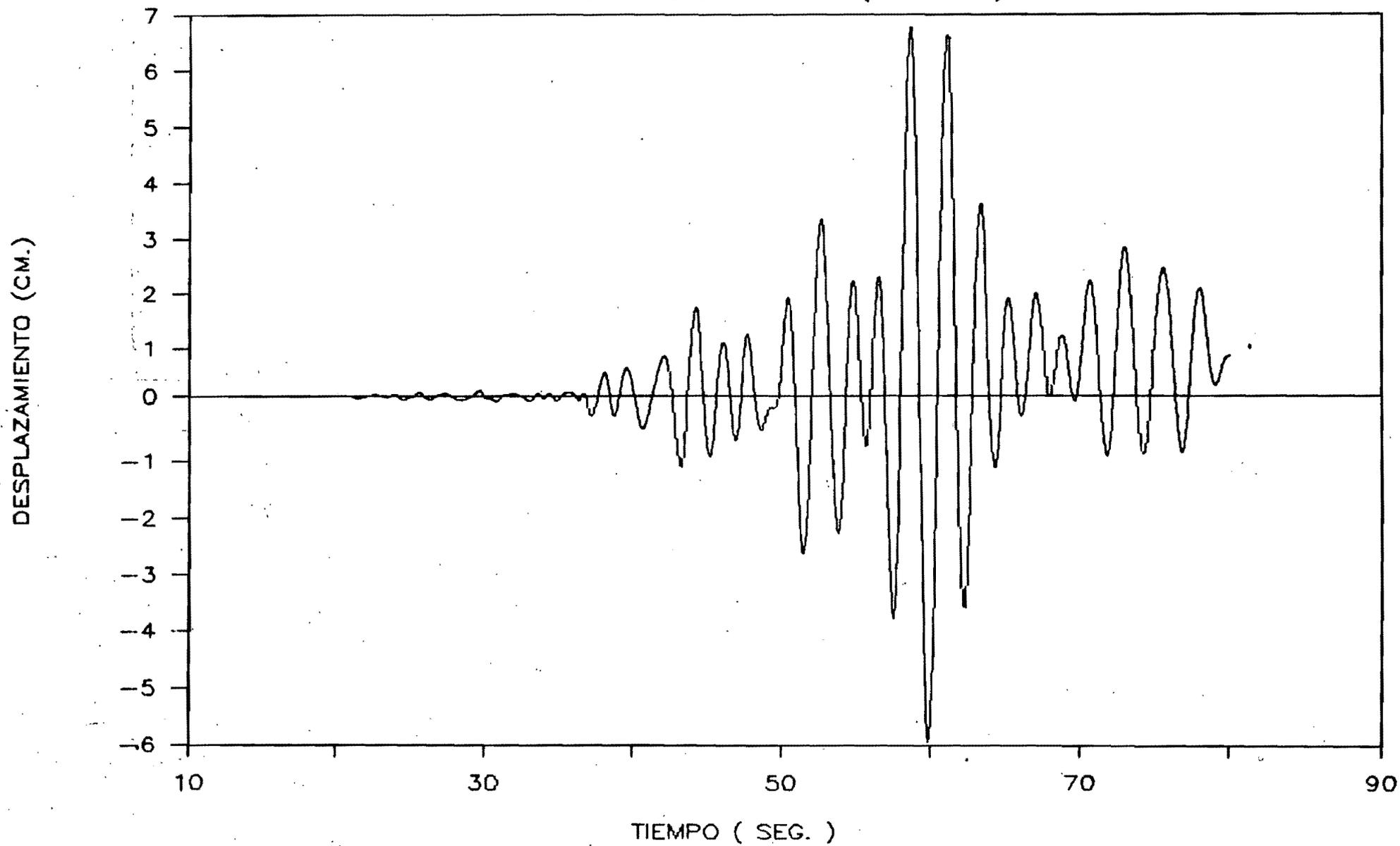
# DESPLAZAMIENTO RELATIVO-TIEMPO

MARCO 10 NIVELES 2 CLAROS ( NIVEL 1 )



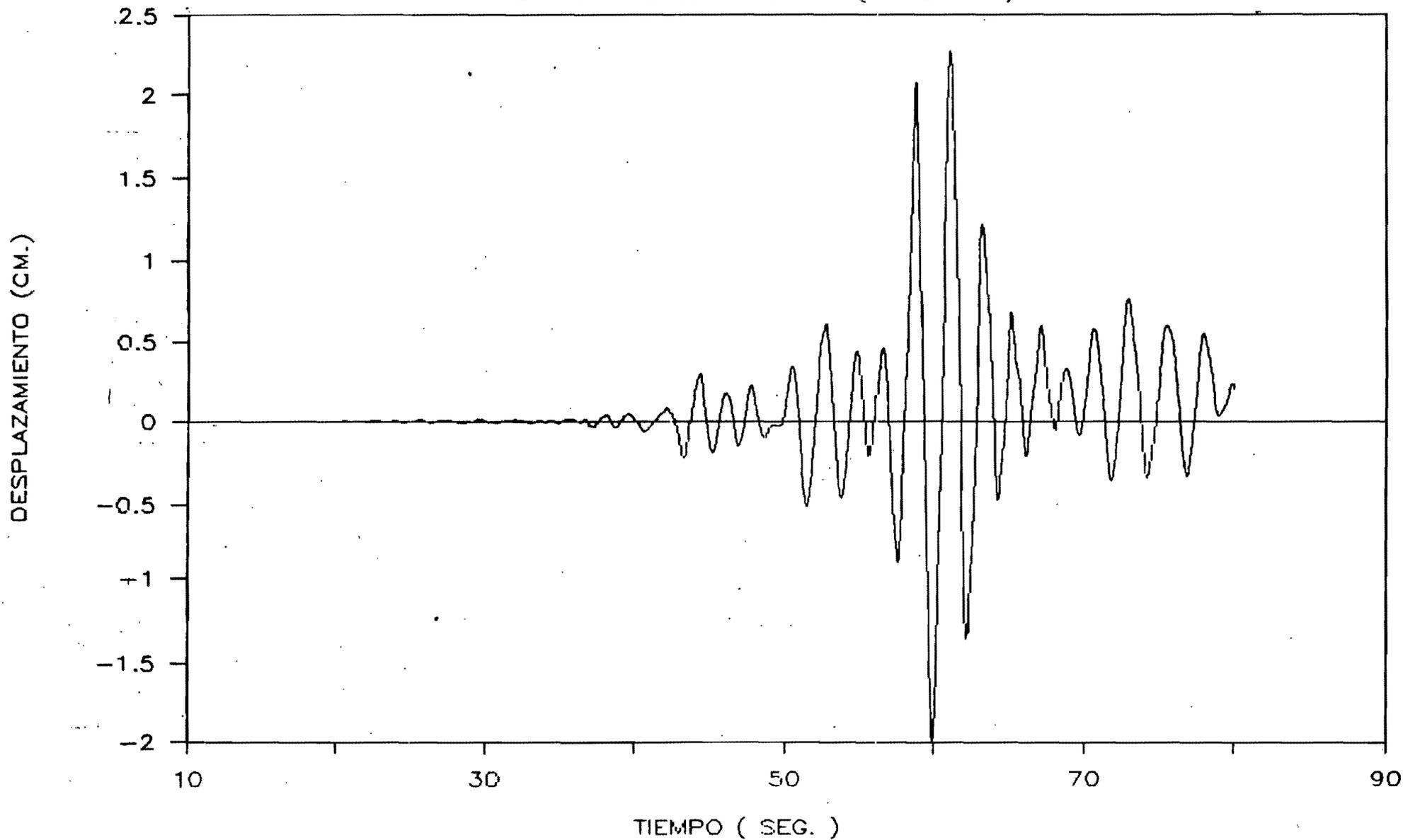
# DESPLAZAMIENTO RELATIVO-TIEMPO

MARCO 10 NIVELES 2 CLAROS ( NIVEL 5 )



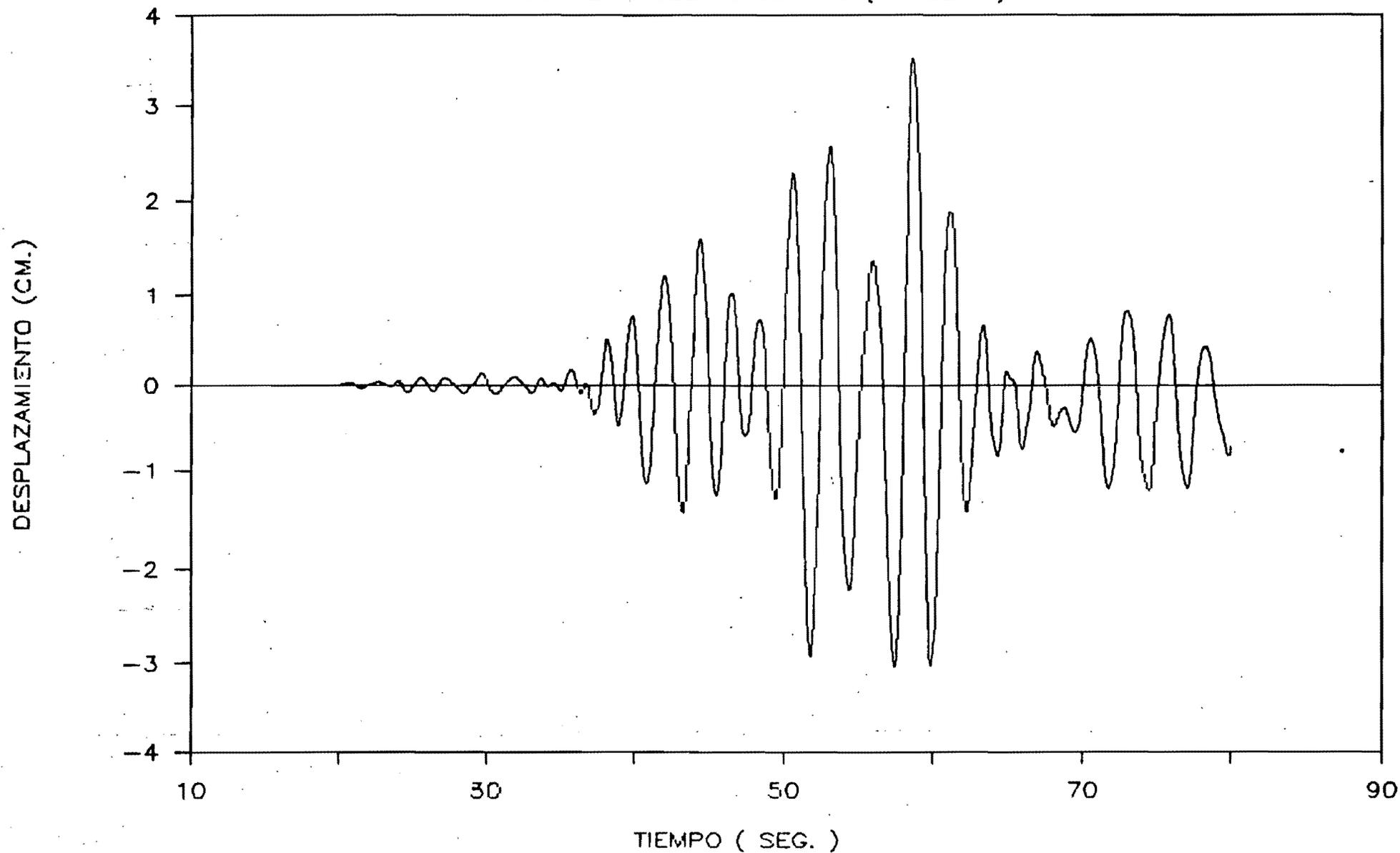
# DESPLAZAMIENTO RELATIVO-TIEMPO

MARCO 10 NIVELES 2 CLAROS ( NIVEL 10 )



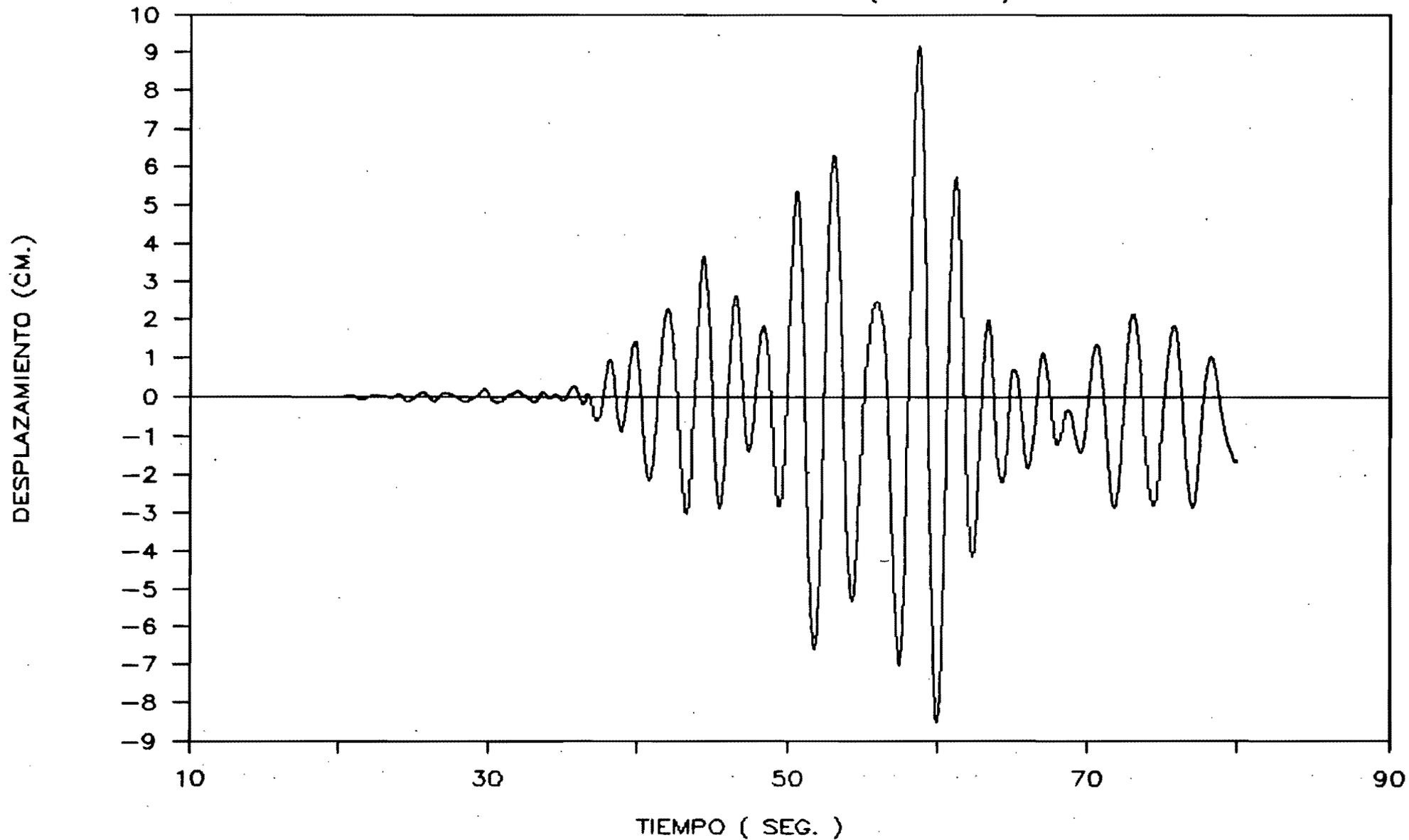
# DESPLAZAMIENTO RELATIVO-TIEMPO

MARCO 12 NIVELES 2 CLAROS ( NIVEL 1 )



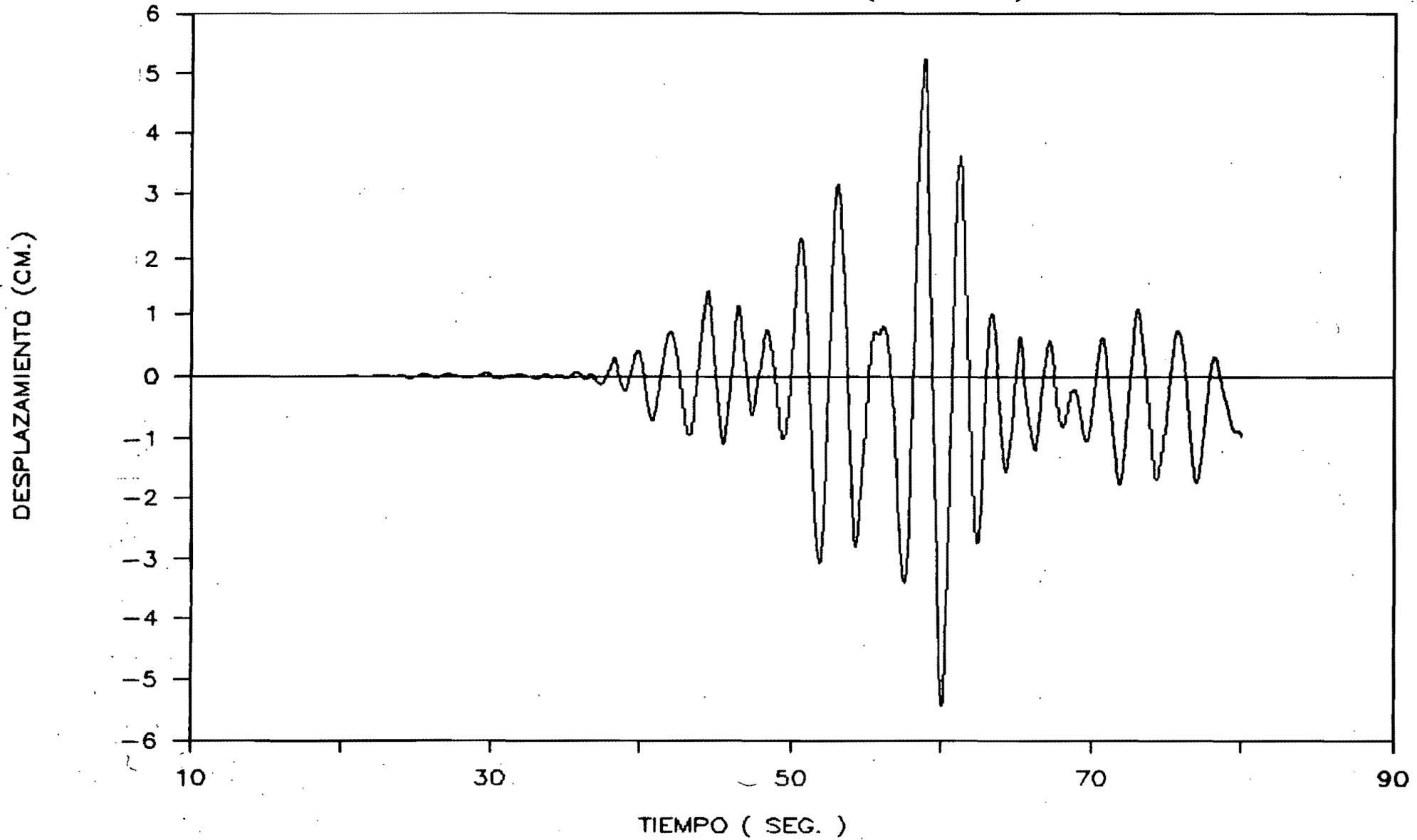
# DESPLAZAMIENTO RELATIVO-TIEMPO

MARCO 12 NIVELES 2 CLAROS ( NIVEL 7 )



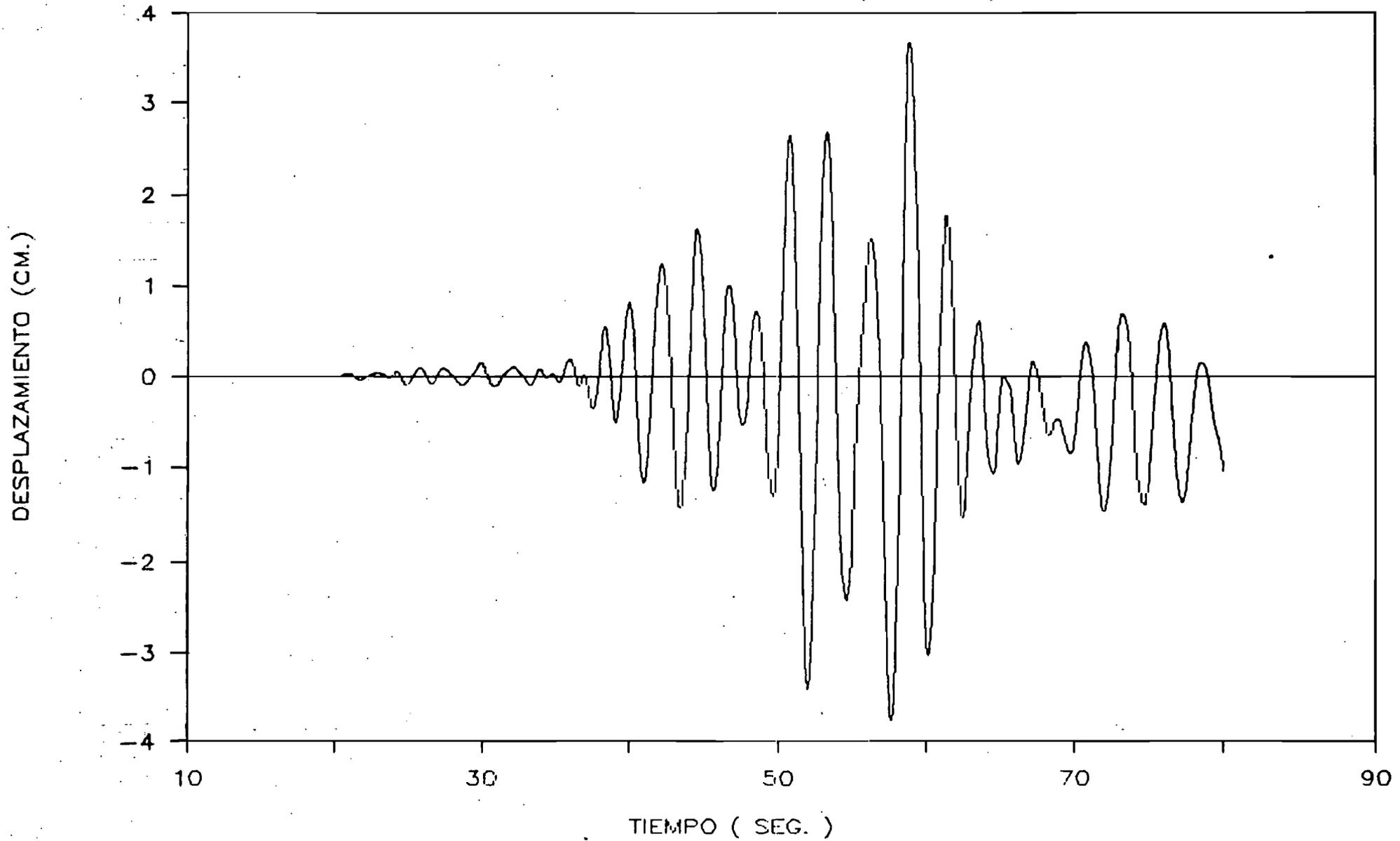
# DESPLAZAMIENTO RELATIVO-TIEMPO

MARCO 12 NIVELES 2 CLAROS ( NIVEL 12 )



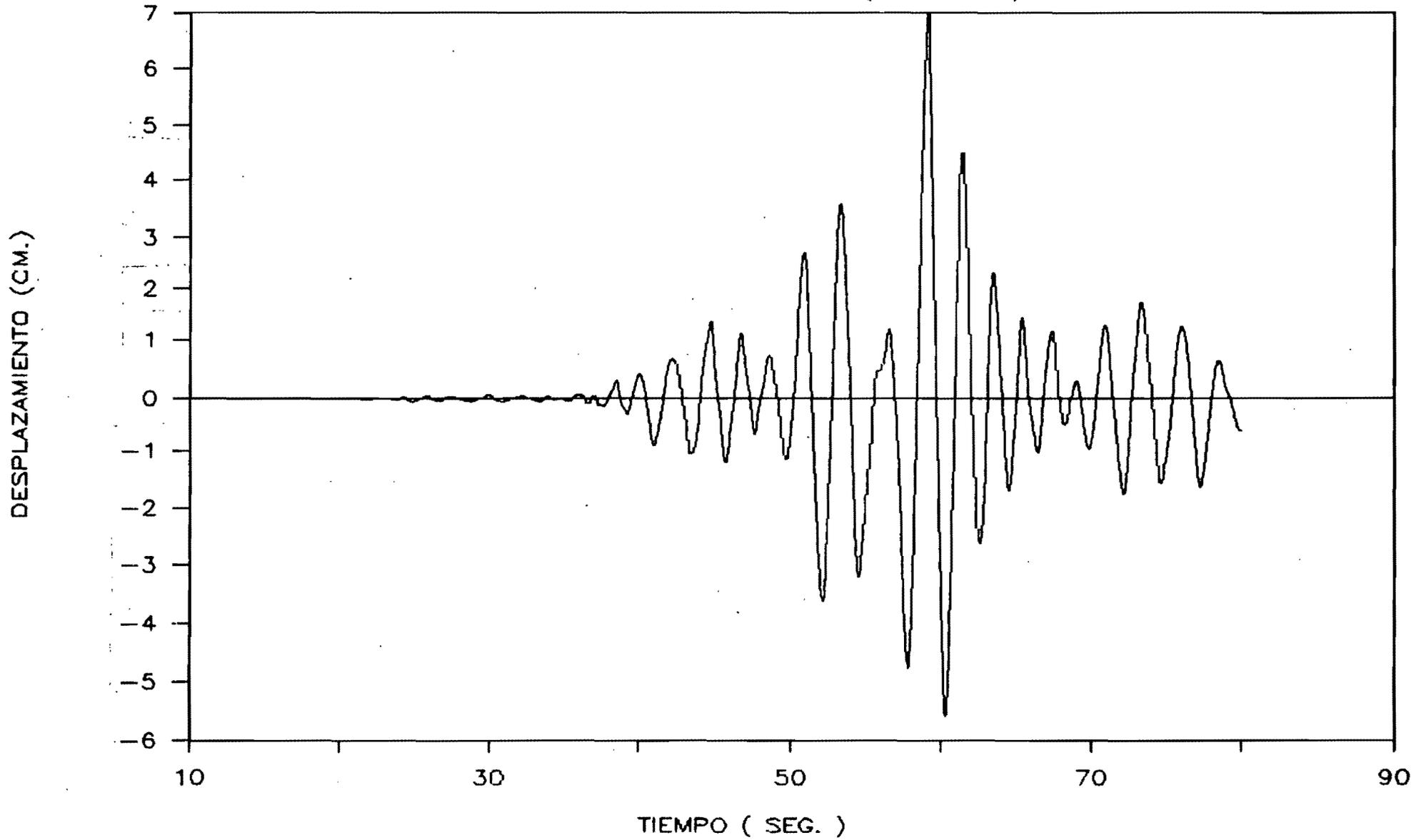
# DESPLAZAMIENTO RELATIVO-TIEMPO

MARCO 14 NIVELES 2 CLAROS ( NIVEL 1 )



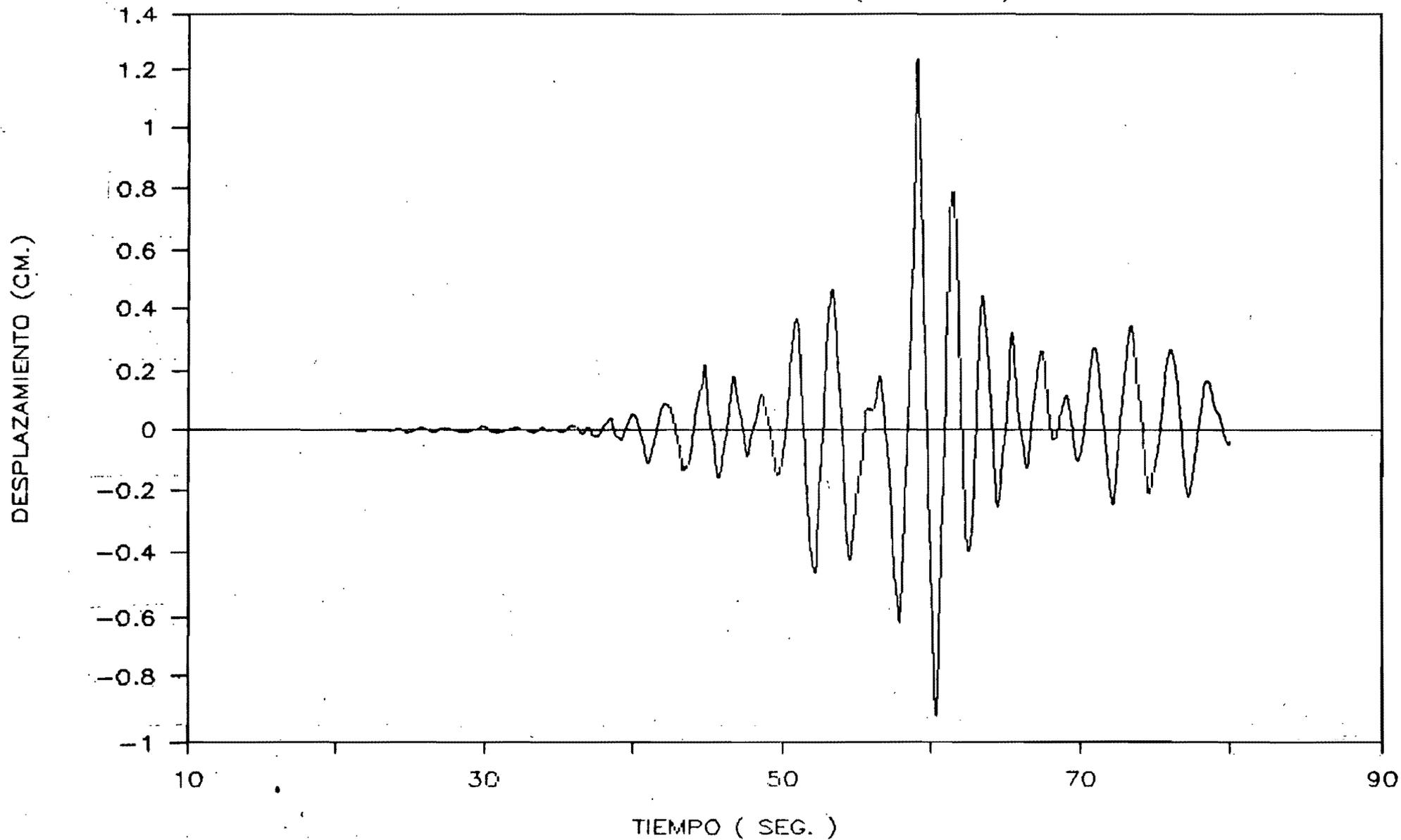
# DESPLAZAMIENTO RELATIVO-TIEMPO

MARCO 14 NIVELES 2 CLAROS ( NIVEL 7 )



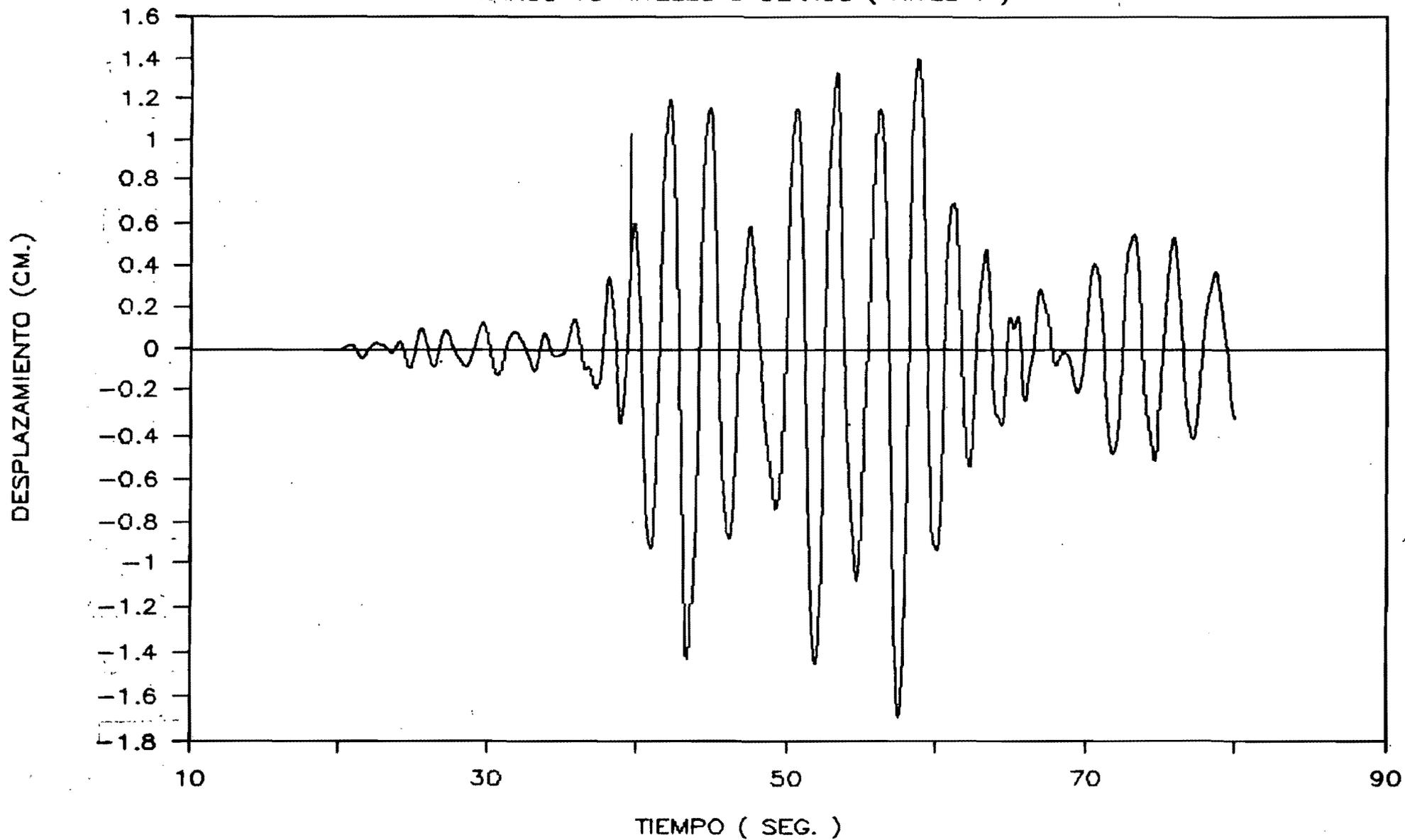
# DESPLAZAMIENTO RELATIVO—TIEMPO

MARCO 14 NIVELES 2 CLAROS ( NIVEL 14 )



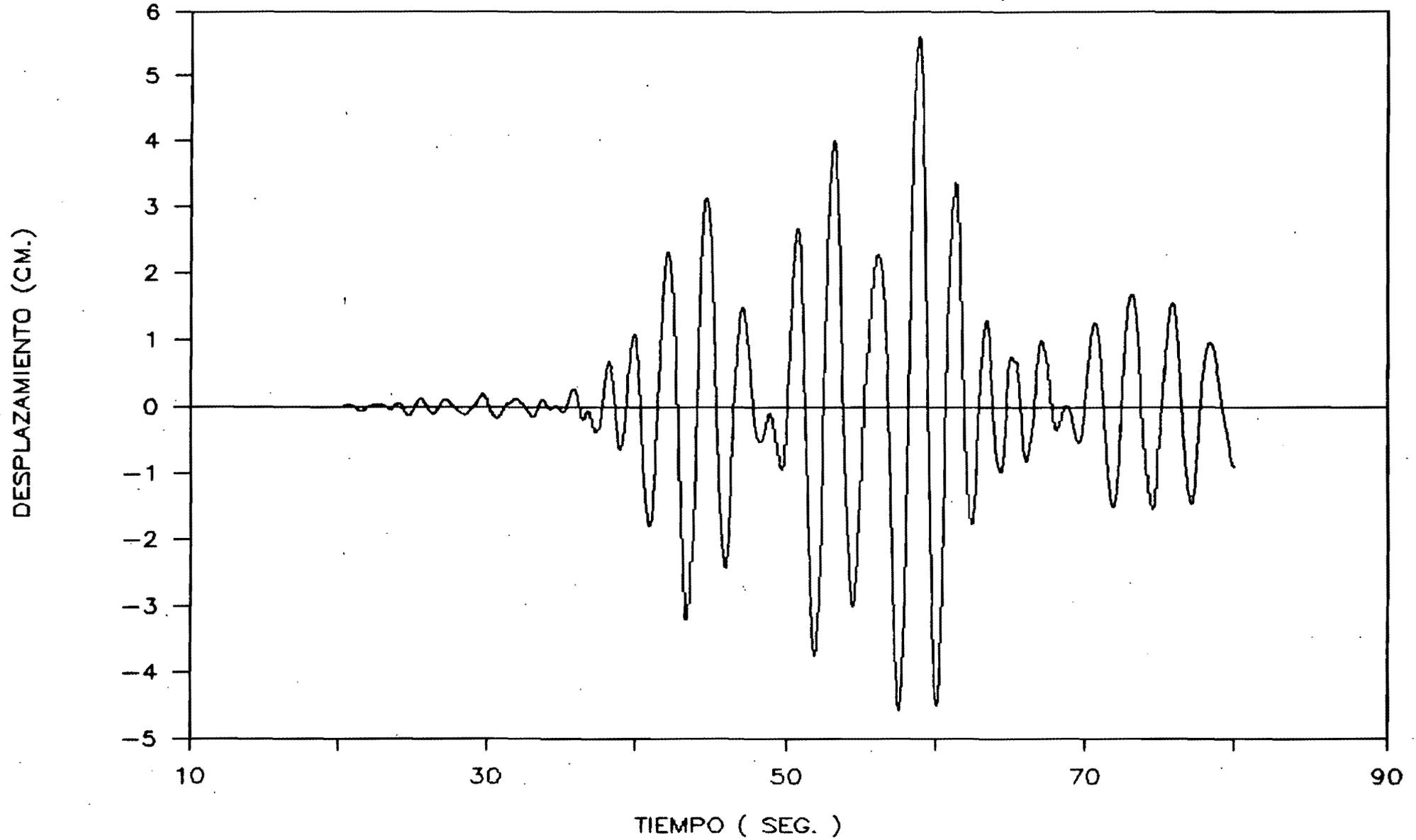
# DESPLAZAMIENTO RELATIVO-TIEMPO

MARCO 16 NIVELES 3 CLAROS ( NIVEL 1 )



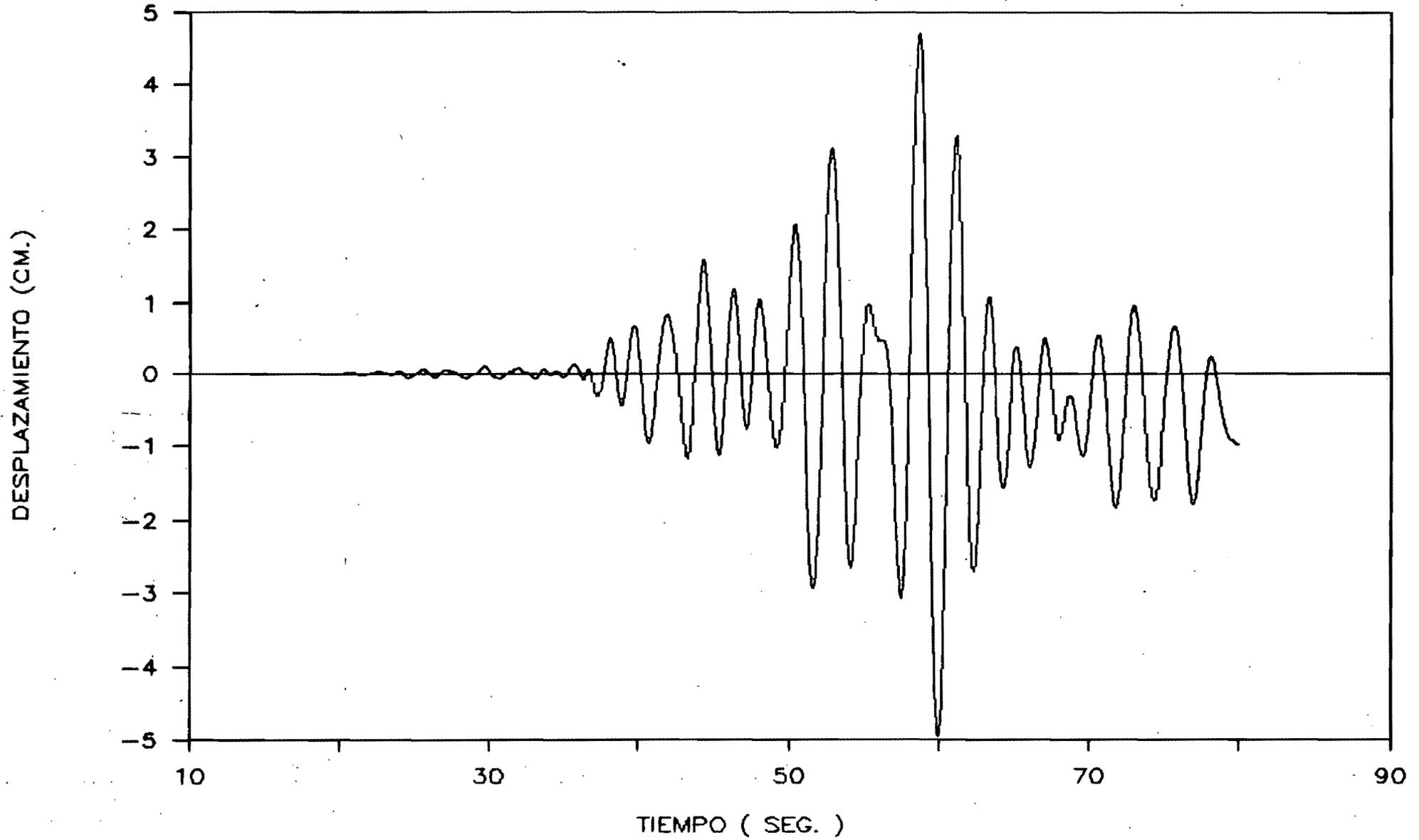
# DESPLAZAMIENTO RELATIVO-TIEMPO

MARCO 16 NIVELES 2 CLAROS ( NIVEL 12 )



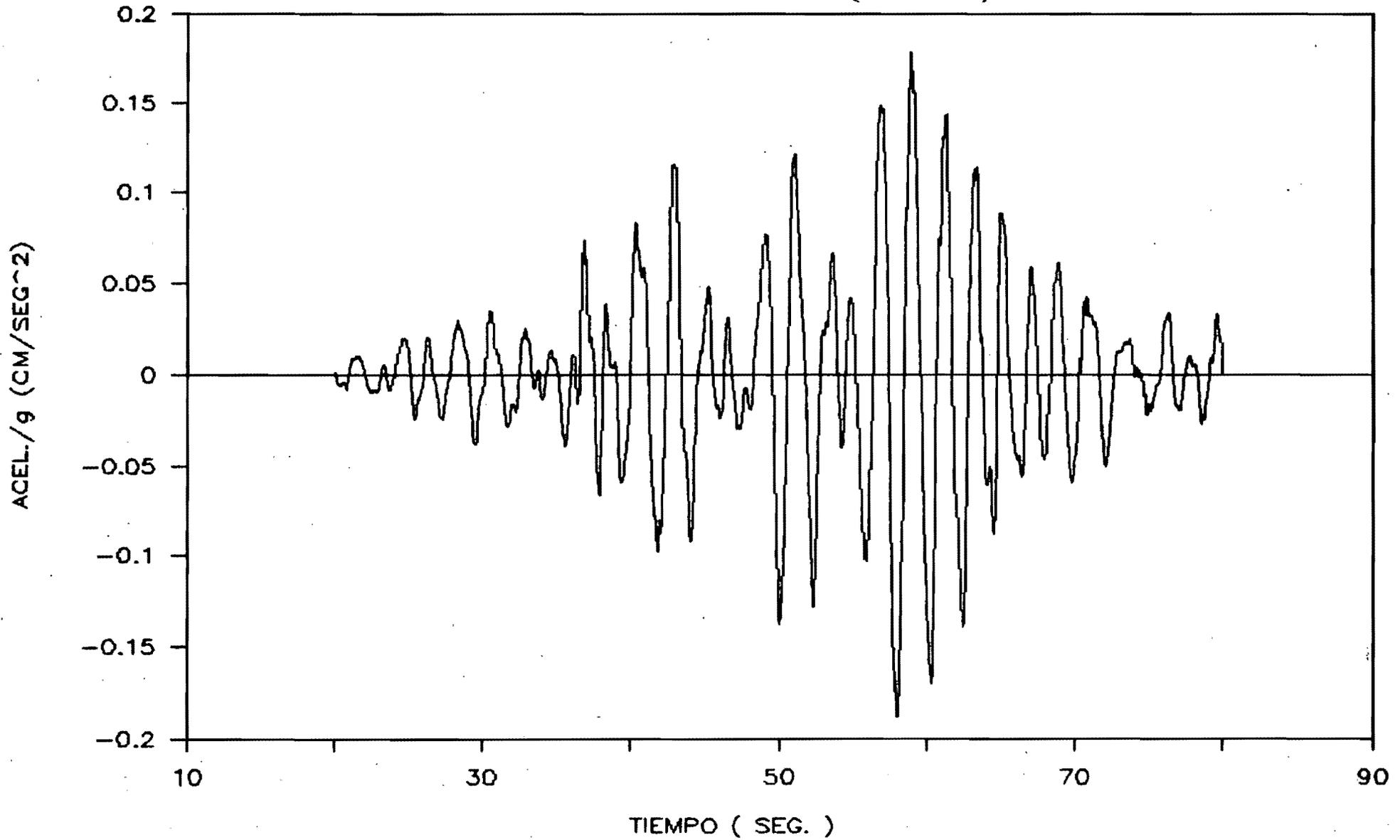
# DESPLAZAMIENTO RELATIVO-TIEMPO

MARCO 16 NIVELES 2 CLAROS ( NIVEL 16 )



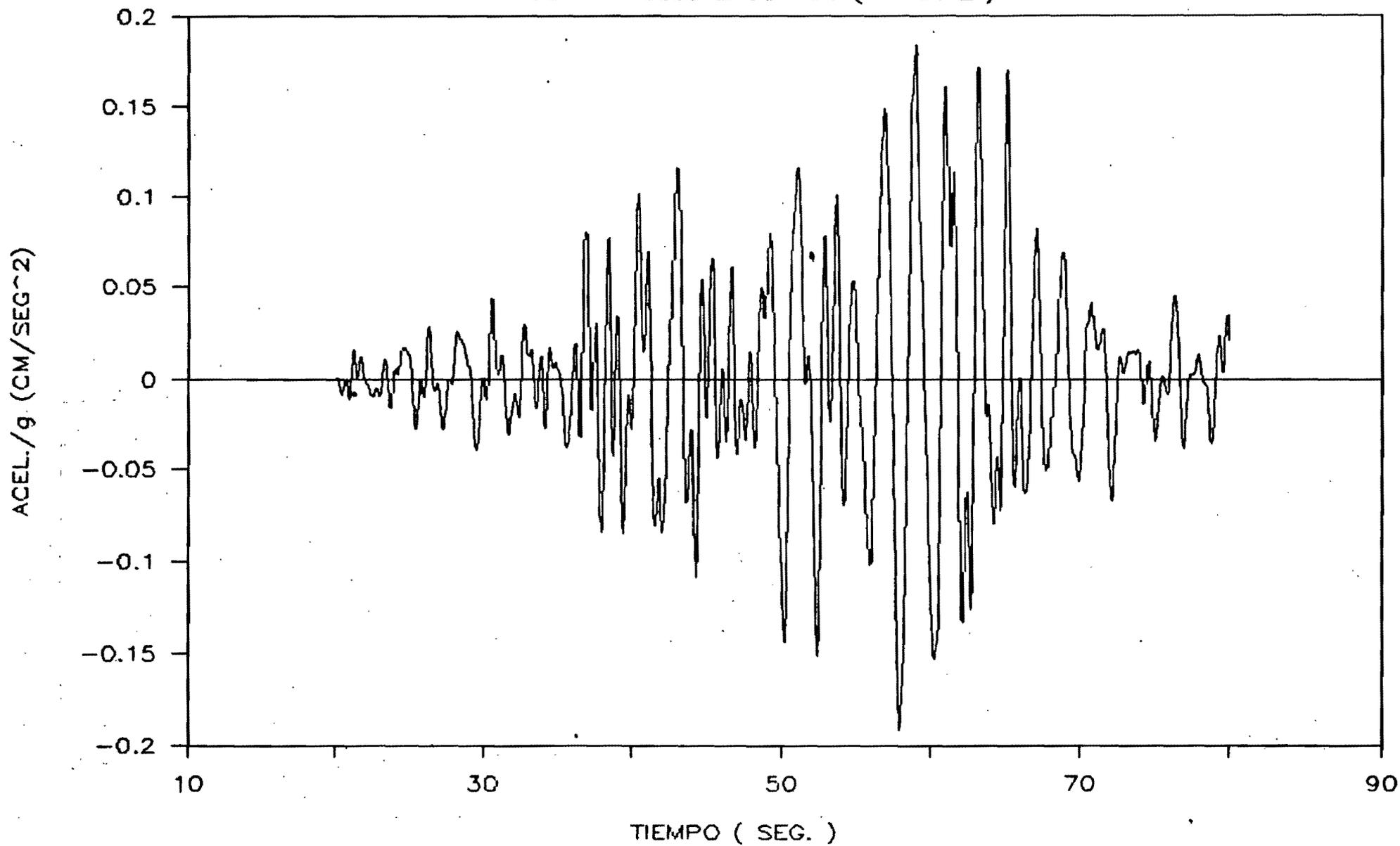
# ACELERACION-TIEMPO

MARCO 4 NIVELES 2 CLAROS ( NIVEL 1 )



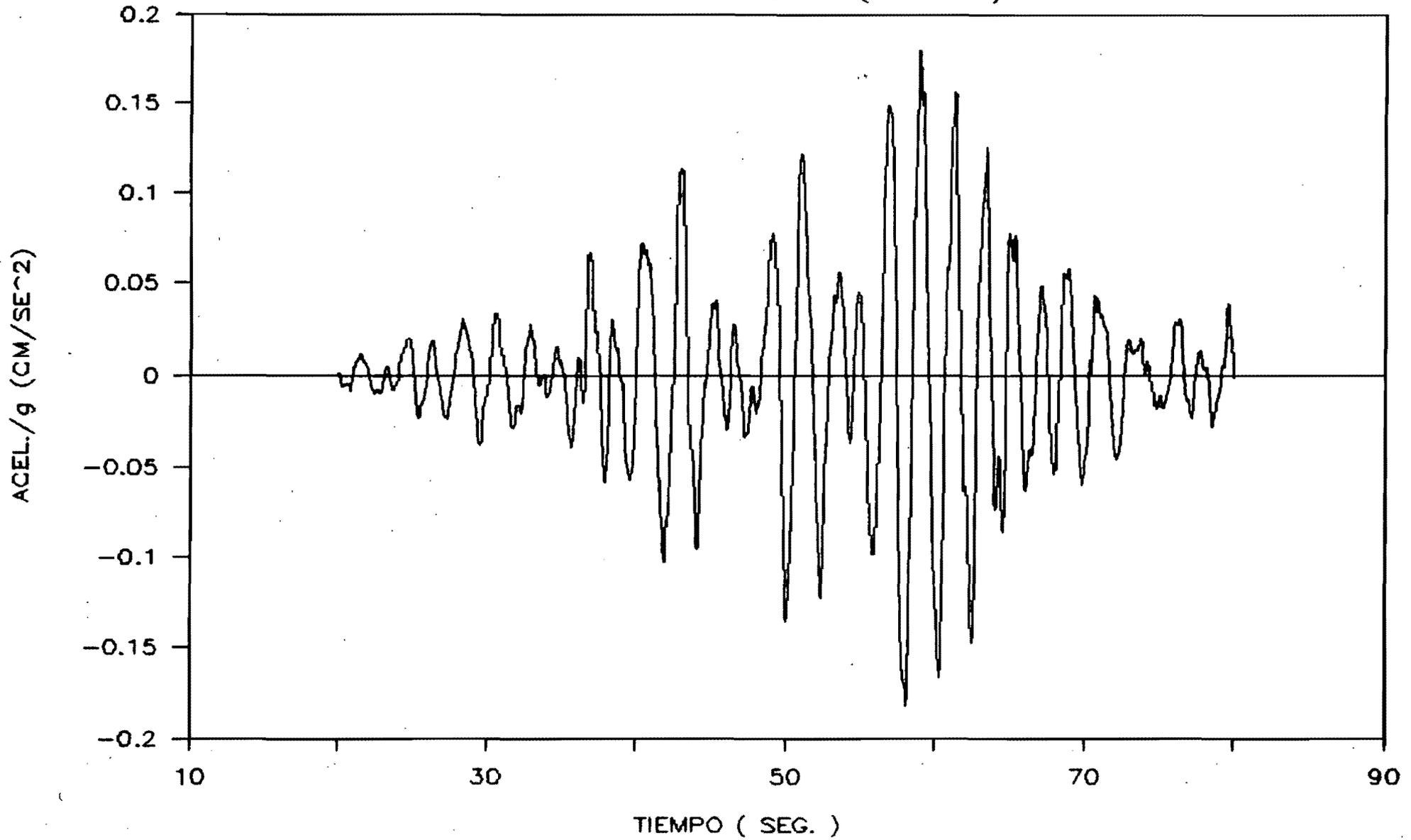
# ACELERACION-TIEMPO

MARCO 4 NIVELES 2 CLAROS ( NIVEL 2 )



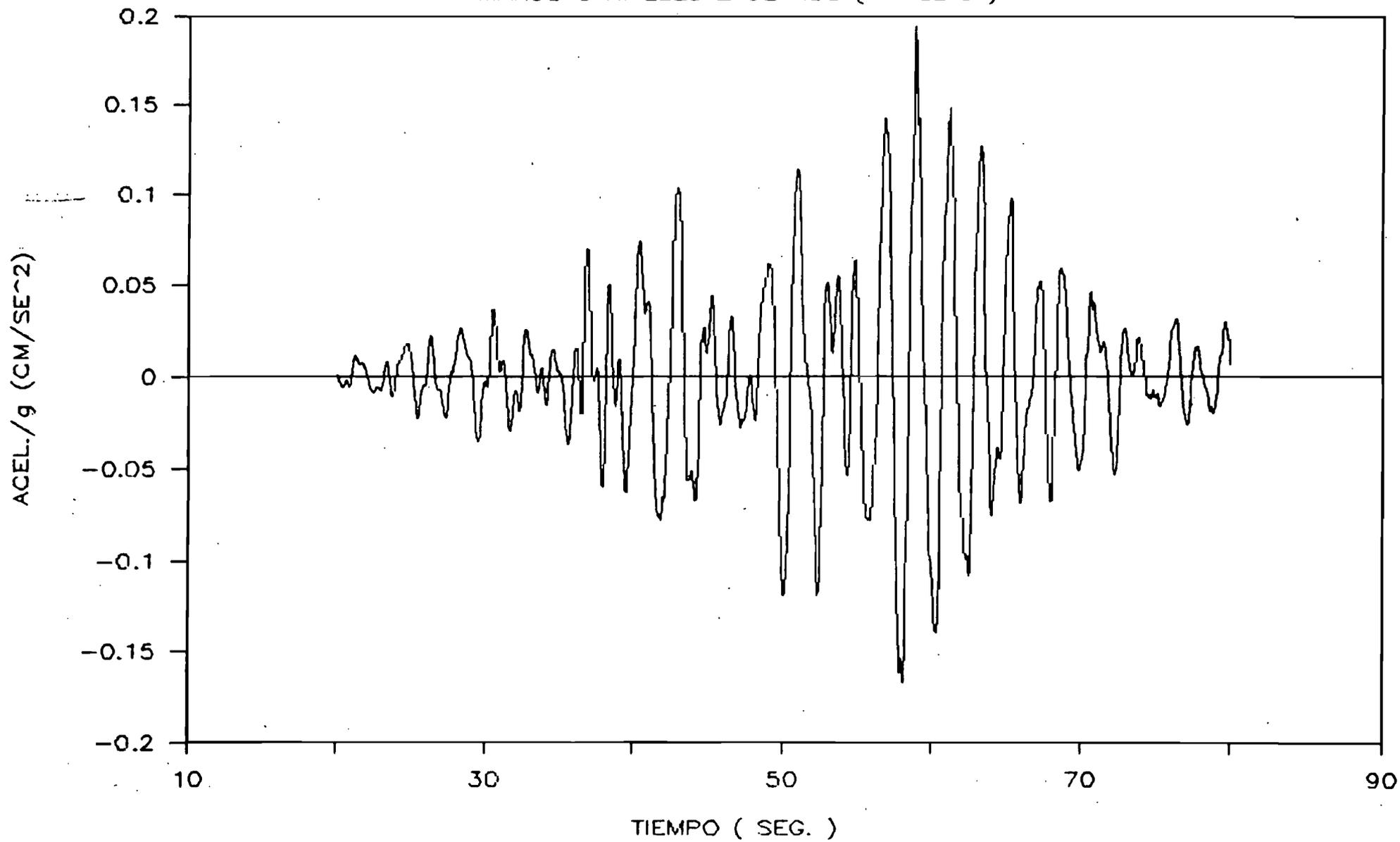
# ACELERACION-TIEMPO

MARCO 6 NIVELES 2 CLAROS ( NIVEL 1 )



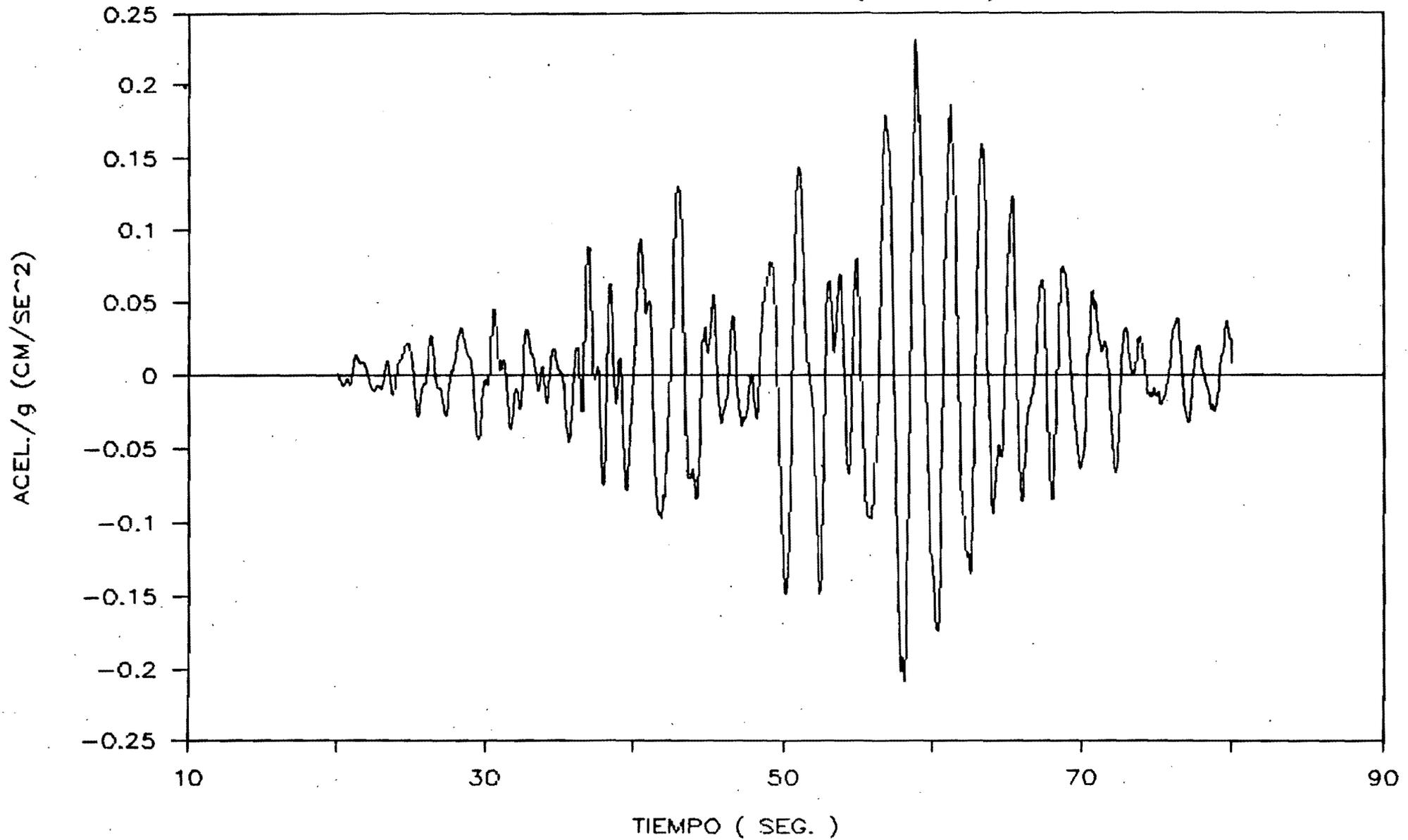
# ACELERACION-TIEMPO

MARCO 6 NIVELES 2 CLAROS ( NIVEL 3 )



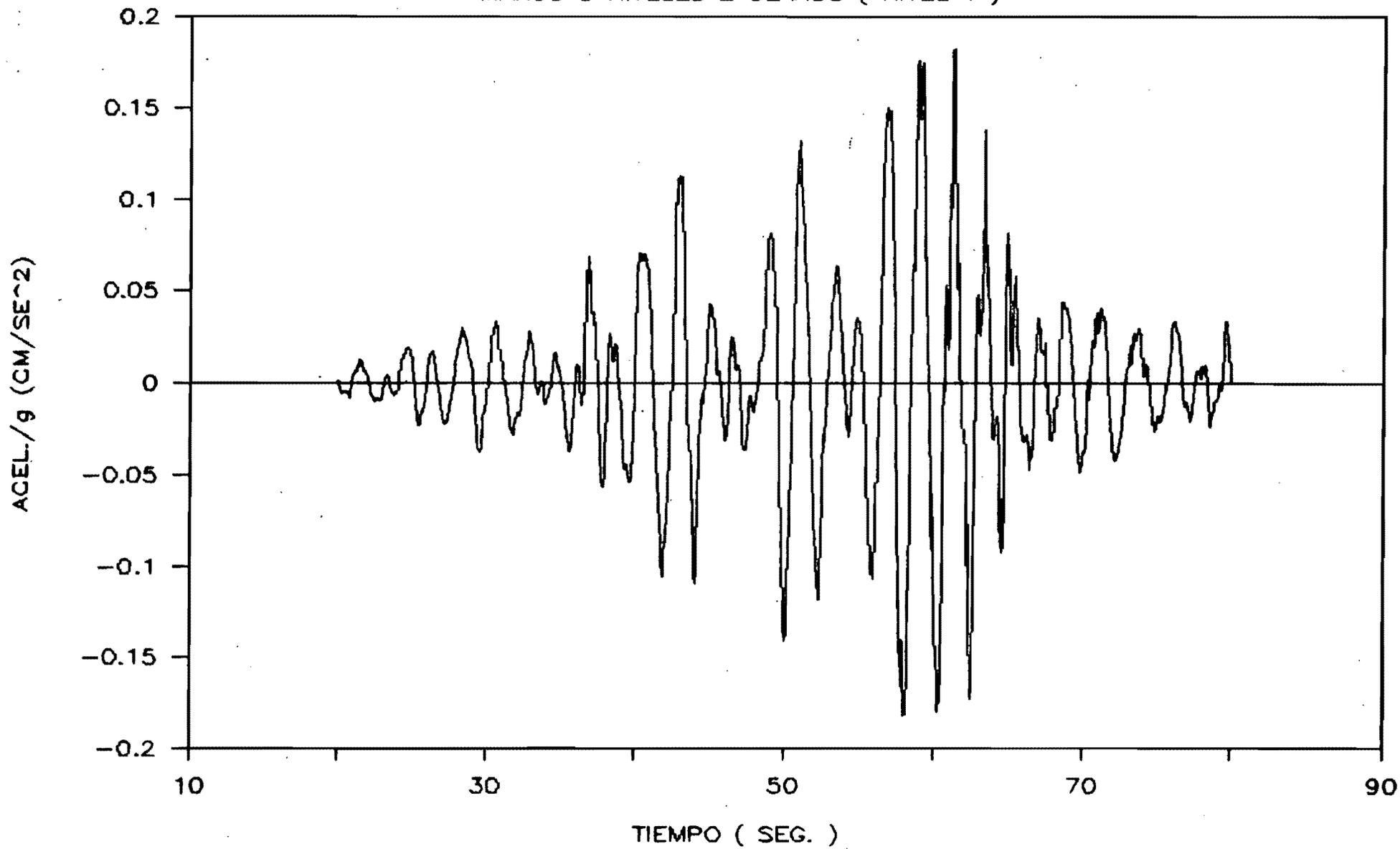
# ACELERACION-TIEMPO

MARCO 6 NIVELES 2 CLAROS ( NIVEL 6 )



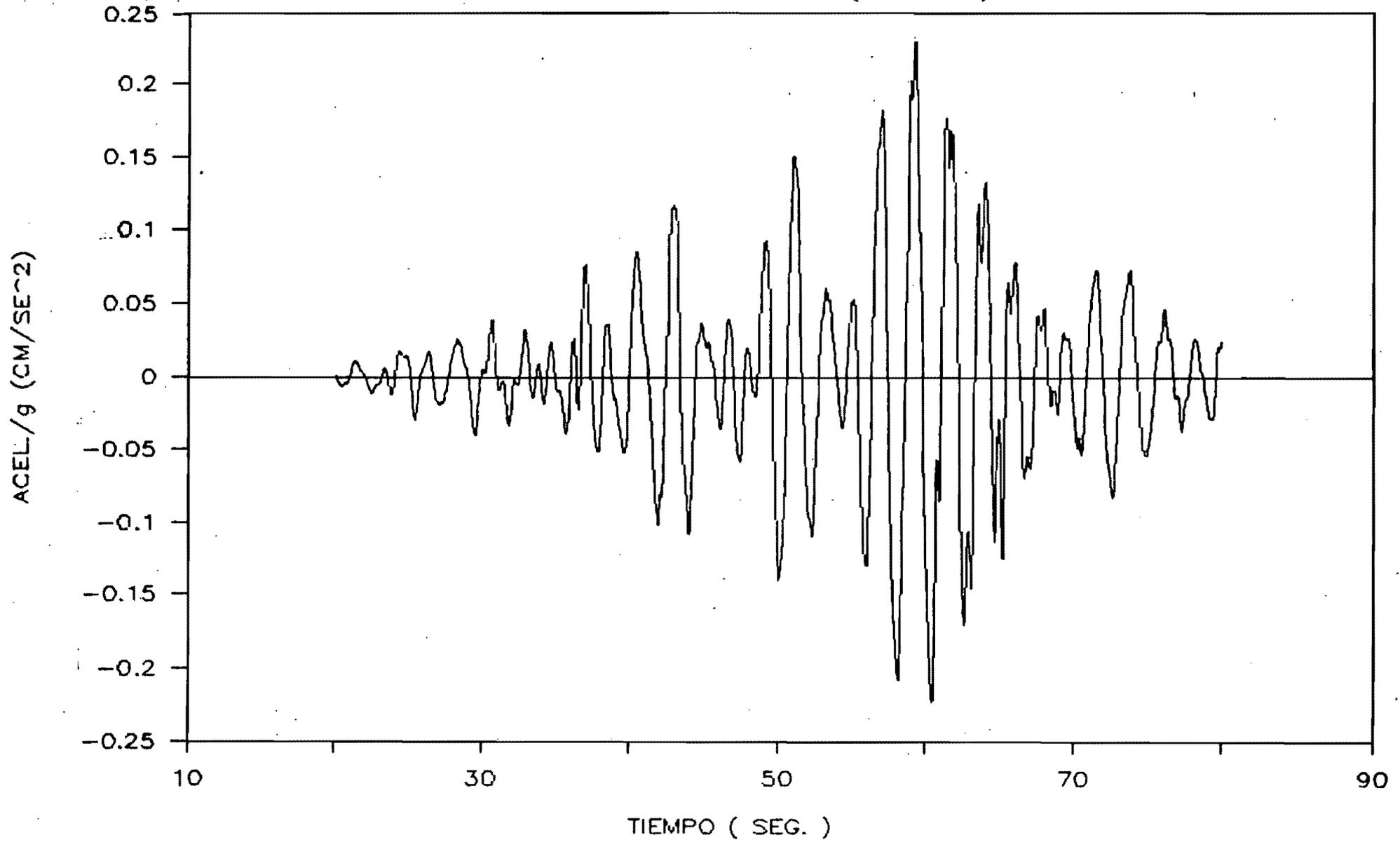
# ACELERACION-TIEMPO

MARCO 8 NIVELES 2 CLAROS ( NIVEL 1 )



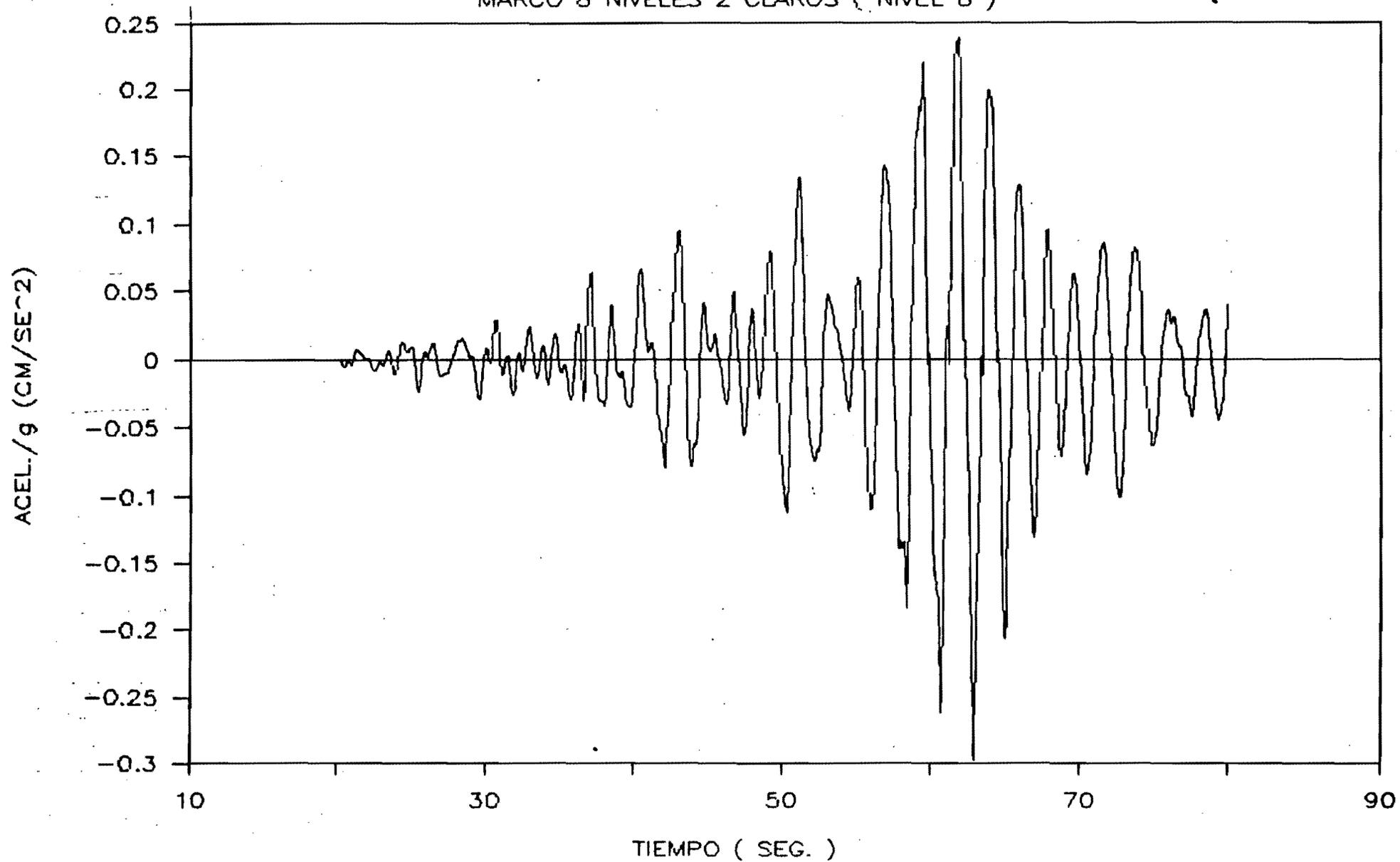
# ACELERACION-TIEMPO

MARCO 8 NIVELES 2 CLAROS ( NIVEL 4 )



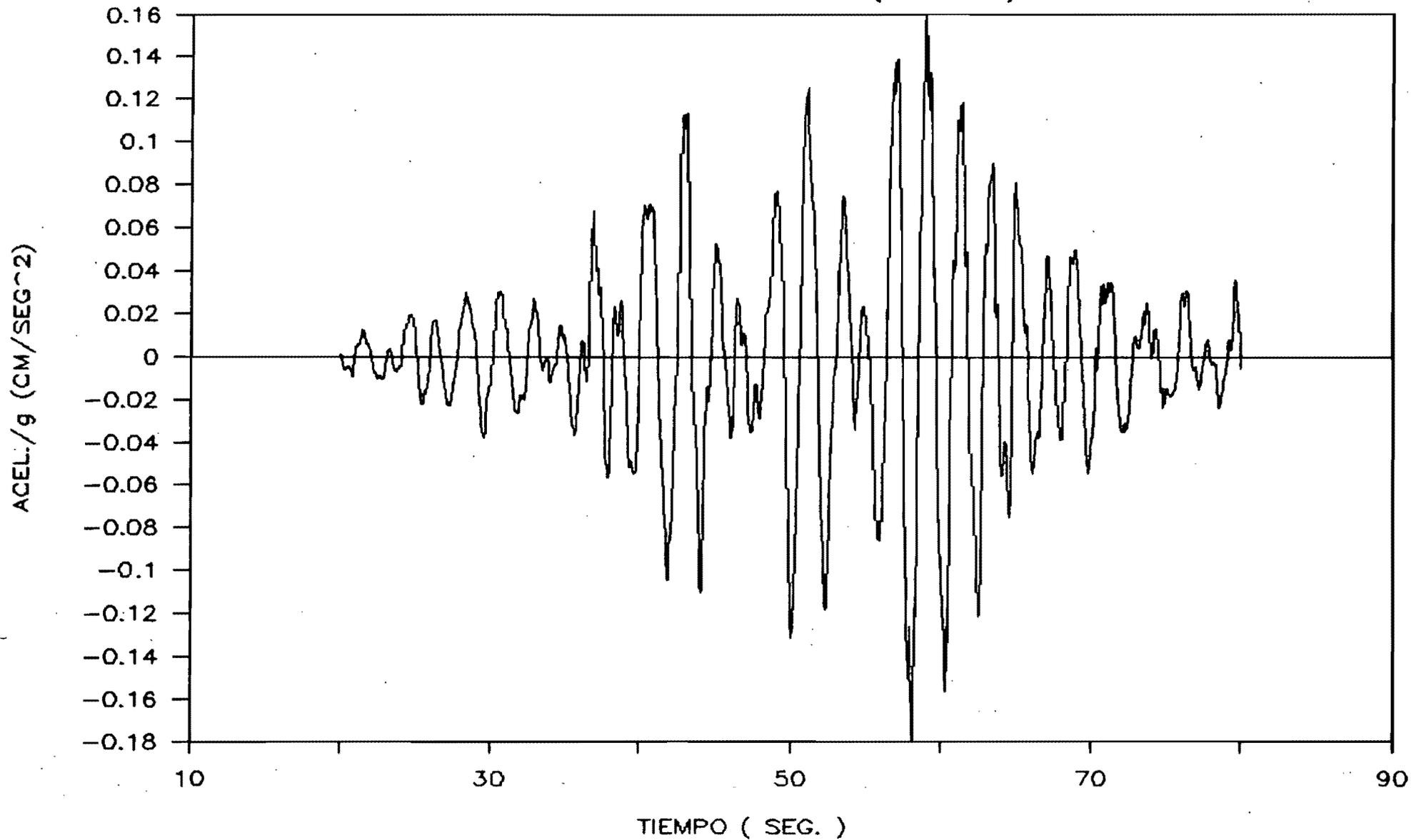
# ACELERACION-TIEMPO

MARCO 8 NIVELES 2 CLAROS ( NIVEL 8 )



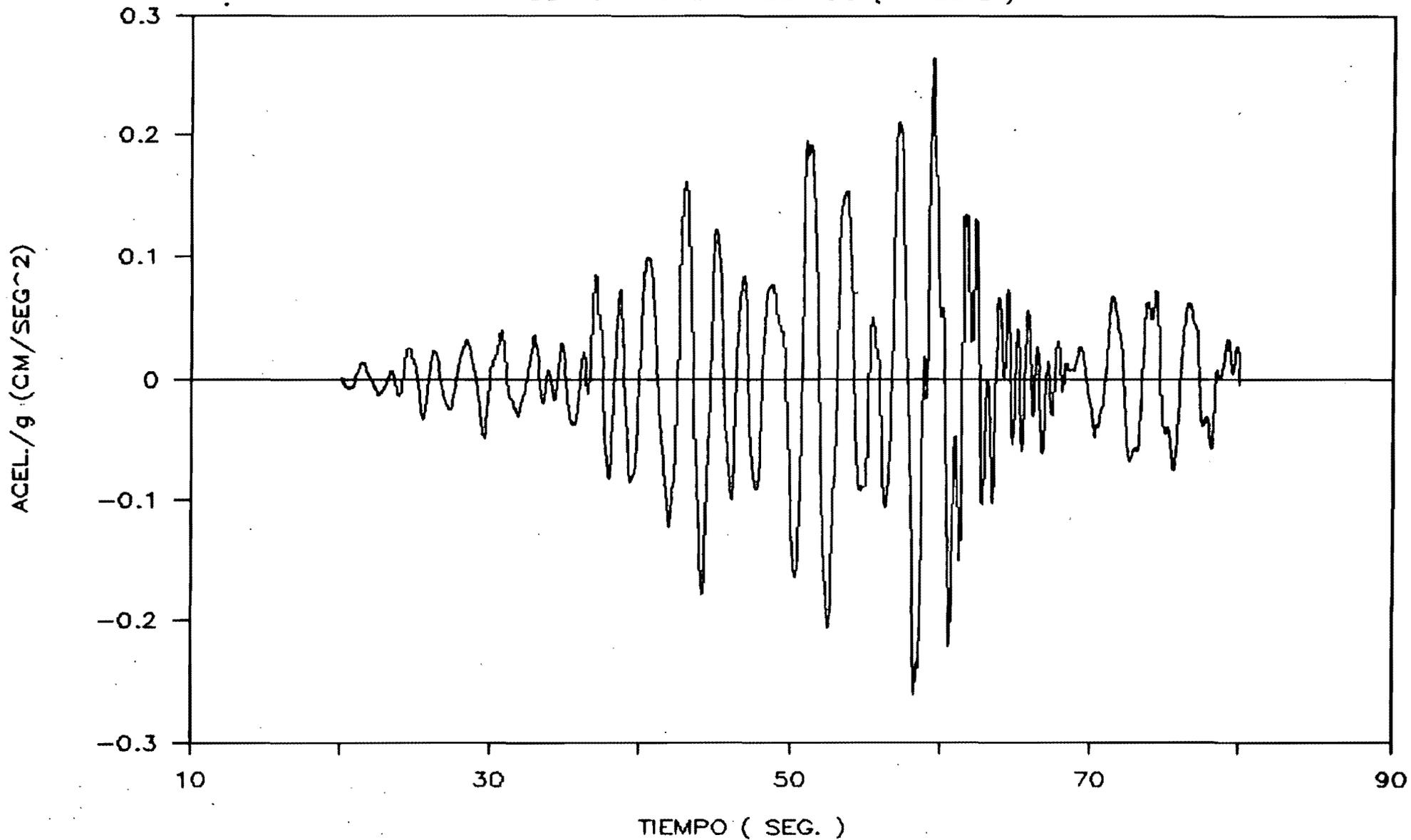
# ACELERACION-TIEMPO

MARCO 10 NIVELES 2 CLAROS ( NIVEL 1 )



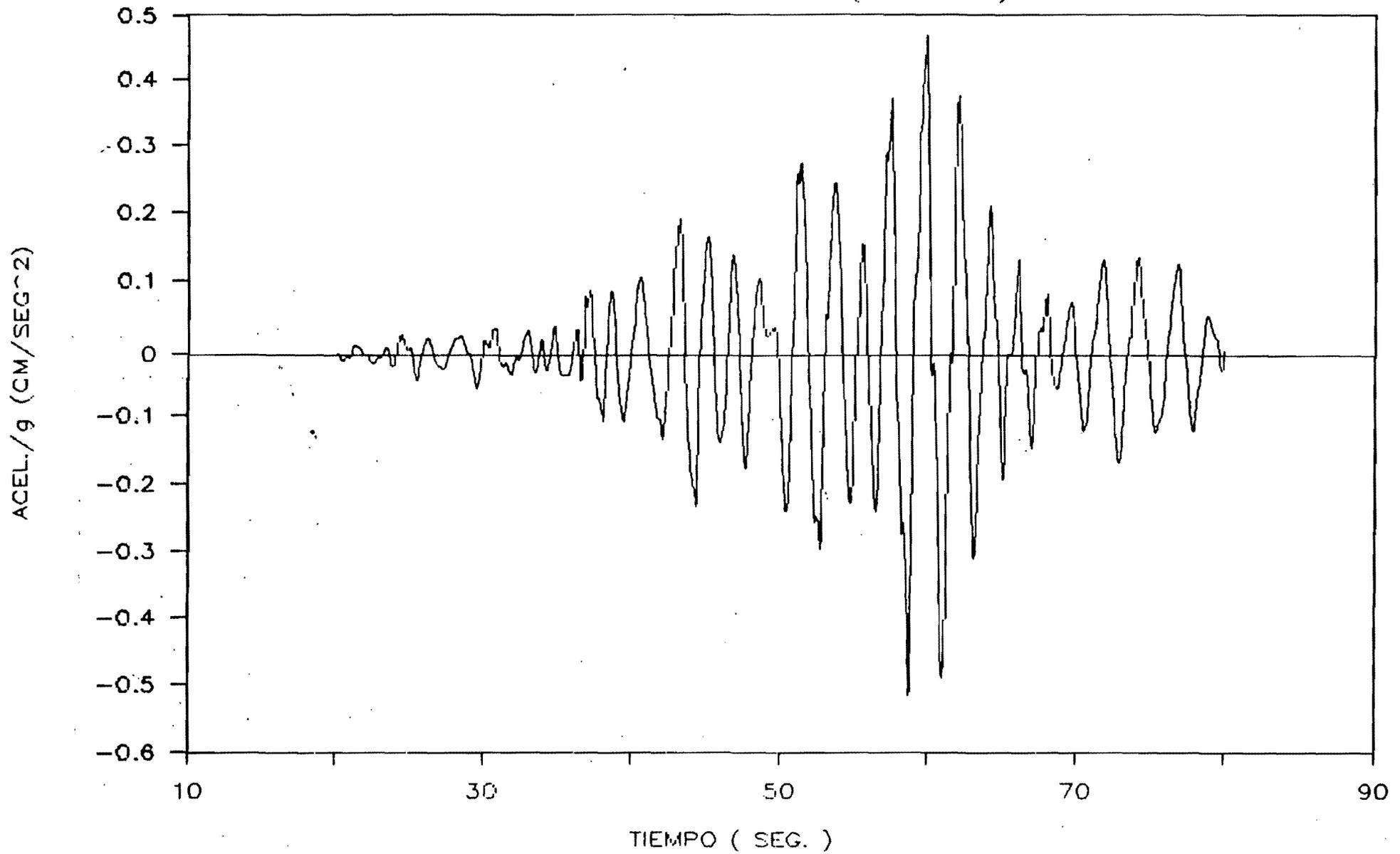
# ACELERACION-TIEMPO

MARCO 10 NIVELES 2 CLAROS ( NIVEL 5 )



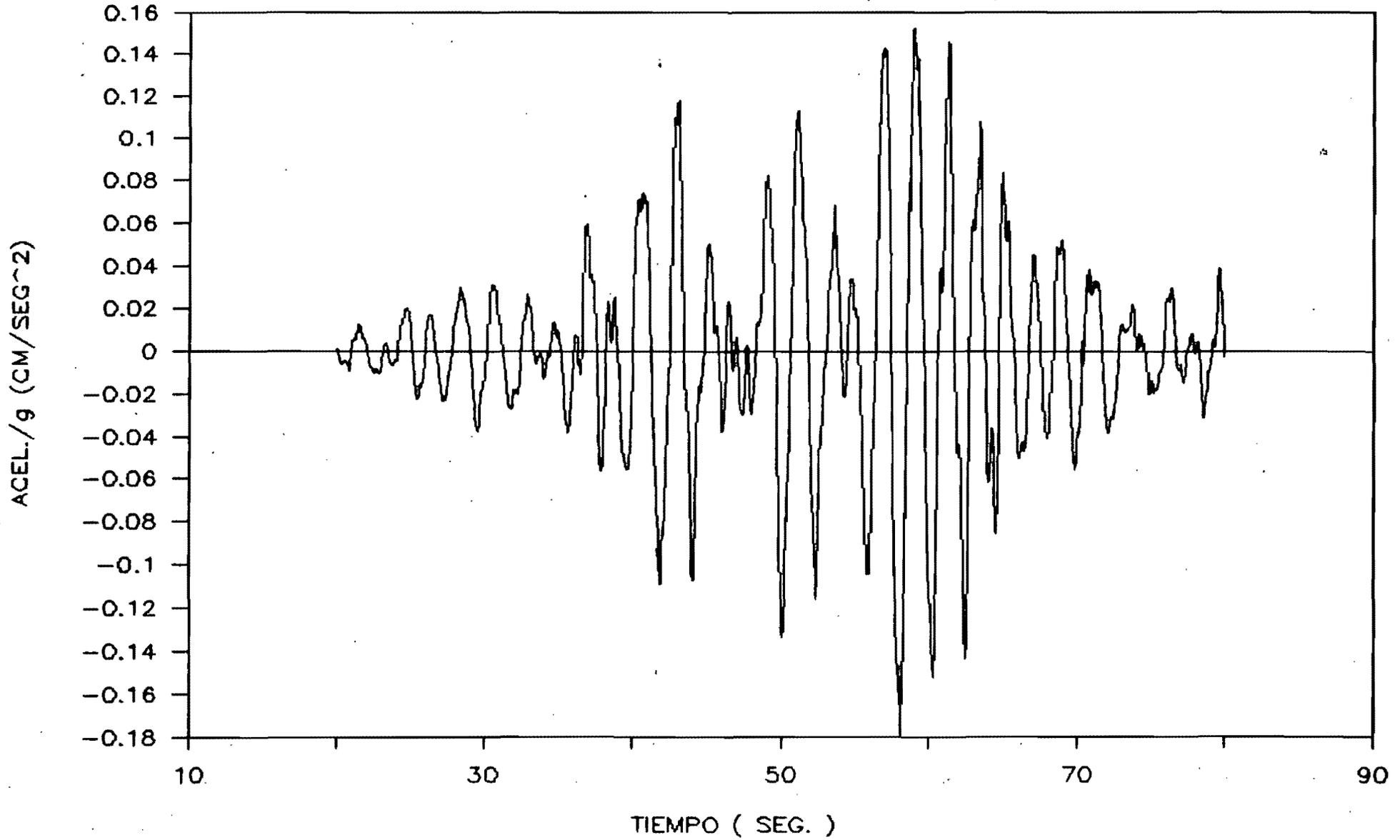
# ACELERACION-TIEMPO

MARCO 10 NIVELES 2 CLAROS ( NIVEL 10 )



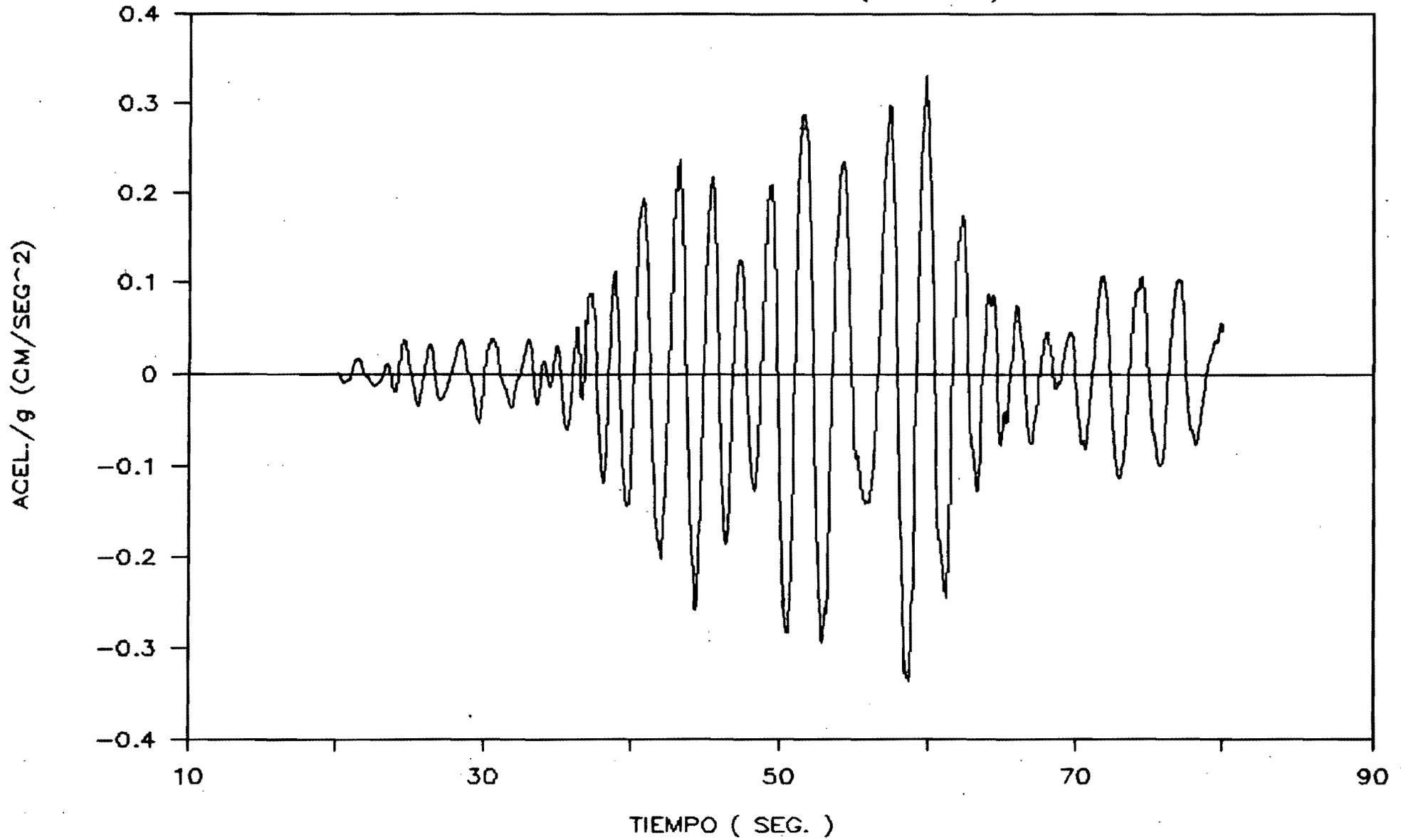
# ACELERACION-TIEMPO

MARCO 12 NIVELES 2 CLAROS ( NIVEL 1 )



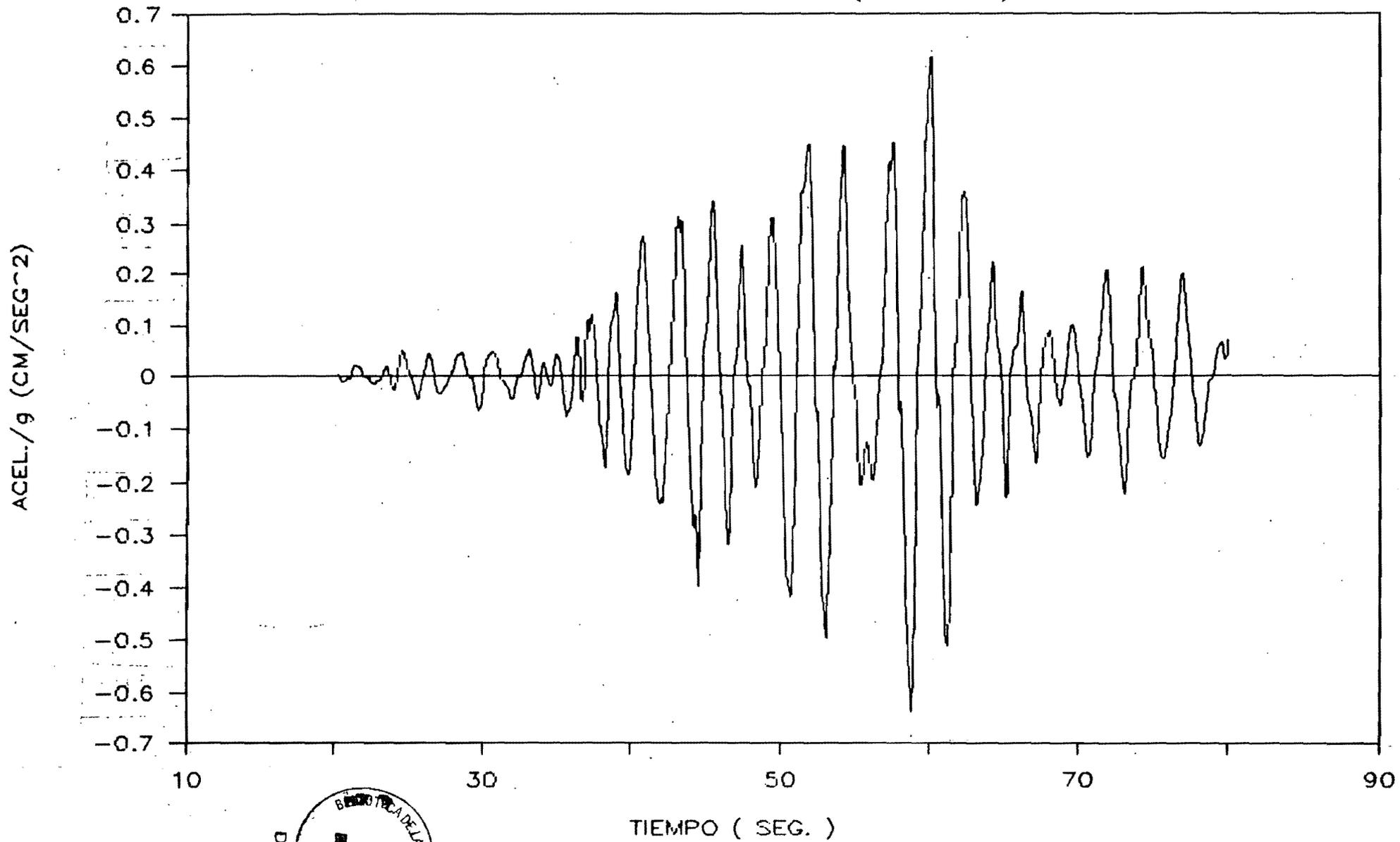
# ACELERACION-TIEMPO

MARCO 12 NIVELES 2 CLAROS ( NIVEL 7 )



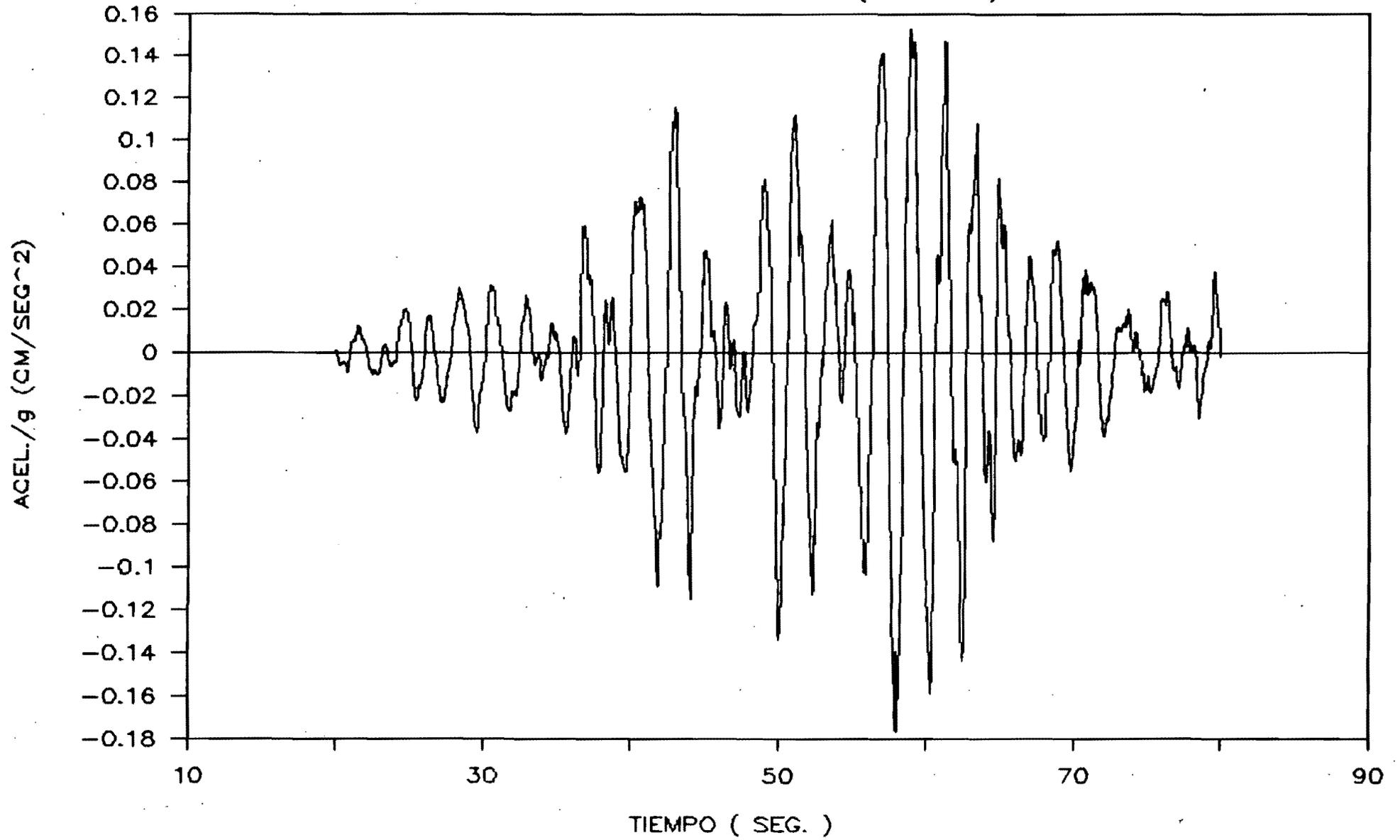
# ACELERACION-TIEMPO

MARCO 12 NIVELES 2 CLAROS ( NIVEL 12 )



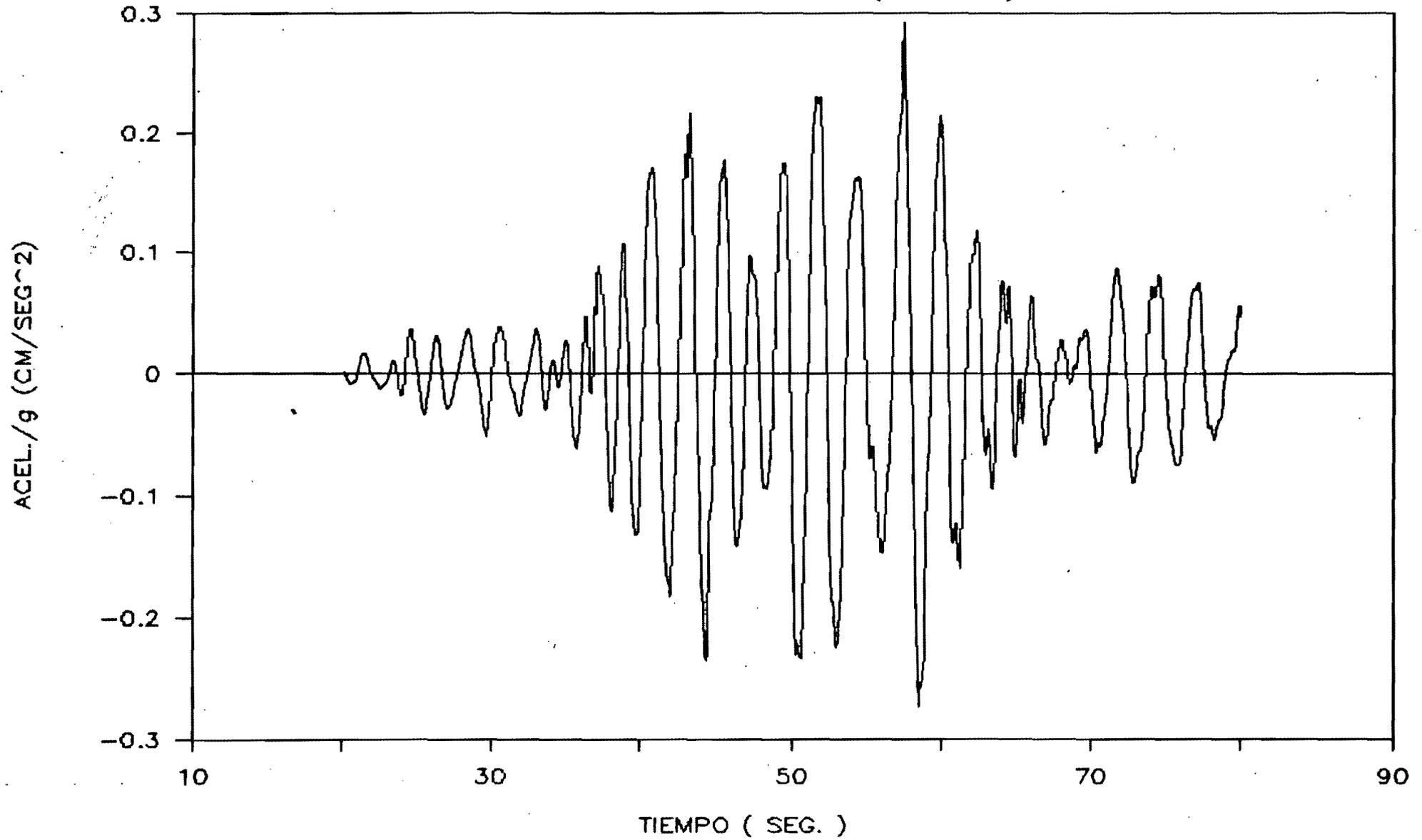
# ACELERACION-TIEMPO

MARCO 14 NIVELES 2 CLAROS ( NIVEL 1 )



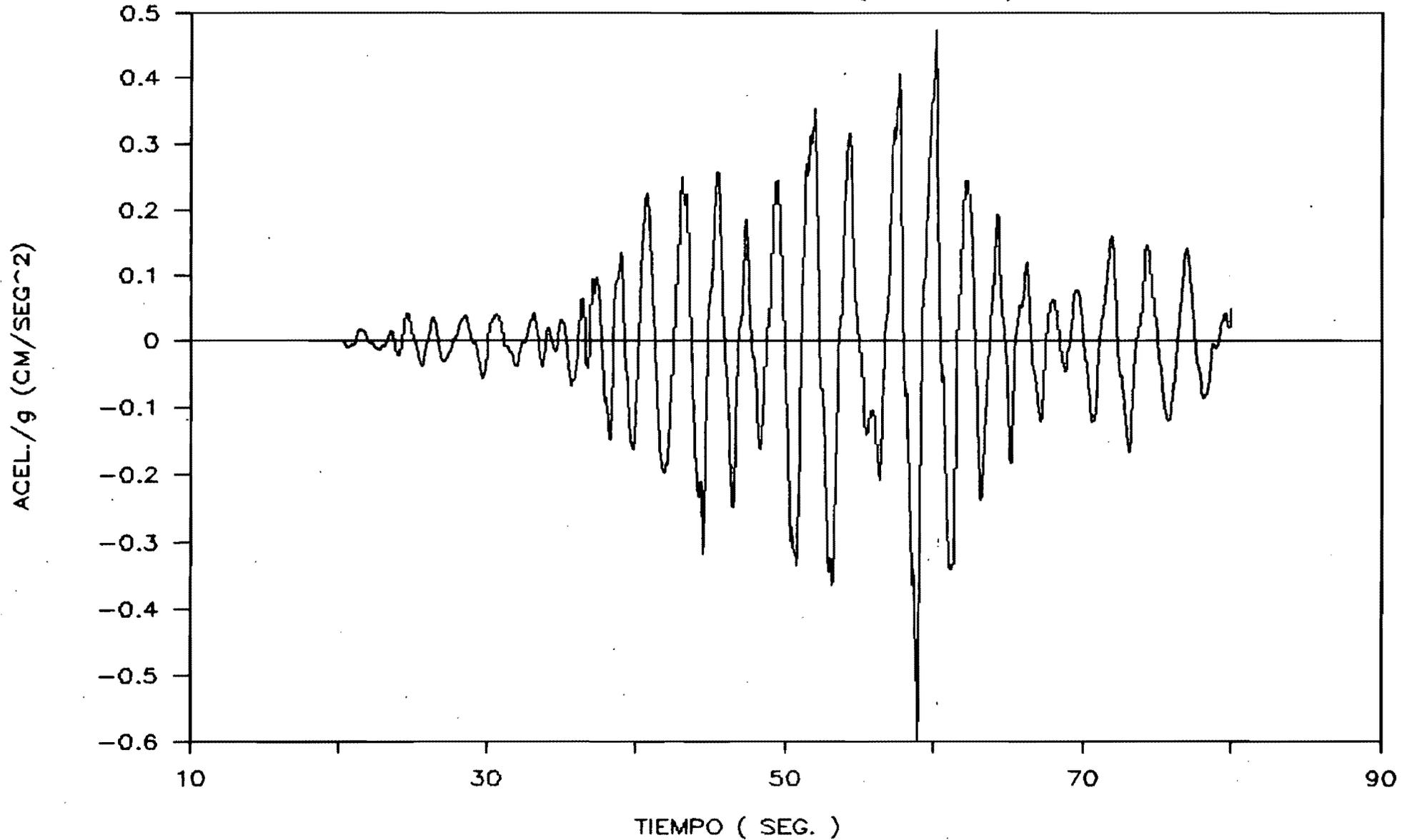
# ACELERACION-TIEMPO

MARCO 14 NIVELES 2 CLAROS ( NIVEL 7. )



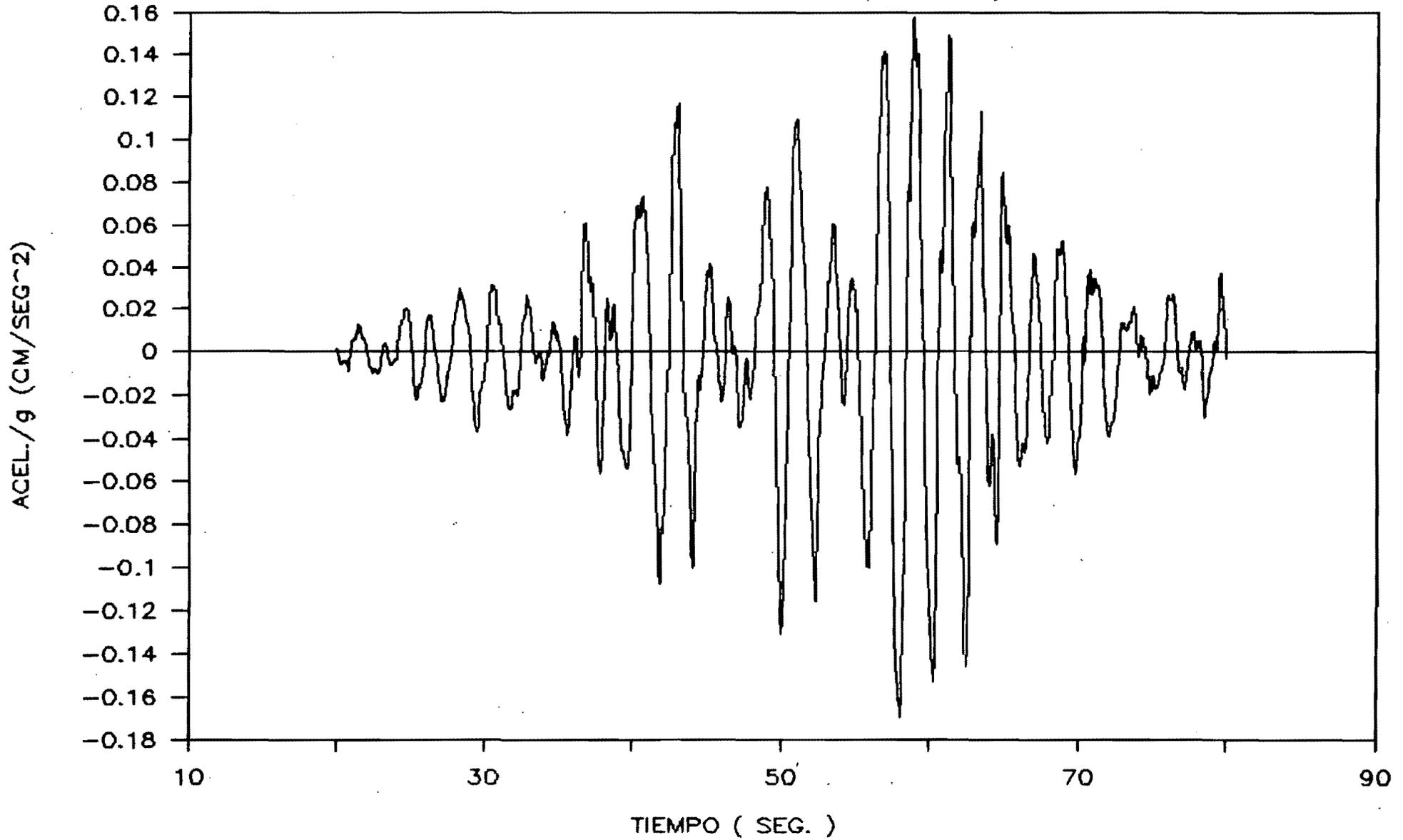
# ACELERACION-TIEMPO

MARCO 14 NIVELES 2 CLAROS ( NIVEL 14 )



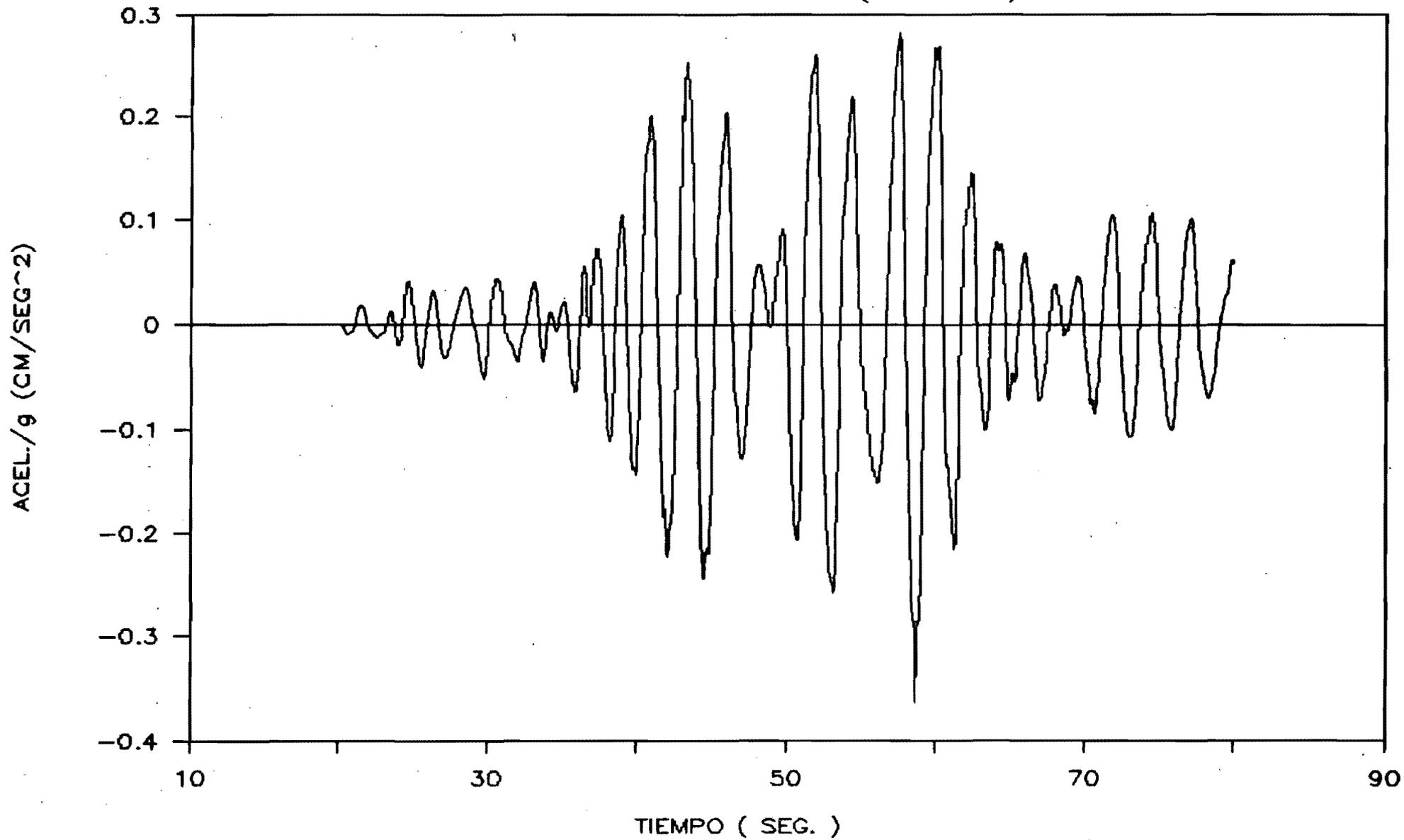
# ACELERACION-TIEMPO

MARCO 16 NIVELES 2 CLAROS ( NIVEL 1 )



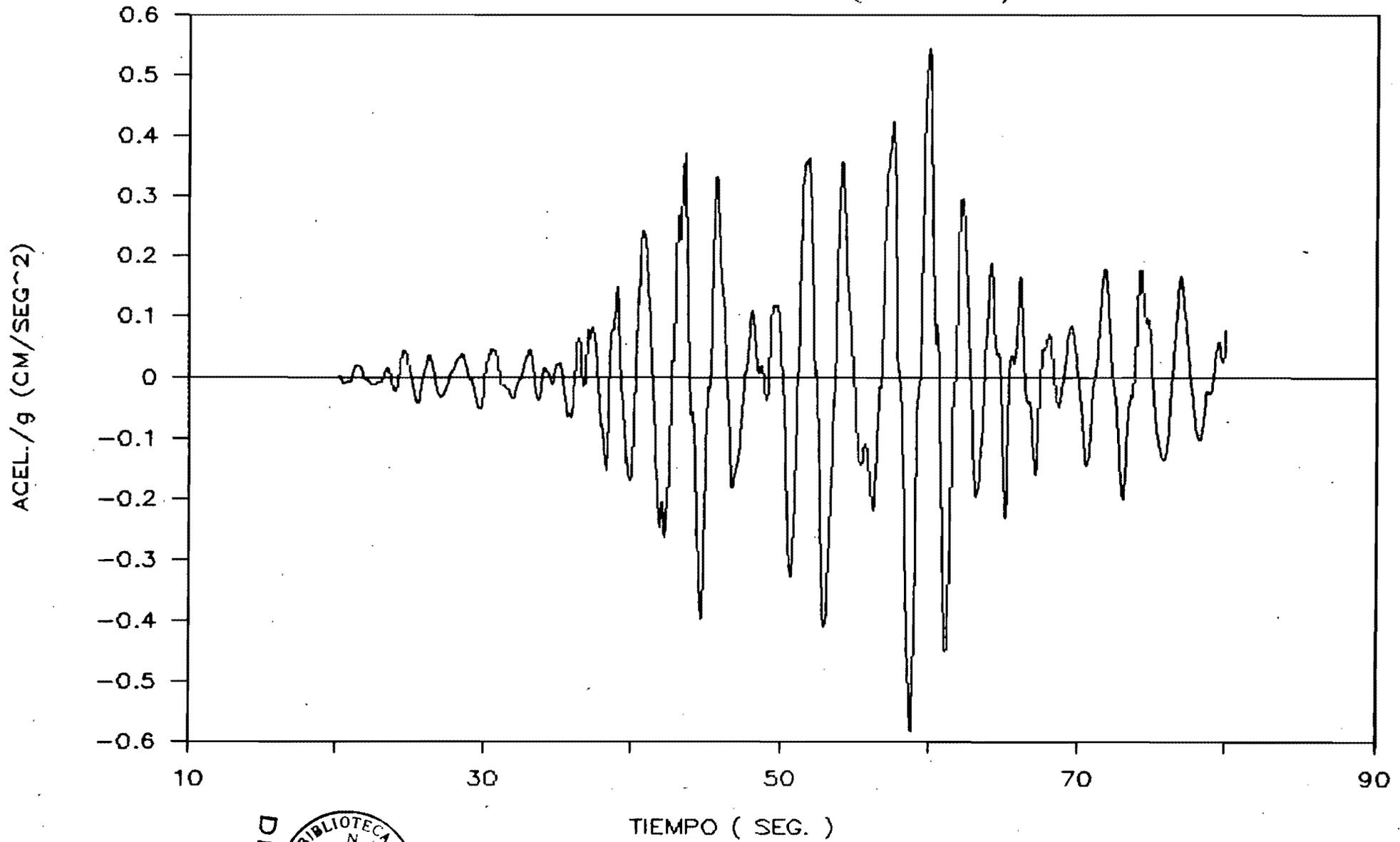
# ACELERACION-TIEMPO

MARCO 16 NIVELES 2 CLAROS ( NIVEL 12 )



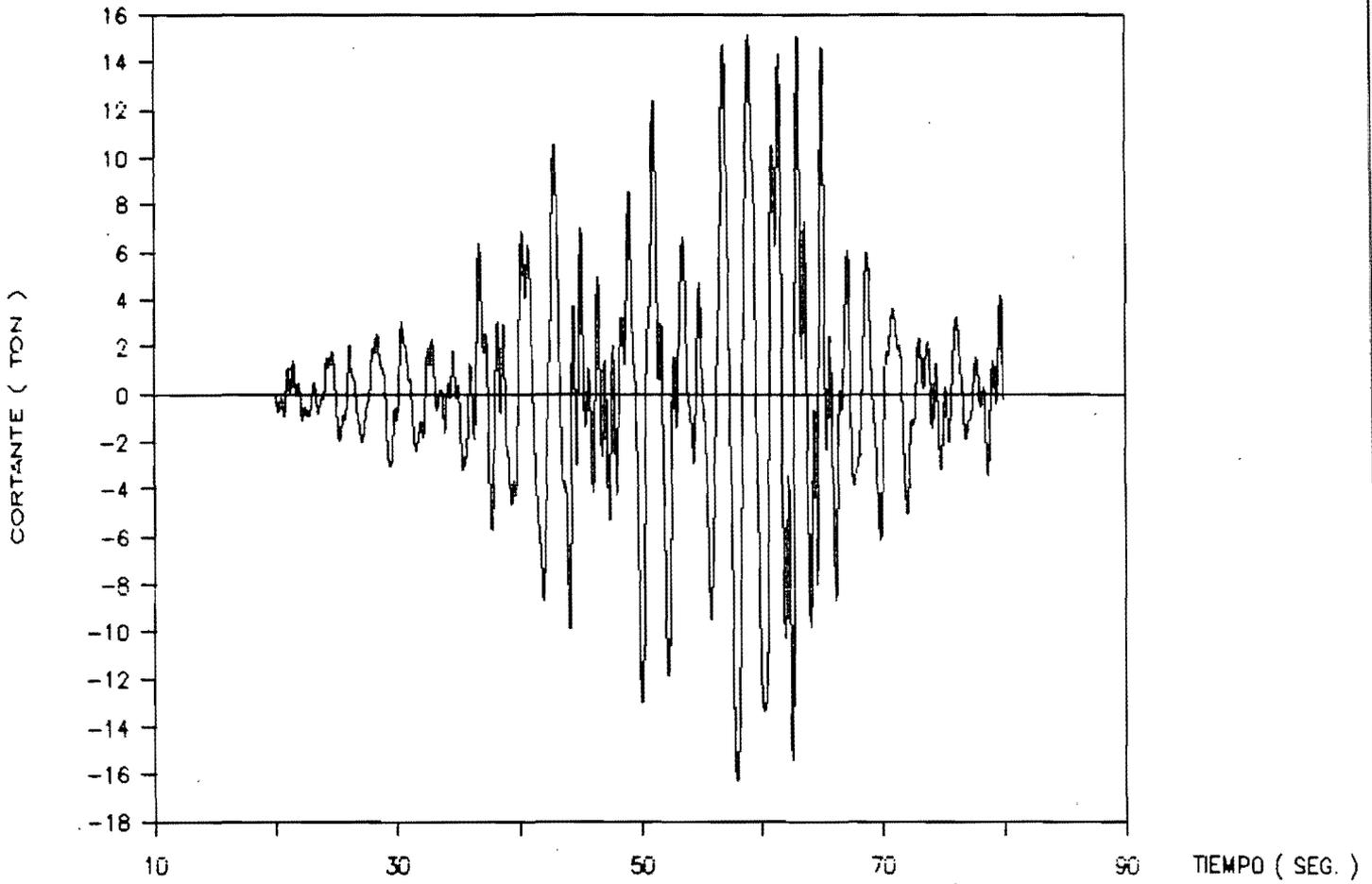
# ACELERACION-TIEMPO

MARCO 16 NIVELES 2 CLAROS ( NIVEL 16 )

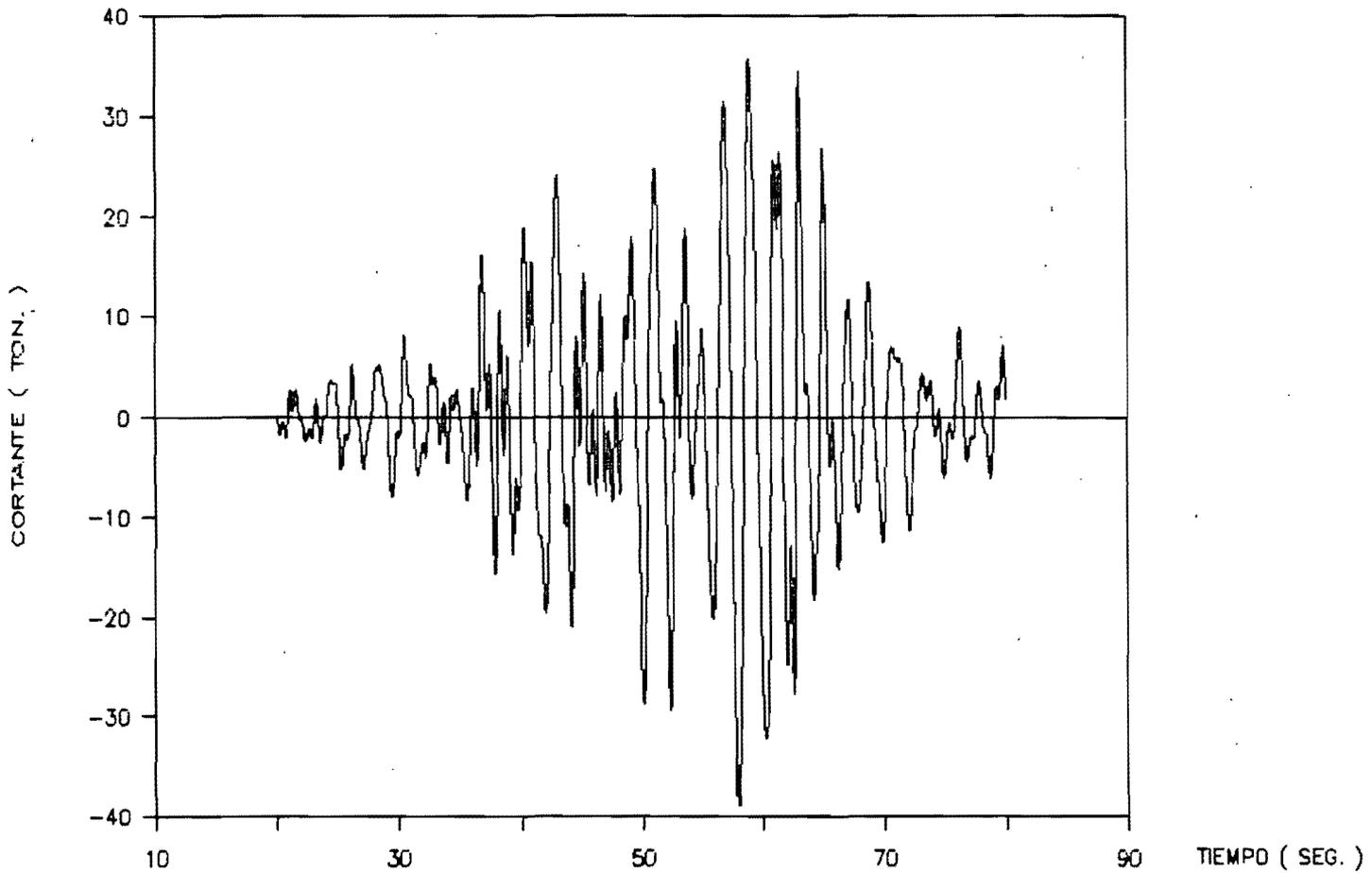


# CORTANTE BASAL-TIEMPO

MARCO 2 NIVELES 2 CLAROS

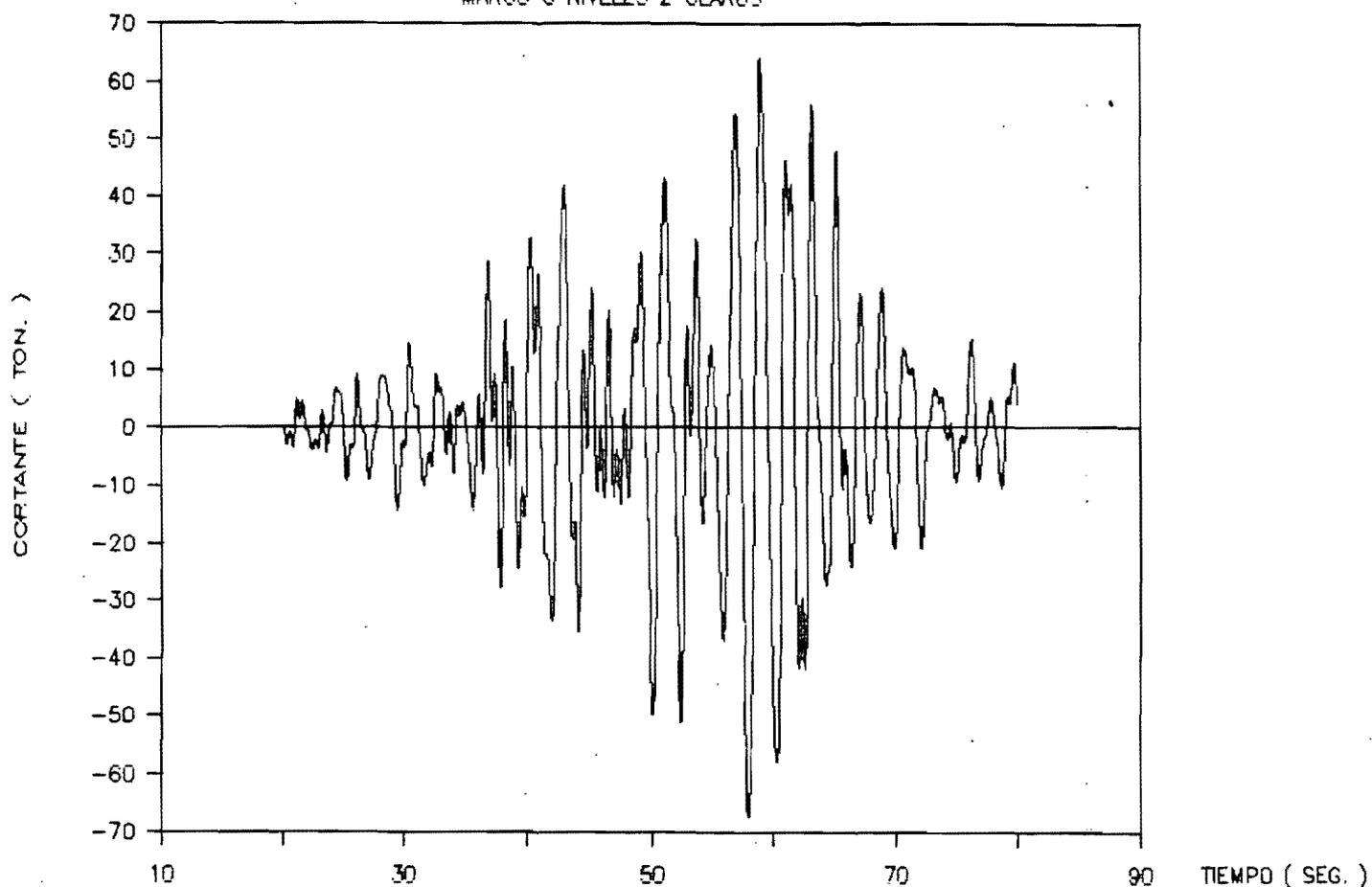


MARCO 4 NIVELES 2 CLAROS

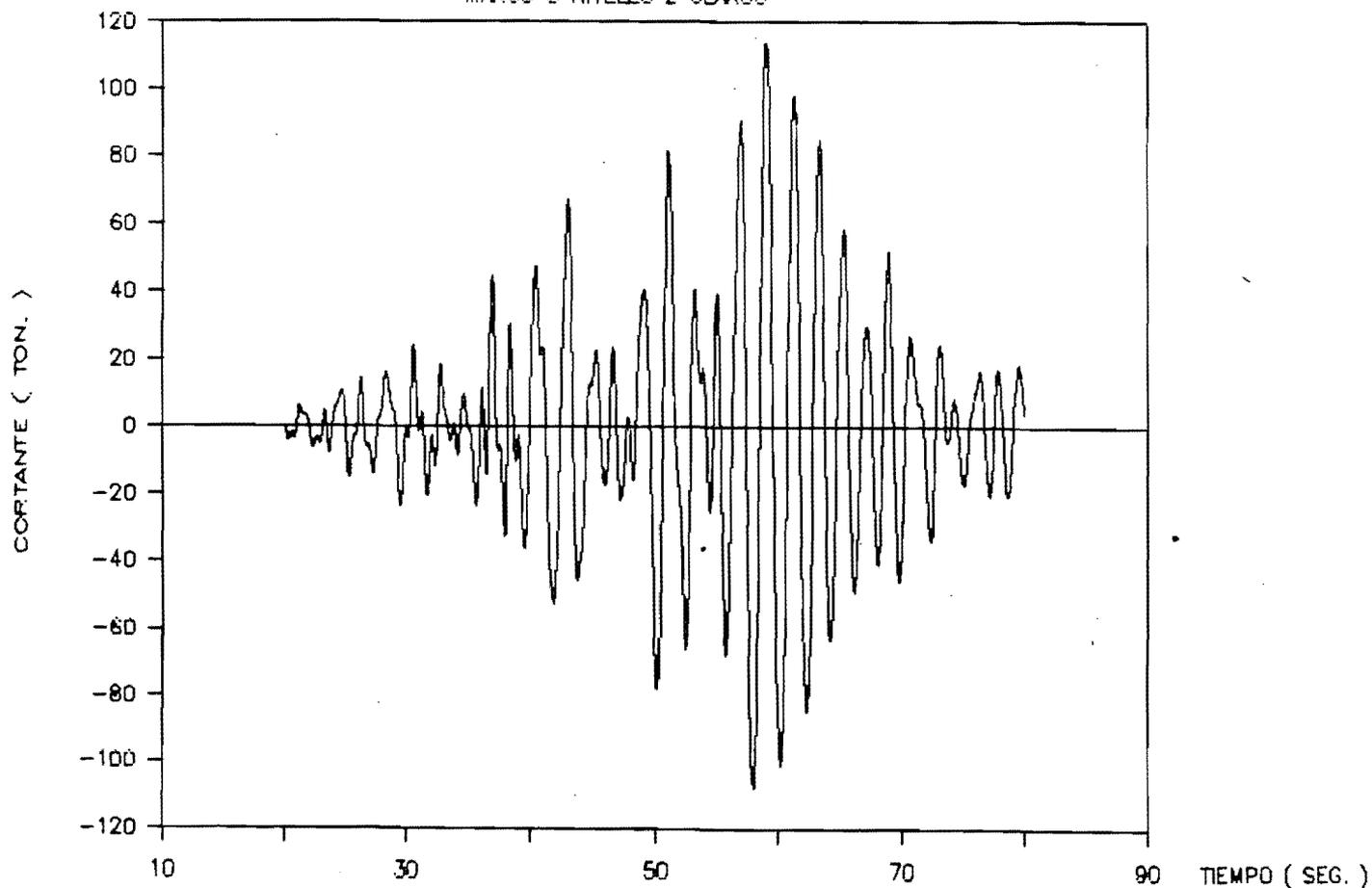


# CORTANTE EN LA BASE-TIEMPO

MARCO 6 NIVELES 2 CLAROS

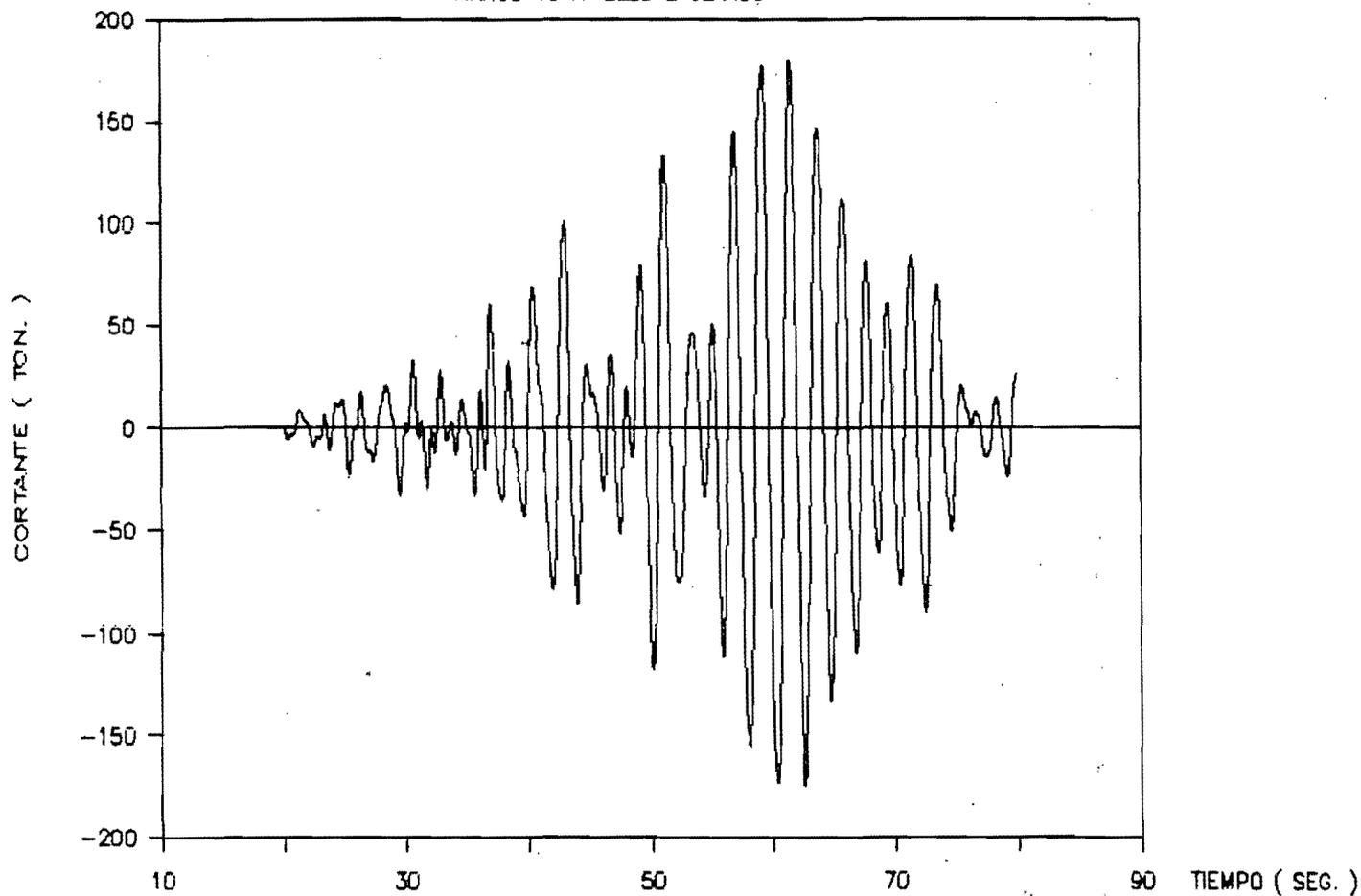


MARCO 8 NIVELES 2 CLAROS

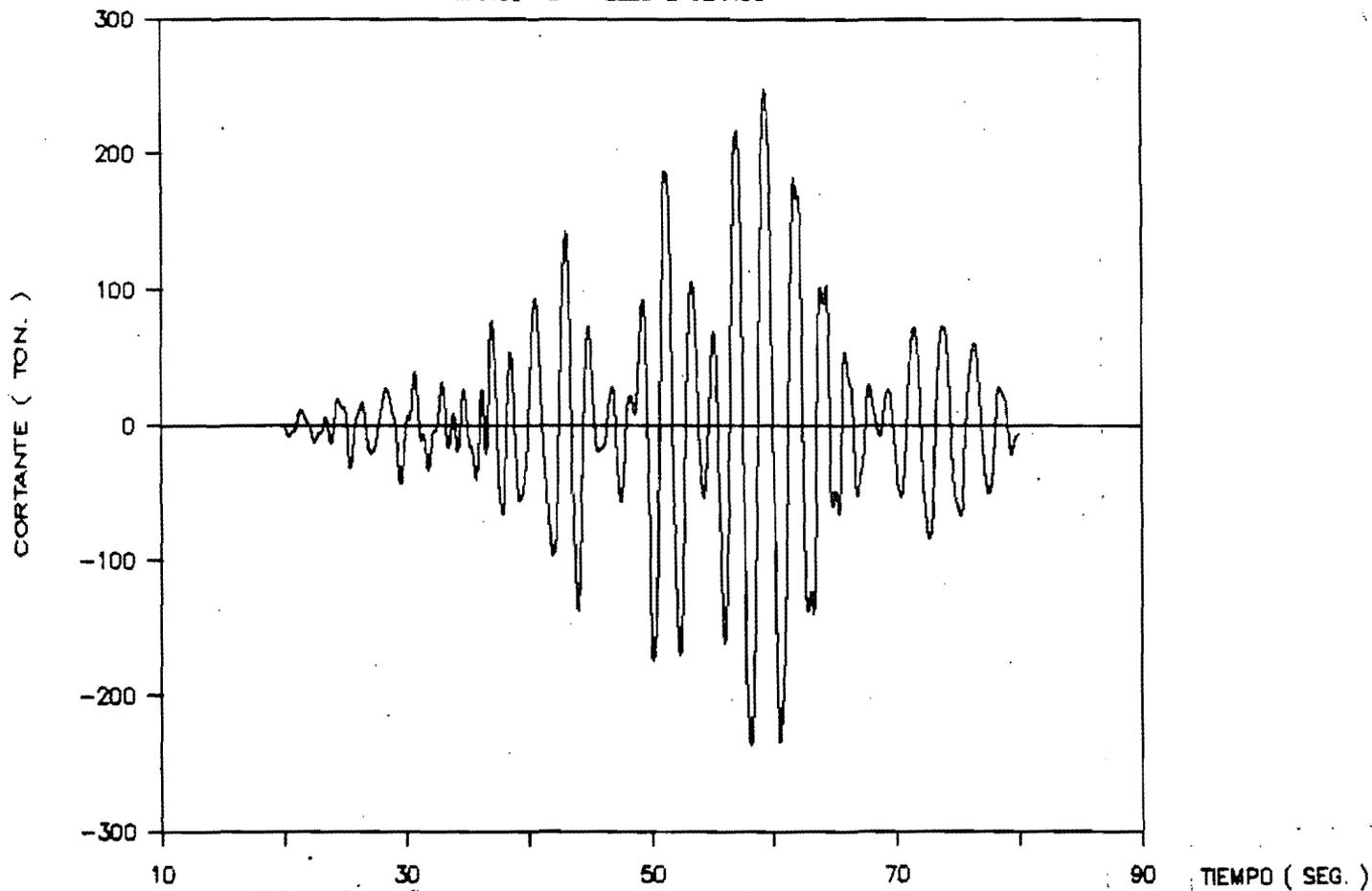


# CORTANTE BASAL-TIEMPO

MARCO 10 NIVELES 2 CLAROS

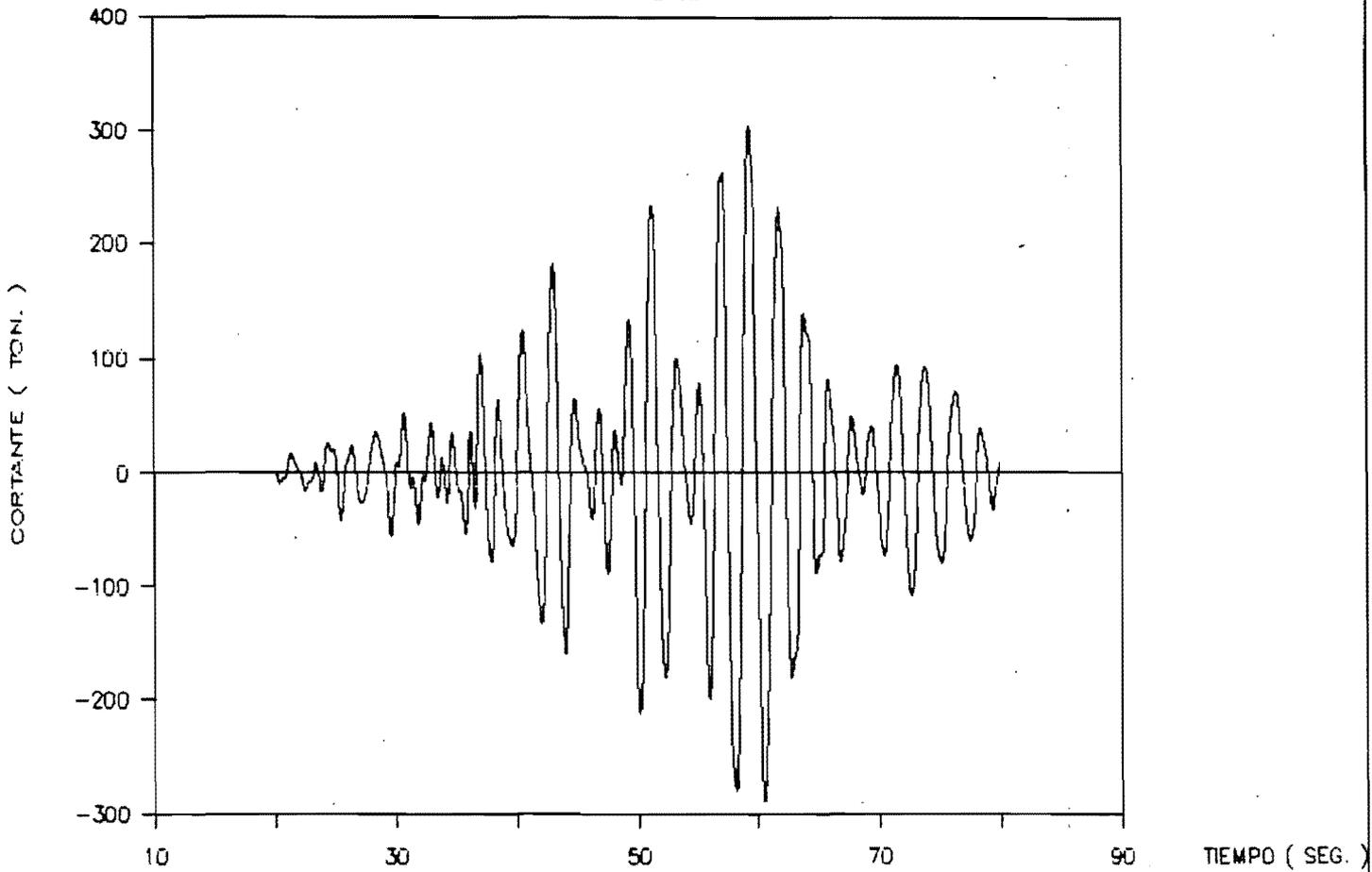


MARCO 12 NIVELES 2 CLAROS

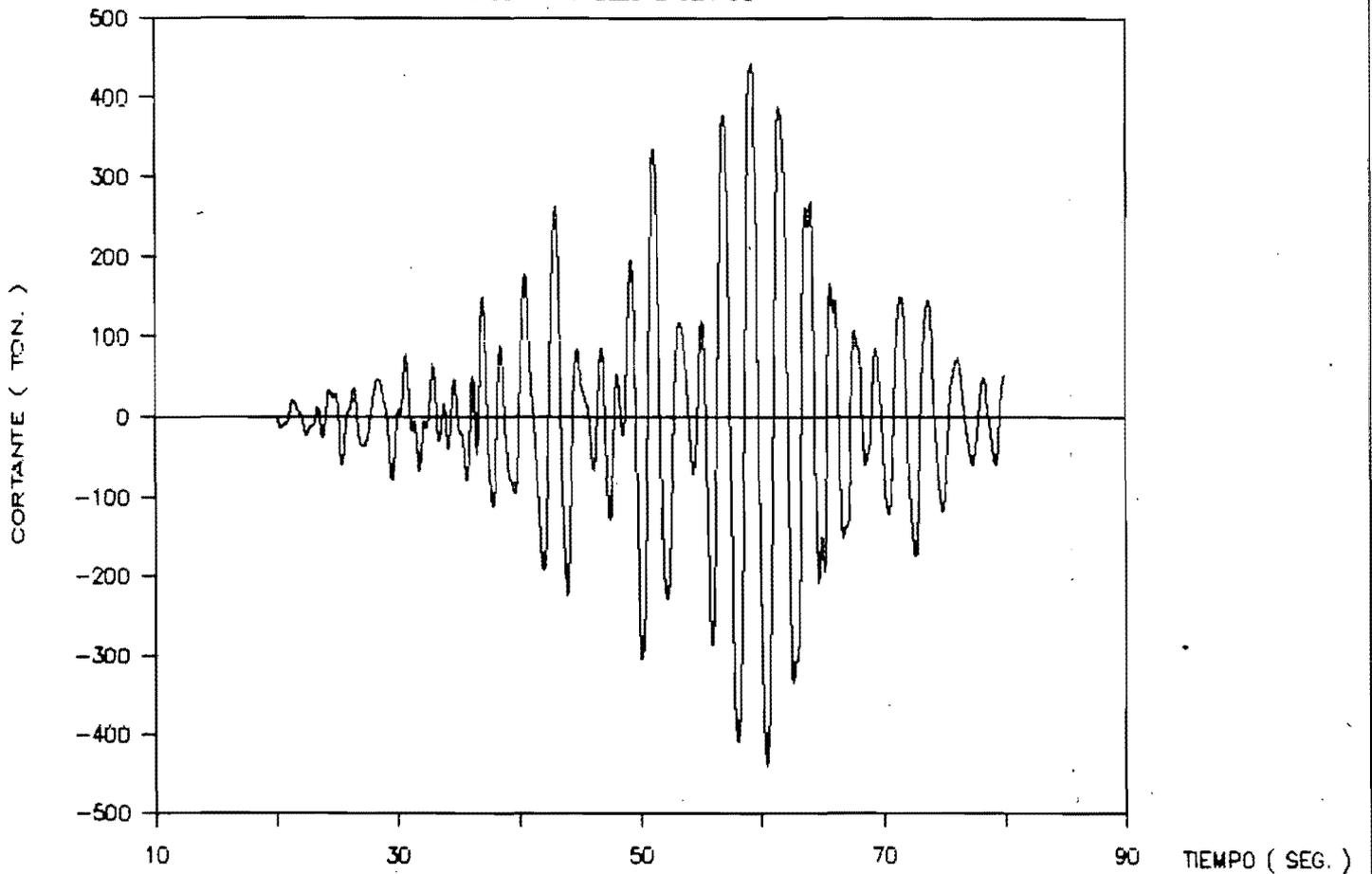


# CORTANTE BASAL-TIEMPO

MARCO 14 NIVELES 2 CLAROS



MARCO 16 NIVELES 2 CLAROS



base y el peso del edificio es igual a 0.2 en ambos casos, en todos los elementos resistentes tanto en columnas como en trabes los momentos actuantes son infinitamente inferiores a los de fluencia, excepto en las columnas extremas del primer nivel que forman parte del marco de dos claros, por lo que en ellas se presenta la mayor demanda de ductilidad 1.008 y 0.98 en las columnas interiores del marco de 3 claros.

Para los marcos de 6 niveles los desplazamientos relativos tambien estan dentro de los permisibles por el reglamento la aceleración oscila alrededor de 0.2g, la relación cortante en la base peso del edificio es de 0.2, la mayor demanda de ductilidad se presenta en las trabes que forman parte de los marcos, sin que los momentos actuantes lleguen al límite de fluencia, por ejemplo para los marcos de dos y tres claros la mayor ductilidad es 0.9878 y 1.3722 en las trabes del segundo nivel y columnas extremas del primer nivel respectivamente.

Para los marcos de 8 niveles los desplazamientos relativos rebazan ligeramente los marcados por el reglamento en los niveles 2,3,4 y 5 siendo el mayor de ellos superior en 30% al que establece el reglamento del D.F. y se localiza en el nivel 4 del marco de dos claros. La aceleración máxima es de 294  $\text{cm}/\text{seg}^2$  en ambos marcos. la ductilidad máxima es 2.055 y se localiza en las trabes del tercer nivel. Los momentos actuantes son inferiores a los resistentes tanto en trabes como en columnas.

En los marcos de 10,12,14 y 16 niveles los desplazamientos relativos son mayores que los que marca el R.C.D.F.(87) para marcos dúctiles; en ellos se presenta una deformación casi constante desde los primeros niveles, con una aceleración muy cercana a 0.2g en el primer nivel, llegando hasta una máxima de 0.64g en el último nivel.

Para los marcos de 10 niveles el acero de refuerzo en todas las trabes está fluyendo con una ductilidad máxima de 4.5 en el nivel 5, disminuyendo ligeramente de este valor en los niveles restantes. Con respecto a las columnas la ductilidad máxima es 4.41 y se presenta en las secciones extremas del primer nivel. Los momentos actuantes en trabes y columnas están al límite de los resistentes.

En los marcos de 12 niveles los momentos actuantes en trabes son mayores que los resistentes en todos los niveles excepto en 1,2,11 y 12 por lo que se presentan ductilidades de 7.8 en los 6,7,8,9 y 10; en las columnas la máxima ductilidad se presenta en las secciones extremas del primer nivel(4.11), por lo que los momentos actuantes en ese nivel son ligeramente inferiores a los resistentes.

En los marcos de 14 niveles los momentos resistentes en las trabes son menores que los momentos máximos obtenidos del análisis no lineal (1% en el nivel 2 ; 5% en los niveles 10,9 y 3 ; 10% en los niveles 8,7,6,5 y 4), excepto en los niveles

14,13,12,11 y 1 en donde los desplazamientos relativos son menores. En las trabes del nivel 8, donde se presenta el mayor desplazamiento relativo las ductilidades son 7.6 para dos claros y 8.8 para tres claros. Con respecto a las columnas, las secciones del primer nivel presentan ductilidades de 5.4 y 3.5 para dos y tres claros respectivamente, con momentos actuantes al límite de los resistentes.

Para los marcos de 16 niveles se presenta escasez de resistencia en trabes (1% en los niveles 14,4 ; 4% en los niveles 13 12 y 11 ; 6% en los niveles 7,6 y 5 ; 8% en los niveles 10,9 y 8), con ductilidades máximas de 7.0 en el nivel 10 para dos claros y 7.8 en el nivel 7 para 3 claros.

MARCO	NIV.	DESPLAZ. REL. (CM)	ACEL/g	MARCO	NIV.	DESPLAZ REL (CM)	ACE/g
2 NIV.	1	1.6944	-0.1929	2 NIV.	1	1.8085	-0.1927
2 CLA.	2	1.6166	-0.2166	3 CLA.	2	1.8082	-0.2049
4 NIV.	1	1.4895	-0.1817	4 NIV.	1	1.5421	-0.1816
2 CLA.	2	1.6284	-0.1983	9 CLA.	2	1.6580	-0.1977
	9	1.4451	-0.2152		9	1.4795	-0.2165
	4	1.1030	-0.2399		4	1.1199	-0.2369
6 NIV.	1	1.0278	-0.1782	6 NIV.	1	1.5277	0.2479
2 CLA.	2	1.2652	-0.1871	9 CLA.	2	1.8026	0.2418
	9	1.9097	0.1984		9	1.8978	0.2916
	4	1.2008	-0.2102		4	1.5801	0.2175

**TABLA 4.4 DESPLAZAMIENTOS Y ACELERACIONES MAXIMAS (ANALISIS NO LINEAL)**

MARCO	NIV.	DESPLAZ. REL. (CM)	ACEL/g	MARCO	NIV.	DESPLAZ REL (CM)	ACE/g
6 NIV. 2 CLA.	5 6	0.9728 0.4934	-0.2268 0.2401	6 NIV. 9 CLA.	5 6	1.2144 0.5436	-0.1994 -0.1865
8 NIV 2 CLA.	1 2 9 4 5 6 7 8	1.5197 2.1439 2.9847 2.4178 2.2653 1.9855 1.5995 1.1979	-0.1774 -0.1884 0.2098 0.2325 0.2508 0.2697 0.2809 0.2997	8 NIV. 9 CLA.	1 2 9 4 5 6 7 8	1.6917 2.2025 2.4151 2.3853 2.0959 1.6694 1.2142 0.7895	-0.1815 0.1987 0.2174 0.2407 0.2610 0.2698 0.2761 0.2961
10 NIV. 2 CLA.	1 2 9 4 5 6 7 8 9 10	3.6047 5.1065 6.0837 6.7118 6.9630 6.8322 6.5901 5.8670 4.7188 2.3286	-0.1800 -0.1984 0.2207 0.2479 0.2747 -0.3072 -0.3491 -0.3865 -0.4986 -0.5254	10 NIV. 9 CLA.	1 2 9 4 5 6 7 8 9 10	3.4180 5.5425 7.0417 7.6697 7.8909 7.7600 7.4579 6.7948 5.6465 9.2569	-0.1770 -0.1900 -0.2060 -0.2260 -0.2326 -0.2468 -0.2892 -0.3457 -0.4228 -0.5342
12 NIV. 2 CLA.	1 2 9 4 5 6 7 8 9 10 11 12	9.5571 3.5029 6.7950 7.9099 8.6917 9.1579 9.4469 9.9990 9.2723 8.8015 7.1900 5.9120	-0.1800 -0.1972 0.2206 0.2456 0.2742 0.2904 0.3276 0.3614 -0.4169 -0.4595 -0.5346 -0.6427	12 NIV. 9 CLA.	1 2 9 4 5 6 7 8 9 10 11 12	9.9660 5.0000 6.1946 6.8982 7.9542 7.5615 7.5915 7.4515 7.2168 6.8028 6.2915 5.6151	-0.1800 -0.1955 -0.2125 0.2297 0.2499 0.2716 -0.2968 0.3197 -0.3533 0.4039 -0.5075 -0.6272
14 NIV. 2 CLA.	1 2	9.6251 4.9927	-0.1785 -0.1957	14 NIV. 9 CLA.	1 2	9.1560 4.4599	-0.1788 -0.1899

TABLA 4.1 DESPLAZAMIENTOS Y ACELERACIONES MAXIMAS (ANALISIS NO LINEAL)

MARCO	NIV.	DESPLAZ. REL. (CM)	ACEL/g	MARCO	NIV.	DESPLAZ REL (CM)	ACE/g		
14 NIV. 2 CLA.	9	5.8887	-0.2157	14 NIV. 3 CLA.	9	5.4692	-0.2029		
	4	6.2528	-0.2957		4	6.2139	0.2287		
	5	6.8928	-0.2565		5	6.7269	-0.2491		
	6	7.0908	-0.2791		6	7.0771	-0.2721		
	7	7.0981	0.2955		7	7.2479	-0.2956		
	8	7.0540	0.3199		8	7.9425	-0.3178		
	9	6.8444	-0.3489		9	7.9044	0.3429		
	10	6.5012	-0.3717		10	7.2022	0.3692		
	11	6.0158	-0.3888		11	7.0460	-0.3899		
	12	6.1744	-0.4458		12	6.7290	-0.4307		
	13	3.9058	-0.5192		13	6.1479	-0.5183		
	14	1.3480	-0.6093		14	5.3579	-0.6487		
	16 NIV. 2 CLA.	1	1.6898		-0.1799	16 NIV. 3 CLA.	1	1.9616	-0.1770
		2	2.7390		-0.1821		2	3.0876	-0.1882
3		3.5764	0.1946	3	4.0078		-0.2021		
4		4.1618	0.2152	4	4.6400		0.2219		
5		4.5717	0.2355	5	5.0556		0.2401		
6		4.8166	0.2524	6	5.9992		0.2601		
7		5.0024	0.2647	7	5.5620		0.2725		
8		5.0879	0.2722	8	5.7188		0.2782		
9		5.1112	-0.2945	9	5.8085		0.2869		
10		5.0847	-0.3284	10	5.8448		0.2977		
11		5.5974	-0.3557	11	6.1429		-0.3149		
12		5.8190	-0.3840	12	6.2649		-0.3521		
13		5.7004	0.4130	13	6.1687		-0.4103		
14		5.4660	-0.4797	14	5.9797		-0.4729		
15		5.1461	-0.5516	15	5.7009		-0.5960		
16		4.7919	-0.6240	16	5.9475		0.6011		

TABLA 4.1 DESPLAZAMIENTOS Y ACELERACIONES MAXIMAS (ANALISIS NO LINEAL)

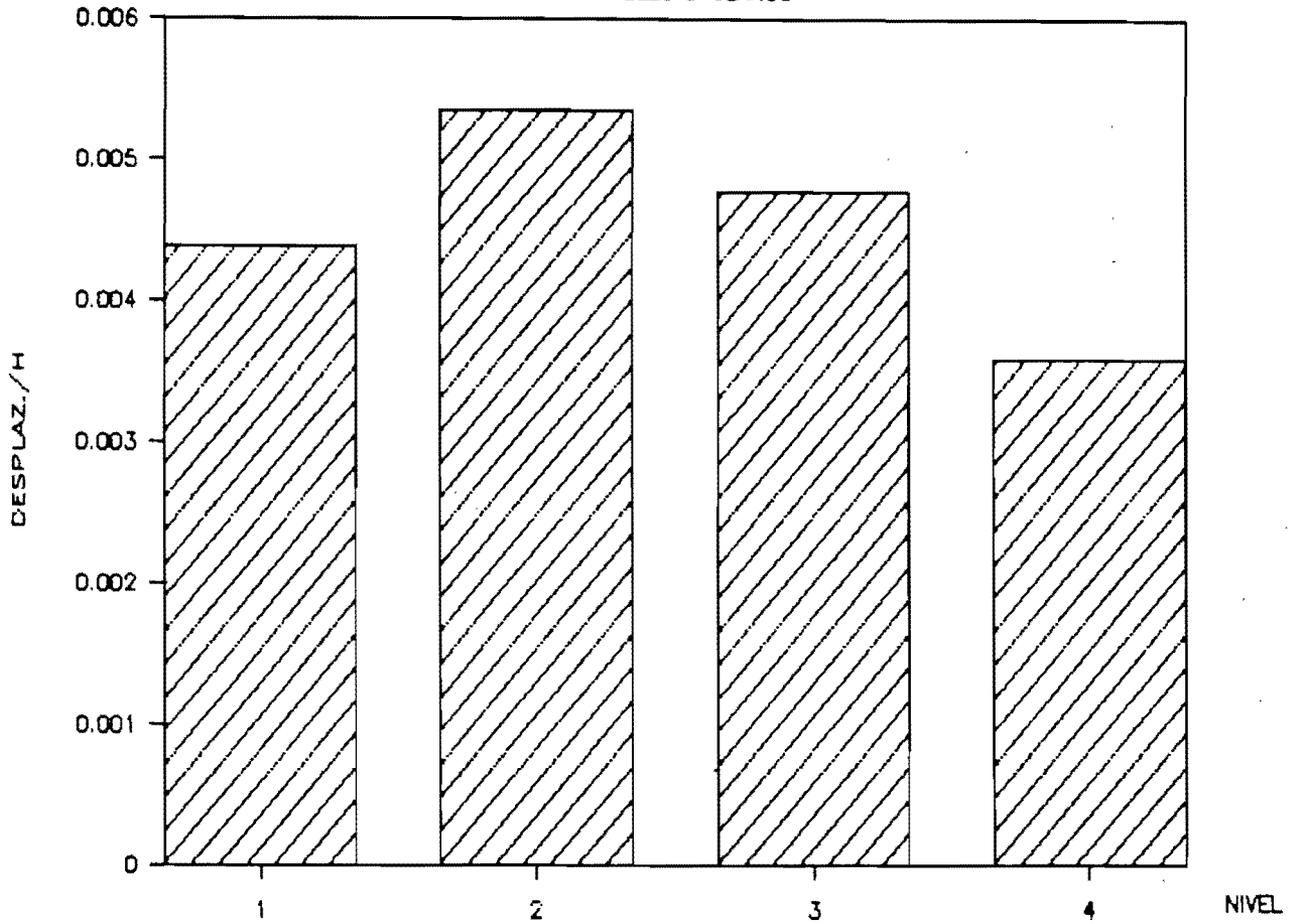
MARCO	CORTANTE BASAL (TON.)	MARCO	CORTANTE BASAL (TON.)
2 NIV. 2 CLA.	-16.2708	2 NIV. 3 CLA.	-26.5595
4 NIV. 2 CLA.	-98.8724	4 NIV. 3 CLA.	-69.7280
6 NIV. 2 CLA.	-67.9701	6 NIV. 3 CLA.	109.5506
8 NIV. 2 CLA.	119.8299	8 NIV. 3 CLA.	178.5508
10 NIV. 2 CLA.	178.9237	10 NIV. 3 CLA.	-219.1959
12 NIV. 2 CLA.	247.3786	12 NIV. 3 CLA.	365.4474
14 NIV. 2 CLA.	909.8599	14 NIV. 3 CLA.	458.6902
16 NIV. 2 CLA.	441.9483	16 NIV. 3 CLA.	606.3923

TABLA 4.2 CORTANTE BASAL MAXIMO (ANALISIS NO LINEAL)

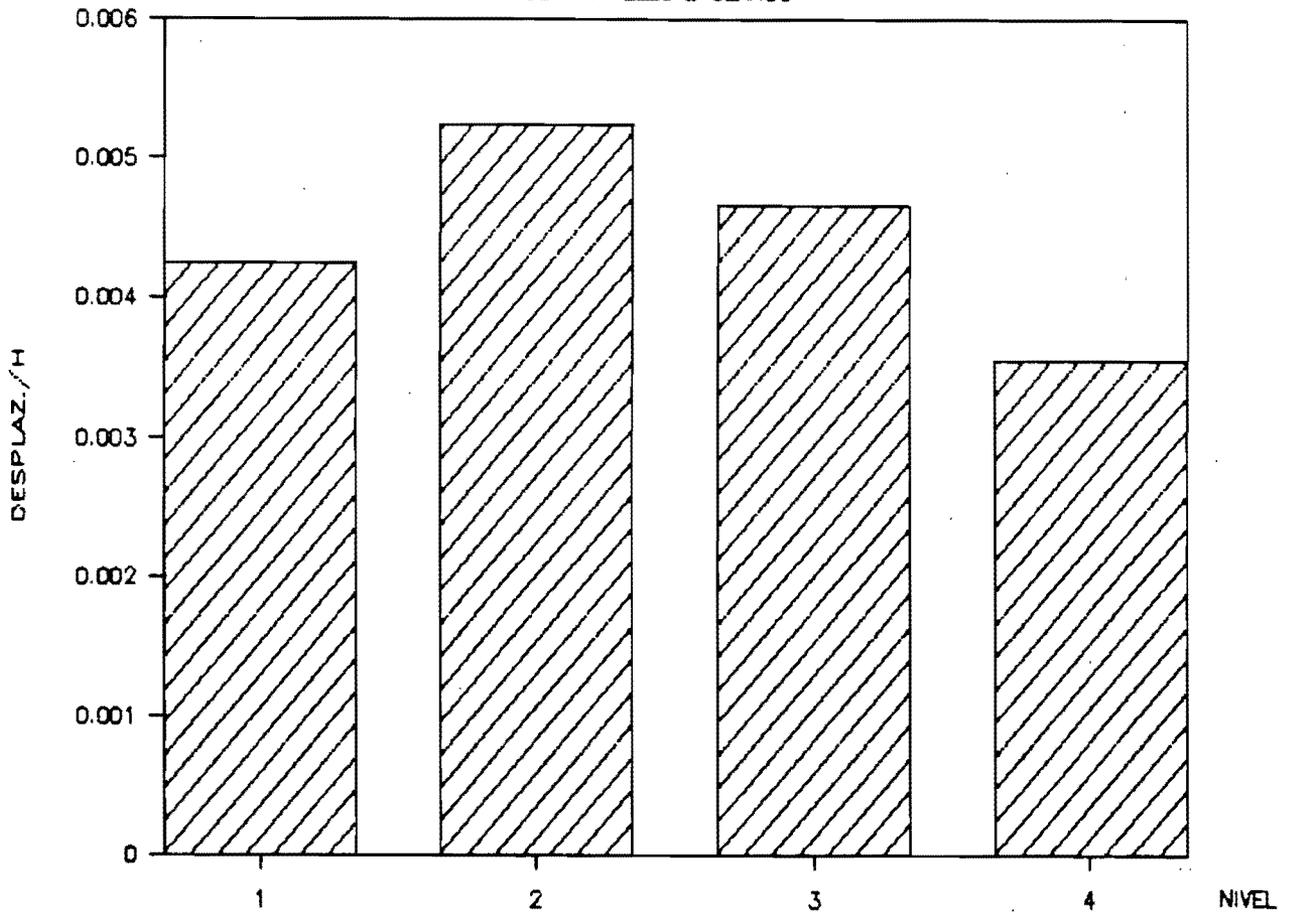
Se determinó además el cortante resistente por medio del método de los mecanismos basado en el principio del trabajo virtual. De este análisis se observa que los cortantes resistentes son rebasados por los actuantes en los marcos de 10, 12, 14 y 16 niveles en un porcentaje de 12%, 22%, 26% y 19% para dos claros y 5%, 36%, 27%, y 20% para 3 claros respectivamente.

# GRAFICA (DESPLAZ. MAX./H POR NIVEL)

## MARCO 4 NIVELES 3 CLAROS

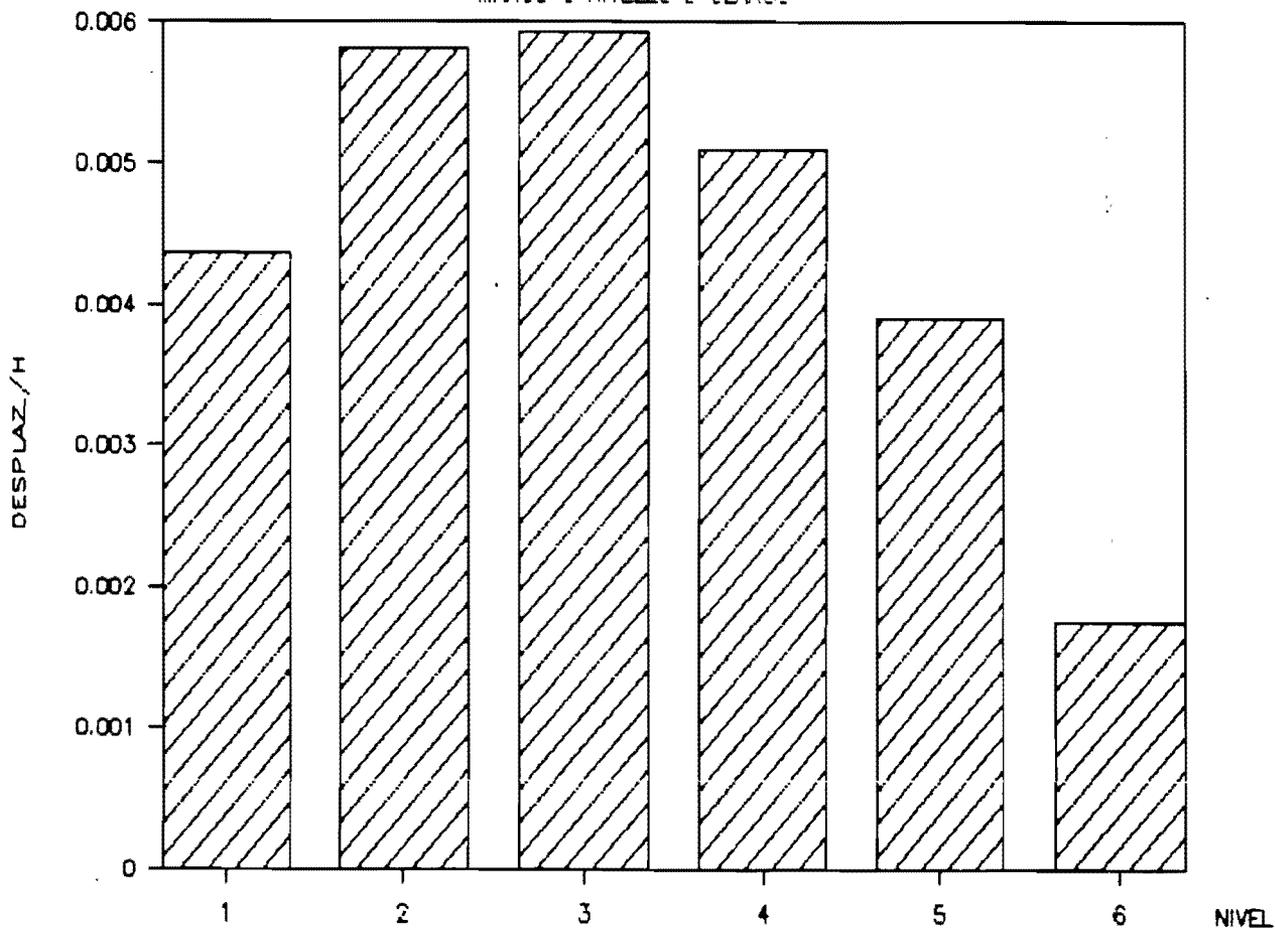


## MARCO 4 NIVELES 2 CLAROS

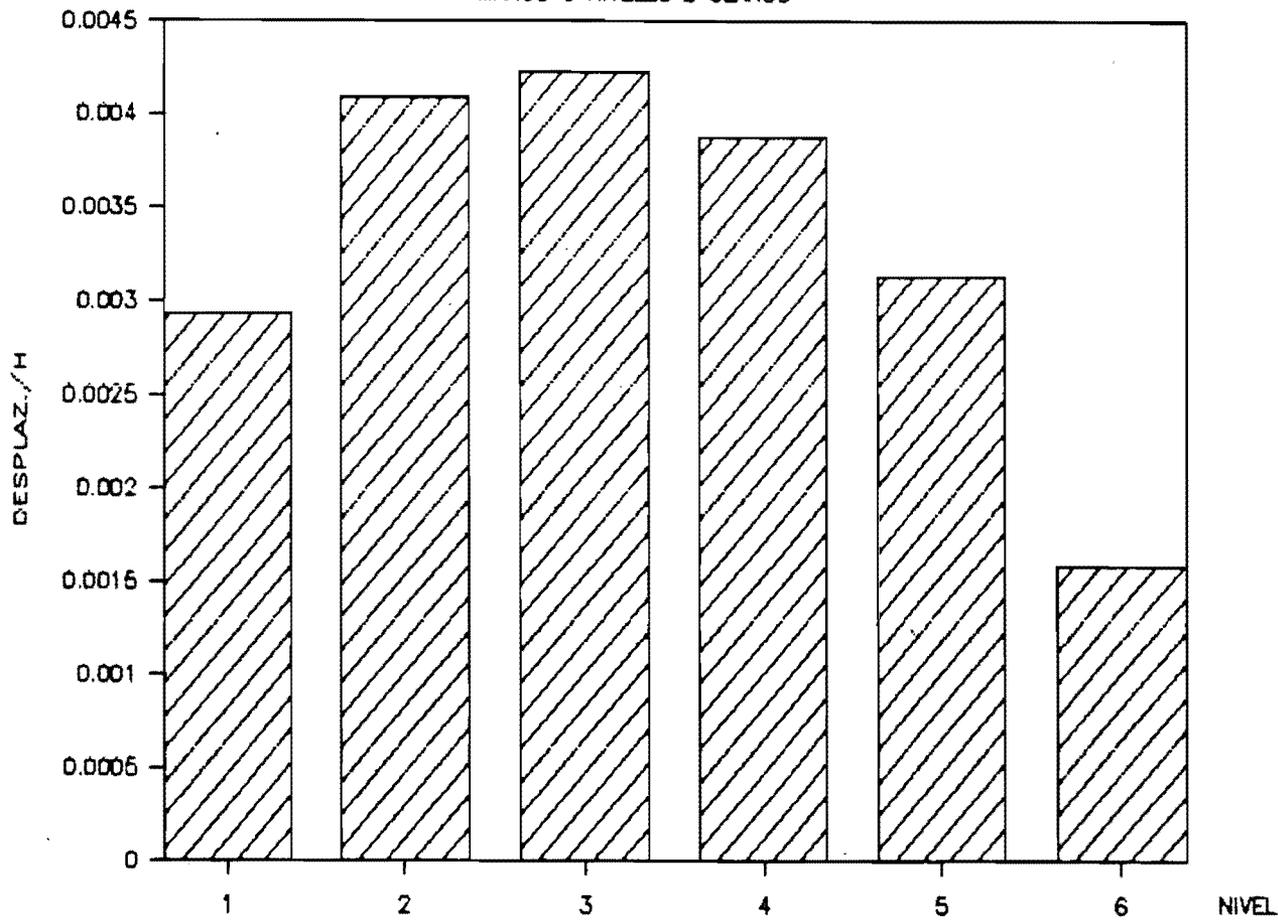


# GRAFICA (DESPLAZ. MAX./H POR NIVEL)

## MARCO 6 NIVELES 3 CLAROS

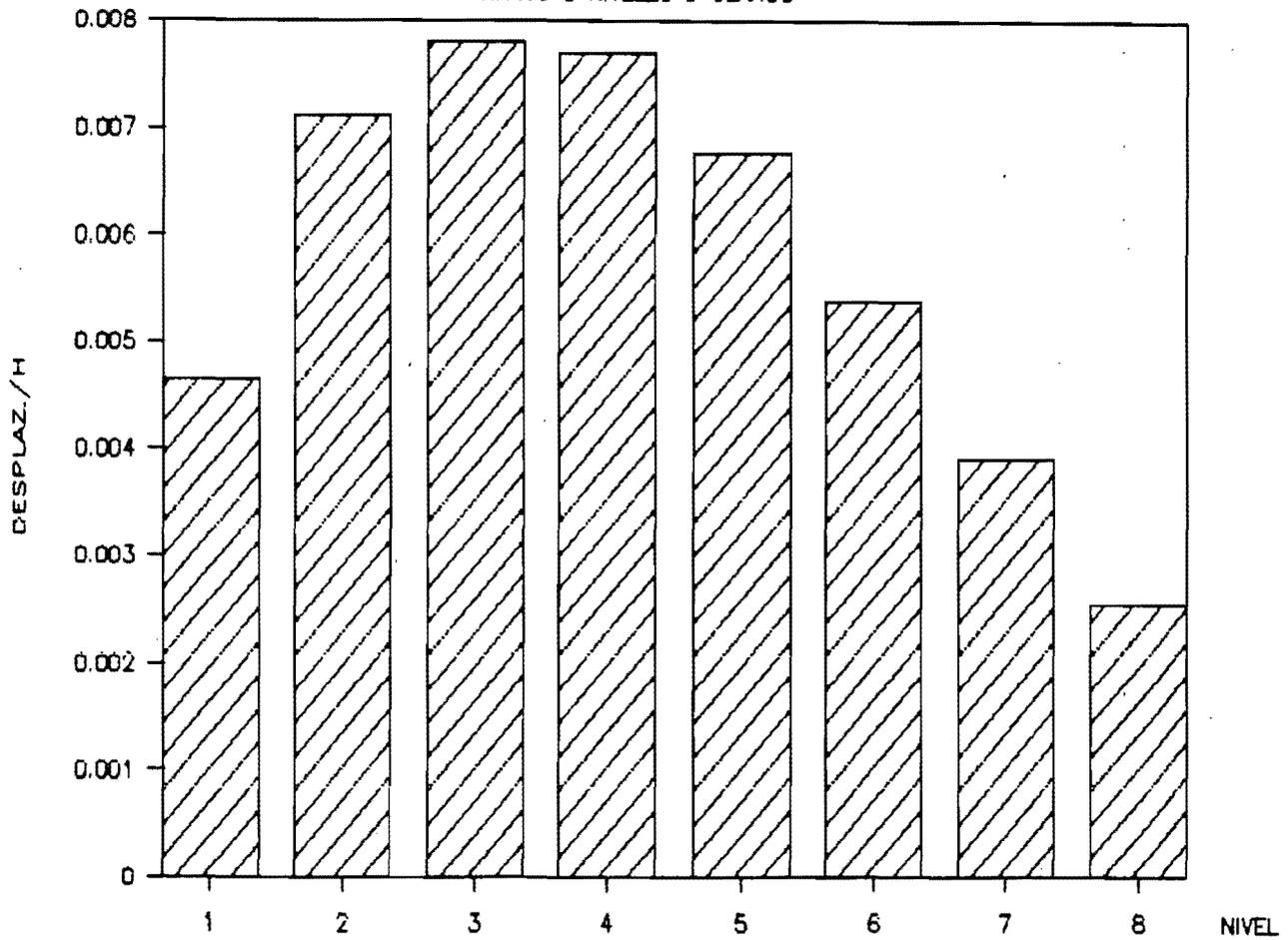


## MARCO 6 NIVELES 2 CLAROS

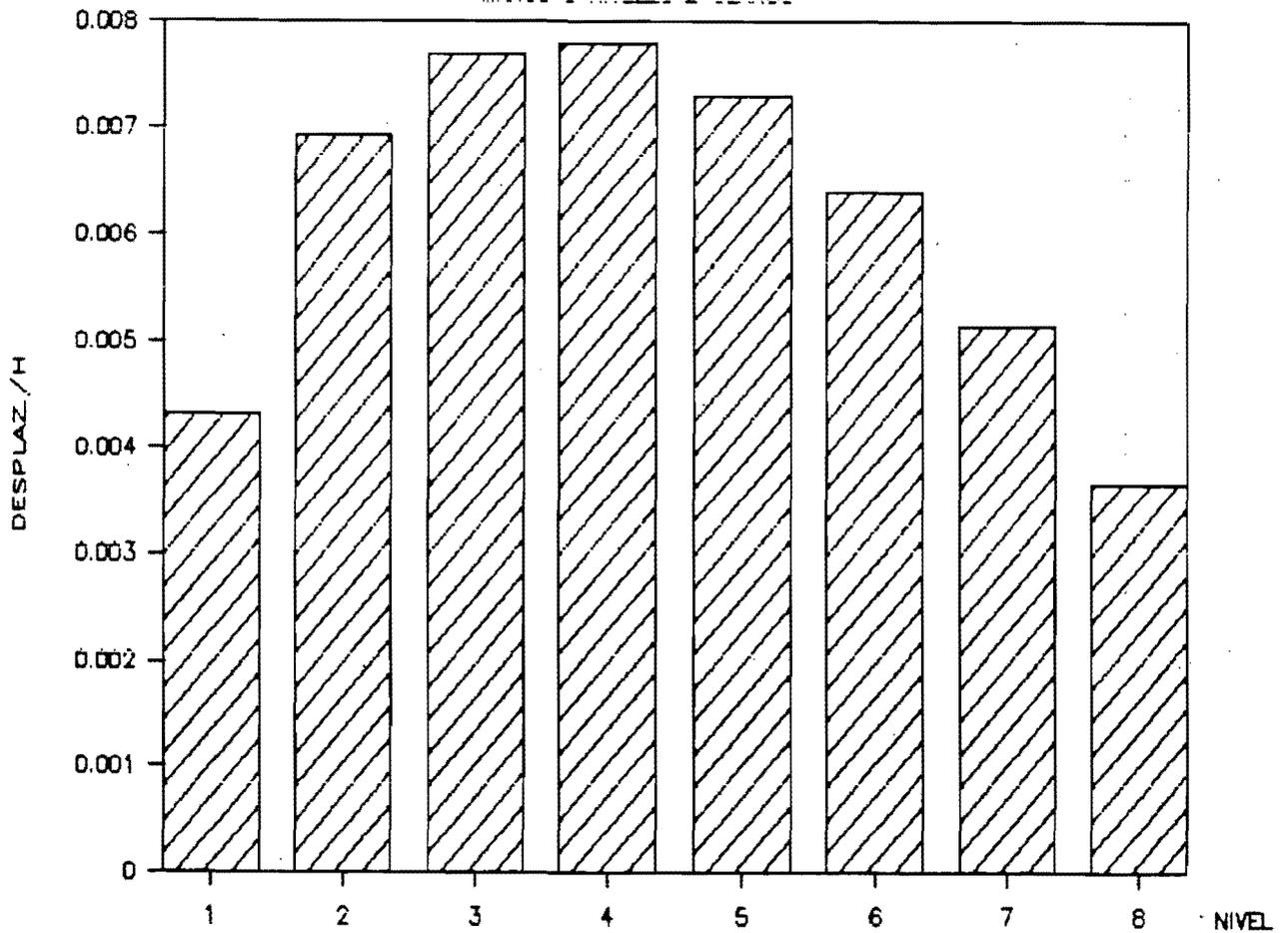


# GRAFICA (DESPLAZ. MAX./H POR NIVEL)

MARCO 8 NIVELES 3 CLAROS

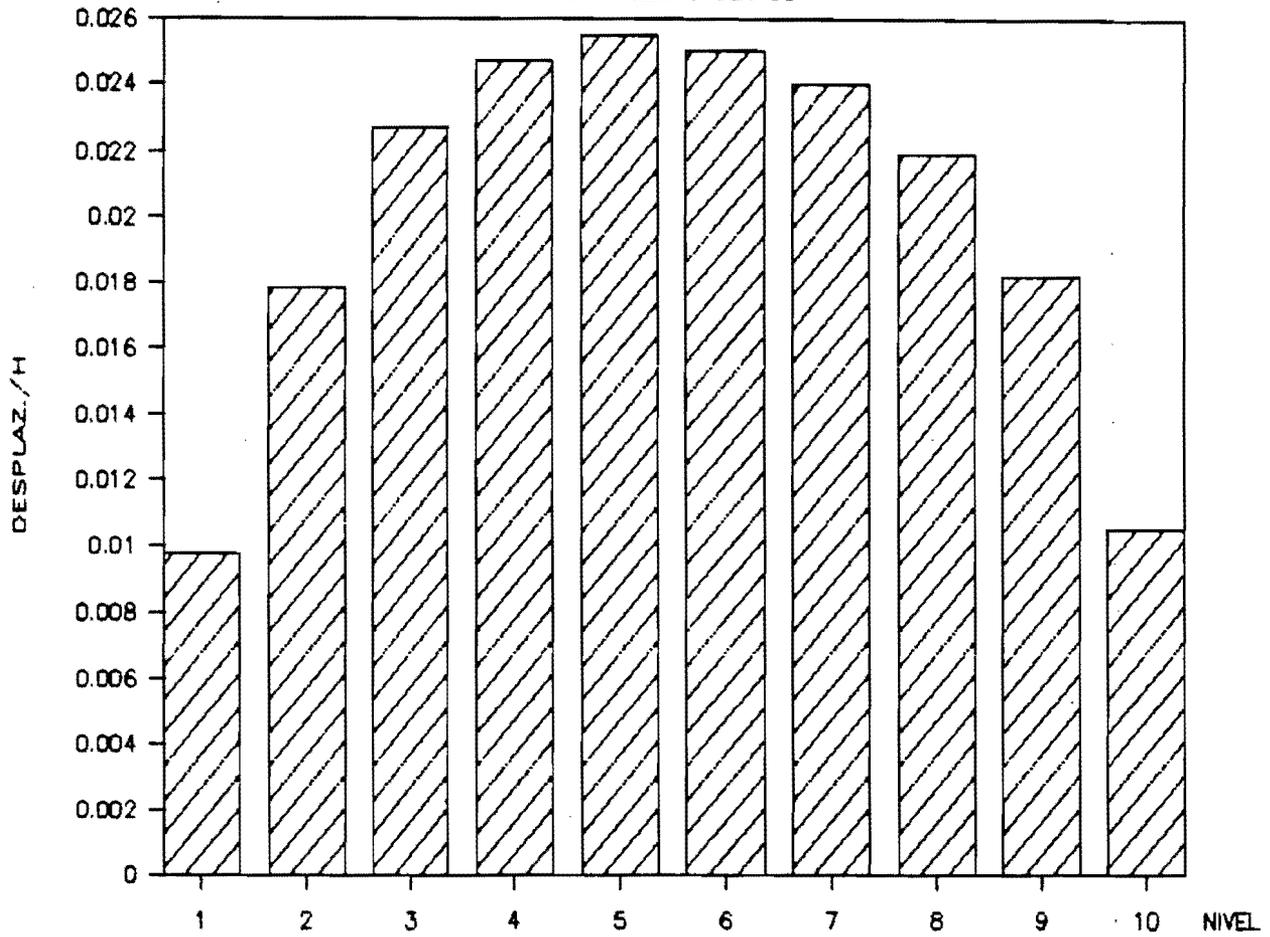


MARCO 8 NIVELES 2 CLAROS

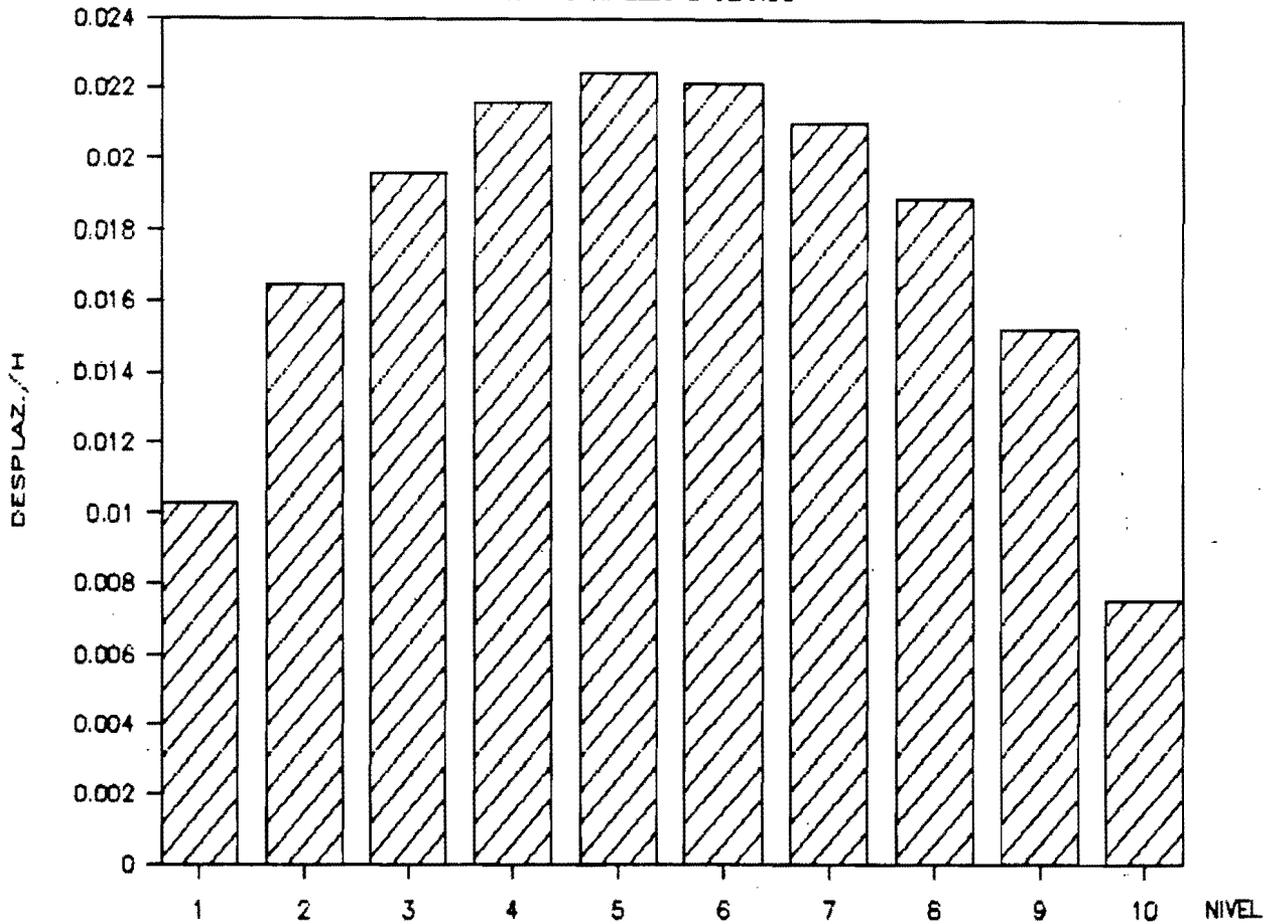


# GRAFICA (DESPLAZ. MAX./H POR NIVEL)

## MARCO 10 NIVELES 3 CLAROS

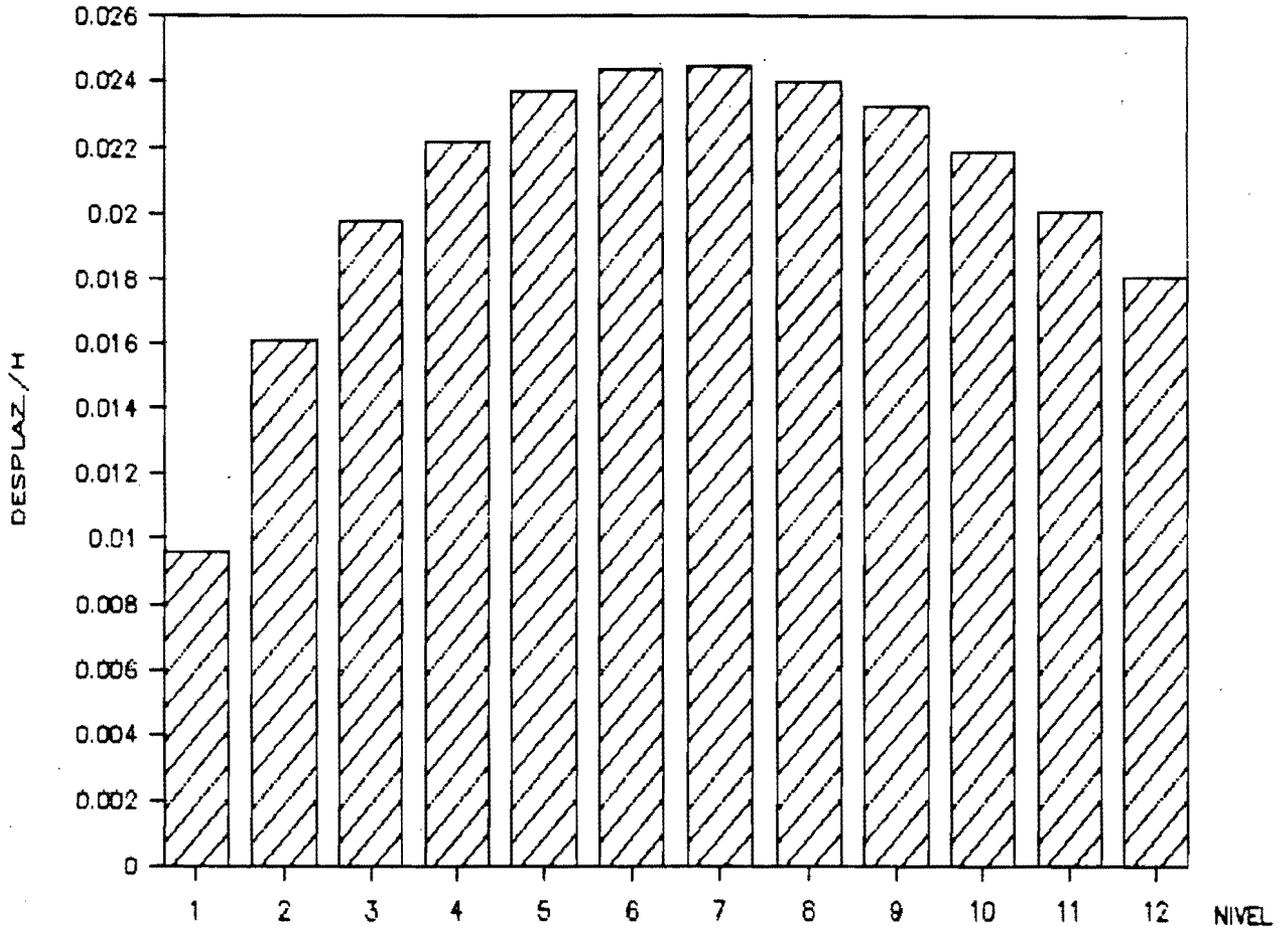


## MARCO 10 NIVELES 2 CLAROS

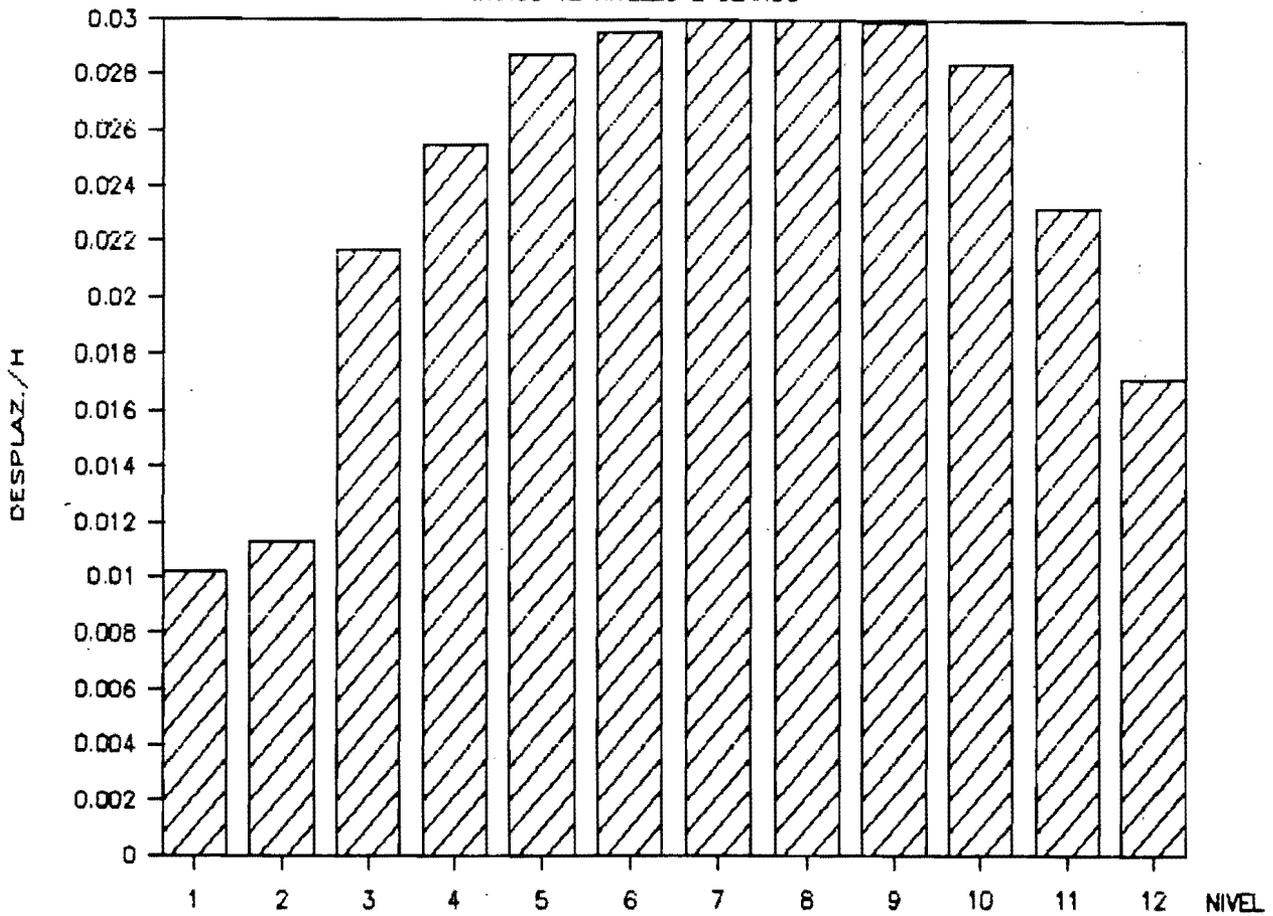


# GRAFICA (DESPLAZ. MAX./H POR NIVEL)

MARCO 12 NIVELES 3 CLAROS

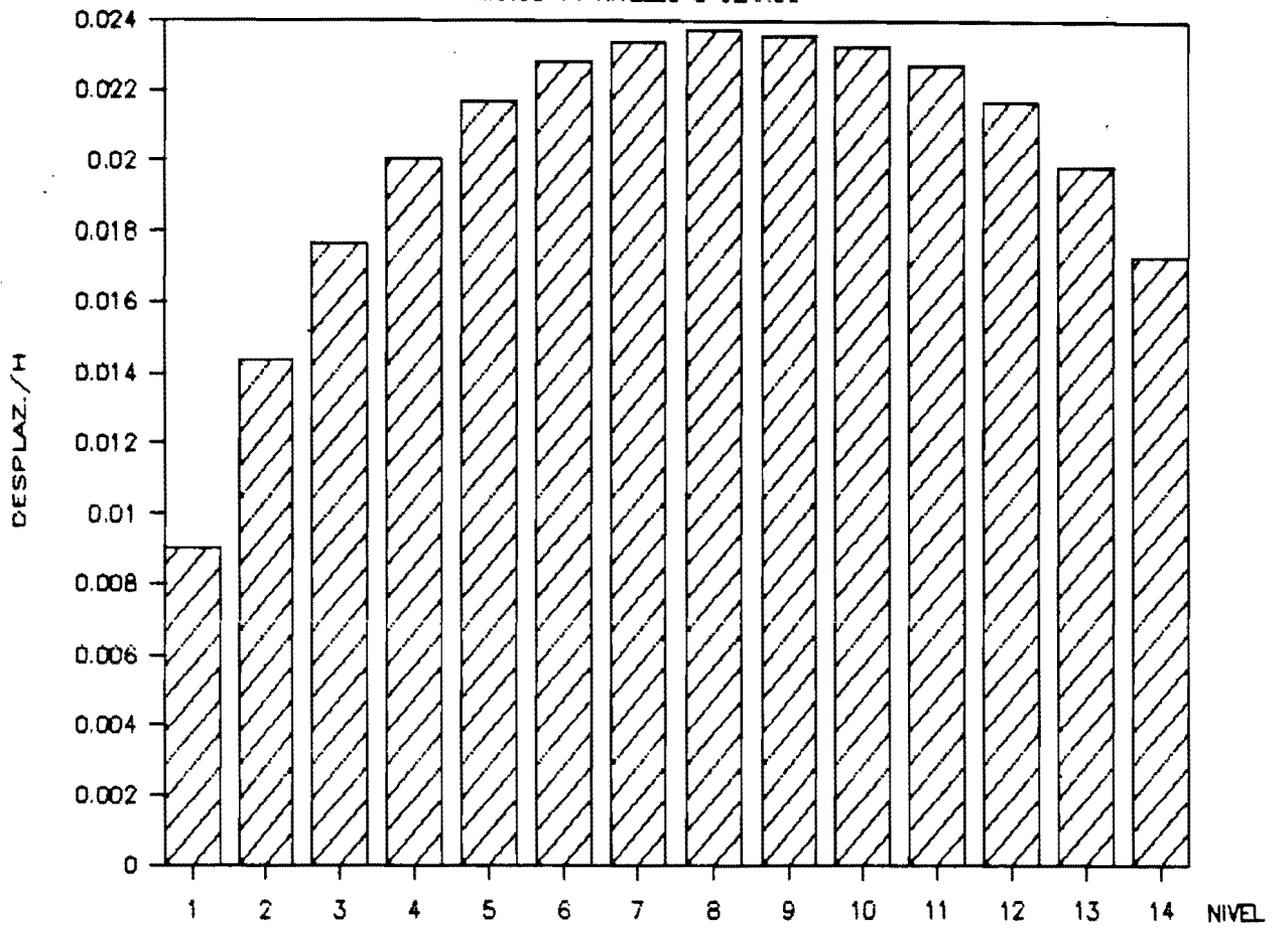


MARCO 12 NIVELES 2 CLAROS

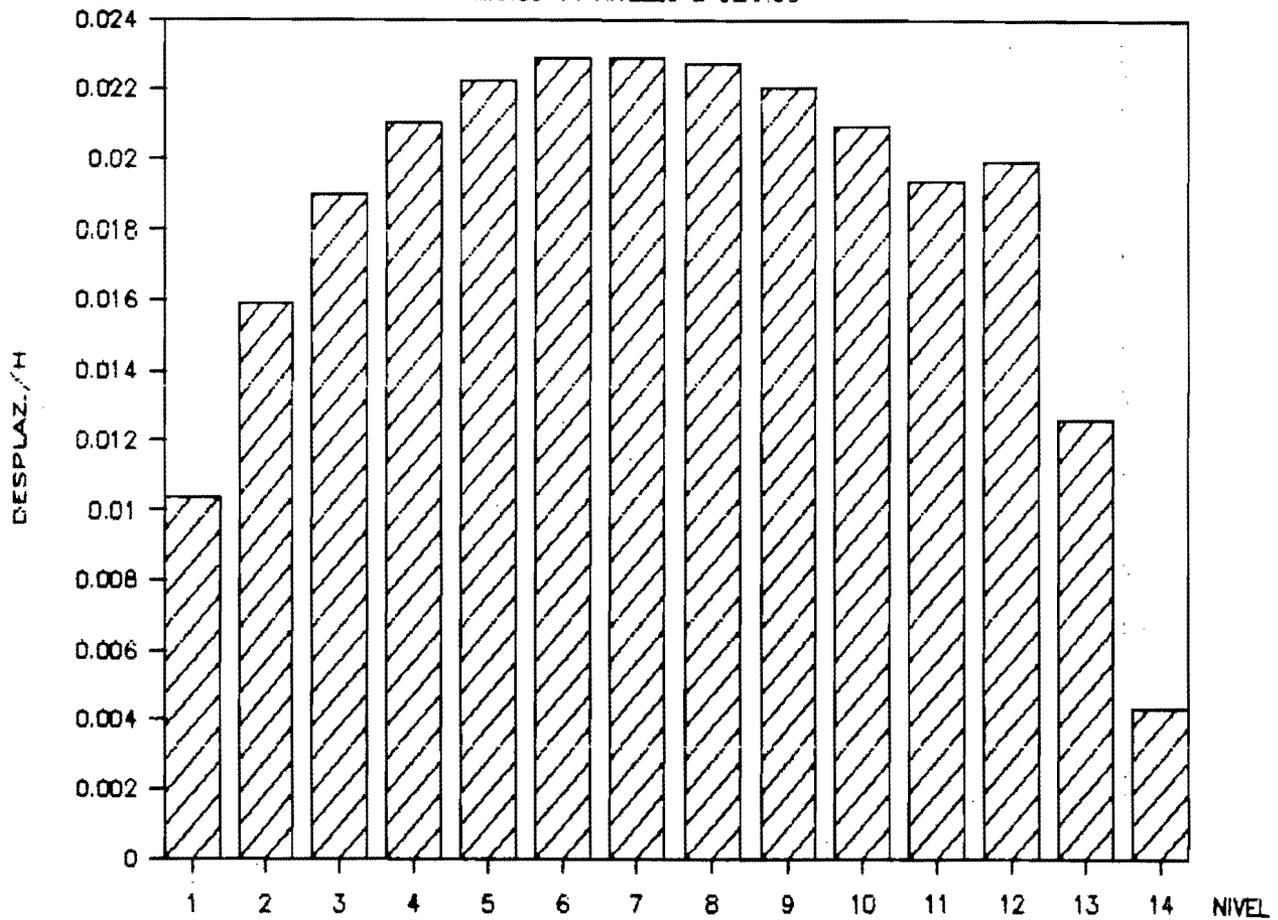


# GRAFICA (DESPLAZ. MAX./H POR NIVEL)

## MARCO 14 NIVELES 3 CLAROS

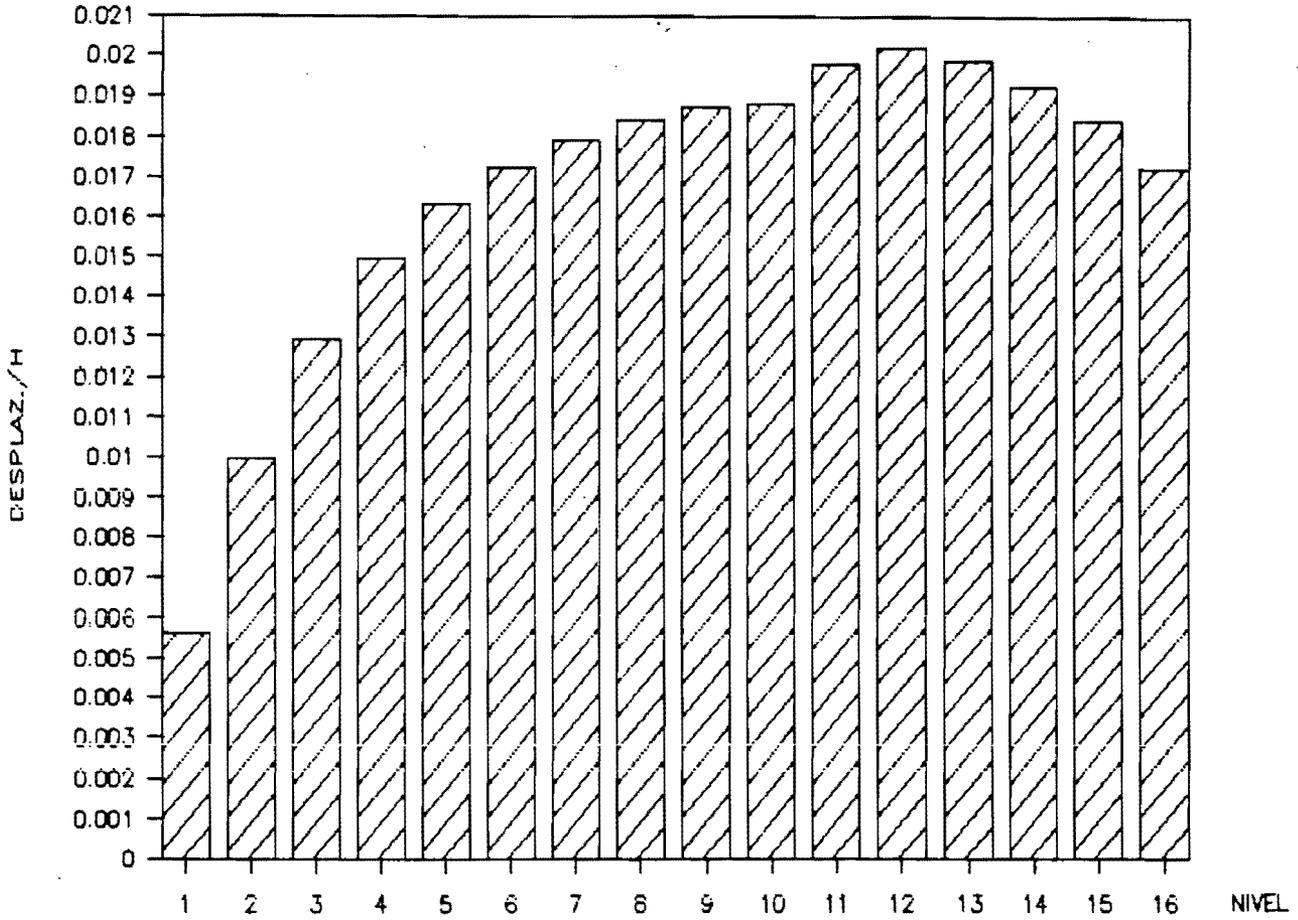


## MARCO 14 NIVELES 2 CLAROS

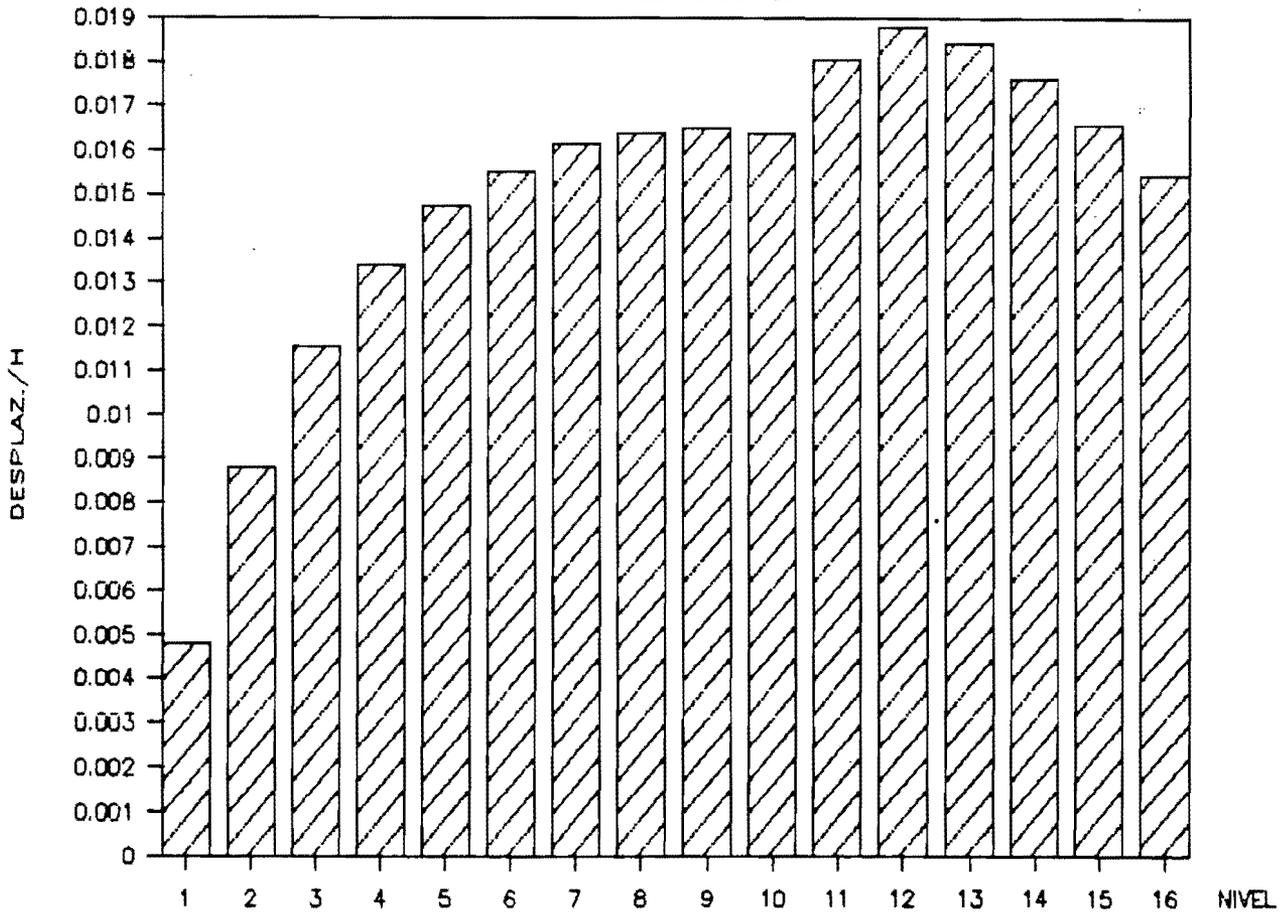


# GRAFICA (DESPLAZ. MAX./H POR NIVEL)

## MARCO 16 NIVELES 3 CLAROS

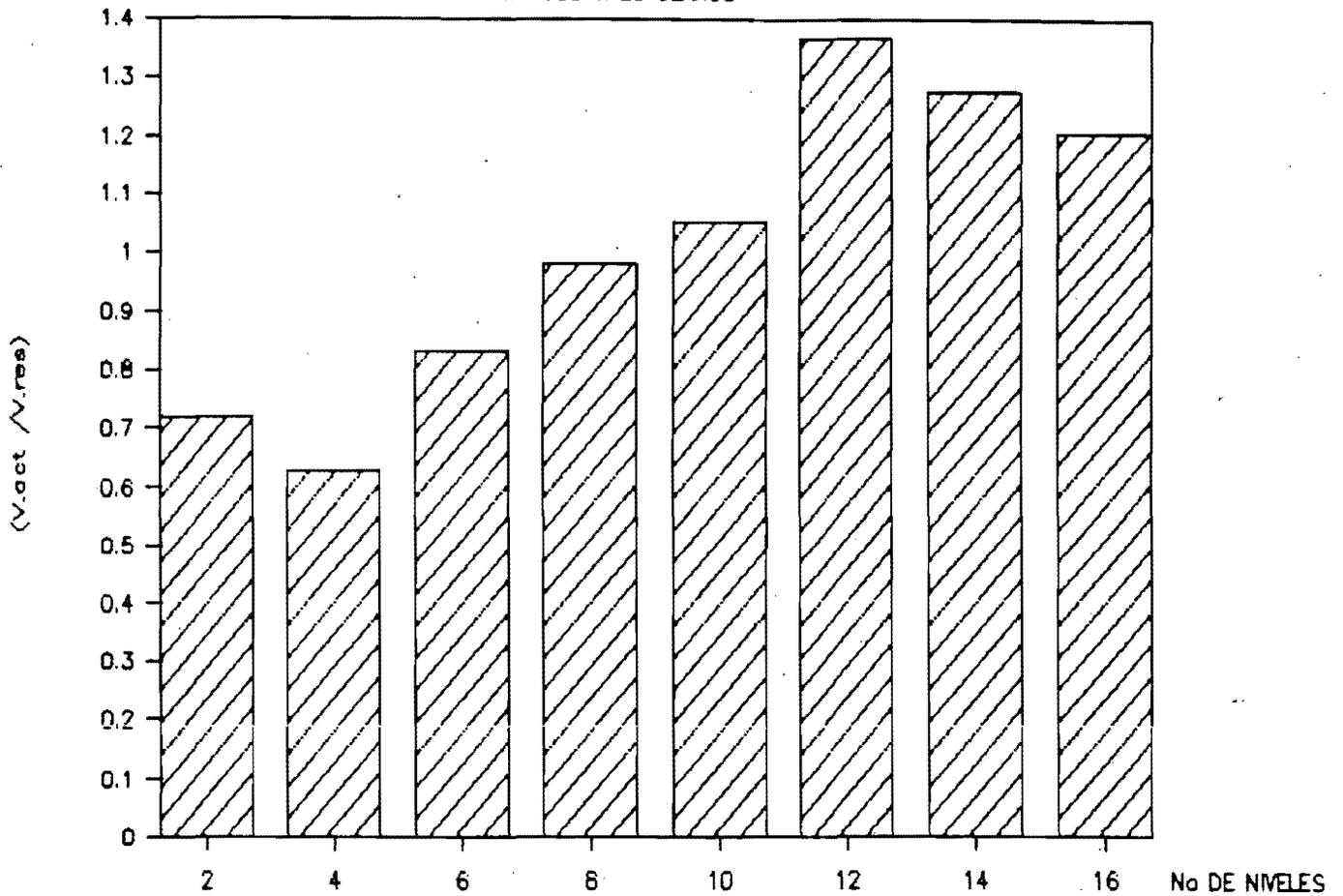


## MARCO 16 NIVELES 2 CLAROS

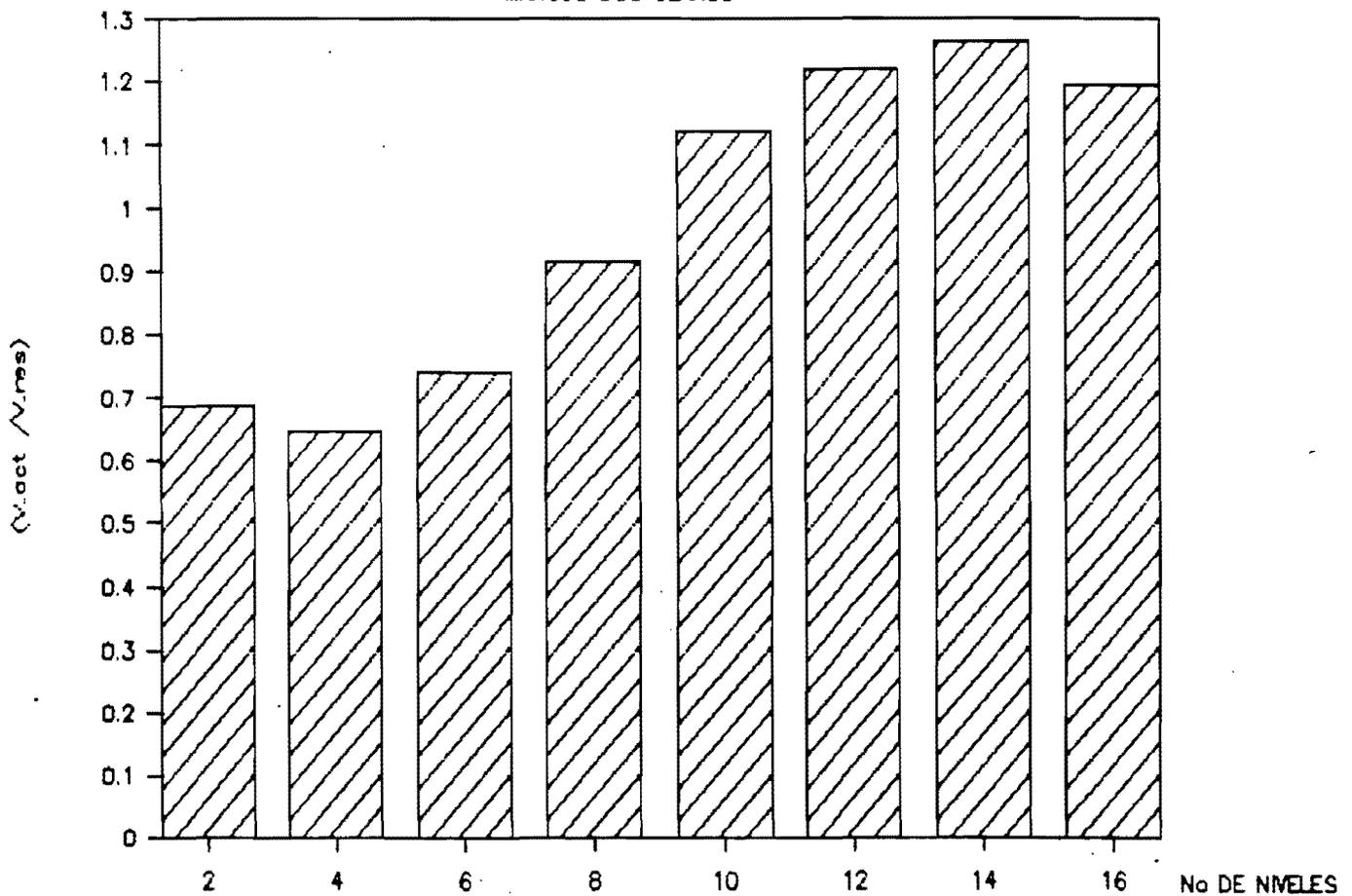


# GRAFICA (V.ACTUANTE MAX./V.RESISTENTE)

## MARCOS TRES CLAROS



## MARCOS DOS CLAROS



## CAPITULO V

### CONCLUSIONES

Actualmente el Reglamento del Distrito Federal presenta espectros de diseño suavizados que toman en cuenta incertidumbres en el cálculo de masas y rigideces que influyen en el período natural de vibración, la influencia del amortiguamiento y los distintos tipos de suelo y también la manera de tomar en cuenta el comportamiento inelástico mediante espectros o coeficientes reducidos por ductilidad que permiten diseñar para fuerzas sísmicas menores que las correspondientes a coeficientes o espectros de diseño elástico (estos coeficientes y espectros han sido incrementados para garantizar la seguridad de las est.). Mediante estas reducciones el reglamento reconoce la capacidad de disipación de energía que poseen distintos sistemas estructurales.

En los marcos diseñados previamente como dúctiles se tomó un coeficiente de 0.32 en lugar de 0.4 ya que la fuerza sísmica se incrementó para igualar el valor del cortante a 0.8 del cortante basal estático.

De los resultados obtenidos mediante un análisis paso a paso no lineal es evidente que el número de claros tiene una influencia mínima en la respuesta estructural, además se

concluye que los marcos de 2 a 8 niveles presentan un comportamiento elástico, ya que en la mayor parte de los elementos las ductilidades son menores de 1.0 por lo que se cumple con el requisito de rigidez y resistencia.

En los marcos de 10, 12, 14 y 18 niveles se presentan desplazamientos excesivos y aproximadamente constantes en la mayor parte de los niveles. La aceleración y por tanto las fuerzas laterales máximas son elevadas desde el primer nivel. Esta respuesta máxima se presenta en repetidas ocasiones en un intervalo de tiempo corto lo que provoca degradación de rigidez excesiva y en consecuencia grandes desplazamientos. Otra propiedad que se ve notablemente afectada por los ciclos alternados de carga es la resistencia. Esta influencia se presenta en forma marcada en las trabes (salvo en la base de los edificios y los dos últimos niveles) y en las columnas extremas del primer nivel, es decir se desarrolla un mecanismo lateral de viga en donde se presentan grandes ductilidades y escasez de resistencia ante la excitación sísmica dada. Por lo tanto estos marcos no cumplen con el requisito de rigidez y resistencia que especifica el reglamento (RDF-87)

Los resultados aquí presentados no son generales, son representativos de los casos estudiados por lo que se recomienda realizar un estudio analítico en el que se considere: Análisis tridimensional de las estructuras para observar la influencia de las cargas en las tres direcciones en las columnas,

tomando en cuenta el efecto que provoca la interacción suelo estructura, el que influye en forma notoria en el comportamiento dinámico de estructuras cimentadas en terreno blando.

## BIBLIOGRAFIA

1. - López R., Ricardo y Sozen A., Mete., A Guide to Data Preparation for Larzwd-1.0 Computer Programs for Nonlinear Analysis of Planar Reinforced Concrete Structures Incorporating Frame and Walls, University of Illinois, January 1988
2. - Bertero V., Vitelmo., The México Earthquake of September 19, 1985 Performance of Building Structures, University of California, Berkeley.
3. - Sozen A. Mete., Toward a Behavior Based Desing of Reinforced Concrete Frames to Resist Earthquakes, University of Illinois
4. - Wood S. L., Nonlinear Behavior of Single-Degree of Freedom, Reinforced Concrete Structures Subjected to Seismic Excitation.
5. - Del Valle Calderón, E., Estadísticas de los daños causados por el Sismo del 19 de Septiembre de 1985 en la Ciudad de México.  
I.C.A. 5º Congreso Nacional de Ingeniería Estructural, Veracruz, Ver, 1986
6. - Bernal, Dionisio., Comportamiento de Secciones de Concreto Reforzado, U.N.A.M. Instituto de Ingeniería 1982
7. - Park, R. y Paulay, T., Estructuras de Concreto Reforzado, LIMUSA, México 1986

8. - Dowrick D., J., Diseño de Estructuras Resistentes a Sismo, LIMUSA, México 1984

9. - Departamento del Distrito Federal. Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo, Talleres Gráficos de la Nación. México 1987

10. - Departamento del Distrito Federal. Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto, Talleres Gráficos de la Nación. México 1987