

ESTABILIDAD INELASTICA DE MARCOS SUJETOS A ACCIONES DINAMICAS

ROLANDO JAVIER GRANDI GOMEZ

TRABAJO

Presentado a la División de Estudios de Posgrado de la

FACULTAD DE INGENIERIA
de la

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

como requisito para obtener
el grado de

MAESTRO EN INGENIERIA
(ESTRUCTURAS)



Ciudad Universitaria, D.F. Noviembre 1987.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.



DEPFI

T. UNAM
1 9 8 7
GRA



DEPFI

■ ESTABILIDAD INELASTICA DE MARCOS SUJETOS A ACCIONES DINAMICAS.

TEMAS:

SECCION A. Introducción.

SECCION B. Métodos de Análisis de Marcos.

SECCION C. Métodos de Análisis Sísmico y el Enfoque Dinámico ~~de~~

SECCION D. Procedimiento Para Obtener el Diagrama de Inestabilidad.

SECCION E. Descripción del Acelerograma.

SECCION F. Marcos Analizados.

SECCION G. Comentarios Finales.

SECCION H. Referencias.

1

A. INTRODUCCION.

Es de mucho interés conocer el comportamiento de los marcos sujetos a acciones dinámicas, particularmente a las acciones ocasionadas por los movimientos sísmicos. Es decir, interesa conocer fundamentalmente el comportamiento de los marcos dentro de su entorno de estabilidad, el nivel de cargas que ocasionan que éstos abandonen dicho entorno, la forma en que lo abandonan y su comportamiento hasta la falla.

Se considera que una de las herramientas más importantes para conocer el comportamiento de marcos es el diagrama de inestabilidad en conjunción con las gráficas carga-desplazamiento.

En este trabajo se presenta una metodología que intenta obtener, en forma teórica, el diagrama de inestabilidad en función de las gráficas carga-desplazamiento de marcos sujetos a acciones sísmicas. Para obtener los diagramas de inestabilidad que puedan ser representativos de los marcos en estudio, es básico tomar en cuenta el comportamiento inelástico del material que los compone y los efectos de segundo orden. En ese sentido, para tener en cuenta esas características se utilizó el programa DRAIN y para generar algunos datos básicos para ese programa se utilizó el programa SUPER-ETABS. Los modelos matemáticos y los conceptos que están involucrados en esos programas son ampliamente conocidos y pueden consultarse en los manuales respectivos. Sin embargo, en las Secciones B y C de este trabajo se presenta un resumen de las técnicas usuales para realizar un estudio como este.

El llegar a definir el diagrama de inestabilidad y las gráficas de carga-desplazamiento hasta la falla, en función del movimiento sísmico, nos permite conocer en forma aproximada, el grado de seguridad de un marco en función de la relativa cercanía de las condiciones de diseño a las condiciones de falla. Para cuantificar este grado de seguridad en este trabajo se define el "factor de seguridad global sísmico", el cual es descrito en la Sección D. Además, en esa misma sección se describe el procedimiento y los parámetros que intervienen para obtener el diagrama de inestabilidad y las gráficas carga-desplazamiento, así como los criterios para fijar el entorno de estabilidad.

Para realizar un trabajo de este tipo debe recurrirse a una función generadora de la acción dinámica, y ya que se analiza la respuesta de marcos ante movimientos sísmicos, es adecuado utilizar acelerogramas. Estos deben ser representativos de los sismos que podrían ocurrir en el sitio donde se encuentra el marco en estudio. Debido a la naturaleza y brevedad de este trabajo, que pretende describir una técnica más que realizar una investigación completa, se utilizó solamente un acelerograma, el cual se describe en la Sección E.

En la Sección F se presentan los resultados de la aplicación de este trabajo a dos marcos.

B. METODOS DE ANALISIS DE MARCOS.

Para analizar un marco es necesario conocer sus formas de falla y su comportamiento hasta alcanzar el estado de falla, para tratar de lograr un diseño adecuado.

Las formas de falla pueden ser parciales (cuando falla algún o algunos elementos del marco) o de conjunto (fallas por pandeo o por inestabilidad). Los marcos simétricos en geometría y carga básicamente pueden fallar por pandeo, pero cuando se combinan cargas gravitacionales y laterales los marcos pueden fallar por inestabilidad. Este modo de falla es caracterizado por un desplazamiento significativo (generalmente el lateral) ocasionado normalmente por la carga lateral, que alcanza valores tales que hacen llegar al marco al colapso. Es decir que el comportamiento de marcos que fallan por inestabilidad bajo la acción de cargas verticales y laterales queda representado por sus gráficas carga-desplazamiento.

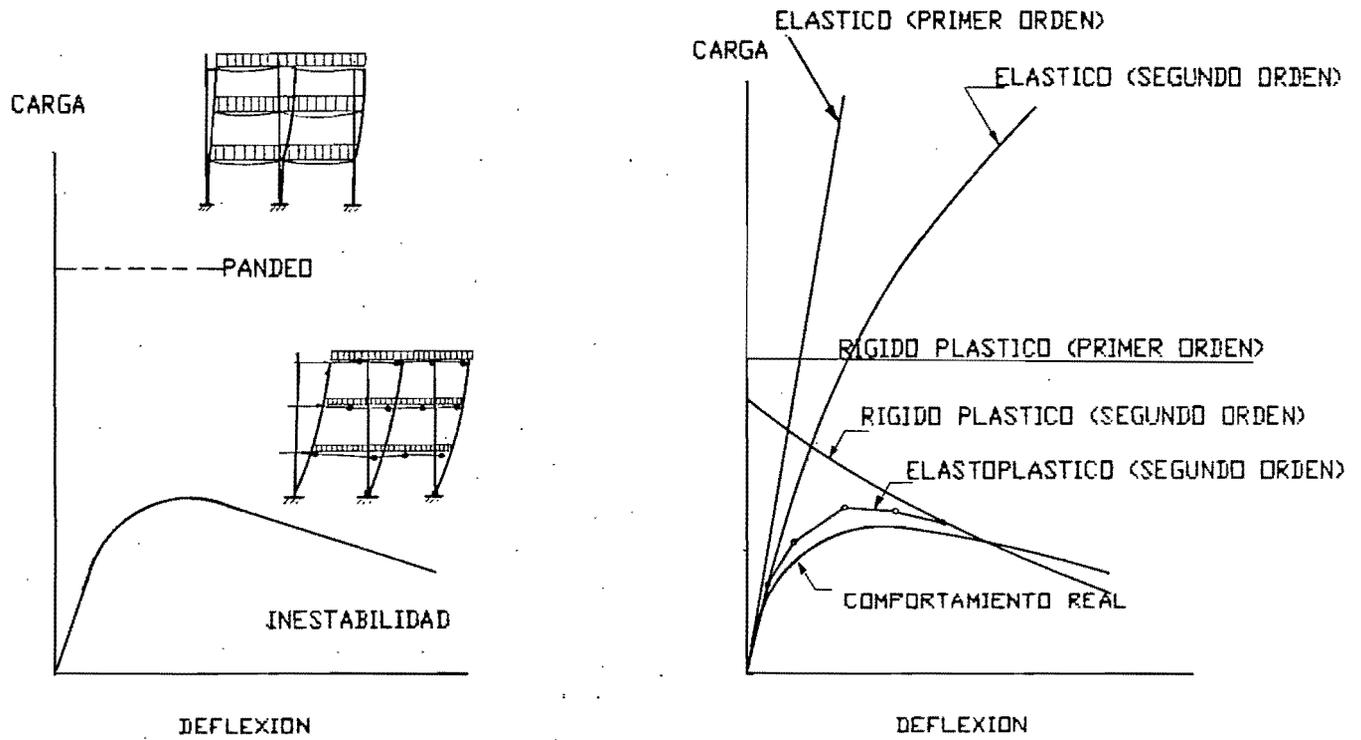
Entonces, dentro del contexto del presente trabajo es necesario citar brevemente los tipos de análisis que usualmente se utilizan para conocer en forma aproximada el comportamiento de los marcos ante cargas laterales y gravitacionales.

a)Análisis Elástico de Primer Orden.-Se asume que el material que compone el marco tiene un comportamiento elástico lineal ilimitado y el equilibrio es formulado en base a la estructura no deformada.

b)Análisis Elástico de Segundo Orden.- Se supone que el material es elástico lineal pero el equilibrio es formulado en base a la estructura deformada, es decir se toman en cuenta los efectos de segundo orden.

c)Análisis Rígido-Plástico de Primer y Segundo Orden.- Se asume que el material tiene comportamiento rígido-plástico. Se toma en cuenta la reducción de momentos plásticos en las columnas debido a la carga axial. Por el tipo de material, las deformaciones del marco son nulas hasta que se llega a un nivel de carga tal que en la estructura se presenta un mecanismo. En el de primer orden, la estructura se considera que esta en equilibrio bajo la carga crítica para cualquier magnitud de la deformación. En el de segundo orden, al aumentar la deformación disminuye el valor de la carga para conservar el equilibrio.

d)Análisis Elasto-plástico de Primer y Segundo Orden.- Se supone que el material tiene comportamiento elasto-plástico y se toma en cuenta el efecto de la carga axial en la obtención de los momentos plásticos resistentes. Debido al tipo de material se llega al colapso de la estructura mediante la formación consecutiva de articulaciones plásticas. Se considera que la estructura es elástica entre la formación de las articulaciones y se analiza con un análisis elástico de primer o de segundo orden hasta llegar al colapso.



e) Analisis Bilineal (Positivo y Negativo) de Primer y Segundo Orden.- Se supone que el material tiene comportamiento bilineal, siendo la segunda recta del diagrama esfuerzo-deformación inclinada, ya sea con una pendiente positiva (endurecimiento por deformación) ó con una pendiente negativa (degradación de rigidez por deformación). Se toma en cuenta la reducción de momentos plásticos por efecto de la carga axial. Se analiza la estructura considerándola elástica entre la formación de articulaciones plásticas, con análisis elásticos de primer o de segundo orden, hasta llegar al colapso.

C. METODOS DE ANALISIS SISMICOS Y EL ENFOQUE DINAMICO DE LOS PROGRAMAS DRAIN Y SUPER-ETABS.

Debido a la importancia que se le da en este trabajo al movimiento sísmico, es de interés mencionar brevemente las técnicas desarrolladas para conocer aproximadamente la respuesta de las estructuras a este movimiento. Además es necesario conocer cuales técnicas son posibles de aplicar mediante los programas que se utilizaron en este trabajo.

C1. METODOS.

Análisis Estático Equivalente.- Es un método aproximado que intenta simular la distribución real de fuerzas sísmicas en las estructuras. Se supone que en la base de la estructura actúa un cortante sísmico igual a la masa total por una aceleración sísmica horizontal. Este cortante se distribuye entre los elementos resistentes siguiendo reglas simples y los elementos mecánicos se obtienen mediante análisis estáticos lineales.

Análisis Dinámicos.- Plantean la solución de las ecuaciones de movimiento de las estructuras tomando en cuenta que se debe cumplir en cada instante el equilibrio y la compatibilidad de esfuerzos y deformaciones. Estos análisis son llevados a cabo por métodos matriciales utilizando computadoras. Básicamente tenemos tres tipos de análisis:

i) Integración Directa Paso a Paso.- Consiste en realizar la integración de las ecuaciones de movimiento "paso a paso", para lo cual existen varias técnicas numéricas que permiten realizar el proceso en forma matricial algebraica. Se aplica una función excitadora dependiente del tiempo (usualmente un acelerograma) y se calcula, mediante las ecuaciones de movimiento, la historia de respuesta de la estructura. Entonces se puede conocer en cada paso (intervalo de tiempo) los elementos mecánicos y deformaciones que se presentan en la estructura. Se puede tomar en cuenta el comportamiento elástico lineal o el inelástico no lineal.

ii) Análisis Modal.- Consiste en desacoplar las ecuaciones de movimiento considerando la ortogonalidad de los modos normales de vibración. Para luego integrar cada ecuación por separado mediante una técnica numérica o un método exacto y así obtener una respuesta particular. La respuesta global se obtiene por superposición de respuestas particulares (desplazamientos y fuerzas). Debido a la técnica de superposición, este tipo de análisis esta limitado a considerar únicamente comportamiento elástico lineal. Como en el análisis de integración directa, se aplica a la estructura una función excitadora dependiente del tiempo.

iii) Análisis Modal Espectral.- Consiste en determinar los modos normales de vibración y sus correspondientes períodos para correlacionarlos con un valor especificado en un espectro de respuesta y así obtener las respuestas máximas. Estas respuestas posteriormente se superponen siguiendo alguna regla probabilista. Este tipo de análisis está limitado a considerar comportamiento elástico lineal.

C2. PROGRAMAS.

i) Super-Etabs.- Este programa nos ofrece, además de resolver análisis estáticos, dos opciones de análisis dinámicos: análisis modal y análisis modal espectral. Tiene la limitante principal que considera que el comportamiento de la estructura es elástica lineal, es decir que considera válido el principio de superposición de causas y efectos. Tiene el atractivo de considerar sistemas tridimensionales y una aproximación a los efectos de segundo orden. El programa calcula períodos, frecuencias y modos de vibración de la estructura para posteriormente realizar alguno de los análisis dinámicos indicados, por lo que es necesario proporcionar un espectro de respuesta (de pseudo-aceleración) ó un acelerograma.

ii) Drain.- Este programa tiene la ventaja que considera el comportamiento inelástico de las estructuras. Permite realizar análisis dinámicos mediante la técnica de integración directa "paso a paso", considerándose a la aceleración constante durante cada paso, se utiliza la rigidez tangente (rigidez que se modifica al final de cada paso, tomándose en cuenta los efectos inelásticos y el estado de deformación del marco) y se asume comportamiento lineal durante cada intervalo. Además permite representar aproximadamente los efectos de segundo orden. Se debe proporcionar un acelerograma, éste puede ser modificado por el programa tanto en magnitud como en frecuencia para lograr características adecuadas al estudio que se requiera. Su limitante principal es que sólo permite analizar sistemas planos.

D. PROCEDIMIENTO PARA OBTENER EL DIAGRAMA DE INESTABILIDAD.

El interés por obtener el diagrama de inestabilidad y las gráficas carga-desplazamiento de un marco, en función del movimiento sísmico, radica en que se considera que el conocer dicho diagrama y el comportamiento del marco dentro de él proporciona criterios que podrían conducir a realizar diseños adecuados para resistir acciones sísmicas

El diagrama de inestabilidad es un diagrama de interacción bidimensional cuyos puntos representan la frontera del entorno de estabilidad, donde el eje de las abscisas corresponde a los factores de carga horizontales (F.C.H.) de inestabilidad o " λH " y el eje de las ordenadas corresponde a los factores de carga verticales (F.C.V.) o " λV ".

Para obtener cada punto (λH_L , λV) del diagrama de inestabilidad se debe obtener previamente las gráficas de λH en función de la aceleración pico y de los desplazamientos significativos máximos asociados a esa aceleración.

Definimos al FCH como $\lambda H = V_{MB} / V_{DB}$

Donde V_{DB} es el cortante absoluto de diseño que actúa en la base del marco y que se obtiene al realizar un diseño antisísmico siguiendo algún reglamento adecuado.

Y V_{MB} es el cortante absoluto máximo en la base que se presentó en un instante "t" durante la aplicación del acelerograma factorizado al marco.

Se observa entonces, que λH es función directa de la aceleración pico (máxima) del acelerograma y de las características del marco en estudio.

Definimos al FCV o λV como un factor de carga por el cual se multiplica la carga vertical total de diseño del marco en estudio, a esta carga la llamamos "carga básica" o W_B .

Definimos a λH_L al valor de λH que corresponde al límite del entorno de estabilidad.

D.1. Método para Obtener el Diagrama de Inestabilidad.

Para tratar de obtener el diagrama y las gráficas carga-desplazamiento que representen lo mejor posible el comportamiento de un marco en estudio, es necesario tomar en cuenta factores muy importantes como son el comportamiento inelástico del marco; los efectos de segundo orden; la formación de articulaciones plásticas; la modificación sucesiva de la rigidez por los efectos inelásticos, por el estado de deformación del marco, por las articulaciones plásticas y por el nivel de esfuerzos locales; y finalmente se debe revisar para cada incremento de cargas tanto laterales como verticales, los efectos locales, es decir si no se presenta algún fenómeno de pandeo en los elementos que componen

al marco, o si las rotaciones son todavía pequeñas y pueden ser resistidas por los nudos o si los elementos resisten todavía las fuerzas que actúan en ellos, principalmente la fuerza cortante, o si no se presenta algún fenómeno particular al tipo de marco que se estudie.

Procedimiento:

- 1.- Se define la función generadora del movimiento dinámico, en el caso del movimiento sísmico un acelerograma es muy adecuado.
- 2.- Se obtienen los datos generales del marco en estudio:
 - Geometría y propiedades de las secciones.
 - Cargas gravitacionales de trabajo (carga básica).
 - Cortante máximo de trabajo en la base (V_{DB}).
 - Modelo matemático del material que compone el marco.
- 3.- Se obtienen períodos, frecuencias y modos de vibración del marco en función del FCV. Debido a que al modificarse el valor de la carga básica por algún valor del FCV se considera que cambia el peso del marco y por lo tanto la masa, modificándose también el período.
- 4.- Se calculan los parámetros α y β necesarios para formar la matriz de amortiguamiento, a partir de los períodos obtenidos antes, en función del FCV.
- 5.- Se obtienen las gráficas λH vs desplazamiento significativo, que son del tipo carga-desplazamiento y se obtienen de la siguiente manera:
 - Se fija un valor constante de λV , puesto que cada gráfica corresponde a un único valor de λV .
 - Se multiplican las cargas y las masas por λV . (Las propiedades geométricas y mecánicas no se alteran, es decir, la rigidez global inicial no se modifica).
 - Se fijan los valores de α y β adecuados al λV .
 - Se propone un valor adecuado de Δt . (Debido a que es ineludible utilizar un procedimiento "paso a paso", es muy importante fijar un Δt que permita obtener resultados confiables).
 - Se va incrementando gradualmente los valores del acelerograma y consecuentemente el valor pico y se somete al marco al efecto del acelerograma, obteniéndose los desplazamientos significativos máximos y los cortantes máximos (V_{MB}) que se presentaron durante la aplicación del acelerograma y finalmente se grafican los desplazamientos, el valor de λH (calculado a partir del cortante máximo) y la aceleración pico que motivó dichos resultados. Este proceso se realiza hasta que el marco llega al colapso o abandona por completo algún entorno de estabilidad prefijado.

Esta parte presenta la dificultad de que se debe analizar con cuidado el cuantioso volúmen de resultados, es decir, revisar desplazamientos, rotaciones, formación de articulaciones plásticas, nivel de fluencia de las mismas, nivel de daño estructural y elementos mecánicos, además de los efectos locales, para definir si el marco ya abandonó algún entorno de estabilidad o si se presenta colapso total o parcial, o si todavía puede resistir un nuevo incremento del valor pico del acelerograma. De

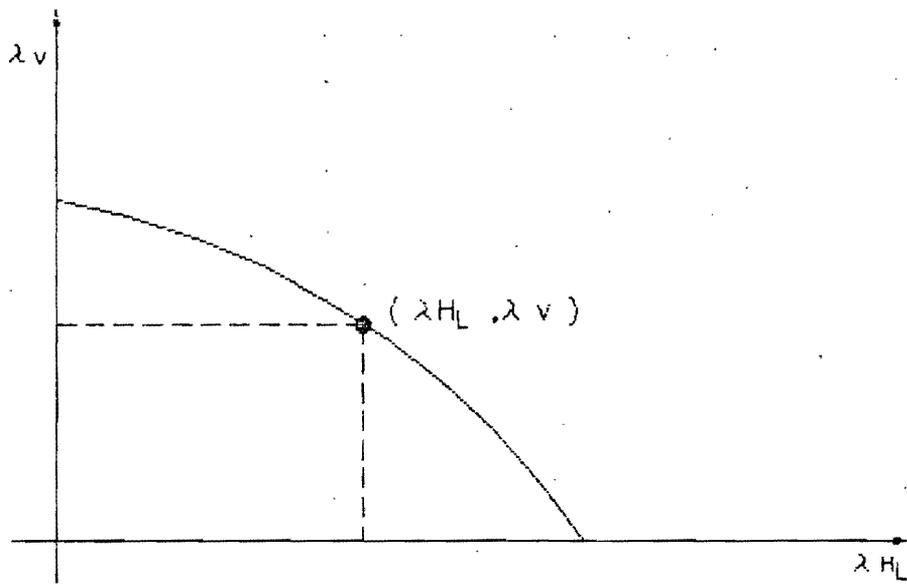
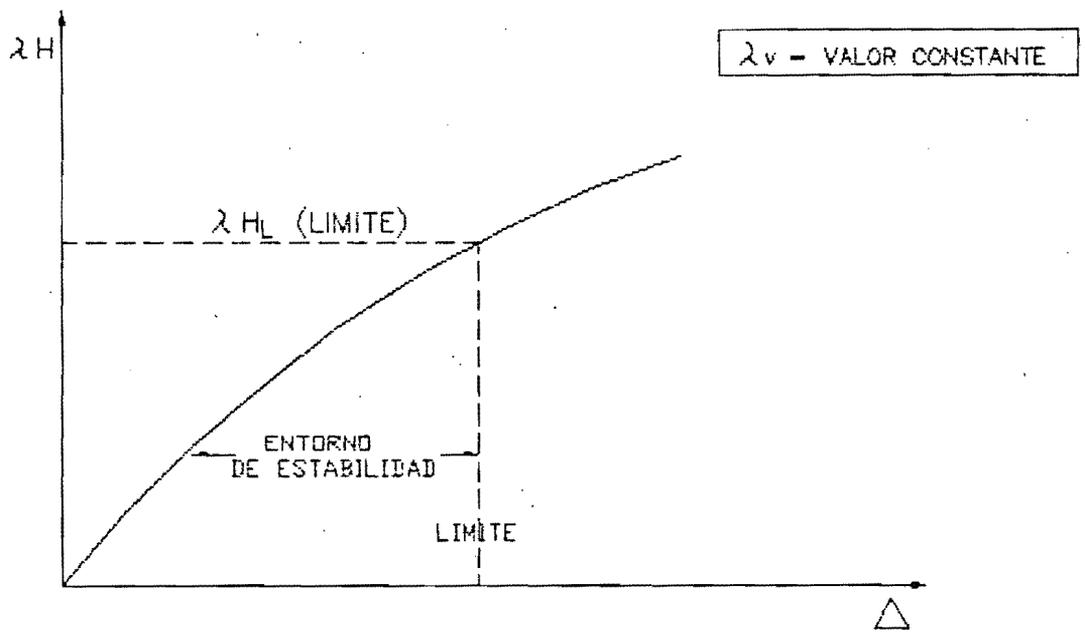


DIAGRAMA DE INESTABILIDAD



($\lambda H = f$: ACELERACION PICO) vs. (DESPLAZAMIENTO SIGNIFICATIVO)

esta revisión de la información se decide que parte de la respuesta es la que interesa graficar, es decir, la que conduce a obtener el λH mínimo.

6.- Se obtiene de cada gráfica λH vs desplazamiento significativo el valor de λH_c que junto con el λV que corresponde a la gráfica en cuestión se localiza en el diagrama de inestabilidad.

Cabe mencionar que el diagrama de inestabilidad que se obtiene corresponde únicamente al acelerograma o a la función generadora del movimiento dinámico, que se define al principio del estudio.

D.2. Límites del Entorno de Estabilidad.

Para fijar los límites del entorno de estabilidad recurrimos en primera instancia a los conceptos de "estados límites" y a su formulación numérica que obtenemos de algún reglamento adecuado, en este trabajo se utilizaron los límites que fija el Reglamento de Construcciones del Distrito Federal, es decir:

-Desplazamientos laterales máximos:

$$\text{RDDF-76.- } 0.016 \Delta H$$

$$\text{RDDF-87.- } 0.012 \Delta H$$

-Desplazamientos verticales máximos:

$$L/240 + 0.5 \text{ cm}$$

Evidentemente en algunos casos no se llegó a considerar estos límites debido a que se alcanzaba el colapso para deformaciones menores que las fijadas por esos límites.

D.3. Factor de Seguridad.

A partir de conocer el diagrama de inestabilidad, podemos definir el "factor de seguridad global sísmico" (FSGS) que lo definimos como:

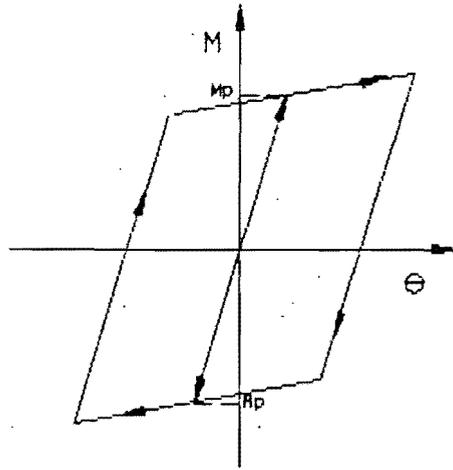
$$\text{FSGS} = \lambda H_c (\text{limite}) \quad \text{Para } \lambda V = 1.0 \text{ (Carga básica).}$$

Este factor nos permite cuantificar la posibilidad que tiene el marco de abandonar el entorno de estabilidad y observando las gráficas carga-desplazamiento podemos suponer la forma en que abandonaría dicho entorno.

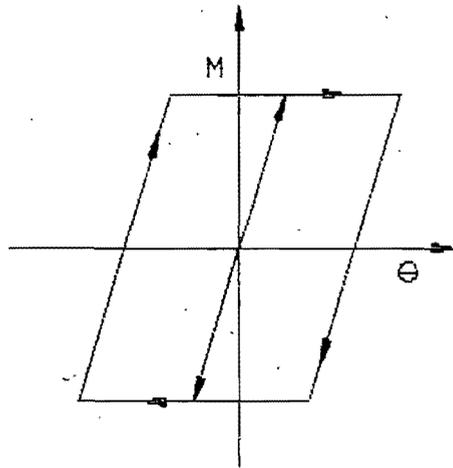
D.4. Modelos Matemáticos del Material.

Debido a que en este trabajo se considera el comportamiento inelástico del material que compone a los marcos, en la siguiente página se presentan los tres modelos utilizados. La pendiente tanto positiva como negativa que se observa es del 5% de la pendiente de la recta inicial elástica.

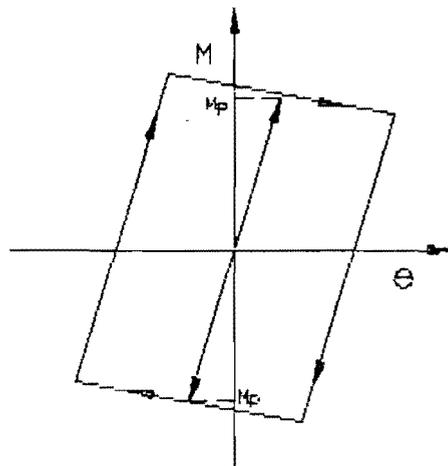
MODELO BILINEAL (+)



MODELO ELASTO-PLASTICO



MODELO BILINEAL (-)



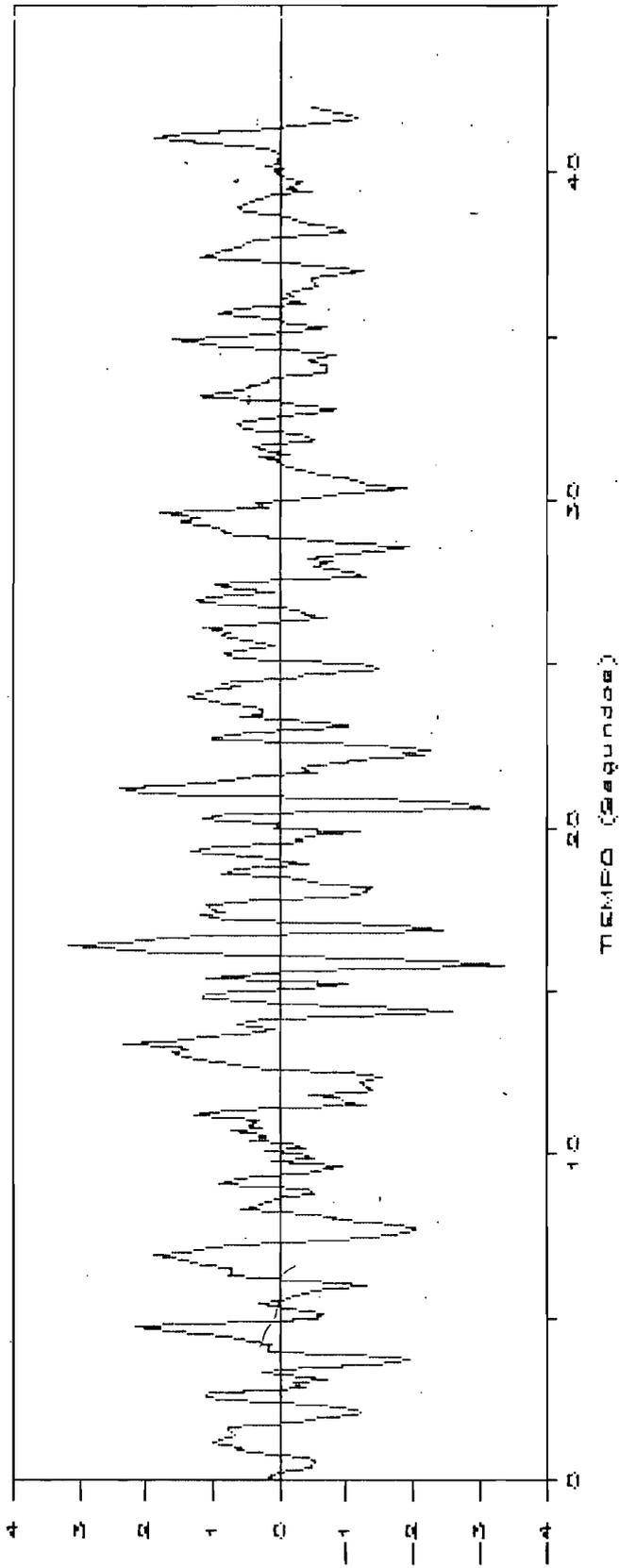
E. DESCRIPCION DEL ACELEROGRAMA.

El acelerograma utilizado en este trabajo (A-TRAB) es obtenido a partir de una reducción práctica del volumen de información del acelerograma correspondiente al Registro CUIP 850919AT.T (Componente N90W). Dicho registro fue obtenido por el Acelerógrafo DCA310-154 localizado en el Patio del Instituto de Ingeniería, donde el tipo de suelo es rocoso. Este acelerograma fue originado por el sismo de magnitud 8.1 (Ms) del 19 de septiembre de 1985, cuyo epicentro estuvo localizado frente a las costas de Michoacán y Guerrero.

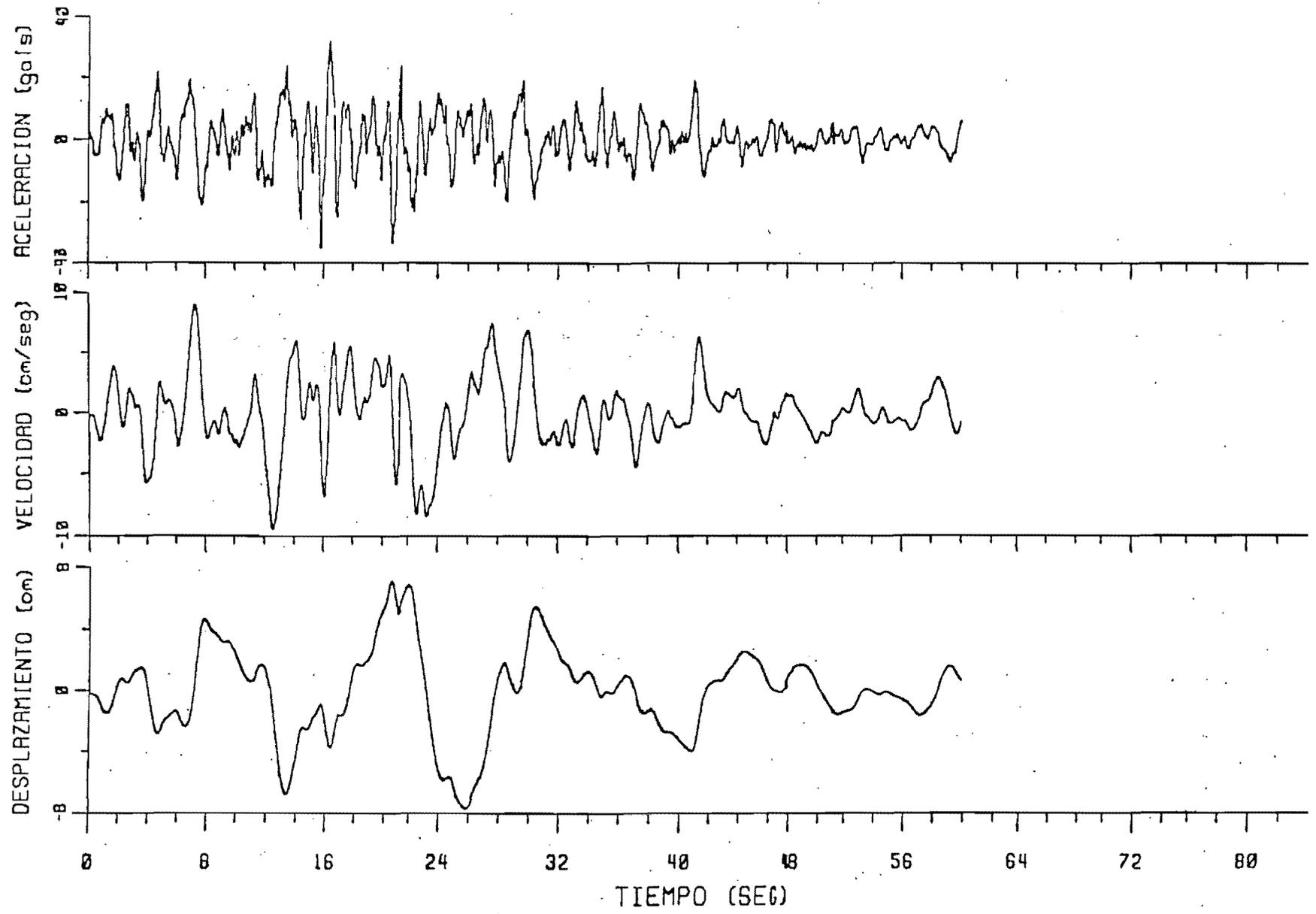
El acelerograma CUIP consta de 3000 datos de tiempo-aceleración registrados cada 0.02 segundos, con lo cual tiene una duración total de 59 segundos. La aceleración pico (máxima) es de $-0.03465g$ en un instante $t=15.82$ seg. La aceleración absoluta espectral máxima para 2% de amortiguamiento del crítico es de $0.172g$ para un período $T=0.95$ seg.

Para efectos de facilidad en el manejo de la información el acelerograma A-TRAB consta de 421 datos tiempo-aceleración, registrados cada 0.10 seg, con una duración total de 42 seg. La aceleración pico es de $-0.03356g$ en un instante $t=15.80$ seg. Se consideró adecuado utilizar sólo 42 segundos del acelerograma original debido a que los valores de aceleración, después de ese tiempo, son relativamente bajos en comparación a los registrados antes de los 42 seg y además a que los valores máximos se encuentran alrededor de los 16 seg, siendo básicamente esos los que ocasionaron las mayores acciones (deformaciones y esfuerzos) en los marcos estudiados. También se consideró adecuado discretizar el acelerograma a cada 0.10 seg, observándose que en ese intervalo de tiempo generalmente no existen cambios significativos ni en magnitud ni en sentido en los valores del acelerograma original. Para efectos de comparación se presentan las gráficas de los acelerogramas CUIP y A-TRAB, así mismo se presentan los datos numéricos del acelerograma A-TRAB.

Acelerograma A-TRAB

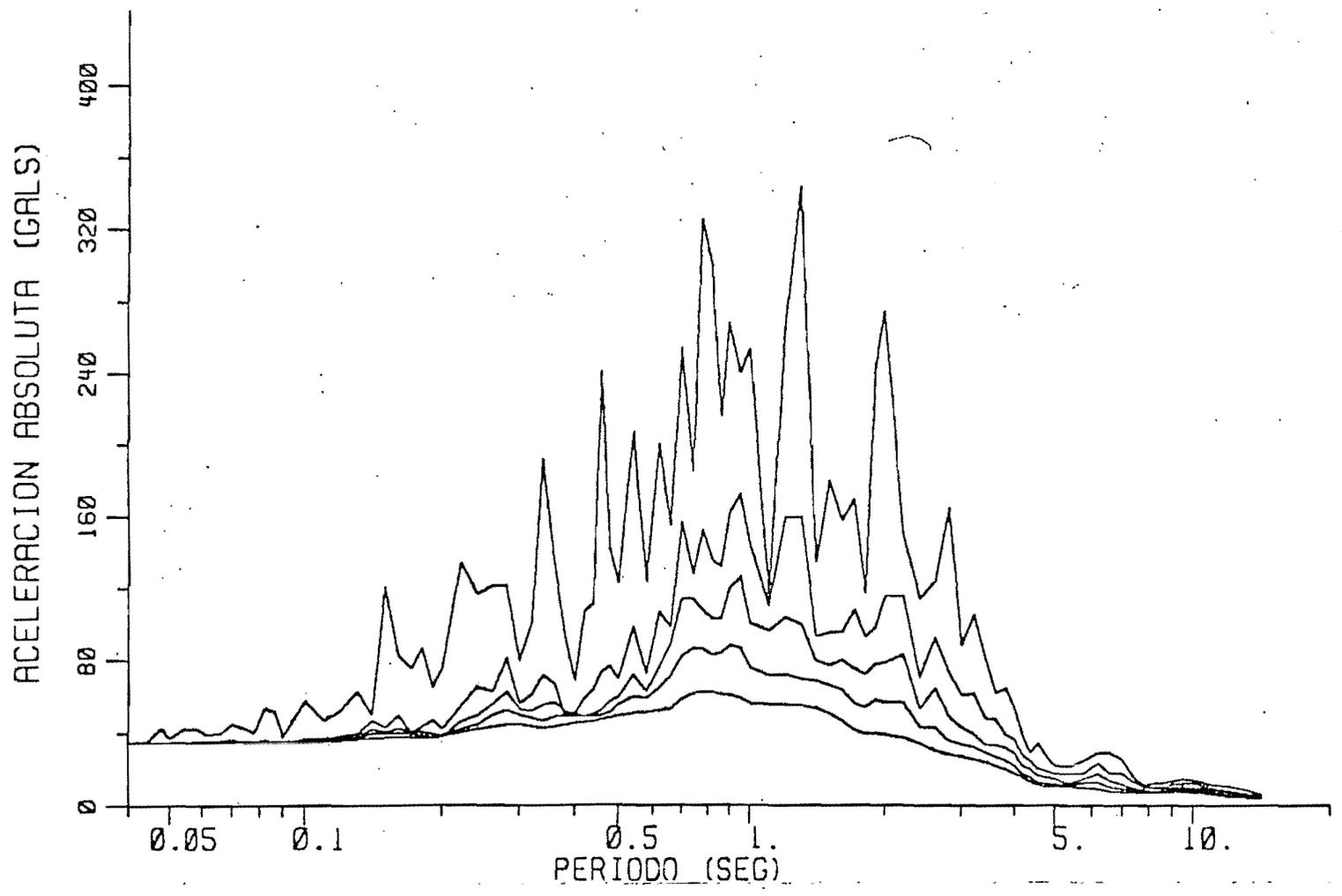


SISMO		GRO-MICH		REGISTRO		CUIP850919AT.T		CORRECCION				
DATOS		IDEI		ESTA		CUIP		METODO	CALTECH.			
FECHA		850919		INST		01-154		FILTRO	0.070	0.100	23.0	25.0
HORA		13:19:45		COMP		N90W		ΔT	0.020			
EPIC	17.680	102.470		HORA		13:19:44		MAX ACEL	31.76	-34.65		
M		8.1		OUR		59.97		MAX VEL	9.00	-9.37		
H		33		DIST		400		MAX DESP	7.13	-7.71		



SISMO		GRO-MICH		REGISTRO		CUIP850919AT.T		CORRECCION				
DATOS		IDEI		ESTA		CUIP		METODO	CALTECH.			
FECHA		850919		INST		01-154		FILTRO	0.070	0.100	23.0	25.0
HORA		13:19:45		COMP		N90W		ΔT	0.020			
EPIC	17.680	102.470		HORA		13:19:44		MAX ACEL	31.76.	-34.65		
M		8.1		OUR		59.97		MAX VEL	9.00.	-9.37		
H		33		DIST		400		MAX DESP	7.13.	-7.71		

ESPECTRO DE RESPUESTA AMORT (%) 0.2.5.10.20



NO. OF X INPUT PAIRS = 421

NO. OF Y INPUT PAIRS = 0

PRINT CODES

ACCELERATIONS AS INPUT = 1

INTERPOLATED ACCELERATIONS = 0

GROUND ACCELERATIONS IN X DIRECTION, AS INPUT

TIME	ACCEL								
.000	.0000	.100	.1769	.200	.0297	.300	-.1961	.400	-.4918
.500	-.5150	.600	-.5139	.700	-.4124	.800	.0975	.900	.6436
1.000	.5813	1.100	.7987	1.200	.9786	1.300	.7493	1.400	.6850
1.500	.7197	1.600	.7871	1.700	.3359	1.800	-.2949	1.900	-.6151
2.000	-1.1450	2.100	-1.2220	2.200	-1.1450	2.300	-.5680	2.400	.1007
2.500	.8412	2.600	1.0990	2.700	1.0320	2.800	.1183	2.900	-.3610
3.000	-.1945	3.100	-.6784	3.200	-.3806	3.300	.2477	3.400	-.0361
3.500	-.4094	3.600	-1.3690	3.700	-1.9500	3.800	-1.7030	3.900	-.9321
4.000	.1563	4.100	.1599	4.200	.1120	4.300	.4577	4.400	.7656
4.500	1.1920	4.600	1.6240	4.700	2.1690	4.800	1.3820	4.900	.2164
5.000	-.5106	5.100	-.6357	5.200	-.4601	5.300	-.1202	5.400	.3200
5.500	-.0133	5.600	-.0941	5.700	-.2316	5.800	-.5113	5.900	-.7683
6.000	-1.3160	6.100	-.9141	6.200	.2831	6.300	.7682	6.400	.7338
6.500	.7124	6.600	1.1350	6.700	1.2430	6.800	1.6430	6.900	1.8600
7.000	1.3780	7.100	1.2200	7.200	.7342	7.300	-.0844	7.400	-.6986
7.500	-1.3530	7.600	-1.8770	7.700	-2.0220	7.800	-2.0290	7.900	-1.3840
8.000	-.7900	8.100	-.8357	8.200	-.0071	8.300	.6118	8.400	.3956
8.500	.3167	8.600	.0521	8.700	-.0654	8.800	-.5097	8.900	-.4405
9.000	.2488	9.100	.8880	9.200	.6337	9.300	.3177	9.400	-.3088
9.500	-.4923	9.600	-.9217	9.700	-.4410	9.800	.1136	9.900	-.5137
10.000	-.2774	10.100	.2052	10.200	-.3770	10.300	-.1928	10.400	.4454
10.500	.2204	10.600	.2133	10.700	.7168	10.800	.2460	10.900	.4703
11.000	.2984	11.100	.7156	11.200	1.2890	11.300	1.2070	11.400	.0120
11.500	-1.3040	11.600	-.9816	11.700	-.8682	11.800	-.4282	11.900	-1.2250
12.000	-1.3980	12.100	-1.2690	12.200	-1.2230	12.300	-1.2770	12.400	-1.5040
12.500	-1.0070	12.600	.1132	12.700	.4623	12.800	.9109	12.900	1.1700
13.000	1.4180	13.100	1.5810	13.200	1.3740	13.300	1.5070	13.400	2.3260
13.500	1.2670	13.600	1.2290	13.700	.5396	13.800	.0844	13.900	.3892
14.000	.6211	14.100	.2288	14.200	-1.0360	14.300	-1.7380	14.400	-2.5750
14.500	-1.2560	14.600	.0410	14.700	.3280	14.800	1.1440	14.900	1.0780
15.000	.4984	15.100	-.3726	15.200	-1.0360	15.300	-.1148	15.400	1.0860
15.500	.2243	15.600	-.2014	15.700	-1.4850	15.800	-3.3560	15.900	-2.5160
16.000	-1.2660	16.100	-.0823	16.200	1.7540	16.300	2.7080	16.400	3.1480
16.500	2.3260	16.600	1.6760	16.700	1.0170	16.800	-1.2650	16.900	-2.4630
17.000	-1.7920	17.100	-.6650	17.200	.7816	17.300	1.1770	17.400	.8304
17.500	1.0180	17.600	1.0840	17.700	.6575	17.800	.3328	17.900	-.9692
18.000	-1.3220	18.100	-1.3160	18.200	-1.3850	18.300	-.7035	18.400	-.3283
18.500	-.0490	18.600	.8440	18.700	.6182	18.800	.2231	18.900	-.4151
19.000	.1650	19.100	.3255	19.200	.9909	19.300	1.3160	19.400	.9596
19.500	-.0646	19.600	-.3232	19.700	-.2436	19.800	-.6350	19.900	-1.2150
20.000	.0739	20.100	-.0217	20.200	.7979	20.300	1.1420	20.400	.7273

20.500	-1.1650	20.600	-3.1270	20.700	-2.9390	20.800	-2.4430	20.900	-1.1730
21.000	1.0030	21.100	2.0800	21.200	2.3700	21.300	1.7030	21.400	1.0820
21.500	.5085	21.600	.3355	21.700	-.4938	21.800	-.3291	21.900	-.4155
22.000	-1.0300	22.100	-1.0410	22.200	-2.1740	22.300	-1.8560	22.400	-2.2720
22.500	-1.4570	22.600	-.5121	22.700	.9913	22.800	1.0150	22.900	.4575
23.000	-.2782	23.100	-1.0110	23.200	-1.0330	23.300	-.1064	23.400	.5938
23.500	.2539	23.600	.2611	23.700	.3632	23.800	.7583	23.900	1.2060
24.000	1.3630	24.100	1.1350	24.200	1.1050	24.300	.6129	24.400	.8793
24.500	.6720	24.600	-.1802	24.700	-.4081	24.800	-1.2810	24.900	-1.4680
25.000	-1.1890	25.100	-.0566	25.200	.6871	25.300	.8019	25.400	.6411
25.500	.3638	25.600	.0690	25.700	.4327	25.800	.7080	25.900	.8519
26.000	.7473	26.100	1.1550	26.200	.5493	26.300	-.2144	26.400	-.6968
26.500	-.4007	26.600	-.3922	26.700	-.0580	26.800	.6803	26.900	1.1240
27.000	1.2340	27.100	.7078	27.200	.1021	27.300	.6059	27.400	.9420
27.500	.5735	27.600	-.2527	27.700	-1.2800	27.800	-1.0780	27.900	-.7280
28.000	-.5107	28.100	-.7868	28.200	-.4371	28.300	-.6204	28.400	-1.0230
28.500	-1.7740	28.600	-1.9450	28.700	-1.0110	28.800	-.1790	28.900	.5935
29.000	.7998	29.100	.8225	29.200	1.0960	29.300	1.4800	29.400	1.4620
29.500	1.2020	29.600	1.8080	29.700	1.1550	29.800	.1529	29.900	.3610
30.000	-.0868	30.100	-.5095	30.200	-.9927	30.300	-1.5290	30.400	-1.8790
30.500	-1.2900	30.600	-1.1680	30.700	-.9098	30.800	-.6148	30.900	-.3143
31.000	-.1683	31.100	-.0172	31.200	.0563	31.300	.2913	31.400	-.1361
31.500	.1096	31.600	.4230	31.700	.2338	31.800	-.4085	31.900	-.5045
32.000	-.3195	32.100	.1844	32.200	.5331	32.300	.6548	32.400	.5604
32.500	.1813	32.600	-.3382	32.700	-.8023	32.800	-.8351	32.900	-.3359
33.000	.0483	33.100	1.1300	33.200	1.1860	33.300	.7959	33.400	.4493
33.500	.4546	33.600	.1522	33.700	.1477	33.800	-.2373	33.900	-.6863
34.000	-.6816	34.100	-.6838	34.200	-.5109	34.300	-.4126	34.400	-.8311
34.500	-.5535	34.600	-.0466	34.700	.7950	34.800	1.3470	34.900	1.5890
35.000	.6996	35.100	-.1697	35.200	-.5760	35.300	-.7030	35.400	-.1503
35.500	.1000	35.600	.4408	35.700	.9281	35.800	.6231	35.900	.2366
36.000	-.3688	36.100	-.0768	36.200	-.1968	36.300	-.0946	36.400	-.2001
36.500	-.5430	36.600	-.5027	36.700	-.4823	36.800	-.4913	36.900	-.9888
37.000	-1.2590	37.100	-.8340	37.200	-.1288	37.300	.7027	37.400	1.1720
37.500	.8894	37.600	.8567	37.700	.5689	37.800	.5550	37.900	.4195
38.000	-.0672	38.100	-.4396	38.200	-.9595	38.300	-.8235	38.400	-.4929
38.500	-.2759	38.600	-.1659	38.700	.0996	38.800	.5197	38.900	.6367
39.000	.4939	39.100	.4309	39.200	.3095	39.300	.1085	39.400	-.4711
39.500	-.0876	39.600	-.2470	39.700	-.3482	39.800	-.1189	39.900	-.0475
40.000	.0636	40.100	-.0455	40.200	.2053	40.300	.0258	40.400	.0603
40.500	-.0265	40.600	-.0207	40.700	.1908	40.800	.5241	40.900	1.0980
41.000	1.8900	41.100	1.6580	41.200	1.3680	41.300	.4878	41.400	-.2440
41.500	-.5193	41.600	-1.0400	41.700	-1.1790	41.800	-.9024	41.900	-.6807
42.000	-.4483								

Nota: Para obtener valores de aceleración, debe multiplicarse estos datos por $(10 \exp - 2)g$.

F. MARCOS ANALIZADOS.

En esta sección se presenta la aplicación de las ideas mencionadas en secciones anteriores a dos marcos, el marco "De Buen" y el marco "Vallance 2".

Se decidió analizar estos marcos debido a que en una tesis doctoral de hace algunos años se obtuvo sus diagramas de inestabilidad, pero sin tomar en cuenta el efecto dinámico, puesto que se tomó en cuenta incrementos estáticos de factores de carga laterales y verticales. Entonces, además de aplicar las ideas que se manejan en este trabajo, se pretende hacer una comparación entre el diagrama de inestabilidad "estático" y el "dinámico". Dicha tesis se cita en la sección de referencias.

F.1 Descripción de los Marcos.

F.1.1. Marco De Buen.

Este marco fue propuesto por el Ing. De Buen al autor de la tesis doctoral que se menciona y por ello lleva su nombre. Es un marco de una cruzía y tres niveles diseñado siguiendo reglamentaciones sísmicas. Tiene cargas uniformemente distribuidas en vigas, cargas concentradas en los nudos de unión viga-columna debidas a vigas perpendiculares al marco, y momentos concentrados en esos nudos debido a voladizos laterales.

Propiedades: $E = 2040 \text{ T/cm}^2$; $f_y = 2.53 \text{ T/cm}^2$

Trabes: 5 y 6 : $A = 285.5 \text{ cm}^2$
 $I = 259100 \text{ cm}^4$
 $M_p = 18843 \text{ T}\cdot\text{cm}$

1,2,3 y 4 : $A = 271 \text{ cm}^2$
 $I = 322000 \text{ cm}^4$
 $M_p = 23056 \text{ T}\cdot\text{cm}$

Columnas: 3 y 6 : $A = 290.3 \text{ cm}^2$
 $I = 154600 \text{ cm}^4$
 $M_p = 14026 \text{ T}\cdot\text{cm}$

1,2,4 y 5 : $A = 348.4 \text{ cm}^2$
 $I = 186700 \text{ cm}^4$
 $M_p = 16774 \text{ T}\cdot\text{cm}$

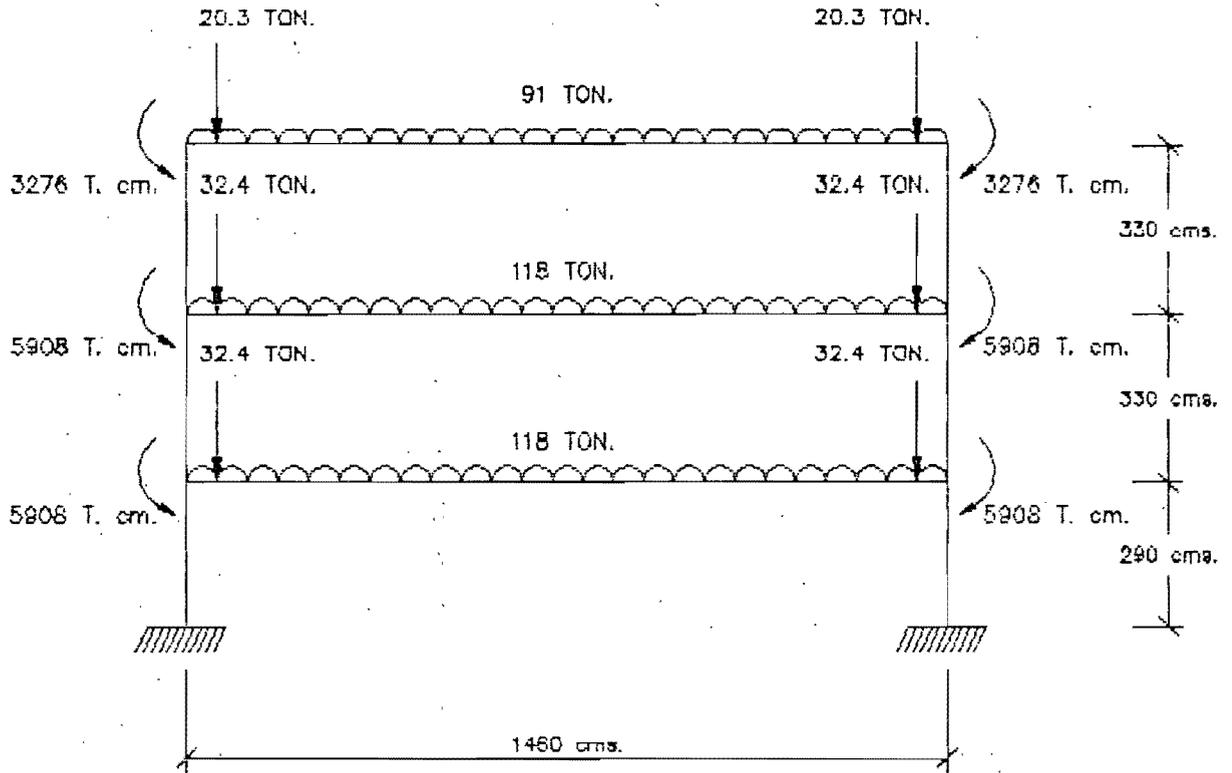
En la siguiente página se presenta la geometría y las cargas de trabajo, es decir, la carga básica que corresponde al $\lambda V = 1.0$

F.1.2. Marco Vallance.

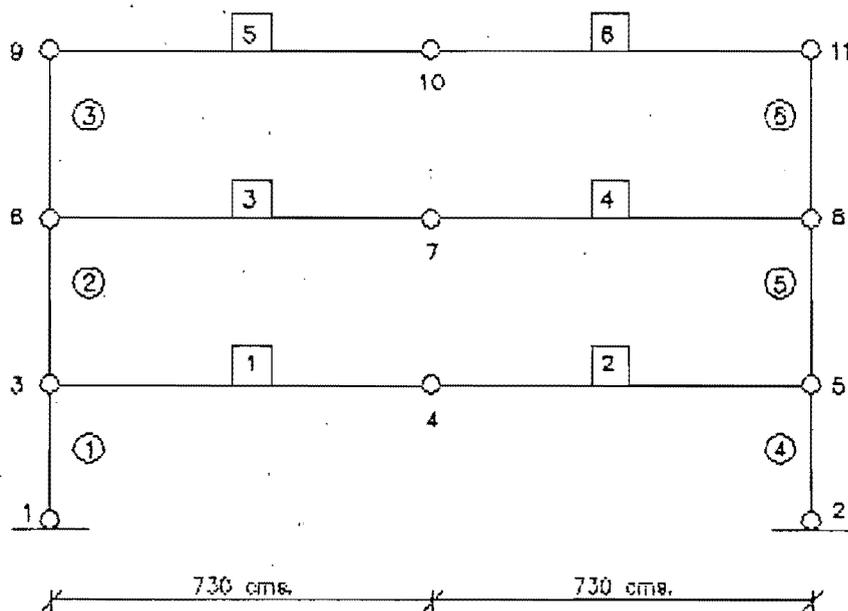
El marco "Vallance 2" es un marco propuesto por el Ing. Vallance para estudiarlo con un programa creado por él. En este trabajo se denomina simplemente marco "Vallance". Es un marco de dos cruzías y cinco niveles diseñado siguiendo reglamentaciones eólicas. Tiene cargas uniformemente distribuidas en vigas y cargas

MARCO DE BUEN

CARGAS DE TRABAJO



NUMERACION DE NUDOS, TRABES Y COLUMNAS



concentradas en los nudos de unión viga-columna debidas a vigas perpendiculares al marco.

Propiedades: $E = 15000 \text{ T/in}^2$; $f_y = 17.92 \text{ T/in}^2$

Trabes:	A (in ²)	I (in ⁴)	Mp (T·in)
17,18,19 y 20	10.59	446.3	1143.3
13,14,15 y 16	13.22	685.2	1573.38
9,10,11 y 12	14.71	800.6	1808.13
5,6,7 y 8	18.23	1326.8	2582.27
1,2,3 y 4	20.02	1478.0	2860.03
Columnas:	A (in ²)	I (in ⁴)	Mp (T·in)
5 y 15	11.76	146.3	713.22
10	5.93	41.9	270.59
3,4,8,13 y 14	21.17	420.7	1623.55
9	14.11	183.7	878.08
1,2,7,11 y 12	32.92	718.7	2643.20
6	47.38	1541.9	4643.08

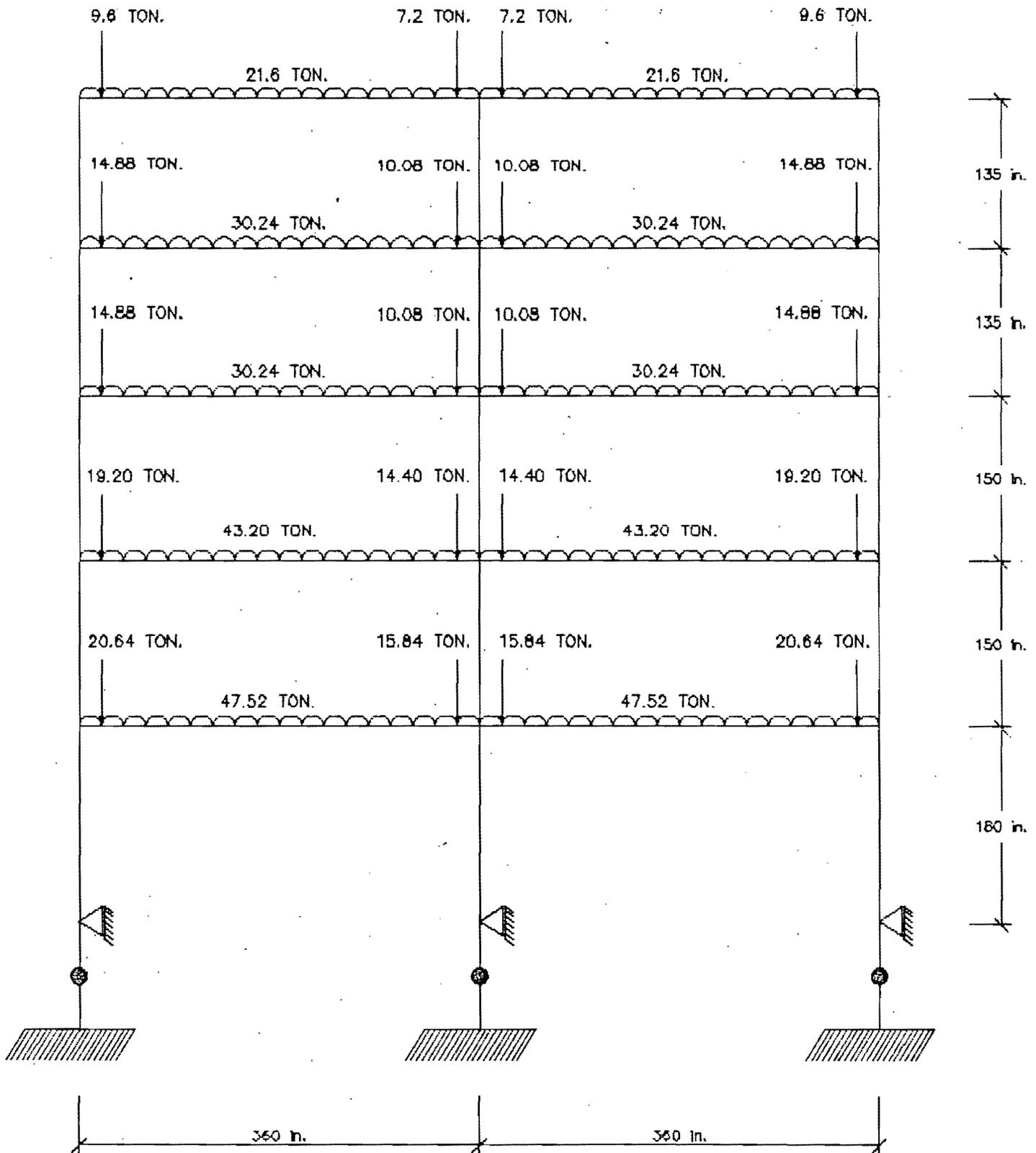
Además este marco presenta la característica que sus apoyos no están empotrados, sino que los nudos de apoyo no pueden desplazarse pero poseen una rigidez angular de 10 veces la rigidez de la columna inmediata a ellos. Con esto se intenta representar la influencia de la cimentación en la rigidez global de la estructura.

Cabe destacarse que este marco fue diseñado "por viento" y no "por sismo", por lo que podría parecer raro que se obtuviera su diagrama de inestabilidad "dinámico", pero se trató de investigar en que manera afectan los movimientos sísmicos de alta intensidad en marcos no diseñados para resistir ese tipo de movimientos. Debe mencionarse además, que se considera adecuado que las acciones ocasionadas por el viento corresponden más al fenómeno dinámico que al estático.

En las siguientes páginas se presenta la geometría y las cargas de trabajo.

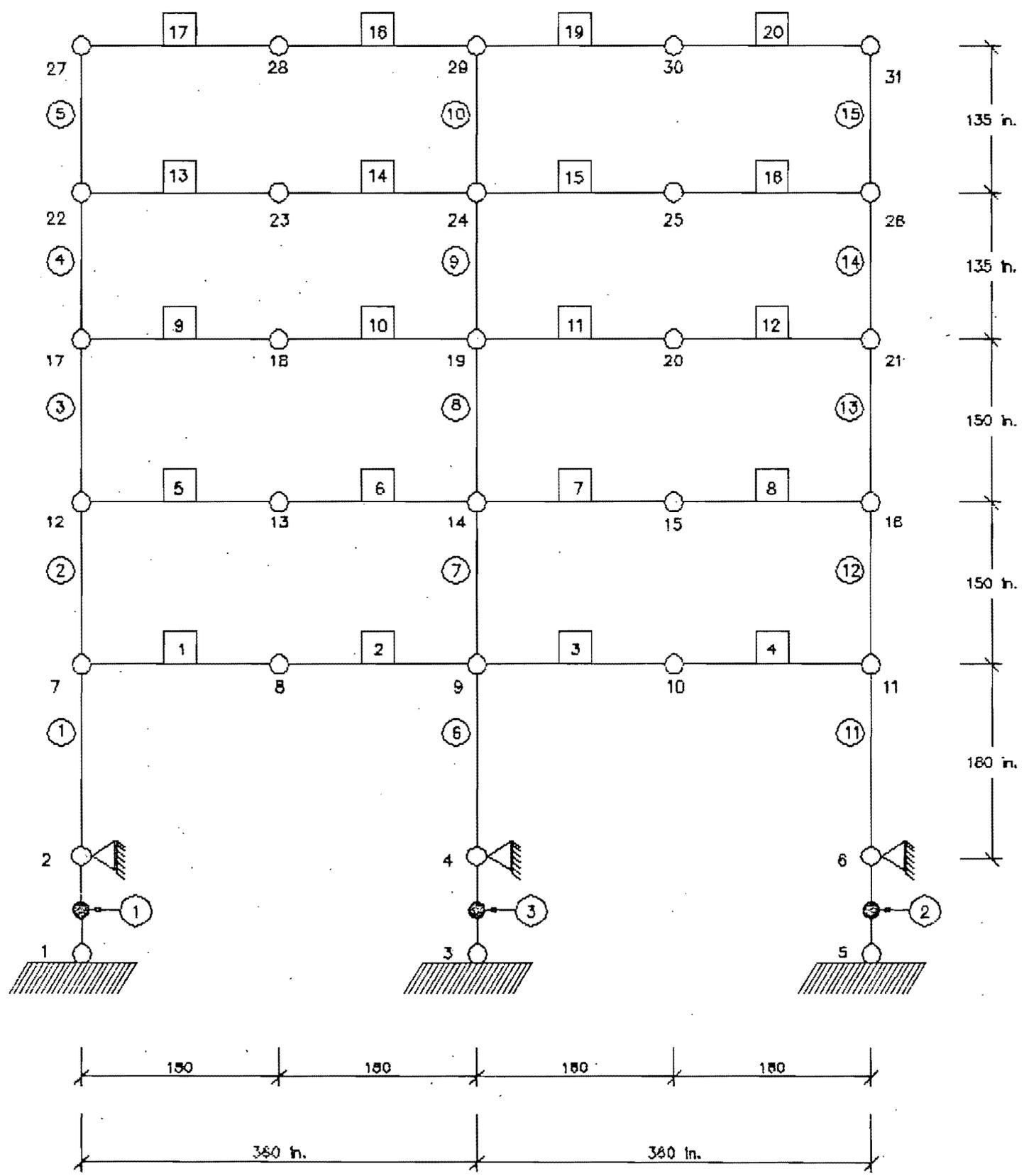
MARCO VALLANCE

CARGAS DE TRABAJO



MARCO VALLANCE

NUMERACION DE NUDOS, TRABES Y COLUMNAS



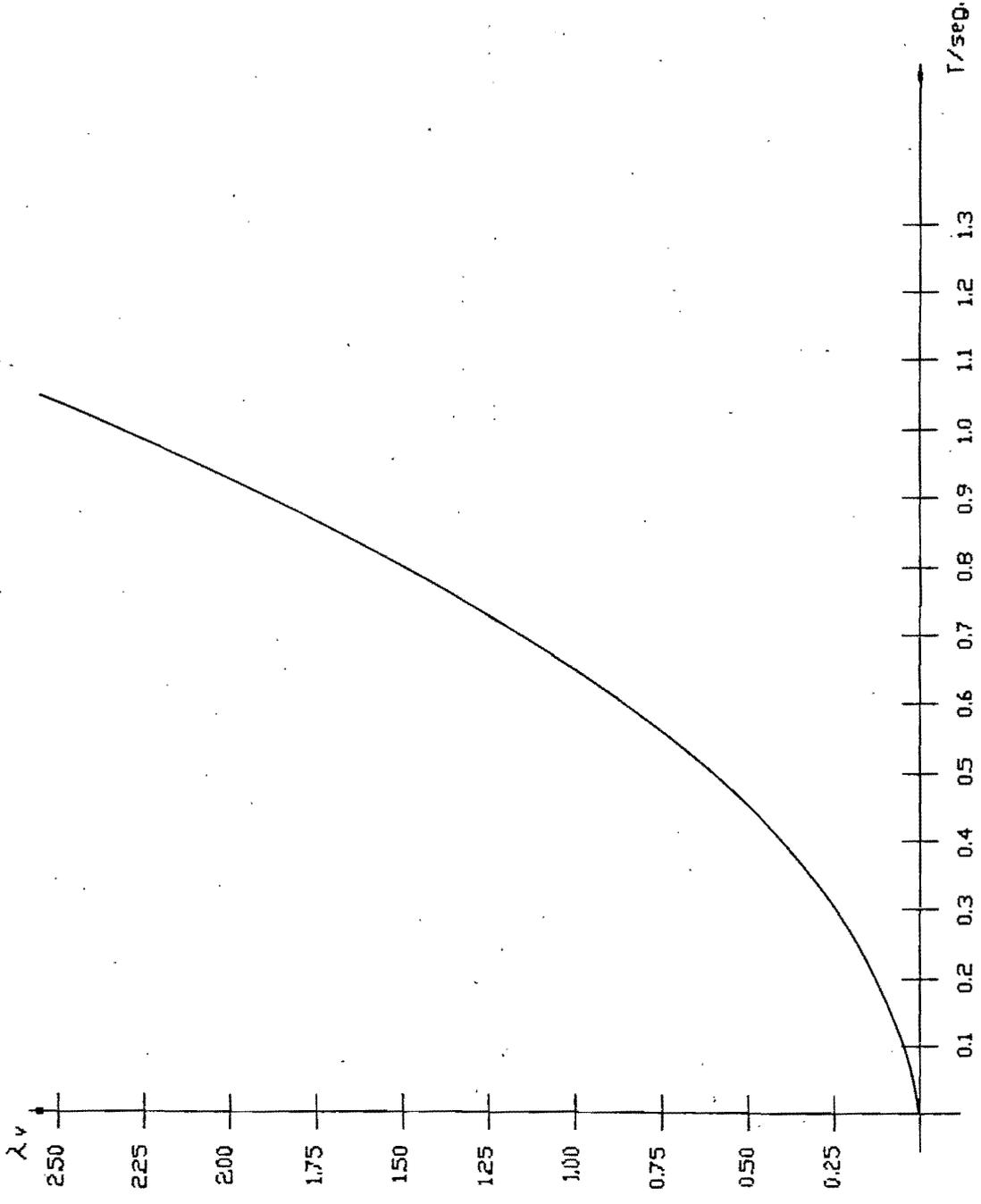
F.2. Períodos y Frecuencias de los Marcos.

Para obtener los períodos naturales de vibración se utilizó el programa SUPER-ETABS, modificándose gradualmente la masa de la estructura, sin alterarse la geometría ni las propiedades de las secciones.

En las siguientes páginas se presentan las gráficas de λV en función del período del primer modo. Se observó en todos los casos que el primer modo es el más significativo y que los otros modos participan muy poco en la respuesta del marco.

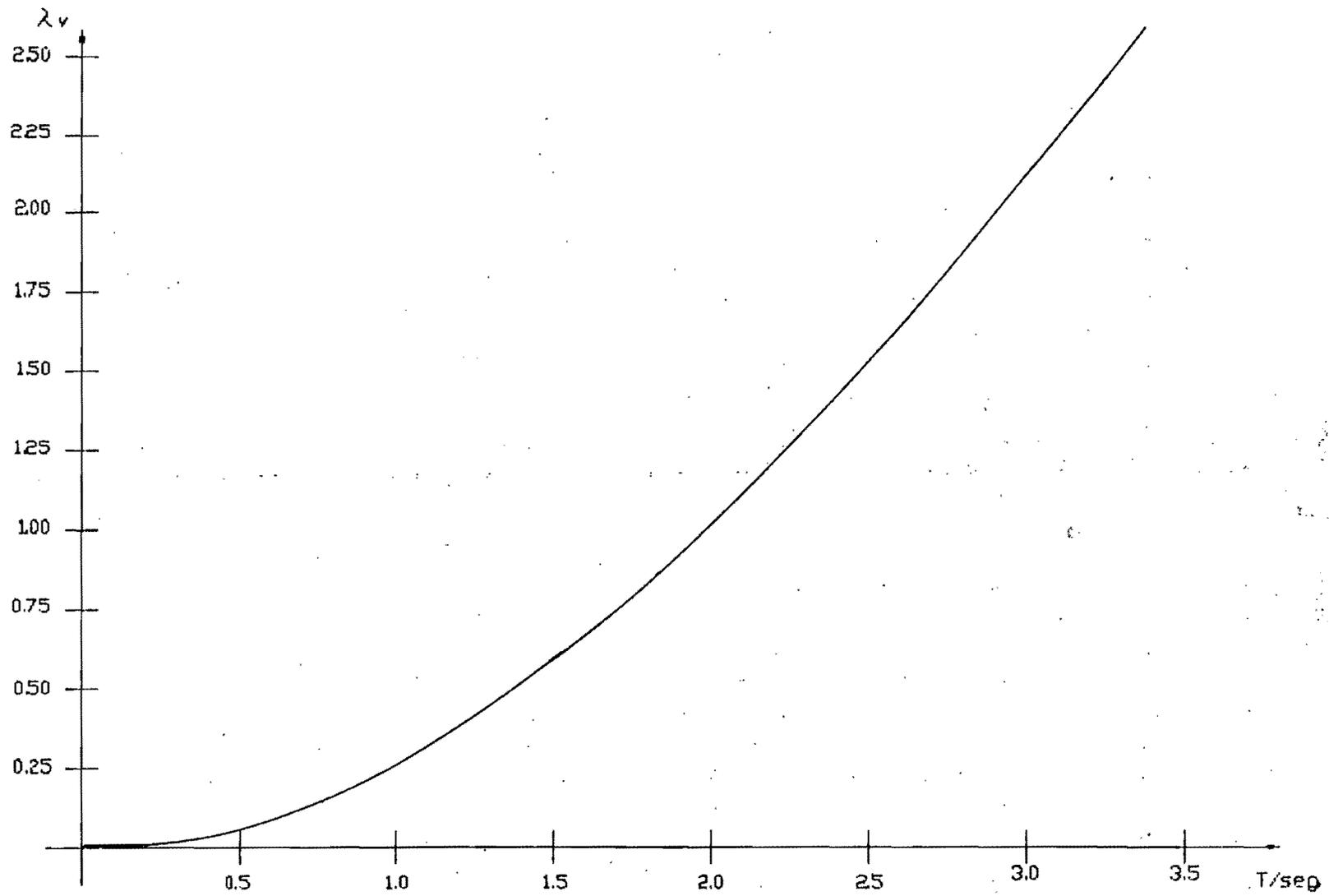
F.3. Obtención de los parámetros α y β .

Los valores de α y β que se requieren para formar la matriz de amortiguamiento se calcularon a partir de los períodos y frecuencias obtenidos en el subtítulo anterior. Se presentan tabulados en las páginas siguientes.



MARCO DE DE BUEN

$\langle \lambda_v \text{ vs. PERIODO} \rangle$



MARCO VALLANCE

(λ_v vs. PERIODO)

MARCO DE BUEN

VALORES DE α_p

λ_v	α	β	α_p
0.10	0.9505	0.0003	1.20
0.25	0.6006	0.0005	0.80
0.50	0.4240	0.0007	0.55
0.75	0.3457	0.0008	0.45
1.00	0.3008	0.0010	0.40
1.25	0.2669	0.0011	0.35
1.50	0.2432	0.0012	0.30
1.75	0.2248	0.0013	0.29
2.00	0.2100	0.0013	0.27
2.25	0.1976	0.0014	0.26

MARCO VALLANCE

VALORES DE α_p

λv	α	β	α_p
0.10	0.2905	0.0011	0.41
0.25	0.1829	0.0018	0.26
0.50	0.1282	0.0026	0.18
0.75	0.1038	0.0032	0.15
1.00	0.0892	0.0037	0.13
1.25	0.0791	0.0042	0.11
1.50	0.0715	0.0046	0.10
1.75	0.0656	0.0050	0.09
2.00	0.0608	0.0054	0.09
2.25	0.0568	0.0058	0.08

F.4. Gráficas y Diagramas de Inestabilidad.

Para obtener las gráficas $\lambda_H = f(\text{aceleración pico})$ vs desplazamiento significativo, se utilizó el programa DRAIN siguiendo la metodología propuesta en la Sección D. Mediante ese programa se pudo tomar en cuenta cada vez que se aplicaba el acelerograma factorizado a los marcos, factores tan importantes como son el comportamiento inelástico, la continua aparición y cierre de articulaciones plásticas, la modificación sucesiva de la rigidez global, el efecto de la carga axial en reducir los momentos plásticos resistentes en columnas y una aproximación a los efectos de segundo orden. Además de que se obtuvo como resultados, los envolventes máximos de desplazamientos, rotaciones, elementos mecánicos y rotaciones plásticas indicándose también los tiempos de ocurrencia.

Para formar la matriz de amortiguamiento, correspondiente a cada λ_V , se utilizó el parámetro α_p que se indica en las anteriores páginas, éste se obtuvo tomando en cuenta solamente la participación del primer modo, que es el que más influye en la respuesta. No se utilizaron los valores de α y β indicados en esas tablas, que corresponden a la participación de los dos primeros modos, debido a que el valor de β calculado es muy pequeño.

Es muy importante para el correcto desarrollo de este trabajo el fijar un Δt adecuado para que los resultados que obtenga el programa sean confiables. Se revisó para cada gráfica, que el valor elegido era adecuado. En el caso del marco De Buen, se eligió un valor de 0.02 seg. y en el marco Vallance un valor de 0.05 seg. Ambos valores fueron adecuados para obtener todas las gráficas. Cabe mencionar que el programa realiza el proceso de integración directa de las ecuaciones de movimiento, "paso a paso", mediante el método de aceleración constante dentro de cada paso, con la ventaja de que este método es estable para todos los períodos y Δt 's, además de que no introduce amortiguamiento en el sistema. Evidentemente el seleccionar un Δt pequeño permite obtener buena precisión en los resultados, pero esto influye notablemente en el tiempo de proceso del programa, por lo tanto se seleccionó los Δt que permitían obtener resultados suficientemente precisos y que no ocasionaban excesivo tiempo de computadora. Para comprobar, al menos en forma parcial esos Δt se comparó la respuesta, dentro del rango elástico para cada λ_V que se modificaba, al mismo acelerograma factorizado, de los programas DRAIN y SUPER-ETABS observándose que eran prácticamente iguales. Es necesario destacar que el segundo programa analiza sistemas elásticos, utiliza la solución exacta para acelerogramas definidos mediante tramos rectos y no requiere fijar ningún Δt .

Después de obtener los resultados de la aplicación del programa DRAIN cada vez que se sometía a los marcos al efecto del acelerograma factorizado, se observó que en la mayoría de los casos el desplazamiento significativo, es decir, el que ocasionaba el menor λ_H , era el desplazamiento lateral de entrepiso y en algunos casos era el desplazamiento vertical o

flecha de las trabes. Por lo que en las siguientes páginas se presentan las gráficas de λH en función de esos desplazamientos, así como las aceleraciones pico que los motivaron, para cada λV .

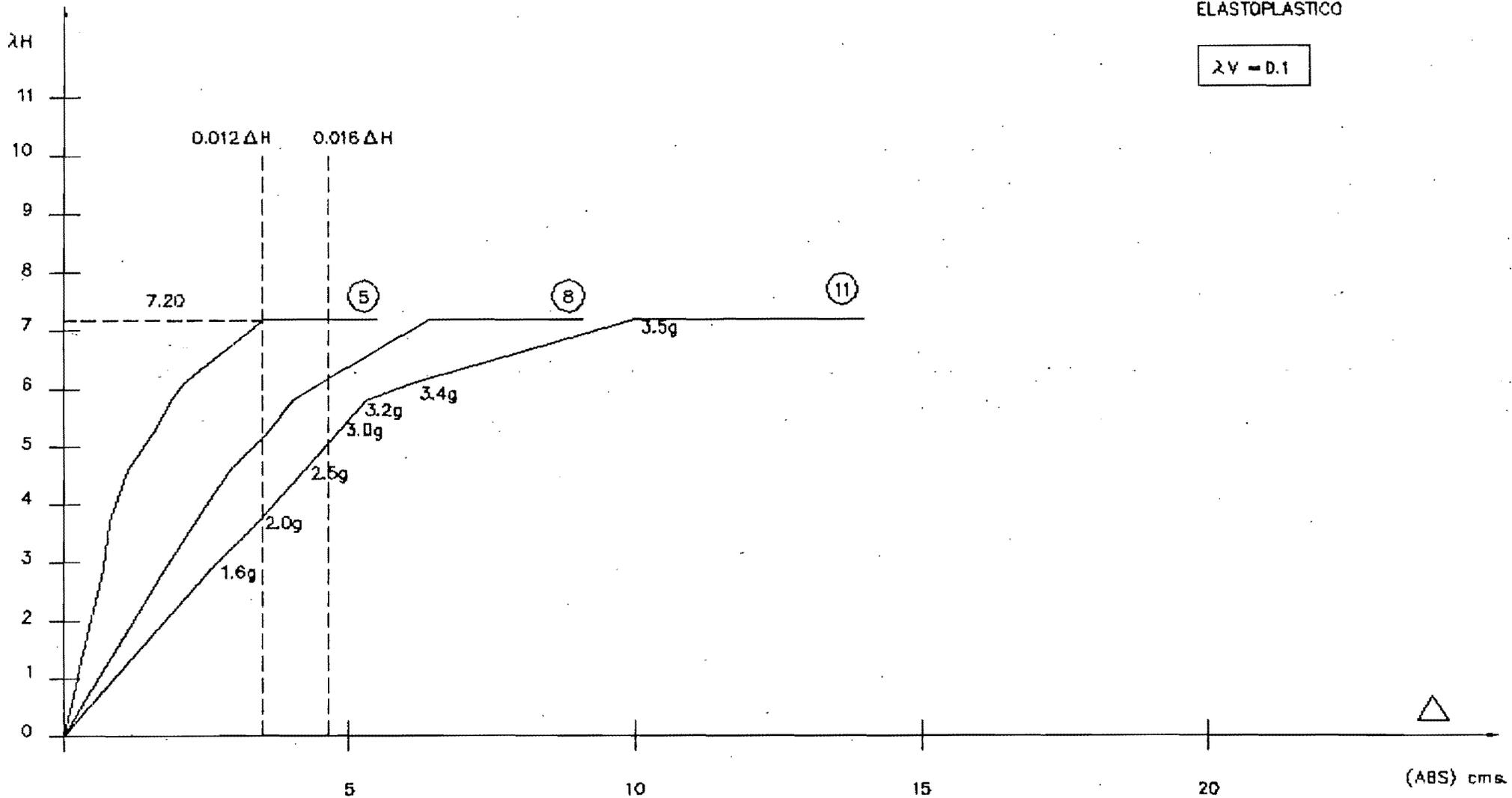
En este trabajo se verificó que las rotaciones en los nudos eran pequeñas y que en aquellos casos en que resultaron grandes correspondían inevitablemente al colapso del marco más que al abandono de los límites fijados. Se verificó además que el cortante resistente de las secciones era muy adecuado para resistir valores que se presentaban inclusive después de abandonar el entorno de estabilidad y que valores muy grandes correspondían al colapso de la estructura. No se revisó ningún tipo de pandeo local, debido en primera instancia a que no se conocía con precisión las dimensiones detalladas de los perfiles tipo "I" y en segunda instancia a que se consideró que los elementos fallaban antes por falla de conjunto que por falla local.

Las gráficas se obtuvieron tomando en cuenta principalmente dos modelos de comportamiento del material, el elastoplástico y el bilineal positivo, y para efectos de comparación, se utilizó el modelo bilineal negativo solamente para el caso de $\lambda V = 1.0$.

A partir de los λH_c (límites) de las graficas se obtuvo los diagramas de inestabilidad. El comentario acerca de ellos se efectúa en la Sección G.

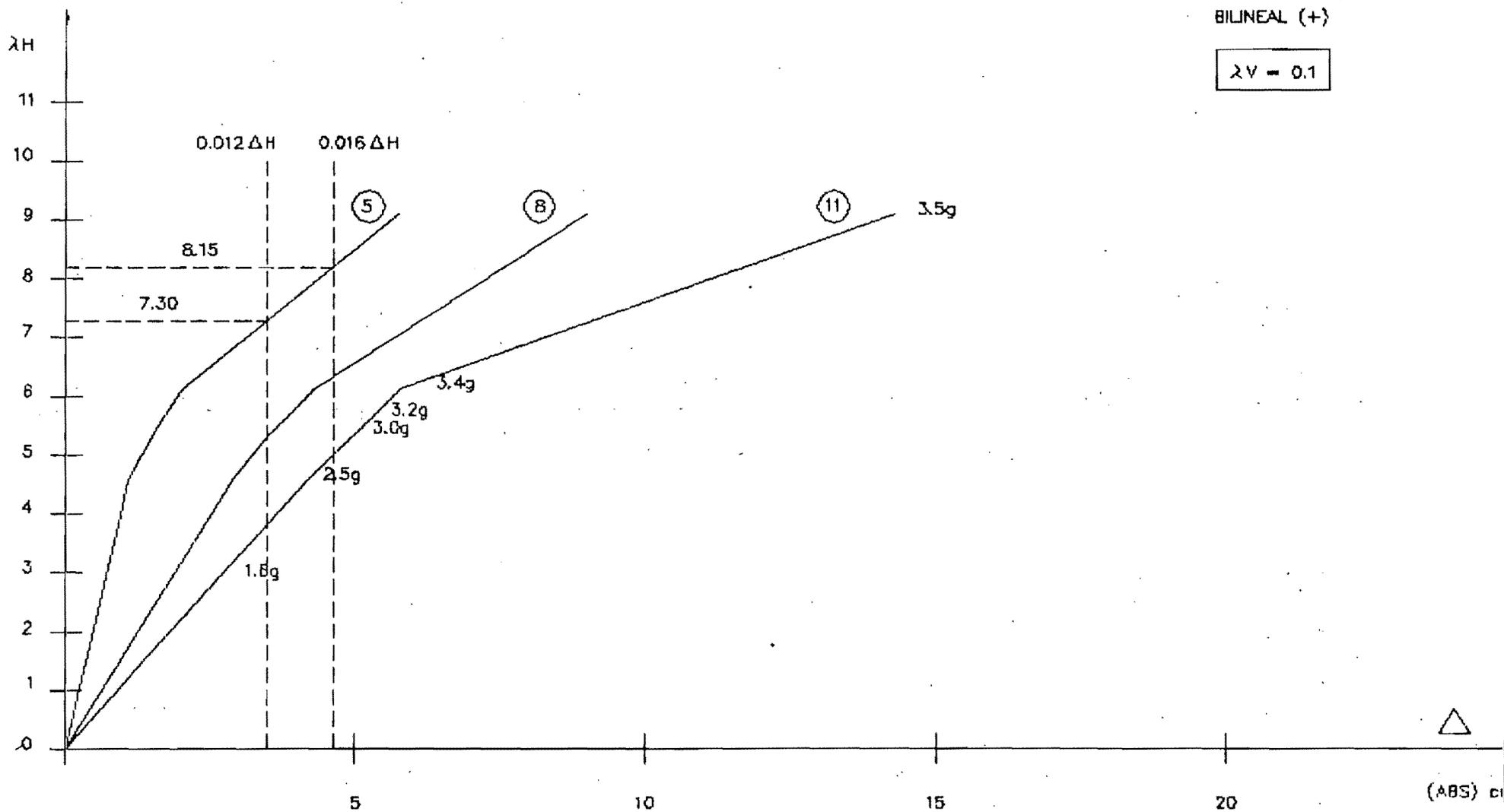
ELASTOPLASTICO

$\lambda V = 0.1$



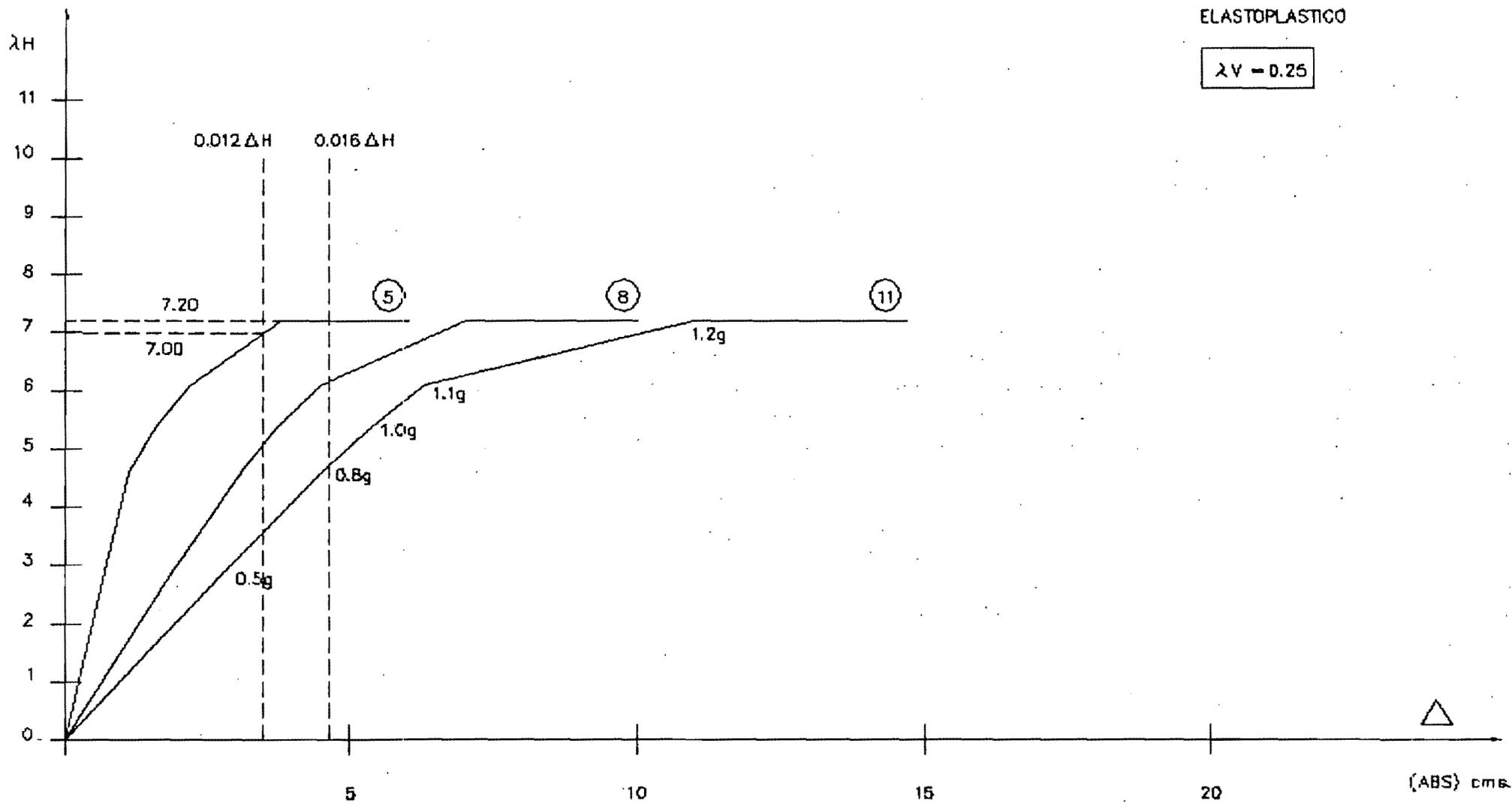
MARCO DE BUEN

($\lambda H = f$: ACCELERACION PICO) vs. (DESPLAZAMIENTO LATERAL MAXIMO)



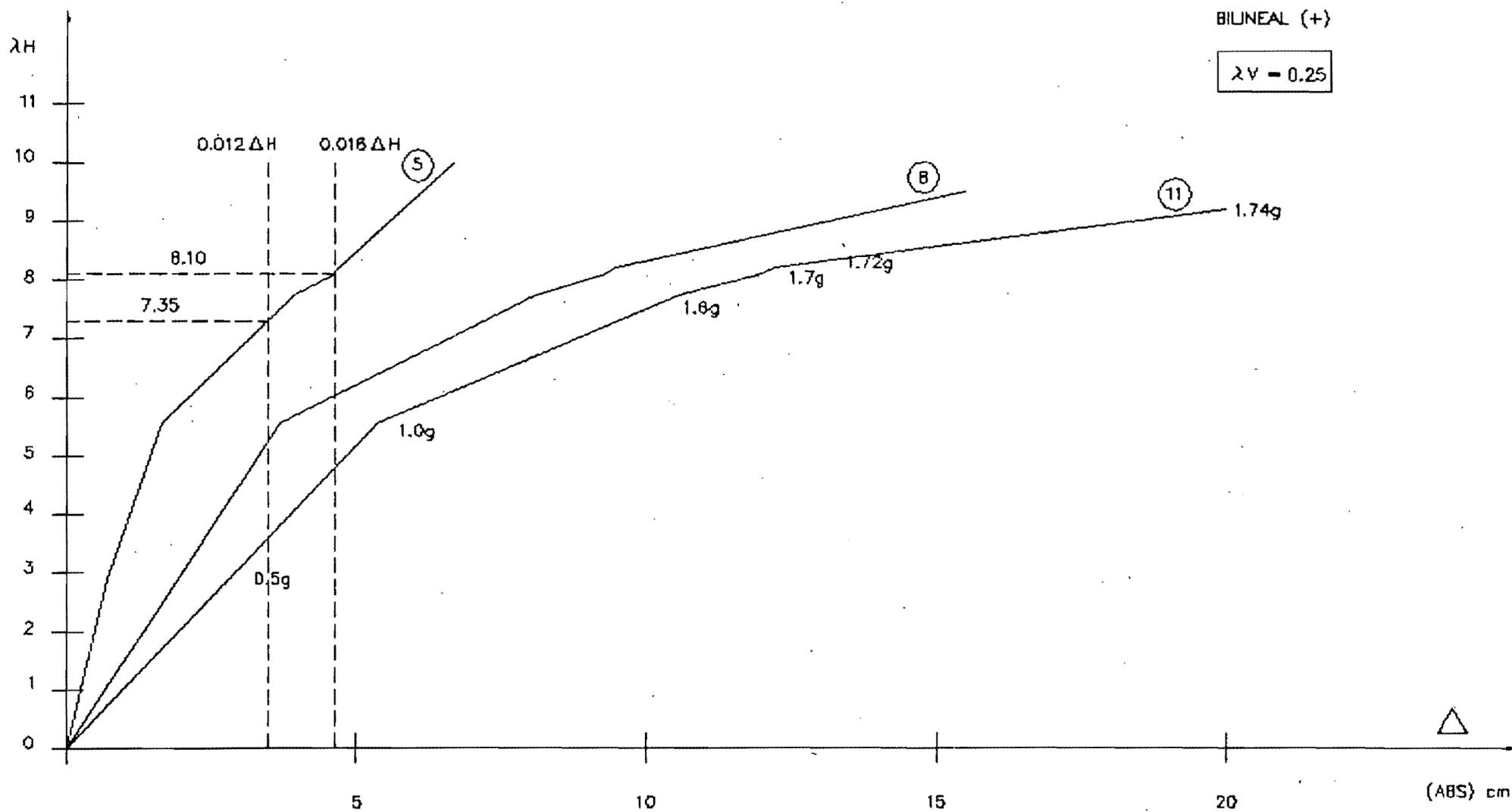
MARCO DE BUEN

($\lambda H = f$: ACELERACION PICO) vs. (DESPLAZAMIENTO LATERAL MAXIMO)



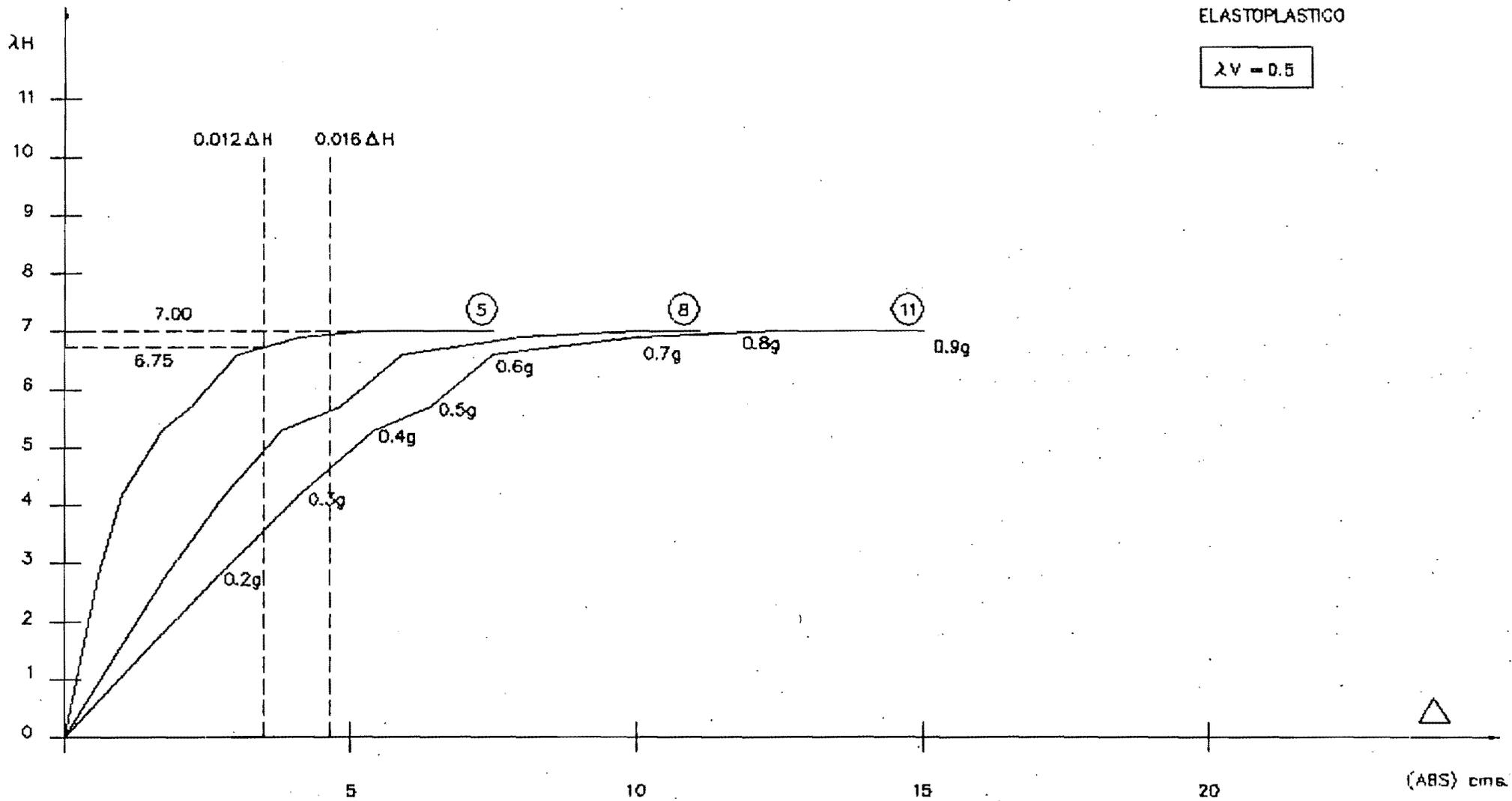
MARCO DE BUEN

($\lambda H = f$: ACCELERACION PICO) vs. (DESPLAZAMIENTO LATERAL MAXIMO)



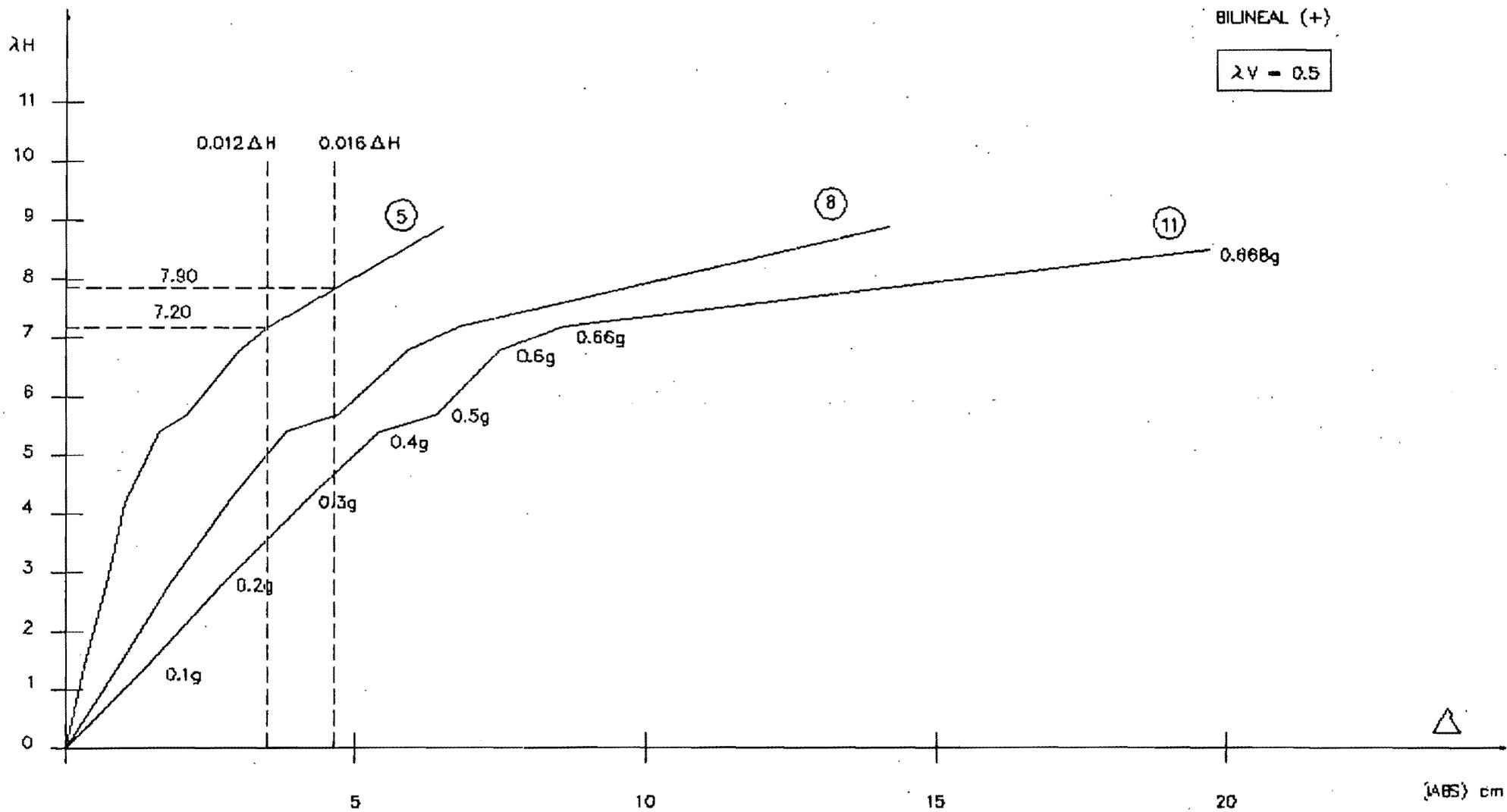
MARCO DE BUEN

($\lambda H = f$: ACELERACION PICO) vs. (DESPLAZAMIENTO LATERAL MAXIMO)



MARCO DE BUEN

($\lambda H = f$: ACELERACION PICO) vs. (DESPLAZAMIENTO LATERAL MAXIMO)

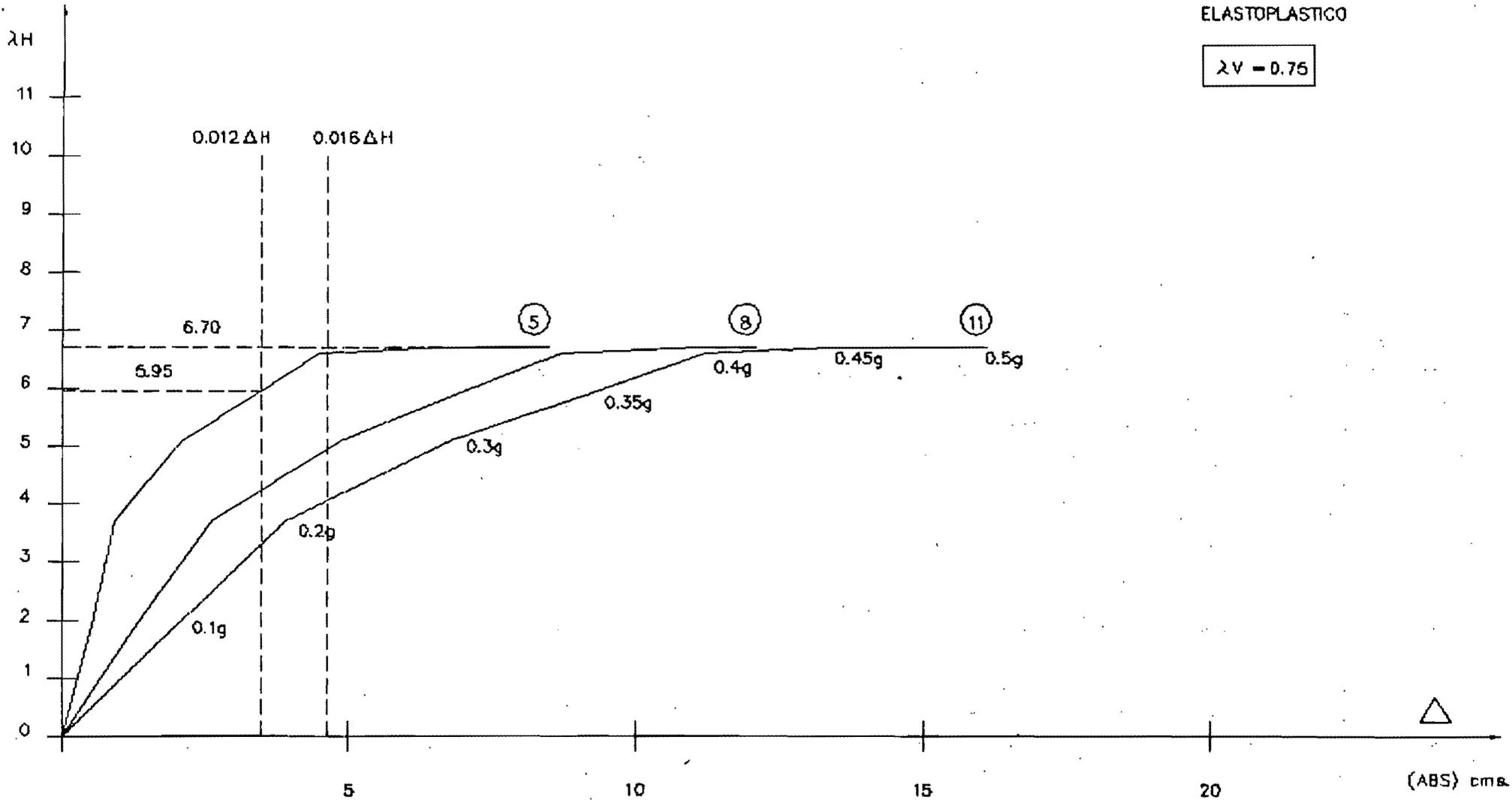


MARCO DE BUEN

($\lambda H = f$: ACELERACION PICO) vs. (DESPLAZAMIENTO LATERAL MAXIMO)

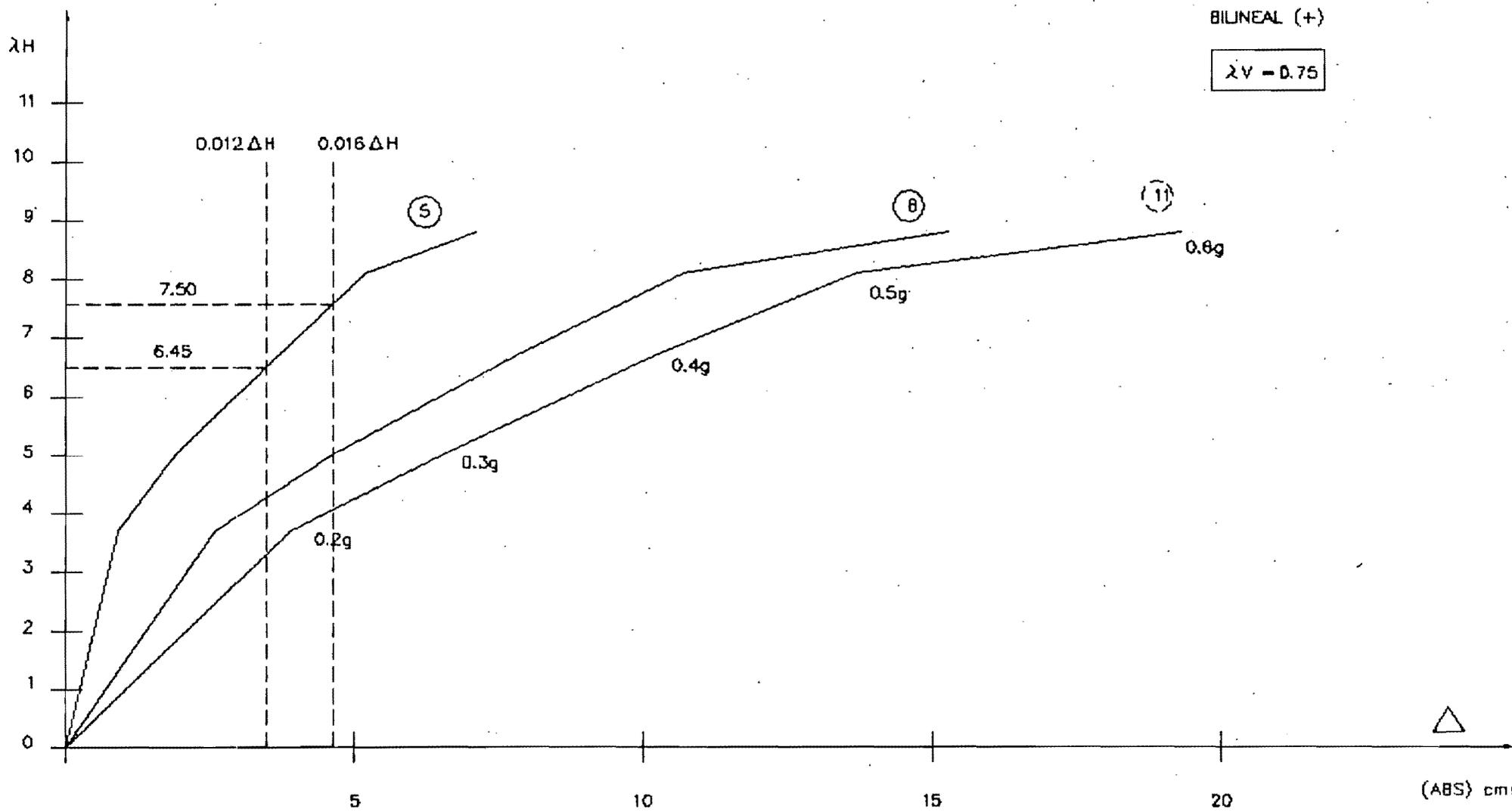
ELASTOPLASTICO

$\lambda V = 0.75$



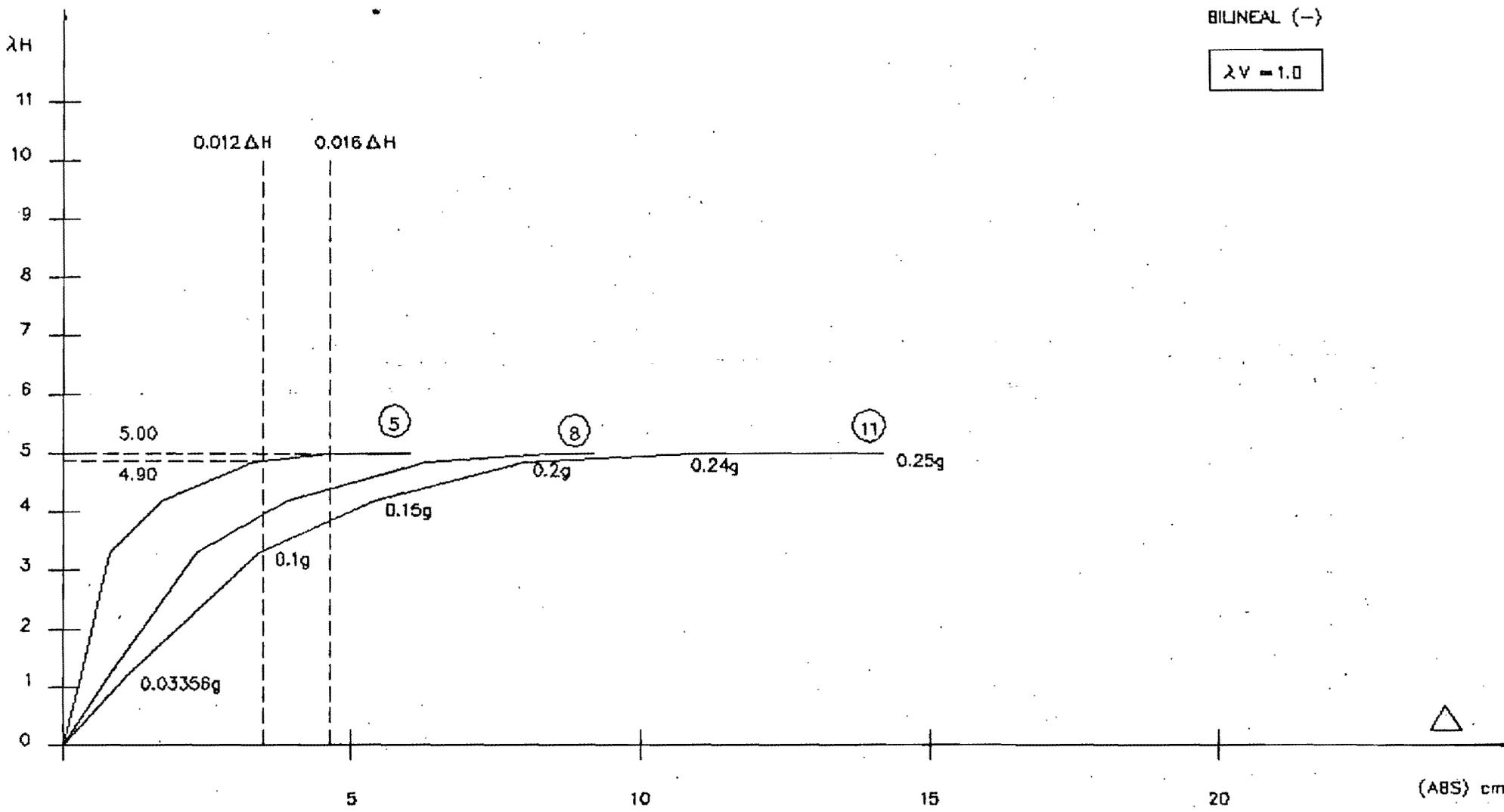
MARCO DE BUEN

($\lambda H = f$: ACELERACION PICO) vs. (DESPLAZAMIENTO LATERAL MAXIMO)



MARCO DE BUEN

($\lambda H = f$: ACELERACION PICO) vs. (DESPLAZAMIENTO LATERAL MAXIMO)

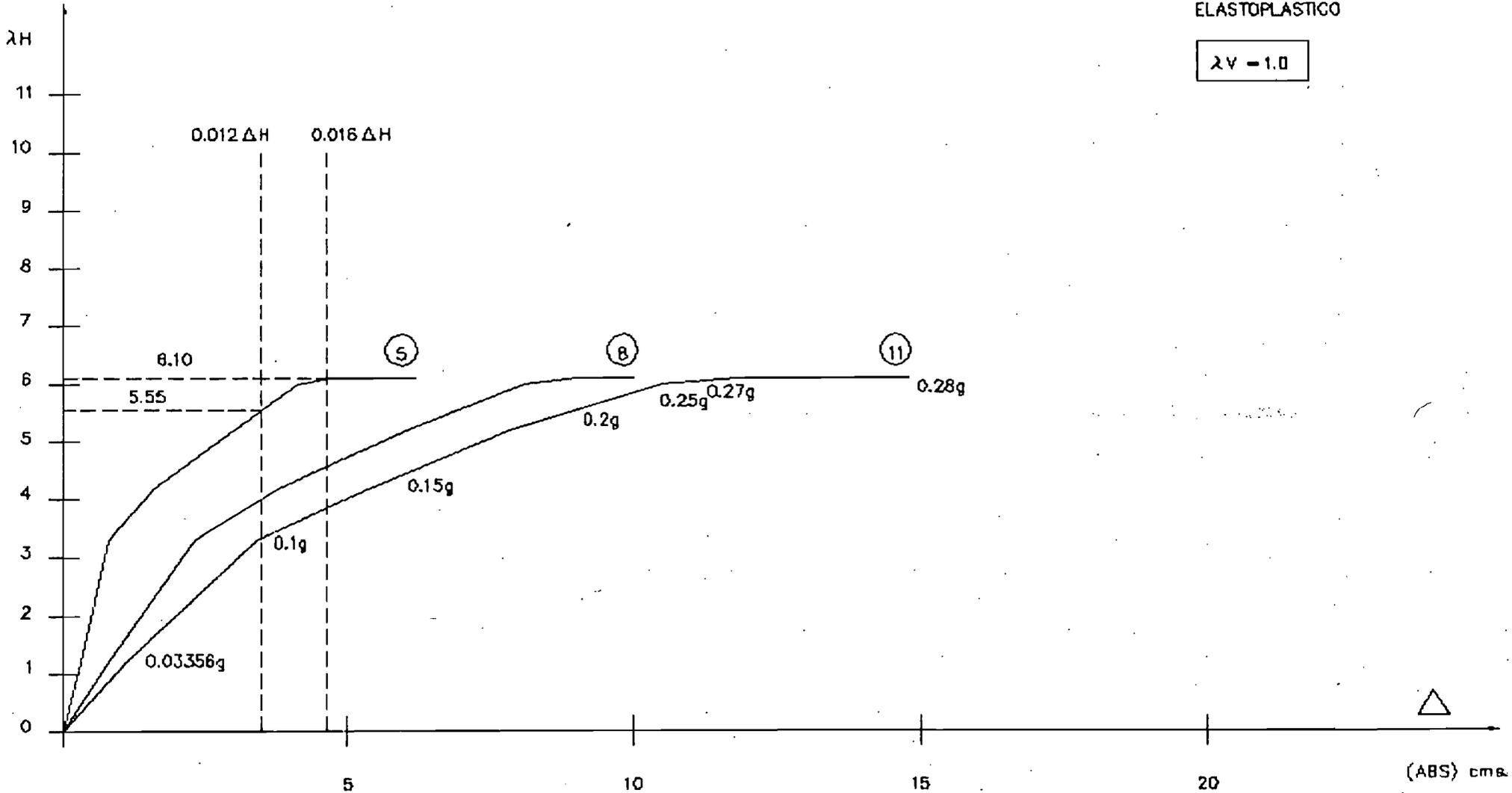


MARCO DE BUEN

($\lambda H = f$: ACCELERACION PICO) vs. (DESPLAZAMIENTO LATERAL MAXIMO)

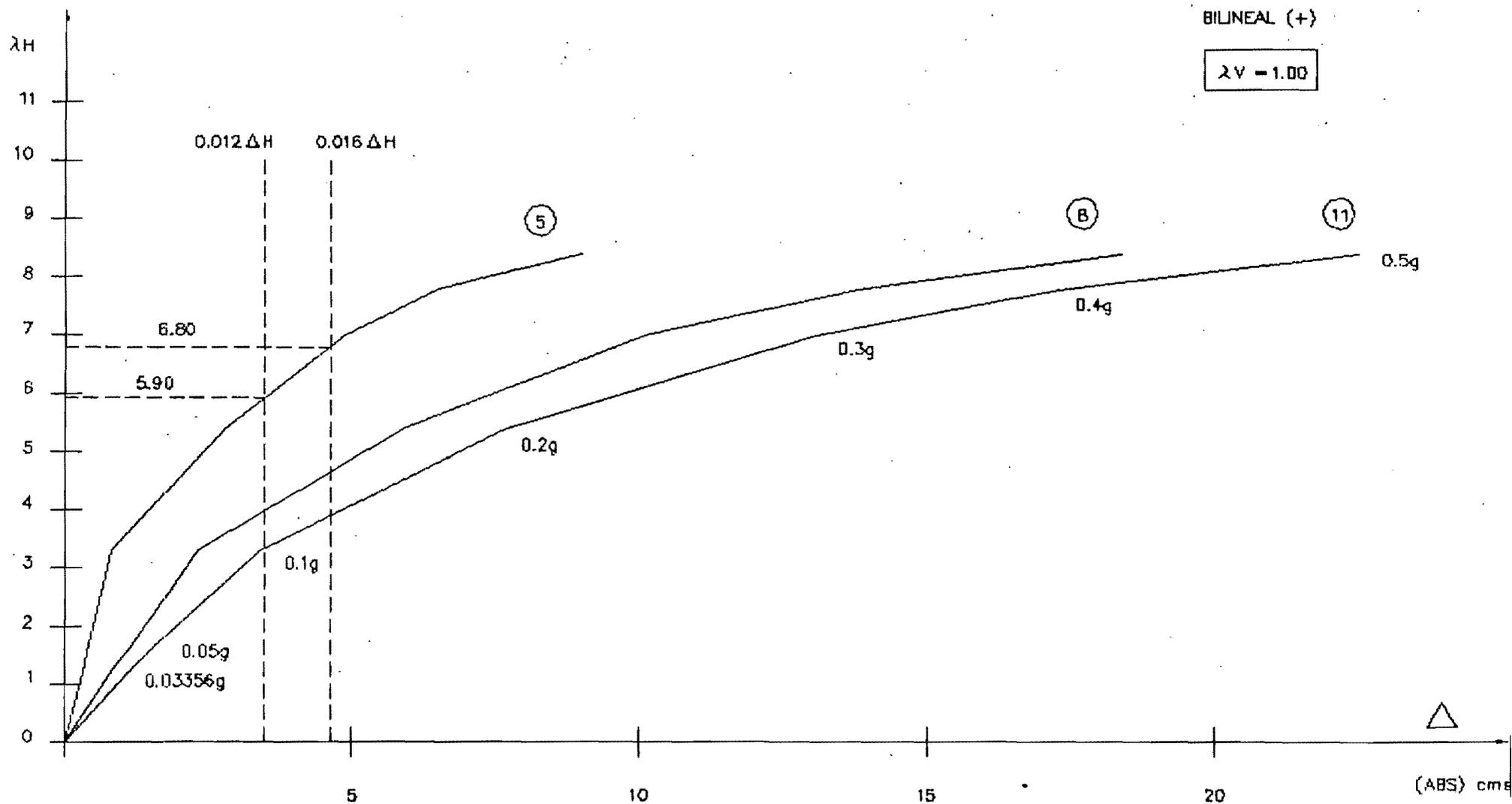
ELASTOPLASTICO

$\lambda V = 1.0$



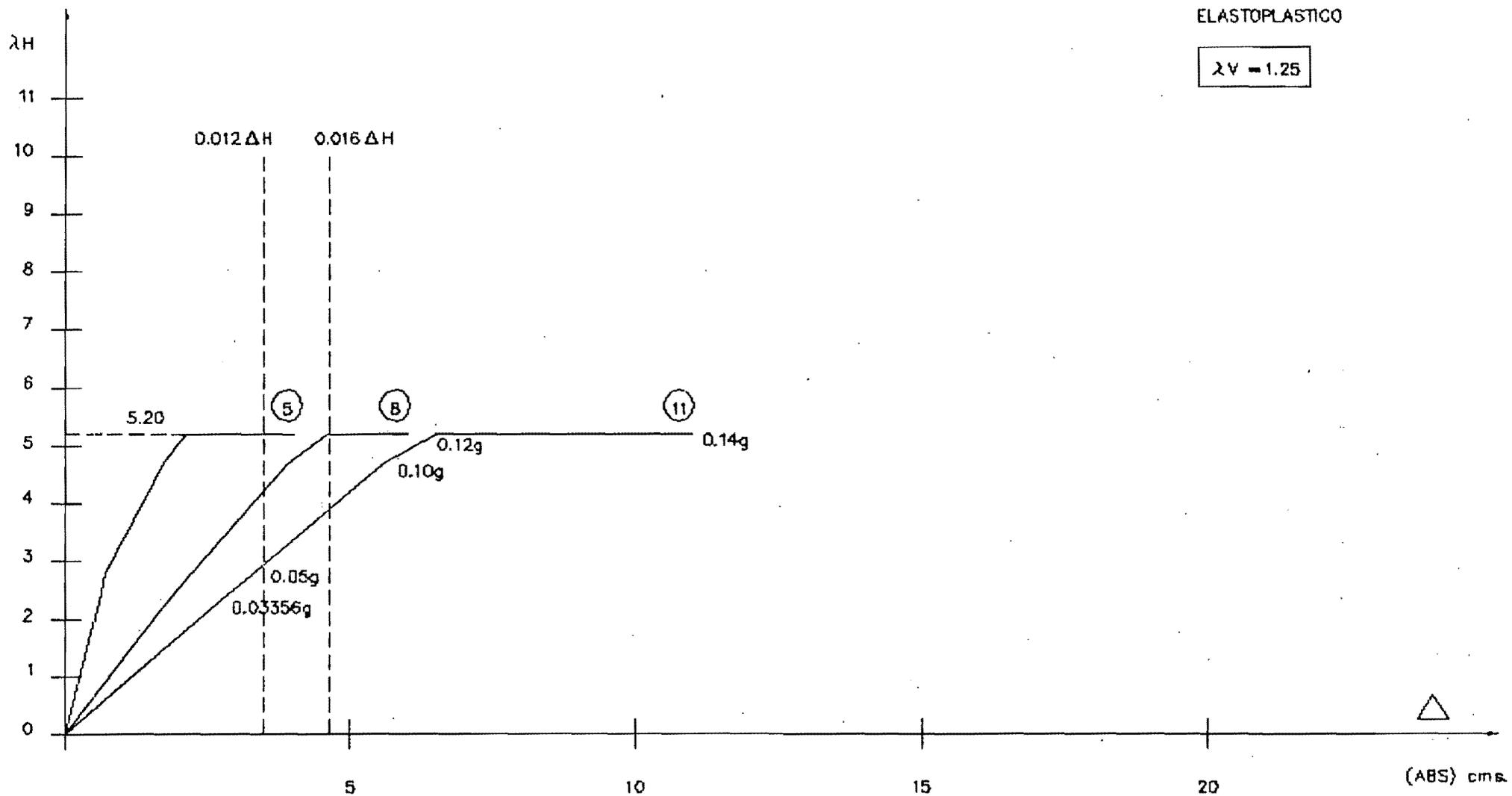
MARCO DE BUEN

$(\lambda H = f: ACCELERACION PICO)$ vs. $(DESPLAZAMIENTO LATERAL MAXIMO)$



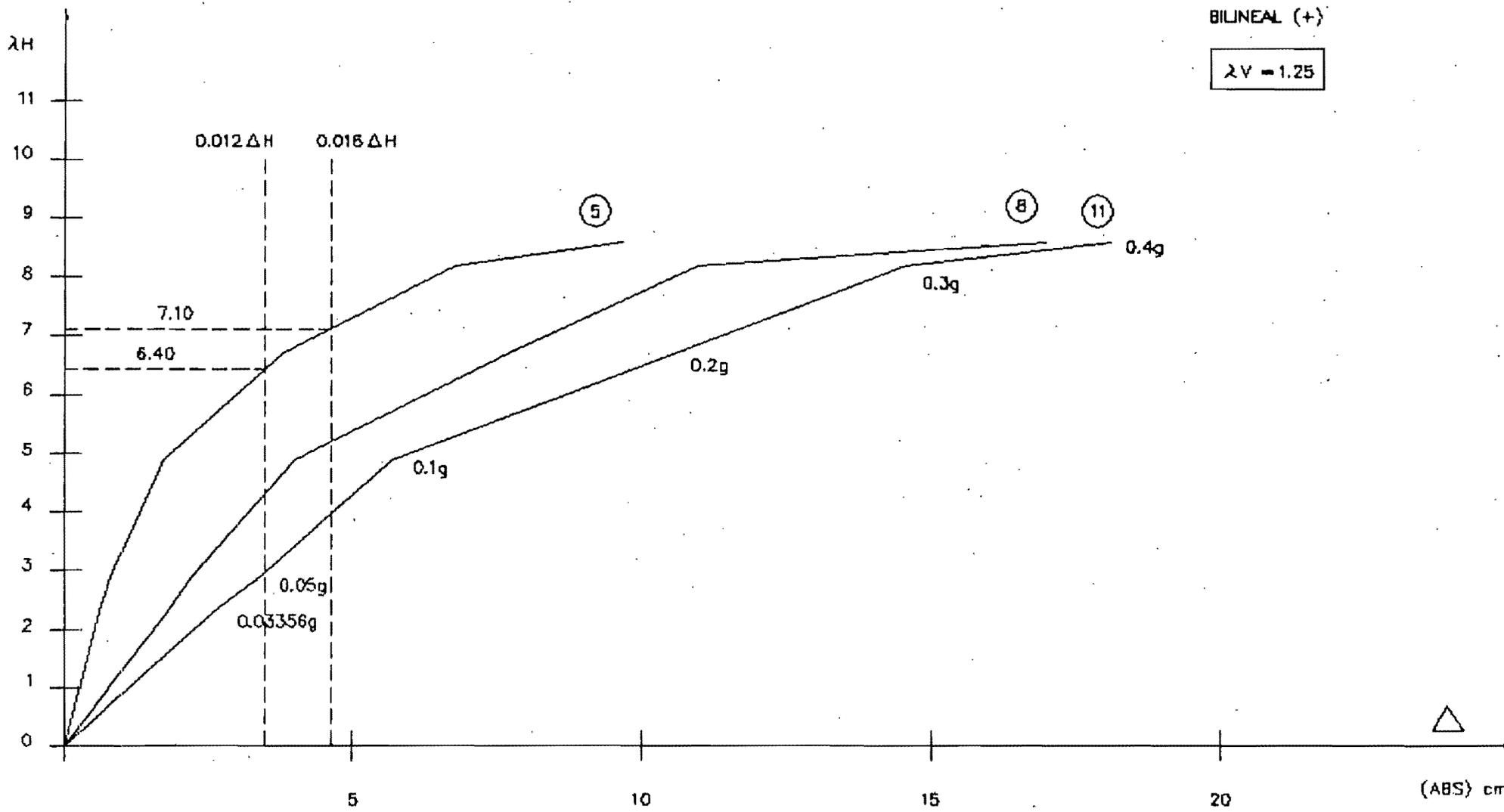
MARCO DE BUEN

($\lambda H = f$: ACELERACION PICO) vs. (DESPLAZAMIENTO LATERAL MAXIMO)



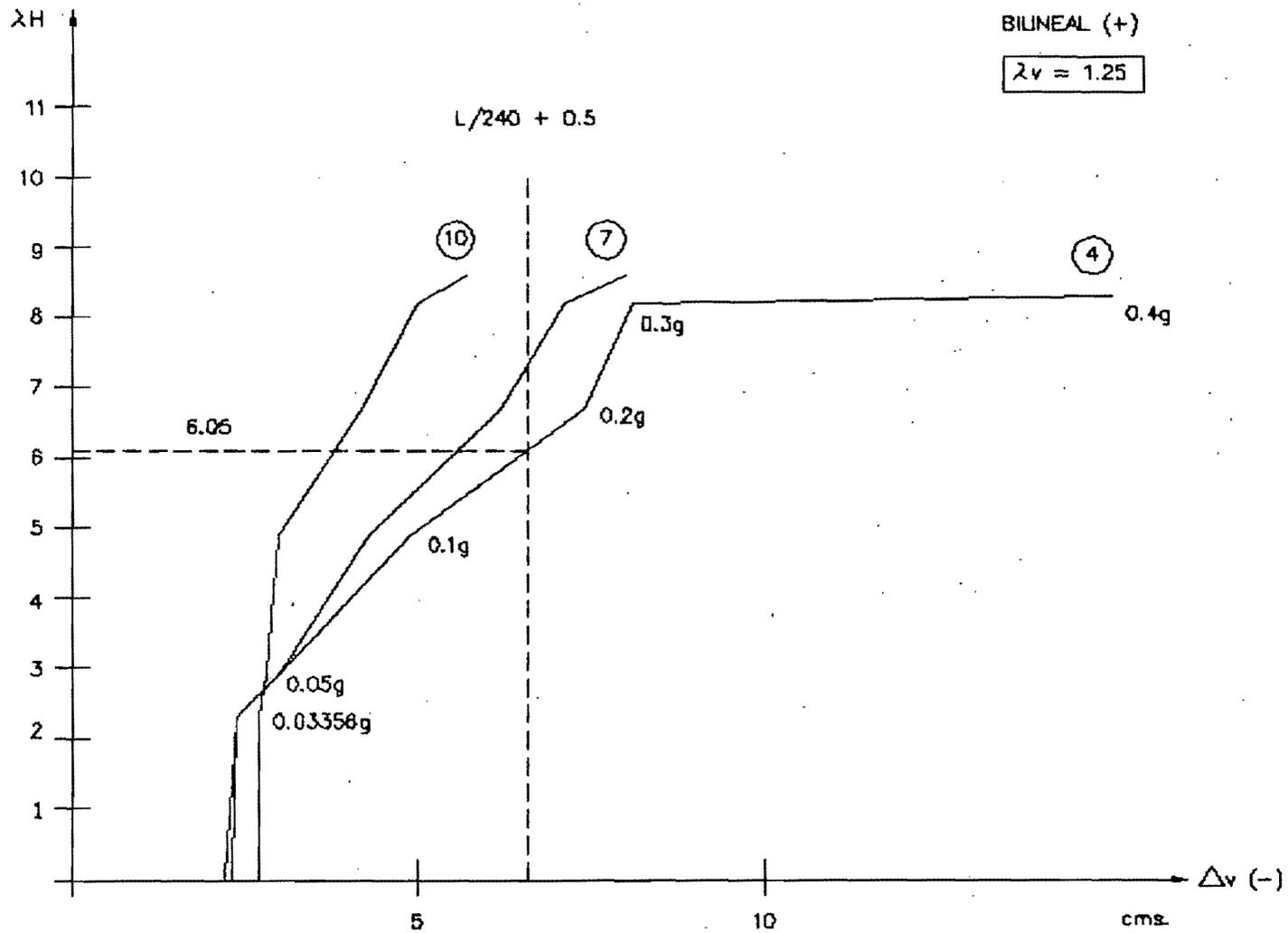
MARCO DE BUEN

($\lambda H = f$: ACELERACION PICO) vs. (DESPLAZAMIENTO LATERAL MAXIMO)



MARCO DE BUEN

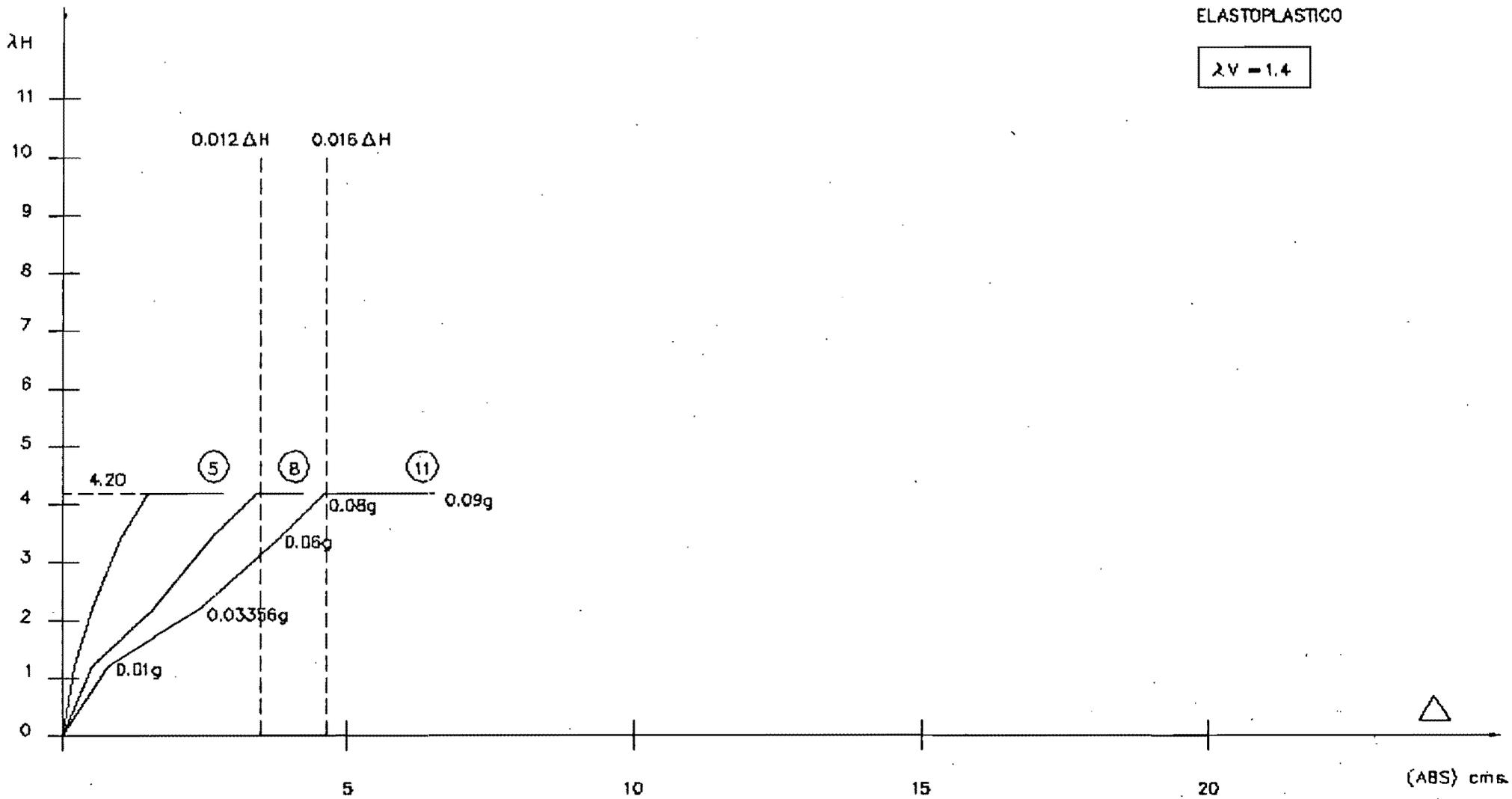
($\lambda H = f$: ACELERACION PICO) vs. (DESPLAZAMIENTO LATERAL MAXIMO)



MARCO DE BUEN
 (λH) vs. (FLECHA EN TRABES)

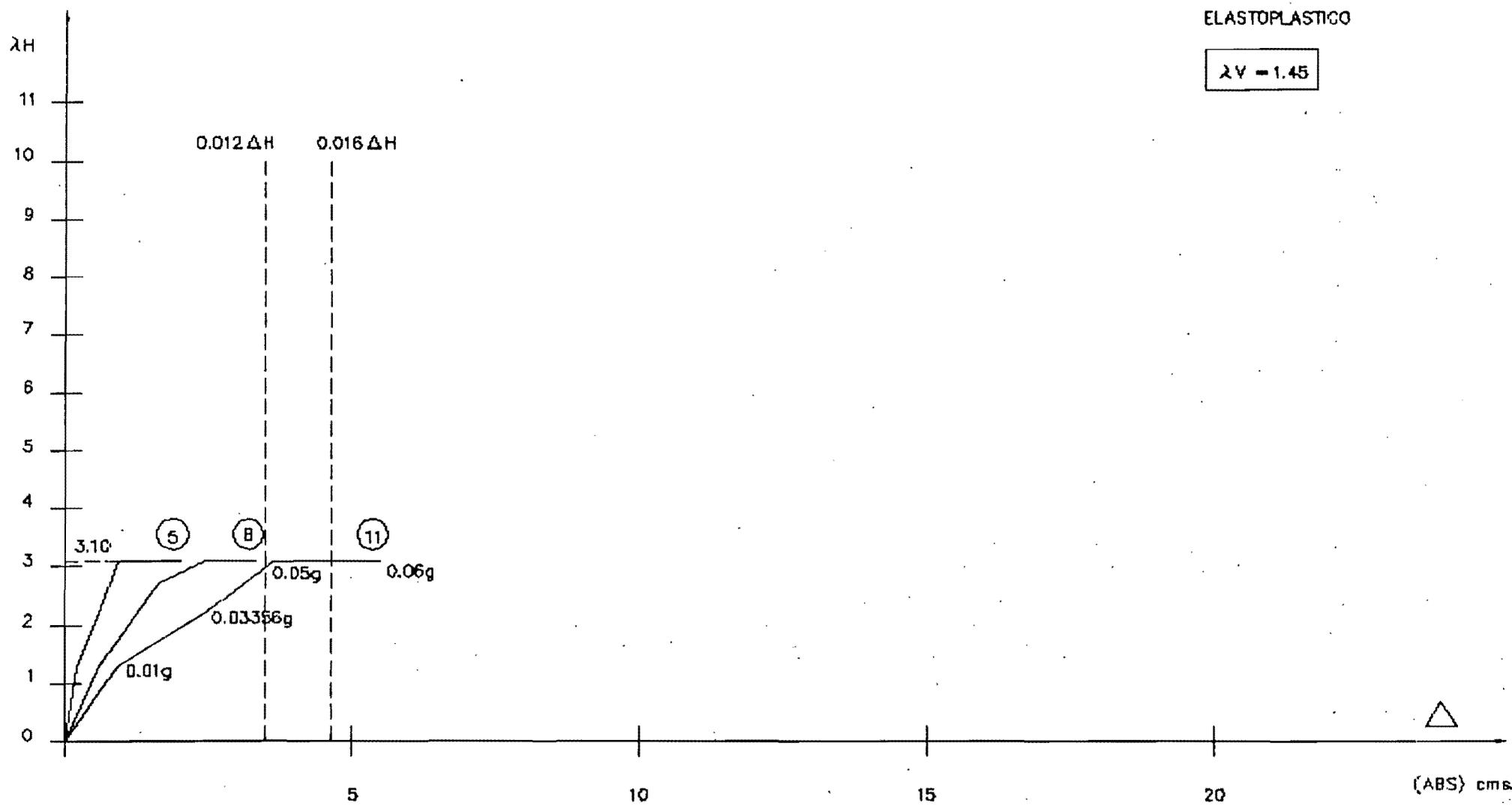
ELASTOPLASTICO

$\lambda V = 1.4$



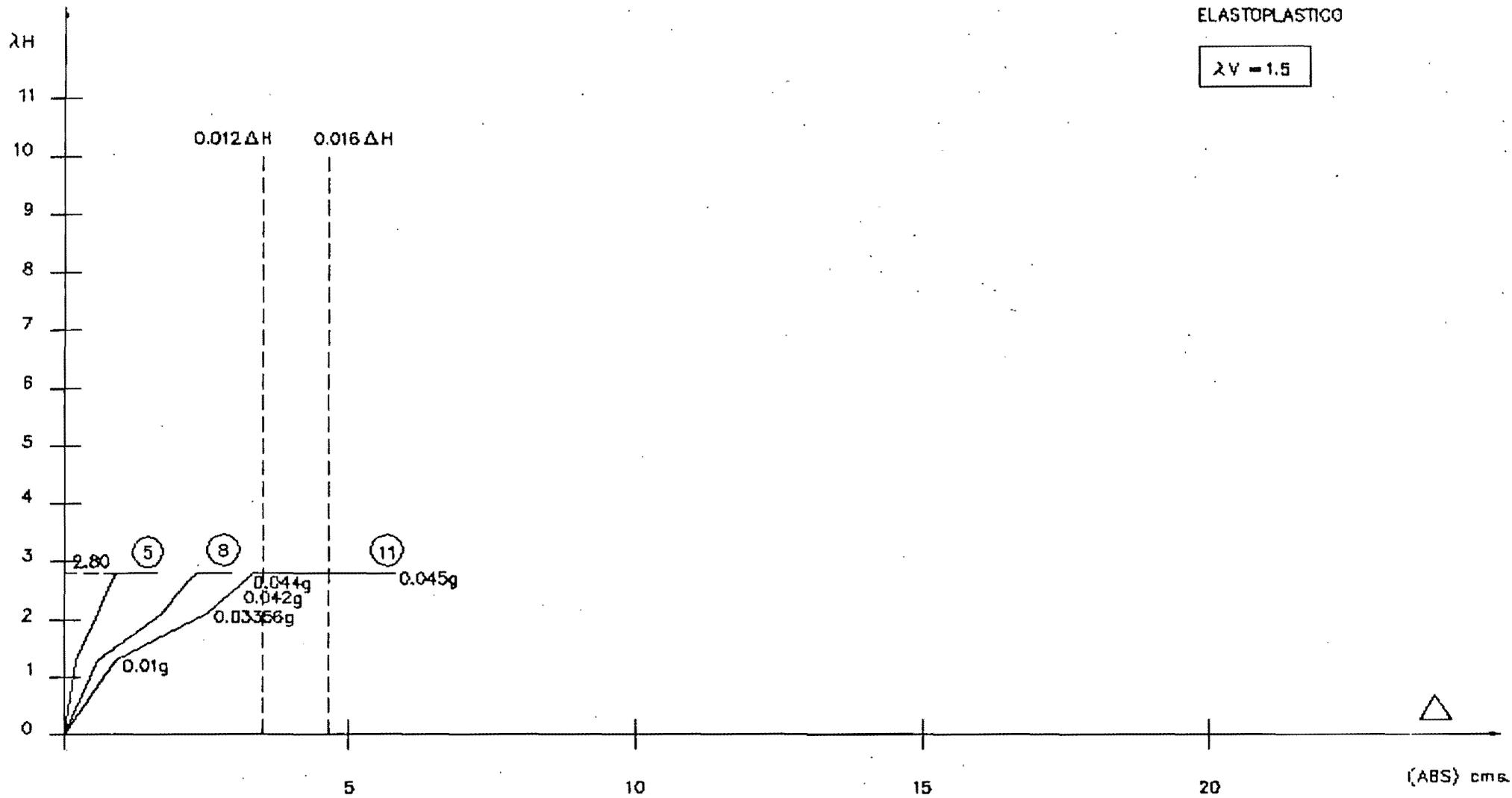
MARCO DE BUEN

($\lambda H = f$: ACELERACION PICO) vs. (DESPLAZAMIENTO LATERAL MAXIMO)



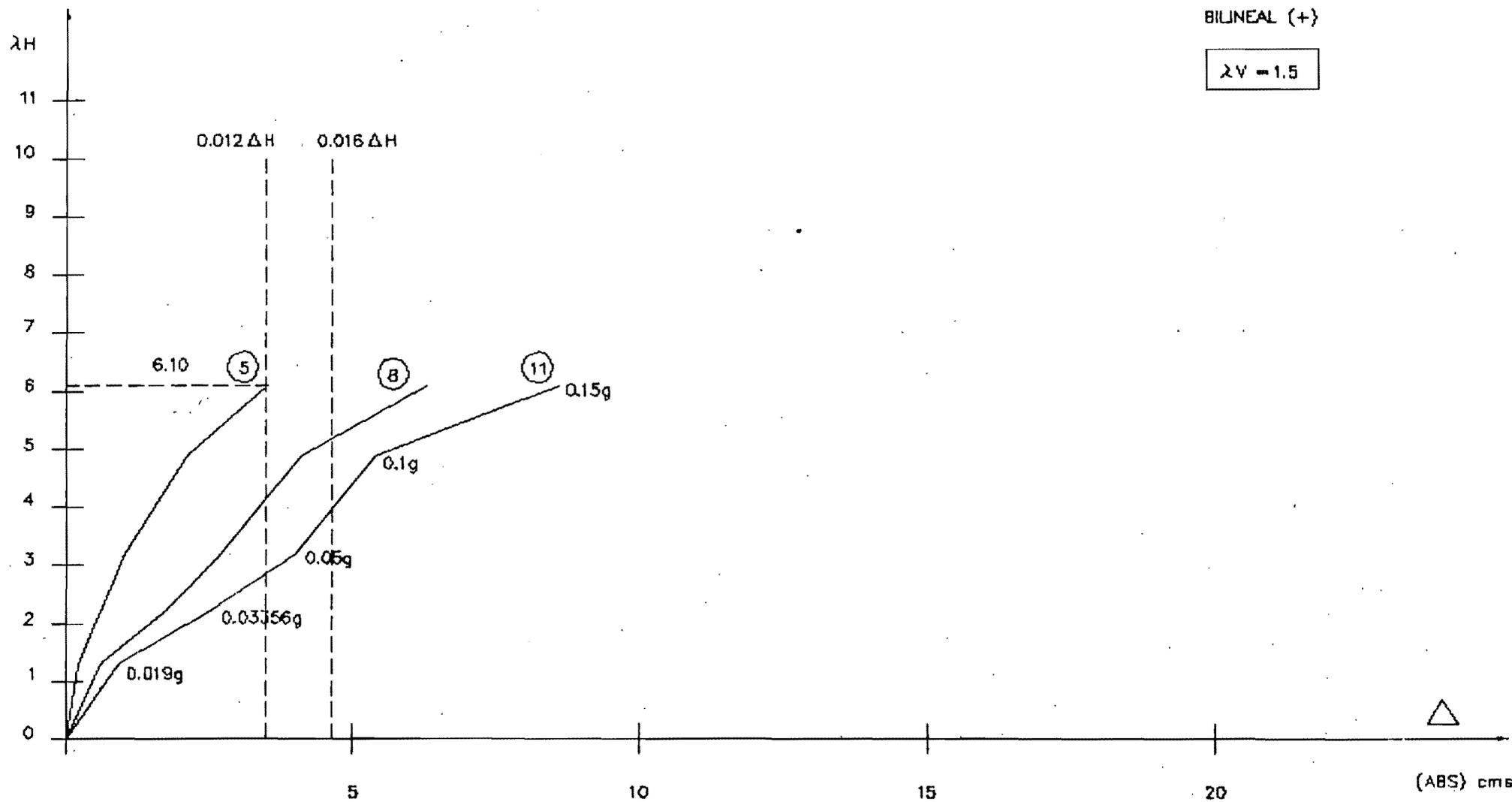
MARCO DE BUEN

($\lambda H = f$: ACELERACION PICO) vs. (DESPLAZAMIENTO LATERAL MAXIMO)



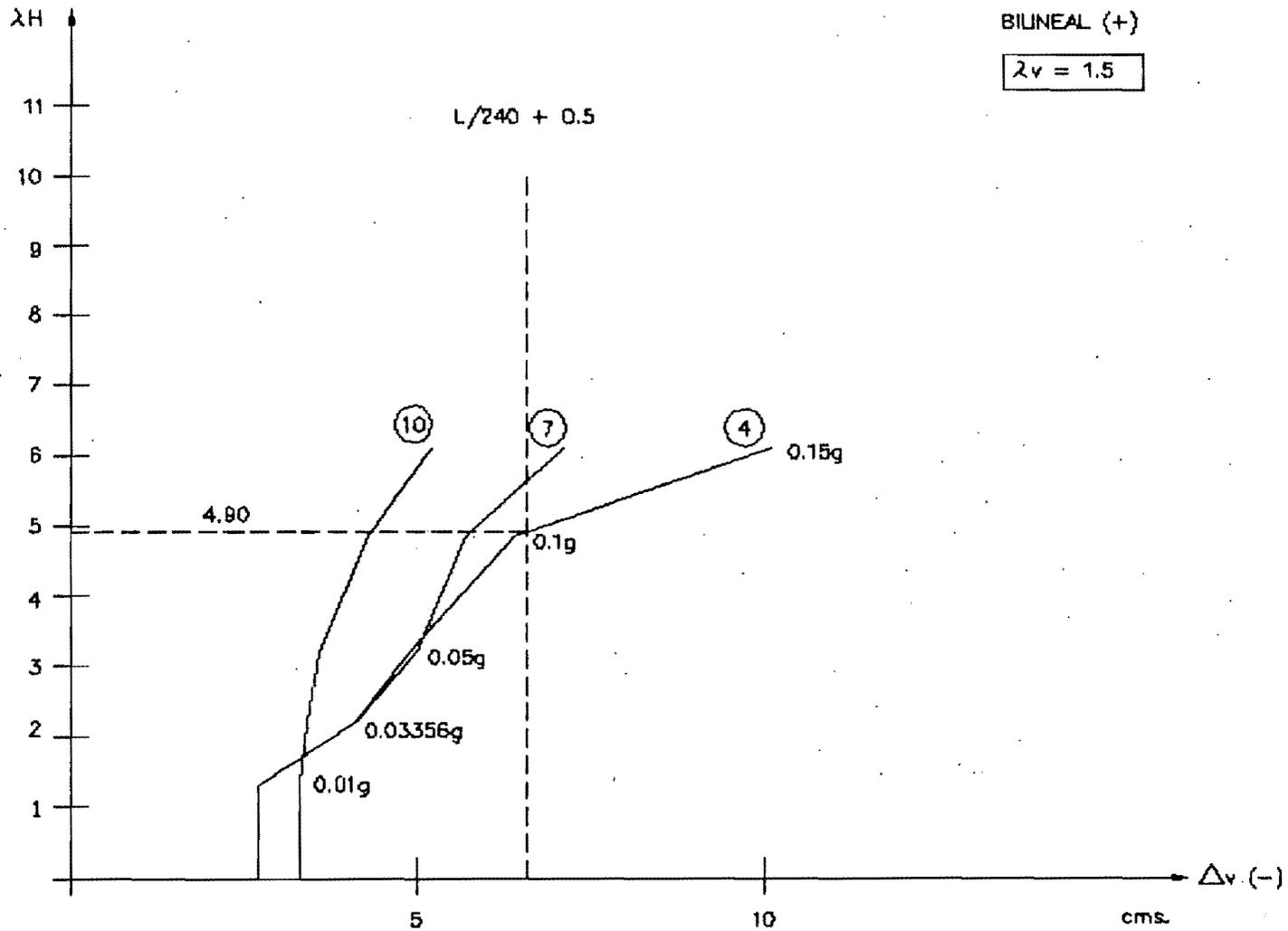
MARCO DE BUEN

($\lambda H = f$: ACELERACION PICO) vs. (DESPLAZAMIENTO LATERAL MAXIMO)

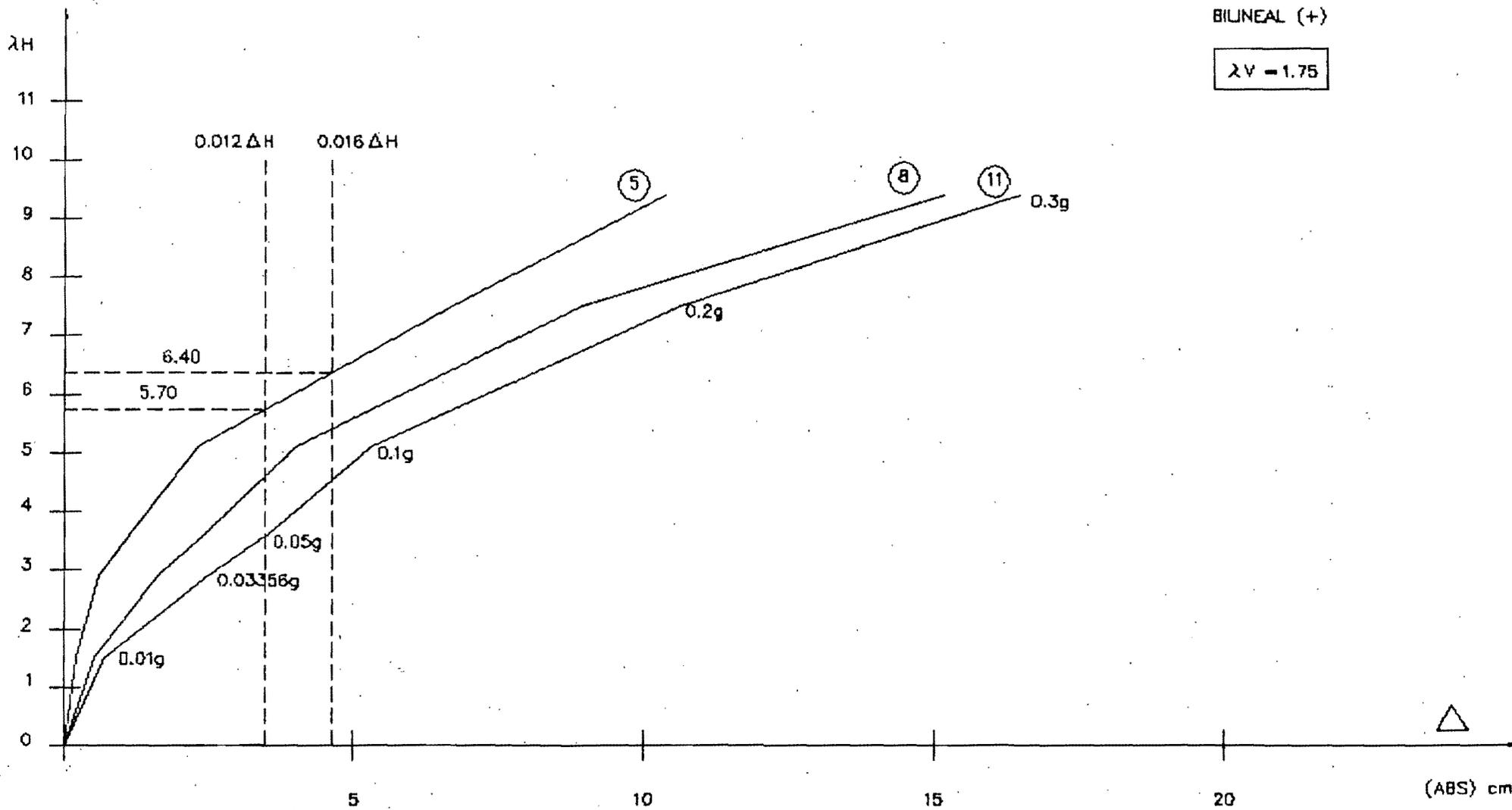


MARCO DE BUEN

($\lambda H = f$: ACELERACION PICO) vs. (DESPLAZAMIENTO LATERAL MAXIMO)

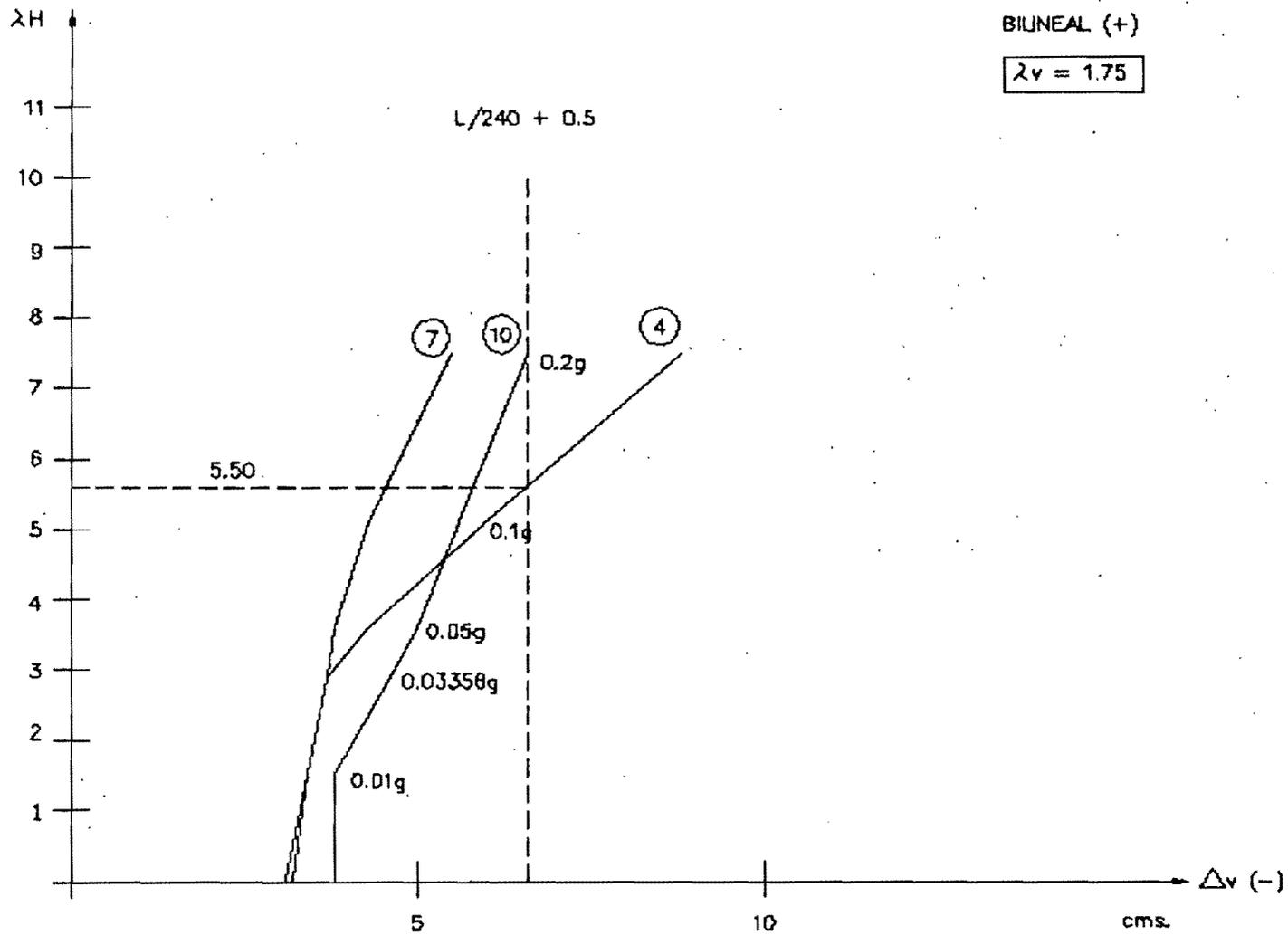


MARCO DE BUEN
 (λH) vs. (FLECHA EN TRABES)

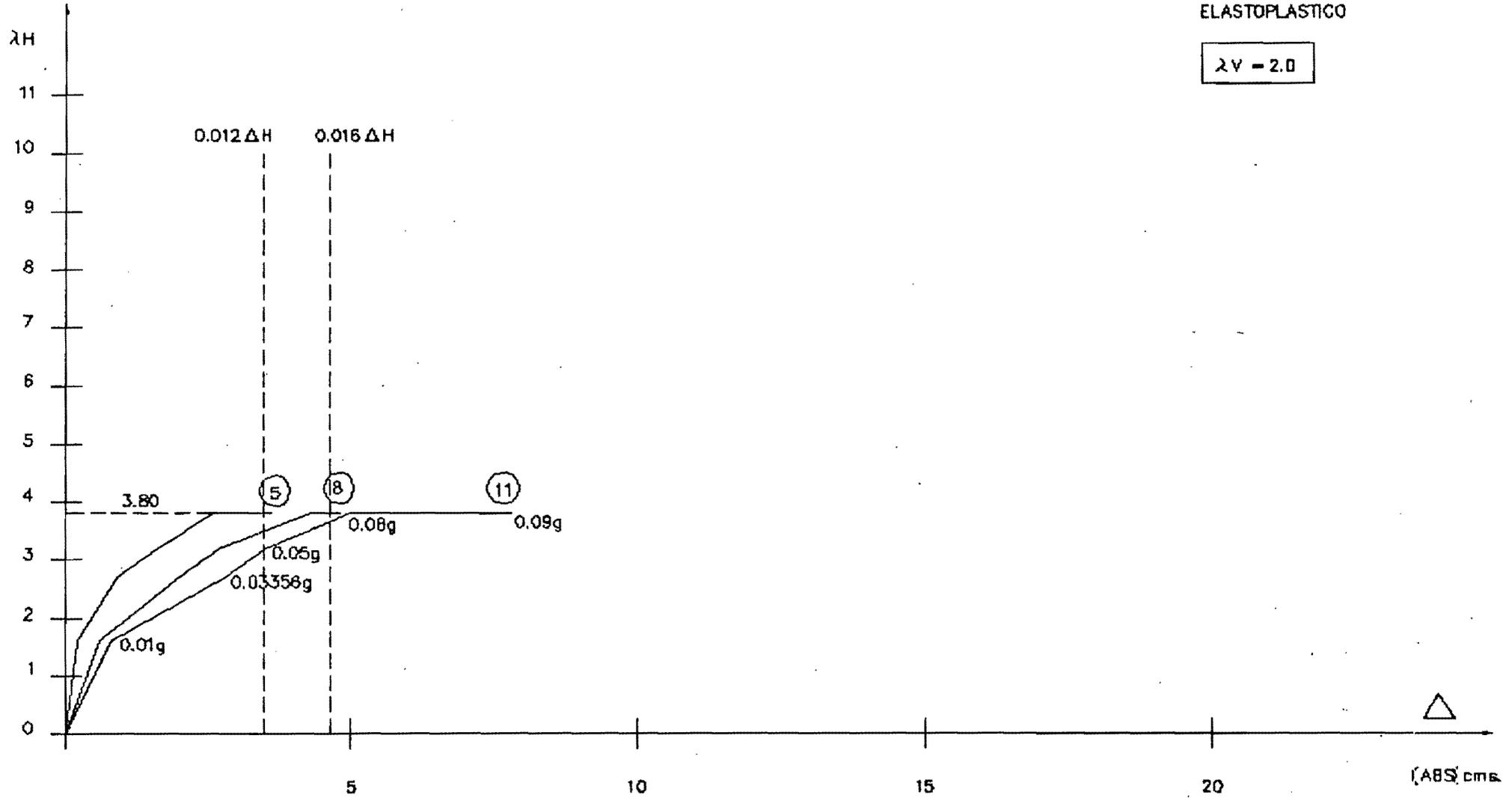


MARCO DE BUEN

($\lambda H = f$: ACCELERACION PICO) vs. (DESPLAZAMIENTO LATERAL MAXIMO)

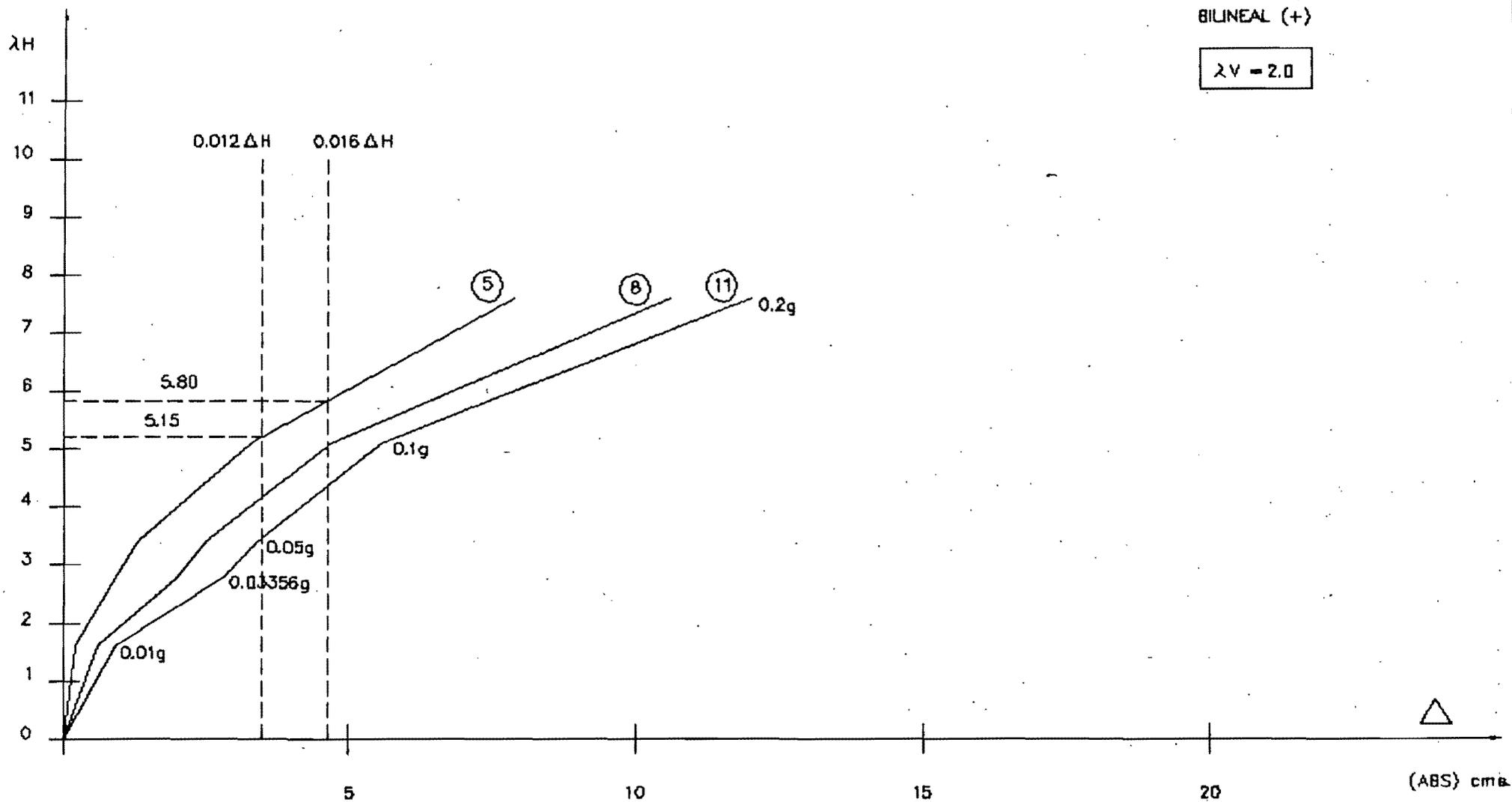


MARCO DE BUEN
 (λH) vs. (FLECHA EN TRABES)



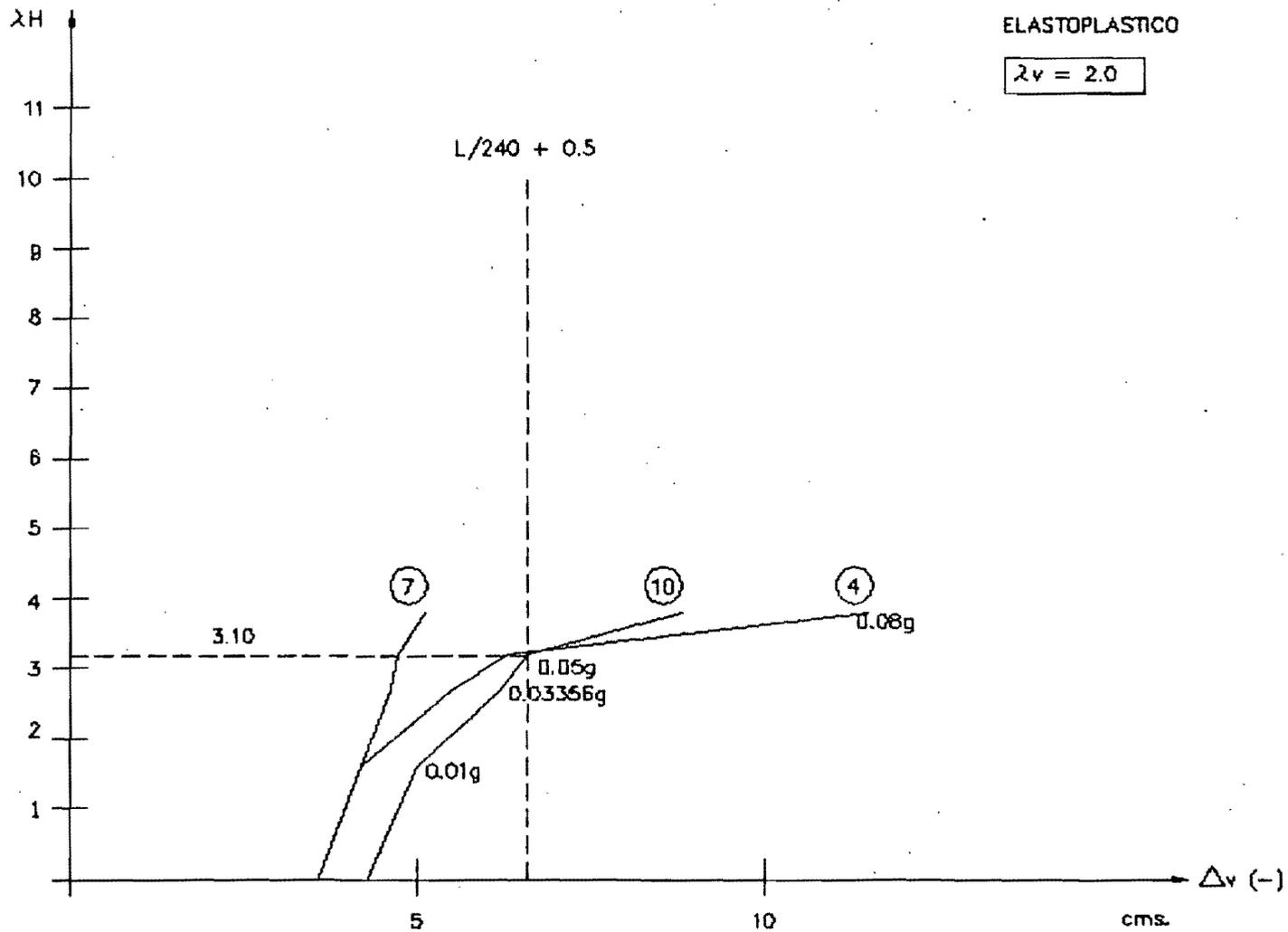
MARCO DE BUEN

($\lambda H = f$: ACCELERACION PICO) vs. (DESPLAZAMIENTO LATERAL MAXIMO)

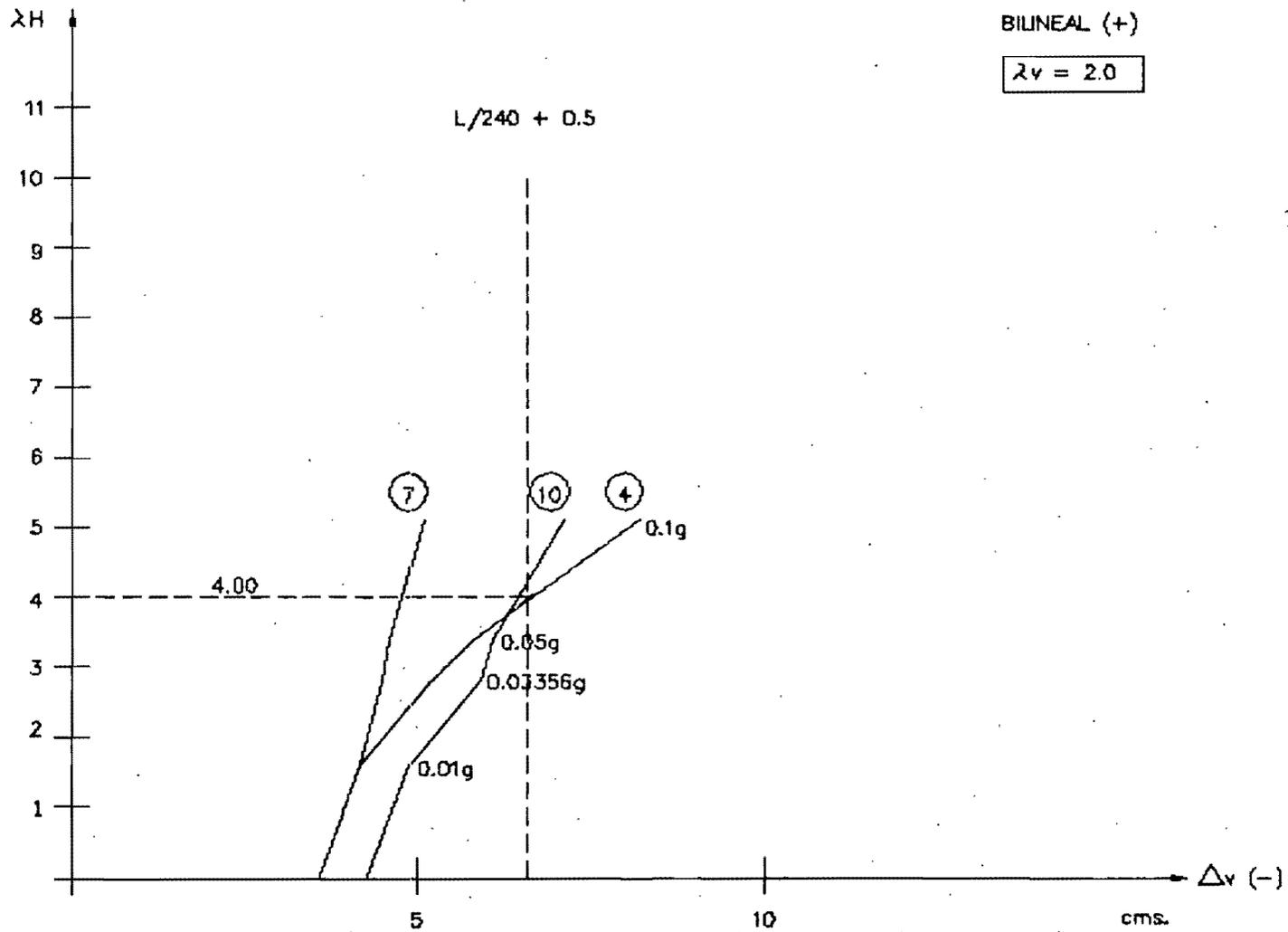


MARCO DE BUEN

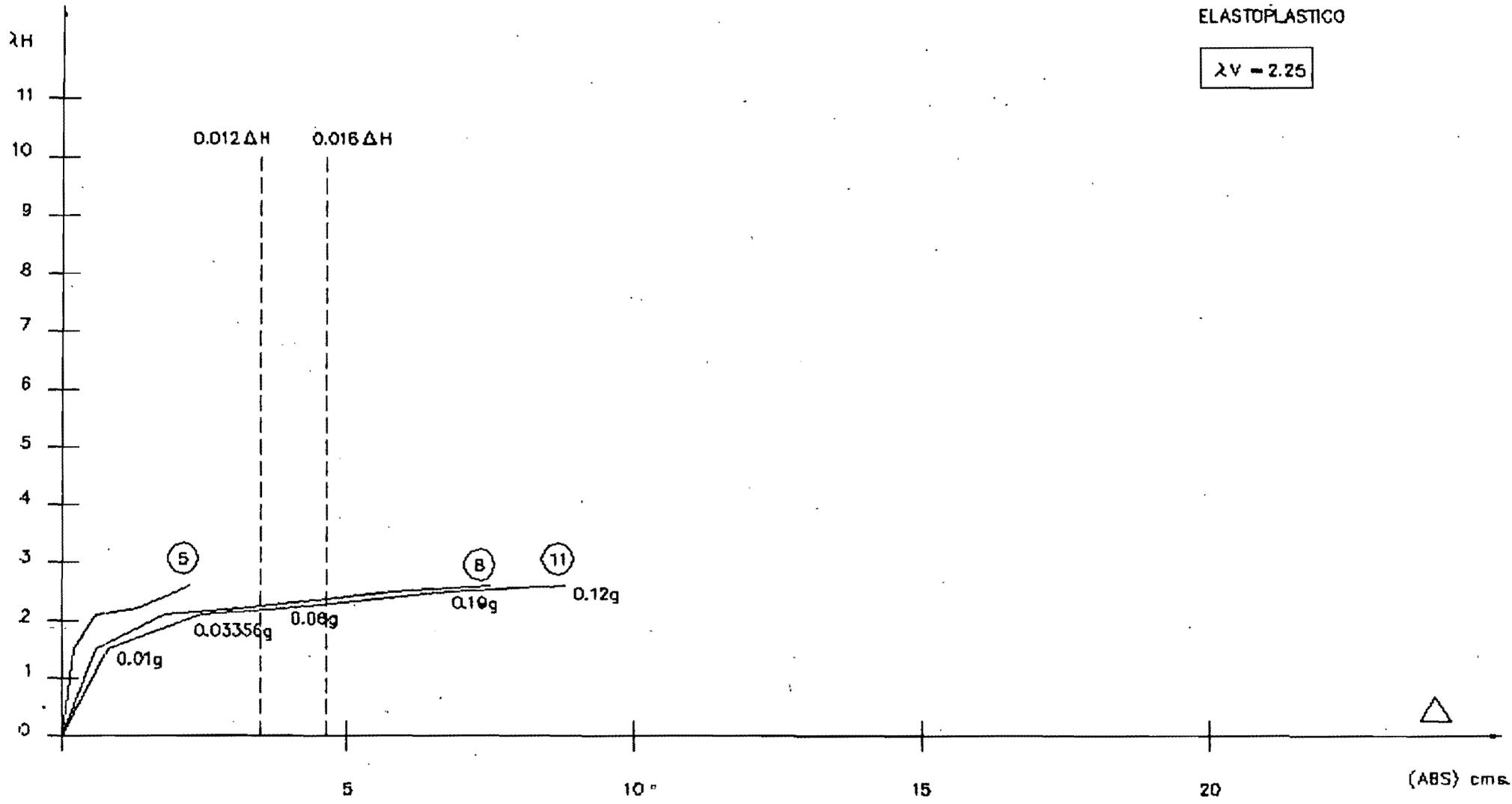
($\lambda H = f$: ACELERACION PICO) vs. (DESPLAZAMIENTO LATERAL MAXIMO)



MARCO DE BUEN
 (λH) vs. (FLECHA EN TRABES)

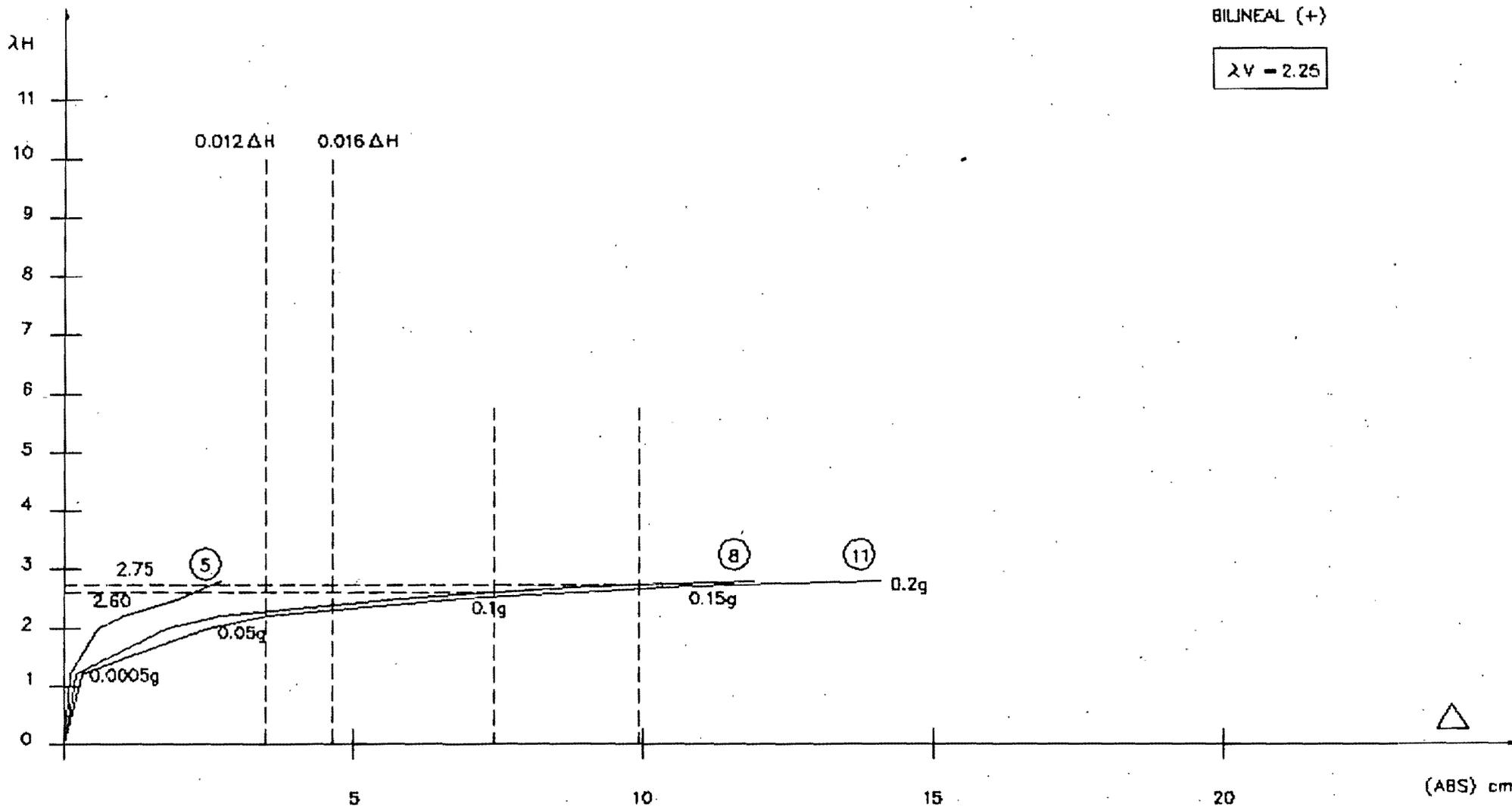


MARCO DE BUEN
 (λH) vs. (FLECHA EN TRABES)



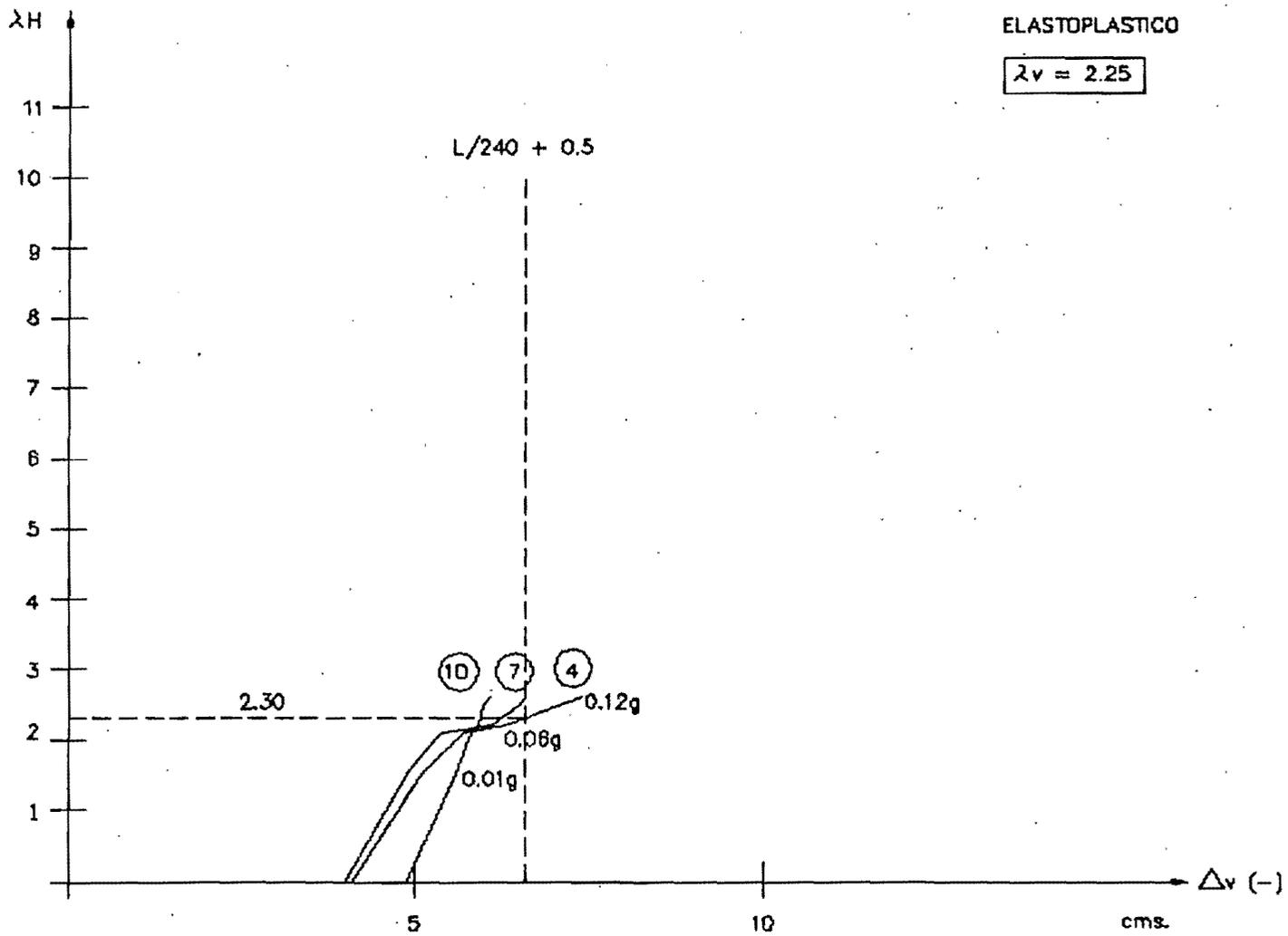
MARCO DE BUEN

($\lambda H = f$: ACCELERACION PICO) vs. (DESPLAZAMIENTO LATERAL MAXIMO)

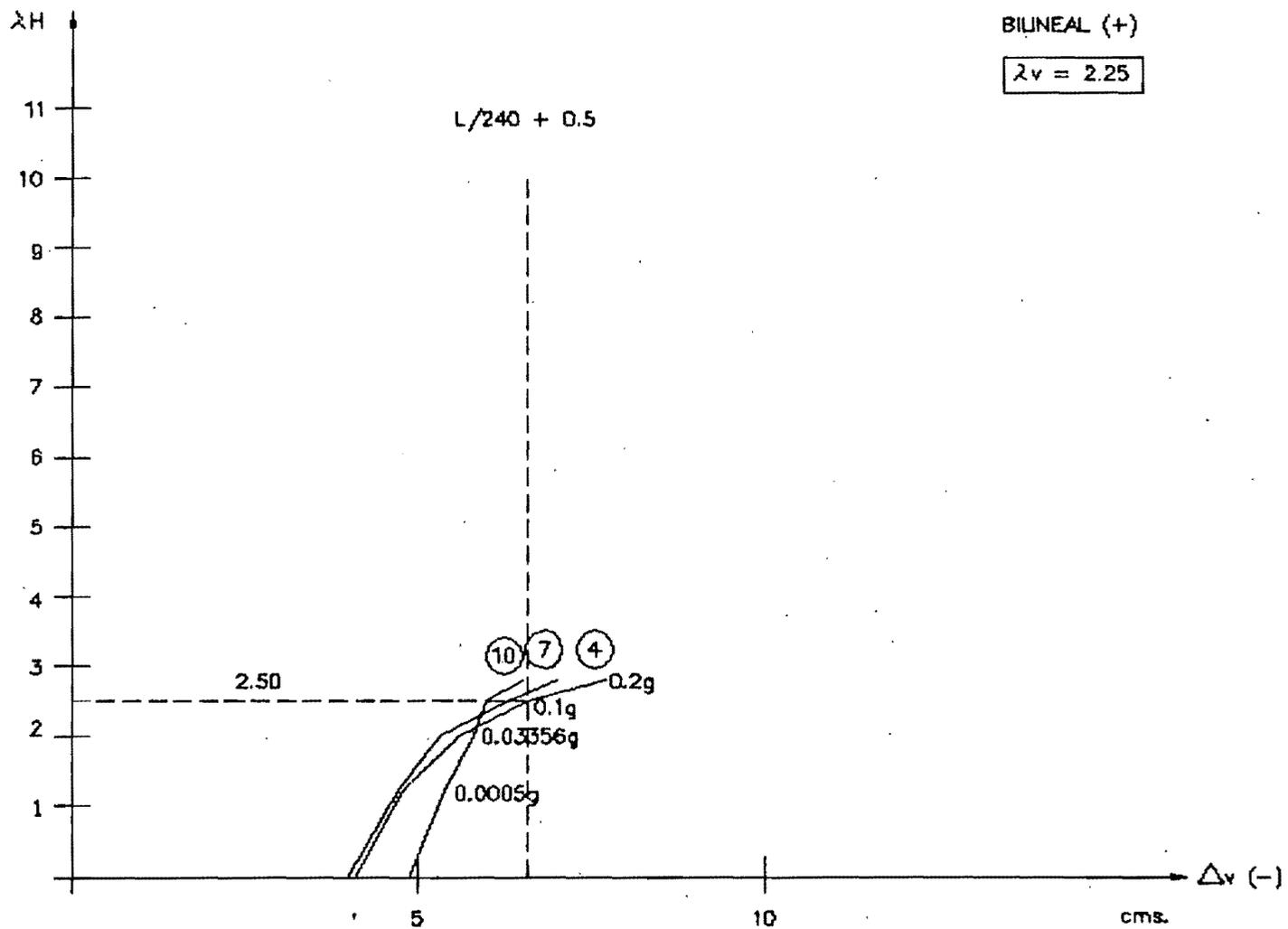


MARCO DE BUEN

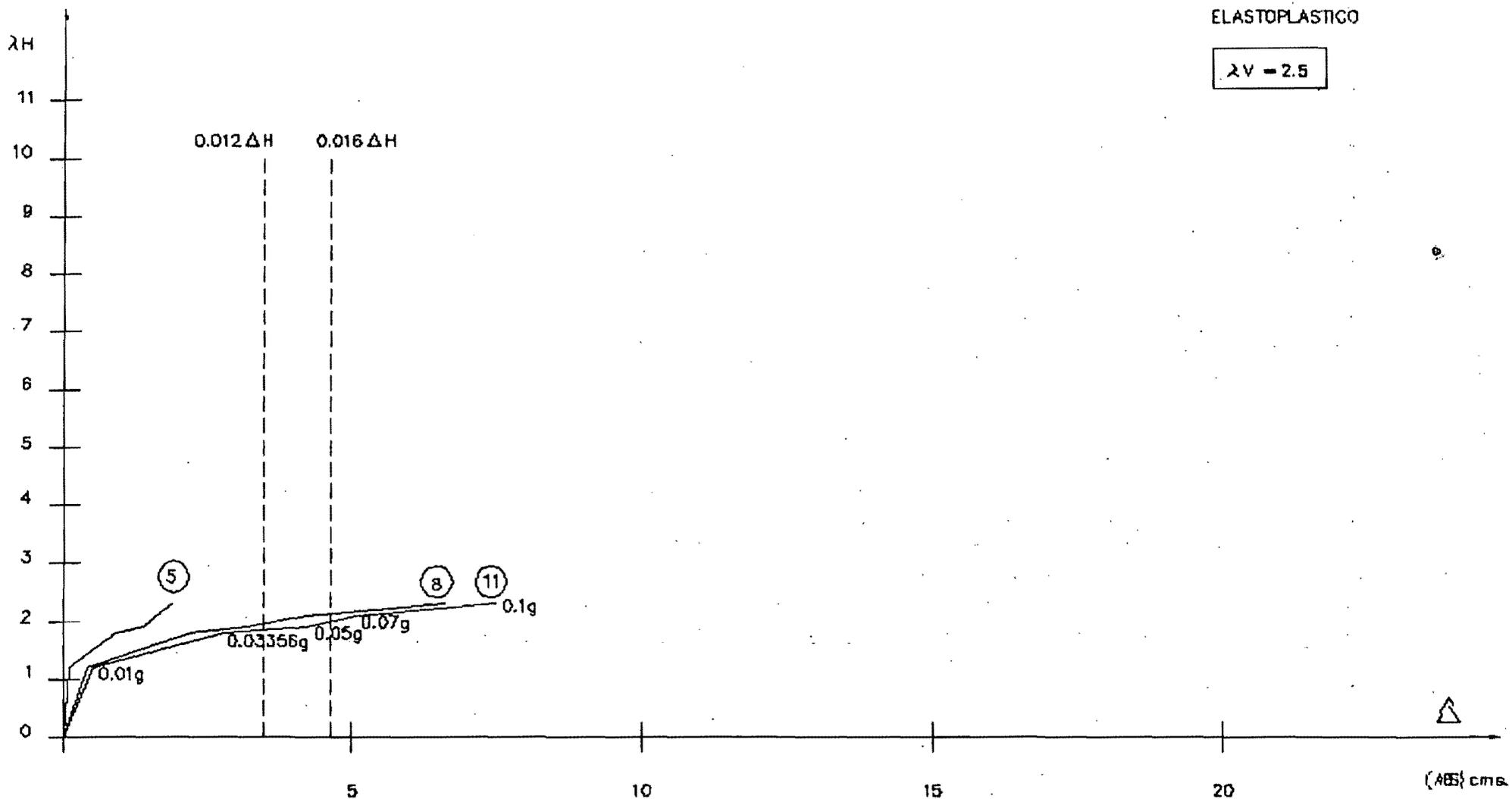
($\lambda H = f$: ACCELERACION PICO) vs. (DESPLAZAMIENTO LATERAL MAXIMO)



MARCO DE BUEN
 (λH) vs. (FLECHA EN TRABES)

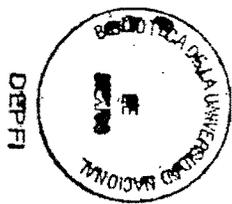
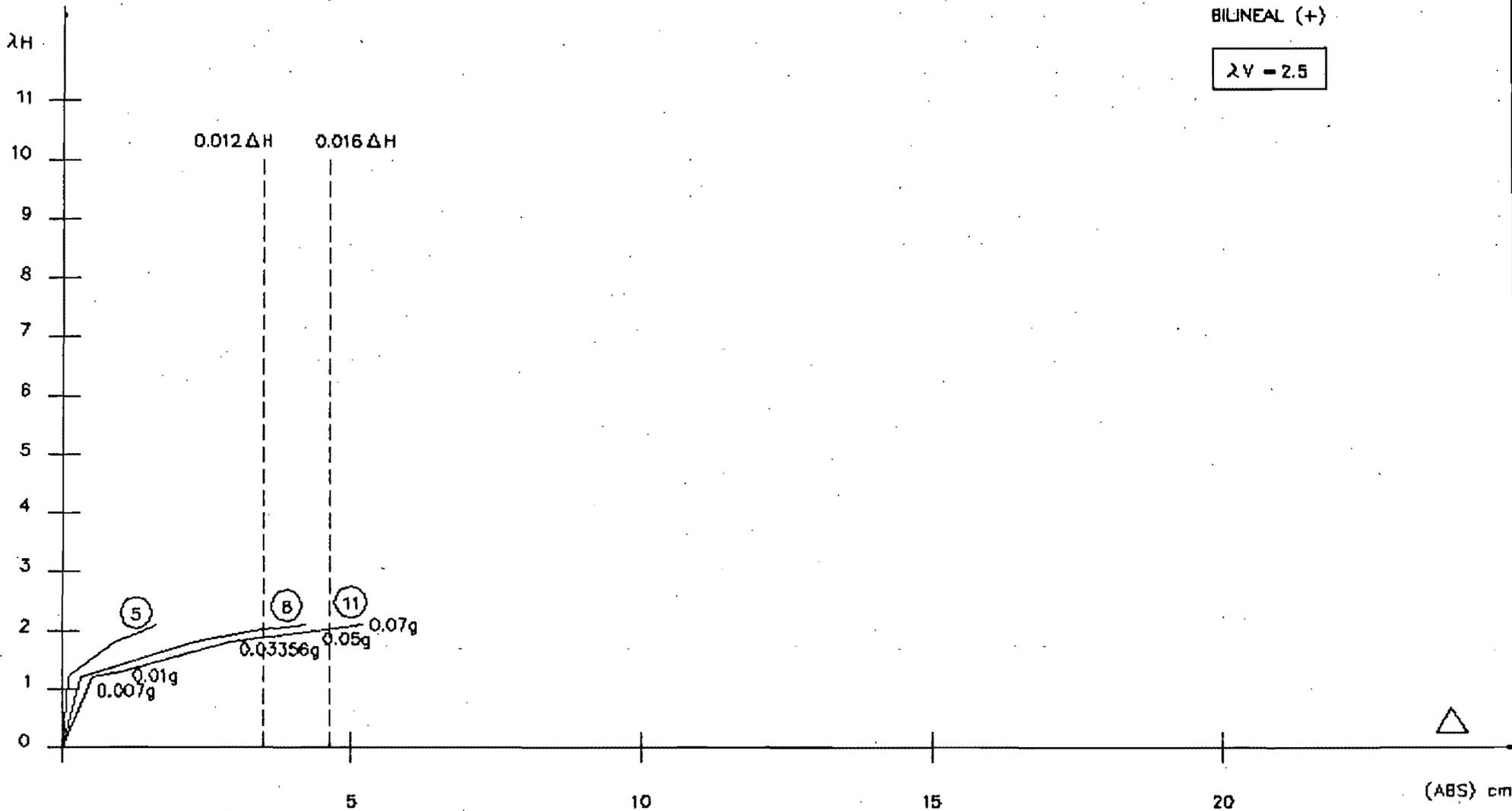


MARCO DE BUEN
 (λH) vs. (FLECHA EN TRABES)



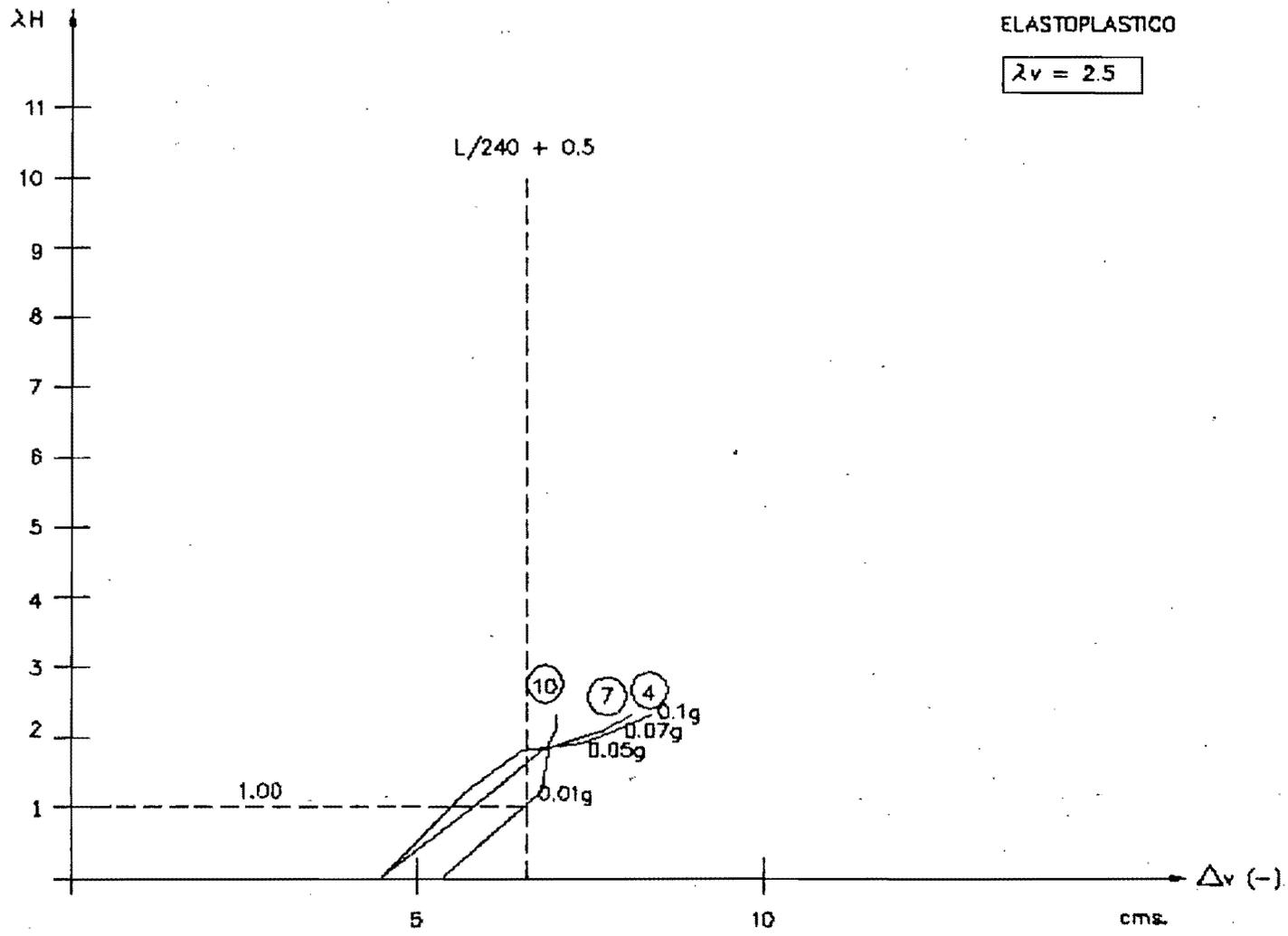
MARCO DE BUEN

($\lambda H = f$: ACELERACION PICO) vs. (DESPLAZAMIENTO LATERAL MAXIMO)

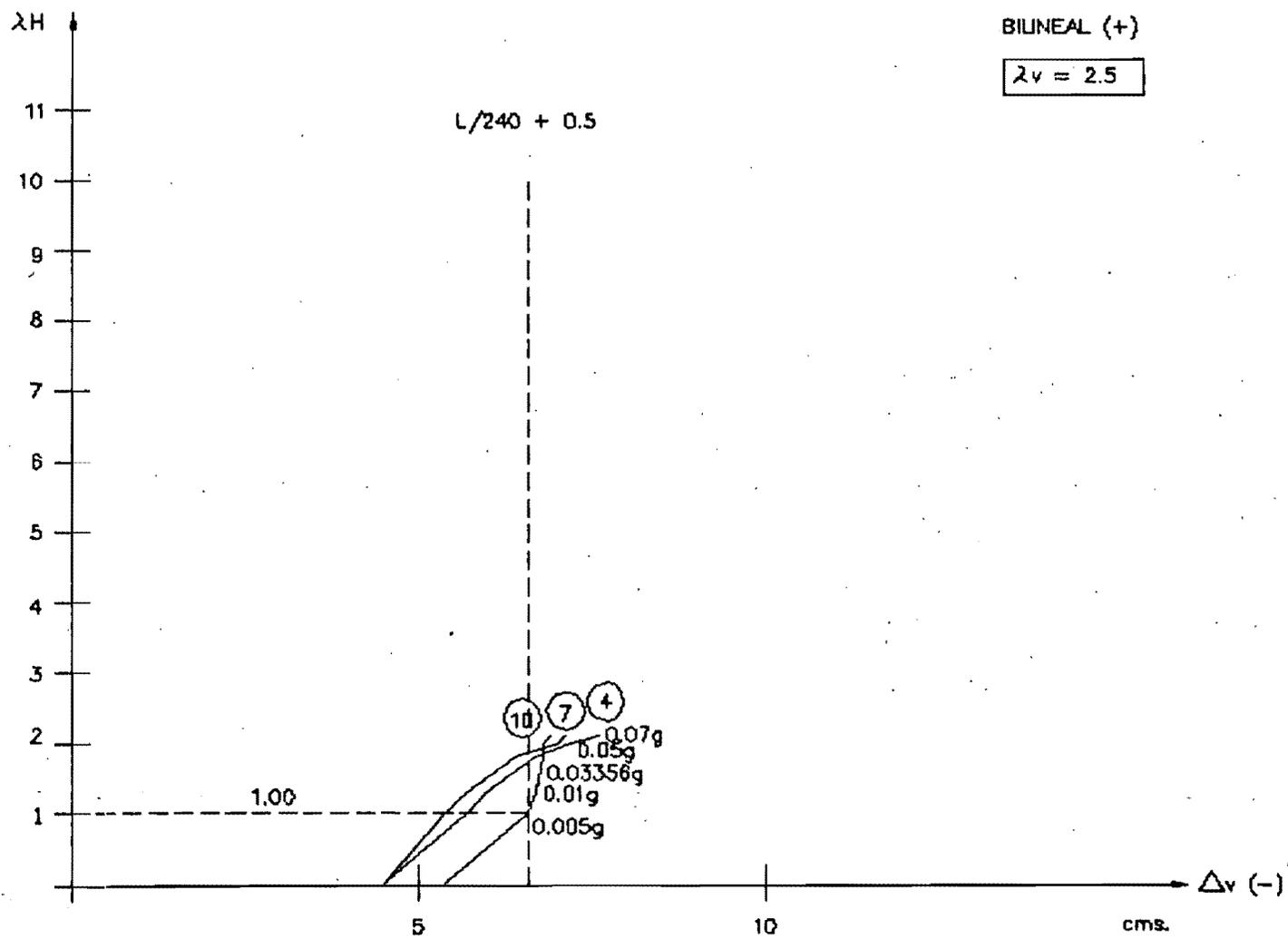


MARCO DE BUEN

($\lambda H = f$: ACCELERACION PICO) vs. (DESPLAZAMIENTO LATERAL MAXIMO)



MARCO DE BUEN
 (λH) vs. (FLECHA EN TRABES)



MARCO DE BUEN
 (λH) vs. (FLECHA EN TRABES)

DESPLAZAMIENTO LATERAL

$\lambda V = 0.1$

2M

1

0

1

2

3

4

5

NUDO

(1)

(2)

(3)

(4)

(5)

(6)

(7)

(8)

(9)

(10)

(11)

(12)

$\lambda V = 1.2$

0.39

0.44

0.54

0.69

0.89

1.19

1.69

2.39

3.29

4.39

5.69

7.19

8.89

10.69

2M

1

0

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

28

29

30

31

32

33

34

35

36

37

38

39

40

41

42

43

44

45

46

47

48

49

50

51

52

53

54

55

56

57

58

59

60

61

62

63

64

65

66

67

68

69

70

71

72

73

74

75

76

77

78

79

80

81

82

83

84

85

86

87

88

89

90

91

92

93

94

95

96

97

98

99

100

101

102

103

104

105

106

107

108

109

110

111

112

113

114

115

116

117

118

119

120

121

122

123

124

125

126

127

128

129

130

131

132

133

134

135

136

137

138

139

140

141

142

143

144

145

146

147

148

149

150

151

152

153

154

155

156

157

158

159

160

161

162

163

164

165

166

167

168

169

170

171

172

173

174

175

176

177

178

179

180

181

182

183

184

185

186

187

188

189

190

191

192

193

194

195

196

197

198

199

200

201

202

203

204

205

206

207

208

209

210

211

212

213

214

215

216

217

218

219

220

221

222

223

224

225

226

227

228

229

230

231

232

233

234

235

236

237

238

239

240

241

242

243

244

245

246

247

248

249

250

251

252

253

254

255

256

257

258

259

260

261

262

263

264

265

266

267

268

269

270

271

272

273

274

275

276

277

278

279

280

281

282

283

284

285

286

287

288

289

290

291

292

293

294

295

296

297

DISPERSED ELASTIC LATERAL

$\lambda V = 0.25$

λV

7

6

5

4

3

2

1

0

0.0040

(1)

(2)

(3)

(4)

(5)

0.019

(6)

(7)

(8)

(9)

0.029

(10)

(11)

(12)

0.015

(13)

(14)

(15)

(16)

(17)

(18)

(19)

(20)

(21)

(22)

(23)

(24)

(25)

(26)

(27)

(28)

(29)

(30)

(31)

(32)

(33)

(34)

(35)

(36)

(37)

(38)

(39)

(40)

(41)

(42)

(43)

(44)

(45)

(46)

(47)

(48)

(49)

(50)

(51)

(52)

(53)

(54)

(55)

(56)

(57)

(58)

(59)

(60)

(61)

(62)

(63)

(64)

(65)

(66)

(67)

(68)

(69)

(70)

(71)

(72)

(73)

(74)

(75)

(76)

(77)

(78)

(79)

(80)

(81)

(82)

(83)

(84)

(85)

(86)

(87)

(88)

(89)

(90)

(91)

(92)

(93)

(94)

(95)

(96)

(97)

(98)

(99)

(100)

(101)

(102)

(103)

(104)

(105)

(106)

(107)

(108)

(109)

(110)

(111)

(112)

(113)

(114)

(115)

(116)

(117)

(118)

(119)

(120)

(121)

(122)

(123)

(124)

(125)

(126)

(127)

(128)

(129)

(130)

(131)

(132)

(133)

(134)

(135)

(136)

(137)

(138)

(139)

(140)

(141)

(142)

(143)

(144)

(145)

(146)

(147)

(148)

(149)

(150)

(151)

(152)

(153)

(154)

(155)

(156)

(157)

(158)

(159)

(160)

(161)

(162)

(163)

(164)

(165)

(166)

(167)

(168)

(169)

(170)

(171)

(172)

(173)

(174)

(175)

(176)

(177)

(178)

(179)

(180)

(181)

(182)

(183)

(184)

(185)

(186)

(187)

(188)

(189)

(190)

(191)

(192)

(193)

(194)

(195)

(196)

(197)

(198)

(199)

(200)

(201)

(202)

(203)

(204)

(205)

(206)

(207)

(208)

(209)

(210)

(211)

(212)

(213)

(214)

(215)

(216)

(217)

(218)

(219)

(220)

(221)

(222)

(223)

(224)

(225)

(226)

(227)

(228)

(229)

(230)

(231)

(232)

(233)

(234)

(235)

(236)

(237)

(238)

(239)

(240)

(241)

(242)

(243)

(244)

(245)

(246)

(247)

(248)

(249)

(250)

(251)

(252)

(253)

(254)

(255)

(256)

(257)

(258)

(259)

(260)

(261)

(262)

(263)

(264)

(265)

(266)

(267)

(268)

(269)

(270)

(271)

(272)

(273)

(274)

(275)

(276)

(277)

(278)

(279)

(280)

(281)

(282)

(283)

(284)

DESPLAZAMIENTO LATERAL

$\lambda = 0.5$

ΔH

7
6
5

(11) $\lambda = 3.95$

(12) $\lambda = 0.119$

(13) $\lambda = 0.173$

(14) $\lambda = 0.23$

(15) $\lambda = 0.29$

(16) $\lambda = 0.35$

(17) $\lambda = 0.41$

(18) $\lambda = 0.47$

(19) $\lambda = 0.53$

(20) $\lambda = 0.59$

(21) $\lambda = 0.65$

(22) $\lambda = 0.71$

(23) $\lambda = 0.77$

(24) $\lambda = 0.83$

(25) $\lambda = 0.89$

(26) $\lambda = 0.95$

(27) $\lambda = 1.01$

(28) $\lambda = 1.07$

(29) $\lambda = 1.13$

(30) $\lambda = 1.19$

(31) $\lambda = 1.25$

(32) $\lambda = 1.31$

(33) $\lambda = 1.37$

(34) $\lambda = 1.43$

(35) $\lambda = 1.49$

(36) $\lambda = 1.55$

(37) $\lambda = 1.61$

(38) $\lambda = 1.67$

(39) $\lambda = 1.73$

(40) $\lambda = 1.79$

(41) $\lambda = 1.85$

(42) $\lambda = 1.91$

(43) $\lambda = 1.97$

(44) $\lambda = 2.03$

(45) $\lambda = 2.09$

(46) $\lambda = 2.15$

(47) $\lambda = 2.21$

(48) $\lambda = 2.27$

(49) $\lambda = 2.33$

(50) $\lambda = 2.39$

(51) $\lambda = 2.45$

(52) $\lambda = 2.51$

(53) $\lambda = 2.57$

(54) $\lambda = 2.63$

(55) $\lambda = 2.69$

(56) $\lambda = 2.75$

(57) $\lambda = 2.81$

(58) $\lambda = 2.87$

(59) $\lambda = 2.93$

(60) $\lambda = 2.99$

(61) $\lambda = 3.05$

(62) $\lambda = 3.11$

(63) $\lambda = 3.17$

(64) $\lambda = 3.23$

(65) $\lambda = 3.29$

(66) $\lambda = 3.35$

(67) $\lambda = 3.41$

(68) $\lambda = 3.47$

(69) $\lambda = 3.53$

(70) $\lambda = 3.59$

(71) $\lambda = 3.65$

(72) $\lambda = 3.71$

(73) $\lambda = 3.77$

(74) $\lambda = 3.83$

(75) $\lambda = 3.89$

(76) $\lambda = 3.95$

(77) $\lambda = 4.01$

(78) $\lambda = 4.07$

(79) $\lambda = 4.13$

(80) $\lambda = 4.19$

(81) $\lambda = 4.25$

(82) $\lambda = 4.31$

(83) $\lambda = 4.37$

(84) $\lambda = 4.43$

(85) $\lambda = 4.49$

(86) $\lambda = 4.55$

(87) $\lambda = 4.61$

(88) $\lambda = 4.67$

(89) $\lambda = 4.73$

(90) $\lambda = 4.79$

(91) $\lambda = 4.85$

(92) $\lambda = 4.91$

(93) $\lambda = 4.97$

(94) $\lambda = 5.03$

(95) $\lambda = 5.09$

(96) $\lambda = 5.15$

(97) $\lambda = 5.21$

(98) $\lambda = 5.27$

(99) $\lambda = 5.33$

(100) $\lambda = 5.39$

(101) $\lambda = 5.45$

(102) $\lambda = 5.51$

(103) $\lambda = 5.57$

(104) $\lambda = 5.63$

(105) $\lambda = 5.69$

(106) $\lambda = 5.75$

(107) $\lambda = 5.81$

(108) $\lambda = 5.87$

(109) $\lambda = 5.93$

(110) $\lambda = 5.99$

(111) $\lambda = 6.05$

(112) $\lambda = 6.11$

(113) $\lambda = 6.17$

(114) $\lambda = 6.23$

(115) $\lambda = 6.29$

(116) $\lambda = 6.35$

(117) $\lambda = 6.41$

(118) $\lambda = 6.47$

(119) $\lambda = 6.53$

(120) $\lambda = 6.59$

(121) $\lambda = 6.65$

(122) $\lambda = 6.71$

(123) $\lambda = 6.77$

(124) $\lambda = 6.83$

(125) $\lambda = 6.89$

(126) $\lambda = 6.95$

(127) $\lambda = 7.01$

(128) $\lambda = 7.07$

(129) $\lambda = 7.13$

(130) $\lambda = 7.19$

(131) $\lambda = 7.25$

(132) $\lambda = 7.31$

(133) $\lambda = 7.37$

(134) $\lambda = 7.43$

(135) $\lambda = 7.49$

(136) $\lambda = 7.55$

(137) $\lambda = 7.61$

(138) $\lambda = 7.67$

(139) $\lambda = 7.73$

(140) $\lambda = 7.79$

(141) $\lambda = 7.85$

(142) $\lambda = 7.91$

(143) $\lambda = 7.97$

(144) $\lambda = 8.03$

(145) $\lambda = 8.09$

(146) $\lambda = 8.15$

(147) $\lambda = 8.21$

(148) $\lambda = 8.27$

(149) $\lambda = 8.33$

(150) $\lambda = 8.39$

(151) $\lambda = 8.45$

(152) $\lambda = 8.51$

(153) $\lambda = 8.57$

(154) $\lambda = 8.63$

(155) $\lambda = 8.69$

(156) $\lambda = 8.75$

(157) $\lambda = 8.81$

(158) $\lambda = 8.87$

(159) $\lambda = 8.93$

(160) $\lambda = 8.99$

(161) $\lambda = 9.05$

(162) $\lambda = 9.11$

(163) $\lambda = 9.17$

(164) $\lambda = 9.23$

(165) $\lambda = 9.29$

(166) $\lambda = 9.35$

(167) $\lambda = 9.41$

(168) $\lambda = 9.47$

(169) $\lambda = 9.53$

(170) $\lambda = 9.59$

(171) $\lambda = 9.65$

(172) $\lambda = 9.71$

(173) $\lambda = 9.77$

(174) $\lambda = 9.83$

(175) $\lambda = 9.89$

(176) $\lambda = 9.95$

(177) $\lambda = 10.01$

(178) $\lambda = 10.07$

(179) $\lambda = 10.13$

(180) $\lambda = 10.19$

(181) $\lambda = 10.25$

(182) $\lambda = 10.31$

(183) $\lambda = 10.37$

(184) $\lambda = 10.43$

(185) $\lambda = 10.49$

(186) $\lambda = 10.55$

(187) $\lambda = 10.61$

(188) $\lambda = 10.67$

(189) $\lambda = 10.73$

(190) $\lambda = 10.79$

(191) $\lambda = 10.85$

(192) $\lambda = 10.91$

(193) $\lambda = 10.97$

(194) $\lambda = 11.03$

(195) $\lambda = 11.09$

(196) $\lambda = 11.15$

(197) $\lambda = 11.21$

(198) $\lambda = 11.27$

(199) $\lambda = 11.33$

(200) $\lambda = 11.39$

(201) $\lambda = 11.45$

(202) $\lambda = 11.51$

(203) $\lambda = 11.57$

(204) $\lambda = 11.63$

(205) $\lambda = 11.69$

(206) $\lambda = 11.75$

(207) $\lambda = 11.81$

(208) $\lambda = 11.87$

(209) $\lambda = 11.93$

(210) $\lambda = 11.99$

(211) $\lambda = 12.05$

(212) $\lambda = 12.11$

(213) $\lambda = 12.17$

(214) $\lambda = 12.23$

(215) $\lambda = 12.29$

(216) $\lambda = 12.35$

(217) $\lambda = 12.41$

(218) $\lambda = 12.47$

(219) $\lambda = 12.53$

(220) $\lambda = 12.59$

(221) $\lambda = 12.65$

(222) $\lambda = 12.71$

(223) $\lambda = 12.77$

(224) $\lambda = 12.83$

(225) $\lambda = 12.89$

(226) $\lambda = 12.95$

(227) $\lambda = 13.01$

(228) $\lambda = 13.07$

(229) $\lambda = 13.13$

(230) $\lambda = 13.19$

(231) $\lambda = 13.25$

(232) $\lambda = 13.31$

(233) $\lambda = 13.37$

(234) $\lambda = 13.43$

(235) $\lambda = 13.49$

(236) $\lambda = 13.55$

(237) $\lambda = 13.61$

(238) $\lambda = 13.67$

(239) $\lambda = 13.73$

(240) $\lambda = 13.79$

(241) $\lambda = 13.85$

(242) $\lambda = 13.91$

(243) $\lambda = 13.97$

(244) $\lambda = 14.03$

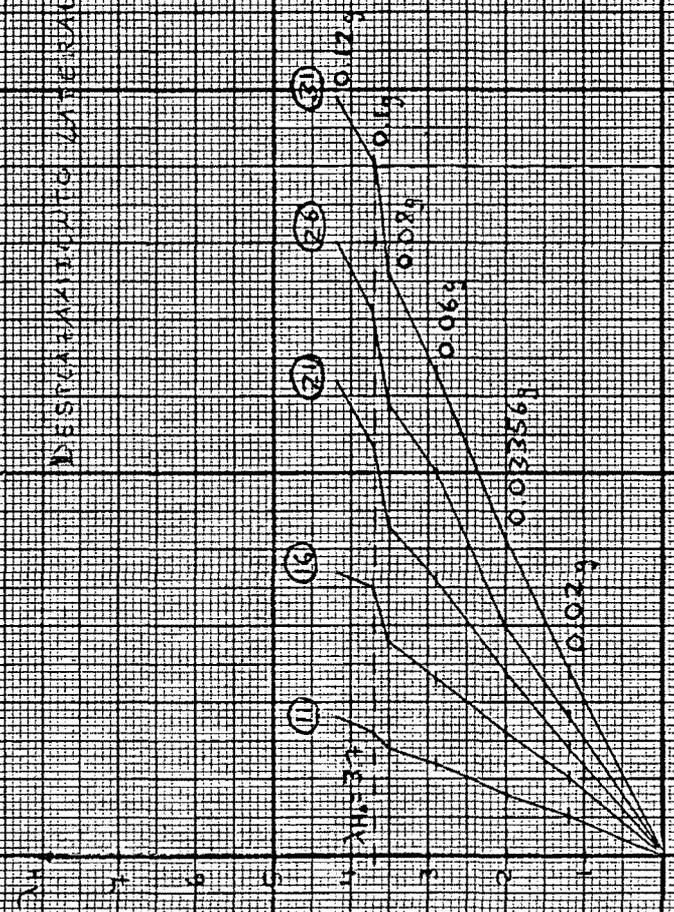
(245) $\lambda = 14.09$

(246) $\lambda = 14.15$

XVE 015

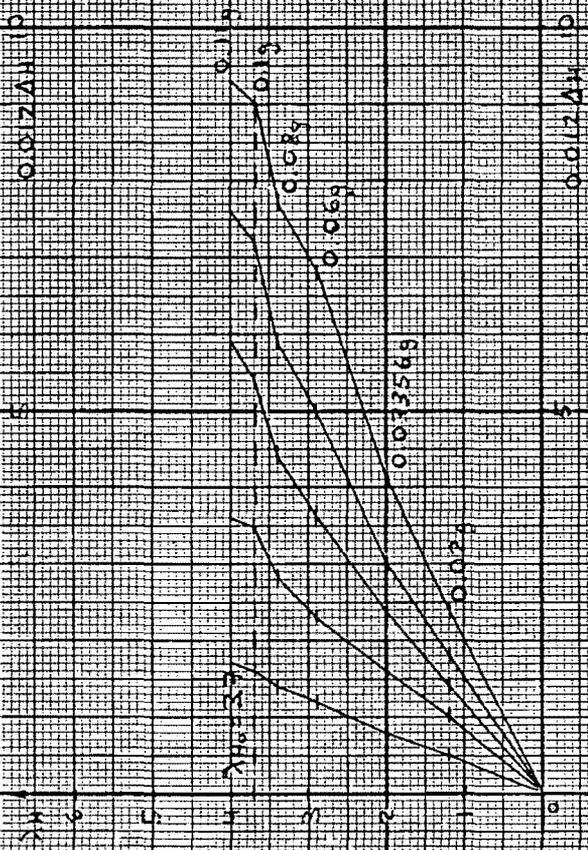
DESIGNATED LATERAL

BILMATERIAL (4)



DESIGNATED LATERAL

ELASTOMERITE

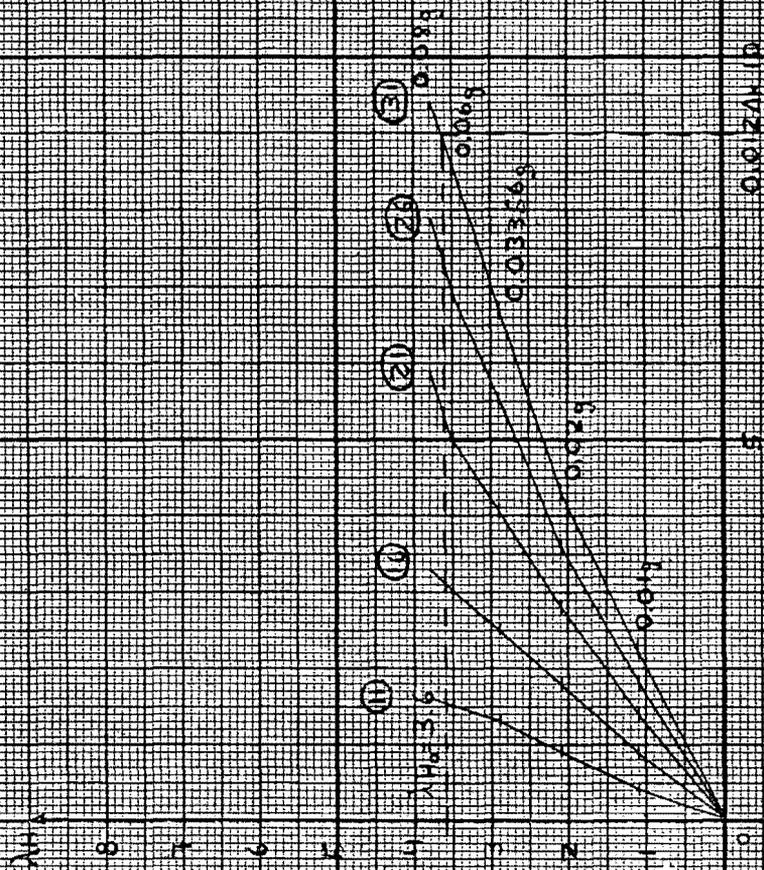


DESIGNATED LATERAL

DETERMINACIÓN MATERIAL

AVS 110

BRUNEAU (-)



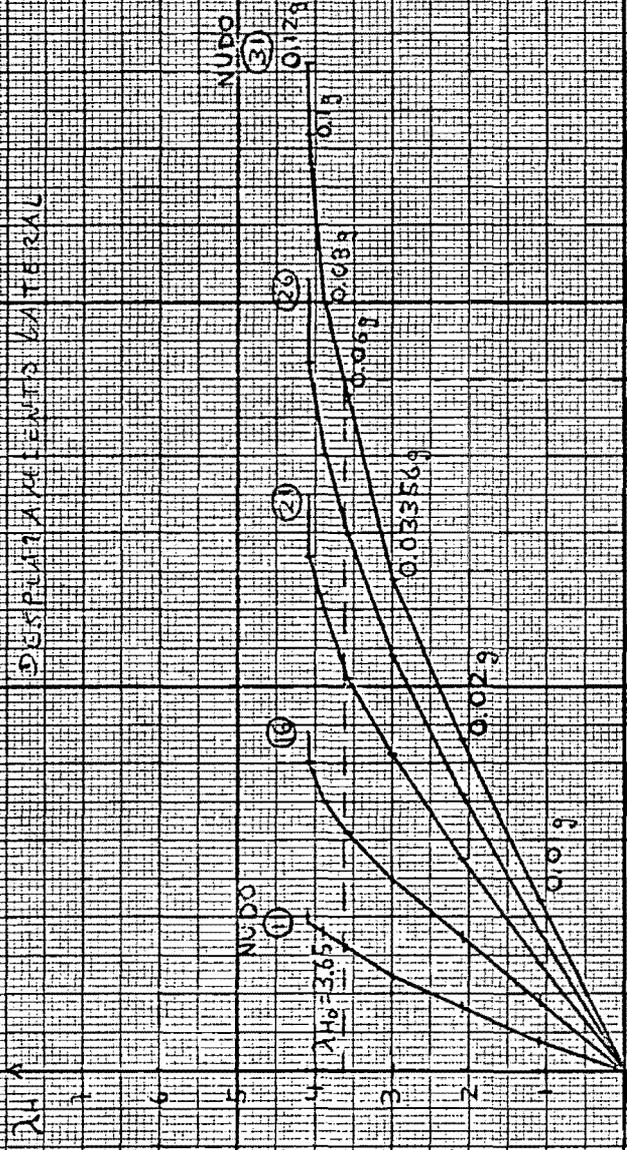
MARGEN VARIANZA

$\Delta H = (\text{Categorización Pico}) \cdot V_r$ (Determinación Material Planada)

DESPLAZAMIENTOS LATERAL

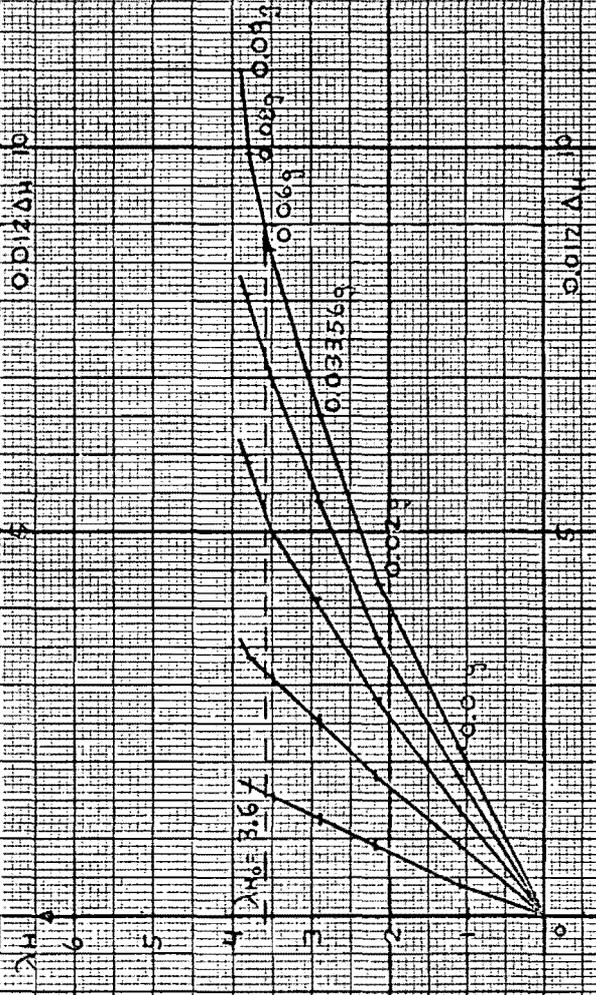
Δ VELO

NUBO
BILINEAL (H)



LAST (5.0)

ELASTOPLASTICO



LAST (5.0)

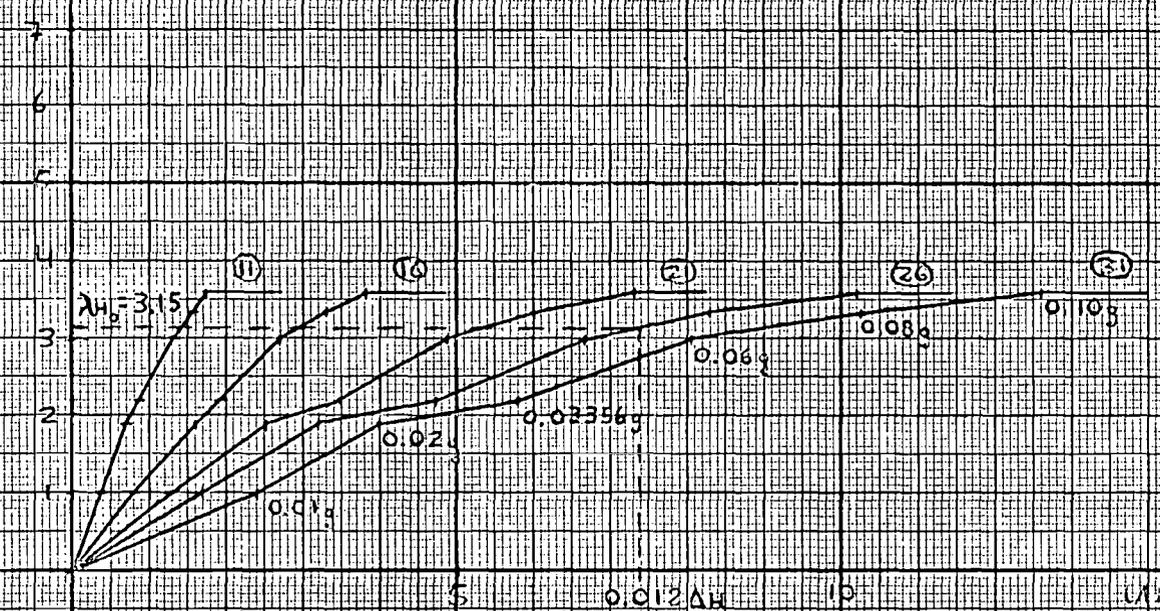
MARCO VALLANCE

$$\Delta H = f(\Delta H_0, \text{Elasticity}, \text{Plasticity})$$

ΔH

DESPLACEMENTS LATERAL

$\lambda_v = 1.25$

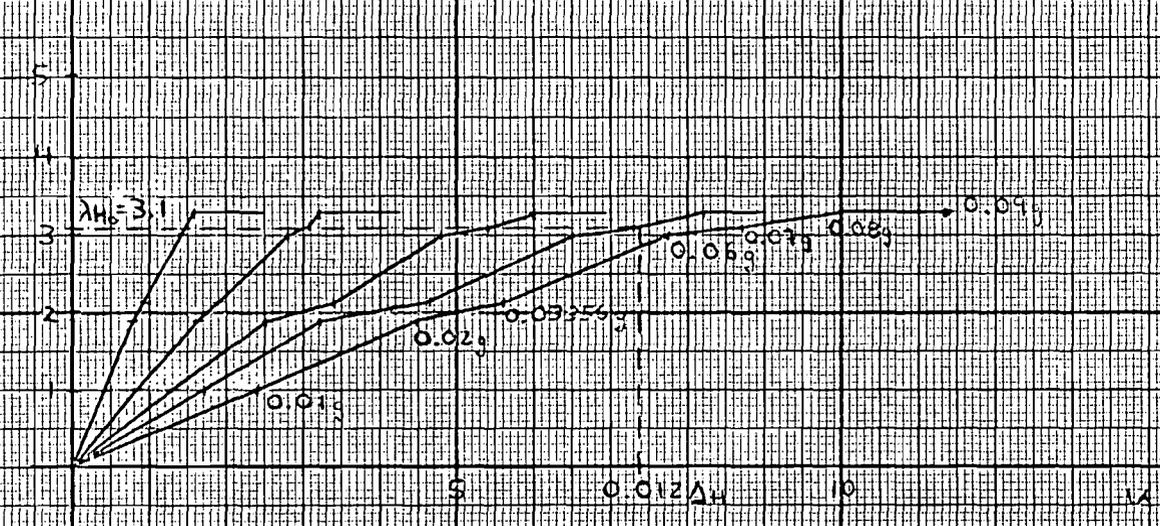


BILINEAR

ΔH

MARCO VALLANCE

ELASTOPLASTICO

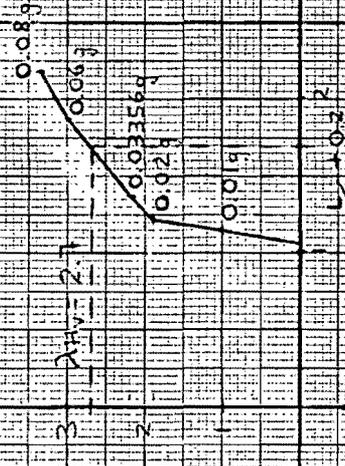


$\Delta H = 6$ (ACCELERATION PEAK) V_0 (DESP. LATERAL MAX. PEAK)

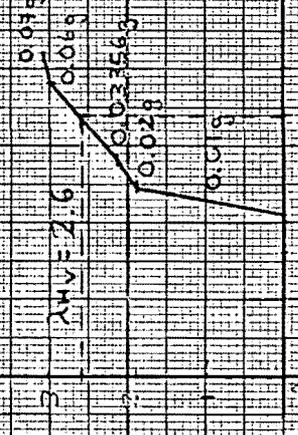
DISPLACEMENTS VERTICAL
WIND 30

$\Delta V = 1.25$

BEFORE ELAS



ELASTOPLASTIC

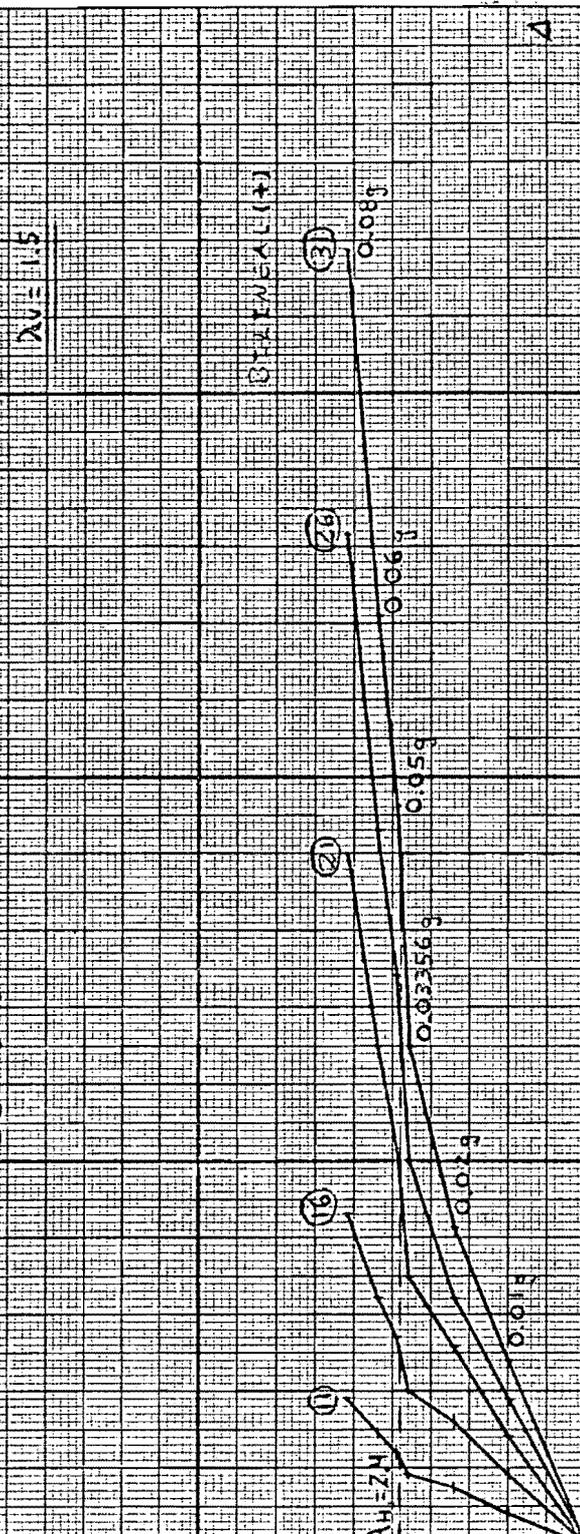


(ΔH) ΔV (FLEXION OUTWARDS)

DESPLACEMENTS LAT BRAC

$\lambda = 1.5$

λ_H



A

λ_H



A

MARCS MANUCL

UNIT (Acceleration Factor) Vertical (Internal Materials)

(MRS) 20

15

10

5

λ_H

5

4

3

2

1

0

λ

5

10

15

20

(MRS) 20

A

λ_{HA}

DESPLAZAMIENTO VERTICAL
MUDO 30

$\lambda_V = 1.5$

7

6

5

4

3

2

1

0

λ_{VA}

5

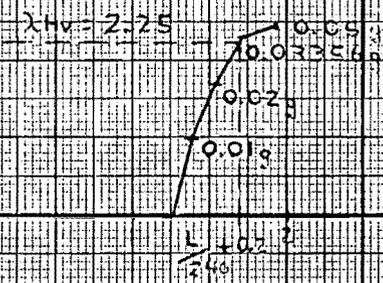
4

3

2

1

0

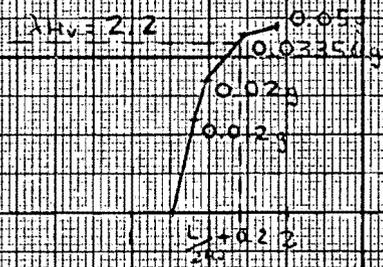


$\Delta V (-)$

mm

RETORNO A (0)

ELASTOPLASTICO



$\Delta V (+)$

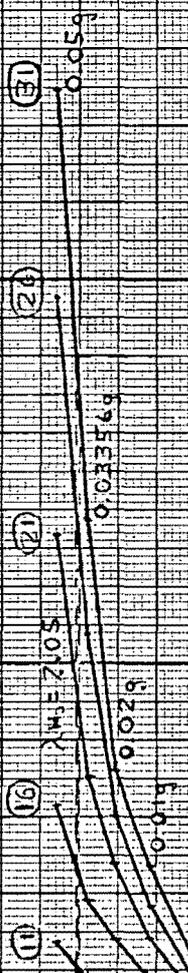
mm

(MUDO 30) (Elastic)

DESPLAZAMIENTO ZATERRA

$\lambda_H = 1.75$

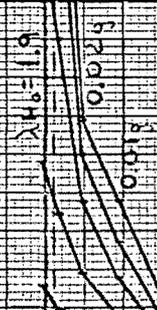
BILWEX (11)



5 CABSI 20

0.032410

GLANTOMASTICO



15 MBSJ 20

0.012410

MARCO VALLANEE

$\lambda_H = 1.9$ (MATERIAL) (MATERIAL)

AVI 175

DESPLAZAMIENTO VERTICAL
Nudo 30

BELIWEA

SLABTORQUE

$\Delta H_V = 1.1$
0.033562
0.029
0.019

5.4022
240

AVG

3

4

5

6

7

8

$\Delta H_V = 1.05$
0.033563
0.029
0.019

5.4072
240

AVG

3

4

5

6

7

8

(AV) VK (FLECHA)

DESPLAZAMIENTO INTEGRAL

AVERIGUO

STRENGTH (4)

A

5 (MBS)

ELASTOPLASTIC

14

7

6

5

4

3

2

1

0

14

7

6

5

4

3

2

1

0

0.00000

0.025

0.100

0.00000

0.025

0.100

14

5 (MBS) LATERAL AXIS (4)

5 (MBS)

A

0

5

0

14

5 (MBS) LATERAL AXIS (4)

$\lambda V = 2.0$

DESPLAZAMIENTOS VERTICALES
NUDO 80

ΔH

6

5

4

3

2

1

$\lambda H = 0.05$

ΔH

6

5

4

3

2

1

$\lambda H = 0.05$

ΔH

6

5

4

3

REINFORCADO

$\Delta U(H)$

6

5

4

3

2

0.024

0.03356

0.024

0.03356

ENFRIADOR

$\Delta U(F)$

6

5

4

3

2

0.024

0.03356

0.024

0.03356

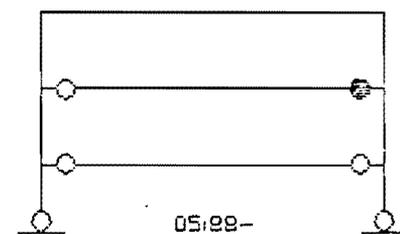
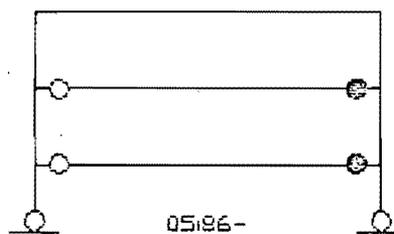
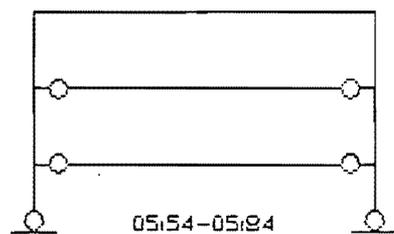
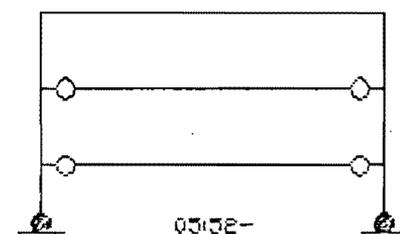
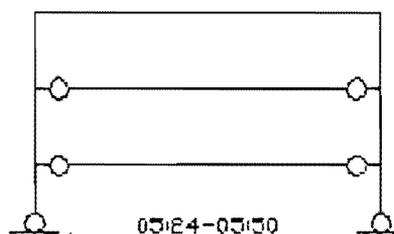
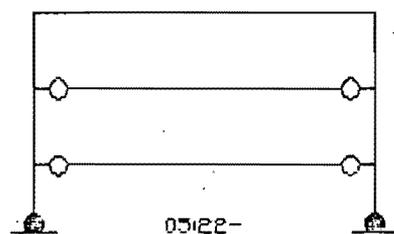
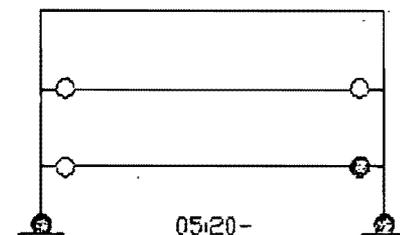
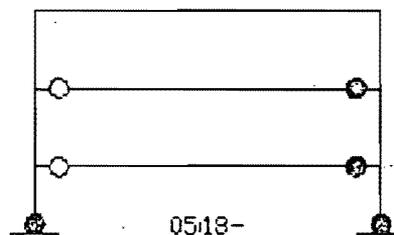
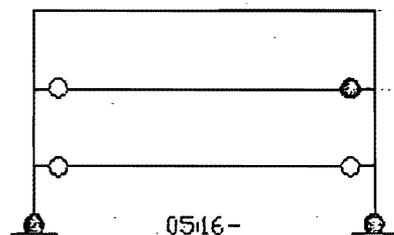
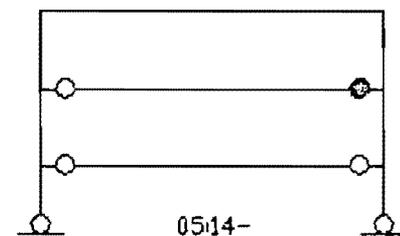
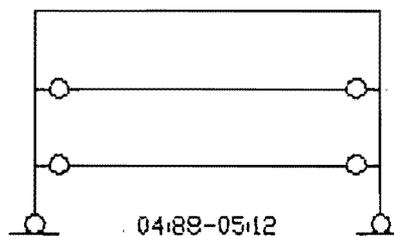
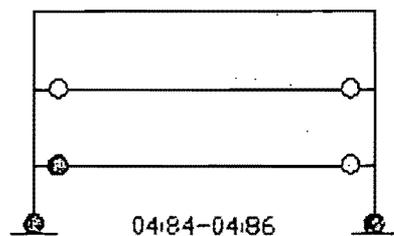
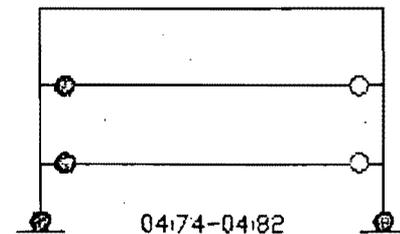
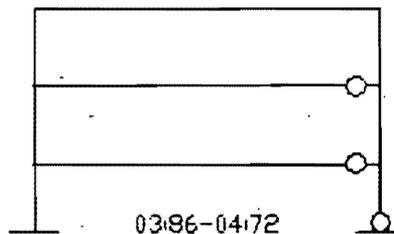
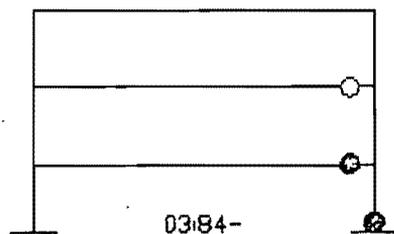
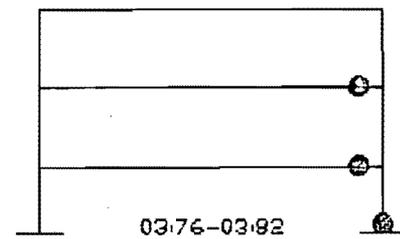
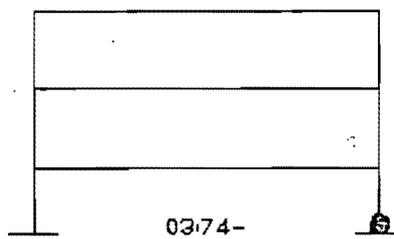
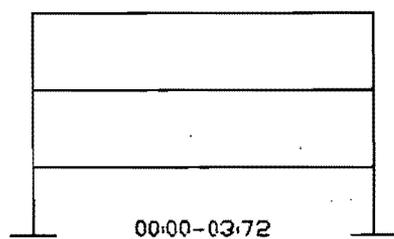
$(\lambda H) V_H (F. ESCALA)$

F.5. Historia de la Formación de Articulaciones Plásticas.

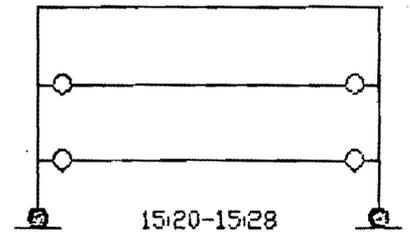
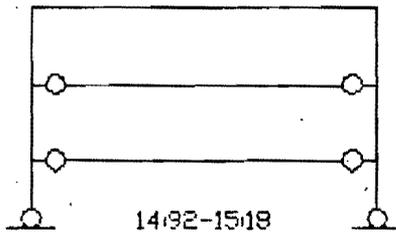
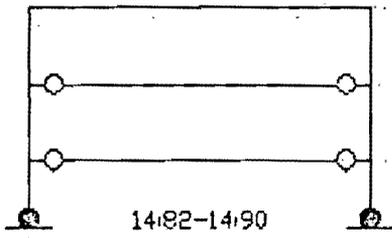
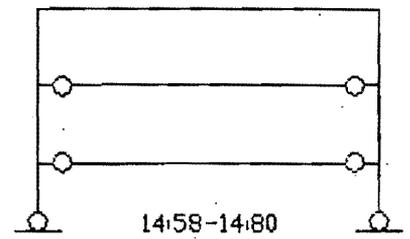
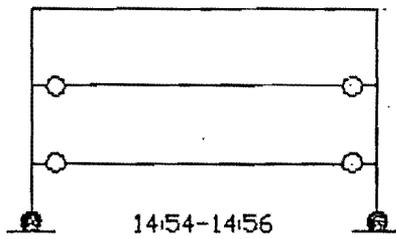
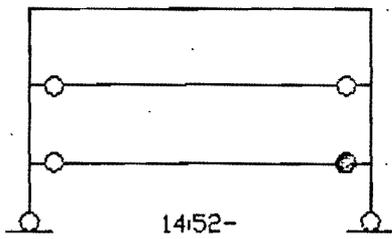
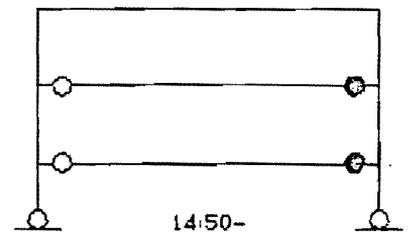
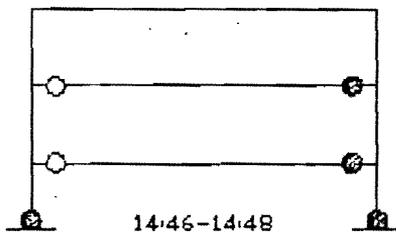
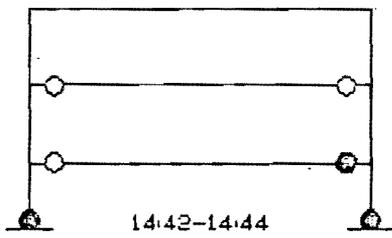
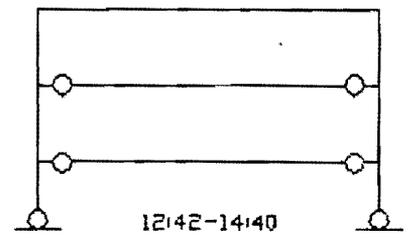
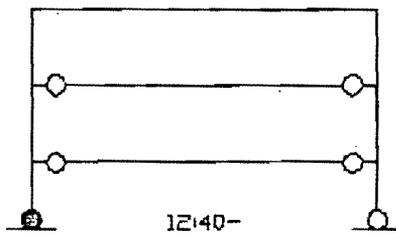
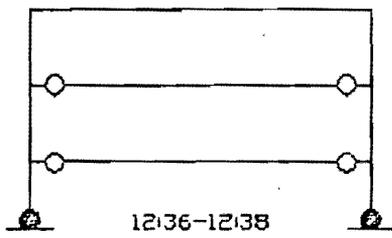
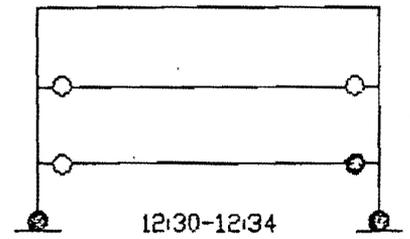
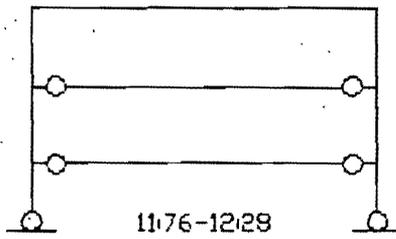
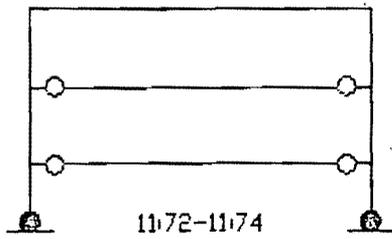
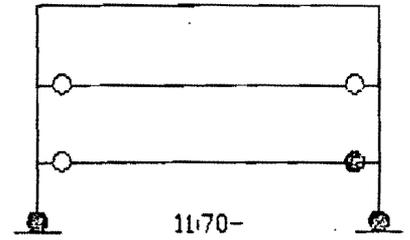
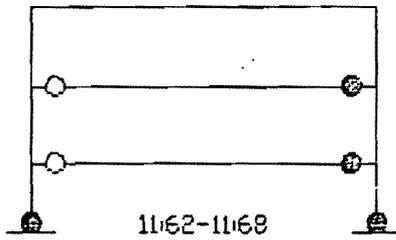
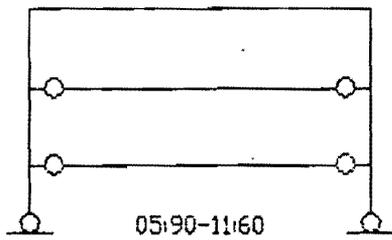
Se presenta el desarrollo de las articulaciones plásticas en el transcurso del tiempo solamente para el $FCV = 1.0$ es decir para la carga básica, y para los tres tipos de materiales inelásticos.

Los círculos llenos significan que en ese lugar la sección esta fluyendo y los círculos abiertos significan que en esa sección existe una deformación permanente que estuvo en fluencia antes.

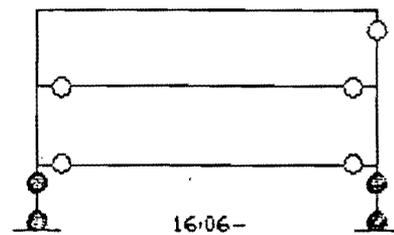
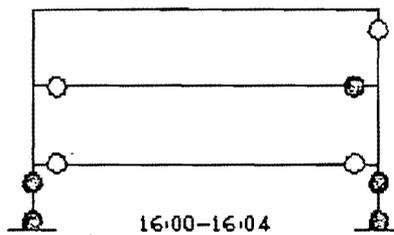
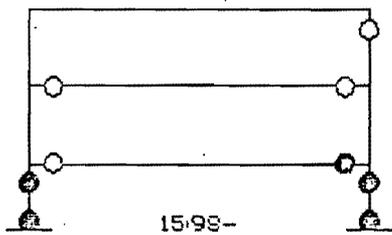
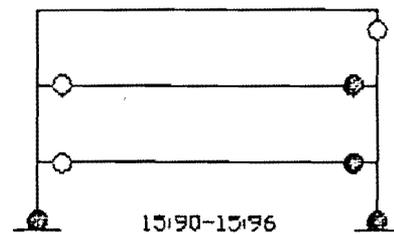
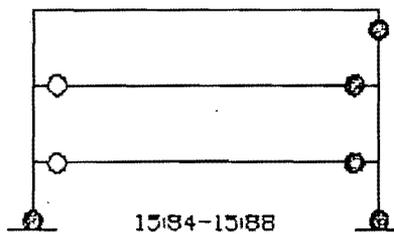
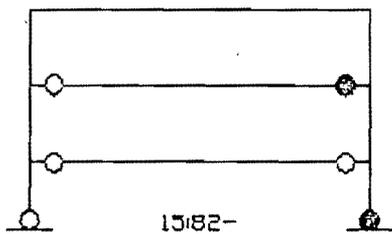
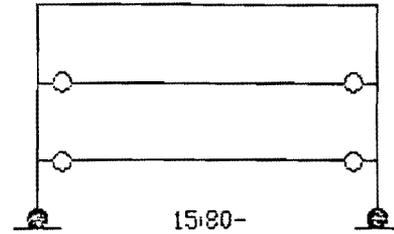
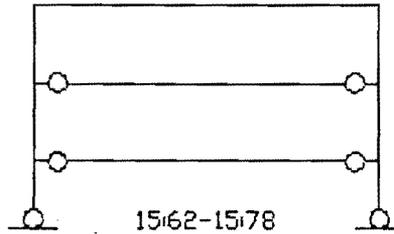
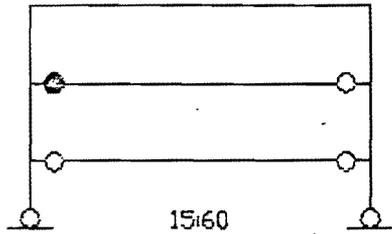
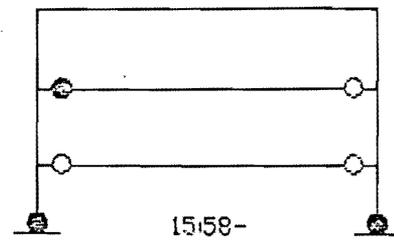
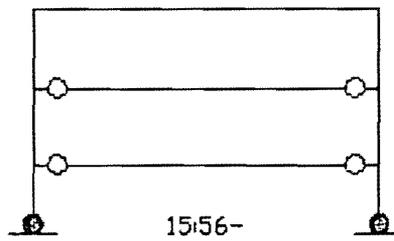
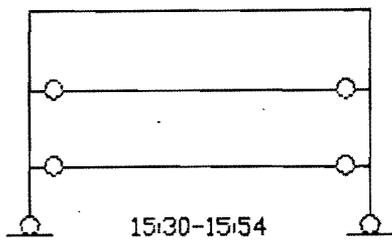
Se presenta cada 0.02 segundos, que es el valor de Δt , la configuración de articulaciones plásticas, con el propósito de visualizar el comportamiento del marco, la continua apertura y cierre de articulaciones y el modo de falla. Es muy interesante observar las páginas siguientes juntamente con la gráfica del acelerograma A-TRAB, pues tomando en cuenta la magnitud y sentido del acelerograma podemos verificar el nivel de daño que ocasiona en el marco, mediante las articulaciones que fluyen.



MARCO DE BUEN F.C.V. = 1.0 ACCELERACION FICD = 0.25g.
 HISTORIA DE LA FORMACION DE ARTICULACIONES PLASTICAS.
 MODELO BI-LINEAL NEGATIVO (TIEMPO EN SEGUNDOS).

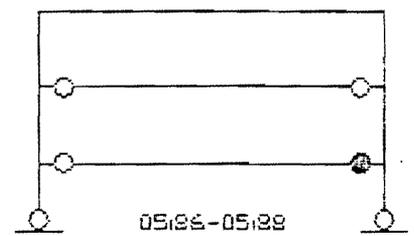
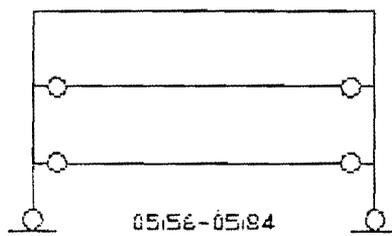
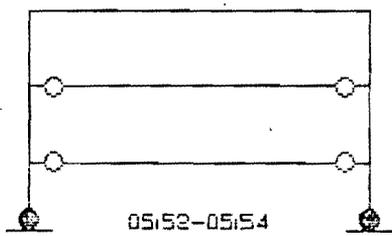
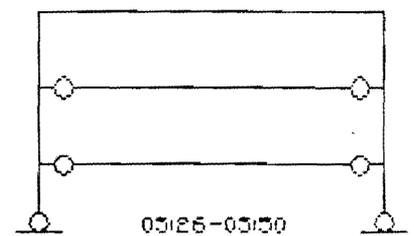
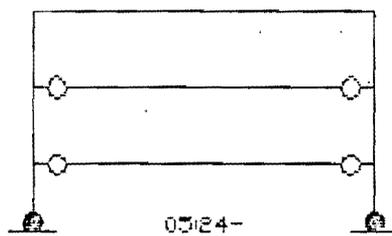
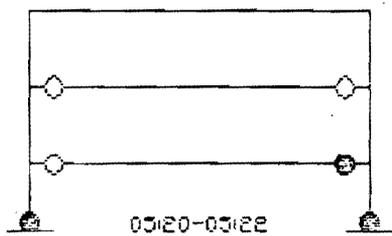
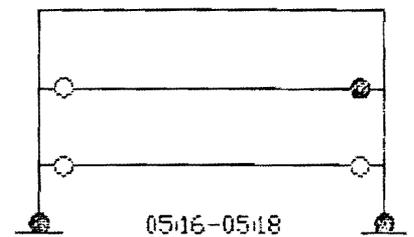
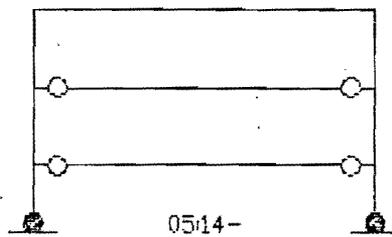
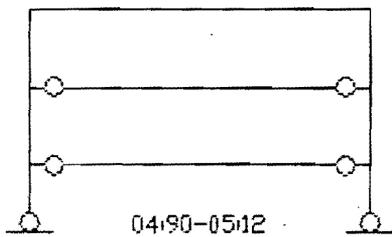
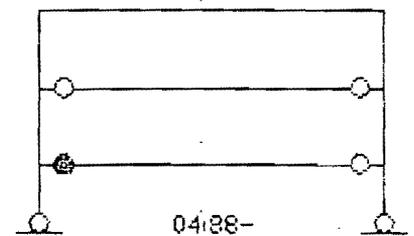
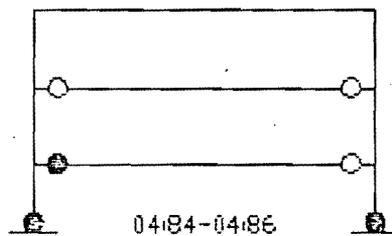
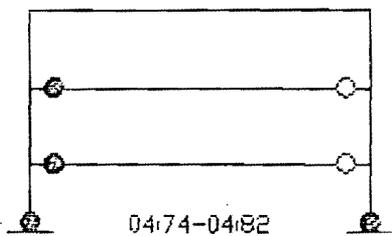
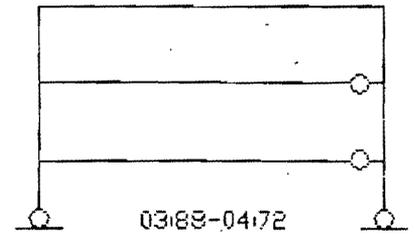
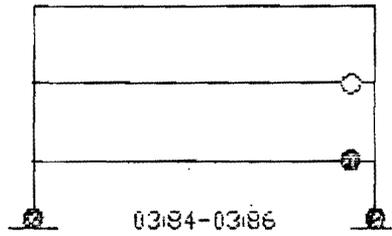
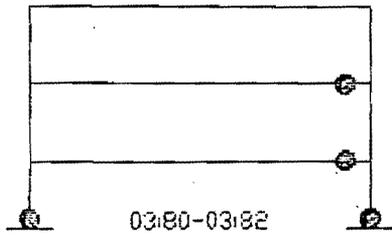
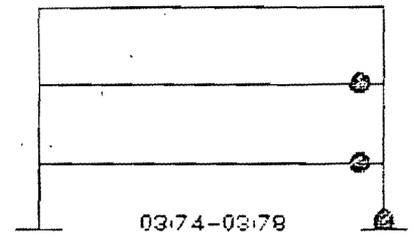
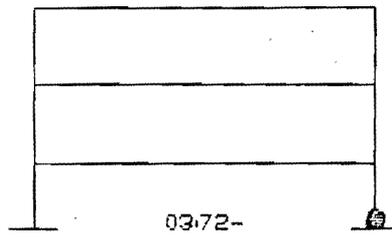
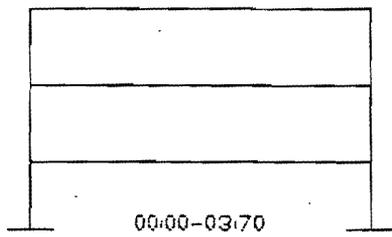


MARCO DE BUEN F.C.V. = 1.0 ACELERACION PICO = 0.25g.
 HISTORIA DE LA FORMACION DE ARTICULACIONES PLASTICAS.
 MODELO BI-LINEAL NEGATIVO (TIEMPO EN SEGUNDOS).



DEPFI

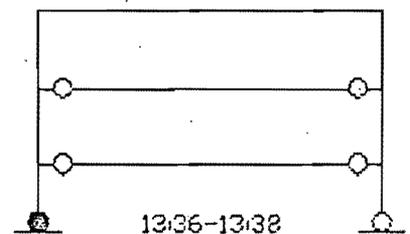
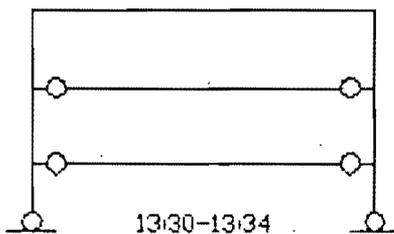
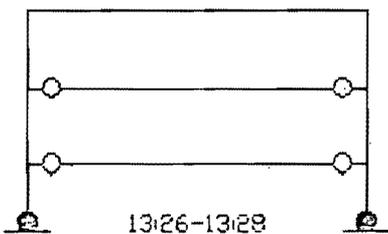
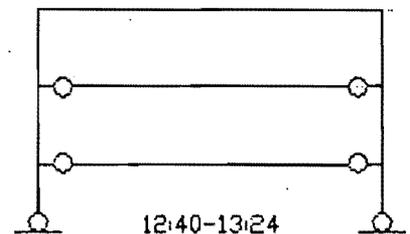
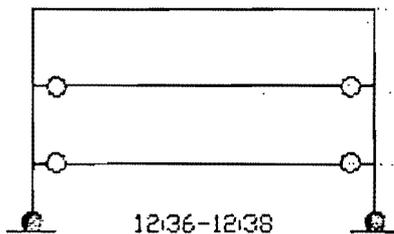
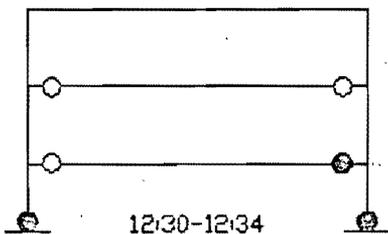
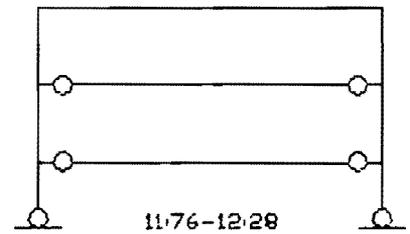
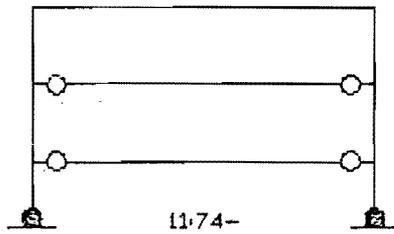
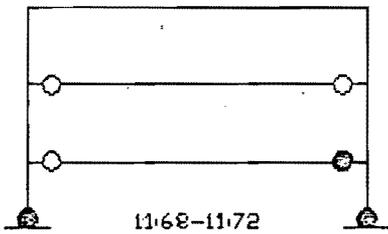
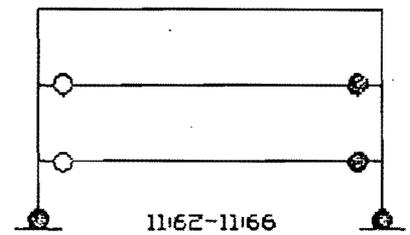
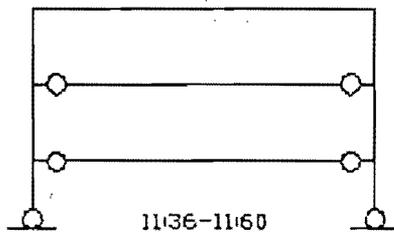
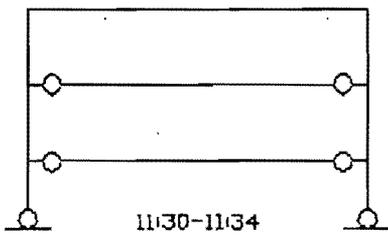
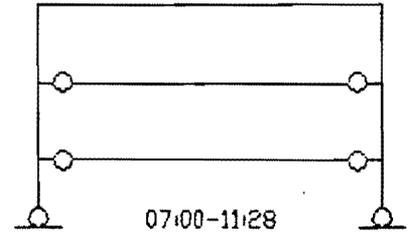
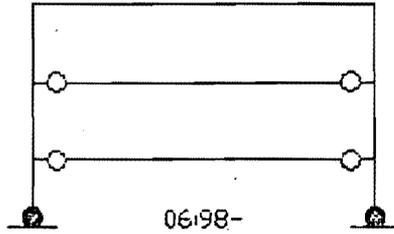
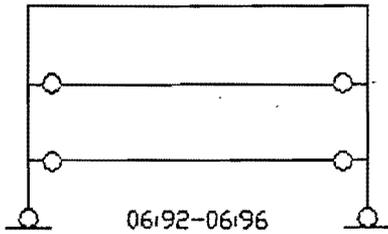
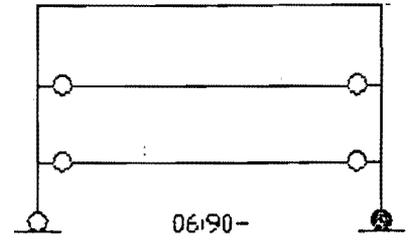
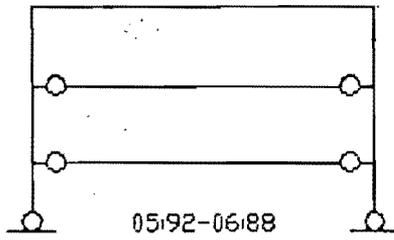
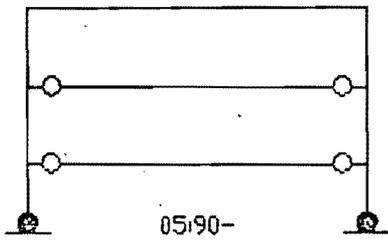
MARCO DE BUEN F.C.V. = 1.0 ACELERACION PICO = 0.25g.
 HISTORIA DE LA FORMACION DE ARTICULACIONES PLASTICAS.
 MODELO BI-LINEAL NEGATIVO (TIEMPO EN SEGUNDOS).



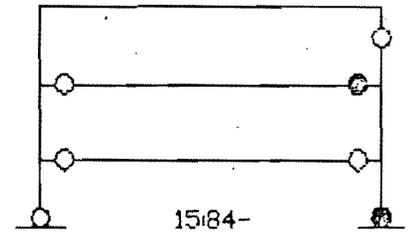
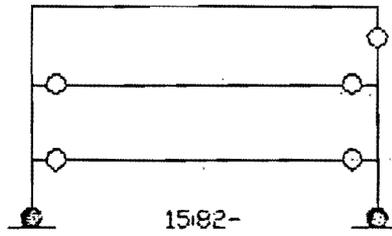
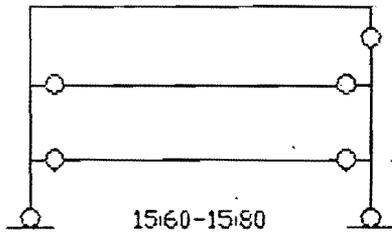
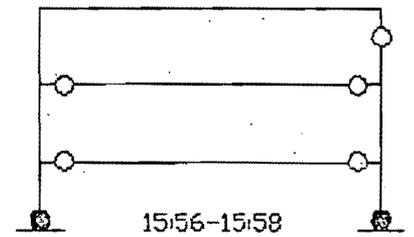
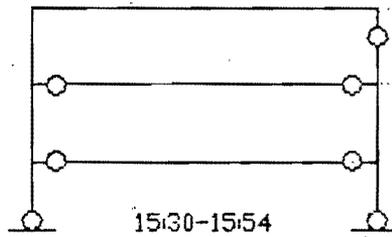
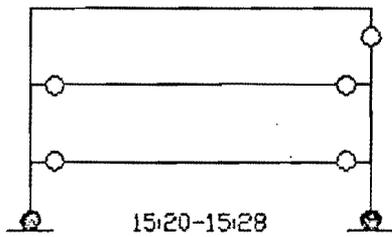
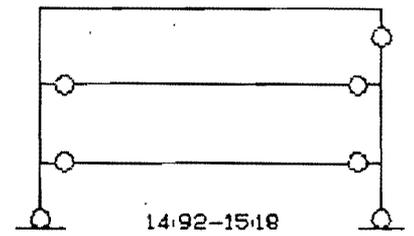
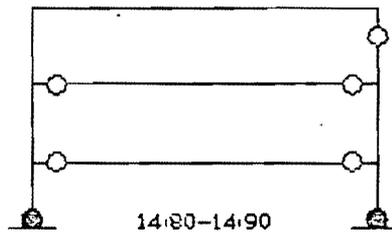
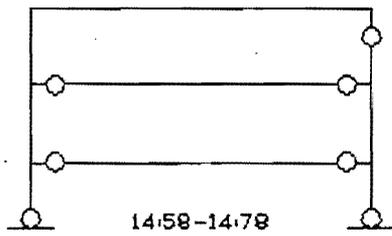
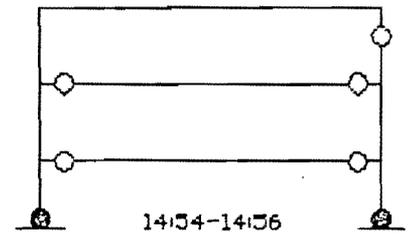
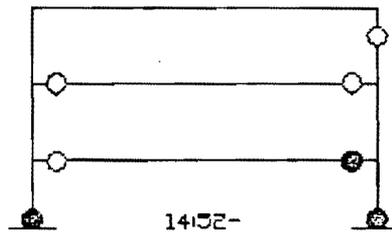
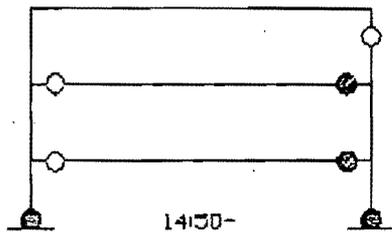
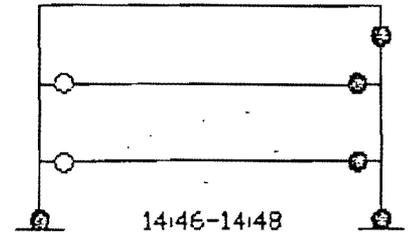
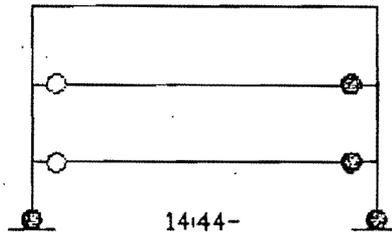
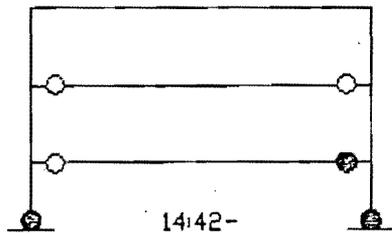
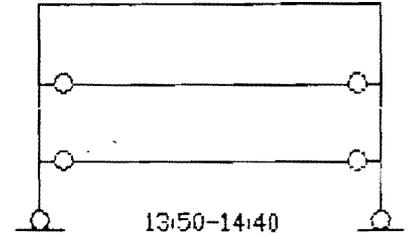
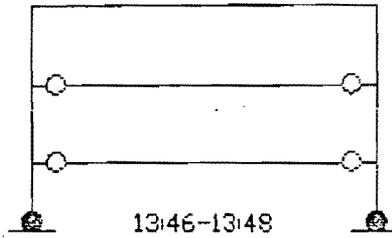
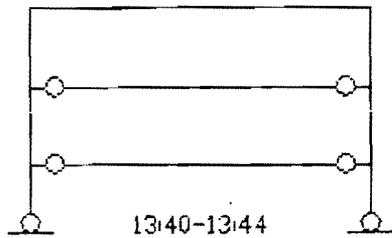
MARCO DE BUEN. F.C.V.=1.0 ACELERACION PICO = 0.28g.

HISTORIA DE LA FORMACION DE ARTICULACIONES PLASTICAS.

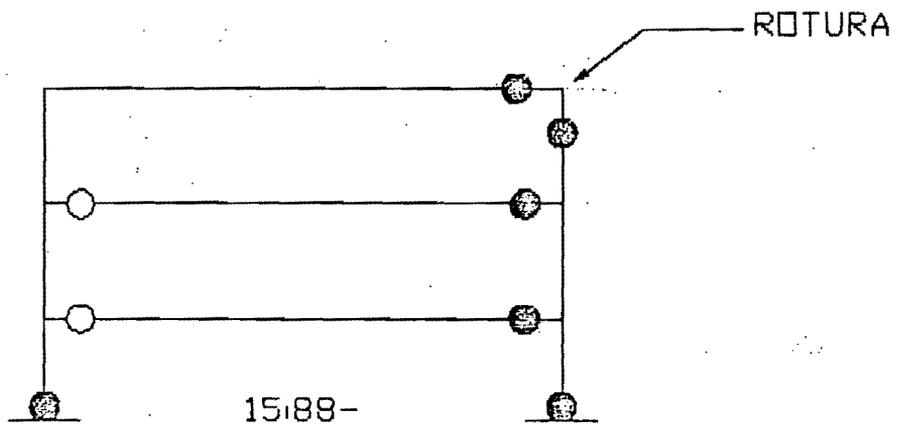
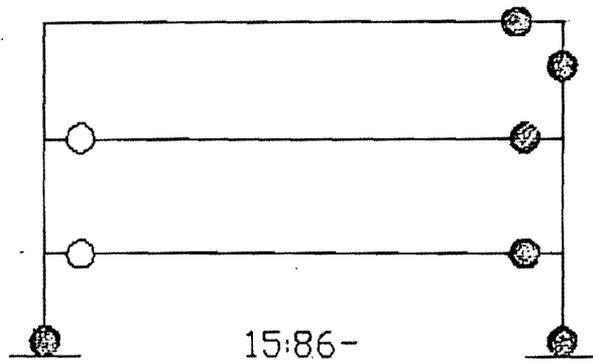
MODELO ELASTO-PLASTICO.(Tiempo en segundos.)



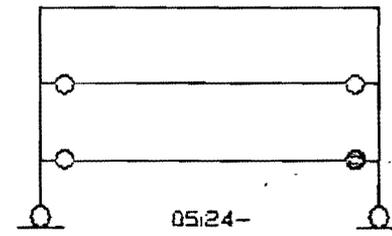
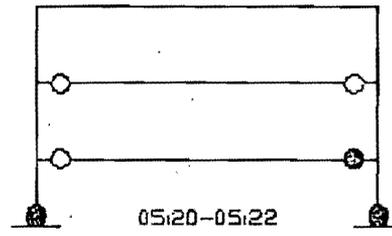
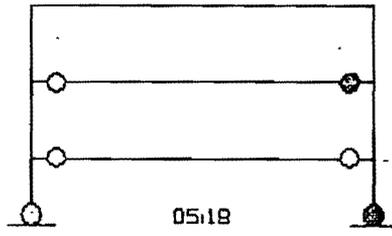
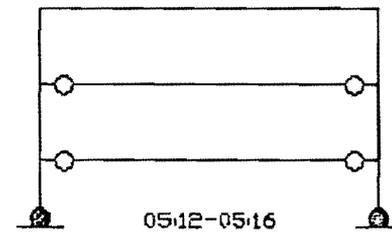
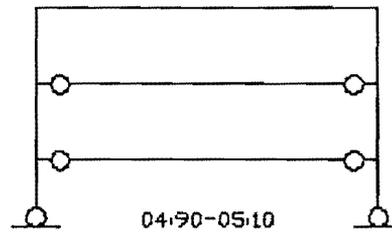
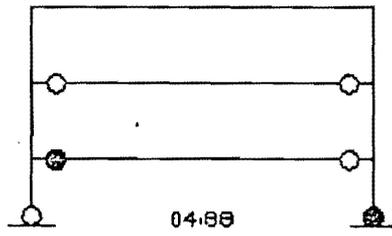
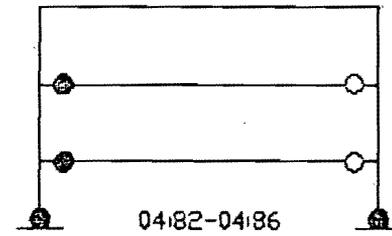
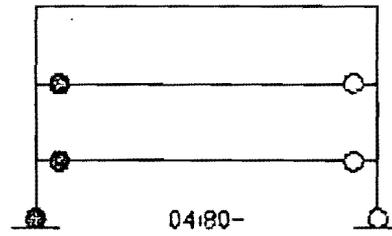
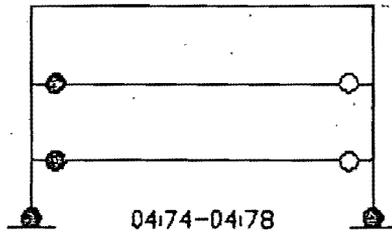
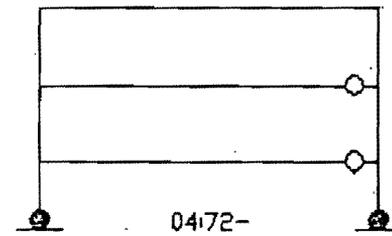
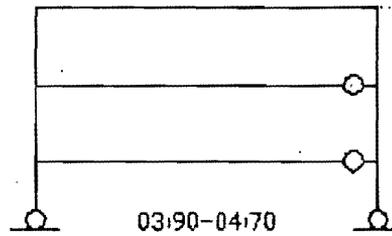
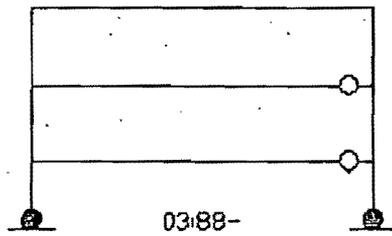
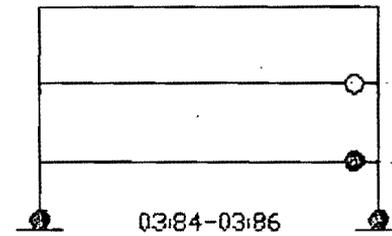
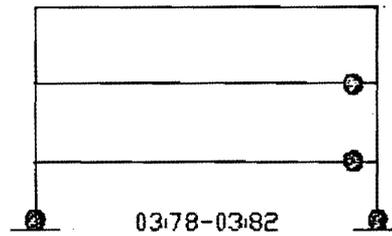
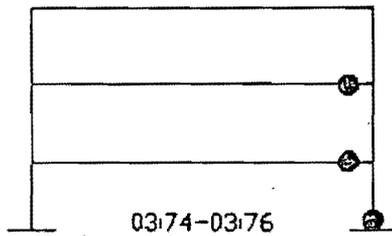
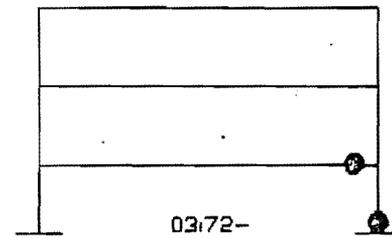
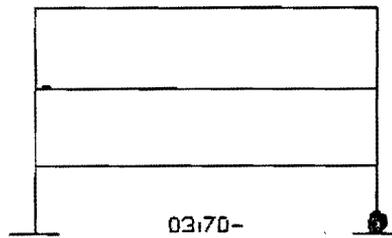
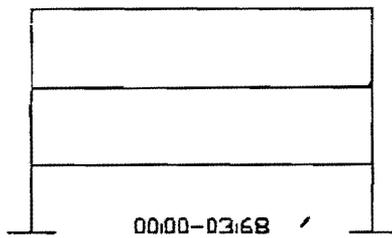
MARCO DE BUEN. F.C.V.=1.0 ACELERACION PICO = 0.25g.
 HISTORIA DE LA FORMACION DE ARTICULACIONES PLASTICAS.
 MODELO ELASTO-PLASTICO.(Tiempo en segundos.)



MARCO DE BUEN. F.C.V.=1.0 ACELERACION PICO = 0.28g.
 HISTORIA DE LA FORMACION DE ARTICULACIONES PLASTICAS.
 MODELO ELASTO-PLASTICO.(Tiempo en segundos.)



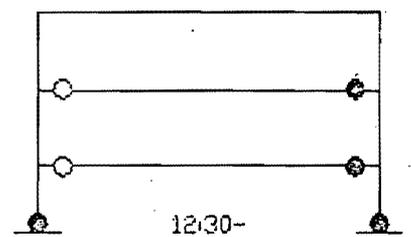
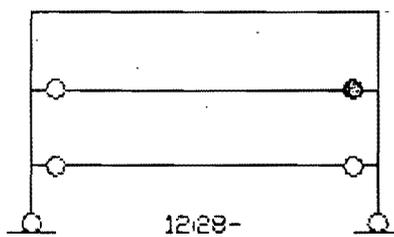
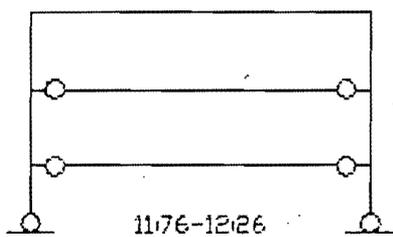
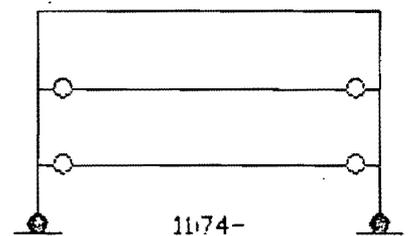
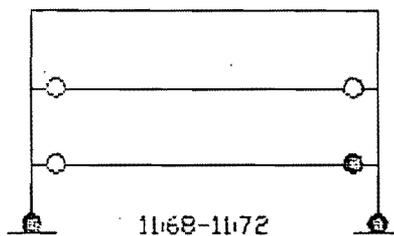
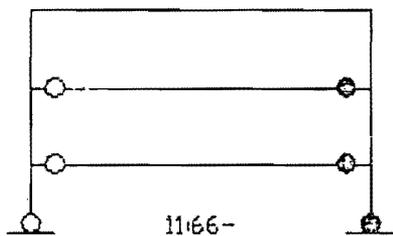
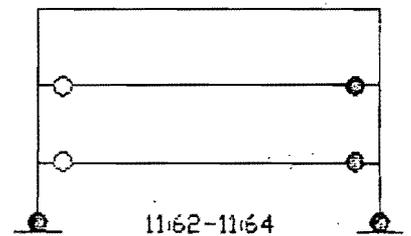
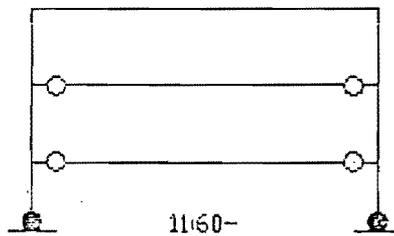
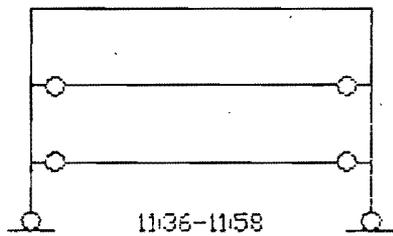
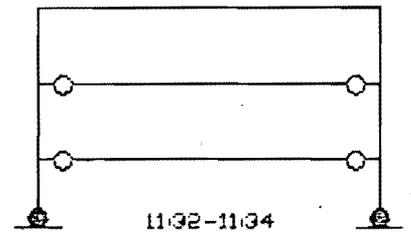
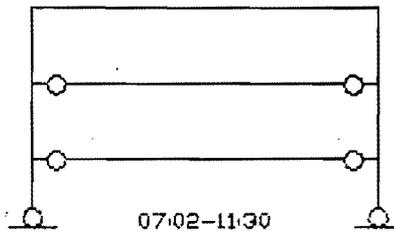
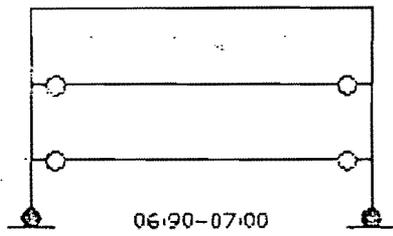
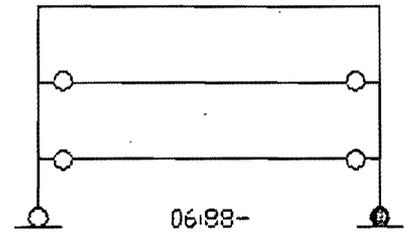
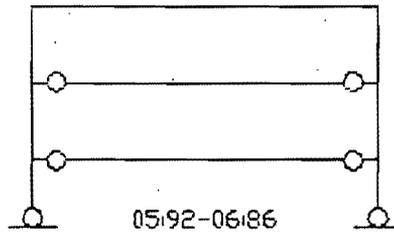
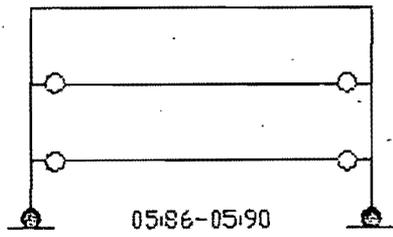
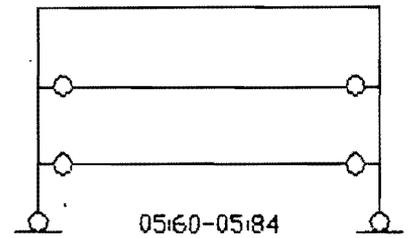
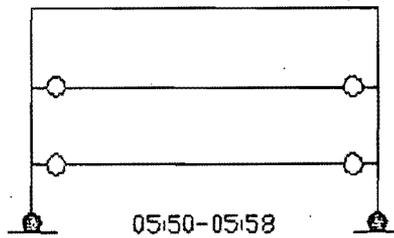
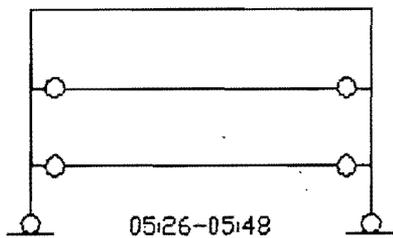
MARCO DE BUEN. F.C.V.=1.0 ACELERACION PICO = 0.28g.
 HISTORIA DE LA FORMACION DE ARTICULACIONES PLASTICAS.
 MODELO ELASTO-PLASTICO.(Tiempo en segundos.)



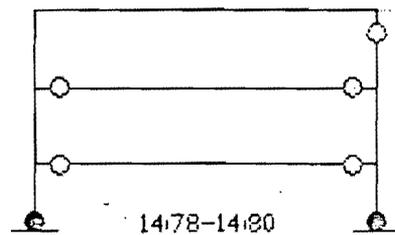
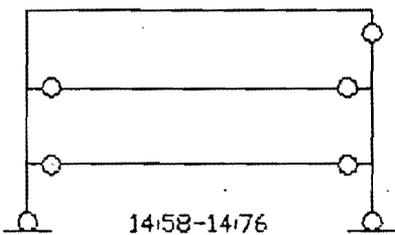
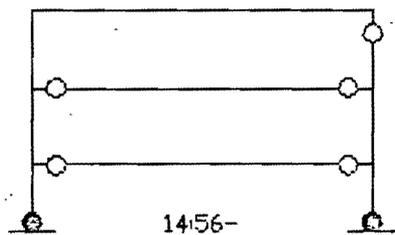
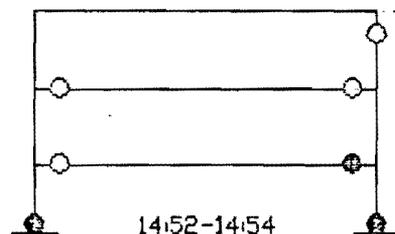
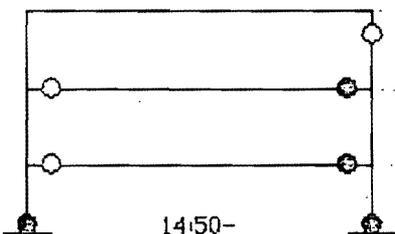
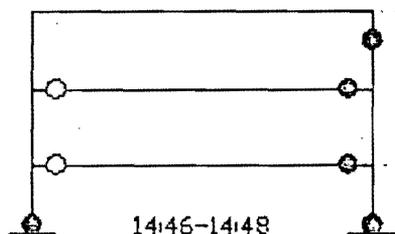
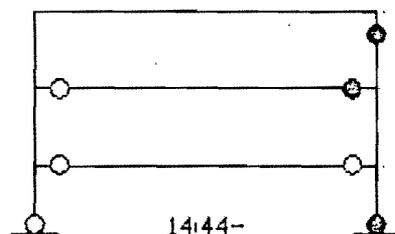
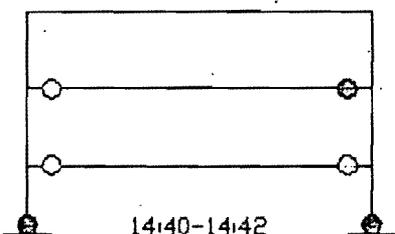
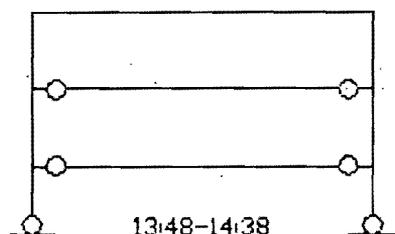
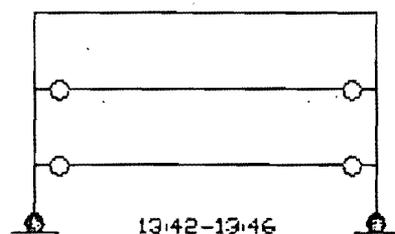
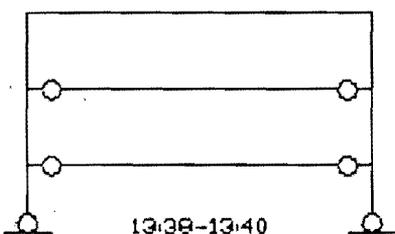
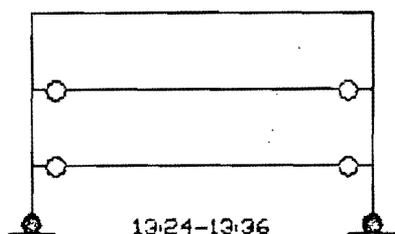
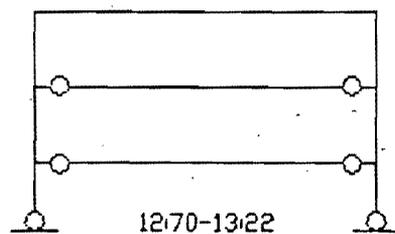
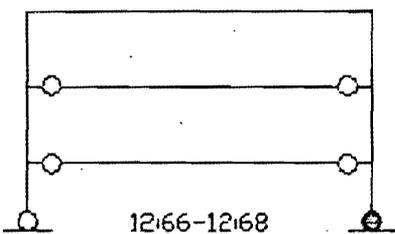
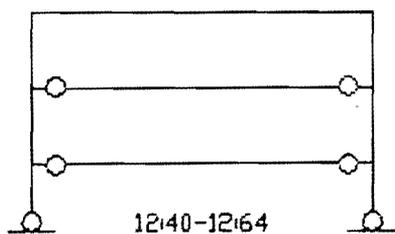
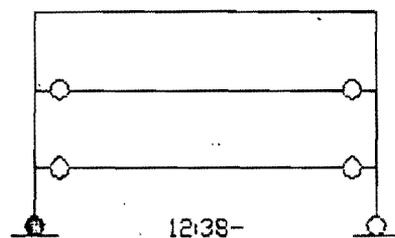
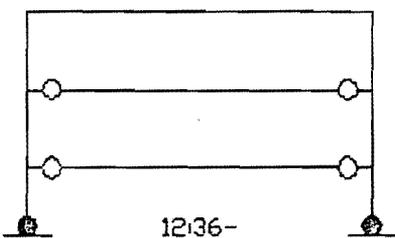
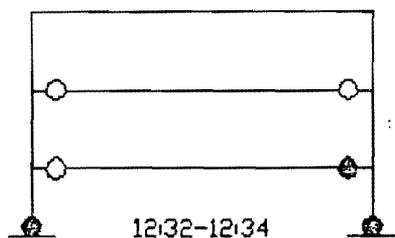
MARCO DE BUEN, F.C.V.=1.0 ACELERACION PICO=0.3g

HISTORIA DE LA FORMACION DE ARTICULACIONES PLASTICAS.

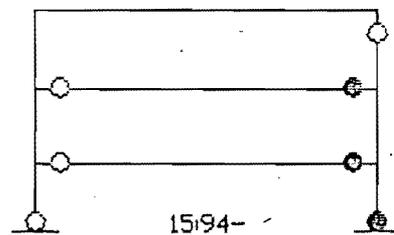
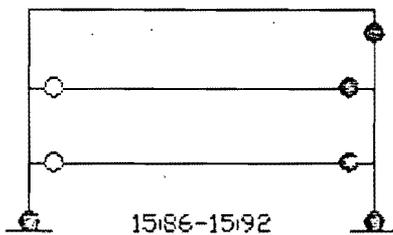
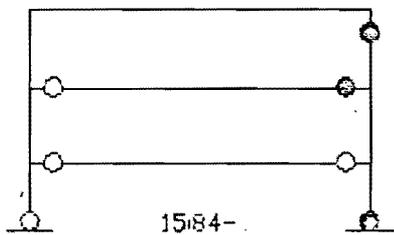
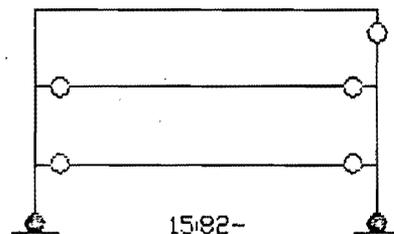
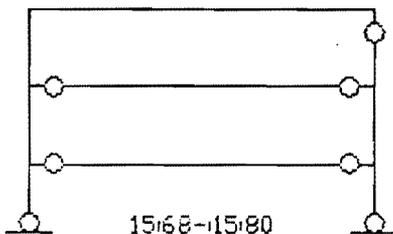
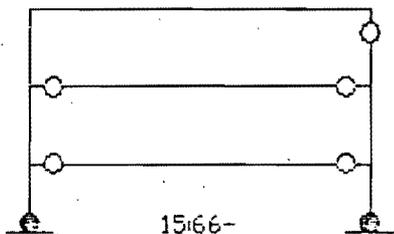
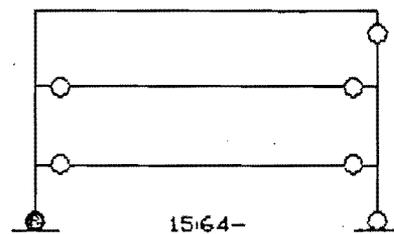
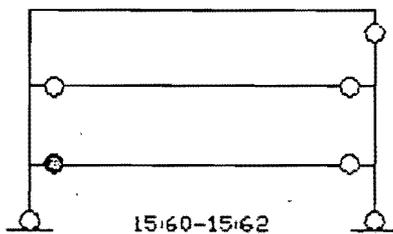
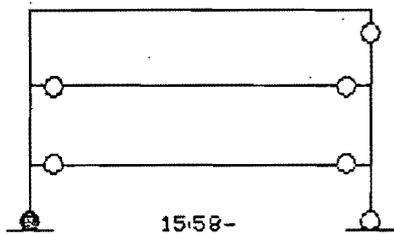
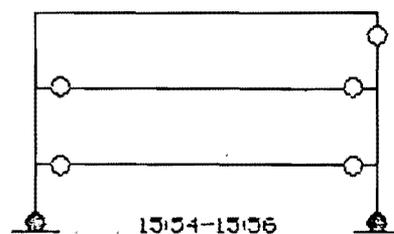
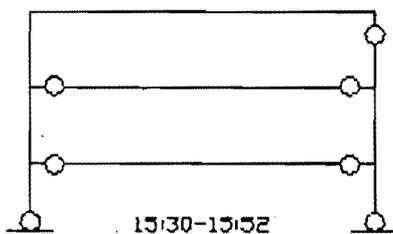
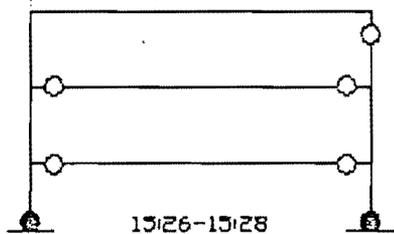
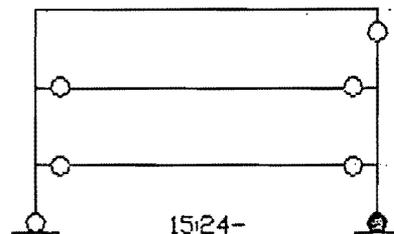
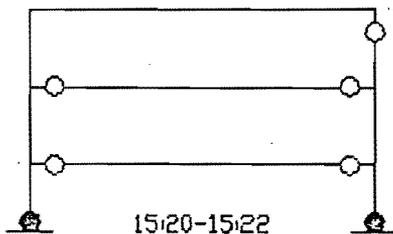
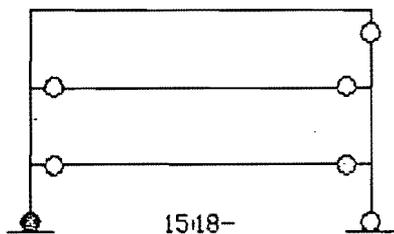
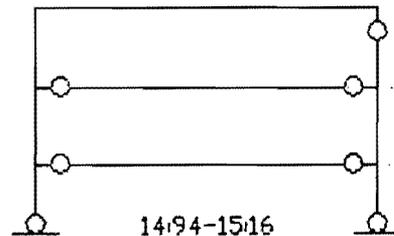
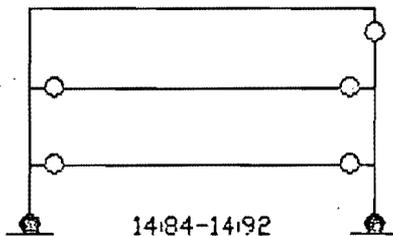
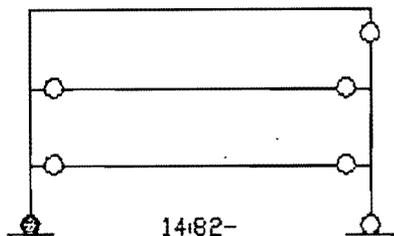
MODELO BI-LINEAL POSITIVO. (TIEMPO EN SEGUNDOS)



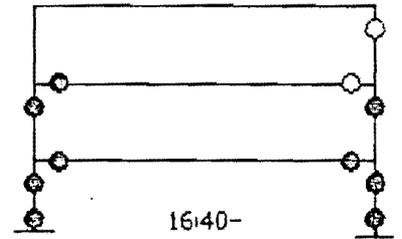
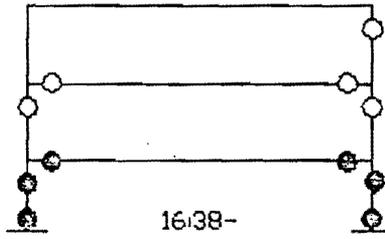
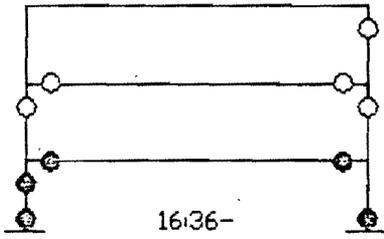
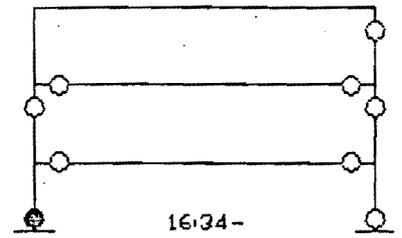
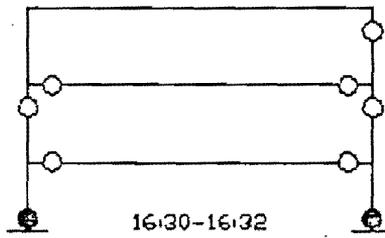
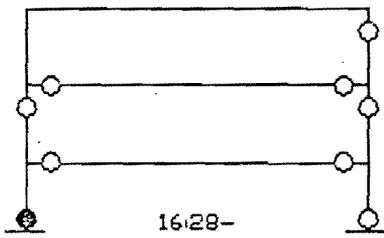
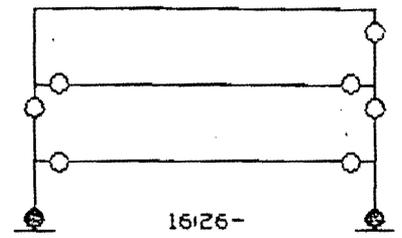
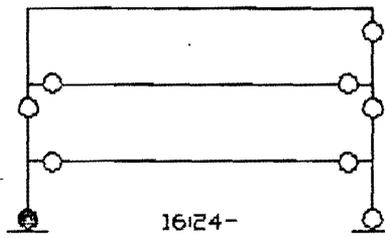
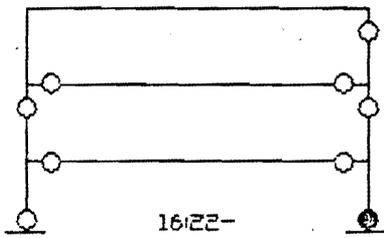
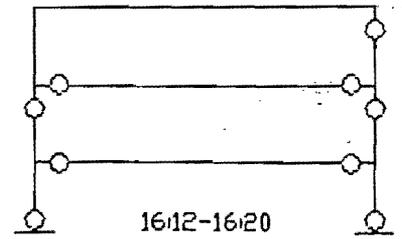
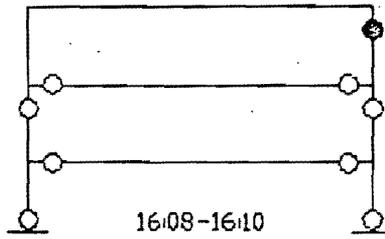
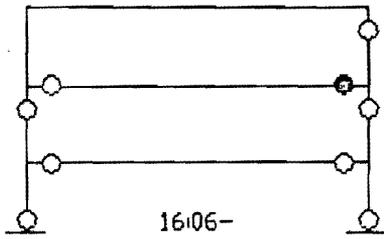
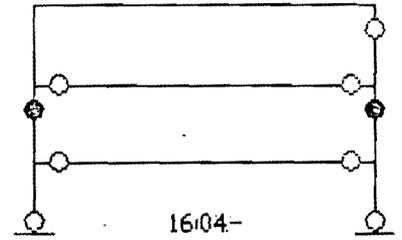
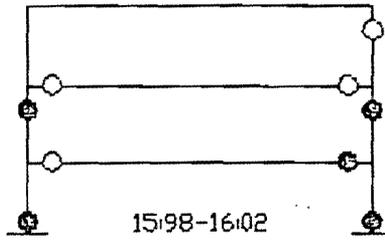
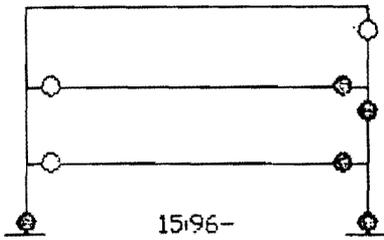
MARCO DE BUEN. F.C.V.=1.0 ACELERACION PICO=0.3g
 HISTORIA DE LA FORMACION DE ARTICULACIONES PLASTICAS.
 MODELO BI-LINEAL POSITIVO. (TIEMPO EN SEGUNDOS)



MARCO DE BUEN. F.C.V.=1.0 ACCELERACION FICD=0.3g
 HISTORIA DE LA FORMACION DE ARTICULACIONES PLASTICAS.
 MODELO BI-LINEAL POSITIVO. (TIEMPO EN SEGUNDOS)



MARCO DE BUEN. F.C.V.=1.0 ACELERACION PICO=0.3g
 HISTORIA DE LA FORMACION DE ARTICULACIONES PLASTICAS.
 MODELO BI-LINEAL POSITIVO. (TIEMPO EN SEGUNDOS)



MARCO DE BUEN. F.C.V.=1.0 ACELERACION PICO=0.3g
 HISTORIA DE LA FORMACION DE ARTICULACIONES PLASTICAS.
 MODELO BI-LINEAL POSITIVO. (TIEMPO EN SEGUNDOS)

6. COMENTARIOS FINALES.

6.1. Marco De Buen.

Al analizar las gráficas λH vs desplazamiento, se observa notoriamente la influencia del tipo de material inelástico en la respuesta del marco, las gráficas correspondientes al modelo bilineal positivo generan valores de λH mayores que aquellos generados por el modelo elastoplástico, además predicen que el marco es capaz de resistir aceleraciones pico mucho mayores que el modelo elastoplástico. Sin embargo en lo que se refiere a los valores de λH_c , que corresponden al abandono del entorno de estabilidad, las diferencias son pequeñas. Siendo mayores los del modelo bilineal positivo. Se considera que en las gráficas del bilineal (+) los valores de λH mucho mayores que el λH_c (límite), son meramente teóricos y que no corresponden a la realidad, puesto que ocasionan grandes desplazamientos y fuerzas internas, que es muy probable que no sean resistidas por el marco. No se revisó al detalle ese nivel de esfuerzos debido a que se considera adecuado, por los resultados numéricos obtenidos, que el límite del entorno de estabilidad refleja bastante bien el inicio del colapso del marco. En ese sentido el modelo elastoplástico tiene la gran ventaja de que nos permite obtener el λH_c de colapso y de que el nivel de esfuerzos y deformaciones va acorde a lo que se podría esperar si se hicieran pruebas experimentales.

Al analizar el diagrama de inestabilidad, observamos en el bilineal (+) que no se obtuvieron los λH de colapso ocasionados por los desplazamientos laterales o verticales, puesto que estos son muy grandes y lógicamente el marco falla antes por algún fenómeno de inestabilidad local (rotura), pero sí se obtuvieron los λH_c (límites) que se considera que representan adecuadamente el abandono del entorno de estabilidad. Se nota que a partir de λV igual a 1.25 hasta 2.5 los λH_c están regidos por el desplazamiento vertical de las trabes, se considera que desde λV igual a 1.25 hasta 1.75 los λH_c son conservadores. Para todos los demás λH_c fuera del intervalo $\lambda V = [1.25 - 1.75]$ se considera que son valores representativos del límite de estabilidad. Para efectos de comparación se graficaron también los límites correspondientes a los λH_0 , observándose en las gráficas que son todos conservadores. En el diagrama de inestabilidad del modelo elastoplástico observamos que todos los puntos unidos con línea continua representan al λH_c de colapso, puesto que desde que λV es igual a 0.1 hasta 1.75, la falla es por desplazamiento lateral excesivo, (perdida completa de rigidez, al ejecutar el programa se observa que el determinante de la matriz de rigideces se hace nulo), y desde λV igual a 1.75 hasta 2.5 los λH_c (límites) están regidos por el límite de desplazamiento vertical, pero se considera que son prácticamente los de colapso, puesto que para valores mayores de λH que éstos, la rigidez lateral del marco es muy pequeña y se encuentra muy dañado. Para efectos de comparación se graficaron los λH_0 y se observa que son ligeramente menores que los de colapso y se considera que son adecuados de utilizar si se quiere tener un pequeño margen de seguridad extra.

Es interesante notar que el diagrama de inestabilidad tiene una "entrada" muy clara y no sigue una figura elíptica (imaginando la representación de una elipse en el primer cuadrante con origen en 0,0), que se debe a un fenómeno de inestabilidad local en un nodo del tercer nivel, se considera por lo tanto que existe una deficiencia en el diseño de las secciones que concurren a esos nudos.

Para tener un tercer criterio de comparación, se obtuvo la gráfica λH vs desplazamiento lateral para el modelo bilineal negativo, observándose que se obtiene valores pequeños de λH y de aceleraciones pico que en el caso elastoplástico.

De los tres modelos presentados, se recomienda utilizar el elastoplástico o el bilineal negativo, según las características de calidad de los materiales, (esfuerzos residuales, fisuraciones, temperatura, métodos de obtención, etc), según el grado de incertidumbre de las técnicas de análisis, según el grado de seguridad buscado y según las técnicas constructivas.

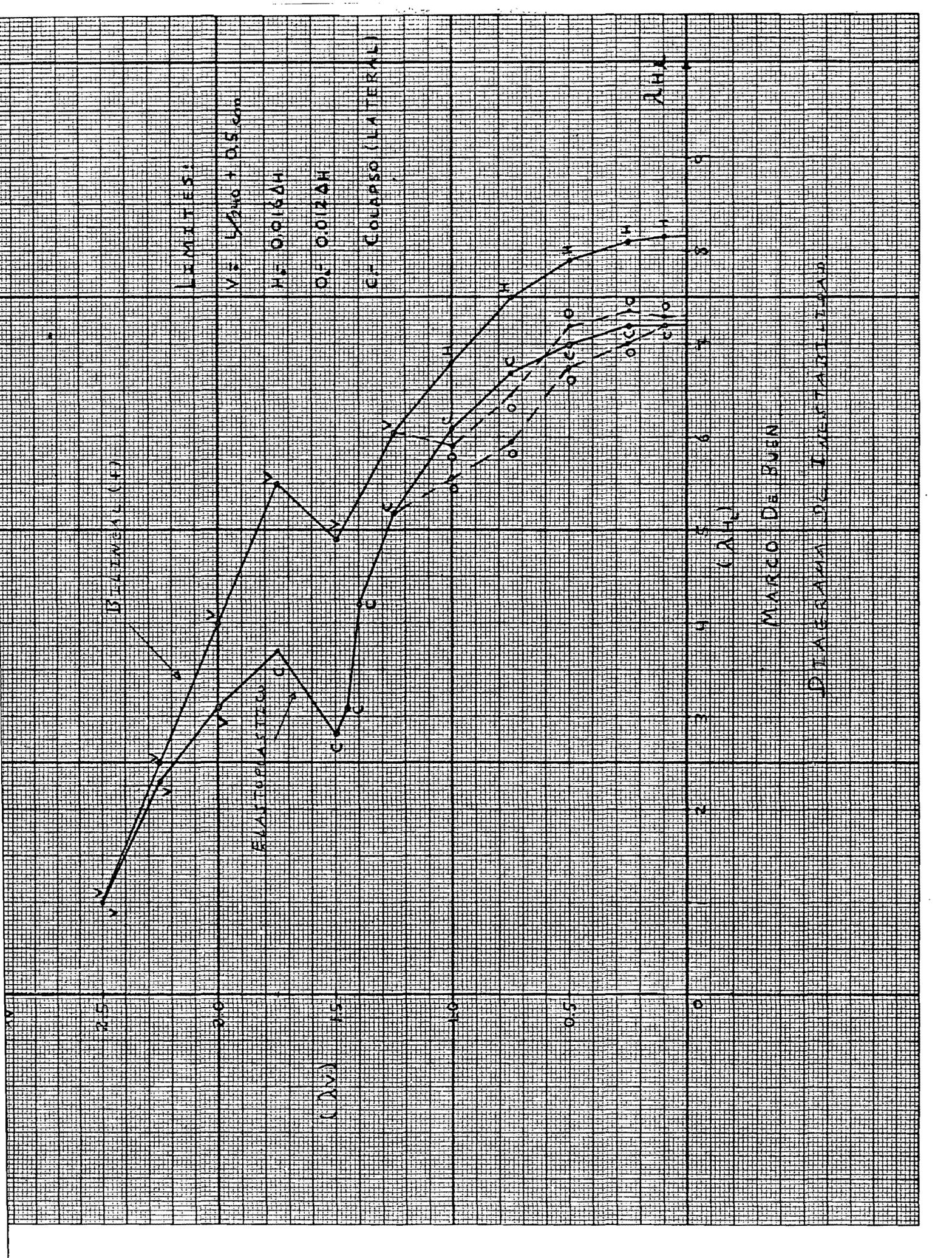
En la siguiente página se presenta el diagrama de inestabilidad de este marco, en primer lugar se observa que en comparación con el diagrama de inestabilidad estático de la tesis mencionada antes, los valores de esa tesis son del orden del 85% de los valores del caso elastoplástico de este trabajo, es decir que el efecto dinámico, en este caso ocasionó que el diagrama creciera y se pudiera tener valores de factores de carga más grandes que en el caso estático, la "ganancia" es del orden del 15%.

Al observar el desarrollo de las articulaciones plásticas y la información numérica de los tres modelos, notamos que los modelos elastoplástico y bilineal (-) tienen un comportamiento más estable que el modelo bilineal (+), el cual frecuentemente está en condición de fluencia con concentraciones elevadas de esfuerzos.

6.2. Marco Vallance.

Al analizar las gráficas λH vs desplazamiento, se observa que el tipo de material influye muy poco en la respuesta, prácticamente se obtienen los mismos valores de λH para cada aceleración pico. Las gráficas se obtuvieron para los modelos bilineal (+) y elastoplástico, y en el caso de $\lambda V=1.0$ se obtuvo la gráfica correspondiente al modelo bilineal (-), observándose que todas son muy parecidas, siendo ligeramente superior la bilineal (+), luego la elastoplástica y finalmente la bilineal (-).

Al analizar el diagrama de inestabilidad, observamos que los valores de λH_c (límites) de los modelos bilineal (+) y elastoplástico están muy próximos entre sí, por lo que los comentarios siguientes se refieren a ambos. No se obtuvieron los λH_c de colapso, pero sí los λH_c límites, considerándose que éstos son muy representativos del límite de estabilidad dentro del



BIVALENTE (C)

ELASTOPLASTIC

LIMITES:

VE $U_{200} + 0.5 \text{ cm}$

HE OORIGAN

OF OORIPAN

CF COLAPSO (LATERAL)

(A)

MARCO DE BUEN

DIMENSIONES DE ESTABILIDAD

λ₁

rango $\lambda_V = [1.0-2.0]$, puesto que al observar las gráficas y los resultados numéricos se nota que los límites tanto laterales como verticales están próximos a los valores de falla, siendo ligeramente conservadores los límites verticales en el rango $\lambda_V = [1.0-1.5]$. Dentro del rango $\lambda_V = [0.1-1.0]$ los valores de λ_H son conservadores.

De los tres modelos de materiales utilizados se puede utilizar cualquiera, ya que los resultados obtenidos son muy similares, se considera que esto se debe a que en principio el marco está diseñado con estricto apego a las cargas básicas tanto gravitacionales como laterales, es decir que las secciones están justas y no sobradas, puesto que se realizó mediante un análisis estático de acciones de viento y carga gravitacional sin tomar en cuenta probables incrementos en ellos. Caso contrario al marco De Buen, diseñado por efecto sísmico, que posee una sobreestimación de sus secciones para tratar de tomar en cuenta probables acciones sísmicas. Entonces, al aplicarse el acelerograma factorizado al marco Vallance, ocasionando elevados esfuerzos, las secciones que están "justas", inmediatamente pasan al rango inelástico, y lo hacen varias a la vez, ocasionando grandes pérdidas de rigidez, acelerando el proceso de falla. También se observa de las gráficas carga-desplazamiento, que este marco resiste pequeños valores de la aceleración pico. Podemos comentar que para este tipo de marcos, diseñados estáticamente para cargas definidas sin tener en cuenta probabilidades de variación de ellas, es muy riesgoso someterlos a movimientos sísmicos de alta intensidad, puesto que para movimientos de regular a baja intensidad presentan graves daños.

Haciendo la comparación con el diagrama de inestabilidad estático, observamos que obtenemos prácticamente los mismos valores. Con lo que se comprueba que al tener "justas" las secciones no podemos obtener incrementos en los factores de carga ni conseguir que en ellas se generen los fenómenos de cierre y apertura de articulaciones plásticas con la posibilidad de obtener mayores deformaciones y mayores fuerzas que sean absorbidas por los elementos aumentando el factor de carga λ_H .

En la siguiente página se presenta el diagrama de inestabilidad de este marco.

6.3. Comentarios Generales.

Al principio de este trabajo se comentó que si se quisiera obtener los λ_H críticos para un marco en particular, debería obtenerse varios diagramas de inestabilidad, cada uno en función de alguna función generadora del movimiento dinámico. Este procedimiento es evidentemente muy tardado para fines prácticos de diseño, por lo que se sugiere, a partir del estudio que se hizo y que se debería completar con más modelos para avalar la sugerencia, que se obtenga diagramas de inestabilidad parciales, es decir, definir en primer lugar un rango de valores del factor de carga vertical, por ejemplo de $\lambda_V = [0.75$ a $1.5]$ y con unas cuantas funciones generadoras dinámicas representativas del

20
25

20

BELENZAL (H)

(20)

ELAS CONVISTOIS

10

05

0

2

3

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

LIMITES:

V.F. BELIZAL (H)

O.F. COLOZAH

S.F. COLARPO

(20)

MARCO MAXIMO

DIAGRAMA DE INSTABILIDAD

estudio a realizarse, obtener los diagramas en ese rango y definir en cada uno de ellos el factor de seguridad global sísmico (FSGS), y a partir del mínimo de ellos teniendo en cuenta los límites del diagrama y la posible variación de las cargas verticales tratar de definir el grado de seguridad sísmica de una estructura.

También se sugiere que al realizar un estudio de este tipo se tome en cuenta, además de las deformaciones globales y el estado de esfuerzos en las secciones, un estudio de los fenómenos de inestabilidad local, el cual podría evitarse si se utiliza secciones compactas que ocasionen la falla de conjunto más que la falla local. También analizar el efecto de acumulación de rotación plástica en el sentido de conceptos de absorción de energía y de ductilidad, además de los fenómenos de fatiga por el permanente cierre y apertura de las articulaciones plásticas. Definir en función de las secciones que concurren a un nudo la rotación máxima admisible para revisar que las rotaciones que se presenten no excedan ese valor, cabe mencionar que en este trabajo las deformaciones límites fueron del orden de 0.02 a 0.03 radianes.

Finalmente, se sugiere ampliar el estudio realizado a otros marcos, tomar en cuenta otro tipo de materiales, por ejemplo el concreto, utilizando las reglas de Takeda o definiendo modelos matemáticos que representen el comportamiento de los materiales estructurales. Y para completar este tipo de estudio se considera que es muy importante realizar pruebas experimentales en modelos previamente analizados.

H. REFERENCIAS.

- A.Flores V., "Inestabilidad Elasto-Plástica de Marcos", Tesis Doctoral, DEEFI-UNAM, Mexico 1970.
- A.Kanaan y G.Powell, "General Purpose Program for Dynamic Analysis of Inelastic Plane Structures", EERC 73-6, Berkeley, California 1973.
- G.Powell, "DRAIN-2D User's Guide", EERC 73-22, Berkeley, California 1973.
- J.G.Bouwkamp, "SUPER-ETABS, An Enhanced Version of the ETABS Program", National Science Foundation, California 1983.
- E.L.Wilson y H.H.Dovey, "Static and Earthquake Analysis of Three Dimensional Frame and Shear Wall Buildings", EERC 72-1, California 1972.
- E.L.Wilson, "The CAL Series of Programs", University of California 1986.
- R.W.Clough y D.Tang, "Shaking Table Tests of a Steel Frame", EERC 74-8, California 1974.
- University of California, "Earthquake Engineering Research at Berkeley -1973", California 1973.
- S.C.Goel, "Inelastic Behavior of Multistory Building Frames Subjected to Earthquake Motion", Tesis Doctoral, University of Michigan 1967.
- N.C.Nigam, "Inelastic Interactions in the Dynamic Response of Structures", Tesis Doctoral, California Institute of Technology 1967.
- J.H.Daniels, "A Plastic Method for Unbraced Frame Design", Reporte 273.39, Leigh University 1966.
- O.De Buen, "Estructuras de Acero", Limusa, 1982.
- J.A.Blume, N.M.Newmark y L.H.Corning, "Design of Multistory Reinforced Concrete Buildings for Earthquake Motions", Portland Cement Association, 1961.
- R.W.Clough y J.Penzien, "Dynamic of Structures", Mc Graw Hill, 1975.
- K.J.Bathe y E.L.Wilson, "Numerical Methods in Finite Element Analysis", Prentice Hall 1976.
- S.P.Timoshenko y J.M.Gere, "Theory of Elastic Stability", Mc Graw Hill 1985.
- Apuntes de la clase de "Inestabilidad Estructural" que imparte el profesor N.Rodríguez Cuevas en la DEEFI-UNAM.