

PODER EJECUTIVO NACIONAL
MINISTERIO DE OBRAS Y SERVICIOS PUBLICOS
SECRETARIA DE OBRAS PUBLICAS

INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCION SISMICA

**I
N
P
R
E
S**

ANALISIS DE LOS ESPECTROS DE
DUCTILIDAD CORRESPONDIENTES
AL TERREMOTO DE SAN JUAN
DEL 23 DE NOVIEMBRE DE 1977

**PUBLICACION
TECNICA N° 8**

Septiembre de 1982

REPUBLICA ARGENTINA

ANALISIS DE LOS ESPECTROS DE DUCTILIDAD
CORRESPONDIENTES AL TERREMOTO DE SAN JUAN DE 1977. (*)

por

Alejandro Giuliano (**), Jorge Amado (***), Arturo Vargas (****)

RESUMEN

Se presentan los espectros de ductilidad de osciladores simples elastoplásticos sometidos al terremoto de San Juan del 23 de noviembre de 1977.

Las demandas de ductilidad se comparan con las correspondientes a sismos altamente destructivos como el de El Centro de 1940 y los registros de Pacoima Dam y Van Norman Dam obtenidos durante el terremoto de San Fernando de 1971.

Los requerimientos de ductilidad de estructuras simples diseñadas de acuerdo con el Proyecto de Reglamento 103-INPRES - CIRSOC se confrontan con los valores de ductilidad adoptados para el diseño.

Se propone un factor de amplificación de diseño para amortiguamientos inferiores al 5% del crítico, variable con el período propio de la estructura.

Se estudia la confiabilidad de esta propuesta, comparando las demandas de ductilidad con las correspondientes a estructuras con amortiguamiento igual al 2% del crítico diseñadas de acuerdo con el Proyecto de Reglamento 103 y confrontando los resultados obtenidos con los valores de ductilidad adoptados para el diseño.

(*) Trabajo presentado a las "SEGUNDAS JORNADAS ARGENTINAS DE INGENIERIA ESTRUCTURAL", Buenos Aires, 10 al 13 de Agosto de 1982.

(**) Jefe del Departamento Laboratorio Central - INPRES

(***) Del Departamento Laboratorio Central - INPRES

(****) Del Centro de Computación de Datos - INPRES

INTRODUCCION

La filosofía actual de diseño de estructuras que pueden estar sometidas a terremotos destructivos admite su incurción en el campo no lineal o anelástico, salvo en el caso de estructuras especiales, las que, por las consecuencias catastróficas que produciría su falla, como por ejemplo las centrales nucleares, deben permanecer dentro del campo elástico-lineal aún en el caso de terremotos altamente destructivos de baja probabilidad de ocurrencia.

Los terremotos de diseño o en otras palabras las acciones que el proyectista debe adoptar se establecen, en general, mediante un espectro elástico de aceleraciones cuyas ordenadas se reducen para tener en cuenta la influencia de la disipación de energía mediante deformaciones anelásticas.

Se utilizan dos criterios:

- a) En función del valor de ductilidad adoptado.
- b) En función del valor de ductilidad adoptado y del período propio de la estructura.

El primer criterio es sustentado por las Recomendaciones Tentativas del Applied Technology Council (ATC-3). El segundo, por las recomendaciones dadas por Newmark y Hall, el Reglamento de la Ciudad de México del año 1976 y el Proyecto de Reglamento 103 INPRES - CIRSOC en la República Argentina.

La confiabilidad de los resultados que se obtienen reduciendo las ordenadas de los espectros elásticos ha sido seriamente cuestionada por Bertero y otros, aún para el caso de estructuras de un grado de libertad, ya que los tipos de excitaciones que conducen a la respuesta máxima de sistemas elásticos e inelásticos son fundamentalmente diferentes (1),(2),(3). Lo anterior se corrobora analizando los espectros de ductilidad correspondientes a los registros obtenidos en las cercanías de la falla asociada al terremoto de San Fernando de 1971, en Pacoima Dam (PD) y Van Norman Dam (VND).

Dichos espectros muestran en general requerimientos de ductilidad notablemente mayores que los correspondientes al terremoto de El Centro, utilizado frecuentemente como sismo destructivo típico.

Los registros de PD y VND muestran pulsos de aceleración intensos y de larga duración que resultan críticos para estructuras que superen el límite elástico. Dichos pulsos de aceleración parecen ser típicos en las zonas cercanas a la falla asociada al terremoto y están directamente relacionados con el proceso de fallamiento, siendo independientes de las condiciones geológicas locales (1),(3).

Sin embargo, aún con las limitaciones conocidas y aceptadas que presenta la reducción de las ordenadas espectrales elásticas como medio para la evaluación de las acciones sísmicas de diseño, el estudio actual muestra que su aplicación se encuentra ampliamente difundida, ya que hasta el momento no se ha encontrado otra manera más confiable y sencilla para la determinación de los terremotos de diseño.

El propósito de este trabajo es analizar los espectros de ductilidad de osciladores de un grado de libertad elastoplásticos perfectos, correspondientes a los registros obtenidos en la Sede Central del INPRES, en San Juan, durante el terremoto del 23 de noviembre de 1977, y evaluar su influencia en estructuras simples de un grado de libertad diseñadas de acuerdo con el proyecto de Reglamento 103 INPRES-CIRSOC.

EL TERREMOTO DE SAN JUAN DEL 23 DE NOVIEMBRE DE 1977

El terremoto del 23 de noviembre de 1977, en San Juan, República Argentina, fue registrado en la Sede Central del Instituto Nacional de Prevención Sísmica-INPRES- por un acelerógrafo AR-240 instalado en el subsuelo del INSTITUTO.

Su magnitud fue de 7,4 en la escala de Richter y la profundidad de foco, alrededor de 40 Km (4). La intensidad máxima en la escala de Mercalli Modificada alcanzó a IX (Figura 1).

En la ciudad de San Juan, donde se registró el movimiento, la intensidad fue entre VII y VIII (Figura 1). Las máximas aceleraciones registradas fueron de 189,51 cm/seg² para la componente E-0, 189,9 cm/seg² para la componente N-S y 150,5 cm/seg² para la componente vertical.

Las máximas velocidades fueron de 20,6 cm/seg para la componente E-0, 15,6 cm/seg para la componente N-S y 14 cm/seg para la componente vertical.

El terremoto tuvo una gran duración, registrándose aceleraciones superiores al 5% de la aceleración de la gravedad, aproximadamente durante 55 segundos (4).

Características del manto de suelo donde se registró el acelerograma

De acuerdo con el estudio de Microzonificación Sísmica que actualmente conduce el INPRES en la ciudad de San Juan, ésta se encuentra asentada sobre depósitos aluviales correspondientes al viejo cauce del Río San Juan (5).

La roca (terciario) se encuentra a una profundidad superior a los 60 metros.

La Figura 2 tomada de la referencia (5) muestra la variación del módulo de corte con la profundidad. Para profundidades cercanas a los 40 m el módulo de corte corresponde a una velocidad de la onda de corte del orden de los 700 m/seg (5), que es comparable a la velocidad correspondiente en rocas blandas.

De acuerdo con las características citadas, el tipo de manto de suelo se encuadra en el denominado "Suelo Tipo II" de la clasificación que establece el Proyecto de Reglamento 103 INPRES-CIRSOC.

ESPECTROS DE DUCTILIDAD

La ecuación que controla el movimiento de un sistema de un grado de libertad con amortiguamiento del tipo viscoso, sometido a una excitación en su base caracterizada por su historia de aceleraciones en el tiempo \ddot{u}_g , es:

$$M\ddot{u} + 2M\omega\xi\dot{u} + R = -M\ddot{u}_g \quad -1-$$

donde M es la masa del sistema, ξ es el porcentaje de amortiguamiento viscoso en relación al amortiguamiento crítico, ω es la frecuencia circular no amortiguada propia del sistema en el rango elástico, R la fuerza resistente, \ddot{u} y \dot{u} la aceleración y velocidad del sistema, respectivamente, relativas a la base.

Resulta conveniente expresar la ecuación anterior en forma adimensional. Llamando u_y al desplazamiento en el momento en que comienza la fluencia del sistema, $K = \omega^2 M$ la rigidez

elástica, $R_y = K u_y$ la resistencia en el momento en que comienza la fluencia, y definiendo $\mu = u/u_y$ como ductilidad de desplazamiento, $\rho = R/R_y$, $\eta = R / M\ddot{u}_{g\text{máx}}$, la ecuación anterior se puede escribir (1),(2),(3), de la siguiente forma:

$$\ddot{u} + 2\xi\omega\dot{u} + \omega^2\rho = -\frac{\omega^2 \ddot{u}_g}{\eta \ddot{u}_{g\text{máx}}} \quad -2-$$

La relación $\ddot{u}_g/\ddot{u}_{g\text{máx}}$ representa el acelerograma normalizado, es decir la variación de las aceleraciones en el tiempo, referidas a la aceleración máxima.

El parámetro $\eta = R_y/M\ddot{u}_{g\text{máx}} = C_y/\ddot{u}_{g\text{máx}}/g$ representa la resistencia de fluencia del sistema en relación al máximo valor de la fuerza excitatriz o el coeficiente sísmico en fluencia del sistema, en términos de la máxima aceleración del terreno expresada como fracción de la aceleración de la gravedad.

La ecuación -2- puede integrarse para valores constantes de η y ξ haciendo variar ω . Los valores máximos de respuesta μ pueden graficarse en función de ω ó T obteniendo distintas curvas para diferentes valores de η y un amortiguamiento ξ determinado.

Los gráficos resultantes se denominan espectros de ductilidad y resultan útiles para el diseño y verificación de sistemas de un grado de libertad.

Así, por ejemplo, si se desea diseñar una estructura caracterizada por su periodo propio T y se admite que pueda desarrollar una ductilidad μ determinada, los gráficos anteriores nos permiten determinar cuál debe ser el coeficiente sísmico a utilizar en el diseño, para que la estructura pueda soportar un sismo caracterizado por la "forma" de su acelerograma.

Conviene destacar que, al estar normalizadas las aceleraciones con respecto a su valor máximo, un mismo gráfico puede utilizarse para diferentes valores de la aceleración máxima esperada en el lugar de emplazamiento de la estructura, siempre que se mantenga la "forma" del acelerograma de base.

Contrariamente, una estructura ya diseñada, caracterizada por su periodo propio T y el valor de η utilizado en su diseño, puede verificarse para comprobar si la ductilidad requiere

rida por el sismo está dentro de los valores que es dable esperar.

Procedimiento de Cálculo

Para la integración de la ecuación -2- se utilizó el "Método de la Aceleración Lineal" (6), que consiste en admitir que la aceleración \ddot{u} varía linealmente durante un intervalo de tiempo $\Delta\tau$ determinado, mientras que las propiedades del sistema permanecen constantes en ese intervalo.

Asumiendo entonces una variación lineal para la aceleración \ddot{u} , $\dot{\mu}$ variará según una parábola cuadrática y μ lo hará según una parábola cúbica.

Se deducen así las siguientes expresiones:

$$\ddot{u}(\tau) = - \frac{\omega^2}{\eta} a(\tau) - 2\xi\omega\dot{\mu}(\tau) - \omega^2 \rho(\tau)$$

$$\Delta\mu(\tau) = A^{-1} \left[- \frac{\omega^2}{\eta} \Delta a(\tau) + B \cdot \dot{\mu}(\tau) + C \cdot \ddot{u}(\tau) \right]$$

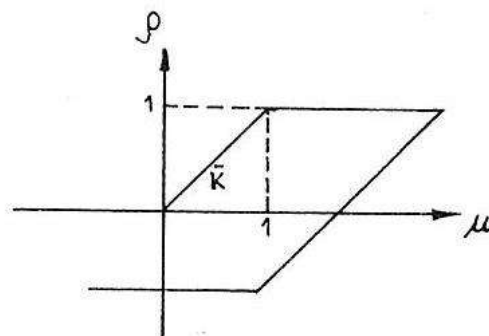
$$\Delta\dot{\mu}(\tau) = \frac{3}{\Delta\tau} \Delta\mu(\tau) - 3\dot{\mu}(\tau) - \frac{\Delta\tau}{2} \ddot{u}(\tau)$$

$$A = \frac{6}{\Delta\tau^2} + \frac{6\xi\omega}{\Delta\tau} + \omega^2 K$$

$$B = \frac{6}{\Delta\tau} + 6\xi\omega$$

$$C = 3 + \xi\omega\Delta\tau$$

$$a(\tau) = \frac{\ddot{u}_g(\tau)}{\ddot{u}_{g\text{máx}}(\tau)}$$



Se aprecia que, conociendo los valores de $\mu(\tau)$ y $\dot{\mu}(\tau)$ en el instante τ , puede calcularse $\ddot{u}(\tau)$ en el mismo instante, y con ellos podrán determinarse los incrementos $\Delta\mu(\tau)$ y $\Delta\dot{\mu}(\tau)$. Los valores de $\mu(\tau+\Delta\tau)$ y $\dot{\mu}(\tau+\Delta\tau)$ se obtienen como:

$$\mu(\tau+\Delta\tau) = \mu(\tau) + \Delta\mu(\tau)$$

$$\dot{\mu}(\tau+\Delta\tau) = \dot{\mu}(\tau) + \Delta\dot{\mu}(\tau)$$

El proceso se inicia con el conocimiento de las condi-

ciones iniciales para luego proseguir paso a paso con la integración.

Elección del intervalo de tiempo

En la elección del intervalo de tiempo $\Delta\tau$ a utilizar en las ecuaciones de recurrencia del método de la aceleración lineal, deben cumplirse dos condiciones:

- 1) El intervalo elegido no debe modificar sustancialmente el registro original.
- 2) El intervalo elegido debe conducir a respuestas numéricamente estables.

El mayor intervalo que cumple con la primera condición es el de digitalización del registro original ($\Delta\tau = 0,02$ seg).

Para cumplir con la segunda condición se analizaron las respuestas con intervalos progresivamente menores, dividiendo el intervalo original en 2, 4 y 8 partes (0,01; 0,005 y 0,0025 seg). La Figura 3 muestra la diferencia entre requerimientos de ductilidad calculados con $\Delta\tau = 0,005$ y $\Delta\tau = 0,0025$ para $\eta = 1,0$ y $\xi = 0,05$.

Se observa que ambas curvas son prácticamente coincidentes. Teniendo en cuenta que el tiempo computacional para $\Delta\tau = 0,0025$ es aproximadamente el doble que para $\Delta\tau = 0,005$, se decidió adoptar $\Delta\tau = 0,005$.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Comparación con los Requerimientos de Ductilidad de otros Terremotos Destructivos

Las Figuras 4, 5 y 6 muestran los espectros de ductilidad correspondientes al terremoto de San Juan del 23 de noviembre de 1977. Cada figura corresponde a una fracción de la amortiguación viscosa con respecto a la crítica. Se muestran los gráficos correspondientes a valores de ξ iguales a 0,02, 0,05 y 0,10. En cada uno de ellos aparecen 5 curvas para valores de η iguales a 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 y 1,0.

Del análisis de las Figuras 4, 5 y 6 se deducen las siguientes tendencias; la ductilidad requerida aumenta a medida que η disminuye y para un mismo valor de η la ductilidad requere-

rida tiende, en general, a disminuir con el periodo.

Examinando la Figura 5 se deduce que para que los valores de ductilidad requerida estén dentro del rango de valores aceptables actualmente, hasta 6, el parámetro η deberá estar comprendido entre 1 y 0,8 para estructuras con periodo hasta 0,4 seg; 0,6 para estructuras con periodos entre 0,4 y 0,6 seg y 0,4 para estructuras con periodos mayores que 0,6 seg. Esto nos llevaría a determinar los siguientes coeficientes sísmicos de diseño, de acuerdo con el máximo valor de la aceleración esperada en el lugar de emplazamiento de la estructura y de la ductilidad requerida:

μ	$a_{m\acute{a}x}$	$T \leq 0,4$	$0,4 < T \leq 0,6$	$T > 0,6$
6	0,35	0,28	0,21	0,14
4	0,35	0,35	0,28	0,14
6	0,25	0,20	0,15	0,10
4	0,25	0,25	0,20	0,10

Es de hacer notar que los valores anteriores dependen de la aceleración máxima esperada en el lugar de emplazamiento de la estructura, debido a que dicho parámetro fue la variable que se usó para normalizar el terremoto. Los resultados anteriores son solamente válidos para terremotos de "forma" (contenido de frecuencias y duración) igual a la del ocurrido el 23-11-77.

Resulta interesante comparar los requerimientos de ductilidad obtenidos, con los correspondientes a otros terremotos de características destructivas como el de El Centro de 1940, Figuras 7, 8 y 9; Pacoima Dam, Figuras 10, 11 y 12 y Van Norman Dam, Figuras 13, 14 y 15.

Se observa que los requerimientos de ductilidad correspondientes al terremoto de San Juan del 23/11/77 no difieren sustancialmente de los correspondientes al de El Centro de 1940. Contrariamente, al compararlos con los de Pacoima Dam y Van Norman Dam, se encuentra que los requerimientos de ductilidad del terre

moto de San Juan del 23/11/77 son notablemente inferiores.

Si se pensara clasificar los tipos de terremotos de acuerdo con los requerimientos de ductilidad, El Centro 1940 y San Juan 1977 pertenecerían al mismo grupo, no así Pacoima Dan y Van Norman Dam.

Comparación entre las Ductilidades Rqueridas y las Especificadas en el Diseño

Para estudiar la confiabilidad de los espectros de diseño del Proyecto de Reglamento 103, en las Figuras 16, 17, 18 y 19, se comparan las demandas de ductilidad de estructuras diseñadas de acuerdo con dicho Proyecto de Reglamento y los valores de ductilidad especificados.

Se utilizó el espectro de diseño normalizado respecto a la aceleración para periodo cero, correspondiente al terreno tipo II, debido a que las características del manto de suelo donde se registró el acelerograma (velocidad de la onda de corte cercana a los 700 m/seg y profundidad de manto hasta la roca, mayor de 50 m), encuadran dentro de las especificadas para este tipo de suelo.

La Figura 16 muestra los resultados obtenidos para un valor de la ductilidad especificada $\mu = 1$. Se observa que, en general, los requerimientos de ductilidad son bastante menores que el valor especificado en el diseño, salvo en la gama de periodos comprendidos entre 0,15 y 0,30 seg. Para periodos mayores, las demandas de ductilidad llegan a ser aproximadamente 65% menores que el valor especificado.

Para ductilidades 2, 4 y 6 las tendencias parecen ser las siguientes: a medida que aumenta la ductilidad especificada, aumenta el rango de periodos para los cuales los valores requeridos son mayores que los especificados y disminuye el rango de periodos para los cuales los valores requeridos son menores que los especificados. En términos porcentuales, a medida que aumenta la ductilidad especificada, aumenta la diferencia entre ella y la ductilidad requerida, siendo mucho más acentuada esta tendencia para el rango de periodos cortos, en los que las ductilidades requeridas son mayores que las especificadas. Así por e-

jemplo, para $\mu = 1$ se alcanzan valores de ductilidades requeridas superiores en un 30% al valor especificado. Este porcentaje llega al 57% para $\mu = 2$, 200% para $\mu = 4$ y 300% para $\mu = 6$.

Para el rango de periodos largos, la situación se invierte.

Factor de Amplificación para amortiguamientos menores del 5%

Para estructuras con amortiguamientos comprendidos entre $0,5\% \leq \xi \leq 5\%$, el proyecto de Reglamento 103 prescribe la siguiente modificación de las ordenadas espectrales para $\xi = 5\%$:

$$S_a = a_s + (f_a \cdot b - a_s) \frac{T}{T_1} \quad \text{para } T \leq T_1$$

$$S_a = f_a \cdot b \quad \text{para } T_1 < T \leq T_2$$

$$S_a = f_a \cdot b \left(\frac{T_2}{T} \right)^{2/3} \quad \text{para } T > T_2$$

siendo:

S_a pseudoaceleración elástica.

a_s ordenada al origen del espectro.

b ordenada del plafón del espectro.

T periodo de vibración genérico.

T_1 periodo de vibración correspondiente al comienzo del plafón.

T_2 periodo de vibración correspondiente al fin del plafón.

f_a factor de amplificación por amortiguamiento, dado por:

$$f_a = \sqrt{\frac{5}{\xi}} \quad \text{con } 0,5\% \leq \xi \leq 5\%$$

donde:

ξ es el amortiguamiento considerado, expresado como porcentaje del crítico.

Esto significa que el espectro de diseño para $\xi = 5\%$ se amplificará uniformemente para periodos mayores que T_1 mediante el factor f_a , y para periodos inferiores a T_1 sigue una variación lineal, con ordenadas iguales a " a_s " para $T=0$ y a " $f_a \cdot b$ " para $T=T_1$.

Observando los espectros elásticos de varios terremotos, se concluye que la influencia del amortiguamiento en el va-

lor de las ordenadas espectrales no es uniforme, sino que es muy notable para la gama de periodos en "resonancia", disminuyendo sensiblemente para periodos más altos.

En base a la conclusión anterior se propone un factor de amplificación variable con el periodo propio de la estructura. La idea original fue propuesta por el Dr. Prato en una de las reuniones de la Comisión de Trabajo INPRES-CIRSOC.

El factor de amplificación propuesto es:

$$f_a = \sqrt{\frac{5}{\xi}} \quad 0 \leq T \leq T_2$$

$$f_a = \sqrt{\frac{5}{\xi}} \left(\frac{T_2}{T}\right)^{1/3} \quad T > T_2$$

Se mantiene, por lo tanto, el factor $\sqrt{\frac{5}{\xi}}$ para periodos menores o iguales a T_2 . Para periodos mayores que T_2 , el factor f_a es función del periodo propio de la estructura.

Se observa que f_a tiende a 0 cuando T tiende a infinito, es decir, que disminuye con el aumento de T .

Las Figuras 20, 21, 22 y 23 muestran las demandas de ductilidad para estructuras con amortiguamiento igual al 2% del crítico, diseñadas con el Proyecto 103 ($f_a = \text{cte}$) y con la modificación propuesta ($f_a = \text{variable}$). Se muestran gráficos para ductilidades especificadas 1, 2, 4 y 6. La curva superior en cada una de estas figuras corresponde, como es de esperar, a los valores obtenidos con f_a variable.

Los valores de ductilidades requeridas, se acercan más a los valores especificados utilizando el factor de amplificación variable propuesto, esto es, aunque del lado de la seguridad, resultan ser menos conservadores que los del Proyecto 103. Sin embargo, las diferencias observadas no son muy significativas, ya que, en general, son menores que un 15%.

CONCLUSIONES

Las demandas de ductilidad correspondientes al terremoto de San Juan del 23 de noviembre de 1977 resultan semejantes a las del terremoto de El Centro de 1940, siendo notablemente inferiores a las correspondientes a los registros de Pacoima Dam y Van Norman Dam.

Las estructuras diseñadas de acuerdo con el Proyecto de Reglamento 103 INPRES-CIRSOC presentan en general demandas de ductilidad notablemente menores que las especificadas para amortiguamiento igual al 5% del crítico.

Ello es estrictamente cierto para periodos mayores que 0,6 seg. Para periodos menores que 0,6 seg, la tendencia tiende a invertirse, resultando más acentuada a medida que aumenta la ductilidad especificada.

Para amortiguamiento igual al 2% del crítico, la tendencia es similar a la de $\xi = 5\%$, aunque para periodos cortos las diferencias entre las ductilidades requeridas y las de diseño son notablemente menores que para $\xi = 5\%$.

Para amortiguamientos comprendidos entre 0,5 y 5%, la introducción de un factor de amplificación decreciente con el periodo propio de la estructura conduce a resultados más satisfactorios. Sin embargo, la ley de variación de la expresión propuesta en este trabajo, da resultados que, para la gama de periodos de interés, no difieren sustancialmente con los del Proyecto de Reglamento 103, por lo que sería deseable adoptar una ley de variación más pronunciada con el periodo propio.

Conviene recalcar que todas las conclusiones anteriores son estrictamente válidas para estructuras de un grado de libertad sometidas a terremotos que presenten la misma "forma" que el terremoto de San Juan del 23/11/77.

Las demandas de ductilidad difieren sustancialmente con el contenido de frecuencias y la duración del sismo. El terremoto del 23/11/77, si bien es el único de características destructivas registrado instrumentalmente en el país, no es necesariamente el de mayor poder destructivo que pueda esperarse. Además, el registro fue obtenido a una distancia de alrededor de 80 Km del epicentro, por lo que, en zonas más cercanas, las características pueden ser diferentes.

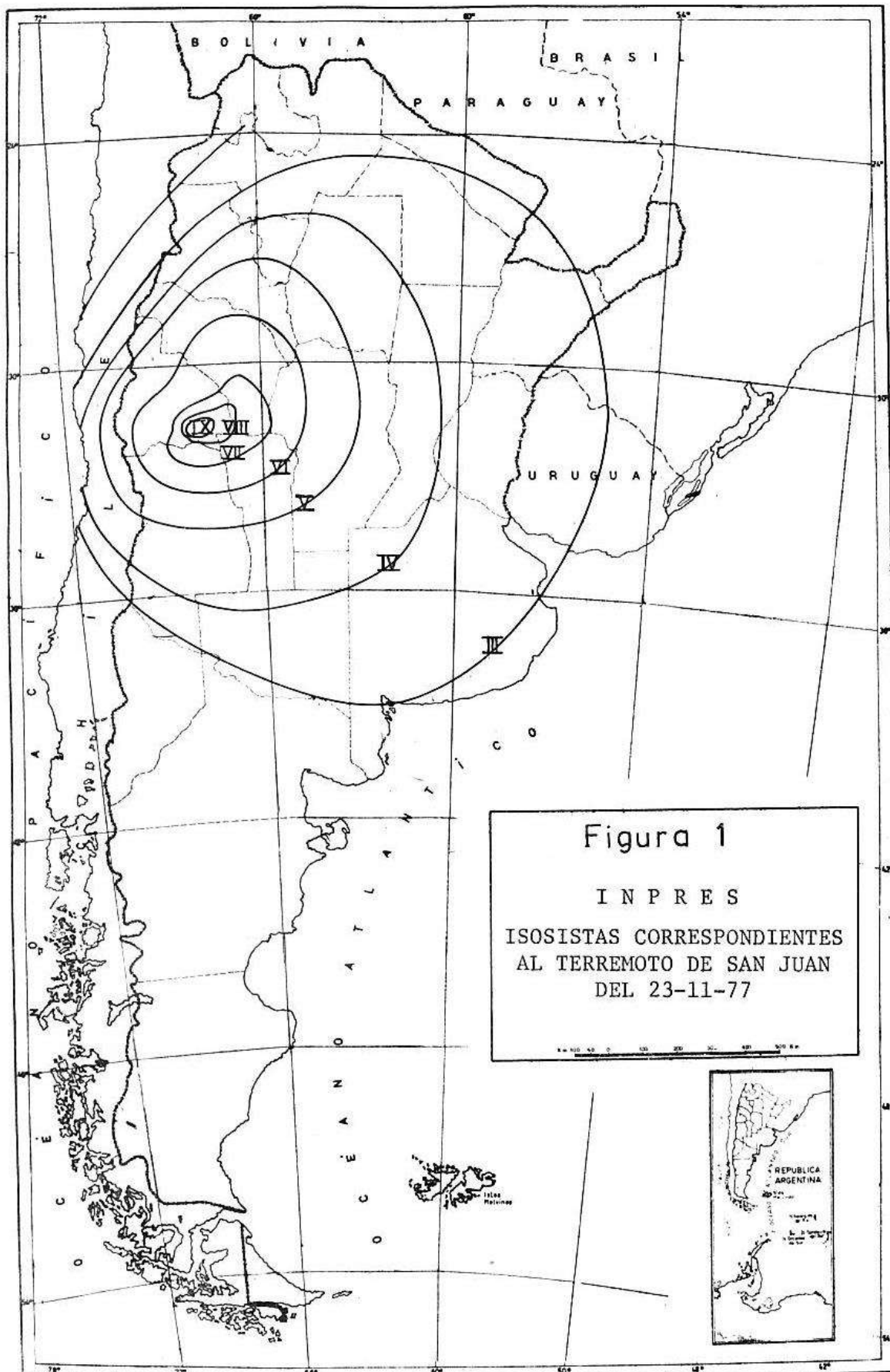
Por lo tanto, los resultados de este trabajo, aunque constituyen un elemento más de juicio, deben ser tomados con precaución.

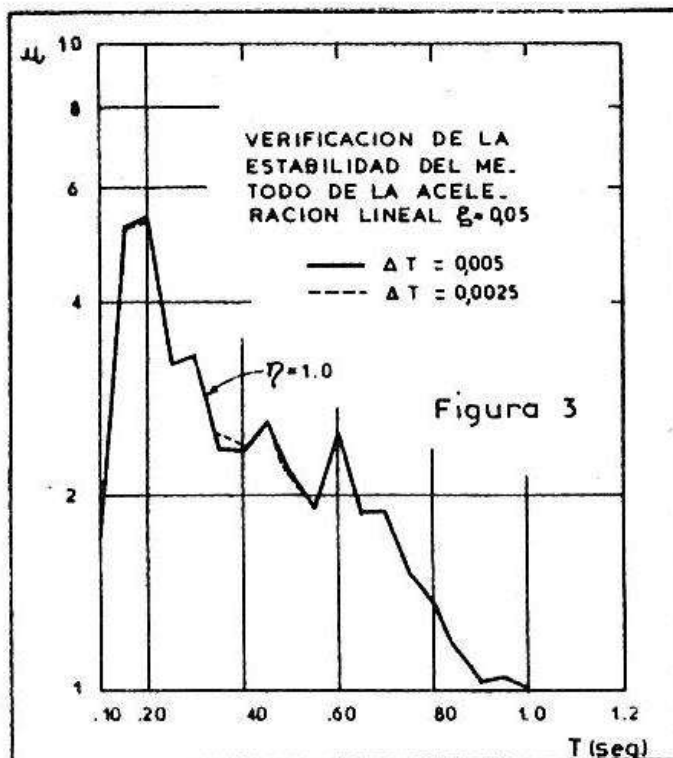
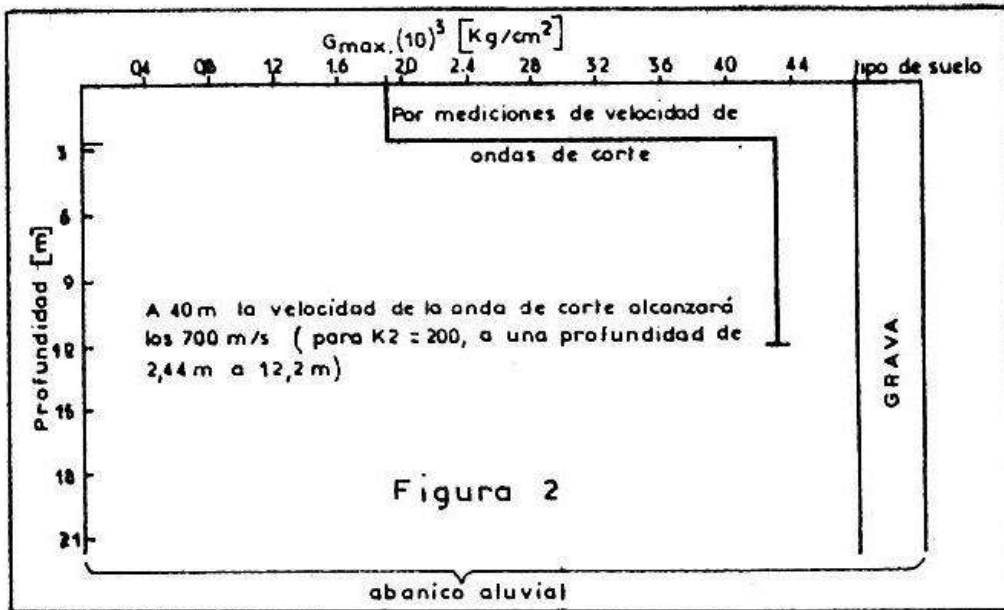
Agradecimientos

El presente trabajo ha sido preparado en el Instituto Nacional de Prevención Sísmica (INPRES). Los autores desean agradecer al Director Nacional del INSTITUTO, Ing. Julio Sohar Aguirre Ruiz por el constante estímulo brindado durante su ejecución; a los señores Walter Buff y Ricardo Varela, pertenecientes al Centro de Computación de Datos del INSTITUTO, por su colaboración en la elaboración de los programas de cálculo utilizados; a los señores Gabriel Guzzo y Alberto Casal por la confección de las ilustraciones y a la señora Carmen Lobos de Díaz por mecanografiar esta publicación.

Referencias:

- 1.- BERTERO, V.V., HERRERA, R.A., MAHIN, S.A.: "Establishment of Design Earthquakes - Evaluation of Present Methods" Proc. of International Symposium on Earthquake Structural Engineering, St. Louis, Agosto 19-21 de 1976.
- 2.- BERTERO, V.V., "State-of-the-Art in Establishing Design Earthquakes", Workshop in Earthquake-Resistant Reinforced Concrete Building Construction, University of California, Berkeley, julio 11-15-77.
- 3.- MAHIN, S.A, BERTERO, V.V., "An evaluation of Inelastic Seismic Design Spectra", ASCE Spring Convention and Exhibit, Preprint 3278, Abril 24-28, 1978.
- 4.- INPRES, "El Terremoto de San Juan del 23 de noviembre de 1977, Informe Preliminar".
- 5.- INPRES, "Estudio de Microzonificación de las Areas Urbanas de la Provincia de San Juan".
- 6.- Clough, R.W., PENZIEN, J., "Dynamics of Structures" Cap. 8 Págs. 121-123, Mc Graw Hill Kogakusha, LTD., 1975.





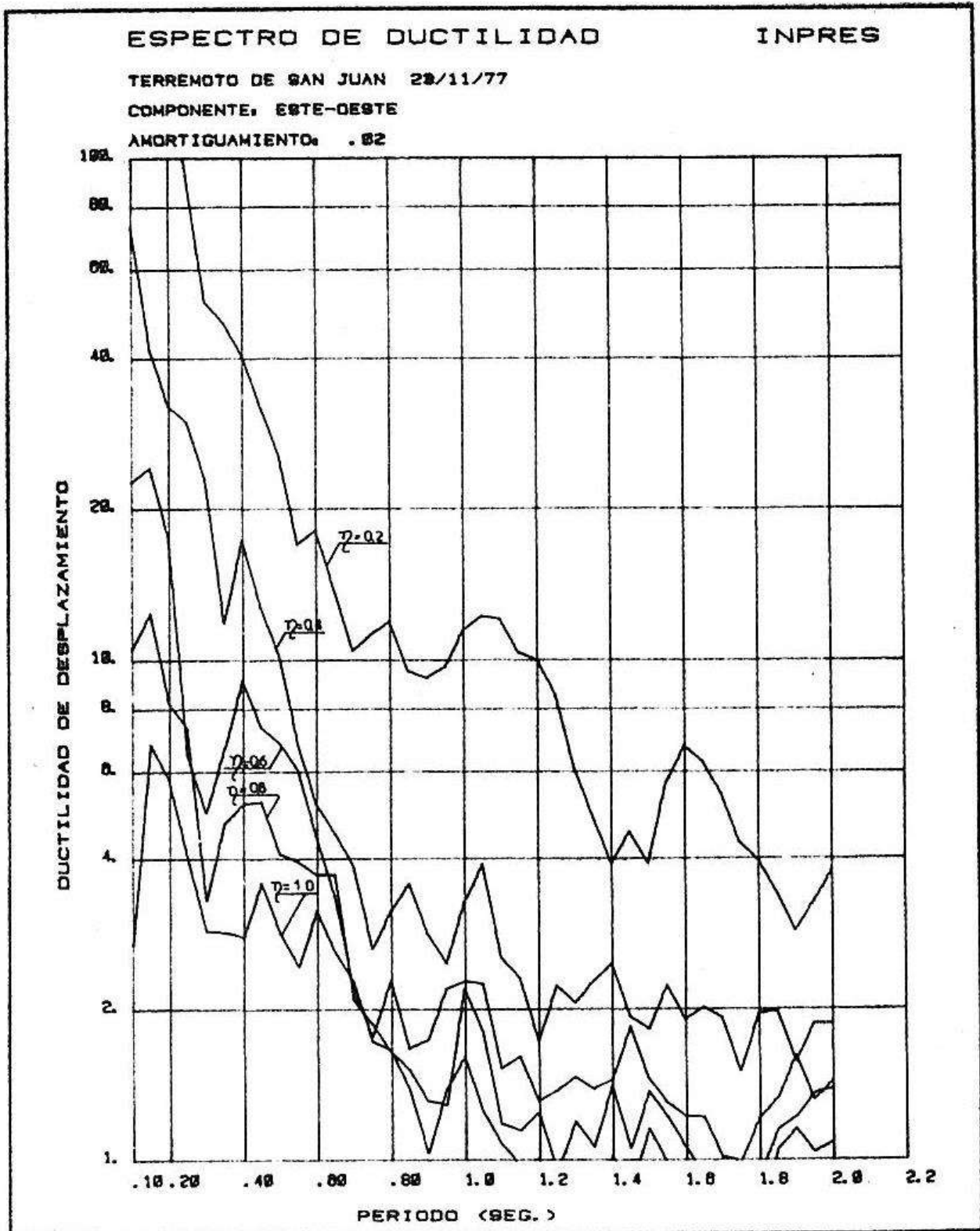


Figura 4

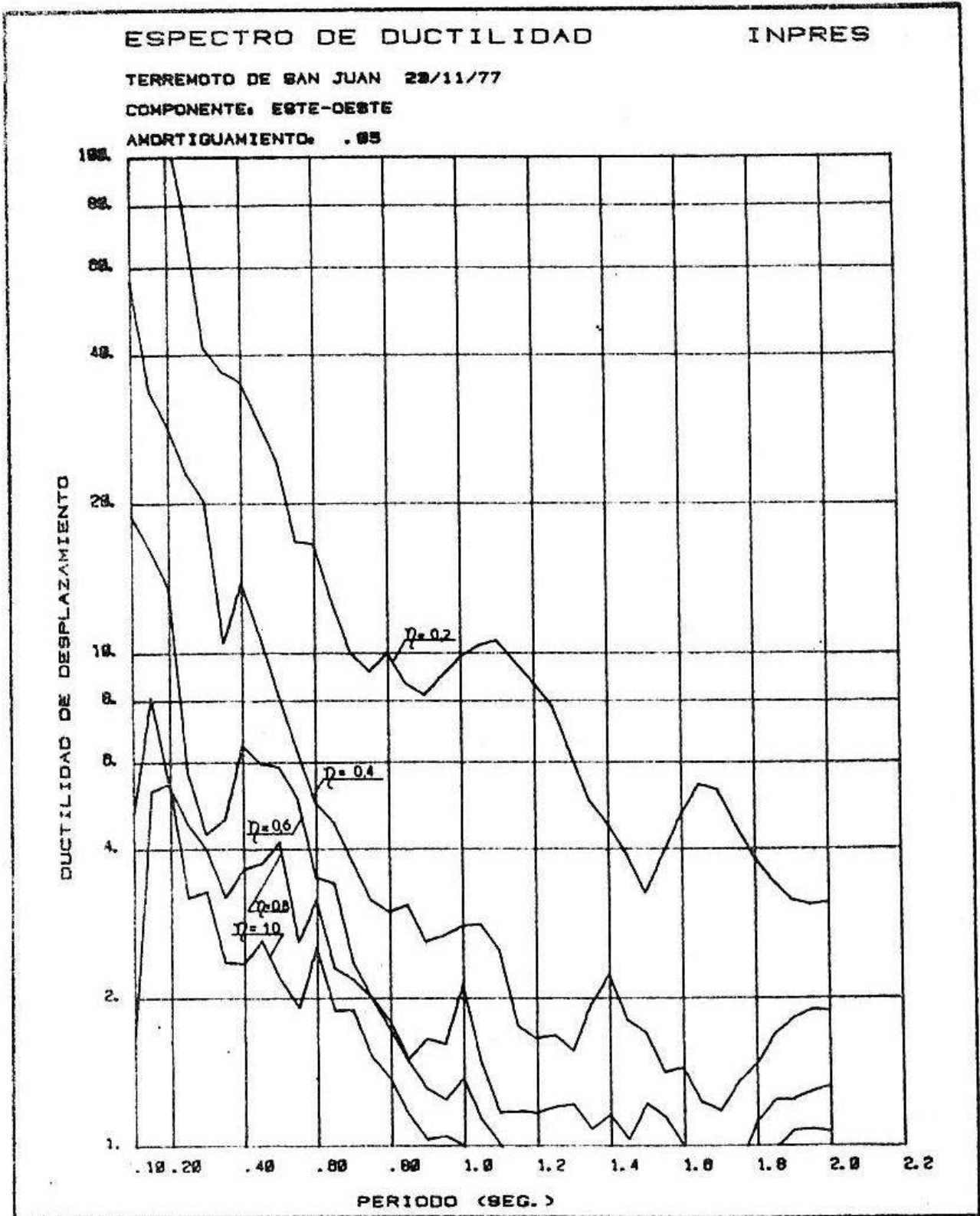


Figura 5

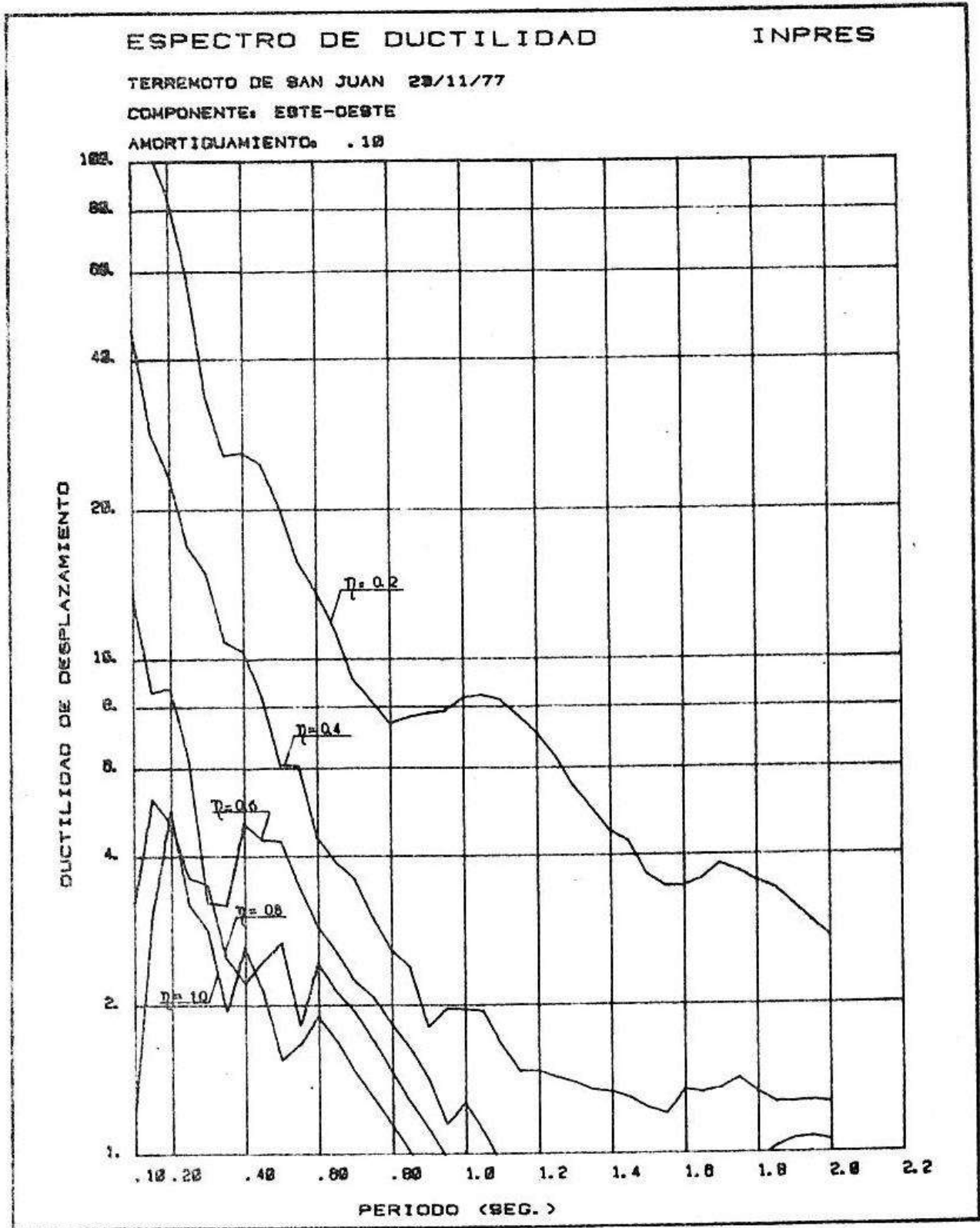


Figura 6

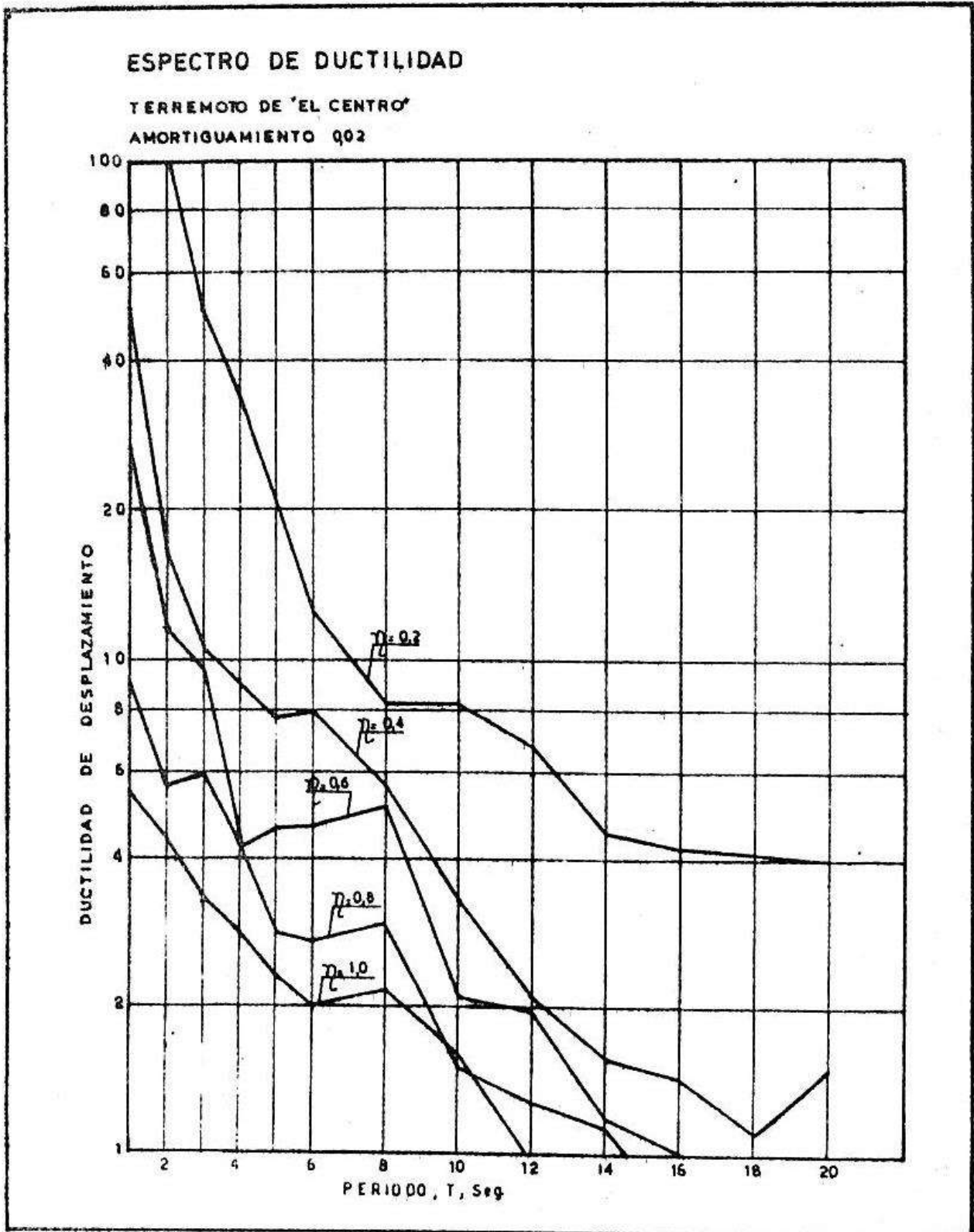


Figura 7

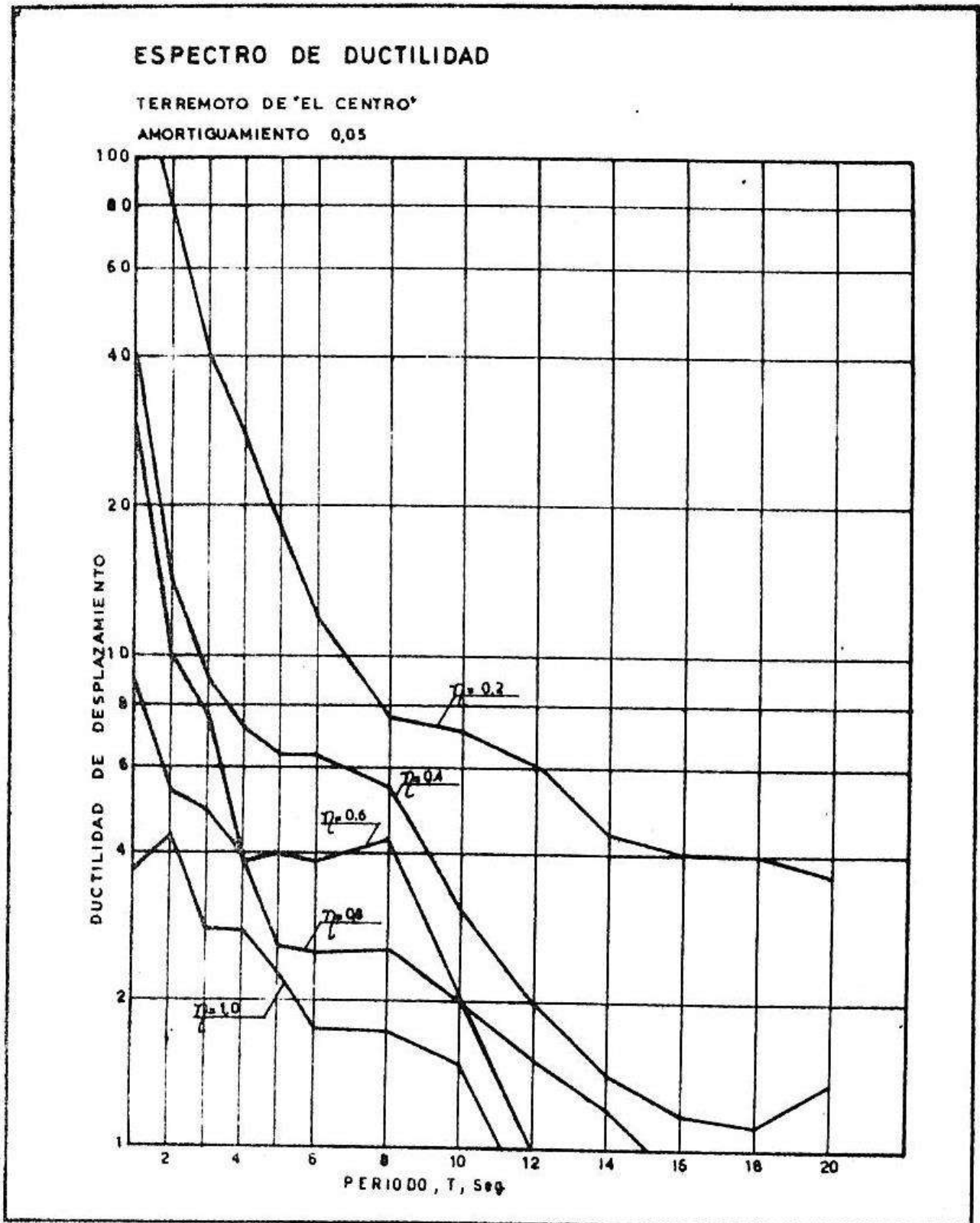


Figura 8

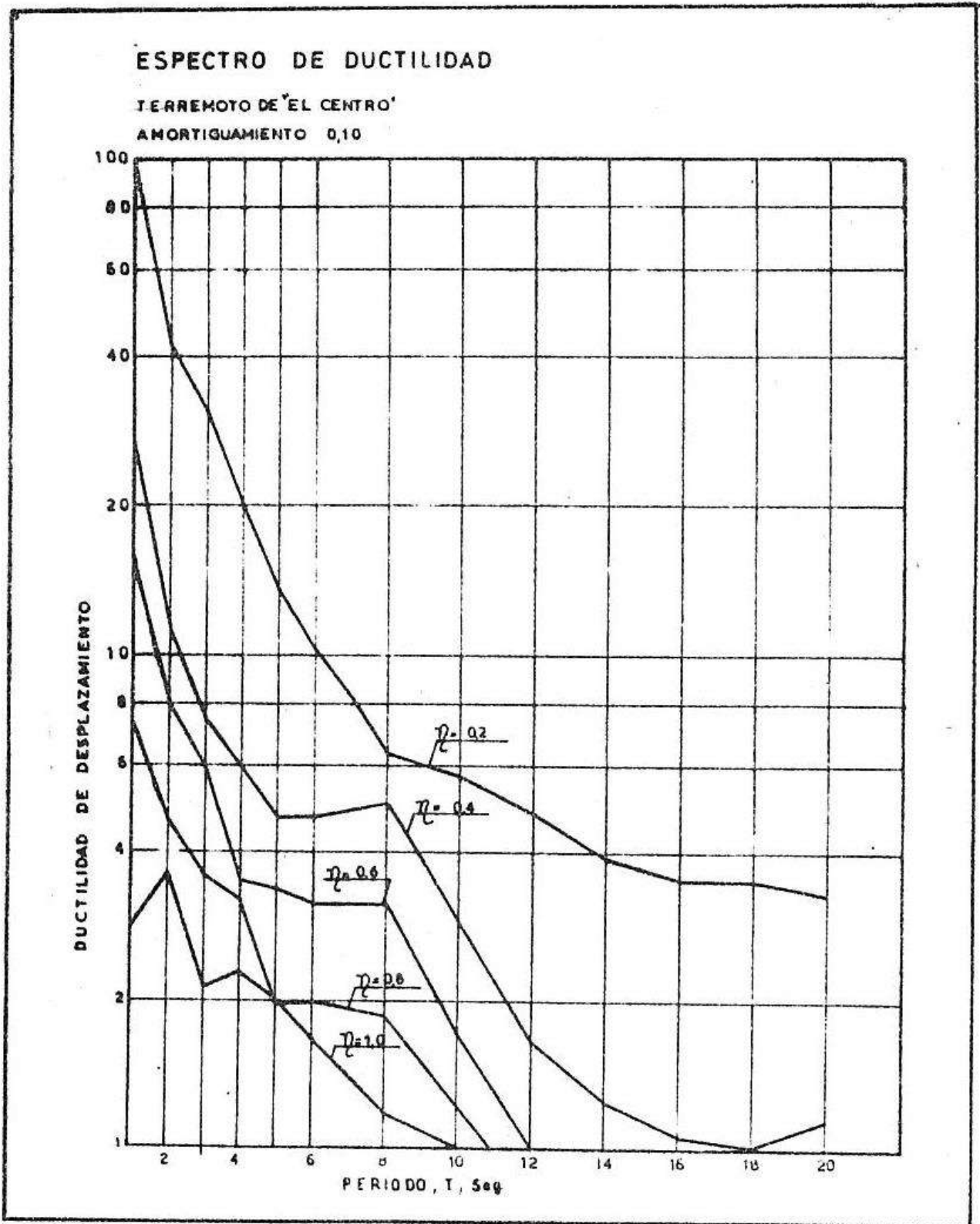


Figura 9

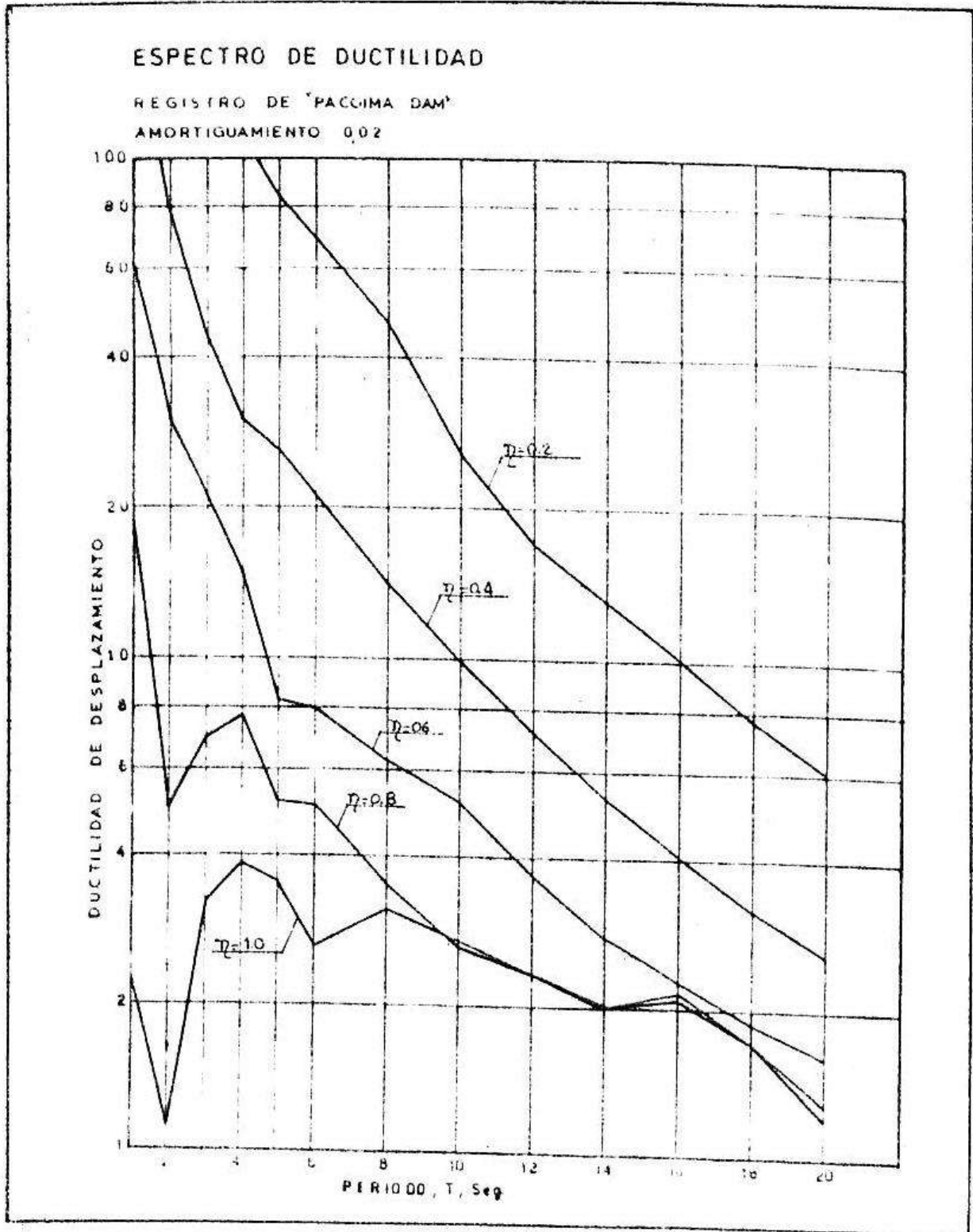


Figura 10

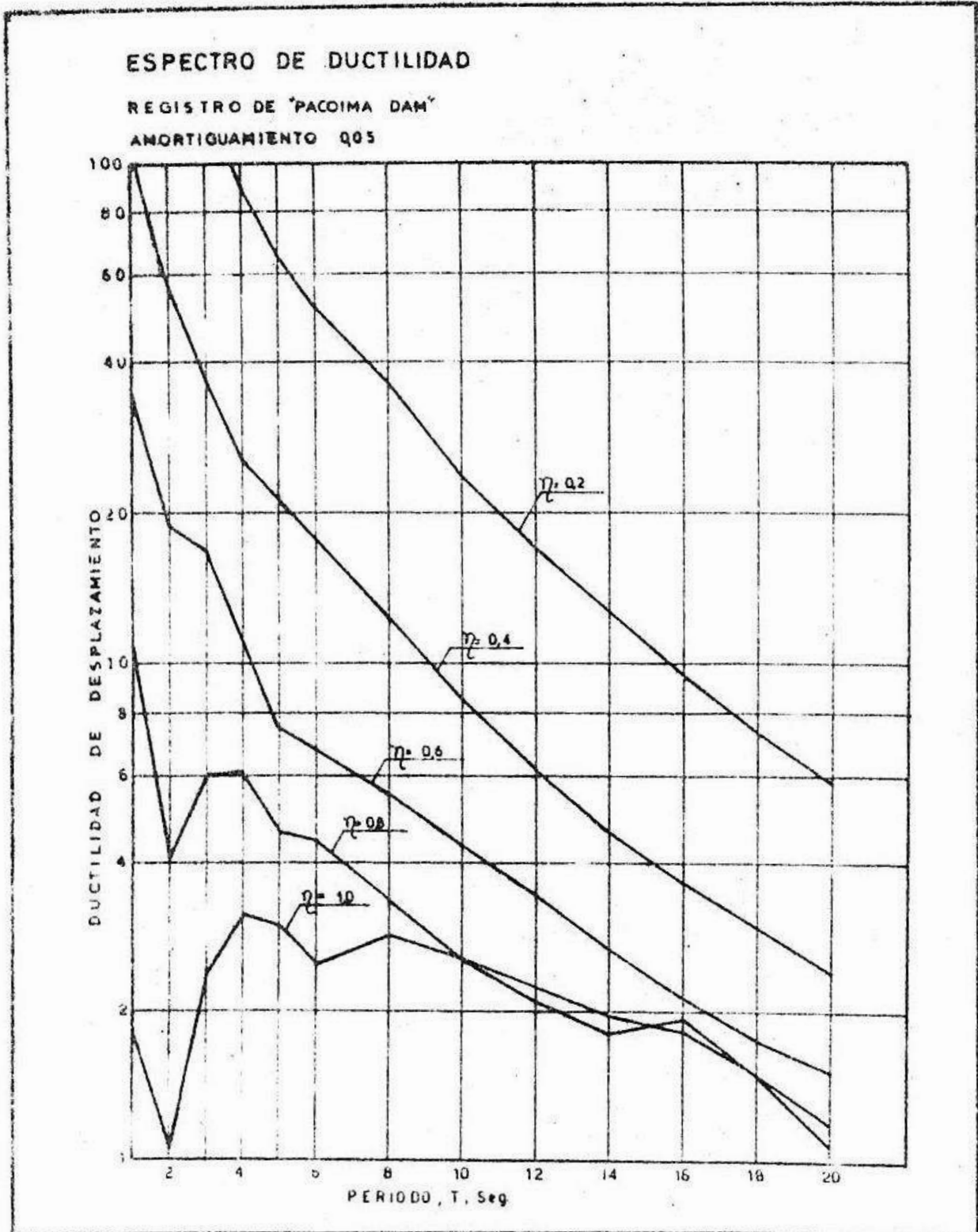


Figura 11

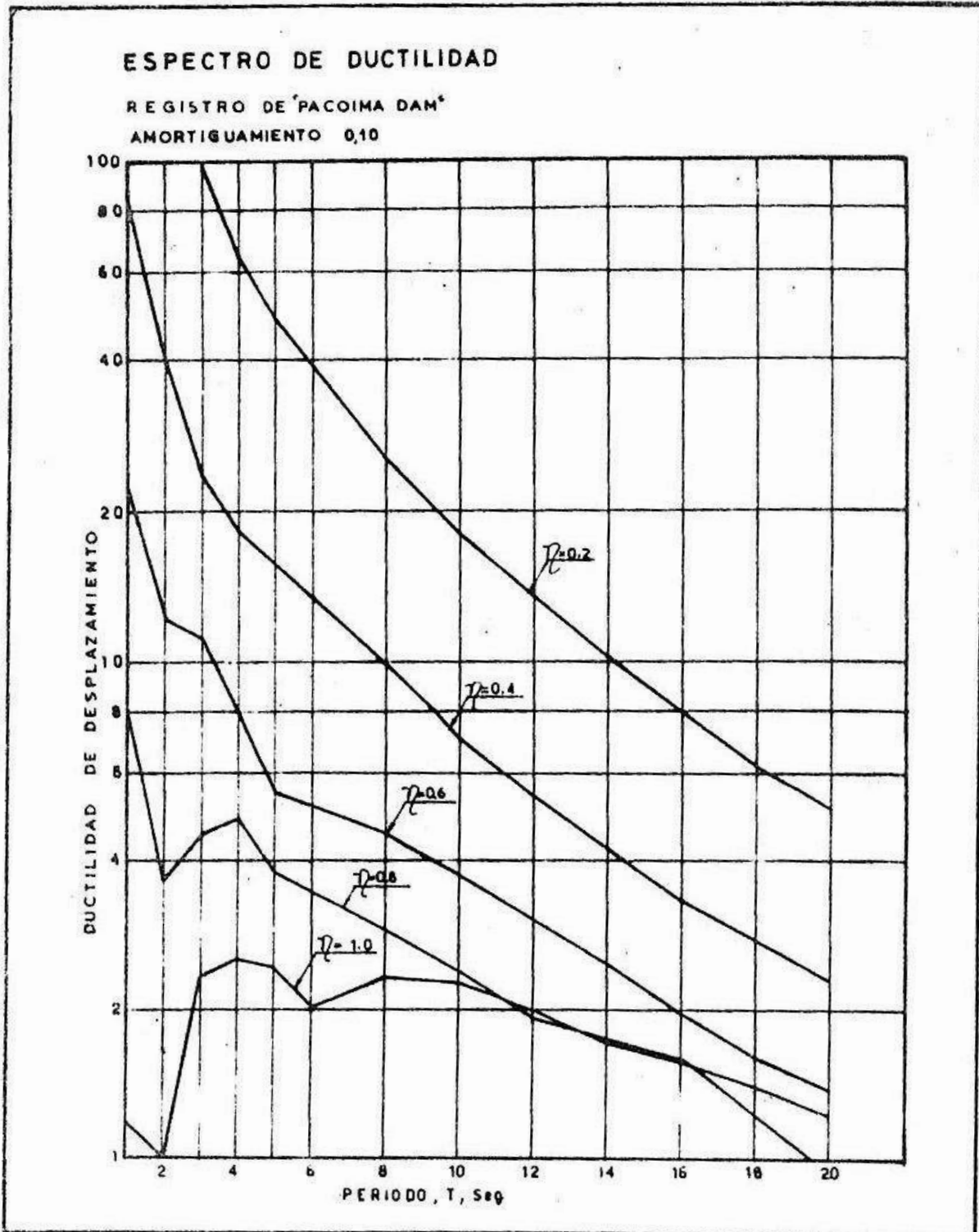


Figura 12

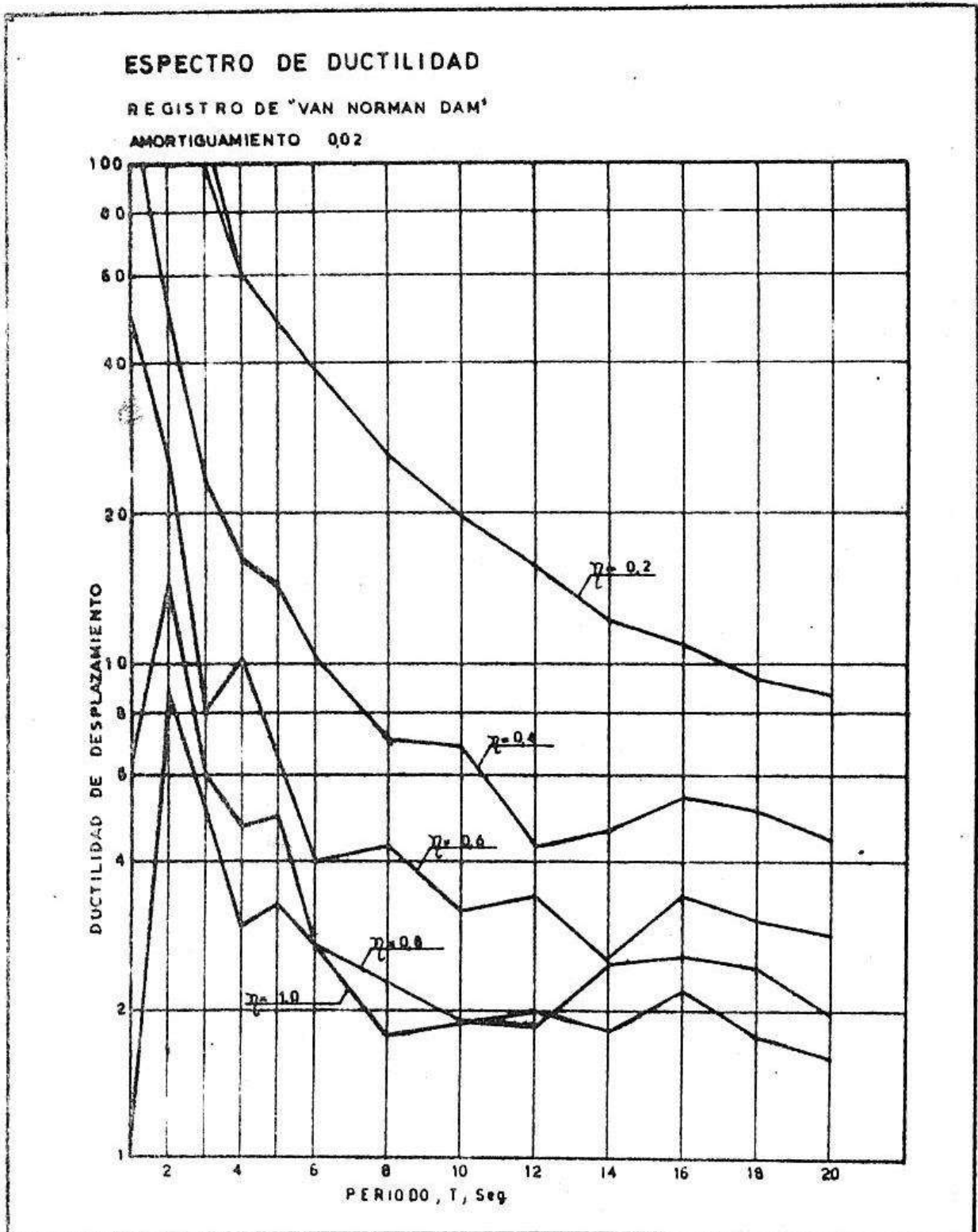


Figura 13

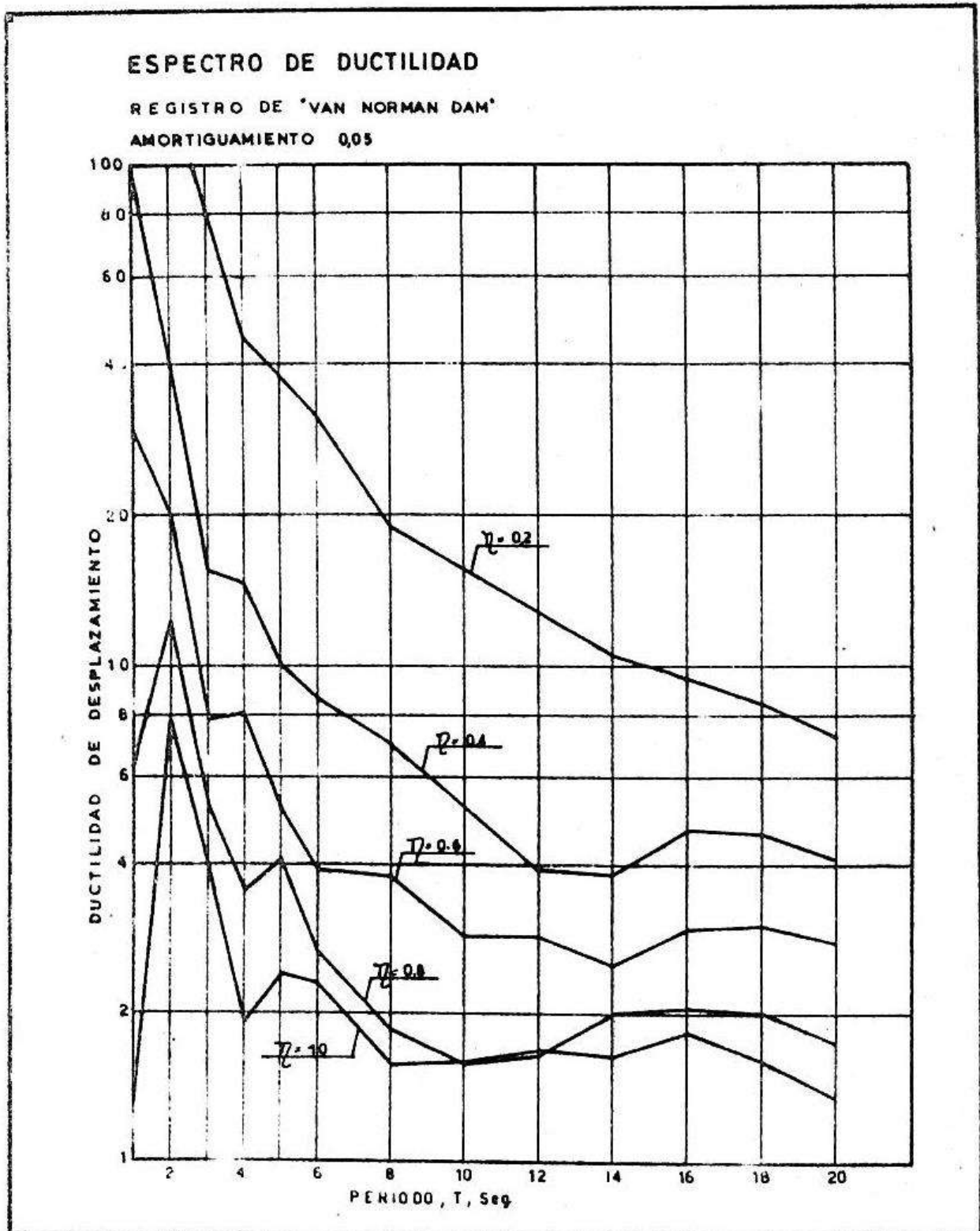


Figura 14

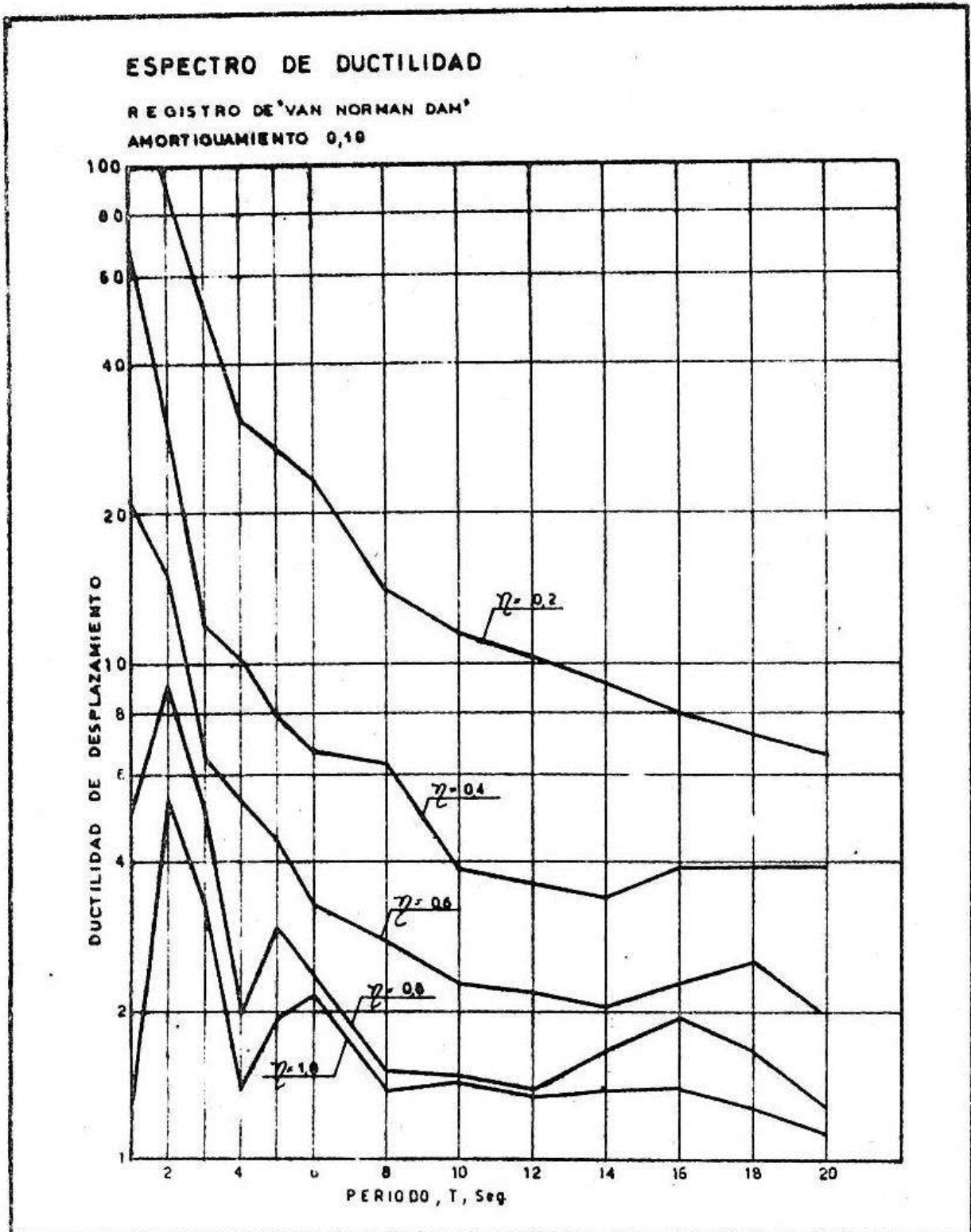


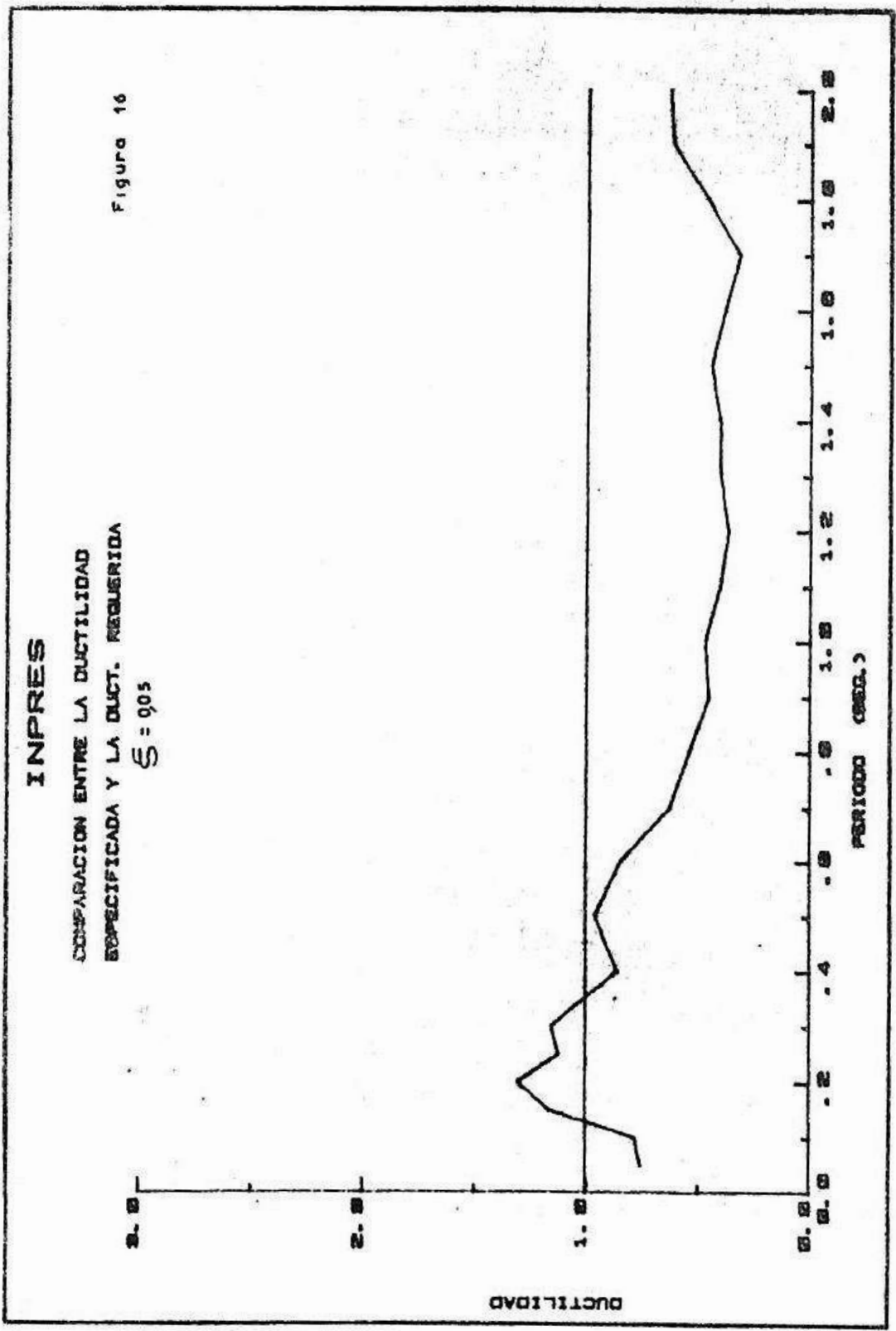
Figura 15

INPRES

COMPARACION ENTRE LA DUCTILIDAD
ESPECIFICADA Y LA DUCT. MEDIDA

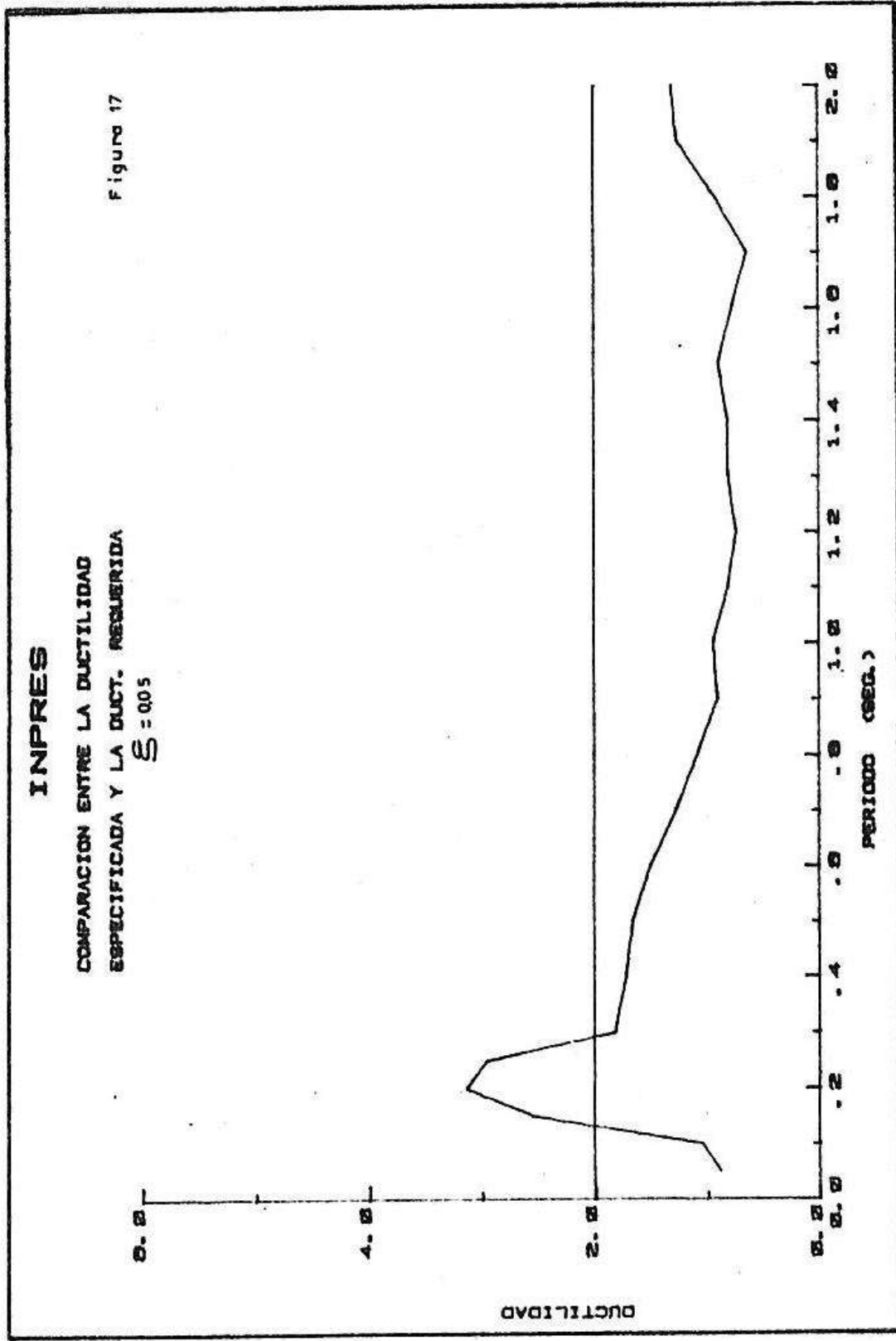
$$\xi = 0.05$$

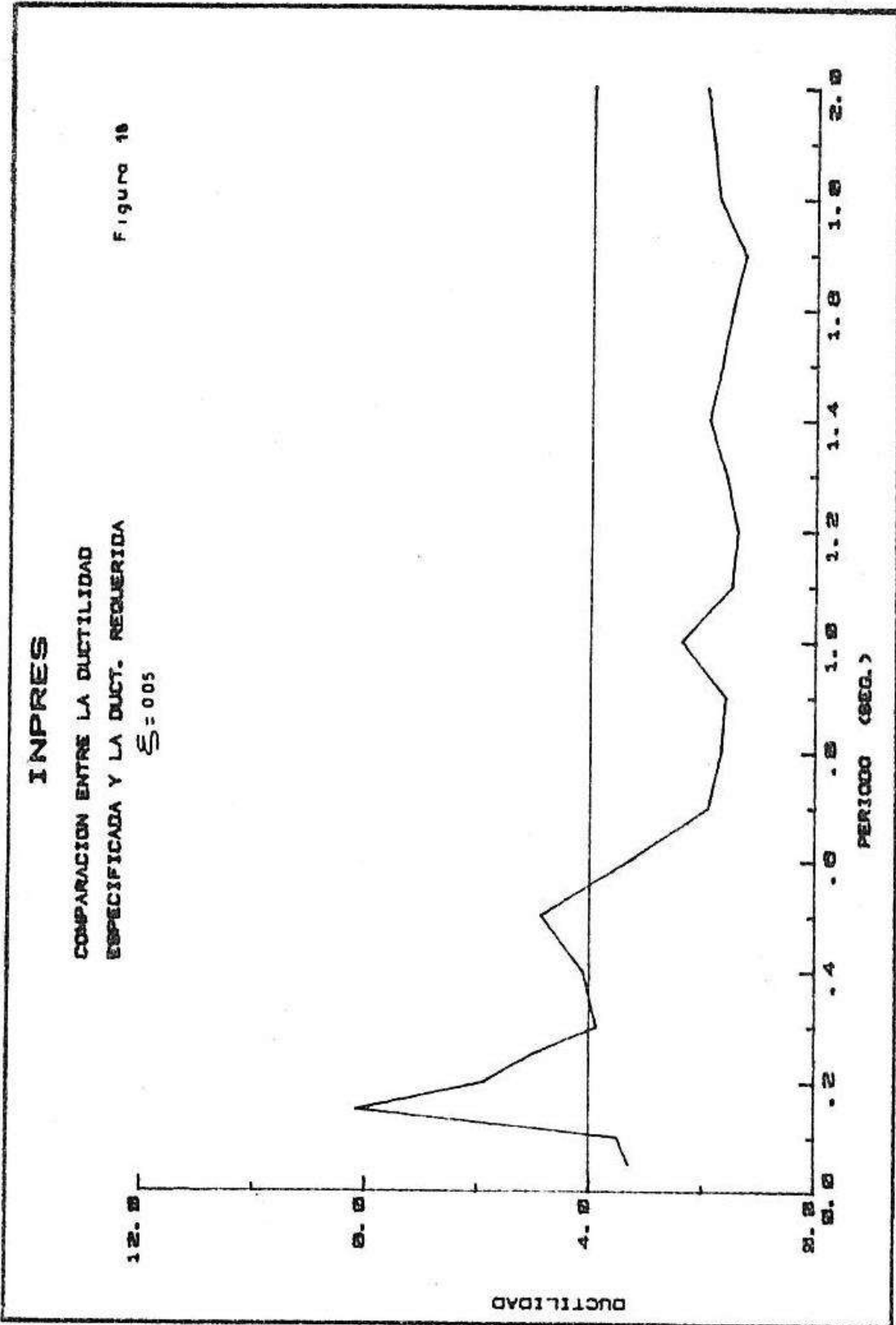
Figura 16

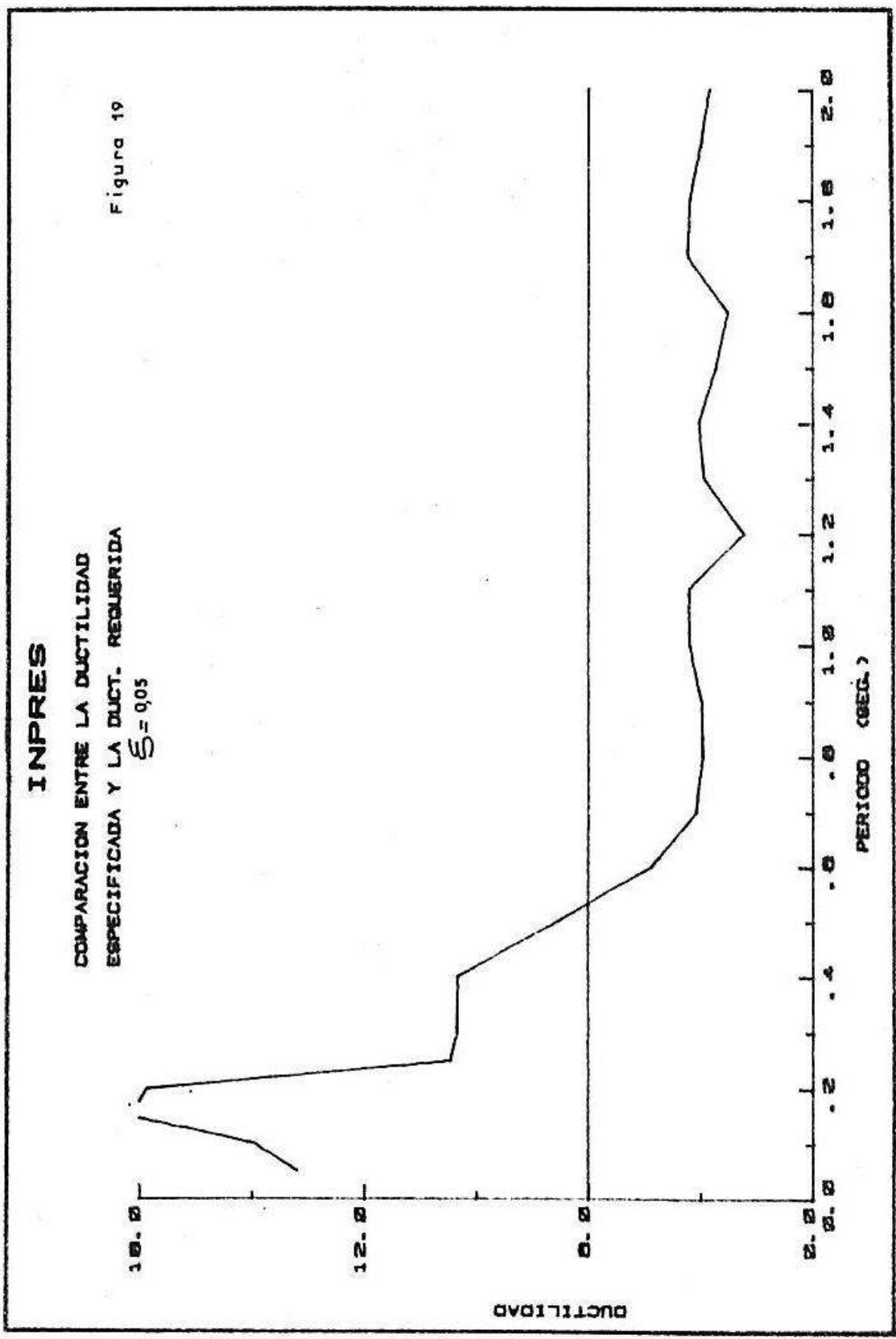


DUCTILIDAD

PERIODO (SEG.)





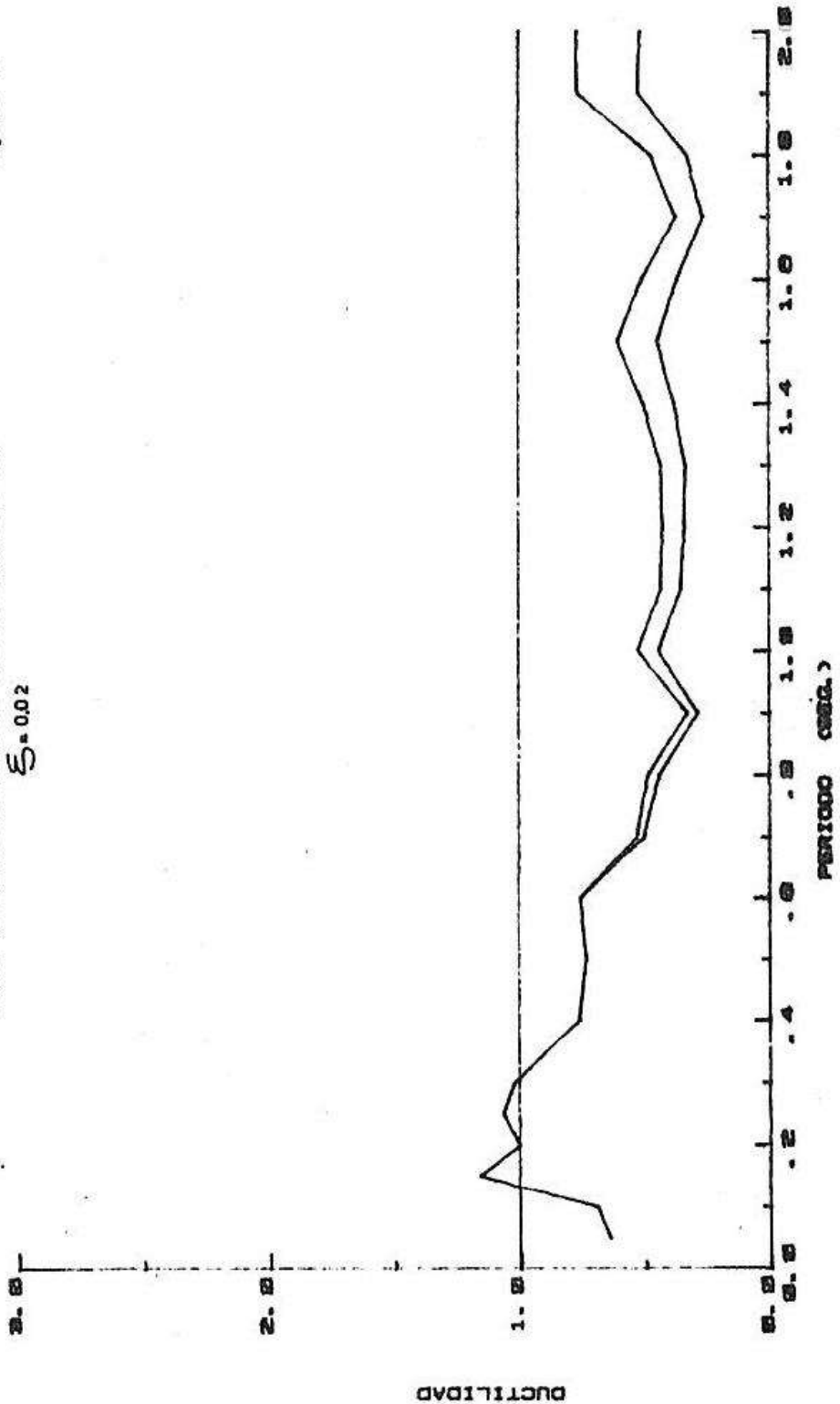


INPRES

INFLUENCIA DEL FACTOR DE AMPLIFICACION
PARA AMORTIGUAMIENTOS INFERIORES AL 5%

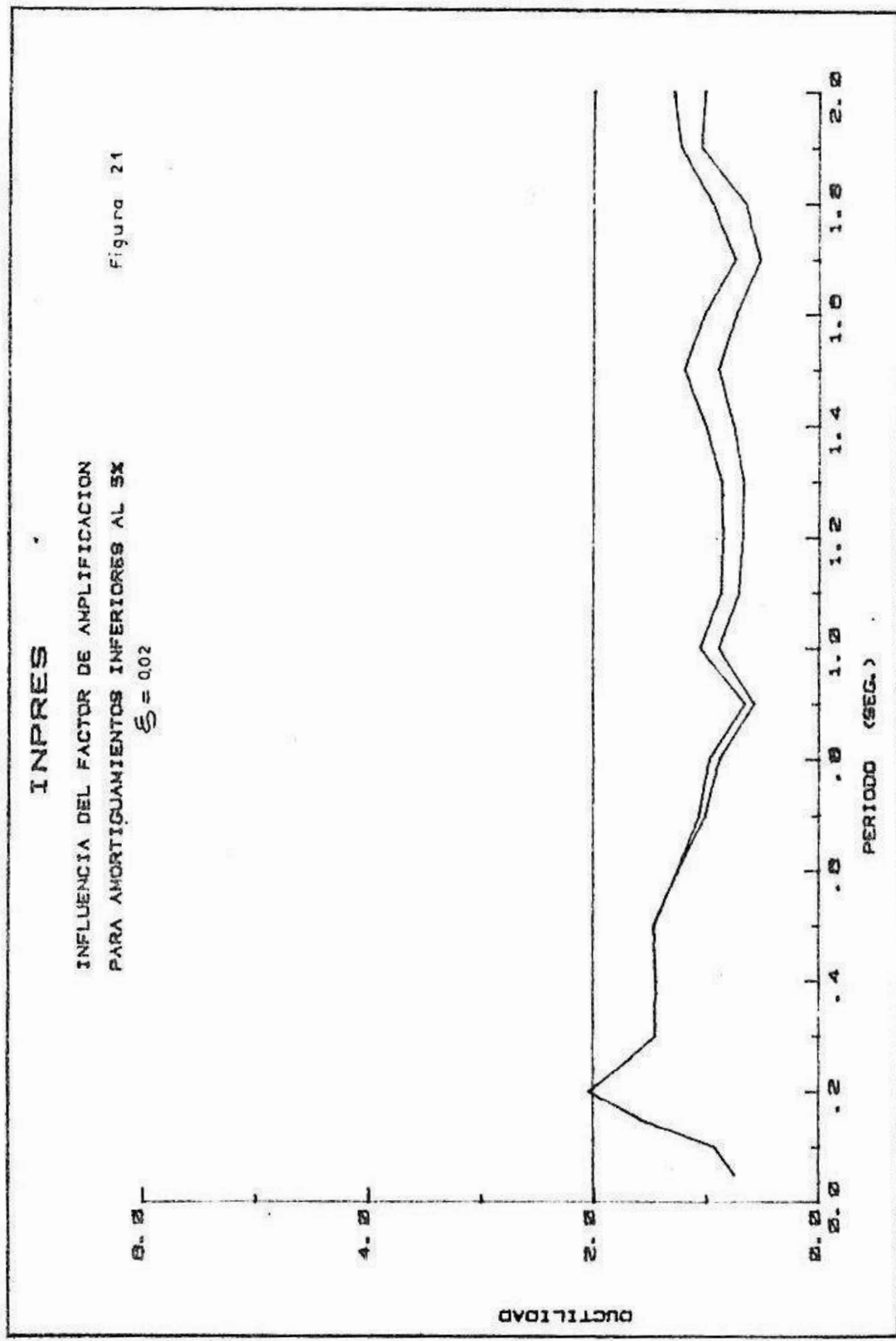
$$\xi = 0.02$$

Figura 20



DUCTILIDAD

PERIODO (SEG.)

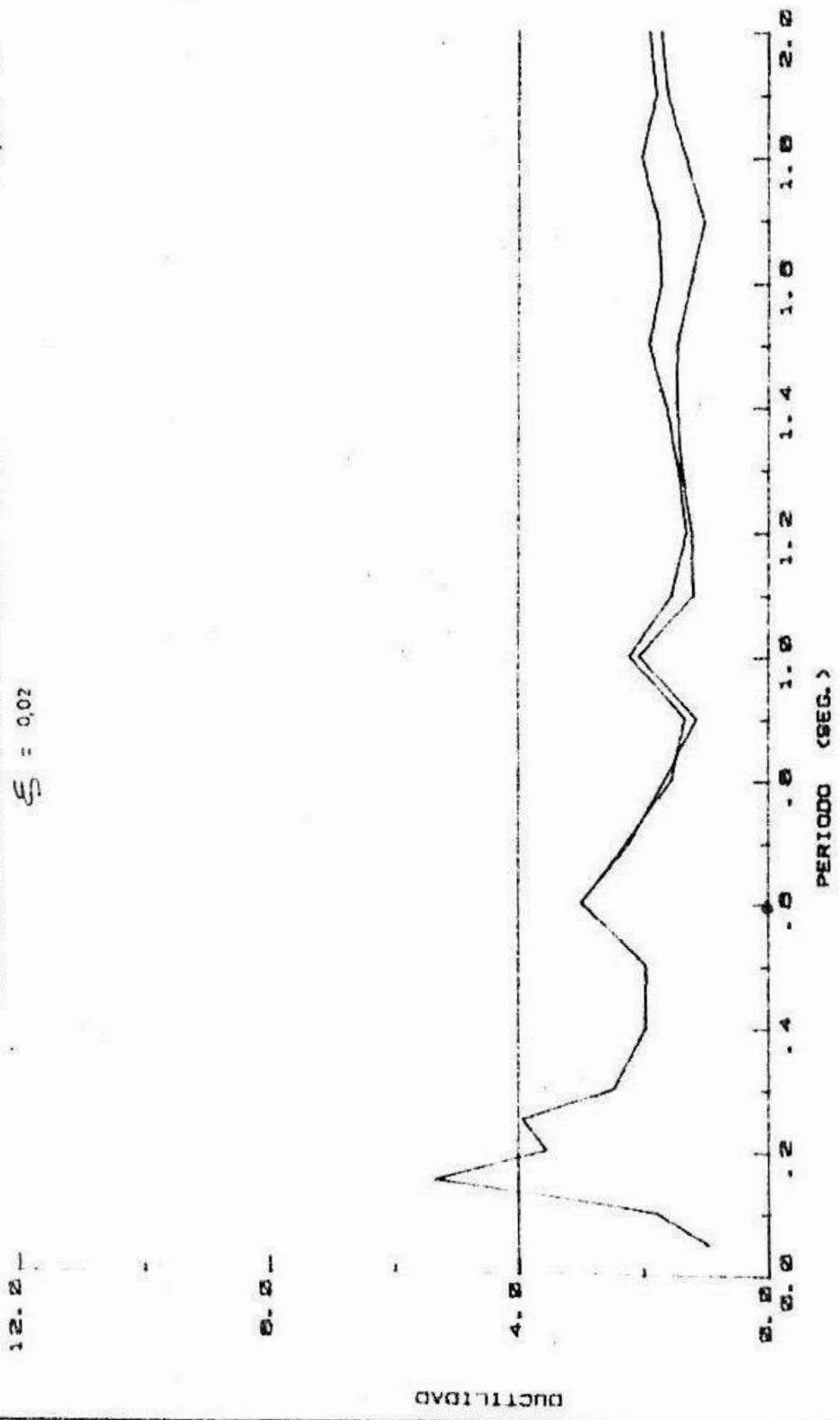


INPRES

INFLUENCIA DEL FACTOR DE AMPLIFICACION
PARA AMORTIGUAMIENTOS INFERIORES AL 5%

Figura 22

$$\xi = 0.02$$

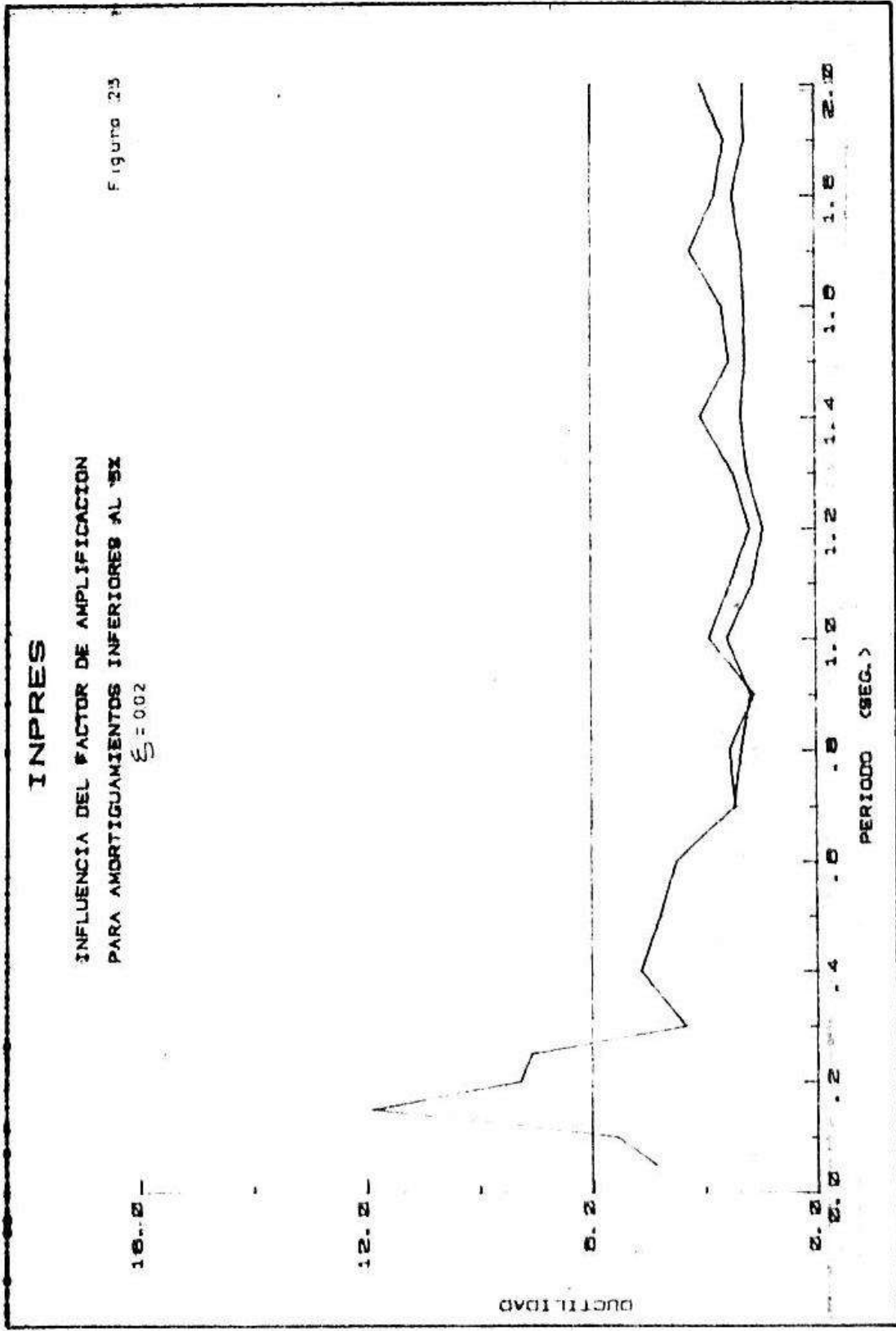


DUCTILIDAD

INPRES

INFLUENCIA DEL FACTOR DE AMPLIFICACION
PARA AMORTIGUAMIENTOS INFERIORES AL 5%
 $\xi = 0.02$

Figura 23



DUCTILIDAD

PERIODO (SEG.)

DIRECTOR NACIONAL
Ing. Julio Sohar AGUIRRE RUIZ

JEFE DEPARTAMENTO TECNICO
Agrim. Raúl Omar MALBERTI

JEFE AREA DIVULGACION
Agrim. Rafael I. GUTIERREZ

Jefe Sala de Impresiones: Hugo F. TERAGNI

Dactilógrafa: Carmen del P. LOBOS DE DIAZ

Confección de Ilustraciones: Gabriel GUZZO y Alberto CASAL

EN TODA REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL DEL CONTENIDO DE ESTA
PUBLICACION, DEBERA CITARSE SU PROCEDENCIA Y ENVIAR COPIA
AL INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCION SISMICA - INPRES.

DIRECCION POSTAL: ROGER BALET 47 - Norte
5400 - SAN JUAN
REPUBLICA ARGENTINA

TELEFONOS: 30602 - 30603 - 30163

TELEX: 59129 INPRE AR