



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA

BASES PARA UNA REVISION DE LAS NORMAS
PERUANAS DE DISEÑO SISMO - RESISTENTE (*)

GIANFRANCO OTTAZZI ●●

PEDRO REPETTO ●

JULIO VARGAS ●●

LUIS ZEGARRA ●●

(*) TRABAJO PRESENTADO EN EL II SEMINARIO
LATINOAMERICANO DE INGENIERIA SISMO-RESISTENTE
LIMA, AGOSTO DE 1980

●● PROFESOR DE LA PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA
DEL PERU

Publicación: DI - 81 - 01

Serie: Difusión

Junio 1981



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA

BASES PARA UNA REVISION DE LAS NORMAS
PERUANAS DE DISEÑO SISMO - RESISTENTE (9)

GIANFRANCO OTTAZZI ●●

PEDRO REPETTO ●●

JULIO VARGAS ●●

LUIS ZEGARRA ●●

(9) TRABAJO PRESENTADO EN EL II SEMINARIO
LATINOAMERICANO DE INGENIERIA SISMO - RESISTENTE
LIMA, AGOSTO DE 1980

●● PROFESOR DE LA PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA
DEL PERU

Publicación: DI - 81 - 01

Serie: Difusión

Junio 1981

INDICE

1.0.0. Antecedentes

2.0.0. Parámetros para evaluar el Coeficiente Sísmico:

2.1.0. Factor de Zonificación Sísmica

2.2.0. Factor de Importancia

2.3.0. Factor de Sitio

2.4.0. Factor de Forma Espectral

2.5.0. Factor de Ductilidad

2.6.0. Evaluación del Período Fundamental de Edificios.

3.0.0. Propuesta de espectros para la Norma.

Bibliografía

RESUMEN

Se presenta un estudio con fundamentos y sugerencias para modificar la definición de los parámetros que intervienen en la evaluación del coeficiente sísmico de las Normas Peruanas, en base a la experiencia acumulada e investigaciones realizadas en los últimos años.

1.0.0. ANTECEDENTES

El 5 de Abril de 1977, el Ministerio de Vivienda aprobó por Resolución Ministerial las Normas de Diseño Sismo-Resistente (1), las cuales fueron elaboradas durante 1976 con la colaboración de delegados del Colegio de Ingenieros, Universidad Nacional de Ingeniería, Universidad Católica, Instituto Geofísico y Comité Nacional de Defensa Civil.

Dichas Normas aparecen como una consecuencia de experiencias producidas por los sismos de 1970 y especialmente el de Octubre de 1974, los que hicieron notar que la norma anterior resultaba incompleta, entre otros, por no considerar los efectos locales y omitir los capítulos referentes a construcciones de diversos materiales en uso en el país.

Las Normas aprobadas en 1977 abarcan adecuadamente el tratamiento moderno de los conceptos de diseño sísmico, intentando cubrir las distintas zonas del país, materiales de construcción y tipos estructurales empleados. Sin embargo, con la intensificación de investigaciones y estudios sobre los problemas sísmicos que se han producido en el Perú en los últimos años, aparecen puntos que deben ser modificados para adaptarlas a la realidad nacional.

Los criterios más importantes que se han considerado en la preparación de las sugerencias que se presentan en este trabajo, son:

- a) Las Normas deben actualizarse periódicamente, incorporando los resultados de las investigaciones más recientes, tanto a nivel nacional como internacional.
- b) El nivel de exigencia para el diseño, evitando en lo posible las pérdidas de vidas y reduciendo los daños materiales, debe ser compatible con la situación y capacidad económica del país.
- c) Deben constituir una base didáctica para aclarar los conceptos y evitar errores en su aplicación. Por esta razón deben emplearse variables que describan adecuada y lógicamente el fenómeno que se analiza.

El presente trabajo no corresponde a un análisis de la totalidad de la Norma, sino presenta los elementos básicos que conducen a una propuesta de nuevos espectros de diseño.

2.0.0. PARAMETROS PARA EVALUAR EL COEFICIENTE SISMICO

El Coeficiente Sísmico de las Normas debe recoger de cada parámetro influyente características tales que, adicionalmente a tomar en cuenta las condiciones locales o regionales, guarden un principio de coherencia y a la vez uniformidad en la seguridad otorgada en todos los rangos de los fenómenos descritos.

A continuación se describen uno a uno los factores que definen dicho coeficiente sísmico, que la norma peruana evalúa como:

$$\alpha = \frac{Z.U.S.C.}{R_d}$$

El presente trabajo no pretende añadir ni quitar factores influyentes en el coeficiente sísmico, respecto a la norma vigente. Simplemente intenta nacionalizar y ajustar su evaluación.

2.1. Factor de Zonificación Sísmica.-

La actividad sísmica en el Perú no es homogénea y los dos códigos sismo-resistentes que han sido formulados así lo manifiestan. El primero, (1971) recogiendo el valor de lo intuitivo y la narración histórica. El segundo, (1977) basándose en diferentes intentos de evaluar la actividad sísmica a través de la distribución especial de los sismos históricos. (2, 3)

Sin embargo, es conveniente que los mapas de zonificación basados en los datos sísmicos del pasado, sean definidos con criterios probabilísticos, utilizando modelos de atenuación y ajustes por el método de valores extremos. (4). Lo más normal es utilizar mapas de distribución de velocidades y aceleraciones máximas para determinados períodos de retorno (50, 100, 200 años, etc).

En este Seminario se presenta paralelamente un trabajo que define la distribución de aceleraciones máximas, como resultado de un análisis de riesgo sísmico para el Perú (5) y del cual, es posible obtener una relación promedio (para diferentes períodos de retorno) entre la sismicidad de las tres zonas definidas por el código vigente. Alternativamente es posible establecer una nueva zonificación que debiera incluir además consideraciones tectónicas y geológicas.

Este trabajo se limita a la primera alternativa es decir, a evaluar el factor Z para cada una de las 3 regiones ya definidas y que la norma vigente establece $Z = 1, 0.7$ y 0.3 respectivamente. En el futuro deberá implementarse la segunda alternativa más completa y racional, luego de su discusión y paulatino perfeccionamiento.

Para evaluar el factor Z se consideró en cada región un valor promedio de aceleración máxima obtenido dentro de la geografía asignada, pero normalizado a la zona más activa. Así, los nuevos valores de Z serían $1, 0.75$ y 0.4 . La fundamentación para la evaluación de las aceleraciones máximas esperadas en cada región, así como su distribución, se describen en la referencia bibliográfica mencionada.

2.2. FACTOR DE IMPORTANCIA

El factor de importancia o de uso, tal como ha sido definido en el código actual, prescribe valores de 1.0 para edificaciones comunes, de 1.3 para edificaciones especialmente importantes y mayores para edificaciones que revisten un riesgo potencial crítico.

Se considera que definida una distribución probabilística de aceleraciones, tal como se ha realizado en el trabajo base de la referencia 5, es posible definir el nivel de aceleración de diseño, fijando o seleccionando el riesgo anual asociado a cada obra. El nivel de riesgo anual deberá definirse de acuerdo a la importancia social de la obra y la realidad económica del país. Finalmente, es posible normalizar las aceleraciones obtenidas, respecto a las aceleraciones propias de las construcciones comunes (Edificios de vivienda u oficinas, $U = 1.0$).

Fijando niveles de riesgo sísmico anual para cada una de las categorías propuestas y relacionando entre sí las aceleraciones máximas asociadas para diferentes lugares del país se obtienen los siguientes valores promedio para el factor U de uso o importancia.

Viviendas unifamiliares	: 0.8
Edificaciones comunes (oficinas o multifamiliares)	: 1.0
Edificaciones especiales (servicios vitales)	: 1.33
Estructuras críticas (presas, obras de infraestructura básica, etc.)	: 1.75

En el caso de estructuras críticas el valor de U especificado podrá reducirse hasta en 20 % , si es que se fundamenta la reducción en un análisis de Riesgo Sísmico para la obra.

Los reactores nucleares deberán ser estudiados en forma particular de acuerdo a las regulaciones del Organismo Internacional de Energía Nuclear.

2.3.0. FACTOR DE SITIO

El estudio de los daños producidos por los sismos ocurridos en los últimos años, ha demostrado que normalmente las estructuras más dañadas son aquellas ubicadas sobre suelos menos firmes. De estas experiencias surge la necesidad de considerar los espectros de diseño dependientes de las características del lugar, asignando ordenadas espectrales mayores a los lugares con suelos menos firmes.

La manera más usual de considerar este efecto es por medio de un Factor de Sitio (S), el cual no pretende evaluar amplificaciones de la aceleración, sino que, en base a la experiencia permite introducir de manera global en los espectro de diseño de aceleración, los efectos más nocivos de las vibraciones en los suelos menos firmes.

Una de las propiedades que permite evaluar adecuadamente el comportamiento sísmico de un perfil de suelo es su Período Característico (T_s), el cual depende de la estratigrafía del lugar. Su determinación reviste importancia fundamental, ya que la experiencia ha demostrado que tanto el Factor de Sitio como el de Forma Espectral, dependen del Período Característico del perfil (6, 7, 8).

En consecuencia, para poder evaluar racionalmente el Factor de Sitio, se requiere contar previamente con información relativa a la estratigrafía del lugar, en base a la cual es conveniente clasificar el perfil del suelo dentro de uno de varios grupos y estimar su Período Característico.

2.3.1. CLASIFICACION DE LOS PERFILES DE SUELOS

Las Normas actuales establecen una clasificación en función sólo del suelo de cimentación y no del perfil del suelo, sin tomar en cuenta los espesores de los estratos. Debido a que esta clasificación tiene por objeto servir de base para determinar las características del espectro para el lugar, resulta necesario modificarla para incluir la profundidad del perfil del suelo.

En la misma sección se indica que la clasificación se efectúa de acuerdo al tipo de suelo y al período predominante T_S de la estratigrafía. En realidad, la clasificación debe efectuarse sólo en función del perfil del suelo, pudiendo luego calcularse T_S a partir de las características y profundidades de los estratos, o estimarse a partir de la clasificación del perfil.

En la clasificación actual el Tipo III incluye a los suelos granulares sueltos, los cuales son susceptibles de sufrir densificación o licuefacción durante sismos. Estos fenómenos producen asentamientos y deformaciones que son excesivos para la mayoría de estructuras y que no son tomados en cuenta en los procedimientos convencionales de diseño. En consecuencia, es recomendable eliminar de la clasificación estos suelos, ya que la Norma no resulta aplicable, y especificar para esos casos la realización de estudios especiales.

En base a los comentarios anteriores, al estudio de la bibliografía sobre este tema y tomando en cuenta las características de los perfiles de suelos más comunes en el Perú, se sugiere la siguiente clasificación de Perfiles de Suelos adaptada de la recomendada por el ATC 3 (9).

Perfil Tipo	Descripción
I	Roca y depósitos de gravas muy densas.
II	Depósitos de suelos firmes, con profundidad menor de 60 m. a la roca o a material de comportamiento sísmico similar a roca.
III	Depósitos de suelos firmes, con profundidad mayor de 60 m. a la roca o a material de comportamiento sísmico similar a roca.
IV	Depósitos en los que existen estratos de suelos cohesivos blandos a medianamente compactos, en los que la suma de los espesores de estos estratos excede de 10 m.

En el Cuadro N° 1 se presenta esta descripción de perfiles en forma más detallada.

2.3.2. PERIODO CARACTERISTICO DE PERFIL (T_s)

Las Normas actuales denominan a T_s período predominante del suelo o de la estratigrafía. Esta denominación no es la más adecuada, ya que período predominante podría interpretarse como aquel para el cual un registro descompuesto en sus armónicos presenta mayor contenido de frecuencias, lo cual es función de las características del sismo mismo (fuente, magnitud, distancia) y de los materiales que atraviesa. Para evitar confusiones sobre el significado de T_s y las formas de calcularlo, se sugieren las siguientes definiciones:

T_s = período característico del lugar. Es el valor que se obtendría por medio de un análisis de respuesta dinámica del terreno, utilizando ondas sísmicas de corte que se propagan verticalmente, tomando en cuenta la no linealidad de las relaciones tensión-deformación de los suelos (10, 11)

T_0 = período fundamental de un perfil de suelo, calculado por medio de modelos lineales o lineales equivalentes, donde el depósito de suelo se considera como una viga de corte unidimensional y elástica, sobre roca rígida (11).

El valor T_0 puede considerarse igual T_s , si es que los valores de G o V_s utilizados para calcularlo incorporaban ya una reducción apropiada para tomar en cuenta las propiedades no lineales de los suelos. En cambio, si los valores de G o V_s usados corresponden a deformaciones pequeñas de los suelos, debe aplicarse un factor de corrección $R < 1$ y calcularse $T_s = T_0 / R$, estando los valores de R comprendidos entre 0.9 y 0.67 (10, 12)

Los valores de T_s recomendados por las Normas actuales son altos en los siguientes casos:

a) Roca y cascajo.

El valor de $T_s = 0.3$ es excesivo. El estudio de 18 espectros de aceleración de las componentes horizontales de 9 sismos registrados en el cascajo de Lima muestra que estos espectros presentan picos en períodos comprendidos entre 0.08 y 0.17 seg. con un promedio de 0.115 seg. En el Cuadro No. 2 se presenta la relación y características de estos sismos.

Adicionalmente, utilizando mediciones de V_s del cascajo

efectuadas por el método "down hole" en el Parque de la Reserva y en Zárate, se ha encontrado que el período fundamental del perfil en el cascajo de Lima (para deformaciones pequeñas) es de 0.09 seg. aproximadamente. Ver figura No. 1.

b) Suelos firmes poco profundos (< 60 m.)

El valor de $T_s = 0.6$ seg. especificado en las Normas puede ser excesivo en muchos casos. Como referencia cabe mencionar que el período fundamental para un lugar ubicado en La Molina, cuyo perfil se clasifica en el grupo II de las Normas actuales, donde se efectuó una perforación hasta 60.4 m. y se midió V_s por el método "down-hole" hasta 47.8 m. de profundidad, es de 0.36 seg. Ver figura No. 2.

En base a lo anterior, se recomiendan los siguientes valores de T_s :

Perfil Tipo	T_s (seg.)
I	0.2
II	0.4 - 0.6
III	0.6 - 0.9
IV	> 0.9

2.3.3. EVALUACION DEL FACTOR DE SITIO

Tal como se explicó anteriormente, el Factor de Sitio toma en cuenta efectos debidos al perfil del suelo que no pueden ser explicados en base a la amplificación de aceleraciones, y los valores utilizados se basan principalmente en la experiencia proveniente de los casos observados. En base a esta experiencia se ha encontrado que el máximo valor justificable es del orden de 1.5, tomando como la unidad el valor correspondiente a la roca (16).

Tomando como referencia el rango indicado y los de otros Reglamentos, y, con el objeto de disponer de una ecuación que permita obtener una variación continua de S en función de T_s , se sugiere la siguiente relación:

$$S = \frac{4}{5} \frac{1 + 2.5 T_s}{1 + T_s}$$

$$T_s \geq 0.2 \text{ seg.}$$

$$1.0 \leq S \leq 1.5$$

La elección de esta expresión o la adopción de valores discretos, depende de la manera en que la Norma establezca la determinación de T_s . Así, si la Norma permite el cálculo de T_s (dentro de los rangos recomendados antes para cada tipo de perfil), S debería ser determinado por medio de la fórmula.

En cambio, si la Norma establece valores fijos de T_s para cada tipo de perfil, consistentemente debería especificar valores fijos de S , que corresponderían a los valores promedio de T_s . Para este caso los valores correspondientes son:

Perfil Tipo	S
I	1.00
II	1.20
III	1.32
IV	1.45

2.4. FACTOR DE FORMA ESPECTRAL

Con este factor se intenta tener en cuenta la variación de la respuesta estructural en función del período fundamental de la estructura y del "período característico" del perfil del suelo.

Las características de la respuesta, para el caso peruano, han sido recogidas a través de los promedios de los espectros de 20 registros que recibieron un mismo tratamiento (13), previa normalización de los mismos a través de la aceleración, velocidad y desplazamientos máximos según tres rangos de frecuencia (mayor de 2.5 Hz, entre 0.5 y 2.5 Hz, menores de 0.5 Hz, respectivamente). Esta manera de normalizar permite minimizar la desviación estándar en cada uno de los rangos.

Como es conocido, el contenido de altas frecuencias en los sismos peruanos es importante y más peculiar aún resulta que el período de máximas amplitudes de respuesta es muy bajo, casi independientemente de la distancia y de la duración del sismo.

En la figura 3 se puede observar una comparación de las formas espectrales de sismos de Perú, Japón y USA, donde se confirma lo expresado. Las curvas de los espectros peruanos corresponden a dos ti-

pos de normalización. El primer tipo es el ya mencionado y el segundo, se efectuó utilizando solamente la aceleración para todos los rangos de frecuencia, de tal forma de tener una idea de la sensibilidad por el cambio del procedimiento. Las curvas han sido a su vez normalizadas respecto a la máxima amplitud espectral, a efectos de comparar exclusivamente la forma de los espectros (caída de las curvas para períodos mayores).

Para conocer la variación de los factores de amplificación con la intensidad del movimiento, se separaron los cuatro sismos más severos de la muestra y los cuatro más leves (ocho y ocho componentes) y se calcularon los promedios con el de toda la muestra. La normalización previa a determinar los promedios en los tres casos se hizo utilizando el primer procedimiento descrito. En esta figura también se normalizaron las curvas con respecto a la máxima amplitud espectral para efectos de una mejor comparación. Las variaciones observadas son mínimas, lo que hace confiable los resultados para ser incluidos en la norma.

Por razones prácticas, conviene utilizar una expresión algebraica simple que se ajuste en lo posible a la curva promedio obtenida. Adicionalmente, la curva debiera ser tangente a la recta horizontal correspondiente a $T \leq T_s$ que posee nuestra norma, de tal forma de evitar caídas bruscas en la evaluación del Factor de Forma Espectral (C), por la estimación de T que como se sabe es una variable de alta incertidumbre. La tangencia se produce para $T = T_s$ e implica una expresión de C simétrica respecto a T y T_s (17).

$$\text{Se propone la expresión } C = \frac{\beta}{T/T_s + T_s + 1}$$

que cumple con las condiciones expresadas y tan sólo introduce un término adicional a la fórmula de la norma actual

$$C = \frac{\gamma}{T/T_s + 1}$$

En la figura 5 se puede apreciar las ventajas de la propuesta frente a la expresión vigente, que resulta otorgando un tratamiento desigual a las estructuras de diferentes frecuencias fundamentales en relación con las amplitudes de respuesta frente a los sismos reales. Es decir, excesivamente conservadora en períodos cortos o cercanos a T_s , o como se desee en el ajuste. Inseguras para períodos intermedios y altos.

Las curvas correspondientes a la norma vigente y a la propuesta en esta figura, fueron dibujadas para $T_s = 0.1$ pues aproximadamente ese es el valor asociado al suelo de Lima donde fueron registrados los sismos y respecto a los cuales se ha verificado el ajuste de la propuesta. Cualquier corrección en el sentido de prescribir valores mayores que 0.1 para T_s , está asociada a una seguridad adjudicada independientemente del problema de la forma adecuada del espectro.

2.5. FACTOR DE DUCTILIDAD.-

Las fuerzas horizontales de diseño determinadas por las Normas son menores que las fuerzas de inercia asociadas a la respuesta elástica correspondiente a un análisis dinámico de una edificación sometida a la acción de un sismo real. Esta diferencia se justifica porque para sismos severos la edificación incursiona en régimen inelástico, lo que le permite disipar energía.

Una medida de la capacidad de una estructura para incursionar en régimen inelástico, es su ductilidad. Esta no tiene definición única pero usualmente es estimada como la relación entre el desplazamiento de un punto cuando se forma el mecanismo de colapso y el desplazamiento del mismo punto para el momento en que la primera sección entra en fluencia. (1, art. 1.13.6).

La ductilidad definida de esta manera es la ductilidad potencial de la estructura, y está asociada con deformaciones y daños permanentes en sus elementos constitutivos, que serán mayores mientras mayor sea la ductilidad. Esto significa que la ductilidad exigida por la Norma para la determinación del coeficiente sísmico, debe estar relacionada a niveles ya experimentados de daño que pueden ser calificados como aceptables.

Debe ponerse énfasis en hacer notar que en el caso de una estructura especial, en que se desea disminuir el posible nivel de daños, debe reducirse el factor de ductilidad, sin que esto signifique reducir la ductilidad potencial de la estructura, sino solamente disminuir los daños por una incursión menor en el régimen inelástico. (18)

Los valores propuestos, que tienen por base los de la Norma vigente, son los siguientes:

TIPO	CARACTERISTICAS DE LA EDIFICACION	R _d
E1	<ul style="list-style-type: none"> – Edificios de concreto armado, con un pórtico dúctil especial, independiente de cualquier otro elemento rígido, diseñado y detallado de manera de cumplir todas las disposiciones del Capítulo 2, Art. 2.5 de la Norma actual.* – Edificios de pórticos de acero, diseñados y construidos de acuerdo a lo indicado en el Capítulo pertinente que deberá anexarse a la Norma.* 	
E2	<ul style="list-style-type: none"> – Edificios de concreto armado con pórticos dúctiles y muros de corte especiales, diseñados y detallados de manera de cumplir todas las disposiciones del Capítulo 2, Art. 2.5 de la Norma actual y que además cumplan que: <ul style="list-style-type: none"> a) Los pórticos y muros de corte resistirán la fuerza horizontal total de acuerdo a sus rigideces relativas considerando la interacción entre pórticos y muros.* b) Los pórticos tendrán capacidad para resistir no menos del 25% de la fuerza horizontal, actuando independientemente.* 	
E3	<ul style="list-style-type: none"> – Edificios convencionales de concreto armado, que cumplen con el Capítulo 2, Art. 2.4 de la Norma actual. – Edificios de madera diseñados y construidos de acuerdo a lo indicado en el Capítulo pertinente que deberá anexarse a la Norma y edificios de acero no incluidos en los otros casos. 	4.0
E4	– Edificios en los que las fuerzas horizontales son resistentes básicamente por muros de corte o estructuras similares.	3.0
E5	– Edificios con muros de albañilería confinada o armada.	2.5

- E6 — Edificios con muros de albañilería sin confinar, construcciones de adobe reforzado que justifiquen su ductibilidad mediante ensayos. 1.5
- E7 — Construcciones de adobe y otras no contempladas en los puntos anteriores. ** 1.0

(*) Definir R_d con justificaciones especiales, aprobadas por la autoridad competente ($R_d \leq 6.0$).

(**) Formas y materiales no tradicionales requerirán de un estudio especial para asignarles valores mayores de R_d .

2.6 EVALUACION DE PERIODO FUNDAMENTAL DE EDIFICIOS.—

Las normas vigentes proponen las siguientes expresiones para evaluar el período fundamental de vibración de un edificio:

(A) $T = 0.08 N$

Para edificaciones cuya estructura está conformada por columnas y vigas (pórticos) exclusivamente.

(B) $T = \frac{\alpha h}{\sqrt{D}}$

Con valores de $\alpha = 0.09, 0.07, 0.05$ dependiendo del tipo de estructuración de la edificación. Por ejemplo, el valor de $\alpha = 0.05$ corresponde a edificios cuyos elementos resistentes son principalmente muros de corte.

N = Número de pisos de la edificación.

h = Altura de la edificación (mts.)

D = Dimensión horizontal de la edificación en la dirección del sismo (mts.).

Dichas expresiones provienen de mediciones efectuadas por el Sr. William K. Cloud en el año 1962.

Estas fórmulas empíricas ya han sido cuestionadas en las referencias (3) y (19) en las cuales se revisó la estadística de los 45 edificios medidos por Cloud, y se propusieron las siguientes expresiones:

$$(C) \quad T = \frac{N}{24}$$

$$(D) \quad T = \frac{h}{73}$$

$$(E) \quad T = \frac{h}{16 \sqrt{D}}$$

Durante el presente año, la Universidad Católica llevó a cabo en la ciudad de Lima un nuevo programa de mediciones sobre un total de 110 edificios (20); los resultados del análisis estadístico (ajuste por mínimos cuadrados) son los siguientes:

$$(F) \quad T = \frac{N}{23} \quad (Se = 0.10)$$

$$(G) \quad T = \frac{h}{61} \quad (Se = 0.12)$$

El error estándar de estimación (Se) encontrado al usar la regresión sobre h es algo mayor. No se estudió la regresión con el parámetro H/\sqrt{D} ya que en las referencias (3) y (19) se encontró que era menos adecuado para estimar el período de edificios en Lima, y además se encontró que es difícil clasificar los edificios dentro de uno de los tres grupos que proponen el Reglamento, ya que la mayoría de los edificios posee gran cantidad de muros de albañilería asentados contra la estructura, los cuales producen un incremento en su rigidez.

Es de notar la coincidencia que existe entre las expresiones (C) y (F), aún cuando las muestras en ambos casos fueron distintas. En la figura No. 6 se observa que la mayoría de edificios queda comprendida entre las rectas $\frac{N}{40} \leq T \leq \frac{N}{15}$. Los puntos situados por encima de la

recta $T = \frac{N}{15}$ no fueron tomados en cuenta en el análisis.

Se concluye que la expresión $T = \frac{N}{23}$ es simple y representativa para los edificios que se proyectan en la ciudad de Lima. Cabe notar que esta recta, proveniente de un ajuste por mínimos cuadrados, nos da solamente un 50% de nivel de confianza (existe un 50% de probabilidades de que el valor de "T" observado caiga por encima de la recta).

3.0.0. PROPUESTA DE ESPECTROS PARA LA NORMA.—

Las expresiones expuestas en el presente trabajo para evaluar C y S, lo hacen en forma continua para cualquier valor de T_s . Sin embargo, por razones prácticas, conviene que el código recoja el fenómeno en forma discreta, definiendo cuatro espectros de diseño correspondientes a los cuatro tipos de perfil de suelo descritos anteriormente.

Estos cuatro espectros son:

Perfil de Suelo Tipo I.—

$$C = \frac{1.2}{T/0.2 + 0.2/T + 1} \quad S = 1.00$$

Perfil de Suelo Tipo II.—

$$C = \frac{1.2}{T/0.4 + 0.4/T + 1} \quad S = 1.20$$

Perfil de Suelo Tipo III.—

$$C = \frac{1.2}{T/0.6 + 0.6/T + 1} \quad S = 1.32$$

Perfil de Suelo Tipo IV.—

$$C = \frac{1.2}{T/0.9 + 0.9/T + 1} \quad S = 1.45$$

En la figura 7 se presenta una comparación del producto S.C de la norma vigente vs. la propuesta de este trabajo, para los valores promedio que ambas otorgan a T_s , según las clasificaciones de suelos.

Es importante tener en cuenta que en el presente trabajo, se ha tenido en consideración la interrelación de los diferentes parámetros que evalúan el coeficiente sísmico y, por tanto, la modificación de uno de ellos puede significar la de los demás que componen un equilibrio ajustado a resultados finales coherentes y adecuados a nuestra realidad.

La figura 8 muestra los cuatro espectros que definen el valor de C recomendado.

BIBLIOGRAFIA

1. "Normas peruanas de Diseño Sismo-Resistente", Ministerio de Vivienda, O.I.N. 1977.
2. "Regionalización Sísmica del Perú mediante Intensidades", Chávez J., Huaco D., Reunión Andina de Seguridad Sísmica, Lima 1975.
3. "Análisis Crítico del Reglamento Nacional de Construcciones", Husid R., Vargas J. y otros, Pontificia Universidad Católica del Perú, 1975.
4. "Seismic Structural Response Risk Analysis Incorporating Peak Response Regressions on Earthquake Magnitud and Distance", Mc Guire, R., MIT, 1974.
5. "Zonificación Sísmica del Perú", Casaverde, L., Vargas J. II Seminario Latinoamericano de Ingeniería Sismo-Resistente, Lima, 1980.
6. "Influence of Soil Conditions on Ground Motions during Earthquakes" Seed, H., Idriss, I., ASCE, Vol. 95, SM2, Enero 1969.
7. "Average Response Spectra for Various Subsoil Conditions". Hayashi, S., Tsuchida, H., y Kurata, E. Third Joint Meeting, USA-Japan Panel on Wind and Seismic Effects, Tokyo 1971.
8. "Site-Dependent Spectra for Earthquake Resistant Design", Seed, H., Ugas, C., Lysmer, J. Report EERC 74-12, University of California, Berkeley, Noviembre 1974.
9. "Tentative Provisions for the Development of Seismic Regulations for Buildings", Applied Technology Council, Publicación ATC 3-06, Junio 1978.
10. Uniform Building Code. International Conference of Building Officials. California, 1976.
11. "Simplified Procedures for Estimating the Fundamental Period of a Soil Profile". Dobry, R., Oweiss, I., Urzua, A. Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 66, No. 4, Agosto 1976.
12. "Determination of T_s , the characteristic Site Period and Ongoing Code Revisions", Donovan, N. ASCE/SEAONC Fall Seminar, 1975.

13. "Strong-Motion Earthquake Accelerograms Digitization and Analysis – Records from Lima, Perú 1951 to 1974". Brady, A., Pérez, V.U.S. Geological Survey, Open File Report No. 77-587, Abril 1977.
14. "Accelerographs Records from Lima, Perú", Knudson, C., Pérez, V.U.S. Geological Survey, 1976.
15. "Soil Moduli and Damping Factors for Dynamic Response Analysis", Seed, H., Idriss, I., Report EERC 70-10, University of California, Berkeley, Diciembre 1970.
16. "Design Provisions for Assessing the Effects of Local Geology and Soil Conditions on ground and Building. Response during Earthquakes". Seed, H.B. ASCE/SEAONC Fall Seminar, 1975.
17. "Consideraciones sobre Tópicos diversos de Códigos Sismo – Resistentes", Vargas, J. Pontificia Universidad Católica del Perú, 1979.
18. "Reinforced Concrete Structures", Park, R., Paulay, T., J. Wiley & Sons, 1975.
19. "Análisis de las Medidas de Períodos de Vibración de Edificios Peruanos", Delpiano, A., Pontificia Universidad Católica del Perú, 1977.
20. Tesis de Grado para optar el Título de Ingeniero Civil, Valeriano, L, Pontificia Universidad Católica del Perú.

CUADRO No. 1

CLASIFICACION DE PERFILES DE SUELOS

Perfil del Suelo Tipo	DESCRIPCION
I	Roca de cualquier clasificación, tanto de naturaleza sedimentaria como cristalina, caracterizada por $v_s > 800$ m/seg. Cascajos y gravas arenosas muy densas, caracterizados por alcanzar v_s del orden de 800 m/seg. a 25 m. de profundidad como máximo.
II	Depósitos de suelos firmes, con profundidad no mayor de 60 m. hasta la roca o material de comportamiento sísmico similar a roca ($v_s > 800$ m/seg.).
III	Depósitos de suelos firmes, con profundidad mayor de 60 m. hasta la roca o material de comportamiento sísmico similar a roca.
IV	Depósitos en los que existen estratos de suelos cohesivos blandos a medianamente compactos ($q_u < 0.8$ Kg/cm ²), cuyos espesores sumados excedan 10 m., con o sin intercalaciones de estratos de suelos firmes.

NOTAS:

- (1) Para esta clasificación se consideran suelos firmes: (a) suelos granulares estables; (b) suelos cohesivos compactos a duros ($q_u > 0.8$ Kg/cm²); y (c) combinaciones de los anteriores.
- (2) Para esta clasificación se denomina suelo granular estable, a las gravas y arenas medianamente densas a muy densas, no susceptibles de sufrir densificación ni licuefacción durante terremotos.
- (3) Si existen suelos cohesivos blandos a medianamente compactos cuya suma de espesores no alcance 10 m., el perfil puede considerarse como intermedio entre III y IV.
- (4) En la descripción de los perfiles no se incluyen suelos granulares sueltos, ya que son susceptibles de sufrir densificación o licuefacción. En caso de existir estos suelos en el perfil, deberá efectuarse un estudio especial acerca de estos fenómenos.

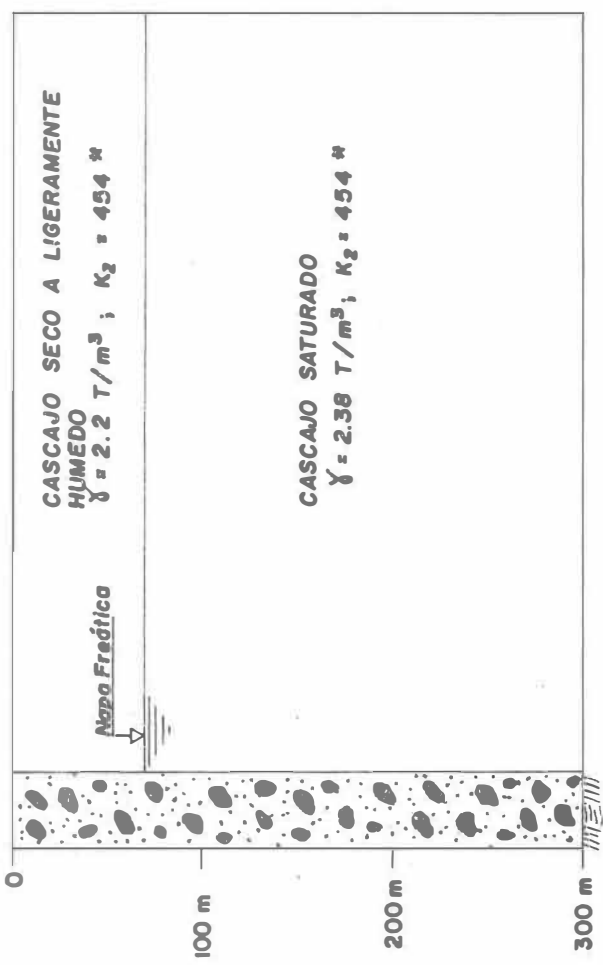
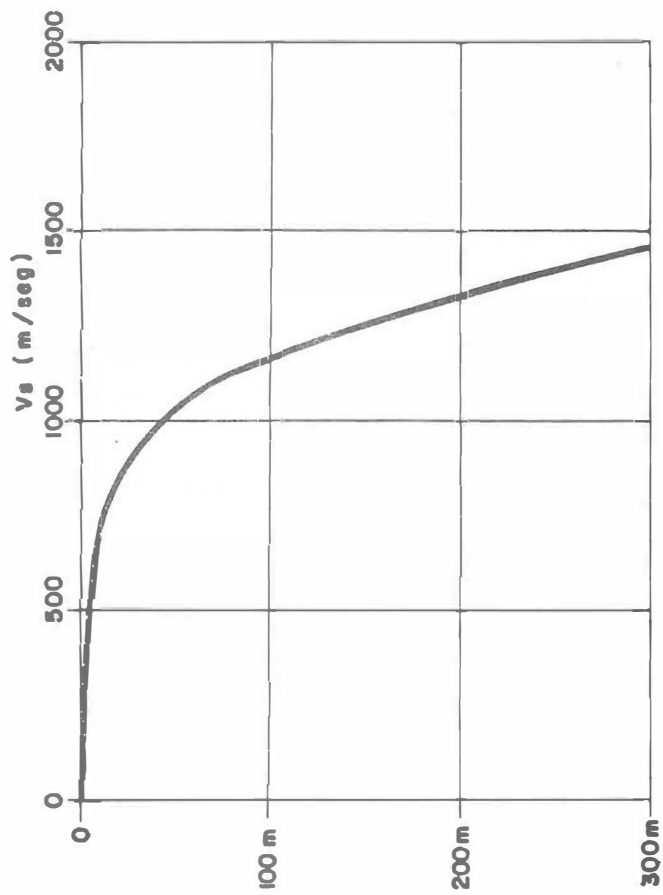
CUADRO No. 2

SISMOS REGISTRADOS EN EL CASCAJO DE LIMA

Fecha	Estación	Magnitud (M _s)	A máx. Horizontal	Tp * (seg).
31-01-51	Plaza Habich	< 6	.07 g .06 g	.08 .15
17-10-66	Parque Reserva	7.5	.27 g .40 g	.08 .12
31-05-70	Parque Reserva	7.75	.12 g .13 g	.08 .15
29-11-71	Parque Reserva	5.3	.06 g .09 g	.09 .13
01-05-74	Parque Reserva	6.3-6.5	.09 g .11 g	.08 .08
01-05-74	Zárate	6.3-6.6	.16 g .16 g	.10 .10
03-10-74	Parque Reserva	7.5-7.6	.25 g .21 g	.18 .09
03-10-74	Casa Huaco	7.5-7.6	.20 g .25 g	.12 .17
09-11-74	Parque Reserva	6.2-7.2	.03 g .08 g	.11 .17

Referencias: — Brady y Perez (13)
— Knudson y Perez (14)

(*) Período correspondiente a la máxima aceleración espectral.

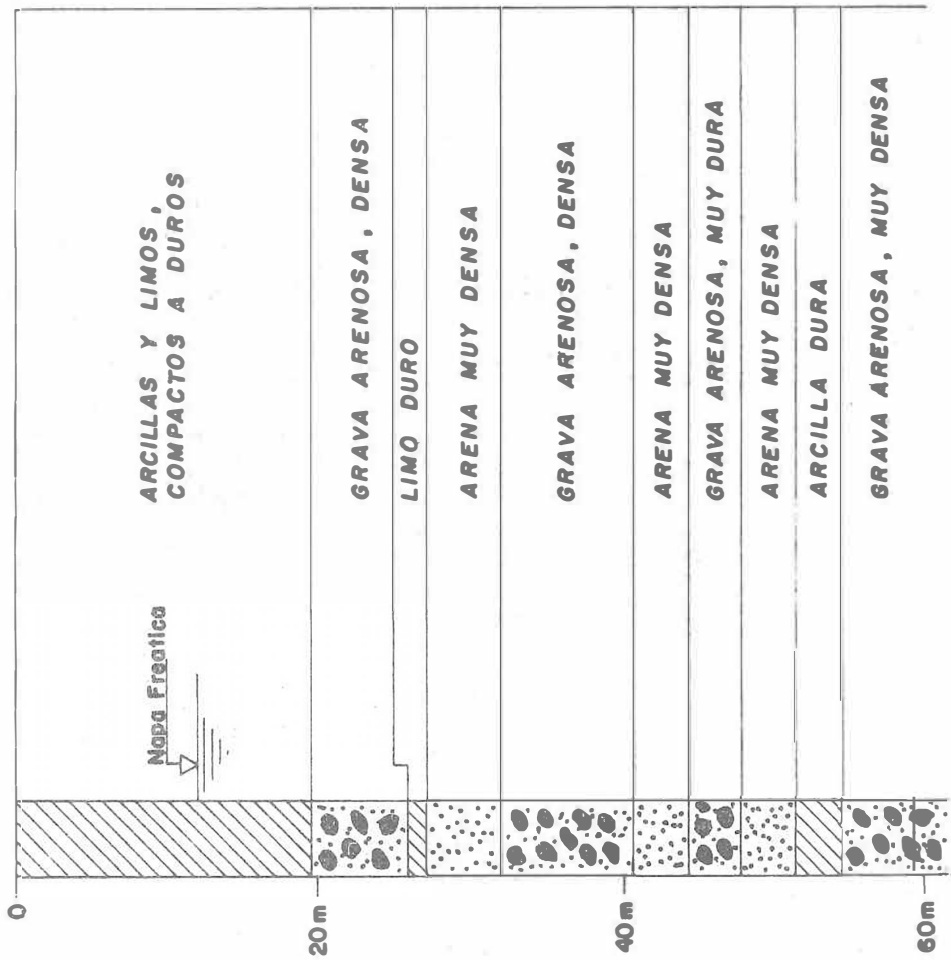
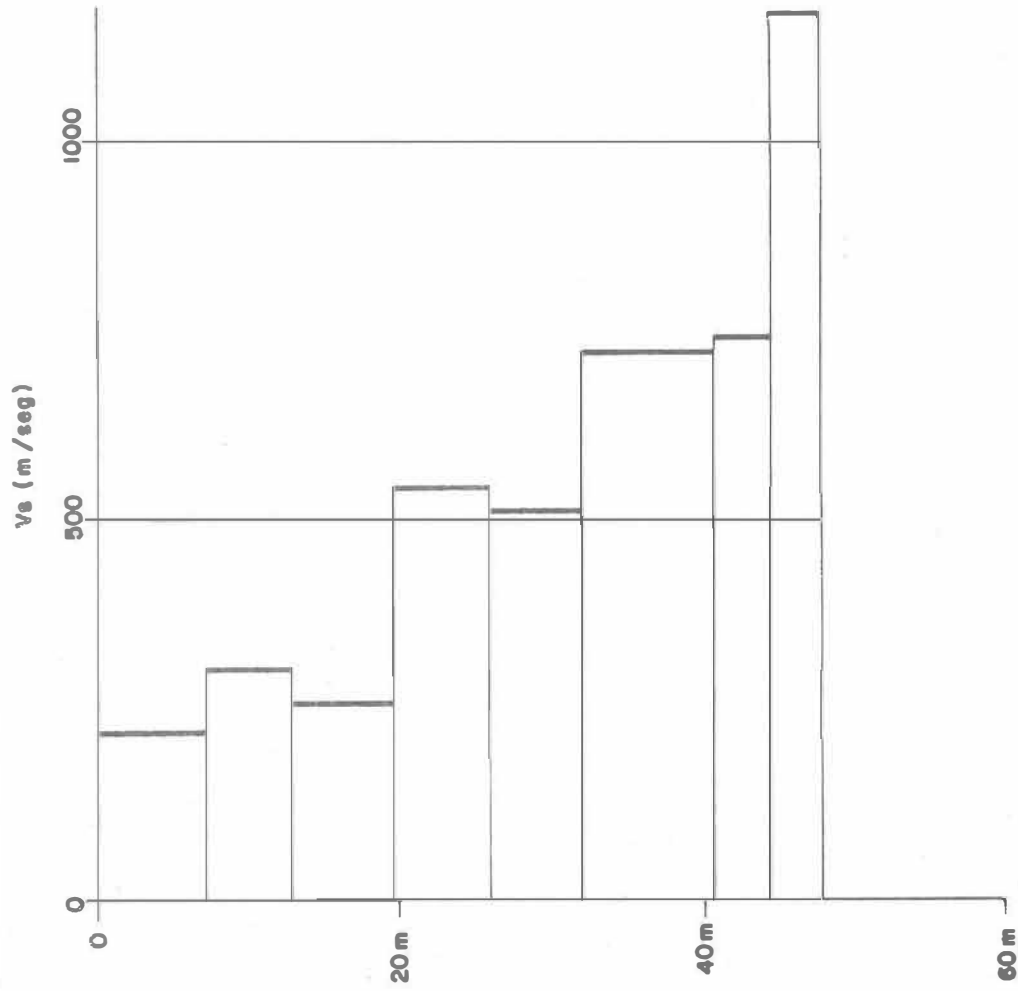


EL PERFIL DEL SUELO HA SIDO DETERMINADO HASTA 17 m. POR MEDIO DE UNA CALICATA Y LUEGO EXTRAPOLADO EN BASE A INFORMACION GEOLOGICA, GEOFISICA Y DE POZOS DE AGUA.

$$T_0 = 0.09 \text{ seg}$$

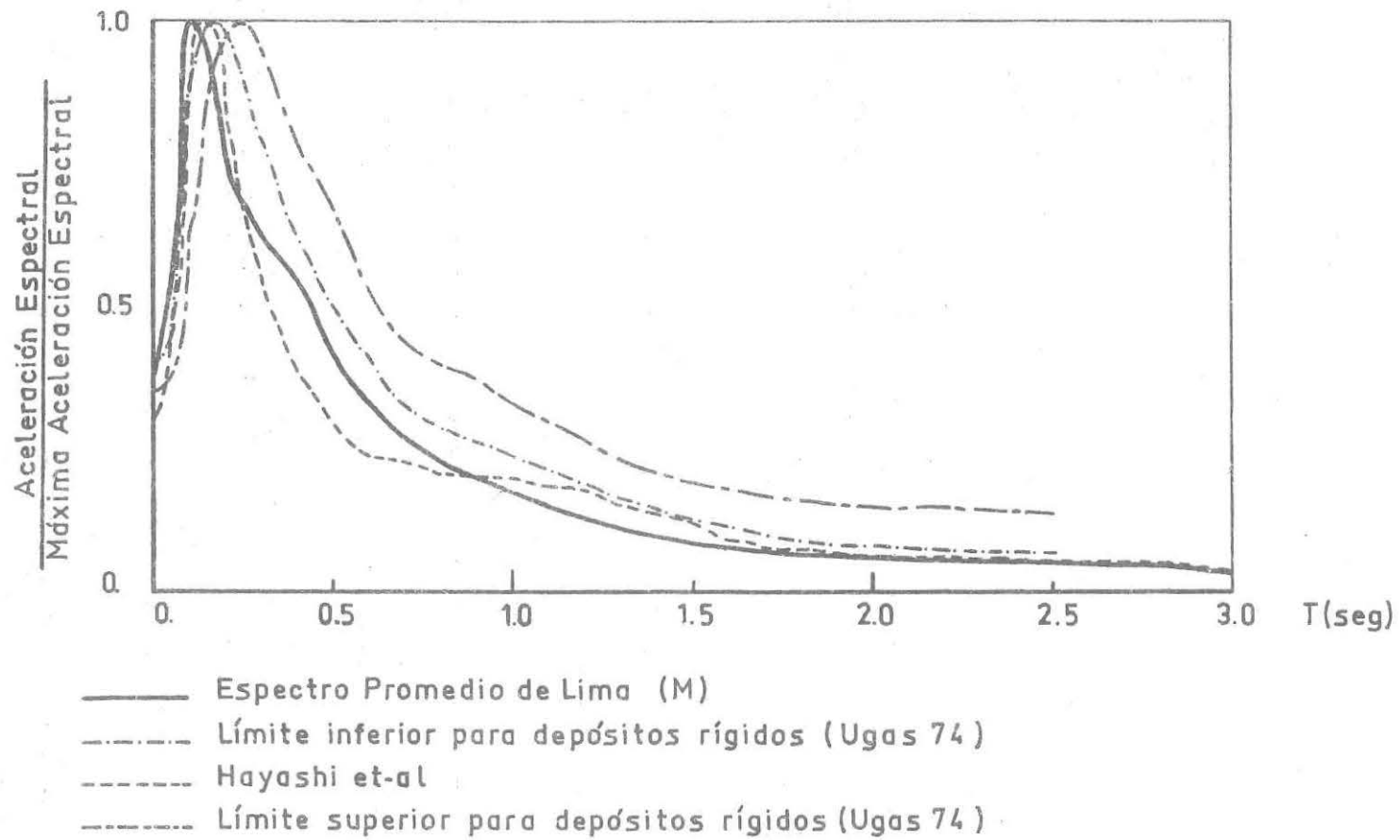
* VALOR PROMEDIO CALCULADO POR LA ECUACION $G = 1000 K_2 (\dot{\gamma}_m)^{1/2}$ (Ref. 15), A PARTIR DE MEDICIONES DE V_s EFECTUADAS POR EL METODO DOWN-HOLE, HASTA 17 m DE PROFUNDIDAD EN EL PARQUE DE LA RESERVA Y 12 m EN ZARATE.

Fig. 1.- PERIODO FUNDAMENTAL -PARQUE DE LA RESERVA

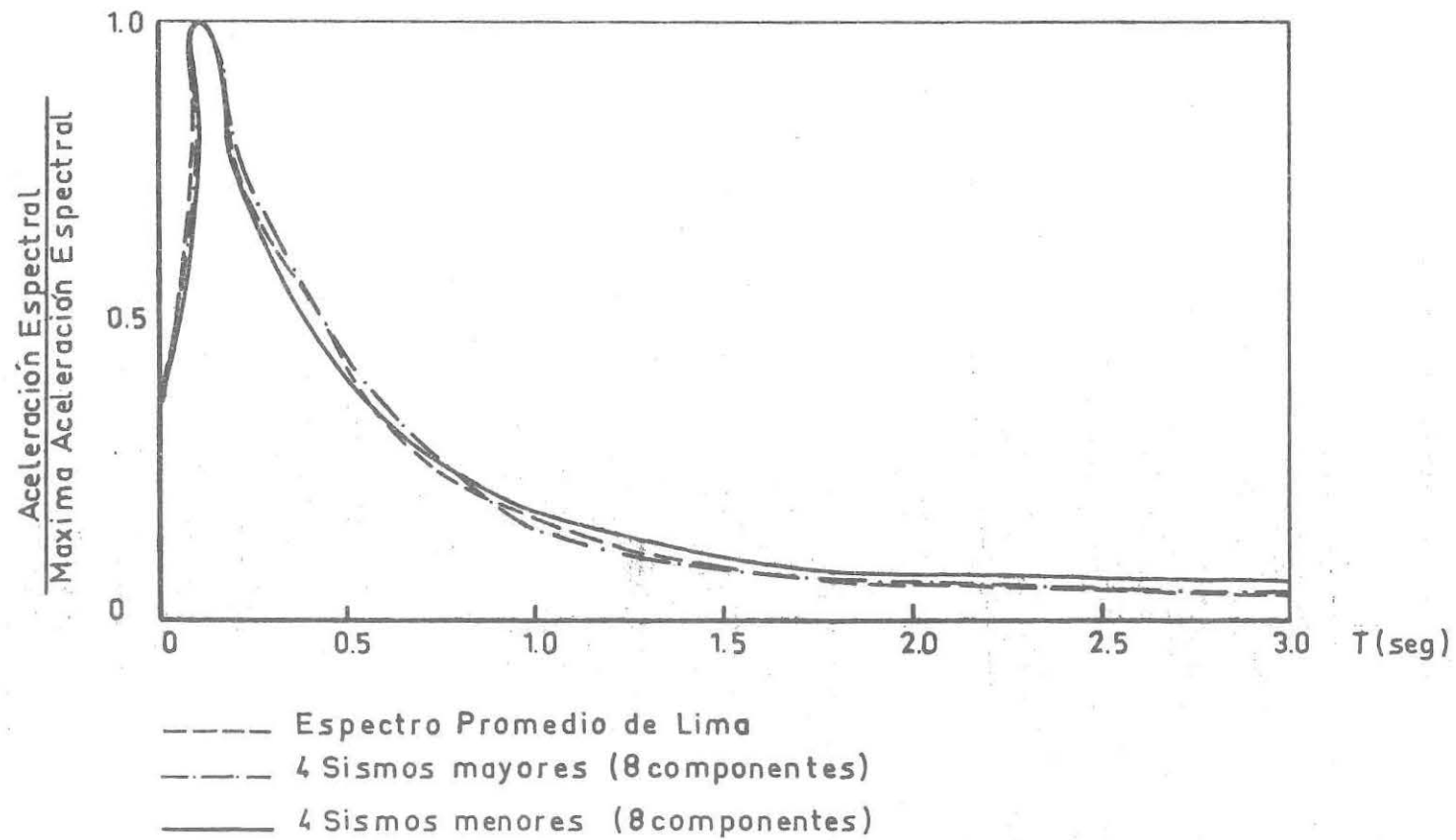


$T_0 = 0.36 \text{ seg.}$

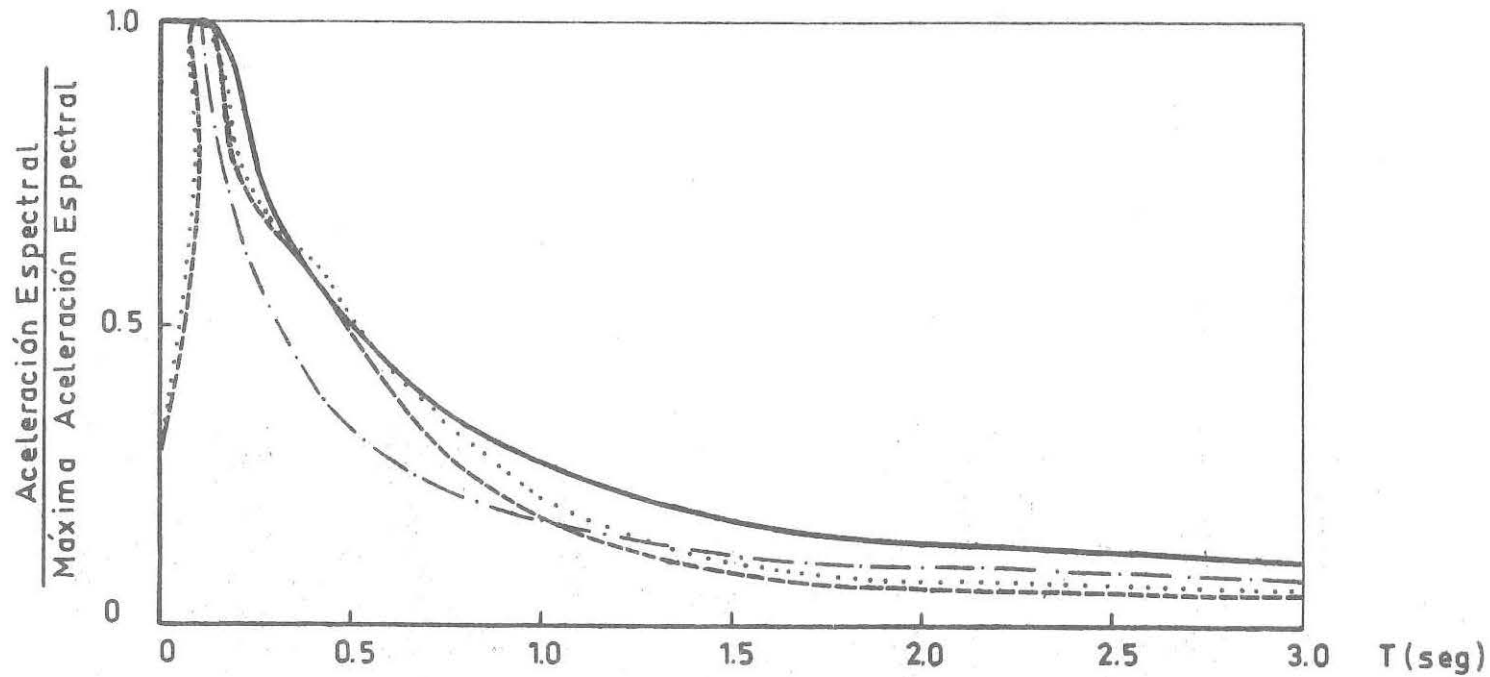
Fig. 2.- PERIODO FUNDAMENTAL - LA MOLINA



COMPARACION DE FORMAS ESPECTRALES PARA EL PERU Y OTROS PAISES



INFLUENCIA DEL NIVEL DE LOS SISMOS PERUANOS EN LA FORMA ESPECTRAL



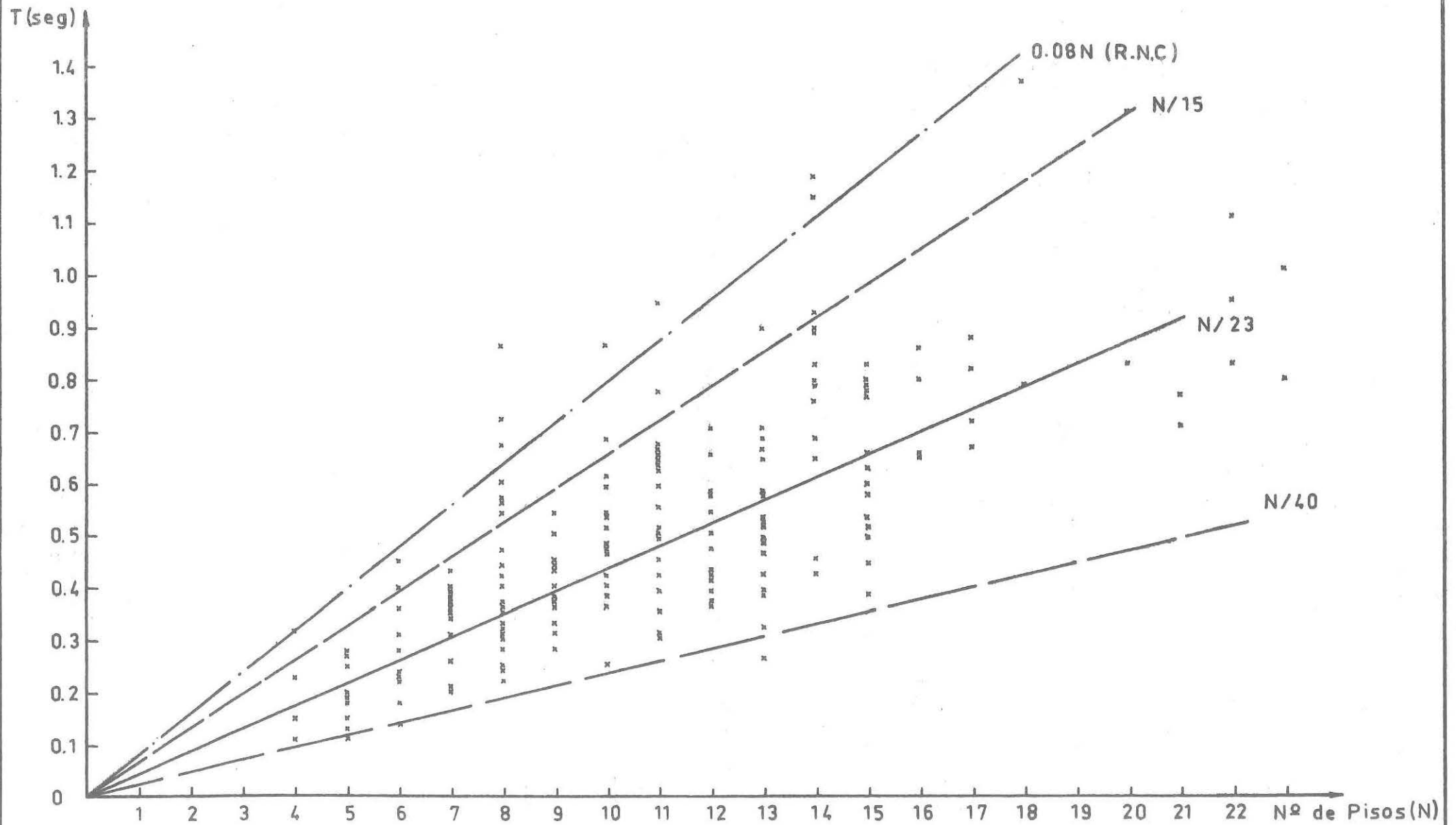
----- Espectro Promedio de Lima ($M+\sigma$) *₁
 Espectro Promedio de Lima ($M+\sigma$) *₂
 - . - . Norma Vigente
 _____ Propuesta

*₁ Promedio de Espectros normalizados con la aceleración, velocidad y desplazamiento máximo de cada sismo según el rango de frecuencia.

*₂ Promedio de Espectros normalizados con la máxima aceleración de cada sismo

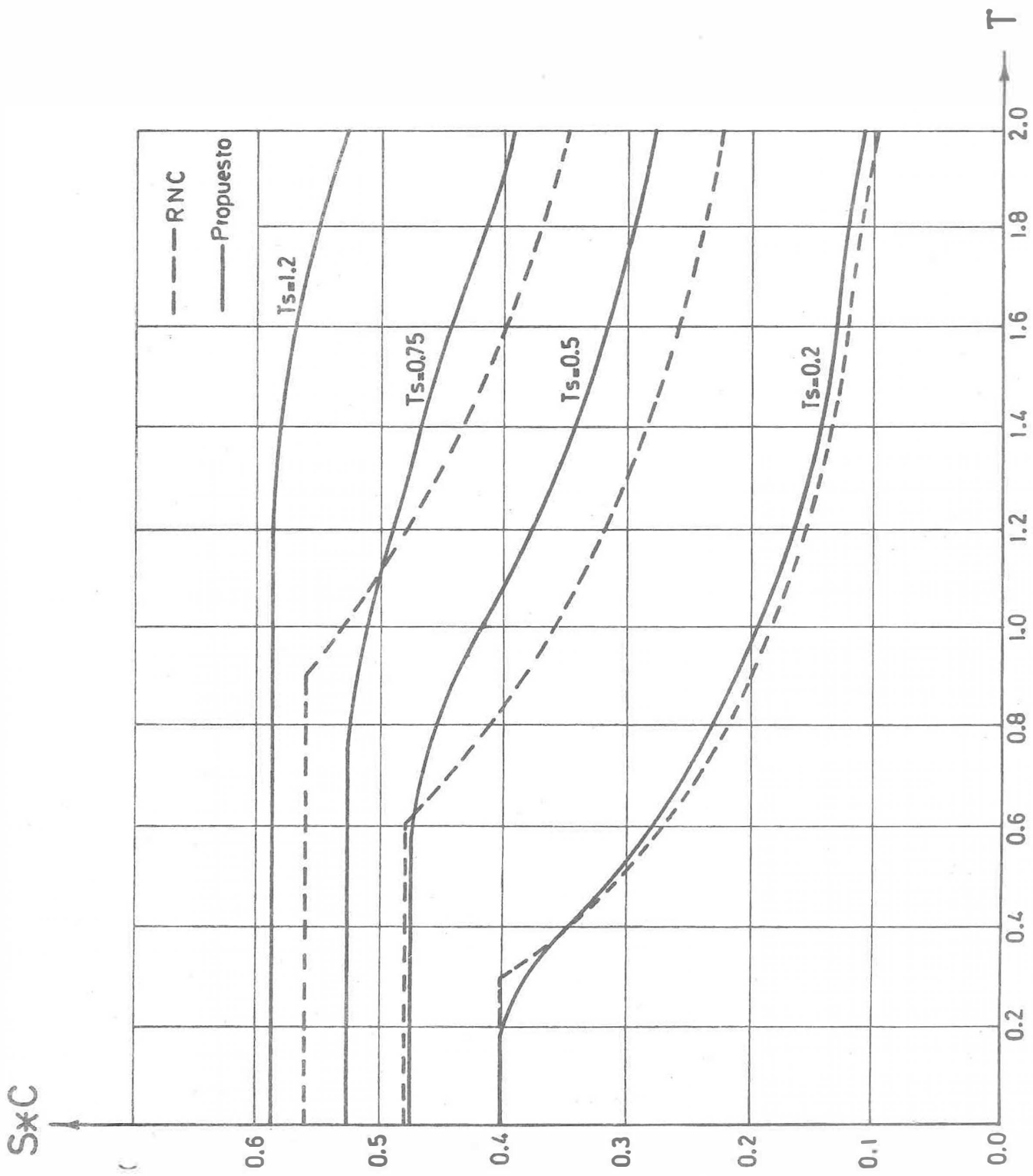
FORMA ESPECTRAL PROPUESTA PARA EL PERU

-FIG. 5-



MEDIDAS DE PERIODO EN EDIFICIOS PERUANOS

- FIG. 6. -



COMPARACION DE VALORES DE SC
FIGURA 7

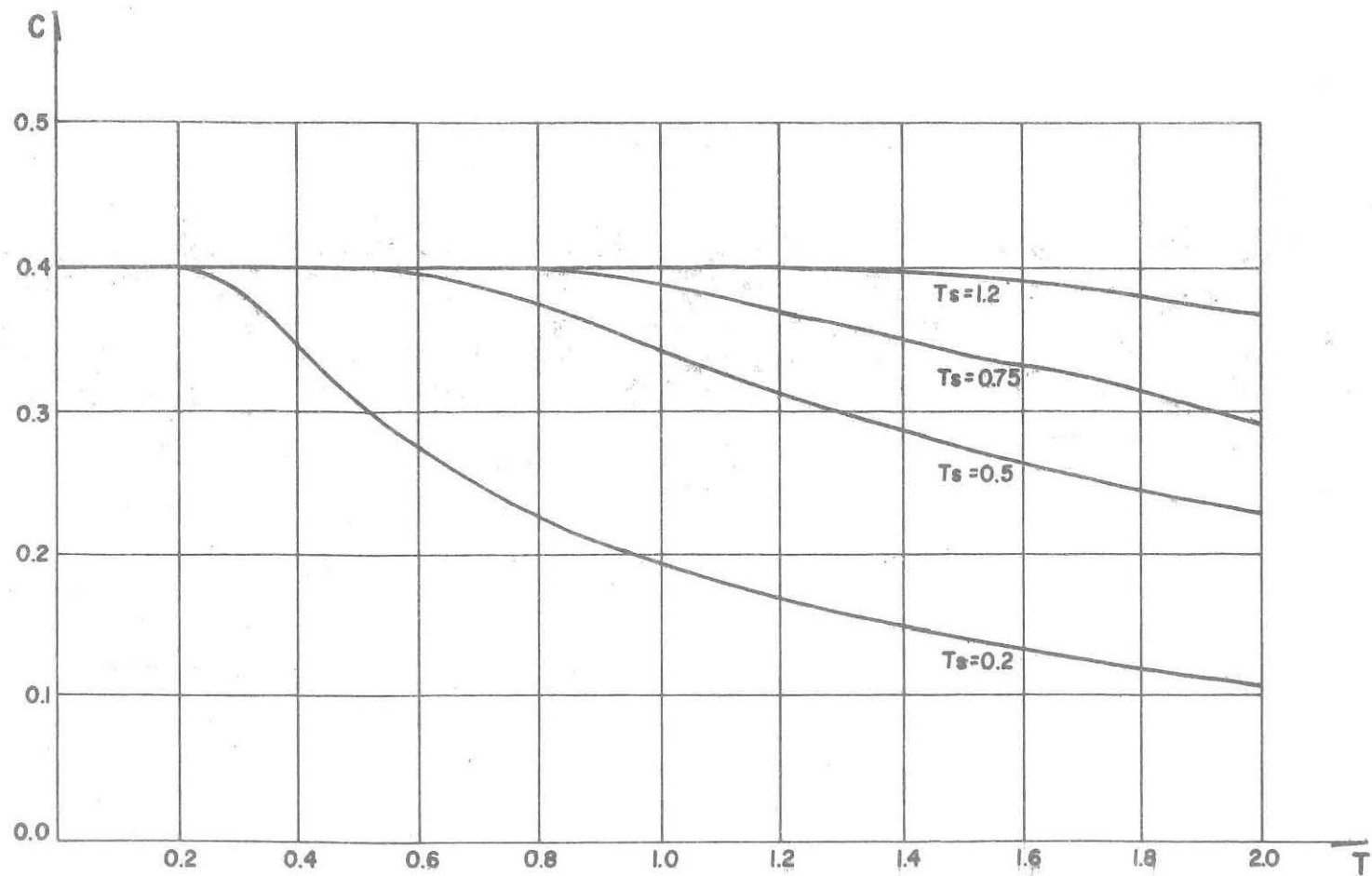


FIG. 8 .- ESPECTROS PARA VALORES PROMEDIO DE T_s