

ALGO SOBRE TERREMOTOS

Por DOMINGO MENDIZÁBAL, Ingeniero de Caminos.

Se trata de un estudio teórico del efecto que los movimientos del terremoto producen en las estructuras de las modernas construcciones, cuyo problema aun no ha sido resuelto de un modo completo, y al que aporta el autor muy interesantes datos y sugerencias en el presente trabajo.

En muy poco tiempo se han registrado dos espantables catástrofes, originadas por sismos, en Turquía y la República Argentina, habiéndose producido en ambas muy crecido número de víctimas, que ascienden a varios millares en cada una de ellas.

Como, afortunadamente, en nuestro país raras veces ocurren fenómenos telúricos de esta clase, y si alguna vez se notan sus efectos son extraordinariamente limitadas sus consecuencias, no es corriente el conocimiento de cuanto a ellos se refiere, tanto a sus causas como a sus efectos y a los medios que pudieran emplearse, bien para evitarles en su totalidad o, por lo menos, atenuarles considerablemente.

Mucho se ha estudiado y escrito, especialmente en los países castigados por estas calamidades, acerca de las causas originarias de las mismas; no me he de ocupar de ellas, pues no es difícil encontrar, como antes digo, abundante literatura sobre el particular.

Sobre lo que tanto no se ha escrito es en relación con los efectos que tales movimientos del terreno producen en las construcciones, siendo tanto más interesantes estos estudios en las edificaciones modernas, con estructuras metálicas o de hormigón armado que sirven de base al establecimiento de los distintos forjados verticales y horizontales que constituyen los edificios.

Sobre ello sí deseo hacer algunas consideraciones, tal vez sobradamente áridas, pues, abundando demasiado los cálculos, son siempre pesadas y fatigosas de seguir.

Aunque sobre ello se han hecho muchos estudios, muy interesantes, principalmente en aquellos países como Italia, Japón y Norteamérica, donde tan frecuentes son tales fenómenos, habiéndose distinguido y aun alcanzado premio en los concursos celebrados, técnicos especializados en la materia, como Dannusso, Facenda, Sanguini y Fariguti, entre los italianos; Samo y Muto, entre los japoneses, y Dewell y Martell entre los americanos, no se ha llegado de un modo completo al estudio teórico de tales efectos; pretendo aportar un pequeño grano de arena sobre el particular, y éste es el objeto del presente estudio.

Se supone que el edificio que se ha de estudiar es

un sistema elástico, sujeto a una vibración libre, con diversas frecuencias según los casos; el movimiento de su masa depende de una sola variable, que es el cociente $\frac{K}{W}$, entre las frecuencias del edificio y del terreno.

Igualmente, lo que interesa a quien estudia estos fenómenos es conocer también el cociente $\frac{A_m}{a}$, o sea entre las oscilaciones de la masa y del terreno (1).

Para realizar estos estudios, supongamos una construcción afectada por un terremoto tal, que pueda considerarse su masa concentrada en un punto a una cierta distancia del suelo, y que el momento de inercia total de sus secciones horizontales sea constante. Se puede realizar de un modo bastante aproximado la determinación de los esfuerzos que sufre, producidos por la componente horizontal de las oscilaciones sísmicas, mediante el estudio del siguiente caso teórico:

Sobre una varilla vertical de longitud l , de masa despreciable, de sección cuyo momento de inercia es I , y coeficiente de elasticidad E , existe una masa m solidaria en su extremo A .

El extremo inferior B está empotrado en el suelo y suponemos que este suelo se mueve horizontalmente, ejecutando oscilaciones cuya ecuación es:

$$h = a \sin wt;$$

en que a es la amplitud de la oscilación del terreno, que, de momento, supondremos constante, y w su pulsación, o sea 2π veces su frecuencia.

Como la varilla AB se supone que está desprovista de masa inerte apreciable, en cada momento tomará una curvatura correspondiente a la acción estática de una fuerza igual a F , sin ningún retraso, o sea que en cada momento la flecha tiene por expresión en el punto A :

$$x - h = \frac{F l^3}{3 E I} = - \frac{m l^3}{3 E I} \frac{d^2 x}{dt^2}.$$

(1) Para el desarrollo de los cálculos que se insertan ha prestado valiosa ayuda el alumno de quinto año, de la Escuela, Sr. Carral.

siendo F la fuerza de inercia:

$$F = -m \frac{d^2 x}{dt^2};$$

y teniendo en cuenta la ecuación anteriormente halla-

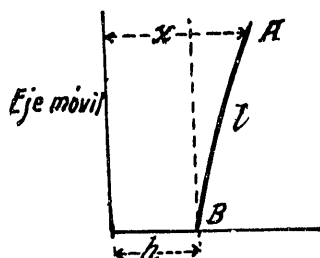


Figura 1.ª

da para el suelo, quedará como ecuación diferencial del movimiento:

$$a \sin \omega t = x + \frac{m l^3}{3 E I} \frac{d^2 x}{dt^2};$$

que es una ecuación lineal, de coeficientes constantes y con segundos miembros. Si $\sqrt{\frac{3 E I}{m l^3}}$ lo llamamos K , tendremos la ecuación ordenada

$$\frac{1}{K^2} \frac{d^2 x}{dt^2} + x = a \sin \omega t.$$

La marcha para resolver esta ecuación diferencial será la siguiente:

1.º Se determina la integral general de

$$\frac{1}{K^2} \frac{d^2 x}{dt^2} + x = 0;$$

que será de la forma de

$$x_0 = c_1 e^{K i t} + c_2 e^{-K i t};$$

hallando antes la ecuación característica.

2.º Se determina igualmente una solución particular de la ecuación dada, puesto el segundo miembro en la forma

$$a \frac{e^{\omega t i} - e^{-\omega t i}}{2 i}.$$

3.º La solución general será la suma de las anteriores.

1. La ecuación $\frac{1}{K^2} \frac{d^2 x}{dt^2} + x = 0$ siempre tiene

soluciones de la forma $x = e^{rt}$; así, pues, derivando:

$$\frac{dx}{dt} = r e^{rt};$$

$$\frac{d^2 x}{dt^2} = r^2 e^{rt};$$

y sustituyendo en la anterior, resulta:

$$\frac{1}{K^2} r^2 e^{rt} + e^{rt} = 0;$$

dividiendo por e^{rt} :

$$\frac{1}{K^2} r^2 + 1 = 0;$$

que es la ecuación característica sin segundo miembro:

$$K^2 + r^2 = 0; \quad r^2 = -K^2; \quad r = \pm K i;$$

siendo $i = \sqrt{-1}$ y las soluciones serían:

$$x_1 = e + K i t, \quad x_2 = e - K i t;$$

cuya solución fundamental es:

$$x_0 = c_1 e^{K i t} + c_2 e^{-K i t} = P_1 \sin K t + P_2 \cos K t.$$

2. La ecuación dada puede ponerse en la forma:

$$\frac{1}{K^2} \frac{d^2 x}{dt^2} + x = \frac{a}{2 i} \cdot e^{\omega t i} - \frac{a}{2 i} \cdot e^{-\omega t i};$$

suponiendo, pues, que el segundo miembro adoptase la forma $b e^{\alpha t}$ y haciendo $x = b$ y $e^{\alpha t}$, tendremos, haciendo el cambio de variables:

$$x = y b e^{\alpha t}, \quad \frac{dx}{dt} = y' b e^{\alpha t} + y b \alpha e^{\alpha t},$$

$$\frac{d^2 x}{dt^2} = y'' b e^{\alpha t} + 2 y' \alpha b e^{\alpha t} + y b \alpha^2 e^{\alpha t};$$

$$\frac{1}{K^2} (y'' b e^{\alpha t} + 2 y' \alpha b e^{\alpha t} + y b \alpha^2 e^{\alpha t}) + y b e^{\alpha t} = b e^{\alpha t}$$

$$\frac{1}{K^2} [y'' + 2 y' \alpha + y \alpha^2] + y = 1;$$

$$\frac{1}{K^2} y'' + \frac{2 \alpha}{K^2} y' + \left(1 + \frac{\alpha^2}{K^2}\right) y = 1;$$

ecuación que tiene la solución particular:

$$y_0 = \frac{1}{1 + \frac{\alpha^2}{K^2}} \text{ (constante);}$$

luego en este caso sería solución particular en x :

$$x_0 = \frac{K^2 b}{K^2 + \alpha^2} \times e^{\alpha t};$$

y como de haber supuesto

$$\frac{a}{2i} e^{wit} - \frac{a}{2i} e^{-wit};$$

comparable con $b e^{\alpha t}$, obtendremos para

$$b = \frac{a}{2i} \quad y \quad \alpha = wi \quad \Rightarrow \quad \alpha^2 = -w^2;$$

sustituyendo:

$$\begin{aligned} x_0 &= \frac{K^2}{K^2 - w^2} \frac{a}{2i} (e^{wit} - e^{-wit}) = \\ &= \frac{a K^2}{K^2 - w^2} \operatorname{sen} w t. \end{aligned}$$

3. Por tanto, la solución general de la ecuación diferencial es:

$$x = \frac{K^2 a}{K^2 - w^2} \operatorname{sen} w t + P_1 \operatorname{sen} K t + P_2 \cos K t.$$

La velocidad de la masa en cada momento será:

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= \frac{K^2 a w}{K^2 - w^2} \cos w t + P_1 K \cos K t - \\ &- P_2 K \operatorname{sen} K t. \end{aligned}$$

Las constantes P_1 y P_2 se determinan por las condiciones iniciales.

Supongamos que se inicia el fenómeno en el instante $t = 0$ y que entonces la flecha es nula, coincidiendo la varilla con el eje de referencia. Entonces para $t = 0$ es $x = 0$ y $P_2 = 0$.

La velocidad que en ese momento posee el extremo B , deducida, derivando la ecuación $h = a \operatorname{sen} w t$ es $\left(\frac{dh}{dt}\right)_{t \rightarrow 0} = a w$; y como la velocidad de la masa en A es nula, pues suponemos que entonces se inicia el fenómeno, al hacer $\left(\frac{dx}{dt}\right)_{t \rightarrow 0} = 0$, se deduce:

$$\frac{K^2 a w}{K^2 - w^2} + P_1 K = 0 \quad \Rightarrow \quad P_1 = -\frac{K a w}{K^2 - w^2};$$

y sustituyendo:

$$x = \frac{K a}{K^2 - w^2} (K \operatorname{sen} w t - w \operatorname{sen} K t)$$

abscisa del movimiento;

$$v = \frac{dx}{dt} = \frac{K^2 a w}{K^2 - w^2} (\cos w t - \cos K t)$$

velocidad instantánea.

La flecha instantánea será:

$$\begin{aligned} x - h &= \frac{K a}{K^2 - w^2} (K \operatorname{sen} w t - w \operatorname{sen} K t) - \\ &- a \operatorname{sen} w t = \frac{w a}{K^2 - w^2} (w \operatorname{sen} w t - K \operatorname{sen} K t); \end{aligned}$$

y la fuerza sobre la masa m :

$$F = -m \frac{d^2 x}{dt^2} = \frac{a m w K^2}{K^2 - w^2} (w \operatorname{sen} w t - K \operatorname{sen} K t).$$

Antes de sacar consecuencias de estas fórmulas, conviene analizar las hipótesis admitidas en las condiciones iniciales:

Si el fenómeno se inicia en el instante $t = 0$ para el punto B , quiere esto decir que hasta ese momento permanecía B en reposo por no haberle llegado aún la onda sísmica; por consiguiente, parece absurdo suponerle en ese instante inicial la velocidad finita $a w$, que se deduce de la hipótesis sinusoidal del movimiento.

En la realidad, la amplitud a de las oscilaciones sísmicas es infinitamente pequeña en el momento inicial, crece después rápidamente hasta llegar a un máximo, para decrecer luego, anulándose asintóticamente con el tiempo. Esto podría expresarse de un modo matemático, teóricamente, haciendo:

$$a = a_0 e^{-g^2 t^2} \quad (\text{curva de campana, de Gauss});$$

y colocando la iniciación del fenómeno en el infinito pasado.

No obstante, es en muchos sismos tan repentino el paso del reposo a un movimiento oscilatorio de gran amplitud, que puede suponerse prácticamente que adquiere de un modo repentino la supuesta velocidad el punto B . Para estos terremotos, que podemos designar por sismos de choque, es válido nuestro razonamiento y las consecuencias que siguen: De la ecuación

$$x = \frac{K a}{K^2 - w^2} (K \operatorname{sen} w t - w \operatorname{sen} K t);$$

se deduce que la mayor oscilación no puede exceder a

$$\begin{aligned} \pm \frac{K a (K + w)}{K^2 - w^2} &= \pm \frac{K a}{K - w} \quad \text{según } K \gtrless w; \\ \text{ó sea: } &\frac{K a}{K - w} \end{aligned}$$

(El máximo corresponderá a los valores $\operatorname{sen} w t = 1$ $\operatorname{sen} K t = -1$).

Para que la oscilación pueda alcanzar este má-

ximo es preciso que exista un valor t_0 del tiempo, tal que si:

$$K > w: w t_0 \text{ sea múltiplo exacto de } \frac{\pi}{2} \text{ y } K t_0 \text{ de } \frac{3\pi}{2};$$

o bien:

$$K < w: w t_0 \text{ sea múltiplo exacto de } \frac{3\pi}{2} \text{ y } K t_0 \text{ de } \frac{\pi}{2}.$$

Y para que esto sea posible es necesario y suficiente que la razón de ambos $\frac{w t_0}{K t_0} = \frac{w}{K}$ sea un número racional. Ahora bien: sean cualesquiera w y K , su razón es irracional o racional.

Si ocurre esto último, se alcanza efectivamente dicho valor en tiempo finito. Si $\frac{w}{K}$ es irracional, existen infinitos valores racionales que difieren de $\frac{w}{K}$ en menos de un número arbitrariamente pequeño y para los cuales se obtendría un valor t_0 que hiciera coincidir el máximo de la oscilación con $\frac{K a}{K - w}$; y como la función x de t es continua, su valor difiere muy poco del valor dicho.

Puede, pues, tomarse $\frac{K a}{K - w}$ como expresión general de la amplitud $A m$ máxima de la oscilación del punto A .

El valor K representa el valor de la pulsación de la oscilación elástica propia de la varilla, o sea 2π veces su frecuencia, y análogamente w respecto del sismo.

Si designamos la razón de estas frecuencias por X y la de las amplitudes por Y , tendremos:

$$X = \frac{K}{w}; \quad Y = \frac{A m}{a}; \quad A m = \frac{K a}{K - w};$$

luego:

$$Y = \frac{\frac{K}{w} a}{\frac{K}{w} - 1} = \frac{X}{X - 1};$$

que se descompone en $Y = \frac{X}{1 - X}$ para $X < 1$ e $y = \frac{X}{X - 1}$ para $X > 1$, dando origen a dos ramas de hipérbola asintóticas a la recta $X = 1$, y la segunda, además, a la $Y = 1$ en la forma representada en la figura 2.^a.

La amplitud de la oscilación máxima del punto A parece hacerse infinita cuando coincide la frecuencia

del sismo con la propia de la varilla. No obstante, no es legítima esta afirmación, porque cuando $K = w$ no queda satisfecha la ecuación diferencial del fenó-

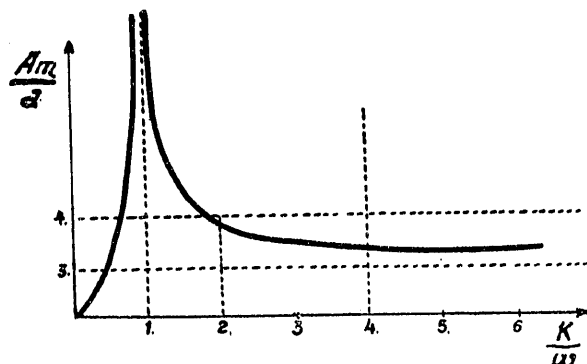


Figura 2.^a

meno por la solución particular obtenida (en efecto, la solución particular quedará en la forma:

$$y_0 = \frac{1}{1 - \frac{w^2}{K^2}} = \frac{1}{0} = \infty)$$

y, por tanto, tampoco por la solución general, y no son válidas las consecuencias que de ellas se deducen.

En el caso $K = w$, la ecuación diferencial se transforma en:

$$a \operatorname{sen} w t = x + \frac{1}{w^2} \frac{d^2 x}{dt^2};$$

y hay que buscar otra nueva solución particular. Si, como anteriormente, suponemos que el primer miembro es de la forma $b e^{at}$, resultará haciendo $x_0 = y b e^{at}$:

$$\frac{dx}{dt} = y' b e^{at} + y b a e^{at}, \quad \frac{d^2 x}{dt^2} = y'' b e^{at} + 2 y' b a e^{at} + y a^2 b e^{at};$$

y sustituyendo valores:

$$\frac{1}{w^2} (y'' b e^{at} + 2 y' b a e^{at} + y a^2 b e^{at}) + y b e^{at} = b e^{at};$$

$$\frac{1}{w^2} y'' + 2 y' a \times \frac{1}{w^2} + y \left(\frac{a^2}{w^2} + 1 \right) = 1;$$

y de la comparación del término:

$$a \operatorname{sen} w t = \frac{a}{2i} (e^{wit} - e^{-wit});$$

con el que se supuso $b e^{\alpha}$, se obtienen los valores:

$$\left\{ \begin{array}{l} b = \frac{a}{2i} \\ \alpha = wi \end{array} \right\} \quad \left\{ \begin{array}{l} b = \frac{a}{2i} \\ \alpha = -wi \end{array} \right.$$

resulta en el primer caso:

$$1 = \frac{1}{w^2} y'' + \frac{2i}{w} y';$$

y en el segundo:

$$1 = \frac{1}{w^2} y'' - \frac{2i}{w} y';$$

que tienen, respectivamente, por soluciones particulares, los valores

$$y = \frac{w}{2i} t \quad \text{y} \quad y = -\frac{w}{2i} t;$$

por lo cual, en definitiva,

$$x_0 = \frac{wt}{2i} \frac{a}{2i} e^{wit} + \frac{wt}{2i} \frac{a}{2i} e^{-wit} = -\frac{awt}{4}$$

$$(e^{wit} + e^{-wit}) = -\frac{awt}{2} \cos wt.$$

Por lo tanto, la solución general en este caso es:

$$x = -\frac{awt}{2} \cos wt + P_1 \sin wt + P_2 \cos wt;$$

y la velocidad:

$$V = \frac{dx}{dt} = -\frac{aw}{2} \cos wt + \frac{aw^2 t}{2} \sin wt + P_1 w \cos wt - P_2 w \sin wt.$$

Suponiendo, como antes, nulas la abscisa y la velocidad iniciales del punto A , resulta:

$$t_0 \rightarrow 0; \quad x = 0; \quad P_2 = 0;$$

$$t_0 = 0 \Rightarrow \frac{dx}{dt} = 0 \Rightarrow -\frac{aw}{2} + P_1 w = 0 \Rightarrow P_1 = \frac{a}{2},$$

y el movimiento queda definido por:

$$x = -\frac{awt}{2} \cos wt + \frac{a}{2} \sin wt;$$

$$V = \frac{dx}{dt} = -\frac{aw}{2} \cos wt + \frac{aw^2}{2} t \sin wt + \frac{aw}{2} \cos wt = \frac{aw^2 t}{2} \sin wt;$$

$$F = -m \frac{d^2 x}{dt^2} = -\frac{amw^2}{2} (\sin wt + tw \cos wt);$$

y comprobamos que, en efecto, la amplitud máxima de la oscilación tiende a ∞ , pero que esto tiene lugar tan sólo cuando el tiempo de duración del terremoto se prolonga indefinidamente.

Estudiada la amplitud de oscilación, conviene el estudio de otra magnitud aun más interesante por ser, en definitiva, la que produce la posible destrucción de la obra; es decir, la fuerza F que actúa sobre la masa en A .

Vimos que si $K = W$, vale:

$$F = \frac{amwK^2}{K^2 - w^2} (w \sin wt - K \sin Kt);$$

y si $K = w$:

$$F = -\frac{amw^2}{2} (\sin wt + tw \cos wt).$$

En este último caso la fuerza tiende a infinito si se prolonga indefinidamente el fenómeno. En el primero, siguiendo el razonamiento aplicado a la amplitud de la oscilación, resulta que el máximo valor de la fuerza corresponde a $amwt = 1 \sin Kt = -1$, o sea:

$$F = \pm \frac{amwK^2}{K^2 - w^2} (w + K) = \pm \frac{amwK^2}{K - w},$$

o sea: que si hacemos $X = \frac{K}{w} \Rightarrow Y = \frac{F}{w^2}$, queda:

$$Y = \frac{am \frac{K^2}{w}}{K - w} = \frac{am \frac{K^2}{w^2}}{\frac{K}{w} - 1} = \frac{am X^2}{X - 1};$$

que se subdivide en dos ramas:

$$Y = \frac{am^2 X^2}{1 - X} \text{ para } X < 1; \quad Y = \frac{am X^2}{X - 1} \text{ para } X > 1.$$

La primera rama es una hipérbola que parte del origen y asciende asintótica a la recta $X = 1$.

La segunda es otra hipérbola que, asintótica a

la misma recta, desciende y pasa por un mínimo para $x=2$, $Y < am$ (deducido haciendo:

$$Y' = \frac{2amx(X-1) - amx^2}{(x-1)^2} = 0 \rightarrow x^2 - 2x = 0;$$

$$x = 2 \rightarrow y'' > 0),$$

y asciende de nuevo asintótica a la recta de ecuación $Y = am(X+1)$, del modo que está representado en la figura 3.^a.

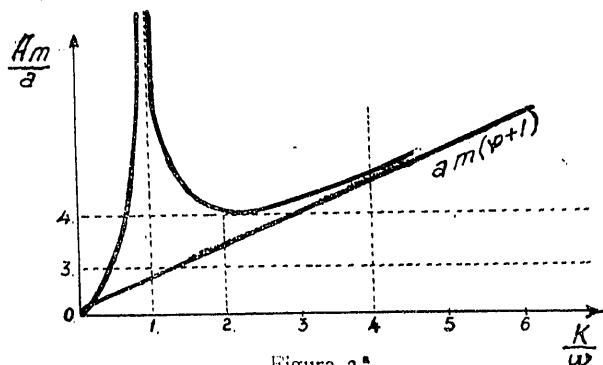


Figura 3.^a

Vemos, pues, que conviene que la frecuencia propia de la oscilación

$$\frac{K}{2\pi} = \sqrt{\frac{2EI}{m l^3}}$$

sea el doble de la frecuencia $\frac{w}{2\pi}$ del fenómeno sísmico,

en cuyo caso la fuerza P que sufre la estructura no excede de $4amw^2$, mientras que dicha fuerza aumenta infinitamente en el caso de que ambas frecuencias coincidan, o en el caso de que la rigidez, o lo que es lo mismo, la frecuencia de vibración propia, aumente indefinidamente.

Se deducen de todos los largos y nada sencillos cálculos anteriormente expuestos, las curvas que relacionan, como se ha indicado, los coeficientes que ligán las frecuencias de la construcción y el terreno, así como las oscilaciones de ambos para los dos casos anteriormente estudiados y que corresponden (fig. 4.^a) a las curvas C_1 y C_2 ; aquélla, al caso del sismo que empieza con un máximo de velocidad, es decir, prácticamente un choque, y la última, cuando comienza de un modo suave y gradual.

El primer caso es el más interesante en la práctica, pues, en efecto, las ordenadas de la curva aumentan con el valor de las abscisas de un modo indefinido, estando el edificio sujeto por fuerzas de inercia que

aumentan con su rigidez, lo que nos muestra que puede ser un error tratar de contrarrestar los efectos del sismo aumentando ésta.

El valor máximo de la ordenada corresponde a la abscisa 2, y los valores de aquéllas varían muy poco entre 2 y 4, lo que permite al proyectista estudiar los edificios que hayan de construirse en zona expuesta a los sismos, dentro de estos límites, satisfaciendo al mismo tiempo otras necesidades derivadas del objeto a que se destine el edificio, teniendo, además, en cuenta que las estadísticas acusan para cada lugar frecuencias que varían poco, lo que permite igualmente y por adelantado, y sin grave error, determinar el valor de W .

Se debe tener, además, en cuenta, que no conviene proyectar pilares con un valor de $\frac{Am}{a}$ inferiores a la unidad, como podría parecer de suma conveniencia si sólo se considerase este efecto, y se podría llegar a tener piezas demasiado deformables, tal vez peligrosas para resistir los demás efectos.

Naturalmente que el caso teórico estudiado, considerando una sola masa, no se presenta, y cuando deben tenerse en cuenta un mayor número de ellas, pueden repetirse las consideraciones hechas.

Caso distinto es el correspondiente a masa repartida a lo largo de toda la varilla, como son las torres, chimeneas, etc., pudiéndose admitir la existencia de n masas concentradas, en número infinito.

Las acciones horizontales productoras de los sismos, suelen expresarse en función de la aceleración de la gravedad.

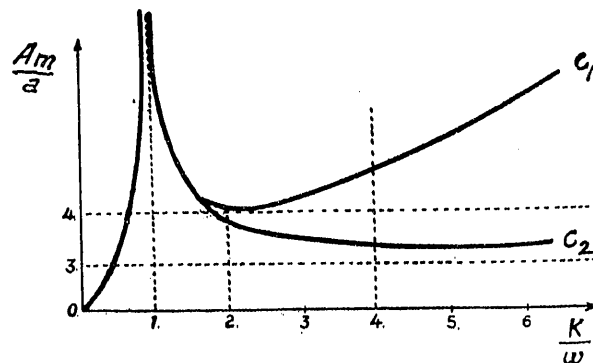


Figura 4.^a

Un promedio en Italia, lugar que en Europa da mayor número de movimientos y de mayor consideración, es de 2 500 mm., o sea 0,25 aproximadamente de aquéllas.

Fundándose en estos datos, Rossi y Ferel han establecido la escala sísmica siguiente:

DENOMINACIONES	Relación de la oscilación a la aceleración
Microsismo	0,02
Muy débiles	0,06
Débiles	0,08
Choque débil	0,12
Choque moderado	0,15
Choque fuerte	0,30
Choque muy fuerte	1,00
Choque extraordinariamente fuerte.....	2,00
Choque de máxima intensidad.....	4,00

En Europa se han dictado reglas para relacionar la fuerza horizontal de la acción sísmica y los pesos de los edificios, recomendándose las siguientes, que se denominan relaciones sísmicas:

1/12 para la planta baja, denominando así la parte del edificio de altura no superior a 10 m.

1/8 para el resto de la edificación.

Para los edificios de carácter excepcional, se tiene, además, en cuenta la posible oscilación vertical, aumentándose por este concepto en un 50 % el peso de los edificios y sobrecargas.

En América, los edificios se clasifican en rígidos, flexibles, y en parte, rígidos, y en parte flexibles, aplicándose el primer tipo a los de menor altura.

De todo cuanto queda expuesto se deduce la dificultad práctica de llegar a cálculos que merezcan la máxima confianza, aun con elementos que para determinados lugares proporcionen las estadísticas, con datos suficientemente veraces y que luego, en la realidad, no fueron sobrepasados, para llegar a adoptar las medidas prácticas que pudieran alejar el riesgo de las fatales consecuencias que tales fenómenos telúricos producen, que, desde tiempo inmemorial, han sido temidos y considerados como castigo de los Dioses para sancionar las malas acciones de la Humanidad.