

Procedimiento aproximado para la determinación de la acción de los temblores en las construcciones (1)

INGENIEROS: HERMÓGENES DEL CANTO
EDUARDO AGUIRRE
JULIO IBÁÑEZ V.

El presente Anexo contiene: 1) Una crítica al llamado método estático de cálculo de construcciones antisísmicas, cuando estas construcciones no son de una gran rigidez. 2) Explicación de la base física del procedimiento simplificado de cálculo. 3) Análisis demostrativo del procedimiento. 4) Estudio de una cepa de puente de hormigón armado con diferentes rigideces. Representación gráfica de las solicitaciones máximas resultantes. 5) Consideraciones sobre la extensión de la validez de las conclusiones obtenidas en el caso de la cepa de puente estudiada. Normas procedentes. 6) Consideraciones sobre el período de las ondas sísmicas destructoras. 7) Período propio de vibración de las construcciones. Fórmulas de fácil aplicación para muros, puentes, galpones y edificios. 8) Cálculo de asismicidad de un muro de hormigón armado. 9) Cálculo de asismicidad de las cepas de un puente de hormigón armado. 10) Cálculo de asismicidad de un edificio comercial de hormigón armado.

1) *Crítica al método estático de cálculo.*—La actual Ordenanza General de Construcciones asimila los temblores a la acción de fuerzas horizontales que actúan en el centro de gravedad de las diversas partes de los edificios (Método estático). La magnitud de estas fuerzas es proporcional al peso de las partes. Equivale este criterio a asimilar los temblores a una aceleración continua del terreno de fundación en sentido horizontal. El conjunto del edificio sería entonces arrastrado con esa misma aceleración y la reacción de inercia debida a la masa de las diversas partes de la construcción constituiría así el esfuerzo proporcional al peso que, según la Ordenanza, actúa en el centro de gravedad de los elementos. Pero es sabido que el movimiento del terreno de fundación durante los temblores no es una aceleración continua sino que son oscilaciones o trepidaciones de naturaleza variable. Durante tales movimientos la aceleración no se mantiene constante sino que cambia de valor y aun, de signo con bastante rapidez. En efecto, sin entrar muy a fondo en la materia es posible describir el fenómeno de los temblores como sigue:

(1) En el estudio de la Ordenanza General de Construcciones que contenía el informe de la Comisión Gubernativa sobre los efectos producidos por el terremoto de Enero de 1939—publicado en los ANALES de Noviembre y Diciembre de 1940—se hacía referencia al anexo N.º 2. Dicho anexo es el presente artículo, que se publica ahora como artículo independiente por haberse retrasado su publicación por causas imprevistas.

Las pequeñas contracciones que experimenta la esfera, u otras causas, producen presiones crecientes en la corteza rocosa hasta alcanzar el límite de ruptura. Esta puede producirse en un solo punto o en un plano (falla) o en una zona o volumen interno. Puede también producirse en dos o más puntos ya sea simultáneamente o con algún intervalo de tiempo. El choque de la ruptura da origen en ese sitio, llamado hipocentro del temblor, a oscilaciones amortiguadas que se propagan. Estas oscilaciones, en un medio homogéneo se harían con movimiento armónico simple debido a que la reacción del medio es proporcional al desplazamiento del punto que oscila (Ley de Hooke). En la práctica esto no sucede exactamente. El punto de la superficie terrestre situado en la vertical del hipocentro se llama epicentro.

La propagación del movimiento se efectúa según ondas longitudinales (P) (Compresión y dilatación de los elementos alineados radialmente a partir del hipocentro) y según ondas transversales (S) (Cizalle alternante de los mismos elementos). Estas últimas llegan a los diversos puntos de la superficie de la Tierra, con retardo respecto de las primeras debido a su más lenta propagación. También llegan a un punto cualquiera de la tierra las ondas superficiales, que tienen su origen en el epicentro, que actúa como centro secundario de conmoción.

Finalmente, en terrenos sueltos y saturados de agua pueden manifestarse ondas gravíficas, que son verdaderas olas de tierra.

Los fenómenos de reflexión, refracción, la multiplicidad de los hipocentros, etc. introducen nuevos sistemas de ondas que complican extraordinariamente el movimiento. Sin embargo, para el estudio del fenómeno se ha acostumbrado hasta ahora asimilarlo a dos oscilaciones de movimiento armónico simple horizontales, normales entre sí y una vertical. Esta última posee generalmente amplitudes no mayores de $\frac{1}{2}$ de la de las ondas horizontales pero puede igualarlas y aun, superarlas en la zona epicentral. Más adelante veremos que la forma misma de las ondas del movimiento de la tierra no necesita ser determinada si se conoce la aceleración máxima, la amplitud y el período.

Si la construcción que se somete a las oscilaciones de un temblor fuera infinitamente rígida, aun una muy corta duración de los valores de la aceleración haría que todas las partículas del edificio adquirieran instantáneamente la misma aceleración que la fundación y, en consecuencia, se desarrollarían en ellas las reacciones de inercia previstas en el método estático de la Ordenanza. Pero si la construcción tiene rigidez limitada las partículas que están alejadas de las fundaciones parten con cierto retardo respecto del movimiento de las fundaciones y, a veces, este retardo es tal que esas partículas o no alcanzan a acelerarse o se aceleran en sentido contrario. Se comprende que en tales casos la reacción de inercia prevista en el método estático no se produce o se produce en sentido negativo y toda la hipótesis no tiene sentido.

El caso de los edificios de albañilería de uno y aun, de más pisos es casi siempre el de construcciones rígidas. En tales casos el método estático sería aplicable. Cuando se trata de edificios altos o bien otras construcciones como galpones, puentes etc. poco rígidas esta hipótesis está en absoluto desacuerdo con los hechos, como lo veremos más adelante y es enteramente inadmisibles como base de cálculo. Esto ha sido ampliamente reconocido por los ingenieros que se ocupan de proyectar obras antisísmicas. Por eso, durante los últimos 12 años se ha registrado en la literatura técnica de los países más adelantados en la materia, como EE. UU. y el Japón, muy

abundantes estudios que permiten resolver, en muchos casos con razonable aproximación, el problema del comportamiento sísmico de las estructuras no rígidas, considerando las oscilaciones del temblor como vibración (Método dinámico). Desgraciadamente, la complejidad de la solución analítica del problema es grande y conduce a fórmulas engorrosas. Esto ha hecho retraerse en su empleo a muchos ingenieros y ha creado partidarios de las construcciones rígidas aún en casos en que las condiciones naturales aconsejan estructuras no rígidas.

Queremos aquí indicar un procedimiento para simplificar el problema que conduce a soluciones no más complicadas que las del método estático y que permite juzgar, en cada caso si las condiciones naturales de la construcción hacen aconsejable o no darle rigidez a las estructuras. La mayor dificultad del método consiste en la determinación de los períodos propios de vibración, pero felizmente esta determinación puede hacerse casi siempre, mediante fórmulas conocidas que se encuentran en la literatura sobre la materia. Además, damos más adelante algunas fórmulas de fácil aplicación.

(Continuará).