Ing. Federico Greve

Intensidad de un movimiento sísmico

En general se aprecia la violencia de un movimiento sísmico por los efectos que éste produce relacionándose con:

a) la sensación personal,
b) el desplazamiento de objetos movibles,
c) la destrucción causada en edificios, y
d) las alteraciones que sufre la corteza terrestre.

Esta clase de medida no es satisfactoria para estudios científicos, cálculo de construcciones o determinación de las primas de seguros contra daños causados por los terremotos. Desgraciadamente no ha sido posible, hasta ahora, establecer un método para medir, con mayor exactitud, la violencia de un sismo a base de inscripciones instrumentales. No disponemos por ahora de una definición precisa de lo que debe entenderse por intensidad de un sismo. A primera vista parece más acertada la expresión de magnitud en vez de intensidad de un sismo; pero los sismólogos han querido reservar la primera denominación para designar la cantidad de energía que se ha desarrollado durante el terremoto en su epicentro.

Como ya se ha dicho, acostumbramos medir la intensidad de un sismo relacionándola con la impresión que nos produce, con los desperfectos que causa en objetos, edificios y costra terrestre. Ninguno de estos puntos de comparación está bien definido, pues la sensibilidad varía de un observador a otro y depende del estado de ánimo en que se encuentre. La resistencia de un edificio a una sacudida, por otra parte, depende del material empleado en su construcción, de su forma, de sus dimensiones y del grado de elasticidad del terreno de fundación.

Estos factores, todos de gran importancia, no pueden tomarse en cuenta en una escala de intensidad de temblores, por lo cual se está obligado a considerar sólo el efecto general producido en la región.

El primer director del Servicio Sismológico en Chile, Conde Montessus de Ballore, confiesa en una de sus publicaciones, que tuvo gran dificultad para establecer la intensidad de los sismos a base de las informaciones recibidas de sus observadores y que llegó con ellas muy a menudo a contradicciones. El sismólogo L e e t, al comentar esta declaración en su obra "Practical Seismology", es de opinión que estas dificultades no se derivan sólo de los datos que dan los observadores, sino que la causa debe buscarse en los diversos factores que tienen relación directa con el fenómeno natural. Entre éstos tenemos: el modo de pensar y el temperamento del observador, la cohesión del subsuelo o sea el coeficiente de fundación, el sistema de construcción y la naturaleza del edificio.

Los sismólogos japoneses han tratado de corregir las informaciones de sus observadores, aplicándoles un coeficiente que varía de un observador a otro, llegando hasta tomar en cuenta el piso del edificio en que se encontraba el observador durante el sismo. Han tratado de uniformar, en cierto modo, las apreciaciones, pero sin llegar a una conclusión práctica.

Los estudios estadísticos efectuados en Chile con las informaciones que envían los observadores repartidos a lo largo del país, demuestran que una escala de intensidad, sencilla y fácil de emplear, es suficiente. Mientras mayor sea el número de observadores, más se reducen los defectos debidos a los errores accidentales, pudiendo establecerse perfectamente la sismicidad de Chile y la posible influencia que puedan tener en los temblores los astros, las estaciones del año, los cambios del estado atmosférico y la relación entre frecuencias de sismos de cada grado de intensidad.

Muchos sismólogos han establecido escalas de intensidad de temblores considerando el modo de vivir de las personas, la forma y altura de los edificios, tratando que los diferentes grados representen intensidades gradualmente crecientes. En algunos casos ha habido necesidad de establecer escalas especiales para el estudio de un terremoto dado, adaptándolas al país, a los habitantes y al tipo de construcción de la región afectada.

Las escalas más antiguas y las primeras cartas sísmicas datan del año 1564 y fueron trazadas por el dibujante piamontés Jacobo C a s t a l d i al estudiar un sismo de Niza. Otra indicación sobre escala sísmica la encontramos en el año 1627 en la descripción que hace P o a r d i del terremoto de Apulia. Este autor partió de una escala de 4 grados para definir la intensidad con que se sintió ese terremoto en diferentes lugares. En la descripción que hace V i c e n c i o del terremoto de Calabria del año 1783, encontramos también una especie de escala de intensidad y una carta con curvas isosistas confeccionada por S a c o r n i. Posteriormente estos procedimientos cayeron en el olvido hasta que el matemático alemán P. E g e n describió los efectos del terremoto de la Renania del año 1828 con una escala de 5 grados que le sirvió también para fijar el epicentro mediante las curvas isosistas. Logró demostrar de esta manera que ese terremoto no tuvo origen volcánico, en el Vesubio, sino tectónico.

El autor John F r e e m a n n da, en su obra "Earthquake Damage and Earthquake Insurance" (1932) una lista de 27 diferentes escalas de intensidad de sismos, de la cual copiamos las siguientes:

Jared Broocke, 1811.
Egon, 1828, con seis grados.
Forel, 1827, con diez grados.
Mercalli, 1883 con seis grados.
Rossi-Forel, 1883, con diez grados.
Escala japonesa, 1892, con seis grados.
Sieberg, 1912, con doce grados.
Mercalli modificada, 1931, con doce grados.

Entre las escalas de intensidad de temblores que han encontrado mayor aceptación está, sin duda alguna, la establecida por los sismólogos De Rossi y Forel en el año 1883. Se compone de diez grados que comprenden los sismos apenas sensibles al hombre hasta los desastres. Esta escala tiene la siguiente pauta de especificación:

I. Registrado sólo por uno o varios sismógrafos del mismo tipo, pero no por diferentes sismógrafos de distinta clase; choque sentido sólo por un observador experimentado.

II. Registrado por sismógrafos de diferentes tipos; sentido sólo por personas en reposo.

III. Sentido por varias personas en reposo con intensidad suficiente para apreciar su dirección y duración.

IV. Sentido por varias personas en actividad; se mueven objetos sueltos, puertas, ventanas; crujido de pisos

V. Sentido generalmente por todo el mundo; se mueven muebles y camas; suenan algunas campanas.

VI. Despiertan algunas personas; generalmente suenan las campanas; oscilan las lámparas; se detienen los relojes de péndulo; los árboles y arbustos se agitan visiblemente; algunas personas abandonan las habitaciones.

VII. Objetos movibles se vuelcan; caída de estucos; suenan campanas de iglesias; pánico general, sin producirse daños serios en los edificios.

VIII. Caída de chimeneas; se producen rasgaduras en los muros de edificios.

IX. Destrucción parcial o total de edificios.

X. Gran desastre, ruinas, perturbaciones en las estratas; rasgaduras en la costra terrestre, se desprenden rocas de las montañas y se producen derrumbes.

Mercalli introdujo en el año 1883 modificaciones en esta escala, las que a su vez fueron corregidas por C a n c a n i. La modificación más importante fué hecha por S i e b e r g en 1912, encontrando bastante aceptación.

El simólogo O m o r i formuló en el año 1901 una escala para medir exclusivamente terremotos destructores la que fué posteriormente modificada por H. O. W o o d.

El profesor Rothé, padre, presentó a la reunión que celebró la sección de Sismología de la Unión Internacional de Geodesia y Geofísica en Madrid (reseña de la reunión de Madrid... publicada en Toulouse, Francia, 1925) un proyecto de escala de sismos y propuso que fuera adoptada provisionalmente como Escala Internacional. Consta de doce grados y es semejante a las escalas de Rossi-Forel y Mercalli. Según Rothé se usa en los países europeos tales como Alemania, Francia, Bélgica, Hungría, etc., pero nunca tuvo aceptación general; ni siquiera aparece citada en las obras de Freeman y Sieberg.

La escala que ha encontrado mayor aceptación ha sido la de Rossi-Forel con sus modificaciones, la cual con el tiempo ha debido ser sometida nuevamente a una revisión completa para crear una escala mejor adaptada a las circunstancias.

Los simólogos H. O. Wood y F. Neumann se hicieron cargo de este trabajo y denominaron la nueva escala "Modified Mercalli Intensity Scale of 1931" publicándola, con sus antecedentes, en el "Bulletin of the Seismological Society of America" (Volumen 21, N.o 4, Dic. 31, pág. 277). Los autores justifican la necesidad de su trabajo, en que se ha podido probar que la escala de Rossi-Forel, después de haber sido empleada por más de 63 años, es inadecuada para las exigencias de hoy día, por ser demasiado reducida, tener subdivisiones heterogéneas de los grados de intensidad y no hacer diferencia clara entre el efecto del terremoto en edificios de mala y buena construcción.

En la publicación aparece la escala en dos formas con el mismo número de grados: una con exceso de detalles y otra condensada. La primera la recomiendan sólo para ser usada por personas muy expertas y la condensada para observadores en general. Damos a continuación la escala condensada.

ESCALA DE MERCALLI MODIFICADA 1931

I. Temblor sentido solamente por unas pocas personas en circunstancias especialmente favorables.

II. Sentido solamente por pocas personas en reposo, especialmente aquéllas que se encuentran en pisos superiores de un edificio. Oscilan los objetos suspendidos ligeramente.

III. Sentido claramente por personas que están en el interior de un edificio, principalmente en los pisos superiores, no reconociéndolo muchas como tal. Los vehículos motorizados detenidos se mecen suavemente. Vibración tal como si pasara un camión. Se puede estimar su duración.

IV. Sentido durante el día por muchas personas en el interior de un edificio; por pocas al aire libre. Durante la noche despiertan algunas personas. Se mueven platos, ventanas y puertas, crujen las murallas. Se tiene la sensación como si pasara un camión pesado que estremece a los edificios. Los vehículos motorizados detenidos se mecen sensiblemente.

V. Sentido por todas las personas; muchas despiertan. Algunos platos y ventanas se quiebran, se agrietan algunos estucos, caen objetos inestables. Se mueven árboles, astas y otros objetos grandes. Se detienen los péndulos de los relojes.

VI. Sentido por todas las personas y muchas, asustadas, corren hacia afuera. Se mueven los muebles pesados, caen algunos estucos y hay daños en chimeneas. Perjuicios leves.

VII. Todo el mundo corre hacia afuera. Hay perjuicios insignificantes en edificios de buena construcción, leves o moderados en construcciones corrientes bien terminadas, considerables en edificios de mala construcción. Se quiebran algunas chimeneas. Sentido por personas que conducen vehículos motorizados.

VIII. Perjuicios leves en edificios especialmente bien construídos; considerables, con derrumbes parciales, en edificios sólidos corrientes; grandes perjuicios, en parte caen murallas y tabiques, en edificios de construcción deficiente. Caen chimeneas, montones de material, columnas, monumentos y murallas. Los muebles pesados se vuelcan. Arena y fango es lanzado fuera en pequeñas cantidades. Se producen cambios en las aguas de vertientes. Se inquietan los conductores de vehículos motorizados.

IX. Perjuicios considerables en edificios bien construídos; tabiques de buena construcción quedan fuera de plomo; gran-

des perjuicios en construcciones sólidas con derrumbes parciales. Los edificios se mueven sobre sus fundaciones. El suelo se agrieta visiblemente. Se quiebran tuberías subterráneas.

X. Algunos edificios de buena construcción son destruídos; la mayor parte de las construcciones de mampostería y tabiquería son destruídas junto con sus fundamentos. El suelo se agrieta y los rieles se tuercen. Asentamientos considerables en riberas de ríos y pendientes húmedas. Se corre la arena y el fango. El agua salpica y sobrepasa sus riberas.

XI. Escasos edificios de mampostería quedan en pié. Los puentes se destruyen. Se producen anchas grietas en el suelo. Las tuberías subterráneas quedan fuera de servicio. Sentamiento de terreno y deslizamiento en tierra húmeda. Se tuercen los rieles en gran extensión.

XII. Desastre total. Se ven ondulaciones en la superficie terrestre. Torceduras de líneas y niveles. Los objetos son lanzazados hacia arriba.

Para cumplir con el programa que se ha propuesto realizar el Instituto Sismológico de la Universidad de Chile, se necesita una escala sencilla que pueda ser intepretada fácilmente por observadores poco experimentados. Las escalas con muchas subdivisiones pueden conducir a una mala interpretación, puesto que la edificación y el modo de vivir en Chile varía desde la región calurosa y seca del norte a la lluviosa del sur. El efecto destructor de un terremoto será muy diferente si se trata de una construcción de madera del sur, de un muro de ladrillo del centro o del tabique de caña de Guayaquil del norte del país. Se comprenderá fácilmente que la vibración de una ventana o puerta durante un temblor depende principalmente del ajuste que ésta tenga en el marco y de la elasticidad del edificio. Se vió, por lo tanto, la conveniencia de elegir para Chile la escala de intensidad de seis grados que se usa en el Observatorio Central de Meteorología del Japón y que fué publicada en el "Bulletin of Earthquake Researsh Institute Tokyo Imperial University" (Volumen X, Sept. 32), con algunas modificaciones de redacción para adaptarla a las costumbres y tipos de construcción de nuestro país.

El empleo de esta escala durante más de cinco años en Chile, en el servicio de Postales Informativas que funciona con más de 170 observadores, ha demostrado perfectamente que es aplicable al estudio de la sismicidad del país y conveniente en los estudios estadísticos que se hacen con el fin de establecer las posibles causas de los sismos.

El sismólogo J. P. Rothé, Director del Bureau Intérnational de Séismologie, en una comunicación dirigida al Director del Instituto Nacional de Investigaciones Tecnológicas y Normalización, con fecha 5 de noviembre de 1947, reconoce que en los países de gran sismicidad como Chile, es conveniente el empleo de una escala de pocos grados.

L. O. Colbert, Director de U. S. Coast & Geodetic Survey, en una nota dirigida al INDITECNOR opina muy favorablemente sobre el empleo de la escala elegida para los estudios que nos hemos propuesto realizar.

También F. P. Ulrich, jefe de sección del U. S. Coast & Geodetic Survey, quien visitó Chile varias veces, se expresa, en su informe a la oficina de Washington, positivamente respecto al empleo de nuestra escala. Subraya que los grados de ella corresponden a dos de la escala de Mercalli modificada 1931 que se emplea en los EE. UU. de A., por lo cual no hay dificultad para efectuar estudios comparativos.

Verificada la eficiencia de nuestra escala de intensidad, fué propuesta al INDITECNOR que la aprobó como provisoria, siendo después de los trámites reglamentarios, decretada en Chile como Escala Oficial de intensidad de los Fenómenos Sísmicos.

De los seis grados de la escala, los tres primeros corresponden a sismos sensibles al hombre que no producen perjuicios y los tres siguientes a los temblores que causan daños en las construcciones o sea semiterremoto, terremoto y desastre.

Damos a continuación la especificación de cada grado de la escala. Esta fué aprobada como oficial por decreto N.o 2.167 del 9. 5. 48. (Mayores antecedentes, véase N.o 5-6, mayo-junio de 1948, pág. 151, Anales del Instituto de Ingenieros de Chile).

O. Insensible al hombre, pero registrado por los instrumentos.

I. Sensible sólo para personas en reposo o en estado perceptivo.

II. Sensible para la generalidad de las personas; ruido en ventanas y puertas.

III. Provoca alarma en la población; se estremecen las casas, los péndulos se detienen y las lámparas oscilan apreciablemente.

IV. Provoca pánico general; suenan las campanas, caen algunos muros mal construídos y objetos. Se producen grietas en algunos edificios.

V. Se destruyen algunas chimeneas, murallas y otras partes de edificios; caen algunas casas.

VI. Desastre general; cae un gran número de casas y se producen grietas en el terreno.

Como ya se había dicho más atrás, todas estas escalas de intensidad de temblores, basadas en la apreciación personal del observador, no tienen una exactitud suficiente para hacer estudios científicos. Beno Gutenberg escribe en su obra "Sismología", lo siguiente: "Las escalas deben usarse con cautela. Las propiedades del suelo, los tipos de edificios, las actividades de los observadores, la intensidad del tráfico, la duración del remezón mayor y otros factores influyen notablemente en la observación y los efectos del sismo. Estos hechos, ya indicados 50 años atrás, han sido estudiados con detención por Sieberg y H. O. Wood para tratar de encontrar una solución".

Desde que la sismología se estudió científicamente, se trató de medir los efectos que produce la vibración por medio de la aceleración máxima. En el año 1890 los sismólogos Milna y Omori establecieron experimentalmente la aceleración necesaria para volcar columnas de dimensiones dadas. Un estudio más detallado de este problema fué publicado por Gallitzin en 1912. En él el autor propone el empleo de dos series de prismas de diferentes alturas, colocados en direcciones perpendiculares entre sí y que debían medir la intensidad del temblor por el número de prismas caídos. Fracasó este método y otros instrumentos construídos para este fin tampoco dieron un resultado positivo.

Como el sismo es un fenómeno mecánico se pensó establecer la magnitud numérica de las fuerzas que en él actúan y fué Holden quien en el año 1888 trató de expresar los valores de la escala de intensidad por la medida de la energía cinética desarrollada, para determinar, en kilográmetros, el trabajo efectuado por el sismo en su epicentro. Omori introdujo en la medida de intensidad, la aceleración que el sismo impone a las partículas terrestres comparándola con las escalas empíricas. Basado en este resultado, estableció Cancani, en el año 1903, la relación entre la aceleración y los grados de intensidad de la escala de Mercalli.

En un trabajo publicado por Mishio Ishimoto titulado "Echelle d'intensité et accélération maxima" (Bulletin of Earthquake Research, Volumen X, Sep. 32) el autor hace un estudio completo de la aceleración máxima que le corresponde a cada grado de la escala de intensidad sísmica del Observatorio Central de Meteorología del Japón. Toma como base las inscripciones de un acelerógrafo instalado en la estación del Instituto en que trabajaba, llegando al siguiente cuadro comparativo:

Grado	I... ...	0,5 —	2 gal.
"	II... ...	2 —	8 "
"	III... ...	8 —	32 "
"	IV... ...	32 —	128 "
"	V... ...	128 —	512 "
"	VI... ...	512 —	— "

Llama la atención que estos valores coinciden con los resultados obtenidos por el profesor Omori al estudiar con una mesa vibratoria la

aceleración necesaria para volcar cuerpos geométricos de dimensiones dadas.

El autor Aug. S i e b e r g da en su obra "Erdbebenkunde" un cuadro comparativo de las escalas de intensidad de sismos de Egen 1880, De Rossi-Forel 1883, Mercalli 1897 con la escala absoluta de Cancani en la cual se indican las aceleraciones correspondientes a cada grado.

En la obra de John Freeman titulada "Earthquake Damage and Earthquake Insurance" se publica un cuadro comparativo de la escala de Rossi-Forel con las aceleraciones máximas que dan los autores Omori, Holden, Cancani, Wood, Sieberg y Mc. Adle.

Si comparamos los valores de aceleración máxima asignados para cada grado de intensidad de temblor, establecemos que hay diferencias considerables. Estas se deben probablemente a que estos valores se han obtenido experimentando con mesas vibratorias y determinando con éstas las aceleraciones que se producen en caídas de cuerpos geométricos de dimensiones conocidas. Los valores así obtenidos no se pueden comparar con la caída de columnas y muros en un terreno, puesto que el movimiento que efectúa la tierra durante el sismo es muy complejo. Es la resultante de una serie de vibraciones sinusoidales provenientes de muchos choques que se producen a lo largo de la falla.

Basta observar cualquier acelerograma, por ejemplo él obtenido durante el temblor del 13 de septiembre de 1945 en Santiago, para ver que la curvatura de aceleraciones es irregular, mostrando un máximo normal de 0,05 de la gravedad y un máximo o pique de 0,13 de la gravedad. Ahora cabe la pregunta: ¿Qué aceleración le asignamos al temblor? Ese máximo aislado puede o no ser de importancia y dos o tres, más espaciados, tampoco; pero si el tiempo transcurrido entre ellos es tal que se sincronicen con el movimiento de una construcción, pueden producir una caída.

Los sismólogos H. O. Wood y Frank Neumann, al considerar este problema en "Modified Mercalli Intensity Scale 1931", dicen: Nosotros no podemos relacionar por ahora los efectos destructores con valores instrumentales, como por ejemplo, establecer una unidad conveniente que sirva para representar la intensidad de un sismo. Aunque por otra parte se reconoce la importancia del factor de aceleración, no tenemos una definición satisfactoria de intensidad, ni una fórmula en que se exprese la violencia del terremoto en función del movimiento del suelo".

También otros investigadores han tratado de encontrar métodos para poder apreciar la magnitud total de un sismo y entre ellos tenemos a Charles F. Richter quien basa su cálculo en las inscripciones sismométricas de varios sismógrafos. Publicó el estudio completo en la revista "Bulletin of the Seimological Society of America" (Vol. 25, N.o 1, Enero 35) bajo el título "An instrumental earthquake magnitud escale". Se basa en los estudios de W a d a t i (Geophysical Magazine, Tokyo 1931) y comienza por definir el término magnitud de un sismo. Lo refiere a la cantidad de características que pertenecen al choque en conjunto, dife-

renciándolo de la intensidad del temblor, que representa el efecto que produce el sismo en un punto determinado de la superficie de la tierra. Define la magnitud de un sismo como el logaritmo de la amplitud máxima que registraría un sismómetro standard de torsión (T = 0,8 seg., V = 2.800, h = 0,8 de amortiguamiento) colocado a 100 km. de distancia del epicentro.

El método de Richter se basa en la suposición de que si se producen dos temblores de diferente magnitud en un mismo epicentro, los dos registros obtenidos por sismógrafos de cada estación, serán semejantes siendo uno la amplificación del otro. Si la razón de amplificación de todas las estaciones es la misma, nos podrá proporcionar la relación de la magnitud entre los dos sismos. Suponiendo siempre que el mecanismo productor del choque es el mismo en los dos casos, la razón entre las amplitudes sismométricas es la raíz cuadrada de la razón entre las energías liberadas.

La exactitud de este método depende de muchas condiciones que no siempre se cumplen. Así, por ejemplo, influye en la inscripción la falta de homogeneidad del medio por el cual se propaga la onda, la profundidad del foco, diferencia del mecanismo productor del choque, consistencia del subsuelo de cada estación y las constantes del instrumento receptor.

Richter aplica este método a los temblores de la zona sur de California y posteriormente, junto con B. Gutenberg, en un trabajo titulado "Earthquake Magnitude, Intensity, Energy and acceleration (Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 32, N.o 3, Julio 42) investiga los principales elementos físicos del temblor o sea la magnitud, la energía, la intensidad, la aceleración y su relación con la profundidad del foco y radio de percepción.

Resumen:

1. Para poder medir un temblor tenemos dos tipos de escalas o sea la de intensidad, que se refiere a los efectos producidos en un punto determinado de la superficie terrestre y la de magnitud, que se refiere al conjunto de características de un temblor.

2. En la escala de intensidad se comparan los efectos producidos sobre el hombre y los objetos; aún no se ha encontrado un medio satisfactorio para determinaciones instrumentales. En un mismo temblor la intensidad varía de un punto a otro.

3. La escala de magnitud se basa en mensuras instrumentales. Y se refiere al conjunto total del fenómeno siendo, hasta cierto punto, un método arbitrario.

4. Es de desear que se llegue a establecer una escala en que la magnitud o intensidad se exprese en unidades físicas.

F. G.