

PREPARACION DE LOS SERVICIOS DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO PARA SITUACIONES DE DESASTRE PRODUCIDAS POR TERREMOTOS

encia de las Investigaciones
hales sobre Desastres

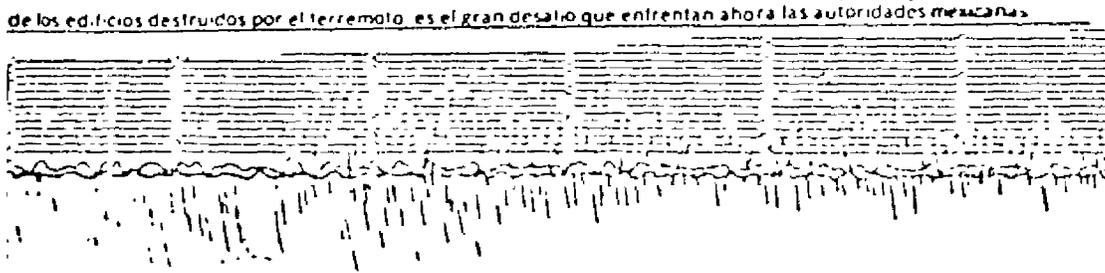
En los últimos años se ha dedicado creciente atención en estudios sobre la administración y sus efectos sobre la salud, incluyendo...

Secuelas del terremoto México comienzan a sur

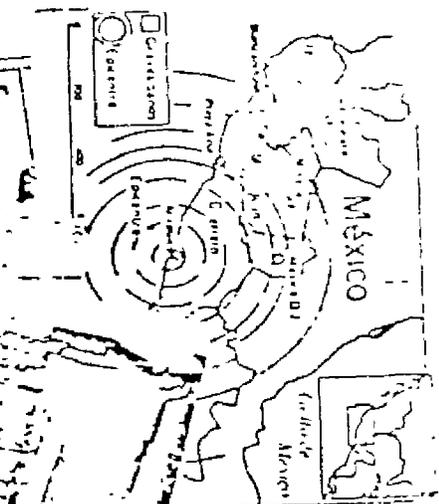
México, D.F. Aunque para los mexicanos los terremotos que azotaron la semana anterior esta mañana solo afectaron el 10 por ciento del territorio del Distrito Federal, las consecuencias económicas ya están perjudicando casi la totalidad de los habitantes de la república. La interrupción de servicios indispensables en la capital compromete la vida diaria...



Un hombre guatemalteco remanece las escombros de las casas que fueron derrumbadas por el terremoto de 1976...



... por la estación del Cerro de la Muerte del Observatorio Sismológico y Volcanológico de Costa Rica que funciona en la Universidad...



Colombia: El terremoto en Popayán

REFERENCIAS

- (1) UNDR0: Prevención y Migitación de Desastres, Volumen 3, Aspectos Sismológicos. Nueva York, Naciones Unidad, 1979
- (2) CEPIS/OPS, O'Rourke, M: Behavior of water and sewer pipelines during earthquakes. 1987
- (3) CEPIS/OPS, O'Rourke, M.: Earthquake preparedness plan for water systems, 1982
- (4) SAUTER, F. Revista Habitar No. 17 del Colegio de Arquitectos de Costa Rica, junio 1985: Efectos y daños ocasionados por el terremoto de Chile el 3 de marzo de 1985
- (5) CEPIS/OPS: Programa de agua potable y disposición de aguas residuales en situaciones de emergencia. Módulos de capacitación, 1982.
- (6) Pontifica Universidad Católica del Perú, Casaverde y Vargas: Zonificación sísmica del Perú
- (7) Preparación de los servicios de agua potable y alcantarillado para situaciones de desastre. Manual General

sastres y la planificación anterior a los mismos deben formar parte integrante de la política general de desarrollo.

Desde la antigüedad, el hombre ha considerado siempre los terremotos como uno de los azotes naturales más terribles para su vida y sus bienes. La rapidez de su aparición sin que nada indique su inminencia, el ruido que a menudo los acompaña, la violencia de las sacudidas que, en unos segundos transforman una ciudad próspera en un cúmulo de ruinas y los efectos que producen sobre el terreno - hundimientos, fallas, derrumbamientos de laderas, nubes de polvo - constituyen para el hombre otros tantos factores de temor y de impotencia.

Se calcula que, desde el año 1000, más de cinco millones de personas han perecido en catástrofes sísmicas.

Se puede considerar, que desde comienzos del siglo XX, la cifra media anual de víctimas es de unas 24.000. Sin embargo, desde 1975 el balance sismológico ha sido especialmente grave: terremotos destructores han afectado a zonas densamente pobladas de Indonesia, Italia, Turquía, Rumania y, sobre todo, China (más de 650.000 muertos), y en las Américas: Guatemala, Nicaragua, Colombia, Perú, Chile y recientemente México.

Las pérdidas materiales debidas a sismos resultan difíciles de calcular exactamente, a falta de estadísticas precisas. La variación de los tipos de cambio, la inflación y la diversidad de niveles de vida hacen difícil comparar las evaluaciones realizadas para los diferentes desastres. Pueden recordarse algunas de las cifras sobre magnitud de pérdidas, publicadas con motivo de catástrofes recientes en millones de dólares: Perú 507, Nicaragua 800 y Guatemala 1000; fenómenos todos que han causado un tremendo impacto en las economías de estos países.

Las pérdidas humanas y económicas son hoy día especialmente graves en los países en desarrollo. El aumento de la población y la tendencia a la concentración urbana contribuyen a un incremento del balance de los futuros sismos cuando los hipocentros se localicen cerca de las grandes ciudades, como ha ocurrido recientemente en Guatemala, Managua-Nicaragua, Popayan-Colombia y México.

La sismicidad del globo se mantiene más o menos constante, pero en los últimos años han convergido dos fenómenos. Por una parte, algunos hipocentros sísmicos se han manifestado en las cercanías de zonas densamente pobladas y por otra, el crecimiento demográfico de los países en desarrollo ha engendrado una expansión urbana muy rápida y una considerable proliferación de amplias zonas urbanas o semiurbanas cuyo crecimiento no está, en la mayoría de los casos, ni planificado ni controlado. La conjunción de estos dos fenómenos provoca y seguirá provocando, pérdidas humanas y económicas cada vez más graves, además de incrementos considerables en el riesgo de la salud pública por dislocamiento de los servicios de salud ambiental y de agua potable. La preocupación de los gobiernos por los graves efectos de los desastres se ha reflejado también en el sistema de Naciones Unidas, lo cual determinó la creación de la Oficina de Coordinación de las Naciones Unidas para el Socorro en Casos de Desastre, por Resolución 2816 de la Asamblea General de diciembre de 1971, oficina que inició sus operaciones en marzo de 1972. Esta Oficina - UNDRR - es el organismo de las Naciones Unidas encargado de la respuesta internacional a los desastres.

Los gobiernos de las Américas también han estado fortaleciendo al sistema hemisférico para mejorar la coordinación de la asistencia, la preparación

de planes, el adiestramiento de personal y otras actividades relacionadas con los desastres.

Los cuerpos directivos de la Organización Panamericana de la Salud, han aprobado numerosas resoluciones motivadas por los desastres ocurridos recientemente, estableciendo formalmente en marzo de 1977 el Programa de Preparativos para Situaciones de Emergencia y Coordinación del Socorro en Casos de Desastre, programa a través del cual la OPS ayuda a sus Gobiernos Miembros en:

- evaluar las necesidades de salud y difundir información entre posibles donadores,
- organizar y coordinar la asistencia sanitaria internacional,
- formular y ejecutar proyectos de rehabilitación,
- facilitar expertos en administración de asentamientos provisionales, ingeniería sanitaria, abastecimiento de agua, vigilancia epidemiológica y control de enfermedades, y otras especialidades de salud pública.

El programa se financia mediante asignaciones del presupuesto de la OPS y donativos. Prestan apoyo al Programa, entre otras entidades, la Comunidad Económica Europea, la Agencia Canadiense para el Desarrollo Internacional, la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (Oficina de Asistencia al Exterior en Casos de Desastre) y el Organismo Sueco de Desarrollo Internacional.

Como una de las estrategias para alcanzar el mandato de la OPS de alcanzar para todos los ciudadanos de la Región en el año 2000, un grado de salud que les permita llevar una vida social y económicamente productiva, reviste especial importancia la planificación de los servicios básicos de saneamiento y de abastecimiento de agua potable - reconocidos como primordiales y de a-

tención inmediata en casos de desastres - y disposición de aguas residuales, para atender situaciones de emergencia, planificación que debe enfocarse fundamentalmente hacia el mejoramiento de la operación y el mantenimiento rutinarios y preventivo de los sistemas; hacia la disminución de la vulnerabilidad de los componentes de los mismos, y hacia la introducción de los criterios de vulnerabilidad y operación de los servicios en situaciones de emergencia, en los procedimientos de elaboración de proyectos y diseños.

En los países de latinoamérica, la responsabilidad por el abastecimiento de agua y la disposición de aguas residuales, generalmente está a cargo de una sola entidad, nacional y regional. Ello facilita la planificación integrada de ambos servicios en casos de emergencia, con el consiguiente aprovechamiento de mano de obra y otros recursos en forma eficiente.

En este manual se introducen los efectos de los terremotos sobre los sistemas de agua potable y alcantarillado, se describen metodologías para efectuar el análisis de vulnerabilidad y determinar los componentes críticos, así como para evaluar daños, se presentan algunas medidas de prevención y de emergencia y finalmente se refiere a los aspectos de rehabilitación todo encaminado hacia el establecimiento del plan de emergencia, elemento dinámico, que deberá contener el conjunto de acciones, metodologías y responsables, como marco de acción para la respuesta institucional a una emergencia o catástrofe.

El manual se fundamenta en los módulos preparados por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, CEPIS, y en las publicaciones de la OPS/OMS: Guía de Saneamiento en Desastres Naturales, de M. Assar;

Administración Sanitaria de Emergencia con posterioridad a los desastres naturales, Publicación Científica No. 407; Salud Ambiental con Posterioridad a los Desastres Naturales, Publicación Científica No. 430; ambas de la OPS/OMS; en las publicaciones de la serie Preparación y Mitigación de la UNDRR, en las referencias que se indican al final del manual, y en la experiencia obtenida en los talleres, seminarios y reuniones que ha patrocinado, la OPS en las Américas.

PREPARACION DE LOS SERVICIOS DE
AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO
PARA SITUACIONES DE DESASTRE
PRODUCIDAS POR TERREMOTOS

PREPARADO POR
ING. HERBERT FARRER CRESPO

SEPTIEMBRE DE 1985

PREPARACION DE LOS SERVICIOS DE
AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO
PARA SITUACIONES DE DESASTRE
PRODUCIDAS POR TERREMOTOS

CONTENIDO	PAGINA
Prólogo	
CAPITULO 1: ORIGEN, DESCRIPCION Y CUANTIFICACION DEL FENOMENO	
1.1 Generalidades	7
1.2 Sismicidad del globo	7
1.3 Orígenes de los movimientos sísmicos: tectónica de placas o de expansión de los fondos oceánicos	8
1.4 Características de los sismos	16
CAPITULO 2: ANALISIS DEL RIESGO SISMICO Y PLANOS DE RIESGOS	
2.1 Generalidades	29
2.2 Métodos para el análisis de riesgo sísmico	30
2.2.1 Método de Allin Cornell	36
2.2.2 Método simplificado de O'Rourke	43
2.3 Planos de riesgos	45
2.3.1 Información requerida	45
2.3.2 Identificación de riesgos consecuentes	50
CAPITULO 3: EFECTOS DE LOS SISMOS SOBRE LOS SISTEMAS	
3.1 Generalidades	51
3.2 Efectos sobre la salud	53
3.3 Efectos económicos	56
3.4 Efectos sobre las estructuras físicas	60

	PAGINA	
3.5	Efectos sobre las estructuras de los servicios de agua potable y alcantarillado	62
CAPITULO 4: COMPONENTES DE LOS SISTEMAS		
4.1	Componentes y subcomponentes	76
4.2	Información básica de los componentes	77
CAPITULO 5: ANALISIS DE VULNERABILIDAD		
5.1	El análisis de vulnerabilidad	81
5.2	Información requerida para el análisis de vulne- rabilidad	82
5.2.1	Quantificación del riesgo sísmico	83
5.2.2	Identificación del mecanismo de falla	84
5.2.3	Características de las estructuras	84
5.3	Métodos para la cuantificación global del sistema en su función específica	87
5.3.1	Método 1: Tiempos de rehabilitación	87
5.3.2	Método 2: AWWA	94
CAPITULO 6: MEDIDAS DE PREVENCIÓN		
6.1	Generalidades	98
6.2	Medidas de Prevención	99
CAPITULO 7: MEDIDAS DE EMERGENCIA		
7.1	Prioridades de abastecimiento de agua	106
7.2	Requerimientos mínimos de agua	106
7.2.1	Rescate y evacuación	106
7.2.2	Refugio y campamentos de tiendas	106

	PAGINA	
7.2.3	Edificios	107
7.2.4	Hospitales de campaña y puestos de primeros auxilios	107
7.2.5	Centros de alimentación colectiva	107
7.2.6	Albergues temporales y campamentos	107
7.3	Reparaciones de emergencia	107
7.4	Prioridades para reparaciones	109
7.5	Equipos para reparaciones	110
7.6	Atención de sistemas de alcantarillados sanitarios	110
7.7	Métodos de reparación	111
7.8	Otros medios de cubrir las necesidades mínimas de abastecimiento de agua	112
7.8.1	Agua para combatir incendios	113
7.8.2	Agua para uso doméstico	114
7.9	Desinfección del agua	122
7.10	Reservas de equipo y suministros	122
7.11	Información al público	123
CAPITULO 8: ALARMAS		
8.1	Generalidades	124
8.2	Previsión de los sismos	124
8.3	Previsiones a largo y corto plazo	127
8.4	Alarmas	127
CAPITULO 9: EVALUACION DE DAÑOS		
9.1	Generalidades	134
9.2	Indicadores para la concecusión de la información	135

	PAGINA	
9.3	Información general de la emergencia	135
9.4	Comunicaciones dentro de la emergencia	138
9.5	Lugares a donde debe reportarse el personal y responsabilidades	138
9.6	Organización para la evaluación de daños	142
9.6.1	Asignación de áreas de inspección	142
9.6.2	Procedimientos para la inspección	144
9.6.3	Procedimientos de seguridad para las estructuras	145
9.7	Procesamiento de los informes de daños	145
9.7.1	Recepción de informes de daños	146
9.7.2	Planos de ubicación de daños	146
9.7.3	Matrices del impacto, capacidad remanente y necesidades por zonas	147
 CAPITULO 10: REHABILITACION Y RECONSTRUCCION		
10.1	Generalidades	151
10.2	Planteamiento de los requerimientos inmediatos y de mediano plazo	152
 CAPITULO 11: PLAN DE EMERGENCIA		
11.1	El Plan de Emergencia	155
11.2	Análisis de vulnerabilidad	156
11.3	Análisis de los componentes críticos	157
11.4	Acciones previas dentro de la emergencia	161
11.4.1	Asignación de funciones y responsabilidades	163
11.4.2	Centro de operaciones	164
11.4.3	Plan y centro de comunicaciones	165
11.4.4	Plan de transporte	167
11.4.5	Plan de bodegas	169

	PAGINA
11.4.6 Plan de seguridad y vigilancia	169
11.4.7 Plan de ingeniería	170
11.4.8 Plan de información al público	170
11.4.9 Fondos para emergencias	172
11.4.10 Plan de personal	172
11.4.11 Archivos y registros técnicos	172
11.4.12 Directores de personal e instituciones	173
11.5 Acciones previas de cooperación institucional y de ayuda mutua	174
11.5.1 Defensa civil	174
11.5.2 Policía	176
11.5.3 Bomberos	176
11.5.4 Otros sistemas de abastecimiento de agua	177
11.5.5 Empresas de energía	178
11.5.6 Obras públicas	178
11.5.8 Institutos sismológicos	178
11.5.9 Empresa privada	179
11.6 Recursos para la concecusión del plan	181
11.6.1 Recursos humanos	181
11.6.2 Recursos materiales	186
11.6.3 Recursos financieros	188
11.7 Cronograma de implementación de las acciones previas	189

FIGURAS

	PAGINA	
1.1	La sismicidad del globo y las principales placas tectónicas-Principales epicentos en el año 1971	9
1.2	Corte transversal del Pacífico sudoriental	12
1.3	Divergencia de placas	12
1.4	Convergencia de placas	13
1.5	Transcurrencia de placas	14
1.6	Temblores por compresión con continentes	14
1.7	Temblores por flexión	15
1.8	Desplazamiento máximo sobre la falla en la superficie, relacionada con la magnitud del sismo	18
1.9	Mapa de isocistas-Terremto de Managua 1972	20
1.10	Mapa de isocistas-Sismo de Costa Rica del 2 de abril de 1983	20
1.11	Mapa de isocistas-Terremoto de Guatemala 1976	20
1.12	Ondas de volumen	24
1.13	Ondas superficiales	25
1.4	Relación entre la aceleración máxima y la intensidad macrosísmica.	26
1.15	Relación entre la aceleración máxima y la distancia para sismos de varias magnitudes	27
1.16	Longitud en la superficie de ruptura de la falla principal, relacionada con la magnitud del sismo	28

	PAGINA	
2.1	Principales estructuras geotectónicas y mapas de epicentros del Valle del Po, Italia	32
2.2	Distribución regional de aceleraciones máxima y mapa sísmico simplificado	33
2.3	Mapa de aceleraciones, Perú, para T = 50 años	34
2.4	Mapa de aceleraciones, Perú, con una probabilidad del 80% de no ser excedida en 50 años	35
2.5	Esquema de ubicación con respecto a una falla	37
2.6	Integral: valores numéricos auxiliares	39
2.7	Intensidad versus período de retorno	42
2.8	Mapa de aceleraciones	45
2.9	Topografía del basamiento rocoso de Latham, Nueva York	46
2.10	Estratificación del terreno, estudio geológico de Latham, Nueva York	46
2.11	Curvas de profundidad de terreno sobre la roca, Latham, Nueva York	47
2.12	Plano de vulnerabilidad sísmica de Latham	48
3.1	Impacto de los terremotos en aspectos de salud pública en los días siguientes inmediatos al impacto	55
5.4	Secuencia de actividades para estimar los tiempos de rehabilitación compuestos para suministrar agua	97
7.1	Bomba de mano para pozo hincado	116
7.2	Distribución de agua mediante un camión cisterna	119

8.1	Mapa de los epicentros de los terremotos de 1973	125
8.2	Zonas de ruptura y epicentros en Centroamerica durante el siglo XX	126
10.1	Modelo de formulario para solicitud de suministros	154
11.1	Análisis de vulnerabilidad y alternativas de solución para componentes críticos, Ejemplo No. 1	158
11.2	Análisis de vulnerabilidad y alternativas de solución para componentes críticos, Ejemplo No. 2	159
11.3	Análisis de vulnerabilidad y alternativas de solución para componentes críticos, Ejemplo No. 3	160
11.4	Inventario de las fuentes alternas de agua	180
11.5	Plan de emergencia-Requerimientos de Capacitación	183
11.6	Formulario para la implementación de las acciones previas: actividades, objetivos y responsables de ejecución	190
11.7	Cronograma de implementación de las acciones previas	191

CUADROS

	PAGINA	
1.1	Magnitud sísmica: Escala de Richter	17
1.2	Intensidad sísmica: Escala Modificada de Mercalli	19
1.3	Relación observada entre magnitud e intensidad	21
2.1	Aceleraciones máximas de tierra y duraciones durante la fase fuerte de movimiento	43
2.2	Correlación de aceleración y magnitud en un área determinada	44
3.1	Balanza de los desastres telúricos y tectónicos ocurridos de 1900 a 1976.	54
3.2	Efectos de sismos en edificaciones por tipo de vivienda e intensidad	60
3.3	Efectos en edificios, California, sismo de 1952	62
3.4	Ocurrencia relativa de efectos directos e indirectos de los terremotos sobre tuberías colocadas en camas de roca y sedimentos no consolidados.	65
3.5	Intensidad relativa de daños sobre tuberías colocadas en camas de roca y sedimentos no consolidados	66
3.6	Efectos del terremoto de Managua, Nicaragua de 1972 en las tuberías de conducción y distribución.	69
3.7	Efectos posibles de los terremotos sobre los sistemas de agua potable y alcantarillado	73
4.1	Componentes y subcomponentes de los sistemas de abastecimiento de agua potable	78

	PAGINA	
4.2	Componentes y subcomponentes de los sistemas de alcantarillado sanitario	80
5.1	Información necesaria para evaluar el riesgo sísmico y la resistencia sísmica de tuberías en los mecanismos de falla usuales	85
5.2	Matriz de tiempos de rehabilitación e impacto al sistema	91
5.3	Matriz del impacto para el sistema de abastecimiento de agua potable	96
6.1	Algunas medidas de prevención	109
9.1	Indices para la evaluación de daños en los primeros días después del impacto	136
9.2	Matriz del impacto para el sistema de abastecimiento de agua	150

ORIGEN, DESCRIPCION Y CUANTIFICACION DEL FENOMENO

1.1 GENERALIDADES

Son muy diversos los fenómenos que dan origen a movimientos sísmicos: explosiones, derrumbes, impactos meteoríticos, actividad volcánica y movimientos tectónicos. Este manual está mayormente dedicado al caso de movimientos tectónicos que producen los grandes sismos y los terremotos.

Se puede definir un terremoto como una liberación brutal de la energía acumulada en las rocas por el juego de los procesos de la tectónica global. Cuando las fuerzas de compresión son superiores al límite de resistencia mecánica de las rocas, se produce una fracturación que origina las ondas sísmicas.

1.2 SISMICIDAD DEL GLOBO

Con fundamento en estudios estadísticos progresivamente desarrollados, se han podido establecer claramente las zonas sísmicas de la tierra, que se muestran en la Figura No. 1.1 y que son:

a) Círculo sísmico circumpacífico, en donde se libera el 80% de la energía sísmica total. Está delimitado por el arco de las Islas Aleutianas, Kamchatka, la gornalda de las Islas Kuriles y las costas orientales de las Islas Japonesas; la zona sísmica se divide luego en dos ramas: una que pasa por Formosa y el arco de las Filipinas y otra que, por el contrario, sigue más al este la cresta submarina marcada por las Islas Bonin, Marianas, Guam y Carolinas Occidentales.

Las dos ramas se reúnen en Nueva Guinea y el círculo prosigue por Nue

va Zelandia y por las islas Salomón, Nuevas Hébridas, Fiji, Tonga y Kermadec. En toda esta zona, focos " intermedios ", situados a profundidades comprendidas entre 70 y 300 Km y focos " profundos ", a profundidades comprendidas entre 301 y 725 Km, aparecen junto a focos normales, a menos de 70 Km de profundidad, y se ordenan en planos inclinados o de Benioff, hundiéndose, salvo en la Región de las Nuevas Hébridas, hacia el exterior del Pacífico.

b) Pacífico suboriental. Esta zona sísmica presenta por el contrario otro carácter. Está asociada a una dislocación oceánica que, a partir de las Islas Balleny en el Antártico, se une al golfo de Carolina, pasando por la cresta de la Isla de Pascua y de las Islas Galápagos, con sismos de carácter normal.

c) Antillas Meridionales, que sube a lo largo del litoral Pacífico de América Meridional y bajo los Andes, donde nuevamente aparecen sismos intermedios y profundos junto a sismos normales y engloba el rizo de las Antillas. Por México, California y Alaska, el círculo se cierra en las Islas Aleutianas.

d) La Zona Sísmica Transasiática, que abarca todo el sistema orogénico Alpino, desde España y Africa Septentrional hasta las cadenas de Asia Central. Por Birmania e Indonesia se une en el mar de Banda, al Círculo Circumpacífico.

1.3 ORIGENES DE LOS MOVIMIENTOS SISMICOS: TECTONICA DE PLACAS O DE EXPANSION DE LOS FONDOS OCEANICOS

Para entender mejor las causas de los terremotos, es necesario conocer que la corteza terrestre ocupa un volumen muy pequeño en promedio, un espesor de 5 a 10 Km. debajo de los océanos y unos 30 a 60 Km. debajo

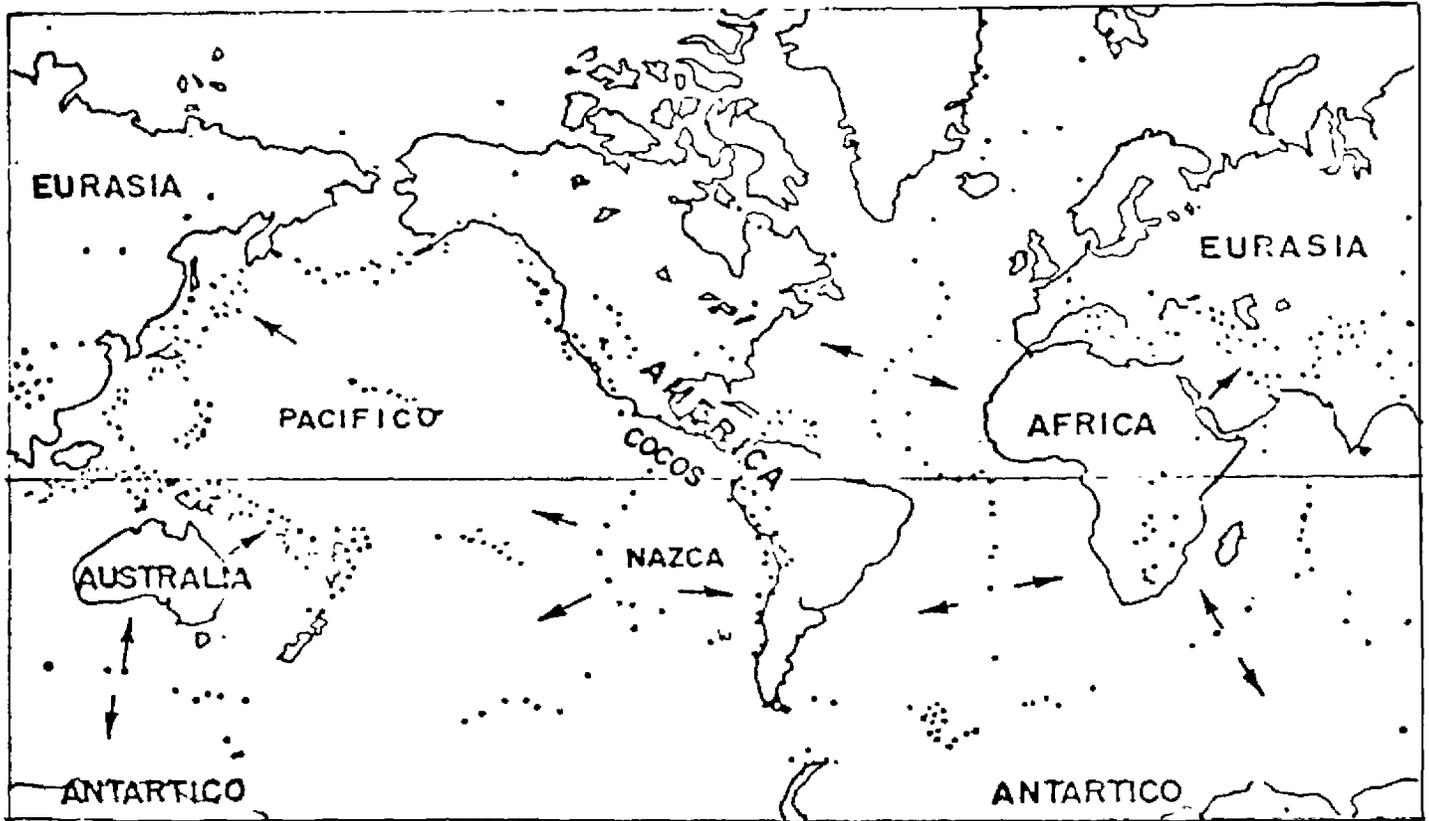


FIGURA No. 1.1

La sismicidad del globo y las principales placas tectónicas. Principales epicentros en el año 1971. (J. P. Rothé, UNESCO, Resumen anual 1971)

de los continentes.

Luego de la corteza viene el manto sólido hasta una profundidad de - 3,000 Km en donde empieza el núcleo exterior constituido por material fluido hasta los 5,000 km en que se forma el núcleo central que se es tima es de material sólido a diferencia del núcleo exterior. Los sis- mos superficiales se originan en la corteza y en el manto superior - próximo a la corteza y los sismos profundos, aproximadamente 700 Km de profundidad, se originan en el manto propiamente dicho.

En base a lo anteriormente expuesto, se puede explicar la teoría de - tectónica de placas o de la expansión de fondos oceánicos, que ha ve- nido a dar una explicación bastante satisfactoria a la causa immedia- ta de los temblores tectónicos.

Según los autores de la " Tectónica de placas ", la corteza consta de varias placas litosféricas como la del Pacífico, las de las Américas, de la India, de Africa, de Asia y de Antártida y algunas menores (la de Cocos, Caribe, Nazca, Arake, Filipinas y Somalia) cuyos bordes co- rresponden a las estrechas zonas sísmicas. Las placas litosféricas resistentes de unos 100 Km de espesor, llevan en su parte superior una corteza granítica bajo los continentes y de tipo " oceánico " (basálti- co) bajos los océanos, y descansan sobre una capa de desplazamientos lentos, la astenosfera, zona débil que se comporta como un cuerpo im- perfectamente elástico que absorbe las ondas sísmicas.

Como consecuencia de un movimiento de convección de origen térmico, el magma profundo asciende por las dislocaciones de las dorsales oceánicas obligando a las placas a separarse de esas dorsales y, por consiguien-

te, a entrar en colisión con las placas vecinas. En esos movimientos de enfrentamiento, se acumulan tensiones que se liberan en forma de sismos, al mismo tiempo que nacen cadenas de montañas. Ese enfrentamiento entre dos placas será más o menos violento según cada una vaya directamente al encuentro de la otra, que sus movimientos sean más o menos oblicuos o que una de las placas permanezca inmóvil. Una placa más densa (placa oceánica) constituida de basalto y de peridotita, que encuentre una placa más ligera (placa continental) se sumergirá bajo ella en el interior del manto superior. Así se explica la distribución de los hipocentros en el contorno del Pacífico y en particular a todo lo largo de América Meridional, Figura No. 1.2.

En las regiones de estiramiento, a lo largo de las dislocaciones de las dorsales, las energías liberadas en los estremecimientos que acompañan la separación de dos placas, son más débiles que en las regiones de compresión, zonas de encuentro entre dos placas; la actividad sísmica se concentra en la zona estrecha de las dislocaciones, los hipocentros son todos superficiales, limitados a la litosfera y no se observarían sismos de gran magnitud.

De acuerdo a lo expresado, los movimientos relativos entre las placas pueden ser clasificados en tres grandes grupos:

- a. Divergencia de placas, que se presenta en las cordilleras meso-oceánicas, donde se forma nueva corteza a ambos lados del eje de emergencia (Figura No. 1.3)
- b. Convergencia de placas, que ocurre en las fosas oceánicas, como en la fosa del Pacífico y en los arcos isleños como las Aleutianas,

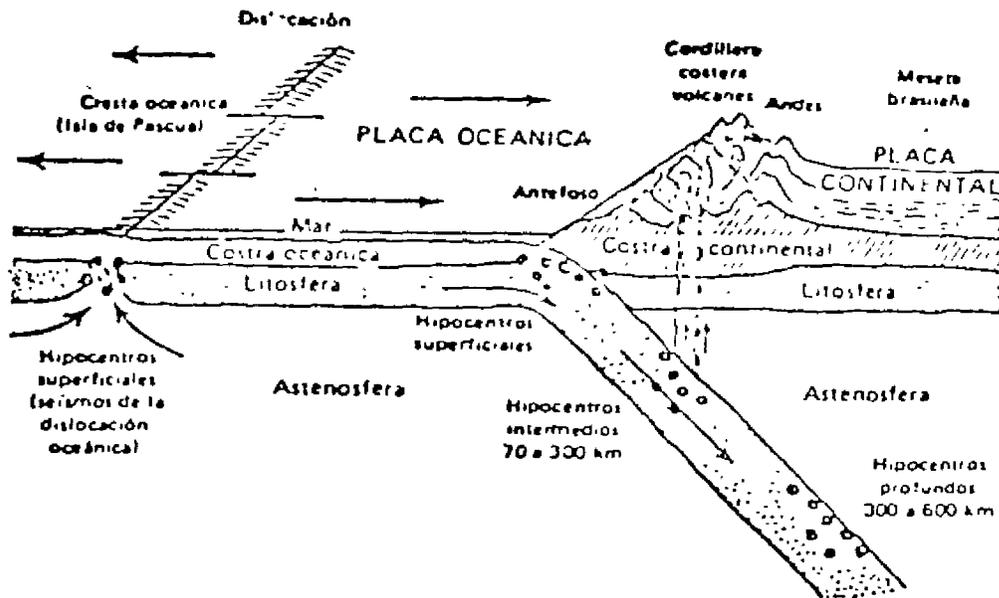


FIGURA No. 1.2

Corte trasversal del Pacífico sudoriental

(J.P. Rothé, Séismes et volcans, Que sais-je?, 1972)

Fuente: UNDRO. Prevención y Mitigación de Desastres. Volumen 3. Aspectos sismológicos. Nueva York, Naciones Unidas, 1979

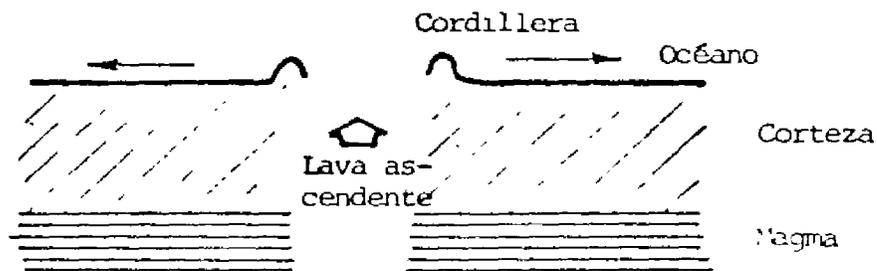


FIGURA No. 1.3

Divergencia de placas

Las Kuriles y Japón, donde la corteza de un lado sufre subducción bajo otra placa como se muestra en la Figura No. 1.4 . Es allí donde se origina la mayoría de terremotos.

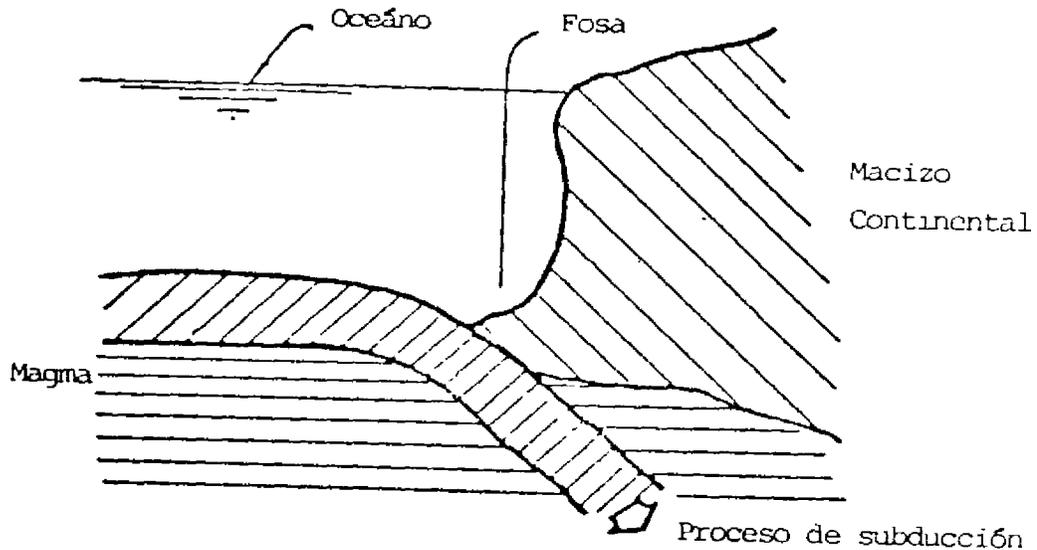


Figura No. 1.4
Convergencia de placas

Fuente: Rosenblueth, E. Predicción de temblores y sus efectos. (1)

c. Transcurrencia de placas, que se verifica horizontalmente a lo largo de las fallas de transformación que son secciones verticales próximas al borde entre placas contiguas, Figura No. 1.5 . La transcurrencia ocurre por ejemplo en la falla de San Andrés de California y en el Golfo de Cortés, México. Estas fallas se orientan perpendicularmente a la falla que origina allí, divergencia de placas. La orienta-

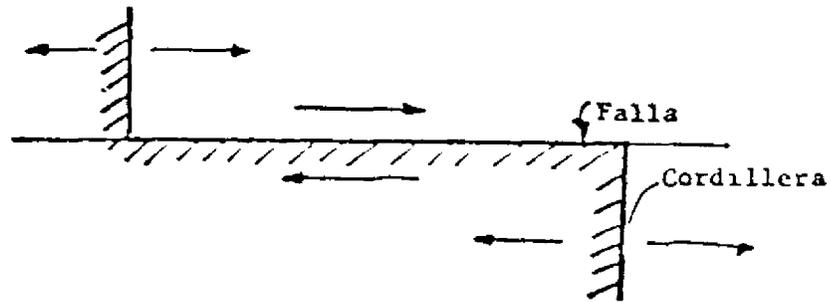


Figura No. 1.5
Transcurrencia de placas

Fuente: Rosenblueth E. Predicción de temblores y sus efectos (1)

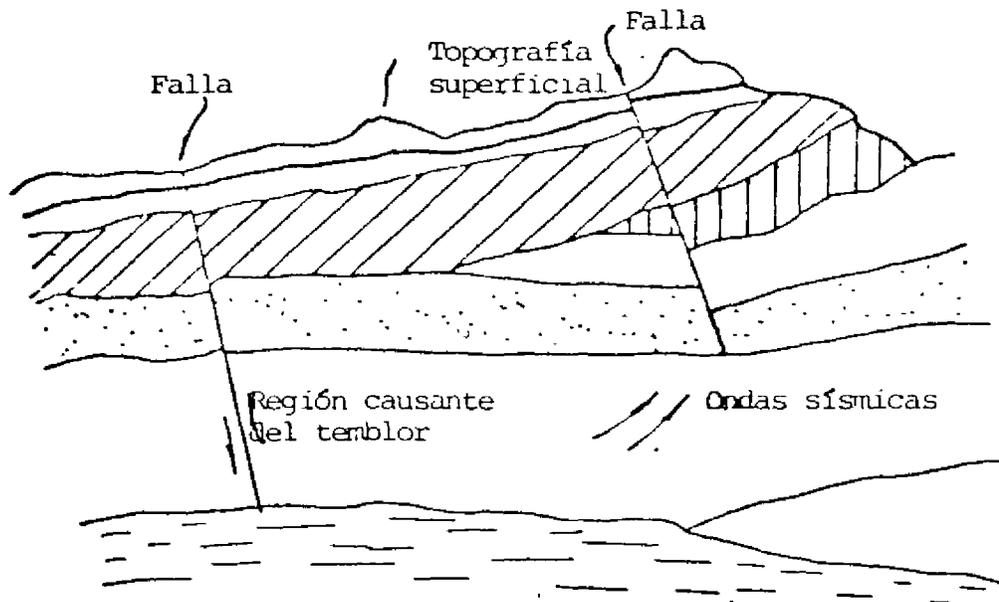


Figura No. 1.6
Temblores por compresión en continentes

ción de las fallas de transformación obedece a restricciones cinemáticas.

También se producen sismos tectónicos en el interior de las placas. Si bien son menos frecuentes, tienen especial importancia los que se originan en los continentes. Suelen obedecer a deslizamientos en fallas secundarias paralelas o perpendiculares y próximas a las que son límites de las placas o a compresión debida a la expansión del Océano Atlántico, que encuentra resistencia en el fondo del Pacífico y ello causa deslizamientos relativos en fallas inclinadas, Figura No. 1.6, como ciertos temblores del centro y este de los Estados Unidos. También pueden obedecer a tensiones superficiales debidas a flexión de la corteza por la tendencia ascendente de masas de lava originadas en la refusión de placas que han experimentado subducción, Figura No. 1.7, como es el caso del temblor que destruyó buena parte de la Ciudad de Managua en 1972.

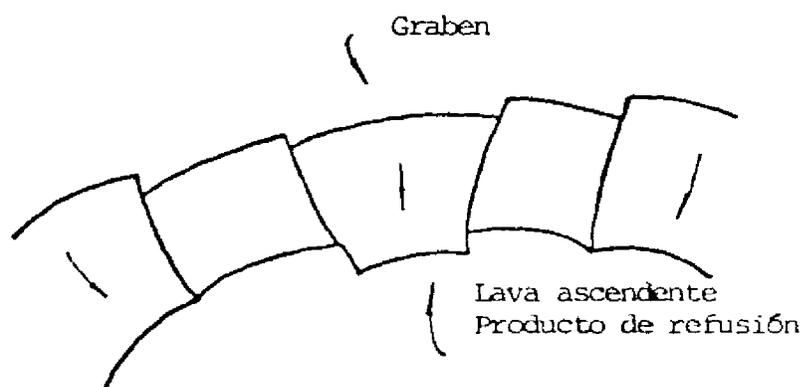


FIGURA No. 1.7
Temblores por flexión

Fuente: Rosenblueth, E. Predicción de temblores y sus efectos

1.4 CARACTERISTICAS DE SISMOS

a. Magnitud sísmica. Es la energía desarrollada por un sismo en su foco. La definición original propuesta por C.F. Richter en 1934 dependía de la traza de un sismógrafo estándar colocado a cierta distancia del origen del temblor. Por razones prácticas, esa definición se sustituyó con una expresión que depende de la energía calculada a partir del registro obtenido a cualquier distancia de origen, originado por efectos locales del suelo. Ello ha dado origen a dos escalas de magnitud sísmica, según se aprovechen en el cálculo unos u otros tipos de ondas sísmicas. Ambas magnitudes se conocen como ondas superficiales, o de Richter y de ondas de cuerpo, y se representan con símbolos respectivos M o m.

Ambas coinciden prácticamente salvo en el rango de valores muy elevados y ambas son logarítmicas en relación con la energía liberada. La primera escala es la más usual. En ella un incremento unitario en magnitud corresponde a la liberación de 63.1 veces más de energía, como se indica en el Cuadro No. 1.1.

En general la magnitud del sismo (M) se relaciona con la energía liberada en el foco del sismo (E) por la fórmula siguiente aproximada.

$$\text{Log } E = 11.8 + 1.5 M$$

La amplitud aproximada del sismo puede relacionarse con la magnitud, Escala Richter, por medio de la ecuación:

$$M = \text{Log} \left(\frac{\text{Amp}}{0.001} \right)$$

MAGNITUD	ENERGIA LIBERADA (ERGIOS)
3.0 - 3.9	$9.5 \times 10^{15} - 4 \times 10^{17}$
4.0 - 4.9	$6 \times 10^{17} - 8.8 \times 10^{18}$
5.0 - 5.9	$9.5 \times 10^{18} - 4 \times 10^{20}$
6.0 - 6.9	$6 \times 10^{20} - 8.8 \times 10^{21}$
7.0 - 7.9	$9.5 \times 10^{22} - 4 \times 10^{23}$
8.0 - 8.9	$6 \times 10^{23} - 8.8 \times 10^{24}$

1,000 toneladas TNT = 4.2×10^{19} ergios.

CUADRO No. 1.1

MAGNITUD SISMICA: ESCALA DE RICHTER

b. Intensidad sísmica. La intensidad de un sismo es un valor que se asigna en forma subjetiva, no instrumentalmente, según sea sentido el sismo y de acuerdo a los daños y efectos que cauce en la superficie.

La intensidad de un sismo disminuye con la distancia del epicentro, como se observa en la Figura No.1.8.

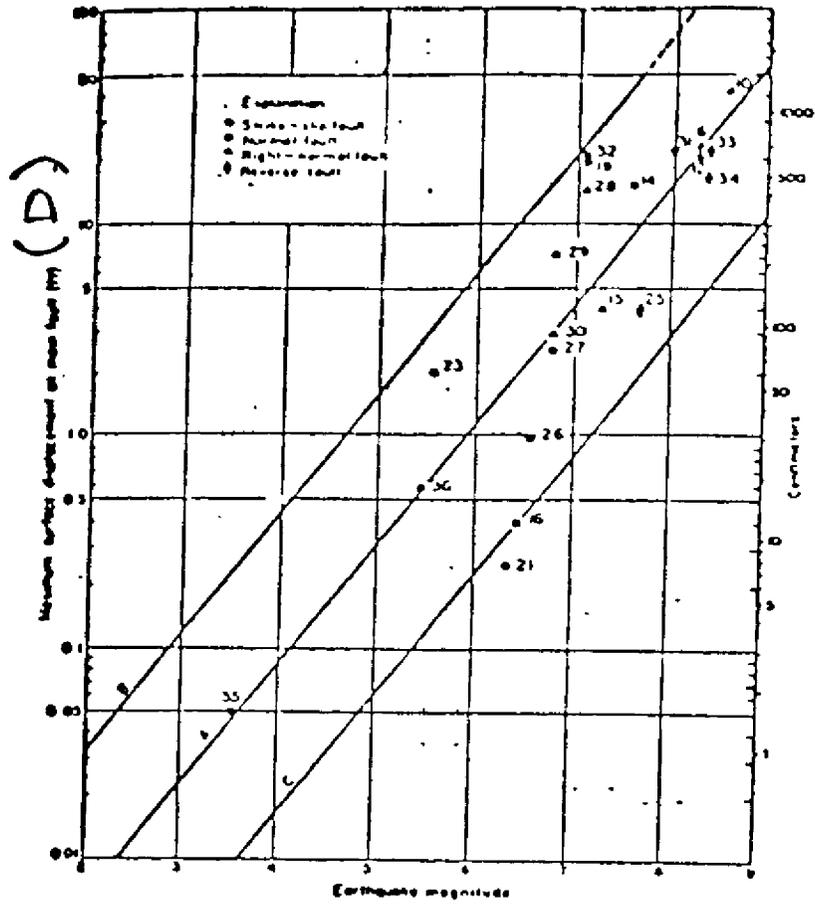


FIGURA No. 1.8

Desplazamiento máximo sobre la falla en la superficie, relacionada con la magnitud del sismo (2), (3).

- I Detectada por instrumentos muy sensibles.
- II Sentido unicamente por personas en estado de reposo
- III Sentido en interiores (vibración similar al paso de un camión)
- IV Movimiento de platos, ventanas, puertas
Movimiento lateral de vehículos en marcha
- V Ruptura de platos, ventanas y acabados
Disturbios de objetos altos (estanterías)
- VI Caída de acabados, chimeneas, daño estructural pequeño
- VII Caída de paredes, monumentos, chimeneas
Disturbio total de movimiento vehicular
- IX Movimiento de fundaciones de edificios, grietas en el suelo,
ruptura de tuberías
- X Destrucción de la mayoría de mampostería, grandes grietas en
el suelo, doblamiento de rieles, derrumbes y deslizamientos
- XI Solo muy pocas construcciones permanecen, rupturas de puentes
- XII Daño total, presencia de ondas en la superficie, distorsión de
líneas de nivel, objetos arrojados al aire.

CUADRO No. 1.2

INTENSIDAD SISMICA.- ESCALA MODIFICADA DE MERCALLI

Una vez producido un sismo se ubica en un mapa los valores de las intensidades registradas, con las cuales se pueden trazar las curvas "Isosistas" o de igual intensidad. En las Figuras Nos. 1.9-1.10 y 1.11 (4) se representan ejemplos de mapas de isosistas para los terremotos de

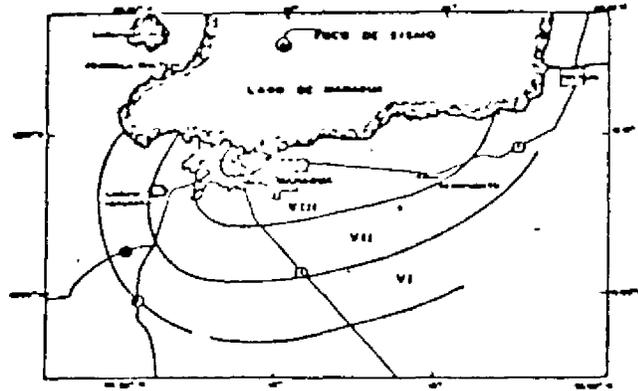


Figura No. 1.9

Mapa de isosistas - Terremoto de Managua 1972

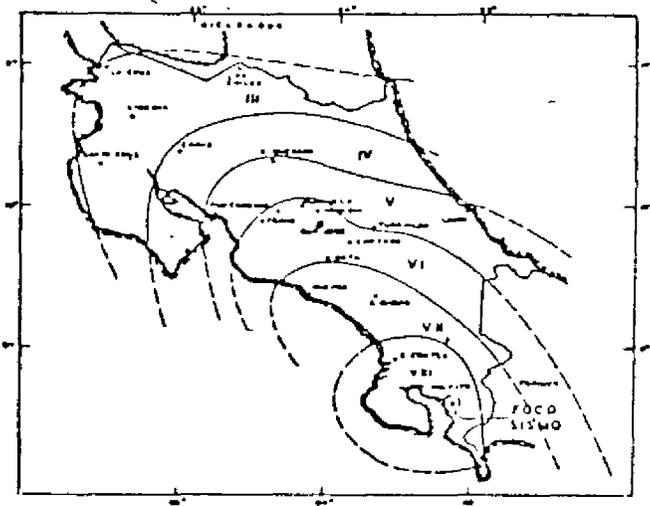


Figura No. 1.10

Mapa de isosistas-Sismo de Costa Rica del 2. Abril 1983

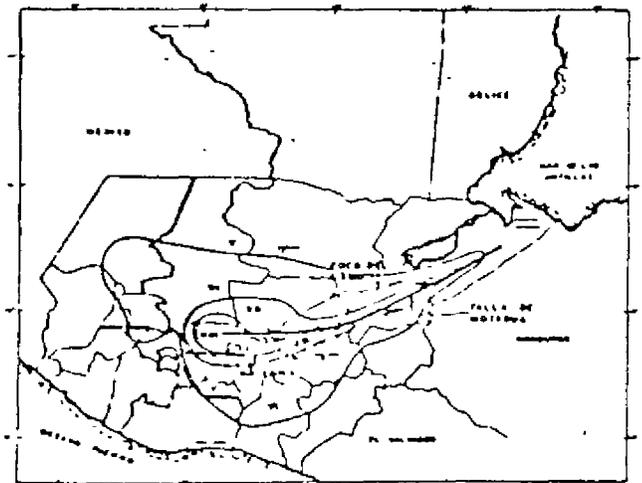


Figura No. 1.11

Mapa de isosistas - Terremoto de Guatemala, 1976

Managua en 1972, Costa Rica en 1983 y Guatemala en 1976.

O' Rourke como se indica en el Cuadro No.1.3. establece la correlación entre magnitud e intensidad.

M	MAXIMA INTENSIDAD
2	I a II
3	III
4	V
5	VI a VII
6	VII a VIII
7	IX a V
8	XI

CUADRO No. 1.3

RELACION OBSERVADA ENTRE MAGNITUD E INTENSIDAD (2)

c. Ubicación. Con relación al sitio en el cual se produce un sismo caben indicarse los siguientes conceptos:

1. Hipocentro: Llamado también centro de foco. Se entiende por hipocentro al punto en que se inicia el fenómeno que da origen a ondas sísmicas. En general, se trata del punto donde empieza el deslizamiento relativo en una falla geológica y de allí se propaga a lo largo de la falla o incluso a fallas próximas. Las profundidades focales de temblores tectónicos significativos se encuentran entre cerca de 5 y 700 Km. A menos de 3 - 5 Km, el grado de confinamiento y las presiones -

normales en la roca son insuficientes para producir roturas violentas por cortantes y a más de 700 Km la temperatura es suficientemente elevada como para que en lugar de tales roturas, ocurran deformaciones graduales de tipo plástico o viscoso.

La determinación del hipocentro sigue siendo un problema más complejo pudiéndose determinar en forma aproximada por la fórmula de

Gutenberg:

$$\frac{r}{h} = \sqrt{10 \left(\frac{i}{3} - 1/2 \right) - 1}$$

En la cual h: es la profundidad del hipocentro

r: es el radio medio

i: es la intensidad máxima

2. Epicentro: Conocido también como epifoco, es la proyección vertical del foco en la superficie terrestre. A veces los sismólogos se refieren a este punto como epicentro instrumental y hablan de un epicentro aparente, como el punto en la superficie donde es máxima la intensidad sísmica. La discrepancia entre ambos epicentros se explica por ser el foco (instrumental) el punto donde se indica el fenómeno local y otro el centro de todo el mecanismo generado, aparte de la heterogeneidad geológica de la región y su configuración topográfica que puede canalizar la violencia máxima en cualquier dirección.

d. Ondas sísmicas. Al producirse un sismo se originan ondas de dos tipos: de volumen y de superficie.

- Ondas de volumen: Estas son ondas elásticas que se propagan en toda

dirección, produciéndose:

1. Ondas longitudinales llamadas ondas de dilatación, compresión, primarias u ondas P en las que las partículas se desplazan en dirección radial con respecto a la fuente, es decir, en la dirección de la propagación. Son semejantes a las ondas de sonido del aire.
2. Ondas transversales llamadas también ondas de distorsión, secundarias u ondas S o cortantes que consisten, como las ondas de luz, en vibraciones perpendiculares a la dirección de propagación.

Las ondas P son siempre más rápidas que las S. De la diferencia en tiempos de llegada de ambos tipos de onda, se infiere la distancia focal; este cálculo constituye el primer paso en la localización de epicentros. Cada una de las velocidades de las ondas, v_p para las ondas longitudinales y v_s para las ondas transversales, en un punto dado del medio, depende de la densidad ρ y de los módulos de elasticidad λ y μ según las ecuaciones:

$$v_p = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}} \qquad v_s = \sqrt{\mu/\rho}$$

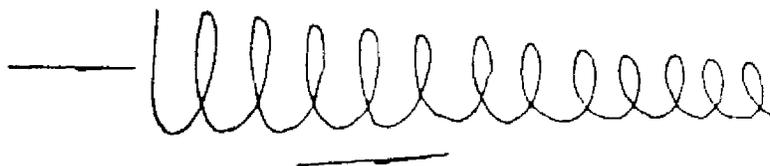
Los módulos de elasticidad son función el uno del otro y también del " coeficiente de Poisson "

$$\alpha = \frac{2}{2} (\mu + \lambda)$$

En muchos minerales, λ es sensiblemente igual a μ y el valor de α se aproxima al 1/4 . En esas condiciones y en una primera aproximación, la relación de velocidades v_p/v_s se acerca a $\sqrt{3}$.

En la Figura No.1.12 se presentan modelos de ondas de volumen.

ONDAS DE PRESION



ONDAS CORTANTES

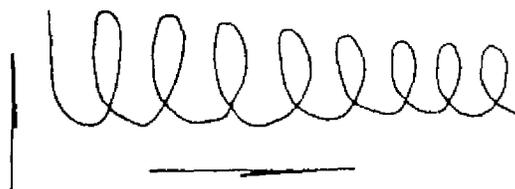


FIGURA No. 1.12

ONDAS DE VOLUMEN

3. Ondas superficiales: La segunda categoría de ondas sísmicas está constituida por las ondas de superficie, que son las que transmiten mayor cantidad de energía en los terremotos de foco poco profundo.

Los principales tipos son los siguientes:

1. Las ondas Raleigh (u ondas R), que son ondas polarizadas en el plano de propagación. Cada artículo describe una órbita elíptica. La magnitud del movimiento alcanza su valor más alto en la superficie y decrece exponencialmente en función de la profundidad. En un medio uniforme en el que el coeficiente $\alpha = 1/4$, la velocidad de las ondas de Raleigh es igual a $0.919 V_s$.

2. Ondas transversales, sin componente vertical, denominadas "Ondas Love" por el técnico que las estudió.

En la Figura No. 1.13 se representan los tipos de onda superficial.

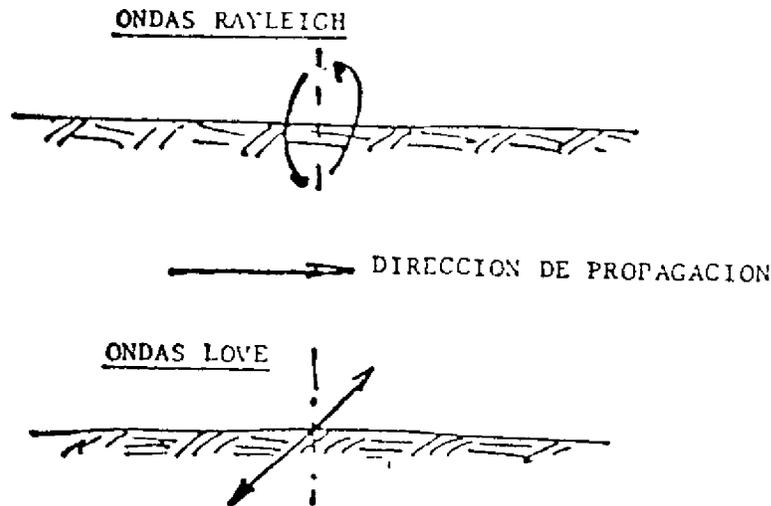


FIGURA No.1.13

ONDAS SUPERFICIALES

e. Aceleración. Uno de los parámetros más importantes de un sismo es la aceleración del suelo, expresada usualmente en "gals", % g, m/seg^2 , o ft/seg^2 .

Coulter establece por medio de registros la correlación entre aceleración, intensidad y naturaleza del suelo, Figura No.1.14, asimismo O'Rouke correlaciona aceleración con magnitud y duración.

En forma aproximada se puede determinar la aceleración en función de la intensidad por medio de la fórmula de Gutenberg:

$$\text{Log } A = \frac{i}{3} - \frac{1}{2}$$

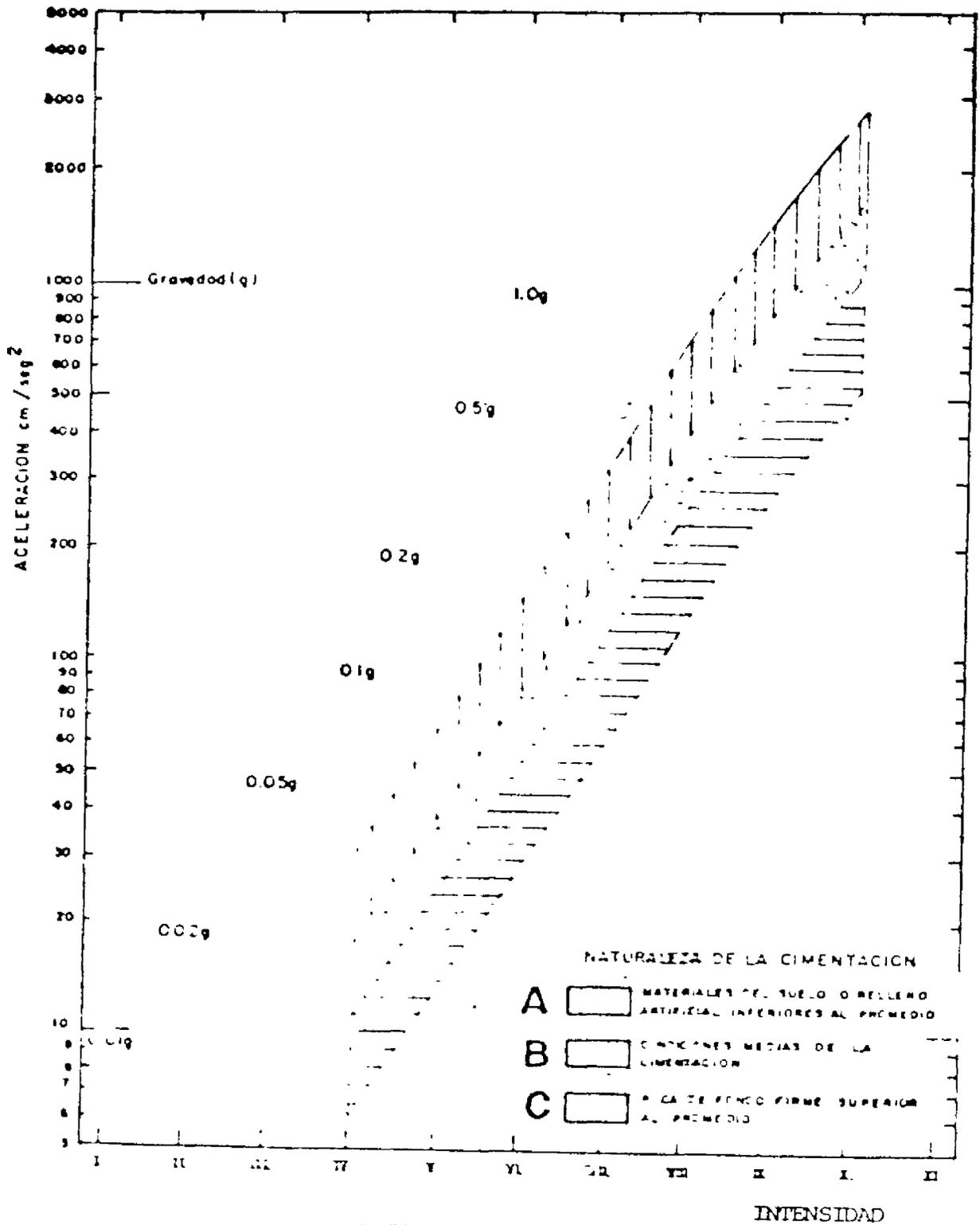


FIGURA No. 1.14
RELACION ENTRE LA ACCELERACION MAXIMA Y LA INTENSIDAD MACROSEISMICA
(Coulter y al. 1973)

El mismo autor recomienda una modificación de la aceleración en función de la distancia entre el epicentro y el sitio en estudio según la magnitud del sismo (Figura No. 1.15)

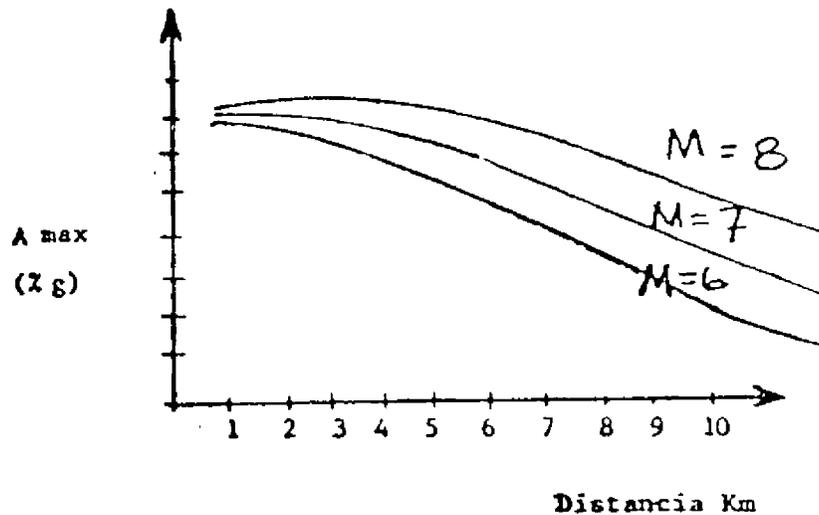


Figura No. 1.15
Relación entre la aceleración máxima y
la distancia para sismos de varias magnitudes

f. Figuración del suelo y fallas. Una de las acciones más importantes de los sismos es la producción o modificación de fallas o grietas, sean estas principales o secundarias.

O' Rourke basado en estudios de Wiegel, recomienda las correlaciones indicadas en las Figuras Nos. 1.8 y 1.16, para longitudes y desplazamientos de fallas en función de la magnitud del sismo.

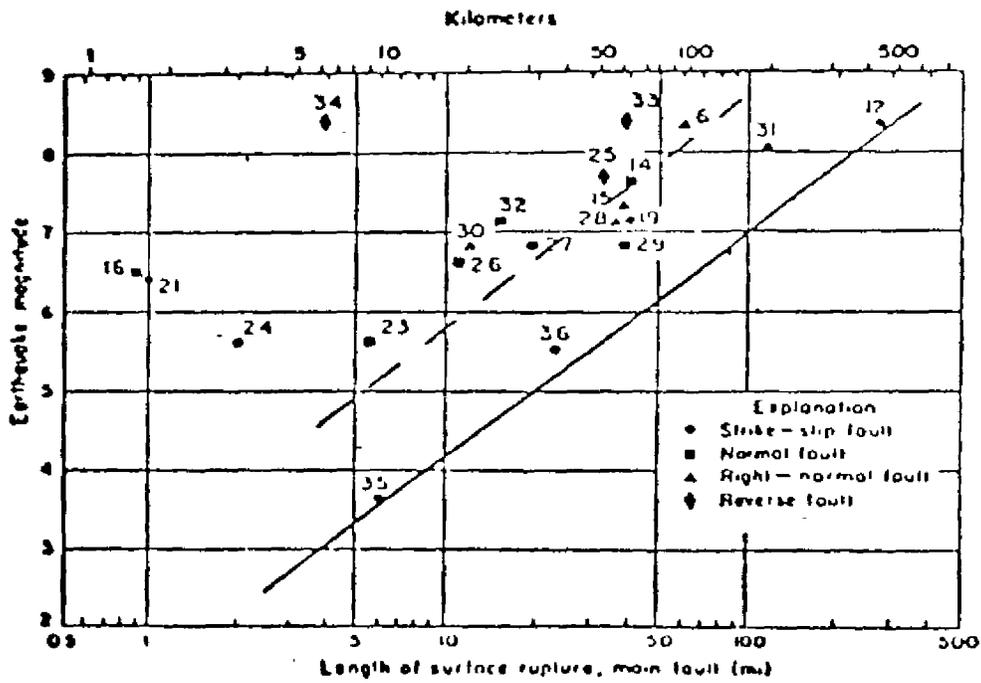


FIGURA No. 1.16

Longitud en la superficie de ruptura de la falla principal, relacionada con la magnitud del sismo. (2), (3).