

- 1857, Diciembre 16. Terremoto de Nápoles, Italia. Investigación en el terremoto de Robert Mallet. Primer intento sistemático de aplicar principios físicos y matemáticos a los efectos de los terremotos detalladamente. Es esta la razón por la cual se considera a Mallet como el Padre de la sismología, y esta fecha como la de su nacimiento.
- 1880, Se diseña y construye el primer sismógrafo en Japón por los Sres. Gray, Milne y Ewing.
- 1883 -
- 1884, Se publica la escala de efectos de terremotos de Rossi-Forel (Italia-Zuiza), (intensidades).
- 1889, Abril 18. Primer sismograma identificable de un terremoto distante. Un instrumento situado en Potsdam, Alemania grabó un sismo ocurrido en Japón.
- 1891, Octubre 28. Terremoto de Mino-Owari, Japón. Grandes desplazamientos de fallas geológicas; considerables daños. Se creó el Comité Imperial de Investigación Sismológica.
- 1896, Se crea el Comité Sismológico de la Asociación Británica para el Avance de las Ciencias. Este encarga a John Milne establecer una red mundial de estaciones sismológicas.
- 1901, Se funda el Instituto Geofísico en Goettingen, Alemania, dirigido por E. Wiechert.
- 1902, Se publica la Escala de Intensidades de Mercalli en Italia.
- 1903, Se crea la Asociación Internacional de Sismología.
- 1905, Se funda el Instituto de Sismología en Chile.
- 1906, Primer sismógrafo electromagnético desarrollado por B. Galitrín en Rusia.

- 1908, Octubre 8, Terremoto en Croacia. En Zagreb, A. Mohorovičić descubre bruscos cambios en la velocidad de las ondas sísmicas en la base de la corteza terrestre (aproximadamente 60 Km. de profundidad). En la actualidad se conoce como discontinuidad de Mohorovičić (Moho).
- 1913, Primera determinación exacta de la profundidad del núcleo terrestre por B. Gutenberg en Goettingen, Alemania.
- 1922, J.H. Turner descubre la existencia de terremotos de focos profundos en Oxford, Inglaterra..

A la par con mencionar el desarrollo histórico de la sismología, también es interesante mencionar algunos de los sismos más importantes de los últimos años.

AÑO	M	LOCALIZACION	OBSERVACIONES
1906	7	Valparaíso - Chile	1.500 muertos
1906	7	San Francisco - California EE.UU.	700 "
1920	8	Campo - China	180.000 "
1923	8	Tokio - Kanton - Japón	143.000 "
1939	7	Chillán - Chile	30.000 "
1950	8,6	Assam - India	1.500 "
1960	8,75	Valdivia - Concepción - Chile	5.700 "
1962	7	Buyin - Irán	10.000 "
1964	8,4	Anchorage - Alaska - EE.UU.	114 "
1964	7,5	Nügate - Japón	Licuefacción
1968	7,9	Tokachi - Oki - Japón	Colapso grandes estructuras H.A.
1970	7	Chimbote - Perú	50.000 muertos
1971	7,2	San Francisco - California - EE.UU.	Colapso grandes estructuras H.A.
1973	8	Tibet - China	Gran falla geológica.

Nota: Con las correcciones efectuadas a la determinación de la Magnitud (1972) el terremoto de Valdivia queda con una Magnitud de 9,65, la más grande medida en la historia de la sismología.

2.- Naturaleza de los Sismos.

Antes de analizar las causas y características de los sismos, es conveniente definir algunos de los conceptos involucrados en el lenguaje propio de esta ciencia.

- 2.1. Sismo: Es un súbito movimiento de la superficie de la tierra de tipo ondulatorio discreto (sin una ley que rija sus características) debido a una brusca acomodación de grandes masas de rocas en el interior de la corteza terrestre.
- 2.2. Intensidad: Es una manera "subjetiva" de medir un sismo. Se analizan los efectos (daños) que se producen en la naturaleza y las cosas hechas por el hombre, a través de la comparación con una escala de valores pre-establecida. Es una forma estimativa de valorar un movimiento sísmico.

La escala que se emplea es la "Escala Modificada de Mercalli" oficial chilena por Decreto. (ver Anexo)

- 2.3. Magnitud: La intensidad de un sismo no es una medida que tiene valor científico-matemático, ya que no arroja datos que sean utilizables en el manejo físico-matemático y científico-técnico de las características de los movimientos telúricos. De ahí que Carl F. Richter definiera como Magnitud de un sismo al logaritmo en base 10 de la máxima amplitud de onda registrada en un sismograma obtenido por un sismógrafo standard de torsión de período corto (período libre 0,8 segundos, magnificación estática 2.800 y amortiguamiento muy cercano al crítico). Este registro debe ser efectuado a una distancia epicentral de 100 Kilómetros.

Es evidente la improbabilidad de un instrumento situado a esa distancia por lo que fue necesario confeccionar tablas de corrección.

- 2.4. Foco o Hipocentro: El Foco o Hipocentro de un terremoto es el punto o lugar geométrico en el cual se generan las ondas. Originalmente estos conceptos fueron definidos antes del perfeccionamiento de los sismógrafos y fueron más tarde redefinidos. En la década de 1850, R. Mallet y otros creían que el sismo era originado en un pequeño volumen bajo la superficie de la tierra que podía ser representado como punto matemático para su estudio teórico. Este punto era el Hipocentro o Foco.

Actualmente se emplea la palabra Foco para referirse principalmente a la profundidad del origen del fenómeno: "Profundidad Focal".

- 2.5. Epicentro: Definase como Epicentro de un Sismo al lugar Geográfico en la Superficie (ya sea terrestre o marítima) sobre la vertical del Hipocentro o Foco.
- 2.6. Instrumentos: Entre los instrumentos que existen para medir un sismo tenemos:
- 2.6.1. Sismoscopio: Indica la ocurrencia de un sismo sin dejar constancia de él. Como dato curioso podemos mencionar que cualquier objeto que tengamos en casa al cual pongamos especial atención durante un temblor podría ser una especie de sismoscopio, ya que nos indica cuando está temblando y de acuerdo a la forma en que se mueve o manifiesta el hecho, estaría "midiendo" el grado del mismo. (Una figura decorativa de cierta inestabilidad estática que al volcarse nos dice que el temblor podría ser mayor que cuatro o cinco o cualquier otro valor, ya que siempre vamos a datar comparando este hecho con la información oficial posterior).
- 2.6.2. Sismógrafo: Es un instrumento construido expresamente para medir vibraciones que detecta el sismo y deja una grabación continua e ininterrumpida; esta es, nos provee de un Sismograma.

Estos instrumentos constan de tres unidades básicas: el péndulo, el cronógrafo y el elemento de grabación.

Se pueden dividir de acuerdo a :

posición del péndulo	- horizontal - vertical - de torsión
tipo de péndulo	- mecánico - electromagnético
tipo de grabación	- grabación en papel corriente (tinta) - grabación en papel heliográfico (fotoinsensible) - grabación magnética (cinta o disco)
tipo de medición de acuerdo a graduación (amortiguamiento)	- Desplazómetro - Velocímetro - Acelerógrafo

Dentro de los ~~sismógrafos~~ podemos destacar el Sismómetro, que es un sismógrafo especialmente diseñado para grabar (registrar) ondas sísmicas de microsismos. Este instrumento es el que se usa esencialmente en la prospección geológica de las capas superficiales de la corteza terrestre; en la geología aplicada a la determinación de estratos típicos que conllevan a la ubicación de mantos petrolíferos y minerales, (cobre, estaño, carbón, etc.). Se producen explosiones artificiales controladas, perfectamente ubicadas, y a través del instrumento se determina la profundidad de la estrata buscada a través del eco (rebote de la micro-onda sísmica).

Para tener un registro completo de un movimiento sísmico se necesitaban a lo menos tres instrumentos, a ser: uno para medir el desplazamiento vertical y dos para medir dos componentes horizontales.

Esto es posible pues se conocen las diferentes velocidades de propagación de los distintos tipos de ondas que genera un sismo.

Actualmente, los modernos instrumentos miden todos los valores en un sólo aparato. El más usado es el S.M.A.C. (Strong motion accelerograph).

2.7. Tipos de Ondas y su propagación:

Al producirse una ruptura brusca de una parte de la corteza terrestre se libera una gran cantidad de energía. Esta energía liberada se manifiesta a través de ondas que se propagan en todo sentido (en forma esférica) dentro de la tierra.

En el punto mismo de la ruptura se producen 2 (dos) tipos de ondas, a ser:

Ondas P : principales o longitudinales, y

Ondas S : secundarias o de cizalla o corte.

Cada una de ellas tiene características bien específicas tales como:

Las Ondas P hacen vibrar las partículas en el mismo sentido de su propagación, es decir, hacia adelante y hacia atrás, o sea, comprimiendo o traccionándolas. Es por eso que también se las llama ondas de compresión.

Las Ondas S producen una vibración de las partículas en sentido transversal al de su propagación o dirección de avance. Es como si intentaron cortar (cizalla) la tierra por la que atraviesan. La principal característica de estas ondas es que no se propagan en medios líquidos o gaseosos (Ley de Navier-Stokes), ya que éstos no ofrecen resistencia a la cortadura.

A medida que estas ondas atraviesan las distintas capas del interior del globo terráqueo sufren modificaciones debido a que rebotan y se refractan en las distintas discontinuidades (Ley de Snell).

Una vez que las ondas P y S llegan a la superficie, se transforman en ondas que por esta misma razón se llaman Ondas Superficiales. Llevan el nombre de los Físicos Ingleses que se dedican a estudiarlas: Love y Raleigh.

Las Ondas Love son producidas por las Ondas S y las Ondas Raleigh son generadas por las Ondas P.

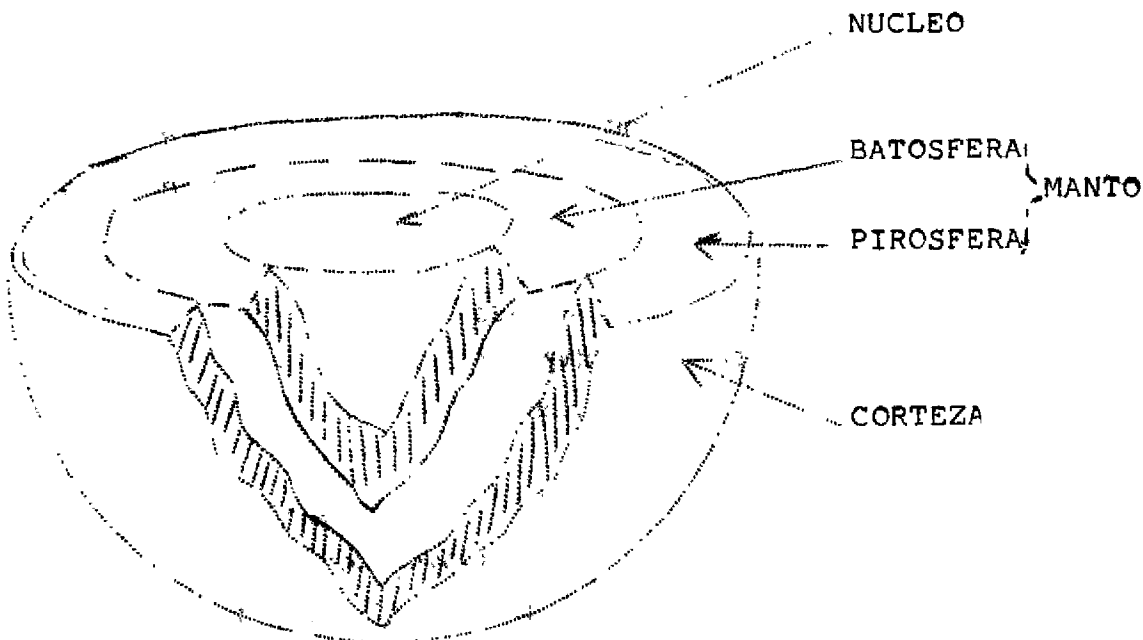
Estas ondas son mucho más lentas que las P y S y de longitud y amplitud muchísimo mayores, y precisamente por esta característica es que son más destructivas.

Las velocidades promedio de las ondas son:

P	=	7	a	8	Km/seg.
S	=	4,5	a	5	Km/seg.
L	=	3	a	4	Km/hora.
R	=	3	a	3,5	Km/hora.

El estudio detenido de las características de propagación de las ondas ha permitido a los sismólogos y geólogos confeccionar una especie de radiografía de la tierra.

2.8. Las capas de la Tierra:



Las capas de la tierra son esencialmente tres:

Litósfera : capa exterior muy rígida y frágil.
 Manto : capa intermedia elastoplástica.
 Núcleo : capa interna de gran densidad.

Cada una de ellas puede a su vez subdividirse, tal que:

La Litósfera tiene una capa muy delgada externa que es la corteza terrestre con un espesor medio de 40 a 60 kilómetros. Luego viene la Litósfera propiamente tal con un espesor medio de 350 a 500 Km. Ambas están separadas por la discontinuidad de Mohorovicić.

El Manto a su vez está compuesto por la Pirósfera o Manto Externo de un espesor de 1200 Km. y el Manto Interno o Batósfera de un espesor medio de 1600 Km.

El Núcleo a su vez está compuesto por el Núcleo Externo que se supone líquido, ya que no transmite las ondas S y de un espesor medio de 900 Km. y el núcleo interno o Nucleolo de un radio aproximado de 1300 Km.

A cada uno de los puntos (esferas concéntricas) que separa una capa de otra se le conoce como "Discontinuidad" y llevan el nombre de su descubridor, como por ejemplo:

-	Discontinuidad de Mohorovicić	a	40	Km.	de	profundidad
-	"	"	Gutenberg	a	2900	" " "
-	"	"	Wiechert	a	5100	" " "

Hay otras discontinuidades de segundo orden, como la de Conrad a 15 Km. de profundidad y la de Repetti a 700 Kms. de profundidad.

3.- Consecuencias y aspectos anexos a la Sismología.

3.1. Los Tsunamis.

Tsunami o Maremoto es un grupo de dos o más olas que se propagan a gran velocidad en el mar, originadas generalmente por un sismo. Hay que dejar bien en claro que no todos los terremotos generan Tsunamis y para que estos ocurran podemos enunciar cinco causas:

- a) Una vibración vertical de la corteza terrestre de gran amplitud con posición epicentral cercana a la costa.
- b) Vibración ondulatoria horizontal del subsuelo marino de gran amplitud y una frecuencia muy similar a la frecuencia libre de vibración del líquido (debe producirse el fenómeno de resonancia).
- c) Erupción de un volcán submarino (ejemplo: el Krakatoa).
- d) Una gran dislocación del fondo marino en mares de gran profundidad y
- e) Una dislocación del fondo marino en mares de poca profundidad cercanos a la costa.

La mayoría de los Tsunamis son causados precisamente por esta última causa.

Entre las características de un Tsunami pueden destacarse las siguientes:

- La velocidad de propagación es de 400 a 500 nudos (700 a 900 Km/hora).
- Dos o tres olas que en alta mar casi no se diferencian del oleaje normal, pero que al llegar a la costa, y bajo ciertas características de ella, pueden tener hasta una altura de 40 metros.
- Son ondas tipo P de períodos que van entre 10 minutos a 1 hora.
- Longitud del frente de ataque es de 200 a 700 kilómetros.

Existe un sistema de alarma de tsunamis en el Pacífico con su base central en Hawai (Honolulu, EE.UU.). Este recibe el aviso de un terremoto con situación epicentral marítima, evalúa e informa a todas las estaciones de la posibilidad de ocurrencia de un tsunami y sus posibles características. Normalmente el tiempo entre el suceso y el aviso no es superior a 10 minutos. La Oficina Chilena encargada de este problema es el Instituto Hidrográfico de la Armada.

3.2. Algunos aspectos geotérmicos de la Corteza (Vulcanismo)

La Litósfera, como su propio nombre lo indica, está constituida por rocas de distintos tipos y orígenes.

- Las Igneas, están formadas por el enfriamiento lento de rocas que han pasado por el estado de fusión (magma)
- Las Sedimentarias tienen su origen en la sedimentación por efectos de la erosión. Al desintegrarse las rocas de la superficie, las aguas corrientes trasladan sus residuos hacia las partes más bajas.
- Las Rocas Metamórficas son aquellas que habiendo sido en su origen igneas o sedimentarias, sufrieron posteriormente cambios por la acción del calor, presión y/o humedad..

Toda la actividad volcánica envuelve el problema del calor y conlleva la tipología de las rocas de la Corteza Terrestre.

Muchas observaciones han demostrado la existencia de calor en el interior de la Tierra.

La fusión de la roca viene acompañada por grandes cantidades de energía en forma de calor.

Como las rocas son malos conductores térmicos, el calor se acumula y eventualmente funde las rocas con ayuda de vapor de agua a una alta presión para formar el Magma.

El magma se solidifica dentro de la corteza terrestre formando diques, mantos, lacolitos, lopolitos, chimeneas, baldosas y batolitos; o bien, irrumpe hacia la superficie en forma de erupciones volcánicas o corrientes de fisura. En el interior de la tierra la roca fundida se llama Magma y cuando sale a la superficie se denomina Lava.

Ahora bien, ¿Cómo y cuando se produce una erupción volcánica ?

Por la fuerte presión que sufren las rocas situadas debajo de las capas superiores de la litósfera, estas se mantienen en estado sólido a pesar de su temperatura; pero cuando por algún movimiento diastrófico (grieta-falla) la presión varía, el magma recupera temporalmente su fluidez y tiende a ascender. Cuando el magma incandescente sube hacia las capas superiores de la Litósfera, su alta temperatura funde las rocas que atraviesa y puede llegar hasta la superficie a través de una chimenea (generalmente un volcán activo) originando la erupción volcánica. Un volcán es pues una abertura de la superficie terrestre (poro), a través de la cual brotan rocas en estado de fusión, cenizas, polvo volcánico, vapor de agua y gases.

3.3. Tectónica de las Placas o Teoría de la deriva de los Continentes:

Al contrario de lo que podría pensarse, el globo terráqueo no es un sólido continuo ni homogéneo que se comporta como un solo todo, sino por el contrario como ya lo sabemos por los capítulos anteriores, está compuesto por una serie de capas esféricamente concéntricas. De estas capas las más interesantes en su comportamiento son los dos exteriores, es decir, la litósfera o corteza y la pirósfera o manto exterior.

La pirósfera, tal como lo dice su nombre, está esencialmente compuesta por magma, una roca en estado de fusión y de una consistencia entre líquida y plástica. La litósfera que debido a su característica de material rígido (quebradizo) flota sobre la anterior y por ende, no está estática.

Por otro lado a través de mediciones tanto terrestres como de satélite se ha comprobado un movimiento relativo de los continentes entre sí.

Se puede por lo tanto, simular un modelo del desplazamiento superficial en todo el globo, que esté compuesto por "un mosaico de placas".

Este movimiento de las placas dió origen a la teoría mencionada en el título y que tiene a muchos científicos en variadas posiciones contrarias, muchos la apoyan, otros la retractan.

La problemática de este movimiento está en las fallas que éste genera. Como el movimiento relativo de las placas no es sincrónico entre ellas (se mueven en cualquier dirección, no sólo en el sentido de rotación de la tierra) se producen esencialmente tres tipos de fallas:

- a) En la "línea" que separa a dos placas cuyo movimiento es en sentido opuesto uno de otro, se genera nuevo material cortical por una continua acreción de corteza en los bordes posteriores de las placas.
- b) En las fallas de transformación, las placas deslizan una respecto de la otra y en ellas no se crea ni se destruye material alguno (falla de San Andrés California, EE.UU.).
- c) En las zonas de subducción (choque) una de las placas va desapareciendo y consumiéndose conforme ella va deslizándose hacia el interior del manto superior o externo (pirósfera), bajo y frente al borde de la otra placa.

Los límites de las placas no siempre coinciden, con los litorales o márgenes de los Continentes como en el caso de la Placa de Nazca, que se introduce por debajo de la Placa continental Sudamericana. (zona de subducción) Y así ocurre que hay algunos bordes continentales (americano-oriental) en los que no se producen sismos ni regiones en donde hay fenómenos volcánicos, es decir, que una placa puede estar constituida en parte por una cuenca oceánica y el resto por un área continental.

Ya desde hace tiempo se conoce, a partir de las medidas gravimétricas y las prospecciones sísmicas por refracción, y también por consideraciones de orden general referentes a la relación de masas, que los continentes están situados sobre una, relativamente más ligera, corteza granítica de unos 40 Km. de espesor y que los Oceanos no están sobre una corteza basáltica más densa de solo 7 Km. de espesor.

La separación entre la corteza y el manto es el "modo discontinuidad de Mohorovičić. El fin del ahora abandonado proyecto Mohole era llegar, por medio de perforaciones mecánicas, al manto a través precisamente de la corteza oceánica que se sabía era de menor espesor.

Las placas pueden llegar a tener el espesor, tanto de la corteza oceánica como de la corteza continental, puesto que algunas placas abarcan partes de la corteza oceánica y continental entre las cuales no existe movimiento diferencial alguno.

Quienquiera que observe el mapa de Africa y América del Sur se sorprende por el ajuste o el ensamble notable entre ambos continentes. Si colocamos el extremo oriental de América del Sur en la gran entrante occidental de Africa, los dos continentes encajan de modo casi perfecto. Este ajuste resulta aún más impresionante si unimos los dos continentes a 2000 m. bajo el nivel del mar actual.

Un geólogo notable que veía con exceptisismo la deriva continental, halló este acoplamiento tan interesante que pinó: "sí el ajuste entre América del Sur y Africa no es genérico, seguro que es una triquiñuela de Satán para burlarse de nosotros".

Actualmente está claro, que prácticamente toda la superficie ocupada por los océanos se ha formado por la expansión del suelo oceánico a lo largo de unos 200 millones de años, es decir, durante el último 5% de toda la historia geológica conocida de la tierra.

El concepto de la expansión del suelo oceánico se ha equilibrado en la actualidad con la antigua idea de la deriva continental y se han unido para constituir un solo cuerpo conceptual denominado: "Teoría de la Tectónica de Placas".

La teoría de la tectónica de placas que se ha descrito, ofrece actualmente dos inconvenientes principales: supone que no se necesita una fuente de energía para mantener el movimiento de las placas, y no es seguro que pueda utilizarse para explicar la tectónica continental. El problema que plantea este mecanismo es probable que siga siendo discutido hasta que se disponga de una información más concluyente. Tampoco es seguro que explique las deformaciones continentales, que probablemente son semejantes a la tectónica oceánica, aunque con mayor complicación. En los últimos tres años se han efectuado progresos extraordinarios, y puede esperarse que los problemas de tectónica continental que quedan, resulten explicados con solo pequeñas modificaciones de las teorías actuales.

BALDUR HEIM GESSNER
Constructor Civil
Profesor U.C.V.

Experto en Ingeniería
Sismológica