

Anexo

FALLAS GEOLÓGICAS

En función de los esfuerzos que las originan y los movimientos relativos de los bloques, las fallas geológicas se clasifican en tres tipos principalmente:

- Fallas Normales: se generan por esfuerzos de tensión que provocan que el bloque que se desliza hacia abajo también llamado bloque de techo, descienda y el bloque de piso ascienda, otra característica de este tipo de falla es que el movimiento predominantemente es vertical respecto al plano de falla, el cual generalmente tiene un ángulo de 60 grados respecto a la horizontal. Una forma más de diferenciar estas fallas es considerando fijo al bloque de piso, que es el que se encuentra por debajo del plano de la falla, da la impresión que el bloque de techo cae con respecto a este.

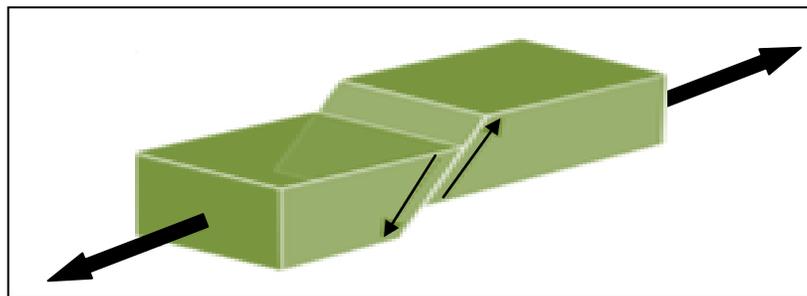


Figura A.1 Falla Normal

- Fallas Inversas: estos tipos de fallas son provocadas por esfuerzos de compresión, ocasionando que el bloque de techo ascienda sobre el bloque de piso. El movimiento que se presenta es preferentemente horizontal y el plano de falla presenta típicamente un ángulo de 30 grados respecto a la horizontal, en caso que las fallas inversas presentan un ángulo inferior a 45° estas fallas se denominan de cabalgamiento.

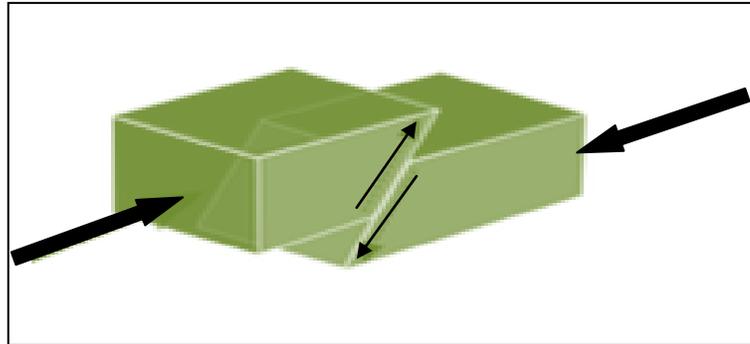


Figura A.2 Falla Inversa

- Falla transcurrente o de desgarre: el plano de falla que presenta es vertical y el movimiento de los bloques es horizontal, se distinguen dos tipos de fallas de desgarre derechas e izquierdas, en donde las derechas son aquellas donde el movimiento relativo de los bloques es hacia la derecha, en tanto que en las izquierdas es el opuesto.

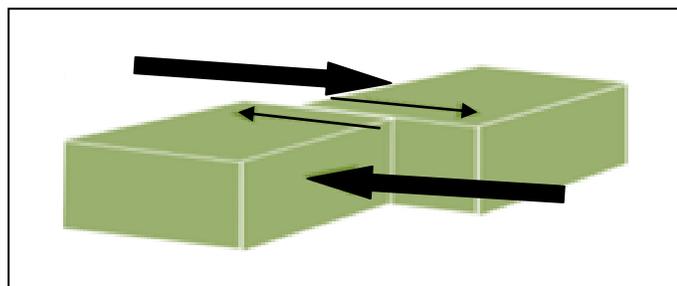


Figura A.3 Falla Transcurrente

INTENSIDAD

La Intensidad sísmica es una medida de los efectos de un temblor en el hombre, en las obras artificiales y en la naturaleza, en un lugar determinado. Los primeros trabajos datan desde 1873 (ref 50), donde el italiano Michelle Stefano Conte de Rossi y el suizo François Alphonse Forel basados en datos empíricos, propusieron escalas de intensidades sísmicas independientes, que posteriormente unificaron, donde por conveniencia asignaron 10 grados, formando la escala Rossi-Forel para intensidades.

En 1902 Mercalli perfeccionó dicha escala introduciendo 12 grados, en 1931 fue corregida por Harry O. Wood y Frank Neumann y desde entonces se llamo "Escala Modificada de Mercalli" (MM), los grados de intensidad se representan por números romanos del I al XII. En 1956 la escala MM fue enriquecida aun mas, ya que se le incorporó una clasificación de distintos tipos de estructuras, esta es muy utilizada en América, aunque no es la única.

La clasificación de las estructuras, según su capacidad de resistir temblores, es la siguiente (ref 51):

- Tipo A: Estructuras de concreto armado o acero, calculadas para resistir fuerzas horizontales y muy bien detalladas en los planos. Mano de obra y supervisión de la construcción excelentes. Materiales de primera calidad.

- Tipo B: Estructuras convencionales de concreto armado, mampostería reforzada o acero, no diseñadas en detalle para resistir fuerzas laterales. Mano de obra, supervisión y materiales, buenos.
- Tipo C: Construcciones no muy débiles, aun con estructura interna de concreto armado, mampostería reforzada o acero, pero no diseñadas ni construidas para resistir fuerzas horizontales. Mano de obra, supervisión y materiales ordinarios.
- Tipo D: Construcciones sin estructura alguna y muy débiles para resistir fuerzas horizontales. Mano de obra de baja calidad y materiales como el adobe.

Para tener una mejor comprensión de la escala de intensidades hay que considerar independientemente los efectos de los temblores en la naturaleza, el hombre y en sus obras, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla A.1 Escala de Intensidades de Mercalli Modificada (ref 52)

GRADO	DESCRIPCIÓN	NATURALEZA	HOMBRE	CONSTRUCCIONES (ESTRUCTURAS)
I	El movimiento es tan leve que no es sentido por las personas, registrado por instrumentos sísmicos.	No sentido		
II	El movimiento es sentido sólo por pocas personas en reposo, especialmente aquellas que se encuentran en los niveles superiores de un edificio, objetos suspendidos pueden oscilar.	No sentido	Sentido excepcionalmente	No sentido
III	Es sentido en el interior de las edificaciones, especialmente en los pisos superiores de los edificios, pero muchos pueden no reconocerlo como sismo ya que la vibración es semejante a la producida por el paso de un vehículo liviano.	No sentido	Sentido dentro	No sentido
IV	Objetos suspendidos oscilan libremente, la vibración es semejante a la producida por el paso de un vehículo pesado, los vehículos estacionados se bambolean, cristalería y vidrios suena, puertas y paredes de madera crujen.	No sentido	Sentido dentro	No sentido
V	Sentido aún en el exterior de los edificios, permite estimar la dirección de las ondas, personas dormidas se despiertan, el contenido líquido en recipientes y tanques es perturbado, objetos inestables son desplazados, relojes de péndulo se detienen.	No sentido	Sentido afuera	No sentido

Tabla 2.1 (Continuación)

GRADO	DESCRIPCIÓN	NATURALEZA	HOMBRE	CONSTRUCCIONES (ESTRUCTURAS)
VI	Sentido por todas las personas, muchos sufren pánico y corren hacia el exterior, se tiene dificultad en caminar establemente, vidrios se quiebran, libros y objetos son lanzados de los anaqueles y estantes, los muebles son desplazados o volcados, el repello de mortero de baja calidad se fisura.	No sentido	Sentido por todos	Grietas en las estructuras tipo D
VII	Se tiene dificultad en mantenerse en pie, es percibido por conductores de vehículos en marcha, las chimeneas se fracturan a nivel de techo, caída del aplanado de mortero, algunas grietas en mampostería de calidad media, ondas en embalses y depósitos de agua.	Pequeños derrumbes, hundimientos en bancos de arena y grava	Difícil mantenerse en pie. Percibido por los choferes	En las estructuras tipo D se presenta daño moderado y en tipo C Grietas
VIII	La conducción de vehículos se dificulta, caída de chimeneas de fábrica, monumentos y tanques elevados, algunas ramas de árboles se quiebran, cambio de flujo o temperatura de pozos de agua, grietas en terreno húmedo y en taludes inclinados.	Ramas de los árboles desgajadas. Cambio en el flujo y temperatura de fuentes, grietas en tierra húmeda	Conducción de vehículos afectada	Grave daño en estructuras tipo D y daño moderado en tipo C
IX	Pánico general, daños de embalses y depósitos de agua, ruptura de tuberías enterradas, grietas significativas visibles en el terreno.	Grandes grietas en el suelo, cráteres de arena	Pánico general	Estructuras tipo D destruidas, daño severo en tipo C y B, daño leve en tipo A
X	La mayoría de las construcciones de mampostería destruidas, algunas construcciones de madera de buena calidad dañadas, puentes destruidos, daño severo a represas, diques y terraplenes, grandes deslizamientos de tierra, el agua se rebalsa en los bordes de los ríos, lagos y embalses, rieles de ferrocarril deformados ligeramente.	Grandes derrumbes desplazamiento horizontal de tierra plana y en playas	Pánico general	Destrucción en estructuras tipo D, destrucción moderada en tipo C, destrucción leve en tipo B y daño moderado en tipo A
XI	Los rieles del ferrocarril deformados severamente, ruptura de tuberías enterradas que quedan fuera de servicio.	Grandes grietas en la tierra y deslizamientos. Grandes cantidades de agua son inyectadas, mezcladas con lodo y arena, posibles tsunamis	Pánico general	Las tuberías subterráneas de agua, gas, luz y teléfono quedan fuera de servicio
XII	Destrucción total, grandes masas de roca desplazadas, las líneas de visión óptica distorsionadas, objetos lanzados al aire.	Desplazamientos de grandes masas de roca. Objetos lanzados al aire	Pánico general	Catástrofe

MAGNITUD

La escala de intensidades solo nos da una idea somera e incompleta de lo que es un sismo, ya que si un temblor muy fuerte se presenta en un lugar remoto, sin testigos que pudieran verificar sus efectos, dicho temblor pasaría inadvertido, por el contrario si un sismo superficial pequeño, cuyo epicentro sea una ciudad, podría generar una situación de desastre, cuando en realidad es mucho menor que el que se presentó en el lugar apartado. La escala de magnitudes está asociada a la energía de un temblor basada en el registro sísmico.

En 1935 Charles F. Richter y Beno Gutenberg, desarrollaron una escala para medir la magnitud de los terremotos, la cual lleva el nombre del primer autor, quien hizo la siguiente reflexión (ref 53):

“Si dos temblores suceden en el mismo sitio, el más fuerte dejará un trazo mayor en el papel de registro de una estación sismológica. Se puede, por lo tanto, tener una apreciación de la fuerza y energía de los temblores comparando los trazos de las amplitudes de las ondas registradas.”

La magnitud no mide directamente la energía liberada de un temblor, pero es evidente que un trazo mayor en un mismo sismógrafo fue escrito por un temblor mayor a igual distancia. Existen ecuaciones empíricas que involucran a la magnitud con las que se puede obtener dicha energía.

Aunque cada sismo tiene una magnitud única, su efecto variará grandemente según la distancia, las características del terreno, los estándares de construcción y otros factores. Si se dispone de muchas estaciones diseminadas en una vasta región, con instrumentos idénticos que respondan de la misma manera a las distintas clases de ondas generadas por los sismos, se podrá hacer una comparación entre los trazos registrados en cada una de ellas. Todas, aún las más alejadas, registrarán proporcionalmente una onda de mayor amplitud con un temblor más fuerte que con uno débil.

Teóricamente la magnitud no tiene límite superior, pero está limitada por la resistencia de las rocas de la corteza terrestre y la longitud de ruptura probable de la falla, aunque nunca se ha observado un terremoto de magnitud superior a 10, este límite representa una condición natural del comportamiento de las rocas.

Para poder determinar la magnitud se han creado diferentes escalas, dependiendo del tipo de onda en que se basa la medición, algunas de ellas son:

- Magnitud Local (ML): escala introducida por Richter en 1935 (ref 54), con el objetivo de clasificar los temblores del sur de California en E.U., para un radio de 600 km a partir de la máxima amplitud registrada por un sismógrafo Wood Anderson. Como Richter definió esta magnitud utilizando información de la red sísmica de California y la utilizó para sismos de esta región es una escala local, de ahí su nombre. El uso de esta escala es apropiado para temblores cuyo foco no sea mayor a los 20 km de profundidad y distancias no mayores a los 600 km de una estación dada. La ecuación es la siguiente:

$$ML = \log A - \log A_0 \quad \dots A.1$$

Donde A es la máxima amplitud en el sismograma de un temblor y A_0 es la máxima amplitud del temblor patrón. El temblor patrón de magnitud cero se define como aquel que teniendo su epicentro a 100 km de distancia, deja una traza de una micra en el registro o sismograma producido por un sismógrafo Wood-Anderson.

- Magnitud ondas superficiales (M_s): esta escala fue diseñada por Richter y Gutenberg en 1936 (ref 55), cuya aplicación es para temblores lejanos registrados con otro tipo de sismógrafos. Para esta magnitud se utilizan las ondas superficiales Rayleigh con periodo de 20 segundos. La ecuación para determinar la magnitud por este criterio es:

$$M_s = \log A - \log B + C + D \quad \dots A.2$$

En esta ecuación A es la máxima amplitud de la onda superficial con periodo aproximado de 20 segundos (medida en micrómetros), B es el valor de la máxima amplitud horizontal calculada para un evento de magnitud cero (en micrómetros) a la misma distancia focal, por último C y D son constantes dependientes de cada estación ya que dependen del tipo de suelo en donde está construida la misma, el instrumento, la profundidad focal, atenuación, etc.

- Magnitud de ondas de cuerpo (m_b): entre 1945 y 1956 Gutenberg (ref 56) desarrolló una nueva escala aplicable a temblores profundos (ya que generan menos ondas superficiales) utilizando la amplitud de las ondas internas. La ecuación es la siguiente:

$$m_b = \log \frac{A}{T} + B + C \quad \dots A.3$$

Donde A es la amplitud de la onda de cuerpo (en micrómetros), T es el periodo de la onda (en segundos), B y C son constantes dependientes de las características del sismo y la estación sismológica.

- Magnitud de momento sísmico (M_w): escala desarrollada por Hiroo Kanamori (ref 57), basada en el valor de la energía liberada en el foco o momento sísmico, que se determina a partir del espectro de amplitudes para bajas frecuencias. Para determinarla se utiliza la siguiente ecuación:

$$M_w = \frac{2}{3} \log M_0 - 10.7 \quad \dots A.4$$

Donde M_0 es el momento sísmico medido en dinas-cm. Con esta ecuación las magnitudes de los sismos grandes fueron recalculadas, para algunos eventos, el cambio fue muy notorio, como ejemplo está el sismo de Chile de 1960, que

tenía una magnitud $M_s=8.3$ y que al calcularle la magnitud de momento fue de 9.5, convirtiéndose en el sismo de mayor magnitud hasta hoy registrado.

Existen más tipos de escalas para poder medir la magnitud de un temblor sin embargo, sólo se presentan estas, debido que son las que se utilizan en esta tesis.

ONDAS SÍSMICAS

Al ocurrir un sismo la energía es liberada en forma de ondas sísmicas, clasificadas como de cuerpo y superficiales. Las de cuerpo viajan por el interior de la Tierra y se dividen en dos tipos, P o primarias y S o secundarias, denominadas así por la llegada de estas a las estaciones donde es registrado el sismo.

Las ondas P producen compresiones y dilataciones en el medio, se propagan longitudinalmente, su amplitud es pequeña y su periodo corto. Son capaces de viajar a través de materiales sólidos y líquidos, con una velocidad de propagación del orden de 5 km/s en las rocas graníticas cercanas a la superficie y de 11 km/s en el interior de la Tierra (ref 58). Esta es la más veloz de todas las ondas sísmicas ya que es la primera en llegar a cualquier punto, en ser sentida y registrada en los sismogramas.

En las ondas S, las partículas del medio se desplazan perpendicularmente a la dirección de propagación, son de mayor amplitud y de periodos más largos que las primarias. Atraviesan las capas del interior de la Tierra con velocidades que oscilan entre 0.5 y 4.4 km/s, debido a que su trayectoria no es recta y su propagación produce un esfuerzo cortante en el medio, de ahí que también se les conozca como

de corte o cizalla. Las ondas de corte no se propagan dentro de los líquidos, debido a que los esfuerzos cortantes que pueden soportar estos, son muy pequeños. En la figura A.1 se aprecia un esquema de ambas ondas.

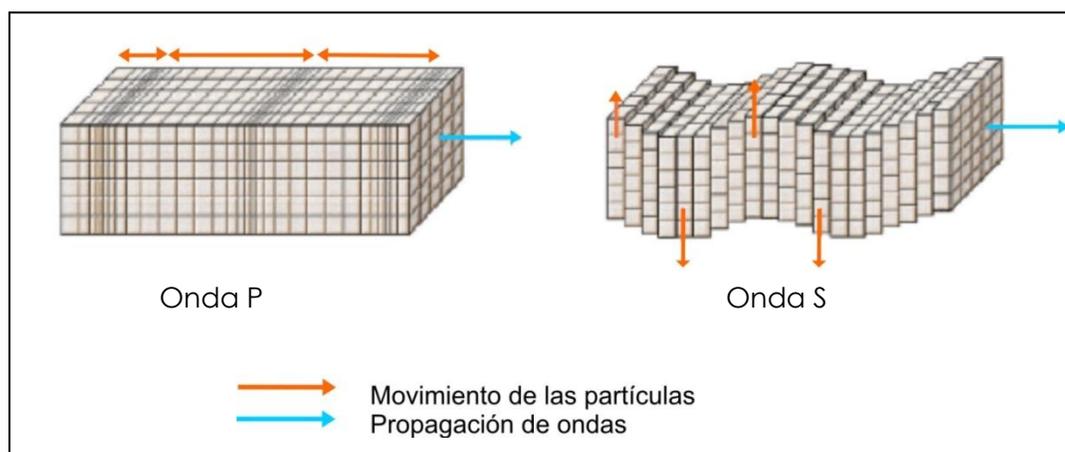


Figura A.4 Esquema ondas P y ondas S (ref 59)

Por otra parte las ondas superficiales, como su nombre lo indica, se propagan superficialmente en la corteza terrestre, donde alcanzan su máxima amplitud, que va disminuyendo, conforme va aumentando la profundidad. Los dos tipos de ondas superficiales más conocidos son las Love y Rayleigh, las primeras deforman al medio, en forma similar a las S, aunque solamente en dirección horizontal, son más lentas que las de cuerpo con velocidades de 1 a 4.5 km/s. Las segundas producen un movimiento vertical en forma de elipse retrograda, similar al de las olas marinas, son las más lentas con velocidades que van de 1 a 4 km/s. En la figura A.2 se presenta un esquema de estas ondas.

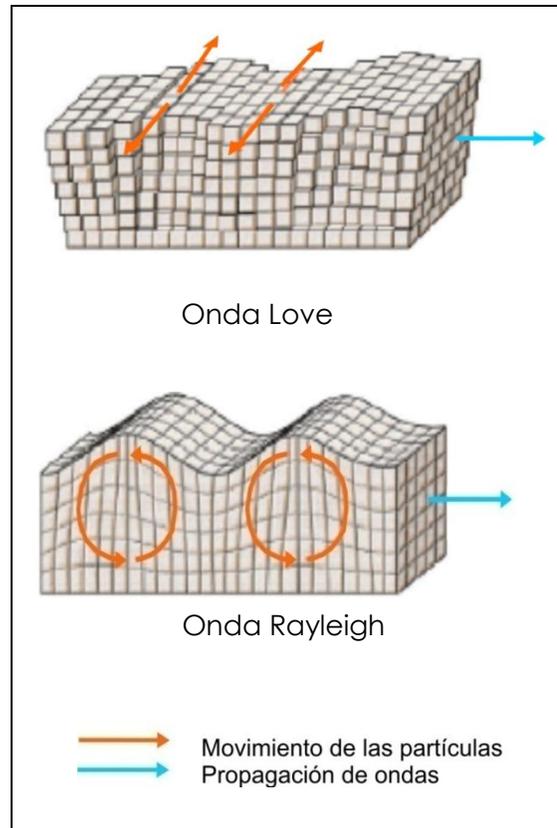


Figura A.5 Esquema onda Love y onda Rayleigh (ref 60)