

Introducción

Con cierta regularidad, escuchamos sobre grandes terremotos que causan daños significativos. Las trágicas consecuencias de los terremotos ocupan los titulares en los medios por un tiempo.

Desafortunadamente, tenemos una tendencia a olvidar sobre estos sucesos, hasta que el próximo evento catastrófico ocurre. De hecho, los terremotos constituyen una gran proporción de los desastres naturales, los cuales causan pérdidas humanas y materiales. Por lo tanto, estos fenómenos merecen ser observados continuamente, no solo por la comunidad científica, sino también por toda la sociedad. Esperamos que la exhibición sobre terremotos ayude a concientizar al público sobre este importante fenómeno natural, el cual forma parte de nuestra vida sobre la Tierra.

¿Por qué tener una exhibición sobre terremotos en un lugar aparentemente tranquilo como Bergen? Ante todo, Noruega no es un lugar tan tranquilo como pudiera esperarse. En tierras noruegas cercanas a la costa, podemos esperar terremotos de magnitud 6. Si incluimos las islas árticas, podemos tener erupciones volcánicas y terremotos hasta magnitud 7. Comparados con nuestros vecinos escandinavos, e incluso con la mayoría de los países del norte de Europa, Noruega tiene mayor actividad sísmica. Este hecho fue reconocido tempranamente por uno de los primeros geocientíficos noruegos, C.F. Kolderup quien pudo establecer la primera estación sismológica en Noruega precisamente en este museo, hace exactamente 100 años, en 1905.

La presente exhibición “¡Cuando la Tierra tiembla!” espera dar una visión general de los terremotos como fenómeno natural, sus consecuencias y como podemos prepararnos como sociedad a próximos desastres naturales. Se explican los principios básicos de los terremotos y se demuestran a través de ejemplos, parte de la exhibición se dedica a la participación interactiva para entender los terremotos. Aprovechamos la ocasión para celebrar el centenario de la primera estación sismológica en Bergen, Noruega. Esta última razón es más que suficiente para conmemorar los 100 años de sismología instrumental en Bergen. Desde 1905, el Observatorio Sismológico (Jordskjelvstasjonen) en Bergen ha evolucionado en un ambiente científico dinámico y productivo dentro de la Universidad de Bergen, con excelente desempeño en la observación, investigación y enseñanza.

La sismología, la ciencia que estudia los terremotos, es frecuentemente considerada como una ciencia oscura con ninguna relevancia fuera de su estrecho campo de acción, sin embargo, esto no es cierto. Las ondas sísmicas generadas por grandes terremotos viajan a través de la Tierra y nos brindan valiosa información sobre las condiciones en lo profundo del interior de la Tierra. Gracias a las primeras investigaciones basadas en los registros sismográficos alrededor del mundo, sabemos que la Tierra está compuesta de diferentes capas, corteza, manto y núcleo, con diferentes propiedades físicas. Desarrollos tecnológicos del siglo XXI, nos permiten investigar la luna y planetas remotos, sin embargo, son aún los datos sísmicos nuestra primera fuente de información para entender

el interior de la Tierra. Los modernos instrumentos sismológicos han sido fundamentales en probar y confirmar las primeras hipótesis científicas. La teoría de placas tectónicas, la cual es una teoría unificadora para la comprensión de los procesos geológicos en la Tierra, fue una de las historias con mayor éxito en la sismología, donde la observación sistemática de las localizaciones de los terremotos alrededor del mundo ayudaron a determinar los bordes de placa y sus deformaciones.

La sismología es una ciencia que es usada ampliamente en Noruega, debido principalmente a su importancia como herramienta clave para encontrar petróleo (Ver sección sobre petróleo), el cual se ha convertido en la columna vertebral de la prosperidad económica de Noruega. Sin embargo, el Observatorio Sismológico en la Universidad de Bergen, es una de las instituciones nacionales claves donde se atienden las peticiones del público sobre terremotos siempre que se haya sido sentido algún temblor o un gran terremoto ha sucedido en alguna parte. Algunos ejemplos recientes en los que la atención del público se ha centrado en la sismología son: el gran terremoto que generó el tsunami en el Océano Índico en diciembre de 2004 y el hundimiento del buque “Rocknes”. Ambos incidentes se registraron claramente en nuestros instrumentos y así el sismólogo puede contribuir con información importante para la sociedad.

Para entender de que se tratan los terremotos, hemos dividido la exhibición en varios temas: Primero, estudiamos los terremotos como fenómeno natural y explicamos las condiciones físicas que propician la ocurrencia de terremotos. Ver la sección de terremotos como fenómeno natural.

La sismología en perspectiva histórica, cuenta con más de 100 años. Los eventos importantes que condujeron a descubrimientos significativos se resumen y se muestran en una sección dedicada a la historia de la sismología. Además de los hitos internacionales en sismología, los desarrollos en Noruega son dados en orden cronológico para dar al visitante la perspectiva histórica sobre la razón por la cual tenemos un interés tan grande en la sismología en Bergen. ¿Por qué la sismología tuvo semejante empuje 100 años atrás? Principalmente porque el movimiento de la tierra causado por terremotos fue registrado por sismógrafos y de ese modo llegaron a estar disponibles para hacer estudios detallados tanto del terremoto en sí como del subsuelo. Lo segundo es lo que le ha dado a Noruega tal pasión en la búsqueda de petróleo, porque desde el comienzo de la era del petróleo, muchos sismólogos noruegos calificados estuvieron listos para participar en la aventura petrolera. De hecho, fueron tantos, que era difícil conseguir que un sismólogo trabajara en sismología tradicional, es decir, con terremotos. Posteriormente con la construcción de plataformas petroleras, los terremotos recobraron importancia ya que muchos de los campos de petróleo están ubicados en áreas sísmicas muy activas y las plataformas tienen que estar diseñadas para resistir el máximo terremoto posible en el área. De esa forma, se necesitaba más conocimiento sobre terremotos noruegos. Esta es la razón por la que la industria petrolera noruega ha

apoyado la operación de la Red Sismológica Nacional en Noruega desde hace 25 años y actualmente la Universidad de Bergen tiene una red sismológica moderna de 30 estaciones que cubren toda Noruega y las áreas marítimas cercanas incluyendo las islas árticas. En esta exhibición, los instrumentos simológicos contituyen, obviamente, una sección importante.

Así, lo que comenzó hace 100 años con una sola estación, se ha desarrollado dándole a Noruega una fuerte posición tanto en sismología como en exploración petrolera. Esperamos que la exhibición atraiga no sólo a las personas particularmente interesadas sino también las generaciones jóvenes quienes pueden aprovechar esta oportunidad para unirse a nosotros en la comprensión de los terremotos.

Agradecimientos

Los fondos provienen del Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de Bergen, el Museo de Bergen, Bergen Universitetsfond, Oljeindustriens Landsforening (OLF).

El texto ha sido escrito principalmente por el grupo de sismología del Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Bergen. Los traducciones fueron hechas: al francés por Jeannette Havskov, al castellano por Carolina Granado y al alemán por Julia Schinkel. Las correcciones fueron hechas por Eirik Sundvor, Inge Aarseth, Laila Havskov, Katarina Wolff y Erna Atakan. Un gran número de personas tanto del Departamento de Ciencias de la Tierra como del Museo de Bergen han contribuído en diferentes aspectos de la exhibición. Agradecemos el esfuerzo y el entusiasmo de todos aquellos que contribuyeron en este proyecto, en orden alfabético:

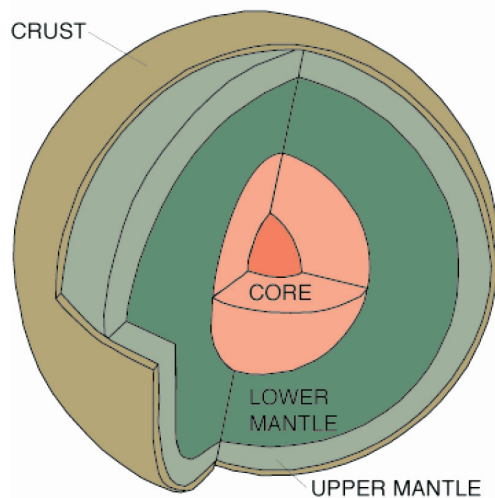
Anne Aspen
Kuvvet Atakan
Christian Bakke
Eva Bjørseth
Birgit Brühl
Jane K. Ellingsen
Grethe Elvenes
Margareth Haugen
Jens Havskov
Kristina Holmefjord
Geir Hovland
Øystein Jansen
Helge Johnsen
Petter Jordan
Anne Lise Kjærgaard
Jozef Kusior
Sven Maaløe
Mette N. McDougall
Jose Åsheim Ojeda
Kåre Slettebakken
Morten Steffensen
Mathilde Bøttger Sørensen
Terje Utheim

Producido y publicado por el Departamento de Ciencias de la Tierra en colaboración con el Museo de Bergen, en la Universidad de Bergen.

Dirección: Muséplass 3, 5007 Bergen, Noruega

Los terremotos como fenómeno natural

La Tierra está compuesta de un número de capas con diferentes propiedades, ver la figura abajo. Aproximadamente, la Tierra puede dividirse en tres capas: el núcleo, el manto y la corteza. El núcleo es la parte más interna de la Tierra y puede dividirse en un núcleo interno sólido y un núcleo exterior líquido. Similarmente, el manto se puede dividir en manto superior e inferior. La corteza es la parte más exterior de la Tierra. Es de solo 10 a 80 km de espesor y por lo tanto se parece a la piel de una manzana. La corteza está compuesta de un número de placas, llamadas placas continentales, las cuales están en movimiento relativo unas respecto a otras. La mayoría de los terremotos ocurre como consecuencia del movimiento de las placas.



Sección transversal de la Tierra

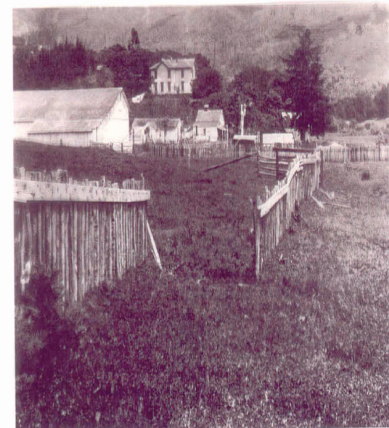
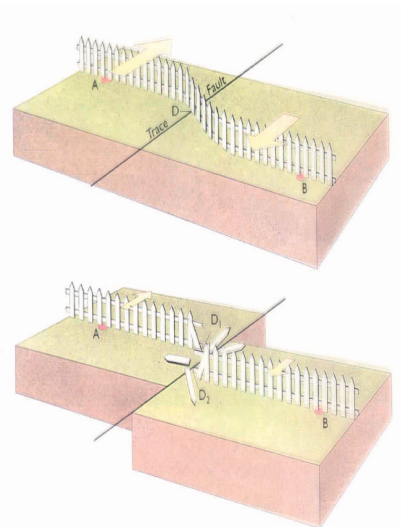


El mapa muestra la Tierra de noche. Áreas densamente pobladas son visibles debido al aumento de la intensidad lumínica. Las líneas verdes muestran los bordes de placa donde tenemos la mayor actividad sísmica. Los terremotos se muestran con puntos naranjos, los volcanes con triángulos rojos. Las catástrofes futuras ocurrirán en lugares donde los terremotos afecten áreas densamente pobladas.

Las fallas sísmicas

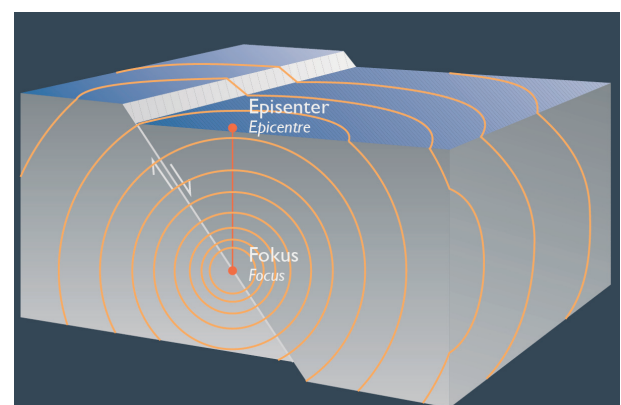
Los esfuerzos, los cuales se acumulan en las rocas debido por ejemplo al movimiento de las placas, se liberan cuando las rocas no pueden resistir más la acumulación de esfuerzo. El resultado es un desplazamiento repentino a lo largo de un plano llamado falla. Como consecuencia ocurre un terremoto, el cual es una súbita liberación de energía que se

desplaza a través de la corteza como ondas sísmicas. Las ondas son sentidas como sacudidas del suelo en la superficie.



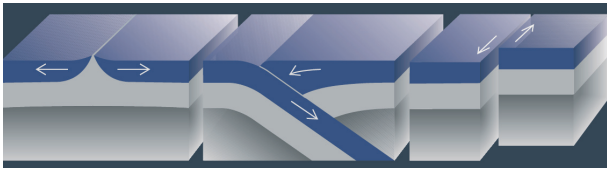
Una falla

El foco ("Hypocenter") de un terremoto, es el punto sobre la falla donde se inicia la ruptura. El epicentro ("Epicenter") es el punto en la superficie, directamente sobre el foco. El plano de falla ("Fault surface") se define a partir de su dirección en la superficie, su pendiente y la dirección de deslizamiento. El deslizamiento estará distribuido irregularmente dependiendo de la aspereza del plano de falla. La mayor parte de la energía será liberada en áreas donde el plano de falla es áspero. Tales áreas son llamadas asperezas.



Plano de falla

Existen tres tipos principales de bordes de placas. Dependiendo si las placas se mueven alejándose unas respecto a otras (bordes de placa divergentes), acercándose entre ellas (bordes de placas convergentes) o deslizándose entre ellas (bordes de placas transcurrentes).

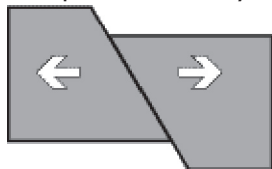


Diferentes tipos de bordes de placa

Il y a principalement trois sortes de failles, normales, inverses et en décrochement. Une combinaison de deux de ces types résulte en un glissement oblique et est assez courante. Les types de failles dépendent des contraintes tectoniques dans les roches où elles sont principalement contrôlées par le champ de contrainte régional en liaison avec les mouvements de plaques. Les trois sortes de failles sont décrites et illustrées ci-dessous.

Una falla normal produce un terremoto cuando las rocas de ambos lados del plano de falla se mueven alejándose y uno de los bloques se desplaza hacia abajo en relación al otro.

En bordes de placa divergentes, las dos placas se mueven separándose y material nuevo del manto asciende. Los terremotos ocurren usualmente en fallas normales y frecuentemente se observan volcanes en conexión con las fronteras de placas divergentes. Un ejemplo de borde de placas divergentes es la dorsal del Atlántico, en la que Islandia está afectada por terremotos y volcanes.



Falla normal

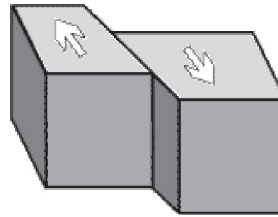


La foto muestra una falla normal relacionada con un terremoto destructivo en noviembre de 1999, cercano a la ciudad de Düzce, Turquía.

La ruptura en una falla inversa ocurre en conexión con un terremoto en el que las rocas se presionan unas a otras, y uno de los bloques se desplaza hacia arriba a lo largo del plano de falla.

En bordes de placa convergentes, las dos placas colisionan. Una placa se mueve por debajo de la otra y es empujada hacia abajo en el manto donde se derrite y se disuelve. Los terremotos que ocurren en estas regiones usualmente tienen mecanismos inversos. Ejemplos de fronteras de placas convergentes están en Alaska, el Himalaya, Japón, Taiwan y el occidente

de Suramérica. Es a lo largo de las llamadas “zonas de subducción” donde la mayor proporción de actividad sísmica ocurre globalmente.

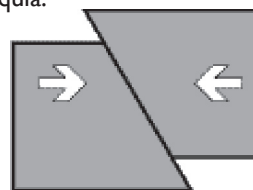


Falla inversa



La foto muestra una ruptura de falla inversa relacionada con el terremoto destructivo de Chi Chi en Taiwan en 1999. La foto inferior muestra un primer plano de la foto superior.

Las fallas rumbo deslizantes ocurren en conexión con terremotos donde las rocas de ambos lados del plano de falla se desplazan en dirección horizontal opuesta. En bordes de placas transcurrentes, las placas se deslizan mutuamente. Esto genera fallas rumbo deslizantes. Ejemplos de bordes de placas transcurrentes se ven en California y Turquía.



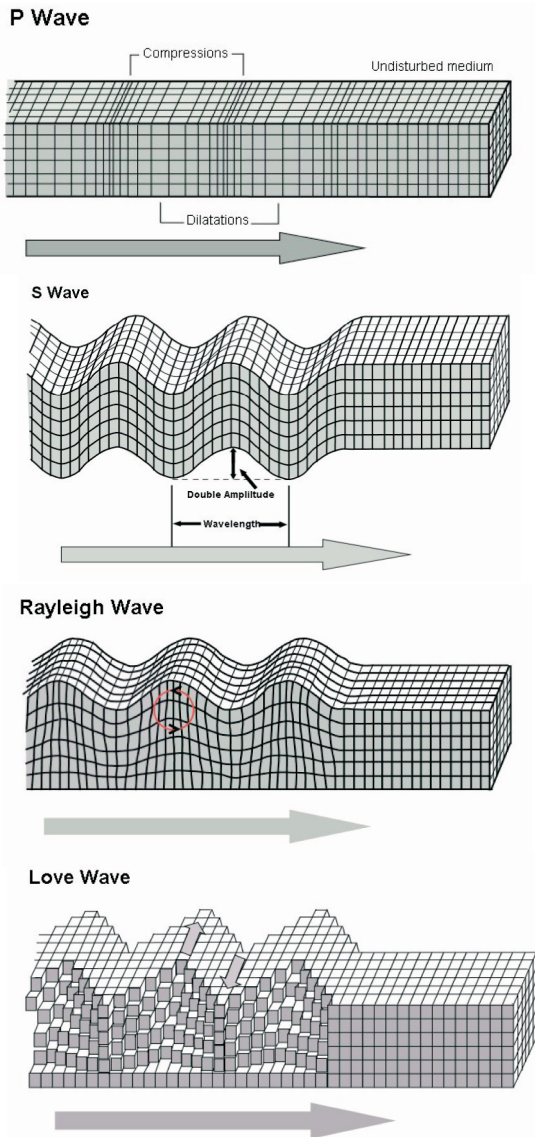
Falla rumbo deslizante



La figura muestra una ruptura de falla rumbo deslizante la cual desplaza la línea ferroviaria. La foto está relacionada con el terremoto de Izmit, Turquía, el 17 de agosto de 1999.

Las ondas sísmicas

Hay cuatro tipos principales de ondas sísmicas. Las ondas P (ondas primarias) tienen un movimiento de partícula en la misma dirección en la que la onda se propaga. Las ondas S (ondas secundarias) tienen un movimiento de partícula en dirección perpendicular a la propagación. Las ondas P y S se llaman ondas de cuerpo porque ellas se propagan a través del interior de la Tierra. Por otra parte, las ondas superficiales (las ondas Love y Rayleigh), se propagan solamente a lo largo de la superficie de la Tierra. Las ondas de Love (en honor a A.E.H. Love (1863-1940)) tienen un movimiento de partícula perpendicular a la dirección de propagación. Las ondas Rayleigh (en honor a Lord Rayleigh (1842-1919)) tienen un movimiento de partícula retrógrado, es decir, el movimiento de partícula describe círculos opuestos a la dirección de propagación.

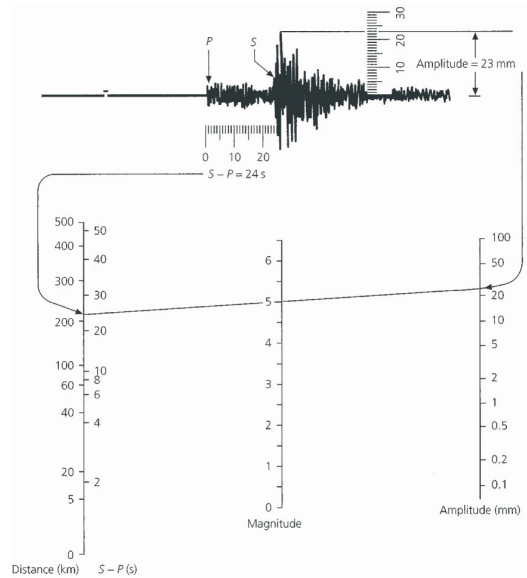


Diferentes tipos de ondas sísmicas

Magnitudes de terremotos

La manera tradicional de medir la magnitud de un terremoto es usando la escala de Richter. La magnitud de Richter se basa en la amplitud del movimiento de la tierra tal como se registra en sismógrafos y la distancia al terremoto. Charles Richter introdujo la escala Richter en 1935, en la que asignó una magnitud de 3

a un terremoto a 100 km de distancia produciendo una amplitud de 1 mm del movimiento de suelo en su equipo especial (sismógrafo Wood-Anderson).



La magnitud se determina a partir de la máxima amplitud observada en el sismograma. Para calcular la magnitud, se corrige la amplitud para la distancia como se muestra en la figura.

Las escalas de magnitud como la de Richter son logarítmicas, es decir, un incremento en una unidad corresponde a un incremento de 10 veces en el movimiento de la tierra y cerca de 32 veces un aumento de la energía liberada por un terremoto. La escala de Richter es usada todavía por sismólogos debido a su popularidad, sin embargo, actualmente los sismólogos prefieren usar otra magnitud basada en el momento sísmico. El momento sísmico se determina a partir del tamaño del plano de falla, el deslizamiento y la aspereza del plano de falla.

¿Qué tan fuertes son las diferentes magnitudes?

- 2 Raras veces sentido por humanos
- 2.5 Energía similar a un relámpago moderado
- 3.5 Energía similar a un relámpago fuerte
- 4 Sentido por humanos, daños posibles
- 5 Energía similar a la de un tornado promedio
- 6 Energía similar a la bomba de Hiroshima
- 7 Terremoto perjudicial, con frecuencia causa pérdidas de vida humana. Capaz de generar un tsunami
- 8 Energía similar a la mayor explosión nuclear del mundo
- 9 Terremoto catastrófico causando grandes daños

¿Con qué frecuencia tenemos terremotos?

Descripción	Magnitud	Número promedio por año
Catastrófico	8 o mayor	1
Muy fuerte	7-7.9	18
Fuerte	6-6.9	120
Moderado	5-5.9	800
Débil	4-4.9	6200
Pequeño	3-3.9	49000
Muy pequeño	Menor a 3	Magnitud 2-3 aprox. 365000 Magnitud 1-2 aprox. 300000

La tabla muestra con que frecuencia ocurren terremotos, con sus diferentes magnitudes, alrededor del mundo.

Los 5 terremotos más grandes en el mundo desde 1990

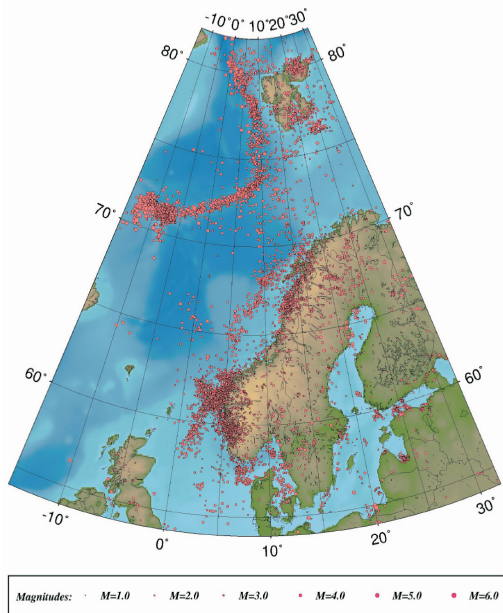
1. 1960, 22 de mayo, al sur de Chile, M=9.5
2. 1964, 28 de marzo, Prince William Sound, Alaska, M=9.2
3. 1957, 9 de marzo, Islas Andreanoff, Alaska, M=9.1
4. 1952, 4 de noviembre, Kamchatka, M=9.0
5. 2004, 26 de diciembre, Sumatra, Indonesia, M=9.0

Los 5 terremotos más mortales del mundo

1. 1556, 23 de enero, Senshi, China, 830 000 muertes (M≈8.0)
2. 2004, 26 de diciembre, Sumatra, Indonesia, 280 000 muertes (M=9.0)
3. 1976, 27 de julio, Tangshan, China, 255 000 muertes (M=7.5)
4. 1780, 28 de febrero, Iran, 200 000 muertes (M=?)
5. 1920 16 de diciembre, Gansu, China, 200 000 muertes (M=8.6)

Terremotos en Noruega

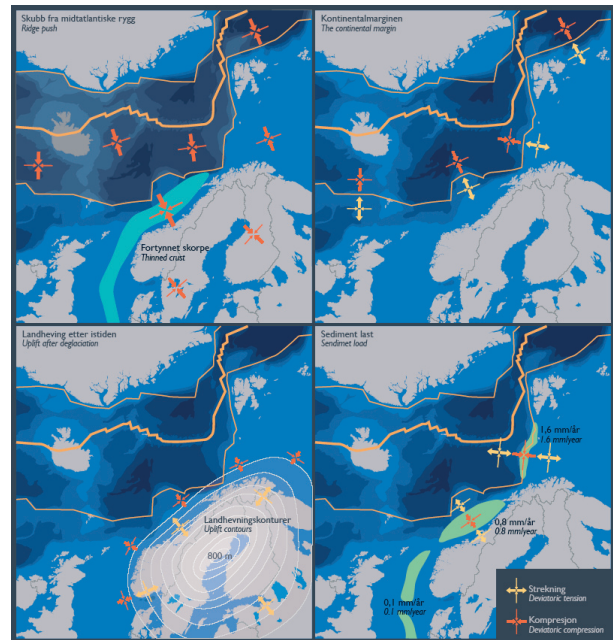
La actividad sísmica en Noruega y las áreas circundantes de costa está relacionada con las estructuras geológicas. El borde de placa en la dorsal atlántica es uno de los elementos más importantes. Además, los sismos ocurren a lo largo de estructuras de valle colapsado (sistemas de fallas normales) en el Mar del Norte y a lo largo del margen continental. Por otra lado, la mayor actividad en tierra ocurre en Sunnhordland y Nordland.



Epicentros de terremotos 1980-2004

A excepción de las áreas árticas alrededor de la dorsal atlántica, Noruega está situada lejos de los bordes de placa, y uno podría preguntarse por qué hay terremotos. La respuesta es que los esfuerzos se acumulan en la corteza debido a otros mecanismos. Hay cuatro mecanismos principales que causan acumulación de esfuerzo en las áreas que rodean a Noruega. El “empuje de dorsal” está asociado con los bordes de placas divergentes en el norte del Atlántico y se considera una fuente importante de esfuerzo regional a lo largo de la costa noruega y en tierra. El margen continental juega también un papel importante en el

proceso de acumulación de esfuerzo. El derretimiento de hielo y el consecuente levantamiento posterior a la última era de hielo causa esfuerzos verticales a lo largo de la costa. Además, fuerzas verticales debido a la carga de sedimento sobre el fondo del mar añaden esfuerzo a la región.



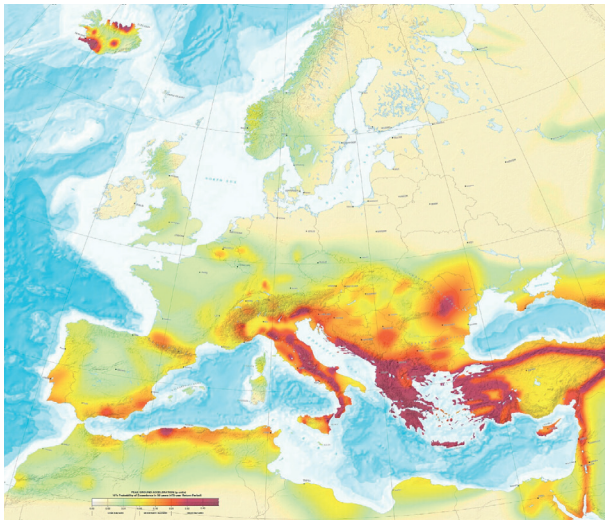
Mecanismo de acumulación de esfuerzo en los alrededores del Mar Noruega

El 23 de octubre de 1904, un terremoto en Oslofjord fue noticia en la página principal del periódico Aftenposten. El terremoto afectó Oslo en el medio de la hora de misa y tuvo una magnitud de 5.4. El terremoto causó pánico además de daño significativo a las edificaciones.



La foto muestra la noticia en el periódico el 24 de octubre de 1904.

Amenaza sísmica en Europa



Este mapa muestra la amenaza sísmica en Europa, preparado por la Comisión Sismológica Europea. El color rojo intenso indica las áreas de mayor amenaza por fuerte temblor causado por futuros terremotos. En Noruega y los alrededores, el riesgo de fuertes temblores es relativamente pequeño. El mayor riesgo de fuertes terremotos en Europa es en el área del Mediterráneo en países como Grecia, Turquía, Italia y España. Estos países están situados cerca de los bordes de placa y tienen extensos sistemas de falla capaces de generar grandes terremotos.

El alto riesgo de terremotos es función de un alta amenaza sísmica combinada con alta vulnerabilidad. En otras palabras, el riesgo de terremoto se incrementa cuando la localización de los epicentros de grandes terremotos coincide con áreas densamente pobladas. Un ejemplo reciente ocurrió en Turquía donde grandes terremotos destructivos ocurren con frecuencia. El 17 de agosto de 1999, un gran terremoto ocurrió en Izmit, Turquía. Los terremotos causaron daños severos a lo largo de los 150 km de falla y causó 19000 muertes. Luego de este terremoto hay un incremento en el nivel de amenaza sísmica en el Mar de Marmara donde se espera a futuro un gran terremoto con consecuencias catastróficas en Estambul, ciudad de 12 millones de habitantes. Para estar lo mejor preparado posible para un terremoto futuro, los científicos están trabajando en el posible movimiento de tierra causado por semejante terremoto. Los cálculos están basados en la supuesta magnitud $M=7.5$ y en las propiedades de la corteza y la falla.



Las fotos muestra los edificios colapsados relacionados con el terremoto catastrófico de Izmit, Turquía en 1999. Muchos de los daños son el resultado de malas prácticas en construcción.



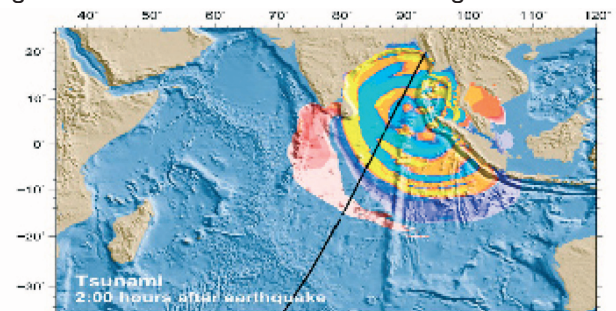
Tsunami

Tsunami es una expresión japonesa que significa “ola de puerto”. Es una ola muy grande generada por cambios repentinos en el fondo oceánico debido por ejemplo a un terremoto o a un deslizamiento de tierra en suelo marino. Estos cambios provocan el movimiento de enormes masas de agua. En mar abierto, las olas pueden alcanzar velocidades de 800 km/h pero no son sentidas por los barcos debido a la larga longitud de onda y baja altura de las mismas. Generalmente ocurre un retiro de las aguas antes de que las olas alcancen la tierra. La velocidad disminuye y las olas incrementan drásticamente su altura, pero las olas son relativamente largas cuando hacen contacto con la tierra por lo tanto son capaces de llegar lejos tierra adentro. Cuando las olas tiran hacia atrás arrastran todo material flojo hacia el océano. Normalmente dos o tres olas alcanzan la costa de esta forma con varios minutos de intervalo entre ellas.



Como se genera un tsunami

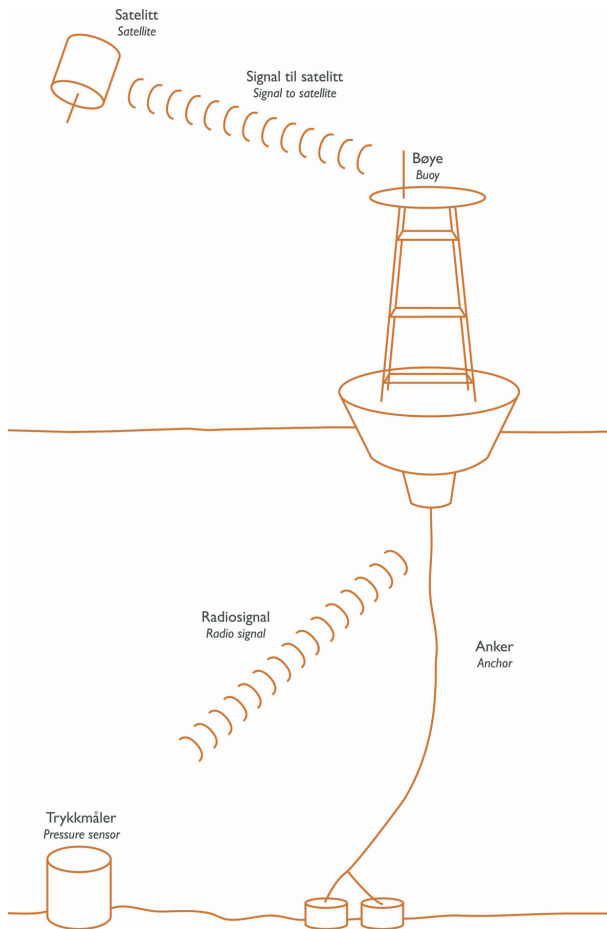
El 26 de diciembre de 2004, un terremoto catastrófico ($M=9$) ocurrió en el noroeste de Sumatra en Indonesia. El epicentro del terremoto fue debajo del mar y se generó un gran tsunami, causando daños severos en grandes áreas alrededor del Océano Índico.



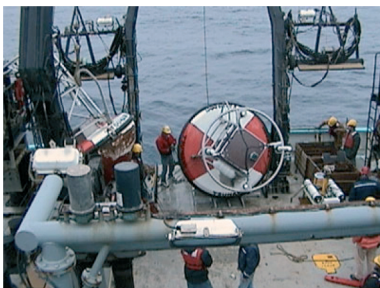
La foto fue tomada del satélite Jason (NOAA), muestra la ola de tsunami dos horas después del terremoto. Los colores muestran cambios en el nivel del mar y por lo tanto hace visible la propagación de olas.

El sistema de alerta de tsunami ha probado ser una herramienta útil para evitar catástrofes. Un sensor que mide la presión del agua se coloca en el fondo del mar y envía una señal a una boya, la cual transmite la señal a tierra via satélite. Cambios en la presión del agua indican el paso de una ola tsunami. Un requisito esencial es que un gran terremoto ocurra en el fondo

del mar. Este es registrado en las estaciones sísmicas en tierra, determinando así la localización y la magnitud. Un sistema de alerta de tsunami confirma si la ola tsunami se desplaza hacia la costa. Tal sistema de alerta de tsunami está instalado en el Océano Pacífico.



La figura muestra un esquema con los diferentes componentes del sistema de alerta de tsunami basado en un sensor en el fondo del mar y comunicación satelital. Tal sistema está instalado en el Océano Pacífico.



Las fotos muestran la boya que transmite la comunicación vía satélite.

Historia de la sismología

Hitos de la sismología en el mundo

Desde tiempos históricos, la gente ha tratado de explicar por qué ocurren los terremotos. Los chinos fueron los primeros en construir un instrumento que registrara terremotos. Este y sucesivos eventos están descritos a continuación.

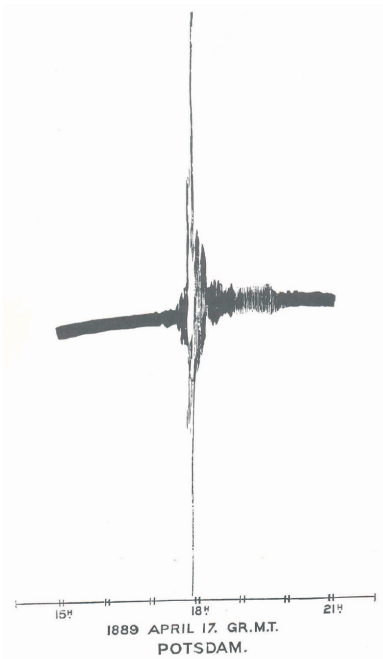
132 A.C: Primer seismoscopio, mostrando la dirección de las ondas sísmicas entrantes, fue desarrollado en China.



1875: El primer sismómetro es inventado en Italia por Filippo Cecchi



1889: Un terremoto lejano es registrado instrumentalmente por primera vez. El registro se hizo en Potsdam, Alemania, fue de un terremoto japonés.

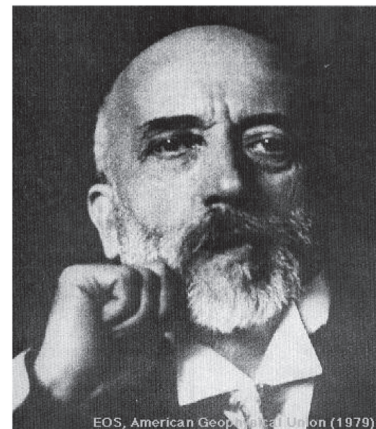


1892: John Milne desarrolla un sismómetro, el cual es instalado en alrededor de 40 observatorios del mundo. Este es el comienzo de la observación global de terremotos.

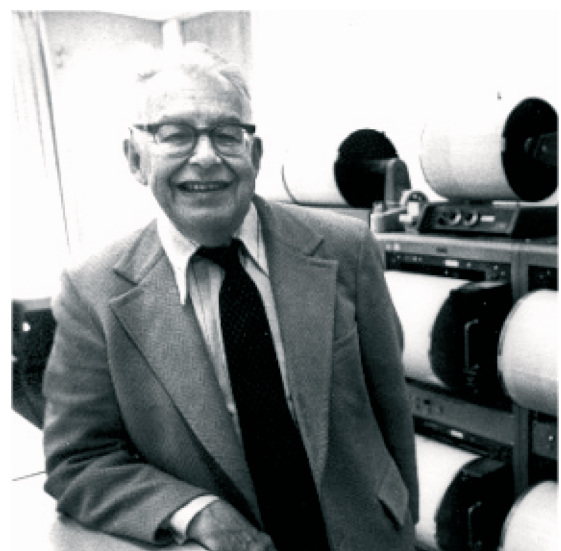


1906: Richard Oldham descubre el núcleo de la Tierra a través del estudio de las ondas sísmicas.

1909: Andrija Mohorovicic descubre la discontinuidad de moho, la cual es la frontera entre la corteza y el manto de la Tierra.



1935: Charles Richter desarrolla una escala de magnitud (la llamada "Escala de magnitud de Richter"), la cual se usa para determinar el tamaño de los terremotos como se aplica al sur de California.



1936: Inge Lehmann de Dinamarca descubre el núcleo interior de la Tierra.



1946: Una explosión nuclear es registrada por un sismógrafo por primera vez.

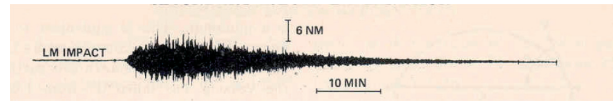
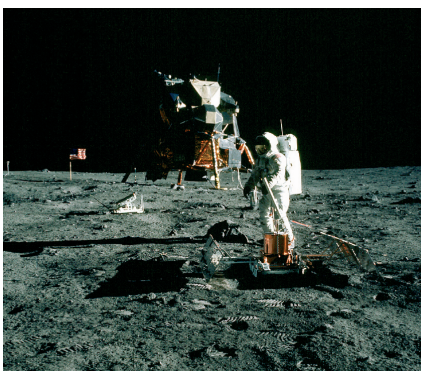
1960: El terremoto más grande registrado ocurre en Chile, con una magnitud $M=9.5$.

1961: Se establece la Red Mundial de Estaciones Sismológicas Estandarizadas (con siglas en inglés WWSSN) para monitorear tanto terremotos como pruebas nucleares. La estación noruega KONO en Kongsberg se instala como parte de dicha red en 1962. WWSSN ha jugado un papel central en suministrar datos que apoyen la teoría de las placas tectónicas, la cual ayuda a entender los procesos fundamentales de deformación en la Tierra. WWSSN es posteriormente controlada por IRIS (Corporación de Instituciones de Investigación Sismológica) y actualmente continúa como la Red Sísmica Global (GSN).

1966: Keiiti Aki define momento sísmico, que es la medida de la magnitud de un terremoto.



1968-72: Los astronautas del Apolo colocan un sismómetro en la luna y se registra el primer "temblor lunar".

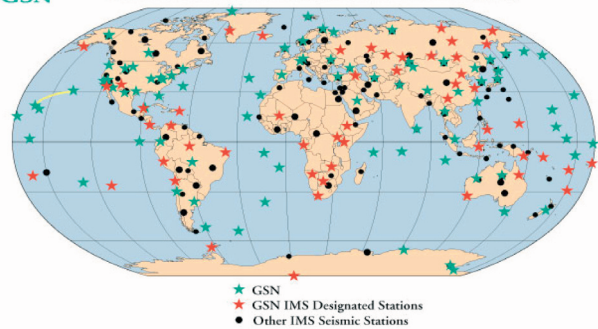


1977: Hiroo Kanamori establece la escala de magnitud de momento, la cual es una medida de la magnitud de un terremoto basado en el momento sísmico. Esta escala de magnitud es usada hoy en día por la mayoría de los sismólogos.

1996: Se establece el Tratado de Prohibición Completa de los Ensayos Nucleares (CTBT). A partir del año 2005, el tratado será firmado por 174 países. Al mismo tiempo, el Centro Internacional de Datos con sede en Viena, coordinará la observación en conexión con el tratado. La observación sísmica es hecha a través del Sistema Internacional de Observación (IMS). El mapa muestra la red global de estaciones que forman parte de GSN e IMS.



GLOBAL SEISMOGRAPHIC NETWORK & INTERNATIONAL MONITORING SYSTEM (IMS)



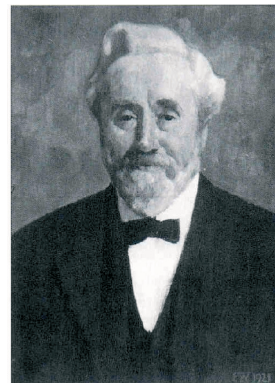
Hitos de la sismología en Noruega

En Noruega, la sismología ha sido una ciencia activa desde 1830 desde que B.M. Keilhau comenzó a estudiar terremotos. Los eventos sísmicos más importantes en Noruega a través del tiempo son destacados abajo.

1819: El 31 de agosto, un gran terremoto se registró cerca de Lurøy, al Norte del Noruega. Este es el terremoto más grande en tiempo histórico, en el noroeste de Europa con magnitud $M=5.8$.

1836: B.M. Keilhau publica "Etterretninger om jordskjelv i Norge", el cual describe los terremotos noruegos hasta 1834.

1887: Hans Reusch, director de la Agencia Geológica Noruega (NGU), comienza hacer investigaciones sistemáticas de los terremotos noruegos.



1888: T.Ch.Thomassen publica "Berichte über die wesentlich seit 1834 in Norwegen eingetroffenen Erdbeben" cubriendo los terremotos noruegos en el período 1834-1887.

1899: El Museo de Bergen asume el control de las investigaciones sistemáticas de los terremotos.

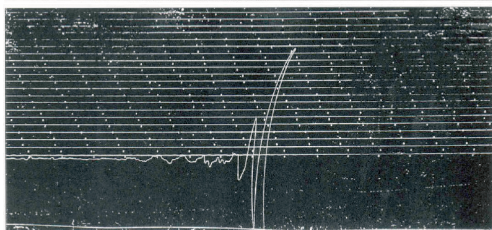
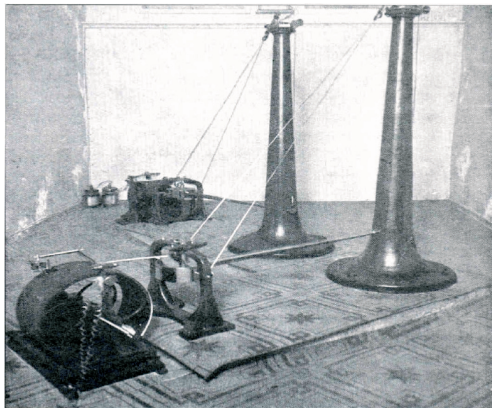
1900: C.F. Kolderup solicita, por primera vez, fondos para instalar un sismógrafo en Bergen. La solicitud fue rechazada.



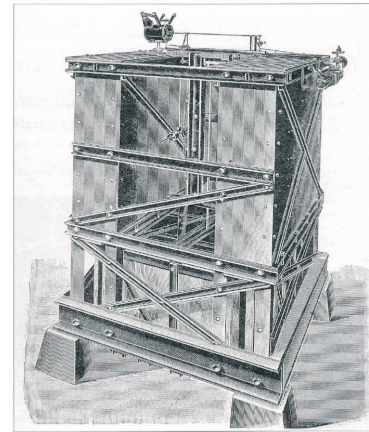
1904: El 23 de octubre, ocurre un gran terremoto en Oslofjord, $M=5.4$.

Noruega se une al convenio internacional de estados para el avance de la investigación de terremotos, se otorgan los fondos para la instalación del sismógrafo en Bergen.

1905: La primera estación sismológica en Noruega, un sismógrafo de dos componentes Bosch-Omori, se instala en el sótano del Museo de Bergen. El instrumento se usó hasta 1959. Durante los primeros 10 años, alrededor de 70 terremotos fueron registrados. El primer terremoto (en el occidente de Mongolia) se registra en Bergen el 9 de julio.



1921: Un sismógrafo horizontal Wiechert (2 componentes) se instala en el Museo de Bergen



1923: Un sismómetro vertical es instalado en el Museo de Bergen.

Se establece el Observatorio Sismológico, con su primera sede en Joachim Frieles gate 1.

1946: El 9 de abril el gobierno noruego decide fundar una universidad en Bergen. La universidad desde sus comienzos, asume el control de las investigaciones sistemáticas de eventos sísmicos.

1958: Julio: se instala la primera estación fuera de Bergen con un sismómetro vertical Willmore, en Isfjorden, Svalbard (Spitsbergen).



1959: La guardia costera de EE.UU y la Agencia Geodésica donan un sismógrafo Benioff de 3 componentes con una registrador de película para su instalación en el Museo de Tromsø.

El primer sismógrafo hecho en casa es puesto en operación en Bergen.

1960: El Observatorio Sismológico (Jordskjelvstasjon) se convierte en un instituto independiente de la universidad.

1961: Se instala la primera estación sismológica en Jan Mayen.

En marzo, el Observatorio Sismológico se muda a Villaveien 9.

1962: Durante el proyecto Skagerrak, el Observatorio Sismológico a través de un estudio sísmico detecta por primera vez, rocas en el margen continental noruego, capaces de contener petróleo y gas. Este es el comienzo de la aventura petrolera noruega.

1963: La guardia costera de EE.UU y la Agencia Geodésica, en cooperación con UiB, instalan un arreglo

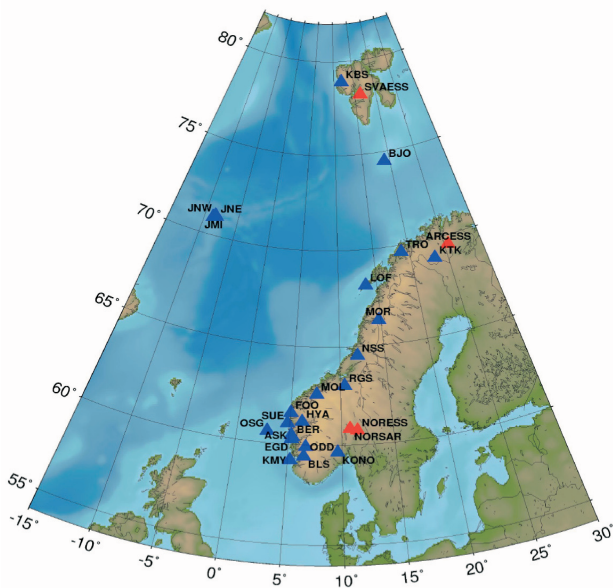
sísmico en Lillehammer para investigación sobre identificación de explosiones.

1968-70: NORSAR (el Arreglo Sismológico Noruego) se establece con un arreglo sismológico en Mjøsa y un centro de datos e investigación en Kjeller. NORSAR fue fundada como una institución de investigación en cooperación con el Observatorio Sismológico y el Departamento de Asuntos Exteriores. NORSAR se estableció principalmente para observación de pruebas nucleares, NORSAR es en la actualidad, una institución independiente la cual además de operar arreglos, también conduce asesoría en sismología.

1977: El Observatorio Sismológico se muda al Edificio de Ciencias (Realfagbygget).

1990: La observación de terremotos y la educación e investigación en el área de sismología, conduce al recién formado Departamento de Física de la Tierra Sólida, el cual se crea al unir el Observatorio Sismológico y parte del Instituto de Geofísica (División de magnetismo terrestre y paleomagnetismo).

1992: La Red Sismológica Nacional Noruega (NNSN) se establece sobre las bases de las anteriores redes Oeste-Sur y Norte y estaciones sencillas operadas por la Universidad de Bergen. La red es patrocinada por la Universidad de Bergen y la Asociación de la Industria Petrolera Noruega (OLF). El mapa muestra estaciones que fueron parte de la red cuando esta se estableció. Los triángulos azules son estaciones NNSN, los triángulos rojos los arreglos NORSAR.



2003: La observación de terremotos y la educación e investigación en el área de sismología se une al Departamento de Ciencias de la Tierra, el cual se fundó a través de una fusión del Instituto de Física de la Tierra Sólida y el Instituto Geológico.

La elevada competencia en sismología en Noruega ha producido:

- Programas académicos para estudiantes noruegos y extranjeros, actualmente la UiB tiene el mayor programa de sismología en los países nórdicos.
- Investigación y educación relacionada con el área petrolera, tiene un comienzo brillante con una importante contribución de la sismología, allí donde grandes yacimientos de petróleo fueron

descubiertos en el margen continental noruego.

Estas actividades continúan en el presente y por ello Noruega es uno de los países líderes en el mundo en investigación relacionada con la industria petrolera.

- Muchos proyectos internacionales son conducidos por UiB y NORSAR.
- Desarrollo de software en UiB el cual se usa en más de 50 países.
- Proyectos en países en desarrollo con gran amenaza sísmica.
- Investigación en problemas noruegos y globales relacionados con sismología

En la parte posterior del catálogo, se incluye un mapa mostrando los países que han recibido colaboración de instituciones noruegas así como estudiantes extranjeros. Los dibujos abajo, muestran algunas de nuestras actividades internacionales.



Estación sismológica en Irán



Enseñanza en Kuwait

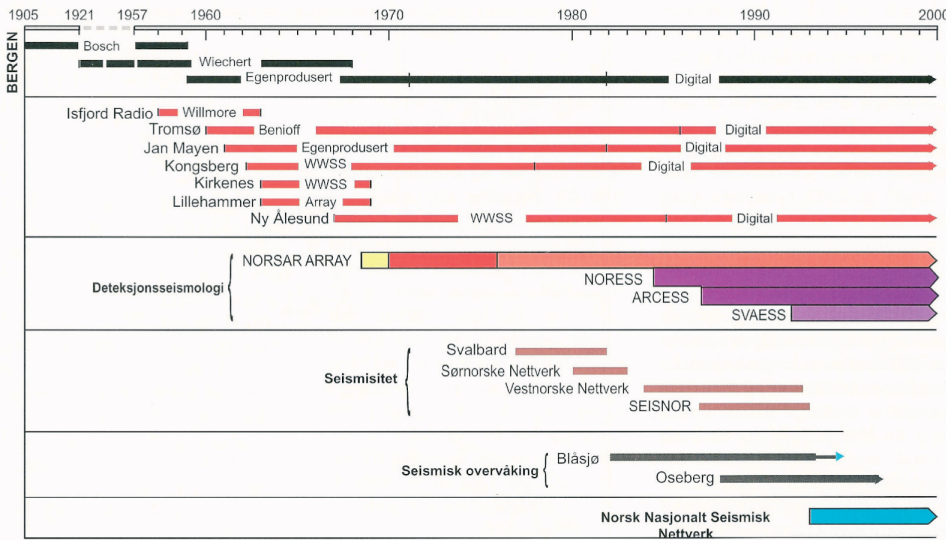


Estación sismológica en Uganda



Estación sismológica en Tíbet

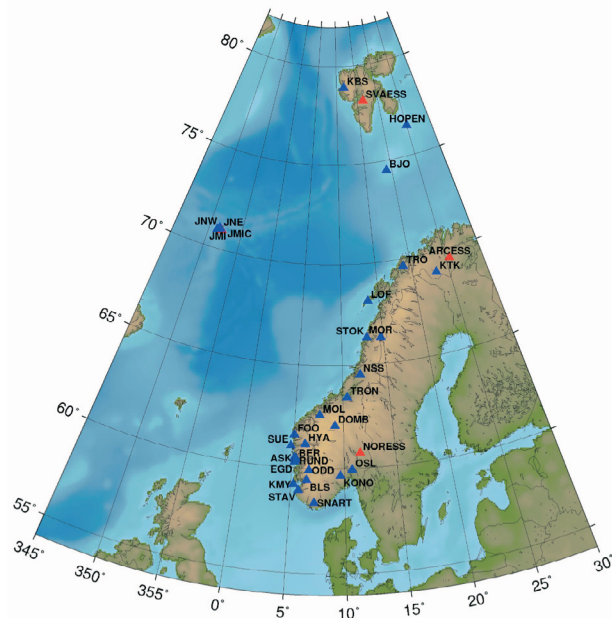
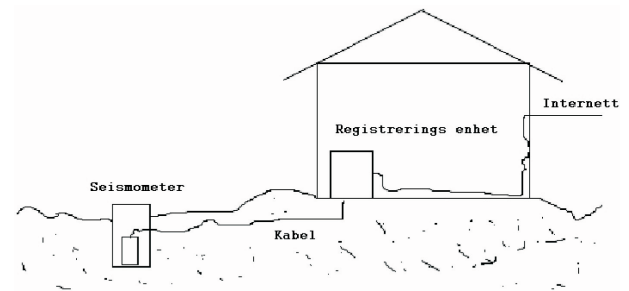
La Red Nacional Sismológica Noruega



Estaciones sismológicas en Noruega a través del tiempo. Desde la parte superior: las líneas negras indican estaciones en Bergen, las líneas delgadas rojas son otras estaciones UiB, líneas gruesas rojas son los arreglos NORSAR y las líneas marrón y negro son redes locales operadas tanto por UiB como por NORSAR. Abreviaciones: WWSSN: World Wide Standardized Seismic Network. NORESS, ARCESS y SVAESS son arreglos de NORSAR.

La Red Nacional Sismológica Noruega (NNSN) comenzó con la instalación de la estación Bergen en 1905. Desde entonces, han estado en operación varias estaciones sencillas, pequeñas redes locales y arreglos (antena sísmica). Desde 1992, todas las estaciones, a excepción del arreglo NORSAR (Norwegian Seismic Array), se han unido a la red nacional. Desde 1984, la industria petrolera noruega ha apoyado el funcionamiento de las estaciones sísmicas en la Universidad de Bergen. Actualmente NNSN es financiada por la Universidad de Bergen y la Asociación de la Industria Petrolera Noruega y el centro de operaciones reside en el Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Bergen.

a la unidad de registro ("Registrerings enhet"), la cual es típicamente un convertidor analógico digital y un computador. Del computador, los datos son transmitidos a la Universidad de Bergen a través de internet.



Red Nacional Sismológica Noruega (NNSN) y otras estaciones sismológicas en Noruega. Los símbolos azules representan estaciones NNSN y los rojos los arreglos de NORSAR. La estación JMIC es operada por NORSAR.



Instalación típica de una estación NNSN en su interior

Estación típica NNSN

Uno o más sismómetros son colocados fuera de la casa para evitar ruido proveniente de la edificación. Del sismómetro hay un cable ("Kabel") que conduce

Instalación típica de un sensor

Es importante que el sismómetro se instale haciendo contacto con roca sólida para evitar ruido de vibraciones de las capas superiores del suelo. Una estación típica NNSN consiste de un tubo plástico encementado en la roca y está sujeto con barras de hierro. La instalación es casi subterránea para evitar el ruido del viento. Este tipo de instalación se usa para medir señales hasta 0.2 Hz y son adecuadas para detectar eventos sísmicos noruegos.

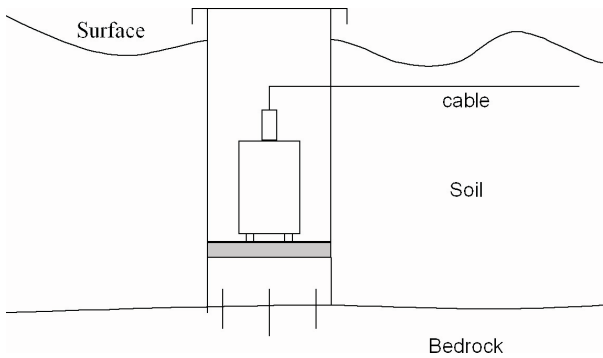


Ilustración esquemática de la instalación. La instalación está debajo de la superficie.



Un sensor de corto período listo para su instalación

Estaciones sismológicas en Jan Mayen

Jan Mayen es nuestro puesto de avanzada en el mar noruego. Aquí se encuentra el único volcán activo en Noruega, Beerenberg, también aquí ocurren los mayores eventos sísmicos noruegos. Los datos de Jan Mayen se transmiten vía satélite, así que podemos seguir continuamente la actividad de Beerenberg.



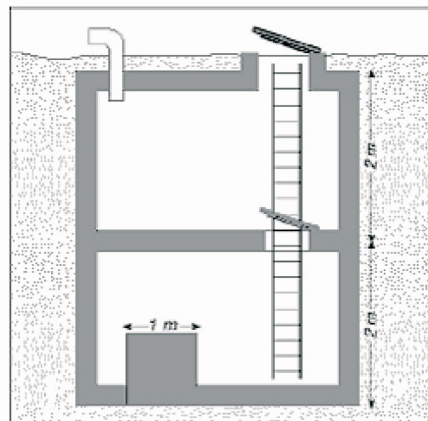
El volcán Beerenberg



La estación cerca de Beerenberg obtiene electricidad de un molino de viento y un panel solar. El sismómetro se instala en la caja amarilla a la derecha. Los datos se envían por radio a la base central en Jan Mayen.

Estaciones banda ancha usadas en NNSN

Las estaciones banda ancha son particularmente adecuadas para registrar eventos sísmicos de todas partes del mundo. Ellas deben ser capaz de registrar muy bajas frecuencias, hasta 0.001 Hz lo que es igual que una oscilación de 1000 segundos. Esto requiere temperatura constante y condiciones especiales en su instalación. Hay 5 estaciones banda ancha en NNSM

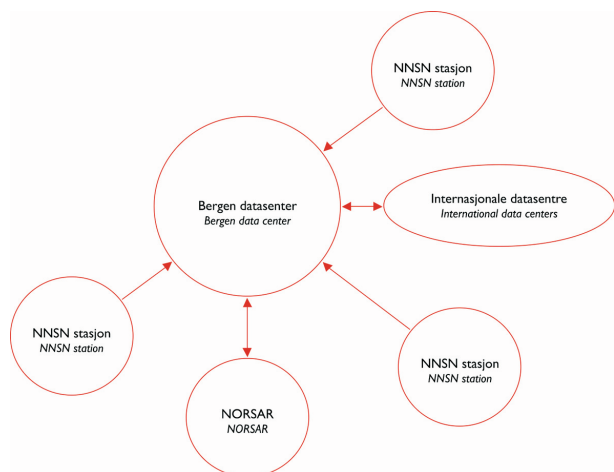


La estación Ny Ålesund, Svalbard. A la derecha se ve la entrada a la estación y a la izquierda un esquema. El sismómetro se coloca en el fondo para minimizar la influencia de las variaciones de presión y temperatura.



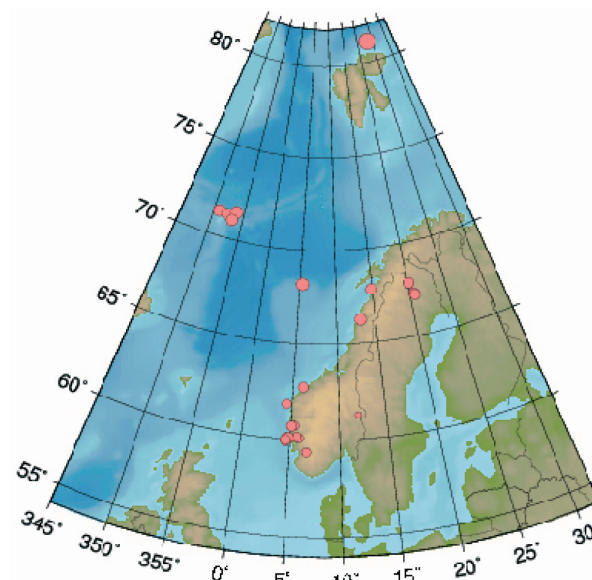
La estación de Kongsberg en una vieja mina de plata. Esta estación es una de las mejores del mundo debido a su ubicación en lo profundo de una mina.

Flujo de datos en NNSN

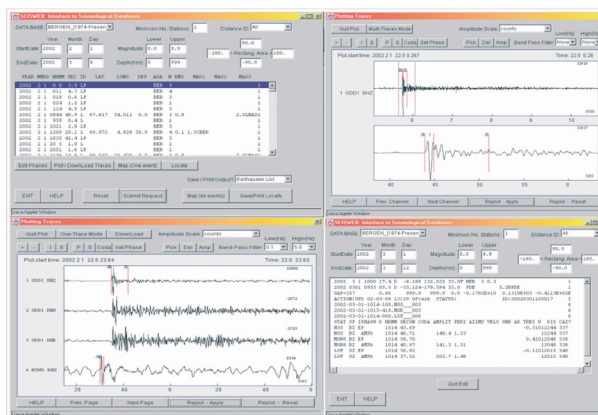


- Los datos son recibidos por las estaciones NNSN 24 horas al día.
- Datos procesados son recibidos por NORSAR y centros internacionales cada día.
- Todos los datos noruegos y datos seleccionados de centros internacionales se procesan en conjunto (se calcula la localización y la magnitud) y se almacenan en una base de datos en la Universidad de Bergen.
- Los datos son de dominio público y también son enviados a los centros de datos internacionales.

NNSN y el público



NNSN actualiza continuamente la información sobre los eventos sísmicos noruegos en su página web, el mapa muestra los eventos de los últimos 10 días.



Página web de NNSN, cualquiera puede visualizar o copiar datos.



Makrosesimisk spørreskjema

i forbindelse med jordskjelv
01.11.2004 kl 22:26 GMT/UTC
(01.11.2004 kl 23:26 lokal tid)

Institutt for geovitenskap ved Universitetet i Bergen ønsker å kartlegge omfanget av rystelsene av dette skjelvet. Det er viktig at selv de som knapt merket jordskjelvet besvarer dette skjemaet.

Ble skjelvet merket? Ja Nei

Hvor var du? Ute Inne

Var du våken eller sov? Våken Sov

Bygningstype: Tre Mur/lettbetong Betong

Antall etasjer i bygningen:

Jordbunnstype: Fjell Sand Leire Løsmasser

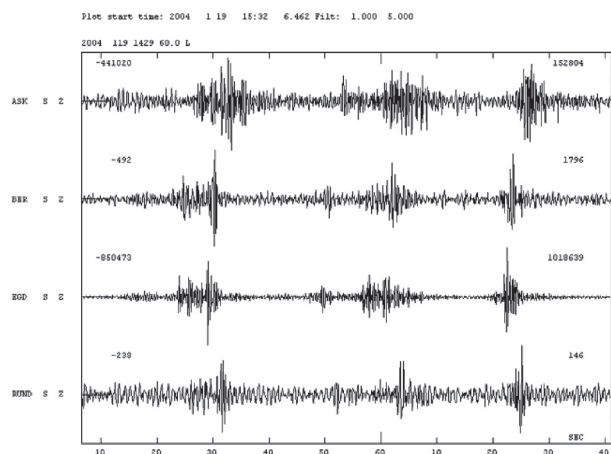
En caso de que un evento sísmico sea sentido, NNSN coleccionará información del público, manualmente y a través de la página web del instituto.

NNSN dispone de servicio teléfono las 24 horas del día, para que el público pueda obtener información sobre eventos sísmicos. En horas de oficina: 55 58 34 10, 55 58 34 20; atención permanente: 55 14 00 98, 55 12 27 23 y 55 93 70 73, www.geo.uib.no

Uso de los datos

- Información general al público acerca de eventos recientes.
- Ejemplos de otros eventos sísmicos: explosiones, embarcaciones encalladas, accidentes (hundimiento de la plataforma Sleipner) y eventos sísmicos inducidos (Ekofisk).
- Amenaza sísmica, datos de NNSN han sido particularmente importante para instalaciones petroleras en el mar.
- Investigación.

Accidente del Rocknes



En relación al accidente Rocknes ocurrido el 19 de enero de 2004, las estaciones de la red NNSN cercanas a Bergen registraron una señal inusual. Los sismogramas muestran el registro de un fuerte temblor en las estaciones: ASK: Askøy, BER: Universidad de Bergen, EGD: Espegrend y RUND: Rundemannen. La hora de inicio es 15:32:10 GMT (16:32:10 hora local). La escala de tiempo es en segundos.

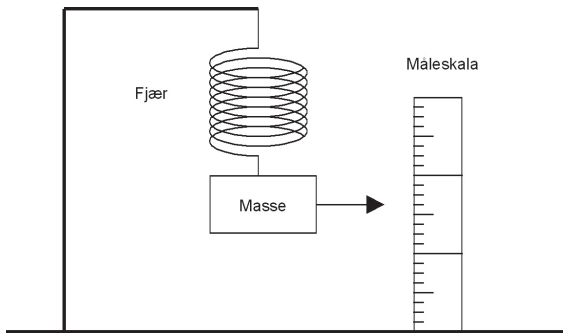
Instrumentos sísmicos

Los instrumentos sísmicos son empleados para registrar los movimientos causados por terremotos, son esenciales para estudiar sismología. Sin estos instrumentos, tendríamos muy poco conocimiento acerca de los terremotos y el interior de la Tierra. A continuación describiremos un poco los instrumentos sísmicos, tanto los mostrados en la exhibición así como otros.

¿Cómo funciona un sismómetro?

El sismómetro junto con la unidad que registra la señal, es llamado sismógrafo.

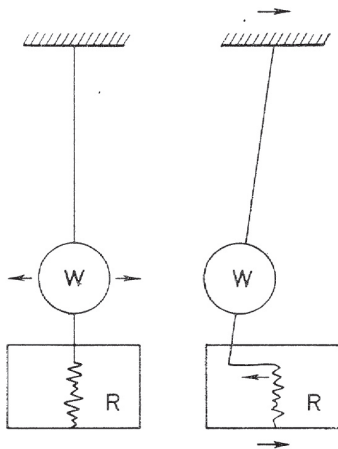
El sismómetro detecta la vibración del suelo y convierte esto en una señal que puede ser registrada. Sismógrafos modernos pueden medir movimientos menores a un nm (la millonésima parte de un milímetro)



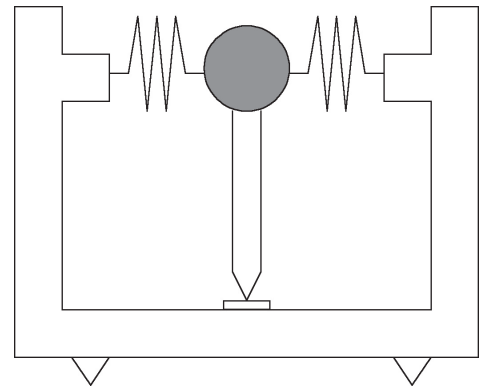
Cómo funciona: Cuando el suelo se mueve rápidamente, la masa se mantiene inmóvil debido a la inercia y obtendremos una medida en la escala a la derecha. Este es el principio del sismógrafo mecánico. El sismógrafo en la figura mide el movimiento vertical del suelo. En sismómetros recientes, hay una bobina eléctrica alrededor de la masa, la cual es magnética, así se genera una señal eléctrica cuando la masa se mueve.

Movimiento horizontal

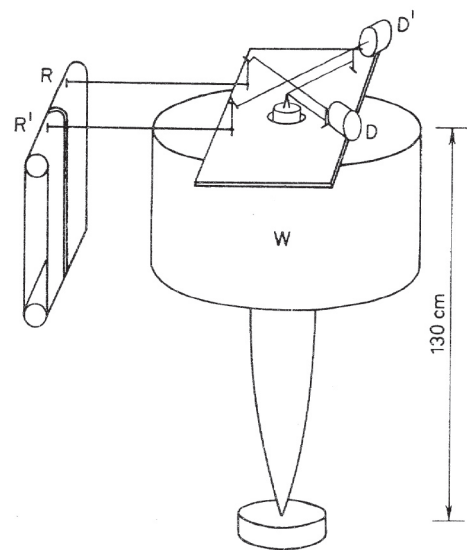
Los terremotos originan movimientos tanto verticales como horizontales. Para medir un movimiento horizontal, necesitamos una masa que pueda oscilar en el plano horizontal.



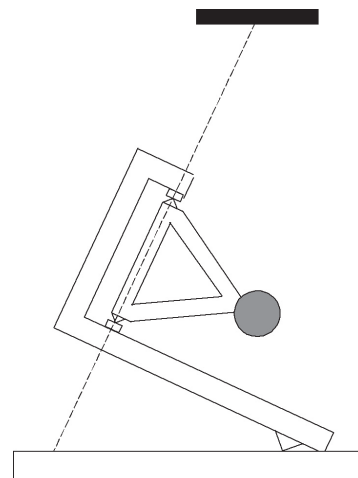
Un péndulo horizontal simple. Cuando el suelo se mueve hacia la derecha, la masa se desplazará a la izquierda y el movimiento del suelo será registrado en el papel, el cual se mueve hacia abajo. La masa puede oscilar en todas las direcciones y debe estar suspendida de una cuerda larga de modo de registrar bajas frecuencias. Por esta razón, se usa una bisagra tipo "puerta de jardín" o péndulo invertido (ver próximas figuras).



Péndulo invertido. La masa puede oscilar en toda dirección horizontal. Este es el principio en el sismógrafo Wiechert, usado en Bergen desde 1921 hasta 1968, ver la figura arriba.

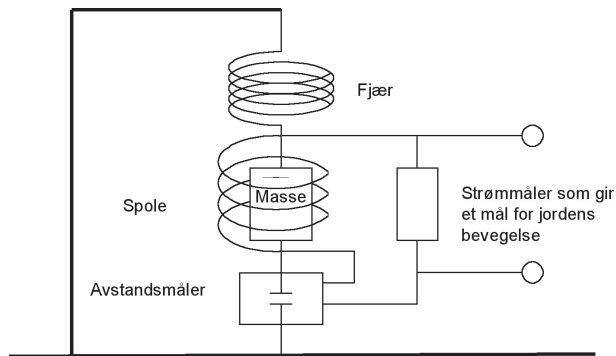


El sismógrafo Wiechert. El movimiento horizontal de la masa es captado por dos brazos los cuales usan un sistema de palancas que pueden amplificar el movimiento y registrarlo en dos tambores rotatorios (R). El sismógrafo puede registrar movimientos horizontales tanto en la dirección Este-Oeste como la Norte-Sur.

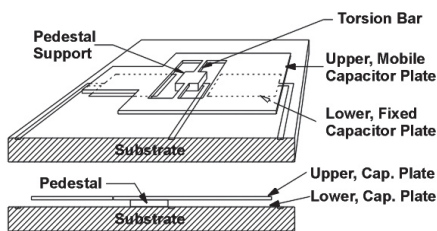


Péndulo "puerta de jardín". La masa se balancea horizontalmente en sólo una dirección. Cuelga a un ángulo inclinado para lograr que se balancee lentamente (como una puerta que cuelga inclinada). Este principio es usado en el sismógrafo Bosch.

Sensores sísmicos modernos



En sismómetros recientes, la masa casi no se mueve. La masa está suspendida de un resorte. El movimiento que a partir del punto de equilibrio se mide con un dispositivo que mide distancia. Tan pronto como la masa trata de moverse, el dispositivo que mide la distancia envía una corriente a través de la bobina, la cual se opone al movimiento de modo que la masa se mantiene estacionaria. Tan grande como sea el movimiento, tan grande será la corriente y el tamaño de la corriente será, por lo tanto, una medida del movimiento del suelo (más correctamente, la aceleración del suelo). Tales instrumentos pueden ser construídos en forma compacta, son muy sensibles y se denominan acelerómetros. Son ampliamente usados para otros propósitos como activar bolsas de aire en los autos.



Acelerómetro en un chip electrónico. El dispositivo para medir distancia es un condensador ("Capacitor plate"), el resorte es una barra de torsión y la masa está en la lámina superior del condensador ("Upper, Mobile Capacitor Plate"). El chip tiene dimensiones de 2x2 mm.

Frecuencias medidas

Los sismómetros miden señales con frecuencias entre 0.001 Hz y 100 Hz

Es relativamente simple construir sismómetros que midan altas frecuencias > 0.1 Hz (sismómetros de corto período)

Los sismómetros que miden bajas frecuencias (< 0.1 Hz) son mucho más difíciles de hacer (sismómetros de largo período)

Modernos (y caros) sismómetros miden tanto alta como bajas frecuencias (sismómetros banda ancha). Técnicamente están basados en el principio del acelerómetro.

Registro de señales sísmicas

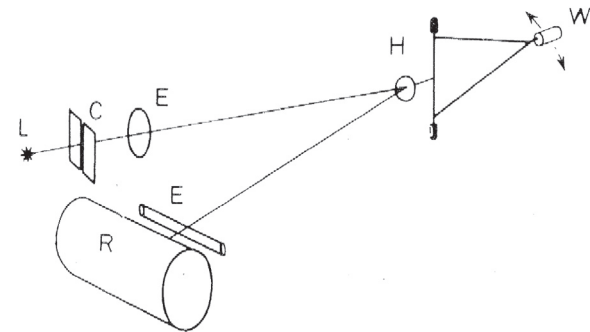
El sensor genera una señal. En el viejo sismógrafo, ésta era registrada mecánicamente.

Todos los sensores modernos generan una señal eléctrica que puede ser registrada de diferentes formas.

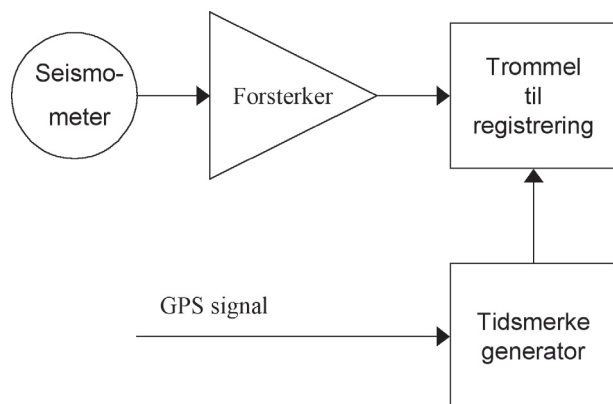
Óptica. La señal eléctrica es enviada a un galvanómetro con un espejo. Un rayo de luz se refleja en el espejo y es registrado en un tambor rotante con papel sensible a la luz. Este sistema fue usado desde comienzos de 1900 hasta hace pocos años.

Registro con pluma. En vez de una pluma con "rayo de luz", es usada una pluma eléctrica la cual también registra en papel sobre un tambor rotatorio. La pluma puede registrar con tinta, rayando sobre papel ahumado o calentándose para dibujar en papel termosensitivo.

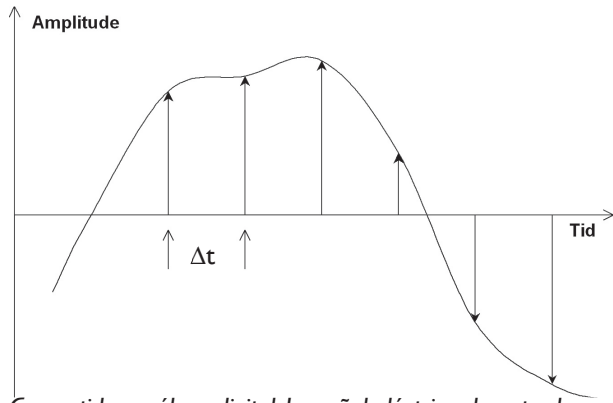
Registro digital. Hoy en día, casi todos los sismógrafos usan registro digital. La señal eléctrica se transforma en una señal digital y se registra en una computadora.



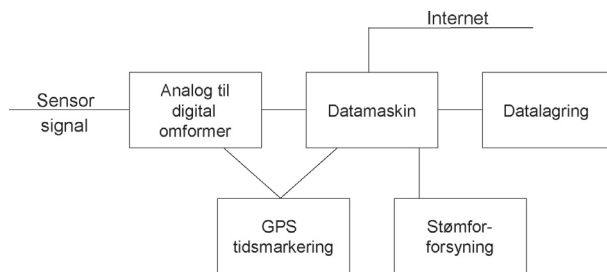
Registro óptico. La señal eléctrica es enviada a un galvanómetro con un espejo (H). Un rayo de luz (L) se refleja en el espejo (H) y se registra en un tambor con papel óptico (R). Delante del tambor, hay un lente óptico que enfoca el rayo de luz.



Registro con pluma de señales sísmicas. La señal del sismómetro es amplificada y enviada a un tambor registrador. La señal de tiempo tomada de un receptor GPS (Global Positioning System) es usada para generar pulsos de hora y minuto registrados junto a la señal. Antes de que las señales de tiempo estuviesen disponibles por radio, los pulsos de tiempo eran generados por un reloj mecánico.



Convertidor análogo digital. La señal eléctrica de entrada es continua, es decir, sabemos el tamaño (amplitud) de la señal en cualquier tiempo. El convertidor análogo digital (AD) mide la amplitud a intervalos de tiempo regulares y proporciona los valores numéricos de las amplitudes como una secuencia de números. Estas son leídas por el computador. Para señales sísmicas, las amplitudes son leídas 100 veces por segundo. Para música grabada en un CD, tenemos 44 000 veces por segundo.

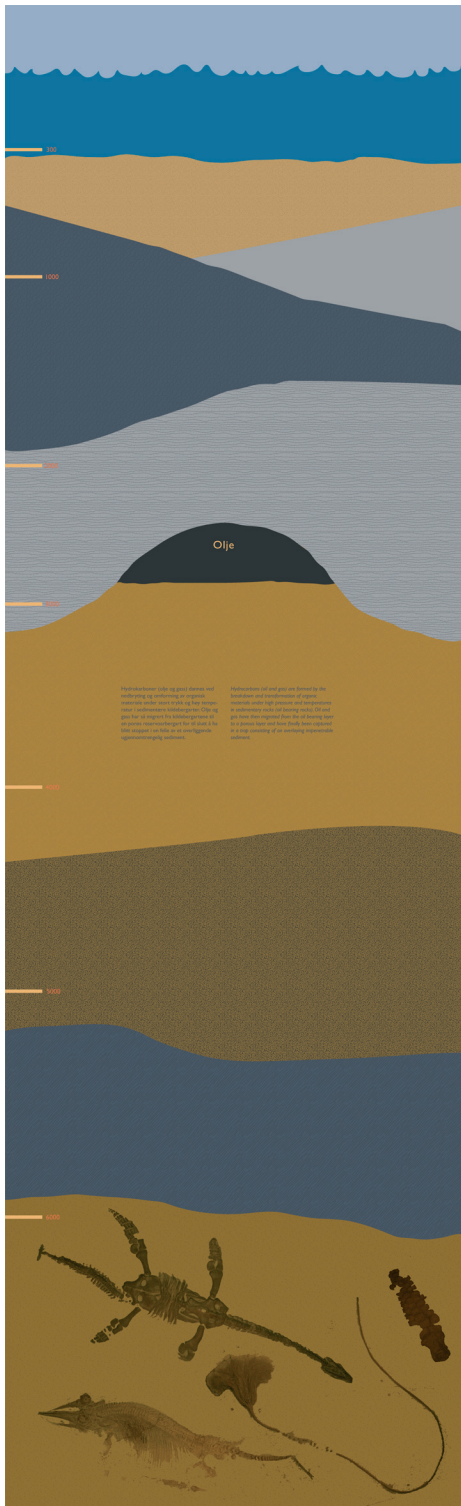


Estación sísmica digital. La señal se envía al convertidor análogo digital el cual convierte la señal a una señal digital. Esta va a un computador, donde es registrada y almacenada. Desde aquí, la señal es enviada, a través de internet, a un centro central de datos. “GPS tidsmarkering” significa marcar el tiempo usando un GPS y “Strømforsyning” es una fuente de poder.

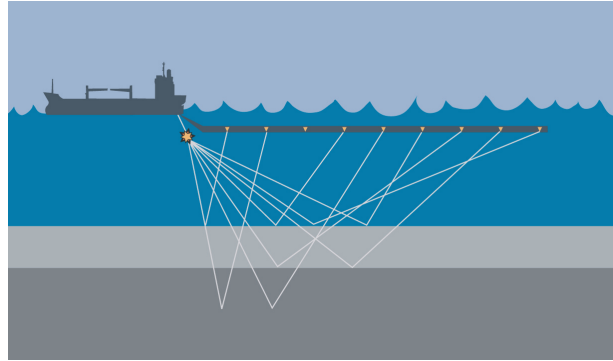
La sismología y el petróleo

Los métodos para buscar petróleo se basan en principios sismológicos. El Observatorio Sismológico ha jugado un papel central desde 1960, tanto en la investigación de la plataforma continental noruega como en educar a aspirantes a trabajar en la industria petrolera noruega y extranjera.

Los hidrocarburos (petróleo y gas) se forman por la descomposición y transformación de materia orgánica bajo alta presión y temperatura, en rocas sedimentarias (rocas productoras de petróleo). El petróleo y el gas se han desplazado de la capa productora hacia una capa porosa y finalmente se acumula en una trampa que consiste de un revestimiento impenetrable de sedimento.



En investigaciones sísmicas, las capas sedimentarias son mapeadas en la búsqueda de trampas que contengan petróleo y gas. En los comienzos, se usaban explosivos para generar ondas sísmicas. Esto generó grandes protestas por parte de pescadores que alegaban que esto perjudicaba mucho las reservas de peces en el mar. Esto produjo una búsqueda intensa de otras fuentes de energía. A finales de los años sesenta, el uso de aire comprimido se convirtió en un buen sustituto, y hoy en día los llamados cañones de aire son ampliamente usados.



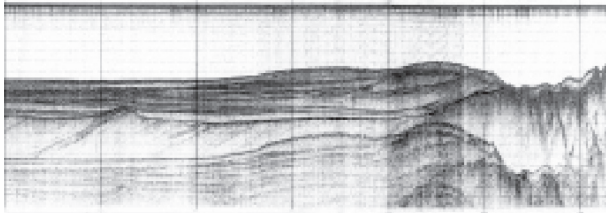
Reflexiones de capas en el subsuelo registrados por sensores colocados en cables sísmicos que son remolcados por el barco.



Barco sísmico moderno.



Disparo de cañones de aire



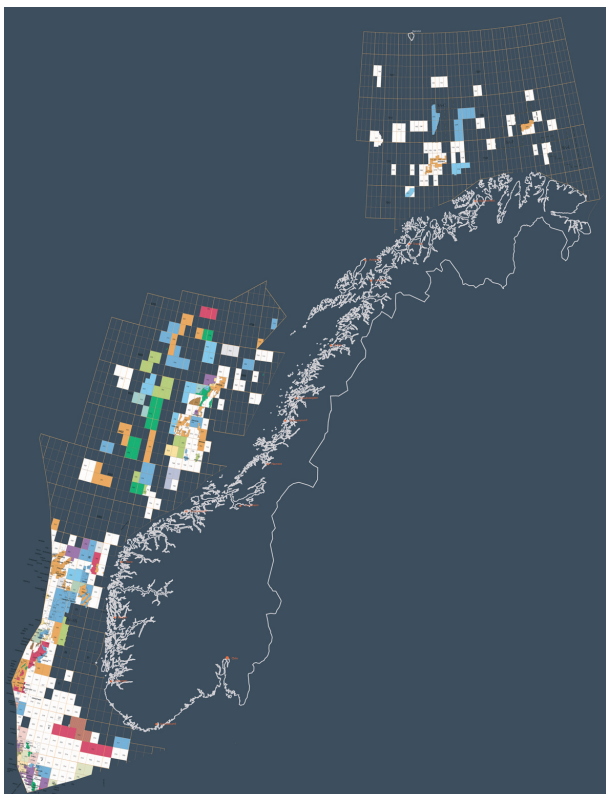
Un ejemplo de una sección sísmica del área oeste de Bergen cruzando Norskerennen. Las capas en el estrato marino son vistas como líneas en la sección sísmica.

Se sabía desde hace tiempo que el sur del Mar del Norte estaba cubierto por rocas sedimentarias. Sin embargo, muchos geólogos creían que éstas estaban limitadas al sur por una línea entre Shetland y el sur de Noruega donde viejas rocas de granito estaban expuestas. Por eso causó sorpresa a muchos expertos cuando el Observatorio Sismológico demostró, con estudios sismológicos, la existencia de masivas capas sedimentarias (de varios kilómetros de espesor) a lo largo de la plataforma continental entera, incluyendo el Mar de Barents y el área alrededor de Svalbard. Como consecuencia, hubo una gran demanda de aspirantes del Observatorio Sismológico y fueron importantes para el establecimiento de la industria petrolera noruega a comienzos de los setenta.

un terremoto hecho por el hombre, de magnitud 5 en mayo de 2001. Registros de la Red Simológica Nacional Noruega fueron importantes para entender este evento.



El campo Ekofisk



Este mapa muestra los campos petroleros en la plataforma continental noruega. Las áreas coloreadas indican los campos donde se explota petróleo.

La primera vez que se descubrió petróleo en la plataforma continental noruega fue en Ekofisk, en el Mar del Norte. Esto ocurrió en 1969 y la producción comenzó en 1971. Este campo se está hundiendo desde hace varios años como consecuencia de la extracción de petróleo. Para prevenir esto, se bombea agua al yacimiento. Debido a un error en un pozo, se bombeó agua en la capa sobre el campo petrolero ocasionando

