



ESTACION MULTIPARAMETROS “SANTA ROSA”: UNA ESTRATEGIA PARA ESTUDIAR EL CICLO SISMICO EN EL NORTE DE CHILE.

DAVID LAZO¹, MANUEL OLCAI¹, JAIME CAMPOS², JEAN CLAUDE RUEGG³, HECHAM CHERIFI¹

INTRODUCCION

Desde hace unos veinte años la noción de “recurrencia de grandes sismos”, relajando episódicamente los esfuerzos acumulados por la inmersión de la litósfera oceánica a lo largo de las zonas de subducción, ha sido utilizada para identificar las “lagunas sísmicas” como base de predicción a largo término del lugar de futuros grandes terremotos.

La zona costera del Norte de Chile y Sur del Perú es una de éstas y los sismólogos esperan allí la ocurrencia de un gran sismo ($M > 8$) en los próximos años. Así, desde 1988 se ha puesto en marcha en el Norte de Chile un programa de estudio multidisciplinario sobre las condiciones de ocurrencia de un evento sísmico mayor. El Institut de Physique du Globe de Paris, el Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile y el Departamento de Física y Matemáticas de la Universidad Arturo Prat, han unido sus esfuerzos y desplegado en la zona una serie de dispositivos geofísicos que permitan estudiar el Ciclo Sísmico, es decir la caracterización de las condiciones en las cuales se acumulan y liberan los esfuerzos, sísmicos y/o asísmicos, asociados a la convergencia de las dos placas.

En 1991 se logró realizar un primer perfil GPS de 17 puntos entre Iquique y el Altiplano Andino, iniciándose con ello las medidas de deformación de la corteza en la parte central de la laguna sísmica. El proyecto busca investigar finamente la evolución espacial y temporal de la deformación cortical para cuantificar el proceso de preparación de un sismo mayor, e identificar eventuales señales precursoras para así llegar a una mejor comprensión de la iniciación de la ruptura sísmica. Junto a lo anterior y como complemento a esta estrategia de detección, se puso en marcha una estación geofísica multiparámetros al interior de Iquique, en el centro de la laguna sísmica. Esta consiste en una serie de dispositivos geofísicos que permiten registrar observables de distinta naturaleza física, en un mismo sitio, buscando cubrir un amplio rango de frecuencias y señales en un gran rango dinámico. Entre los dispositivos instalados se cuentan: inclinómetros, gravímetro, “Water Tube” y un sistema Reftek de adquisición de datos sísmicos. Adicionalmente se dispone de una línea base GPS entre Iquique y Pozo Al Monte de registro continuo, lo que permite medir la evolución de la variación de la distancia relativa entre esos dos puntos. Por otra parte el sistema de balizas GPS (más de 50) que cubren toda la región (desde Arica hasta Taltal en dirección NS y desde mar a cordillera en EW), ha permitido realizar un seguimiento de las deformaciones de la corteza terrestre los últimos 5 años, habiéndose registrado magníficamente el desplazamiento co-sísmico producido con el terremoto del 30 de julio de 1995 de $M_w = 8.1$ ocurrido en Antofagasta (Ruegg, et al., 1995). Los datos recabados por la red del extremo sur de la zona vigilada, han permitido comprender el proceso de ruptura de este terremoto que cubrió el extremo sur de la laguna sísmica comprendida entre el área de ruptura del terremoto de 1877 y el de 1922.

A continuación presentamos una descripción del equipo sísmico digital de vigilancia que comprende un sistema de adquisición REFTEK alimentado por señales provenientes de dos sensores de tres componentes cada uno: un acelerómetro y un sismómetro. El dispositivo en su conjunto corresponde a una estación de banda ancha y gran rango dinámico (144 dB).

¹ Depto. de Física y Matemáticas, Universidad Arturo Prat, 11 de Septiembre 2120, Iquique, Chile

² Depto. de Geofísica, U. de Chile. Blanco Encalada 2085, Casilla 2777, Santiago, Chile. E-mail : jaime@dgf.uchile.cl

³ Depto. de Sismologie, IPGP, 4, Place Jussieu, Tour 24, 75252 Paris Cedex 05, France. E-mail : ruegg@ipgp.jussieu.fr

DESCRIPCION DEL SISTEMA REF TEK DE LA MINA SANTA ROSA

El sistema REFTEK instalado al interior de la mina Santa Rosa se compone de :

El acelerómetro CMG-5

El acelerómetro CMG5 es triaxial, diseñado con un circuito que entrega una respuesta plana entre los 0.015 Hz y los 30 Hz y con una resolución de 10^{-6} m/s^2 . La ganancia de las componentes individuales permite registrar en un amplio rango dinámico de aceleraciones del suelo.

El sismómetro STS-2

El STS-2 es un sismómetro cuyos sensores están ubicados en los eje de una pirámide a 120 grados, lo que permite tener tres sensores iguales y simétricos con respecto a la gravedad (esquema triaxial). Las señales entregadas son proporcionales a la velocidad de partícula del suelo en un amplio intervalo de frecuencias que va desde los 0.01 Hz a los 10 Hz.

Estos dispositivos han sido instalados en el fondo de la mina Santa Rosa, a unos 320 metros de la entrada y conectados a un moderno equipo de adquisición de datos de la Refraction Technology (REF TEK). La estación REF TEK (DAS), convierte las señales en una serie de puntos discretos que son grabados en forma numérica (digitalización) y transmitidos a la superficie, a la entrada de la mina, mediante un sistema Módem, donde son grabados en un disco duro por el 112B.

El DAS tiene 6 canales de datos, los canales 1 a 3 son utilizados por el CMG 5 (vertical y dos direcciones horizontales), los canales 4 a 6 por el STS 2. Los datos son registradas en la forma de tres *stream* o flujo de datos que son :

stream 1 : sismómetro a continuo con 5 puntos por segundo

stream 2: acelerómetro con grabación que es por un movimiento del suelo a 100 puntos por segundo.

stream 3: sismómetro con grabación de 100 puntos por segundo.

El DAS se puede programar y controlar con un PC Pocket , mediante el software FSC, o desde la superficie usando el 112B, un computador portable (notebook) y el software NCI. Un disco duro de 1Giga es conectado al DAS para grabar los datos en caso de falla de conexión con la superficie. En la cabaña, el 112B recibe continuamente los datos del DAS y los graba en uno de los dos disco duro de 500 Mo. Hay cuatro de estos discos, lo que permite cambiar discos para analizar los datos, mediante el software MATLAB.

La energía utilizada por este sistema proviene de un conjunto de paneles solares y baterías comerciales.

ANALISIS DE REGISTROS Y CONCLUSIONES

Presentamos algunos registros sísmicos obtenidos con el sistema de adquisición de datos REFTEK. El análisis de los datos busca poner en evidencia algún tipo de anomalía de bajas frecuencias susceptible de ser relacionada a procesos físicos lentos (sismo silencioso o creep, sismos lentos, etc.) que puedan ser agentes causativos de la activación de un sismo mayor en la zona sismogénica. Nuestra hipótesis de trabajo es que la transferencia de carga tectónica en la zona interplaca se realiza fundamentalmente a través de la región de transición frágil-ductil. La difusión de los esfuerzos sería el mecanismo de propagación, y el campo de deformación observado en superficie, la consecuente manifestación observable que permitiría discriminar la validez de los posibles modelos que expliquen esta parte del Ciclo Sísmico. La actividad sísmica de "fondo" sería modulada por este proceso y su análisis es crucial para relacionar unívocamente las señales de diferente naturaleza física registradas en superficie al proceso físico en profundidad.

La Figura 1 muestra el registro, obtenido con un instrumento de respuesta plana en velocidad (STS-2), del terremoto del 30 de julio de 1995 en Antofagasta ($M_w=8.1$).

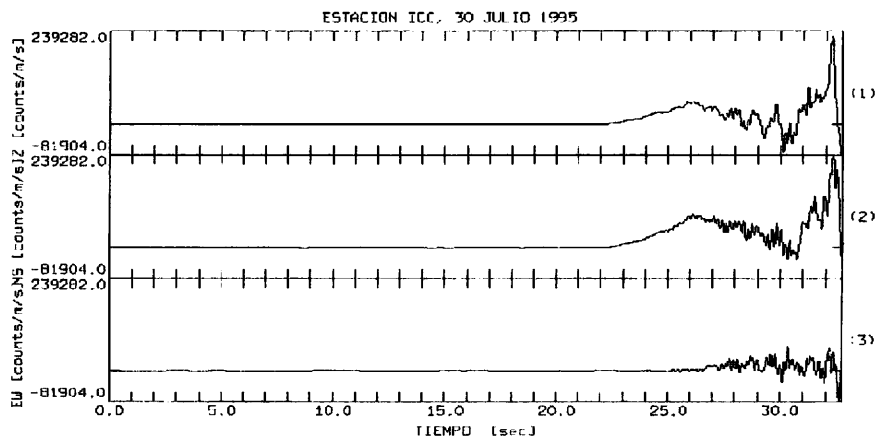


Figura 1

En ella se puede apreciar un inicio de la señal con un importante contenido de bajas frecuencias registrada bastante bien en 2 de las tres componentes (Z, NS y EW ordenadas de arriba a abajo en la figura). Se aprecia que en la componente EW la señal está prácticamente ausente, sugiriendo que esta fase presenta un plano nodal en el diagrama de radiación de la energía para esta componente y en esta estación. La ausencia total de altas frecuencias es una característica notable, al menos en los primeros 8 - 10 segundos desde el inicio. La señal progresa de manera lineal con el tiempo, lo que indicaría, si este efecto no es de trayectoria, una baja tasa de liberación de momento sísmico hasta el momento que aparecen las altas frecuencias donde la señal progresa de manera no-lineal. La polarización que presenta esta fase de inicio, en sus tres componentes, está de acuerdo con el diagrama de radiación del mecanismo focal determinado para este evento ($\phi=11^\circ$, $\delta=19^\circ$, $\lambda=110^\circ$, Ruegg et al., 1995), indicando un mecanismo de origen común con el proceso frágil de la ruptura del evento principal. Una explicación alternativa para esta observación es que, a distancias regionales (algunas centenas de kilómetros), las ondas inhomogéneas que viajan por el Moho son registradas con estas características (Q bajo) perdiendo drásticamente su contenido de altas frecuencias.

La posibilidad de estar frente a una evidencia de "fases de nucleación" puede ser muy alentador, sin embargo se requiere un trabajo de análisis más detallado para poder discriminar entre ésta posibilidad y la de un efecto de trayecto.

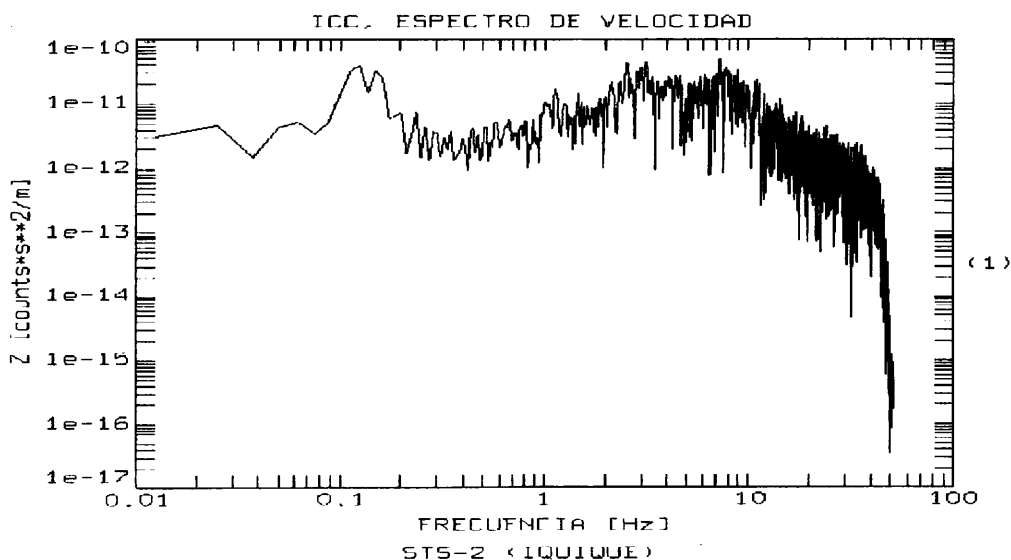


Figura 2

Otro tipo de análisis, esta vez en el dominio de Fourier, nos permite analizar el contenido de frecuencias de los sismogramas registrados por el sismógrafo de banda ancha. La Figura 2 muestra un caso de análisis del espectro de velocidades para un evento local ($H \approx 100$ km) con una frecuencia de esquina de ≈ 8 Hz. Se puede observar que además de las dos frecuencias predominantes en el espectro a 8 y 3 Hz, otra que sobresale a más baja frecuencia (0.16 Hz) correspondiente al efecto del mar pese a que la estación sismológica se encuentra a más de 30 km de distancia del litoral. Este tipo de efectos detectados en las señales son frecuentes en estaciones de banda ancha y gran rango dinámico. Ejemplos similares se observan en la estación banda ancha instalada por el DGF de la U. de Chile al interior de la mina El Teniente, en la cordillera al interior de la ciudad de Rancagua, mostrando un comportamiento similar en el espectro.

La estrategia de búsqueda de fases de muy baja frecuencia mediante el análisis de los registros obtenidos de los diferentes dispositivos instalados en la estación multiparámetros parece no sólo indicada en términos de los objetivos buscados, sino que además generando resultados alentadores como los que se han presentado en estos ejemplos.