

RED SÍSMICA TEMPORAL DE LA PAZ: BOLETÍN DE INFORMACIÓN SÍSMICA (SEPTIEMBRE-OCTUBRE DE 1996)

Luis Munguía-Orozco¹, Tito Valdéz-López¹, Miguel Navarro-Sánchez¹, Arturo Cruz-Falcón¹ y Sergio Mayer-Geraldo²

¹Depto. de Sismología, División Ciencias de la Tierra, CICESE
Km 107, Carretera Tijuana-Ensenada, C.P. 22860, Ensenada, Baja California, México.

²Depto. de Geología Marina, Universidad Autónoma de Baja California Sur
A.P. 19-B, La Paz, Baja California Sur, México.

INTRODUCCIÓN

En este boletín se proporciona información sobre la sismicidad registrada por la Red Sísmica Temporal de La Paz, Baja California Sur (RESIPAZ) que ha estado en funcionamiento desde el 4 de Septiembre de 1996 hasta el presente. Esta red se instaló como un proyecto financiado por el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE). La idea de instalar esta red sismológica surgió posteriormente a la ocurrencia de los temblores del 30 de Junio de 1995 (Magnitudes Mw 6.2 y 5.8), los cuales causaron algunos daños materiales menores en la ciudad de La Paz y alarma generalizada entre sus alrededor de 200 000 habitantes. Originalmente se contempló la instalación de cuatro estaciones analógicas que funcionaran de Septiembre a Diciembre de 1996, como un experimento exploratorio que proporcionara información respecto al nivel de la actividad tectónica de la región. Actualmente ya se mantienen cinco estaciones en operación.

En los primeros tres meses de monitoreo sísmico se ha registrado una cantidad significativa de eventos, algunos de los cuales alcanzaron magnitudes de alrededor de 3.0. Un conteo de eventos en los sismogramas obtenidos indica que, en promedio, se registran diariamente de 10 a 15 microtemblores con magnitudes mayores o iguales a 1.0. Esta actividad sísmica es evidencia de la reactivación de la falla La Paz, la cual se manifestó claramente en los temblores del 30 de Junio de 1995. Con base en esto, y dada la importancia de obtener información sobre los procesos tectónicos de la región, se hará lo posible por continuar nuestro monitoreo sísmico con esta red de cinco estaciones durante 1997.

El contenido del presente trabajo incluye información detallada respecto a la ubicación de las estaciones, al tipo de instrumentos que las constituyen y a los parámetros hipocentrales de los temblores que fueron localizados.

OBJETIVOS

El objetivo específico de la Red Sísmica Temporal de La Paz es proporcionar información precisa que permita localizar los epicentros de todos los temblores que ocurran en el entorno

de La Paz. La correlación de estos epicentros con las fallas que existen en la región será de utilidad para entender como el régimen de esfuerzos que controla al sistema principal de fallas del Golfo de California influye sobre la región. Ésto es de importancia para la obtención de evaluaciones confiables del posible riesgo sísmico que la actividad tectónica de la región plantea a la ciudad de La Paz y a otras poblaciones en desarrollo.

Los objetivos específicos de la red son:

Monitorear continuamente la actividad sísmica de la zona de falla La Paz con cinco estaciones analógicas.

Analizar la información registrada en términos de la distribución geográfica de los epicentros, las profundidades de las fuentes sísmicas, las magnitudes y la correlación de los temblores con las fallas regionales.

Difundir los resultados entre la comunidad científica y las autoridades del gobierno de Baja California Sur, a través de boletines sísmicos, informes técnicos y publicaciones en revistas científicas.

ANTECEDENTES SÍSMICOS DE LA REGIÓN

El sistema de fallas del Golfo de California define una sección de la frontera entre las grandes placas tectónicas del Pacífico y Norteamérica (Figura 1). La actividad sísmica generada por este sistema de fallas es moderada, con temblores fuertes que pueden alcanzar magnitudes hasta de alrededor de los 7.0 grados. El régimen tectónico de esfuerzos que controla este sistema de fallas influye en las regiones aledañas, dando lugar a la generación de fallas de segundo orden que ocasionalmente producen temblores que causan daños y alarma en los centros de población.

Una de las fallas asociadas al sistema del Golfo de California es la falla La Paz. Esta falla es una estructura que cruza la península, desde la porción oriental de la Isla Espíritu Santo hasta el Océano Pacífico, prolongándose a través del cañón submarino La Tinaja. En este último la falla forma una amplia zona de fallas subparalelas, con bloques aparentemente caídos hacia el Este. Las evidencias sísmicas y cartográficas sugieren tanto sentidos de movimiento lateral izquierdo como derecho,

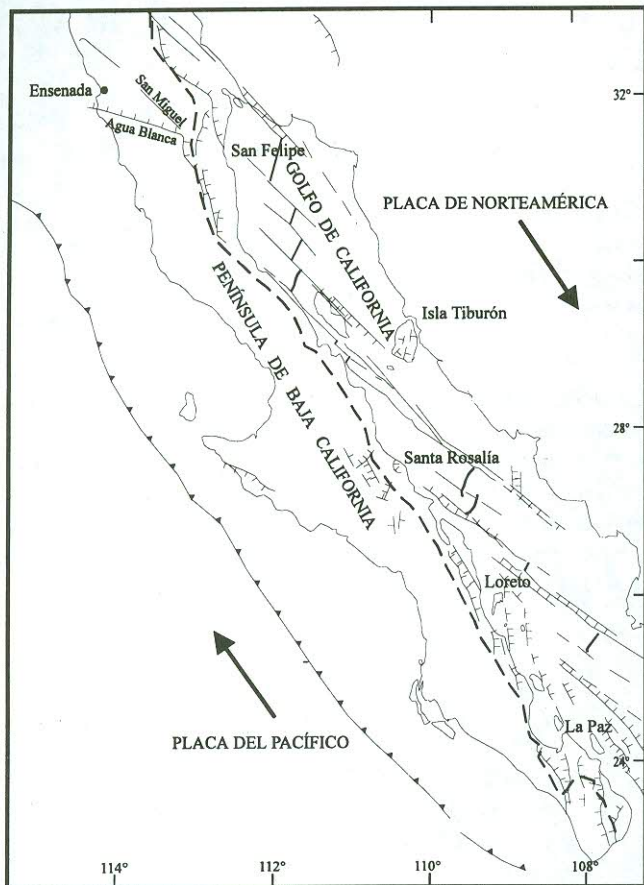


Figura 1. Sistema de fallas del Golfo de California. Este sistema constituye la frontera entre las placas Pacífico y Norteamérica.

no pudiéndose determinar con precisión la dirección de desplazamiento horizontal (Normark y Curray, 1968; Molnar, 1973).

El registro histórico de la sismicidad de la región de La Paz es virtualmente nulo. Al menos para los últimos 50 años no se tiene conocimiento de que hayan ocurrido temblores fuertes en la vecindad de la ciudad de La Paz. Los únicos tres temblores de importancia que han ocurrido en la región de interés en las últimas décadas fueron reportados por Molnar (1973). El primero ocurrió el 4 de Abril de 1969, tuvo una magnitud igual a 5.6 y un epicentro al Este de la Isla Cerralvo. Los otros dos, ambos de magnitud 5.3, ocurrieron el 21 y el 22 de Agosto de 1969, y fueron asociados con el segmento suroeste de la falla La Paz, ya en el interior del Océano Pacífico. Las soluciones de plano de falla determinadas por Molnar (1973) para estos eventos indican una combinación de movimientos lateral izquierdo y normal.

A excepción de los sismos reportados por Molnar (1973), durante los últimos años los temblores de magnitud más relevante habían ocurrido siempre en el interior del Golfo de California. Sorpresivamente, en la mañana del 30 de Junio de 1995 la población de La Paz sintió los fuertes efectos de dos temblores de magnitudes 6.2 y 5.8. Estos temblores, originados

por la falla La Paz, tuvieron sus epicentros al norte de este importante centro de población, a distancias de unos 50 y 20 km del centro de la ciudad, respectivamente (Figura 2). Se reportaron algunos daños materiales en la ciudad de La Paz y se observó alarma generalizada entre sus habitantes. Es importante hacer notar que no se obtuvo ningún registro sísmico en la vecindad de estos temblores por no existir estaciones sismológicas en la región. Las estaciones más cercanas a los epicentros de estos eventos están ubicadas a varios cientos de kilómetros. Consecuentemente, la ubicación geográfica de estos temblores se obtuvo con datos de estaciones sismológicas lejanas, de manera que los parámetros hipocentrales determinados solo son una primera aproximación a los parámetros reales de esos temblores. Los epicentros de estos temblores se indican con las estrellas en la Figura 2.

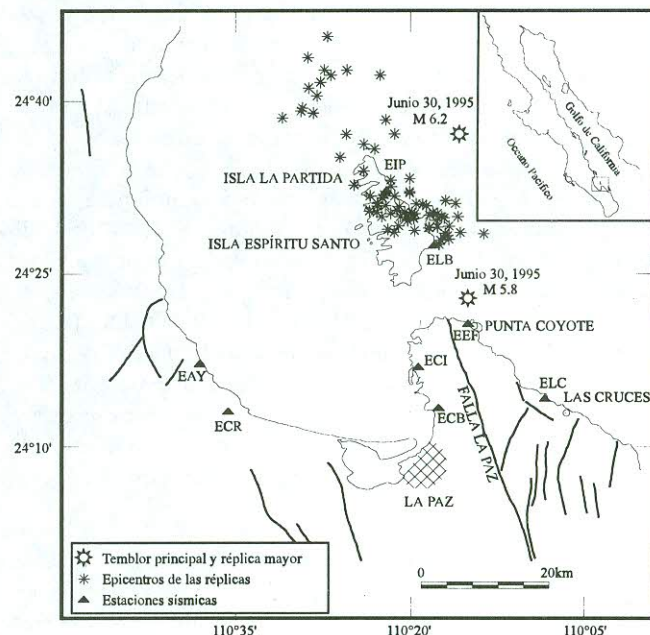


Figura 2. Epicentros del temblor de La Paz y de algunas réplicas registradas durante los 15 días posteriores a la ocurrencia del evento principal.

INSTRUMENTACIÓN DE LA ZONA DE FALLA LA PAZ

RED SÍSMICA TEMPORAL INSTALADA EN 1995

Posterior a la ocurrencia de los temblores de Junio de 1995 se instaló, por parte del CICESE, una red temporal de estaciones sismológicas (analógicas y digitales) en la vecindad de La Paz, para registrar la actividad subsecuente. Estas estaciones se indican en la Figura 2 con los triángulos. En un periodo de solamente 12 días la red registró varios cientos de temblores, algunos de los cuales tuvieron magnitudes (Richter) hasta de 3.5. Esta actividad subsecuente, sin embargo, continuó por mucho más tiempo, existiendo la posibilidad de que aún continúe, como se hará notar posteriormente. Desafortunadamente, y por cuestiones económicas, no fue

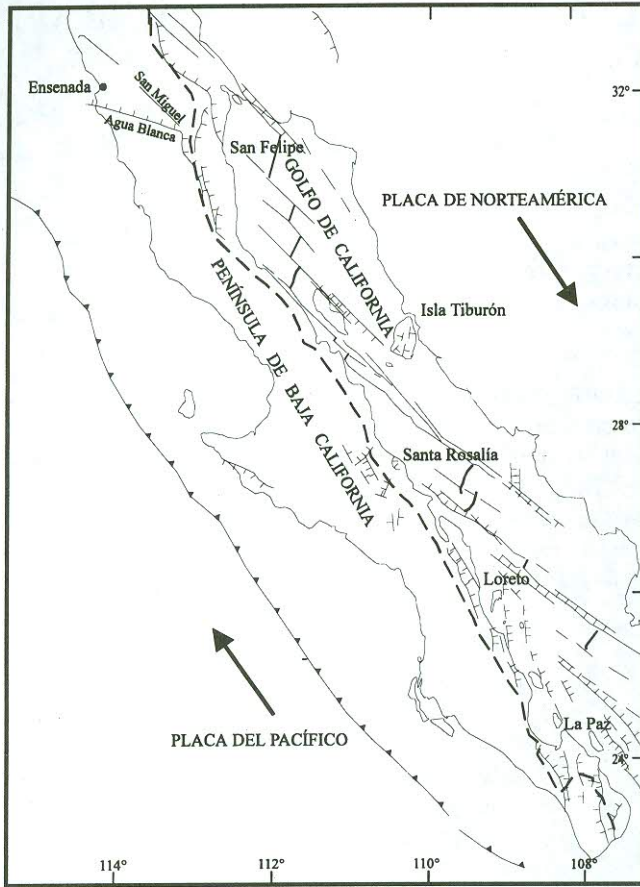


Figura 1. Sistema de fallas del Golfo de California. Este sistema constituye la frontera entre las placas Pacífico y Norteamérica.

no pudiéndose determinar con precisión la dirección de desplazamiento horizontal (Normark y Curray, 1968; Molnar, 1973).

El registro histórico de la sismicidad de la región de La Paz es virtualmente nulo. Al menos para los últimos 50 años no se tiene conocimiento de que hayan ocurrido temblores fuertes en la vecindad de la ciudad de La Paz. Los únicos tres temblores de importancia que han ocurrido en la región de interés en las últimas décadas fueron reportados por Molnar (1973). El primero ocurrió el 4 de Abril de 1969, tuvo una magnitud igual a 5.6 y un epicentro al Este de la Isla Cerralvo. Los otros dos, ambos de magnitud 5.3, ocurrieron el 21 y el 22 de Agosto de 1969, y fueron asociados con el segmento suroeste de la falla La Paz, ya en el interior del Océano Pacífico. Las soluciones de plano de falla determinadas por Molnar (1973) para estos eventos indican una combinación de movimientos lateral izquierdo y normal.

A excepción de los sismos reportados por Molnar (1973), durante los últimos años los temblores de magnitud más relevante habían ocurrido siempre en el interior del Golfo de California. Sorpresivamente, en la mañana del 30 de Junio de 1995 la población de La Paz sintió los fuertes efectos de dos temblores de magnitudes 6.2 y 5.8. Estos temblores, originados

por la falla La Paz, tuvieron sus epicentros al norte de este importante centro de población, a distancias de unos 50 y 20 km del centro de la ciudad, respectivamente (Figura 2). Se reportaron algunos daños materiales en la ciudad de La Paz y se observó alarma generalizada entre sus habitantes. Es importante hacer notar que no se obtuvo ningún registro sísmico en la vecindad de estos temblores por no existir estaciones sísmológicas en la región. Las estaciones más cercanas a los epicentros de estos eventos están ubicadas a varios cientos de kilómetros. Consecuentemente, la ubicación geográfica de estos temblores se obtuvo con datos de estaciones sísmológicas lejanas, de manera que los parámetros hipocentrales determinados solo son una primera aproximación a los parámetros reales de esos temblores. Los epicentros de estos temblores se indican con las estrellas en la Figura 2.

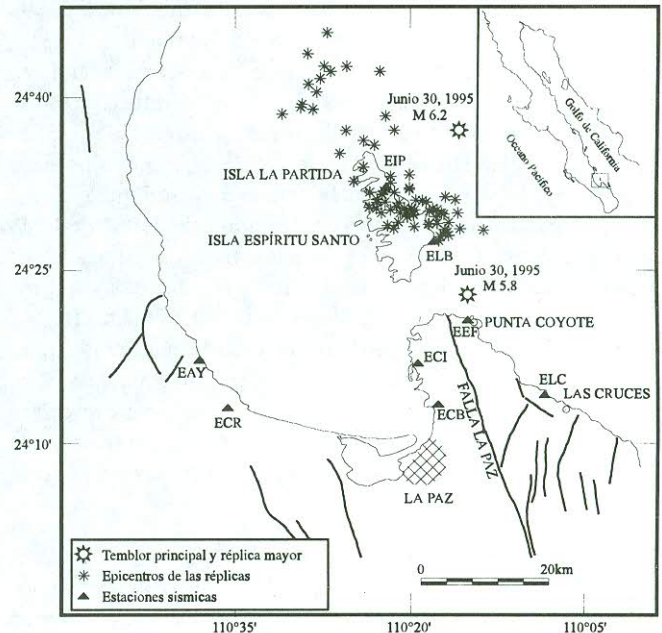


Figura 2. Epicentros del temblor de La Paz y de algunas réplicas registradas durante los 15 días posteriores a la ocurrencia del evento principal.

INSTRUMENTACIÓN DE LA ZONA DE FALLA LA PAZ

RED SÍSMICA TEMPORAL INSTALADA EN 1995

Posterior a la ocurrencia de los temblores de Junio de 1995 se instaló, por parte del CICESE, una red temporal de estaciones sísmológicas (analógicas y digitales) en la vecindad de La Paz, para registrar la actividad subsecuente. Estas estaciones se indican en la Figura 2 con los triángulos. En un periodo de solamente 12 días la red registró varios cientos de temblores, algunos de los cuales tuvieron magnitudes (Richter) hasta de 3.5. Esta actividad subsecuente, sin embargo, continuó por mucho más tiempo, existiendo la posibilidad de que aún continúe, como se hará notar posteriormente. Desafortunadamente, y por cuestiones económicas, no fue

posible mantener en operación esa red temporal por un período más largo. Los epicentros de las réplicas registradas definieron una zona elongada que se extiende al Este de la Isla Espíritu Santo (asteriscos en la Figura 2) y orientada noroeste-sureste. Esta distribución de epicentros es consistente con los notorios deslizamientos de material observados en el flanco Este de la Isla Espíritu Santo. Los resultados preliminares del estudio de la información registrada se describen en un informe técnico preparado por Munguía (1995).

RED SÍSMICA TEMPORAL INSTALADA EN 1996

A un año de la ocurrencia de los temblores fuertes de Junio de 1995, una red sísmica temporal, consistente en cuatro estaciones analógicas, inició sus operaciones a partir del 4 de Septiembre de 1996 con financiamiento del CICESE. Posteriormente se añadió una quinta estación analógica a la red. En la Figura 3 se muestra la ubicación de las estaciones que configuran la red (triángulos). Estas estaciones registran las señales detectadas en papel ahumado, lo cual constituye una limitante en la información que se extrae de los sismogramas generados. No obstante, los tiempos de arribo de las diferentes ondas elásticas, medidos directamente en los sismogramas, son de gran utilidad para la determinación de los epicentros de los temblores que las originaron.

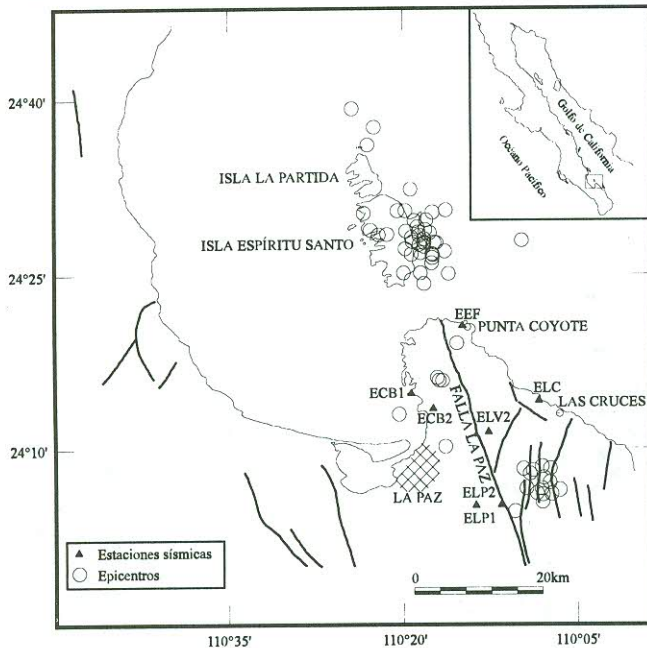


Figura 3. Actividad sísmica registrada en el periodo Septiembre-Octubre de 1996.

La función principal de una red sismológica es la determinación precisa de los hipocentros con base en los tiempos de arribo de las diferentes fases sísmicas presentes en los sismogramas. La elección de los sitios de registro de la Figura 3, se hizo de tal manera que el ruido sísmico de fondo fuera mínimo en cada uno de ellos. Las ganancias de operación permitidas por los niveles de ruido de cada sitio van de 66 a 84 decibeles.

La instrumentación instalada consiste en sismógrafos Sprengnether, modelo MEQ-800, con sensores Kinematics, modelo Ranger SS-1 de periodo corto (1 seg). Estos sismógrafos registran, en papel ahumado, la componente vertical del movimiento del suelo. El control de tiempo en los registros se proporciona a través de receptores de tiempo WWVB integrados a los equipos, con los cuales se logra que el código de esta señal de tiempo sea inscrita en los sismogramas a periodos regulares de 6 horas. La Tabla 1 presenta la relación de estaciones y la información correspondiente a sus coordenadas geográficas. En la tabla se indican más de cinco sitios de registro debido a que algunas estaciones tuvieron que ser reubicadas en sitios menos ruidosos. La localización final de las estaciones reubicadas corresponde a aquellas cuyos códigos terminan en 2.

Tabla 1. Coordenadas geográficas de las estaciones

Estación	Código	Latitud	Longitud
Las Cruces	ELC	24°14.105'	110°08.361'
Costa Baja 1	ECB1	24°13.292'	110°17.509'
Costa Baja 2	ECB2	24°13.306'	110°17.538'
El Faro	EEF	24°20.567'	110°14.990'
La Presa 1	ELP1	24°05.221'	110°13.828'
La Presa 2	ELP2	24°04.952'	110°11.605'
Las Vinoramas 1	ELV1	24°11.277'	110°12.702'
Las Vinoramas 2	ELV2	24°11.261'	110°12.720'

La instalación de esta red sísmica temporal en la zona de falla La Paz es una más de las contribuciones del CICESE a los estudios de áreas sísmicas del estado de Baja California Sur. En los últimos 10 años se han realizado estudios de microsismicidad en el área de San Carlos (Wong y Munguía, 1989), en el complejo volcánico Las Tres Virgenes (Munguía y Wong, 1995) y en la sección norte de la falla La Paz (Munguía *et al.*, 1992; Munguía, 1995). La información que está produciendo la red aportará conocimientos adicionales a los obtenidos en los estudios realizados en 1989 y 1995 en la zona de falla La Paz. De este modo se espera que las localizaciones detalladas de los epicentros, los mecanismos focales determinados y los parámetros de fuente calculados permitan, en un futuro no muy lejano, examinar los patrones de ocurrencia sísmica y analizar la manera en que la corteza evoluciona en su preparación para la generación de temblores fuertes. La información producida por esta red y los resultados derivados de su estudio serán de utilidad en el desarrollo de programas enfocados hacia la reducción del peligro sísmico de La Paz y en el diseño de obras civiles con capacidad para resistir fuertes oscilaciones sísmicas. Ésto, en regiones de actividad sísmica, ha sido de gran valía para minimizar las pérdidas materiales y humanas comúnmente observadas durante la ocurrencia de temblores fuertes.

La difusión de la información obtenida con la red de La Paz se hará a través de boletines como éste, informes técnicos y publicaciones en revistas científicas.

LOCALIZACIÓN DE EPICENTROS

Para la localización de los epicentros, se midieron los tiempos de arribo de las fases P y S radiadas por las fuentes de los eventos registrados. En virtud de que los sismogramas tienen marcas de minuto a cada 120 mm, la resolución obtenida en este proceso de lecturas de tiempo es de alrededor de ± 0.05 segundos para ondas P. En el caso de ondas S la precisión es generalmente menor. Cuando los tiempos de arribo de las ondas S no son suficientemente claros se eliminan del proceso de localización.

Del proceso de localización se obtuvieron 63 epicentros preliminares, los cuales fueron determinados usando el programa HYPO71 de Lee y Lahr (1975). Estos epicentros se graficaron con círculos en la Figura 3. En el proceso de localización de epicentros, factores como la validez del modelo de velocidades utilizado y las anomalías de velocidad que puedan existir en la región juegan un papel importante en la determinación de los parámetros hipocentrales. Debido a que no se cuenta con información que permita especificar un modelo de velocidades para la corteza de la Tierra en la región de La Paz, se utilizó preliminarmente el modelo de velocidades indicado en la Tabla 2, el cual es una extrapolación de información litológica del área de San Carlos, Baja California Sur (López-Ramos, 1982).

Tabla 2. Modelo de velocidades utilizado en la localización de los parámetros hipocentrales

Velocidad (km/seg)	Espesor (km)
3.8	4.0
5.3	9.0
6.6	11.4
7.8	∞

La relación completa de los eventos localizados se presenta en la Tabla 3. Conjuntamente con los parámetros hipocentrales se incluyen también los errores estándar producidos en su determinación. Todos los temblores de esta tabla cumplen con el criterio de que el valor del error cuadrático medio de los residuales, RMS, sea menor a 0.3 segundos, y que los errores estándar del epicentro, ERH, y de la profundidad focal, ERZ, a excepción de unos cuantos eventos, sean menores o iguales a 3.0 km. Por esta razón, y por el hecho de que un buen número de los microtemblores grabados no se pudieron localizar, por no haber sido registrados en un número suficiente de estaciones, es claro que la cantidad de eventos que aparece en la Tabla 3 no representa la sismicidad total detectada por la red. Como se indicó anteriormente, un conteo de eventos en los sismogramas obtenidos indica que, en promedio, se registran diariamente de 10 a 15 microtemblores con magnitudes mayores o iguales a 1.0.

Tabla 3. Epicentros localizados para temblores ocurridos en la zona de falla La Paz durante Septiembre y Octubre de 1996

Fecha	Tiempo Origen	Latitud	Longitud	Prof.	Mag.	RMS	ERH	ERZ
960906	720 49.79	24°25.13	110°18.51	12.54	1.99	0.12	2.7	0.6
960906	1320 13.72	24°26.43	110°17.49	9.36	1.90	0.13	1.7	0.9
960907	2039 45.28	24°29.66	110°18.02	11.70	2.03	0.09	2.3	0.6
960908	602 30.82	24°28.58	110°17.71	8.03	1.71	0.00	0.0	0.0
960908	927 14.91	24°27.41	110°18.22	12.06	1.84	0.02	0.8	0.3
960908	1544 21.06	24°28.06	110°18.21	12.21	1.58	0.00	0.0	0.0
960909	1411 59.11	24°26.99	110°16.43	12.63	1.97	0.03	0.3	0.1
960909	2102 31.96	24°26.77	110°17.52	12.94	2.13	0.09	1.1	0.3
960912	1414 21.51	24°26.68	110°17.45	17.94	2.52	0.24	3.5	2.5
960912	1710 51.24	24°25.06	110°16.11	19.33	2.11	0.11	2.2	1.5
960913	227 05.71	24°28.72	110°19.75	10.77	2.41	0.10	2.1	3.1
960913	421 57.81	24°28.65	110°18.69	11.13	2.16	0.09	1.6	0.7
960918	1449 16.51	24°06.62	110°09.44	12.04	2.32	0.12	1.6	0.8
960920	2013 07.77	24°07.83	110°09.15	2.55	2.59	0.20	1.6	0.5
960921	502 44.45	24°08.13	110°08.89	1.42	1.96	0.08	0.0	0.0
960921	2126 26.32	24°08.25	110°09.70	1.98	2.24	0.09	0.0	0.0
960921	2127 43.45	24°06.15	110°07.27	4.00	1.88	0.13	0.0	0.0
960922	1540 05.63	24°08.45	110°08.10	1.39	2.31	0.01	0.0	0.0
960923	1333 32.73	24°27.90	110°09.81	19.75	2.12	0.01	0.7	0.3
960926	1017 02.07	24°26.73	110°19.29	12.96	1.51	0.11	2.4	0.6
960926	110°3 20.95	24°12.91	110°20.37	12.71	2.10	0.03	0.4	0.3
960928	1752 40.24	24°30.51	110°16.33	11.13	2.96	0.05	0.9	0.4
960929	305 01.50	24°28.44	110°21.37	11.76	2.26	0.03	0.8	0.5
961001	2157 00.08	24°27.73	110°17.15	11.91	2.04	0.07	1.4	0.5
961002	142 24.27	24°27.73	110°18.18	16.00	2.16	0.06	1.2	1.0
961002	1600 26.82	24°08.27	110°07.40	11.11	2.33	0.02	0.4	0.4
961004	1233 22.03	24°27.75	110°17.33	9.77	2.22	0.06	0.9	1.2
961006	150 18.24	24°32.30	110°19.36	10.49	2.03	0.12	2.9	1.3
961006	1814 27.80	24°10.15	110°16.40	11.80	2.19	0.10	1.5	1.5
961007	1157 29.47	24°06.20	110°08.53	9.89	2.19	0.27	2.3	1.5
961010	2239 59.59	24°27.80	110°19.17	11.97	1.90	0.07	0.9	0.3
961011	815 17.81	24°28.84	110°18.11	12.03	1.71	0.05	1.0	0.2
961011	919 16.61	24°25.99	110°17.55	12.44	2.26	0.06	0.9	0.3
961011	1131 25.21	24°26.85	110°18.52	12.91	1.92	0.11	1.8	0.5
961011	1926 07.54	24°39.22	110°24.37	20.49	2.10	0.04	1.3	0.5
961011	1926 11.82	24°24.21	110°18.21	17.02	2.00	0.30	1.3	0.8
961012	851 57.18	24°25.13	110°19.97	11.85	1.88	0.04	0.9	0.2
961012	944 25.34	24°05.49	110°08.06	8.06	1.63	0.00	0.0	0.0
961013	145 53.84	24°15.81	110°16.94	13.49	1.45	0.09	0.9	1.4
961013	415 56.92	24°15.79	110°16.65	14.31	1.56	0.08	0.4	0.6
961013	905 48.11	24°16.05	110°17.09	15.11	1.71	0.08	0.5	0.7
961015	158 48.96	24°07.50	110°07.95	2.33	1.58	0.17	1.8	4.1
961015	703 54.95	24°06.09	110°08.02	7.46	1.00	0.07	0.8	0.8
961015	704 12.25	24°04.70	110°10.42	11.24	1.78	0.07	1.7	0.6
961015	705 30.21	24°06.48	110°06.56	1.25	1.87	0.22	1.3	1.3
961015	1131 02.72	24°51.72	110°15.00	17.57	2.14	0.10	3.7	1.1
961015	1956 06.21	24°19.04	110°15.41	11.43	2.22	0.17	1.0	1.4
961017	1417 17.81	24°27.57	110°18.61	12.45	2.80	0.07	1.0	0.3
961017	1928 21.53	24°28.34	110°18.62	12.03	2.25	0.10	1.3	0.5
961017	2105 35.48	24°28.15	110°19.27	11.11	1.90	0.08	0.7	0.2
961019	237 55.84	24°29.62	110°19.03	11.38	1.72	0.08	1.2	0.4
961019	1524 25.18	24°28.81	110°22.80	10.97	2.48	0.15	2.0	0.6
961019	1540 39.59	24°30.26	110°23.39	11.08	2.70	0.17	2.2	0.8
961020	1419 05.82	24°36.09	110°23.05	13.34	2.09	0.01	0.1	1.3
961020	1419 08.39	24°27.20	110°19.81	12.89	2.03	0.08	2.1	0.1
961021	1410 23.23	24°30.45	110°20.49	11.27	2.53	0.11	1.5	0.5
961023	1302 22.12	24°30.46	110°19.80	10.49	2.06	0.07	0.8	0.3
961025	254 33.26	24°30.33	110°17.48	10.05	2.37	0.14	0.7	0.5
961028	840 49.98	24°37.62	110°22.49	21.87	2.41	0.04	1.1	0.4
961028	1018 22.72	24°28.39	110°22.10	11.91	3.03	0.16	1.7	0.5
961028	1332 56.78	24°29.07	110°18.78	12.34	3.03	0.03	0.5	0.1
961028	1749 10.63	24°07.10	110°07.43	2.65	2.50	0.15	0.7	0.5
961031	621 24.19	24°06.59	110°08.12	7.43	2.80	0.12	1.1	1.2

CÁLCULO DE MAGNITUDES

Las magnitudes asignadas a los eventos de la Tabla 3 fueron calculadas con la expresión

$$M_T = -0.45 + 1.81 \log(\tau) + 0.0033 \Delta$$

donde τ es la duración de la señal, medida (en segundos) a partir del inicio de la señal de la onda P hasta que la amplitud de la señal se confunde con el ruido observado en el sismograma, y Δ es la distancia epicentral (en kilómetros). Esta expresión, obtenida empíricamente por González-Ruiz y Munguía (1992) con datos de temblores de la región norte de Baja California, se

utilizó con los eventos de este boletín por no existir una expresión propia para la región.

OBSERVACIONES GENERALES

En la Figura 3 se muestra un mapa con la distribución geográfica de los epicentros determinados (círculos) e incluidos en la Tabla 3. Las magnitudes calculadas a partir de la duración de la señal están entre 1.0 y 3.0, mientras que las profundidades focales calculadas varían entre 2 y 20 km, aunque la gran mayoría de los temblores ocurrieron a profundidades entre 10 y 13 km.

La distribución de epicentros delimita claramente dos zonas de actividad importantes, una localizada en el costado Este de la Isla Espíritu Santo y la otra hacia el Este de la ciudad de La Paz. Fuera de estas dos concentraciones de epicentros solamente se observan algunos epicentros dispersos en la región. Al parecer los temblores generados al Este de la Isla Espíritu Santo pueden ser considerados como réplicas de los temblores fuertes de Junio 30 de 1995, según lo sugiere la Figura 4, en la cual se graficaron los epicentros de réplicas registradas dentro de los 15 días posteriores a los temblores fuertes de 1995 conjuntamente con los epicentros de temblores registrados en el periodo Septiembre-Octubre de 1996. En esta figura, los epicentros marcados con los asteriscos corresponden a la actividad de 1995, mientras que los círculos indican la actividad registrada en 1996. Resulta interesante observar que durante el periodo en que se registraron las réplicas de los temblores de 1995 no se detectó actividad sísmica en la zona ubicada al Este de La Paz, donde ahora se localizó alrededor del 25 % de los eventos de la Tabla 3. Un estudio detallado, y con más información, deberá efectuarse para tratar de entender mejor los patrones de ocurrencia de la actividad sísmica de la región.

Finalmente, cabe hacer mención que las estaciones de RESIPAZ registraron los dos temblores de magnitudes 4.8 y 4.1 que ocurrieron el 1 de Octubre de 1996 en el interior del Golfo de California. Los epicentros de estos temblores fueron ubicados por el Servicio Geológico de Estados Unidos frente al poblado de Loreto, Baja California Sur. El temblor de magnitud 4.8 ocurrió a las 12 horas con 9 minutos (tiempo local) y sus efectos fueron fuertemente sentidos por los habitantes de este poblado. La distancia del centro de RESIPAZ a los epicentros de estos temblores es del orden de 250 km, razón por la cual no se hizo ningún intento por tratar de relocalizar los epicentros con los datos producidos por la red.

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto se lleva a cabo con los recursos y facilidades proporcionados por el CICESE. Se reconoce ampliamente a las autoridades de esta institución por el apoyo otorgado al proyecto. Se agradece también la colaboración de la Universidad Autónoma de Baja California Sur, por hacer posible la

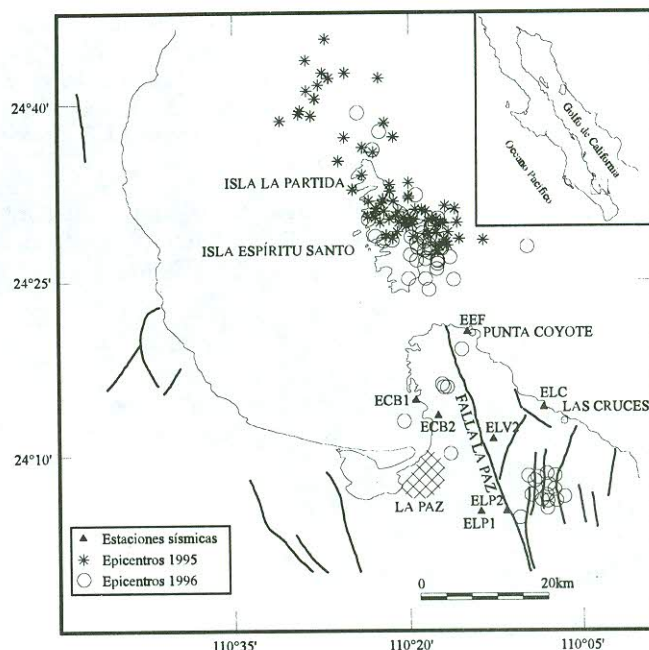


Figura 4. Gráfica conjunta de las réplicas del temblor de Junio 30 de 1995 (asteriscos) y de la sismicidad registrada durante Septiembre y Octubre de 1996 (círculos).

participación de Sergio Mayer Geraldo en el proyecto. Deseamos expresar nuestro reconocimiento a Armando Trasviña Castro y a Modesto Ortiz Figueroa, de la sede del CICESE en La Paz, por el apoyo que nos han proporcionado, y a Javier Gaitán Morán, de la U.A.B.C.S, por poner a nuestra disposición una unidad de transporte cuando fue necesario. Sus comentarios y sugerencias son también ampliamente apreciadas. Finalmente, deseamos extender nuestro agradecimiento a Manuel Luna Munguía y Victor Manuel Frías Camacho por su valiosa colaboración en la preparación de las figuras.

REFERENCIAS

- Brune, J. N., C. Lomnitz, C. Allen, F. Mooser, F. Lehner and A. Reyes, 1976, A permanent seismograph array around the Gulf of California. *Bulletin of the Seismological Society of America*, V. 66, No. 3, pp. 969-978.
- González-Ruiz, L. y L. Munguía, 1992 (Trabajo no publicado), Una relación empírica entre magnitud local y duración de la señal sísmica para la región norte de Baja California.
- Lee, W. H. K. and J. C. Lahr, 1975, HYPO71 (Revised): A computer program for determining hypocenter magnitude, and first motion pattern of local earthquakes. U. S. Geological Survey. Open File Report 75-311.
- López-Ramos, E., 1982, *Geología de México*, Tomo II.
- Molnar, P., 1973, Fault plane solutions of earthquakes and direction of motion in the Gulf of California and on the Rivera fracture zone. *Geological Society of America Bulletin*, V. 84, pp. 1651-1658.

- Munguía, L. y Wong V., 1995, Estudio de sismicidad en la zona geotérmica Las Tres Virgenes, Baja California Sur. La Sismología en México: 10 años después del temblor de Michoacán del 19 de Septiembre de 1985 (M=8.1). Monografía No. 2, Unión Geofísica Mexicana (F. Medina-Martínez, G. Suárez-Reynoso y L. Delgado-Argote, Editores), pp. 212-228.
- Munguía, L., Gaitán, J., Wong, V. y Mayer, S., 1992, Microsismicidad en la zona de la falla La Paz, Baja California Sur, México. Geofísica Internacional, V. 31, No. 3, pp. 279-287.
- Munguía, L., 1995, El temblor de La Paz, Baja California Sur, del 30 de Junio de 1995. Informe Técnico, CICESE.
- Normark, W. R. y Curray, J.R., 1968, Geology and structure of the tip of Baja California, México. Geological Society of America Bulletin, 79, 1589-1600.
- Wong, V. y Munguía, L., 1989, Reporte preliminar sobre la actividad sísmica registrada del 14 de Abril al 11 de Mayo en la región de San Carlos, Baja California Sur. (Reporte Interno).

LA ASTRONÁUTICA Y LA FÍSICA ESPACIAL

Oscar García Zarco

Facultad de Ciencias, UNAM, Circuito Exterior, C.U., Coyoacán 04510, México D.F.
E-mail mmhe@minervaux.fcencias.unam.mx

Con el surgimiento de la Astronáutica se han abierto nuevas puertas al conocimiento, ya que la salida del hombre al espacio amplió la visión del Universo y de la Tierra, beneficiando a la Física Espacial y a las Ciencias del Espacio, entendiendo de una mejor manera los procesos que se dan en el medio interplanetario y los planetas.

Con el lanzamiento del Sputnik I en 1957 se inició la era espacial y nuevas implicaciones económicas, científicas, culturales y jurídicas se hicieron sentir en todos y cada uno de los países del mundo (Gall, 1991).

Los instrumentos abordo de satélites añadieron técnicas de exploración de los recursos del suelo y del subsuelo, ampliaron la transmisión de señales para telecomunicaciones y permitieron hacer pronósticos de las condiciones climatológicas más precisos.

Además, el hombre ha aprovechado la ingravidez para llevar a cabo experimentos tanto en estaciones permanentes, como la MIR soviética o como temporalmente sucede con el transbordador espacial. Estos experimentos han abierto un nuevo panorama en los procesos de optimización industrial y de investigación científica y médica principalmente.

Desde el Renacimiento surgió la inquietud de explorar otros mundos y saber si existía vida en esos lugares, principalmente en la Luna, de donde se nutrió la literatura de ficción bajo la pluma de varios escritores, entre los que destacan el francés Savinien Cyrano de Bergerac, quien en sus obras aludió por primera vez al cohete.

Posteriormente, Julio Verne con sus relatos de ciencia ficción dio una visión anticipada de lo que serían los futuros viajes al espacio diseñando una bala cónica como medio de transporte. Poco tiempo después Herbert George Wells escribió las desconcertantes narraciones tituladas "La Guerra de los Mundos" y "Los Primeros hombres en la Luna".

Paralelamente comenzó la Astronáutica entendida como la ciencia que estudia la navegación por el espacio interplanetario, que comprende el proyecto y diseño de vehículos espaciales, estudio de sus trayectorias así como técnicas de dirección, despegue y aterrizaje. Como disciplina formal nació hacia finales del siglo XIX cuando algunos científicos comenzaron a estudiar teóricamente los principios y las posibilidades técnicas de los viajes al espacio.

Se considera que el fundador de la Astronáutica es el ruso Konstantin Eduardovich Tsiolkovski. Él fue pionero en el estudio de las leyes físicas y matemáticas fundamentales en las

que actualmente se basa el diseño de los motores de los cohetes. Después, Hermann Oberth realizó un proyecto para un misil de combustible líquido, el cual no fué tomado en cuenta, pero en su libro "El camino al viaje espacial" dejó plasmados los principios de la propulsión iónica (Rycroft, 1990).

El primer cohete impulsado con combustible líquido fue construido por Robert Hutchings Goddard el cual superó el kilómetro de altura y alcanzó velocidades supersónicas. Sin embargo, el pionero más exitoso fue el ingeniero alemán Werner Von Braun que trabajó en el polígono militar de Peenemünde en la costa del Báltico, diseñando y construyendo los misiles V2 durante la Segunda Guerra Mundial. Acabada la guerra continuó sus estudios y experimentos en los Estados Unidos, dando vida a los misiles Redstone, Júpiter y más tarde al gigantesco Saturno, en el cual se pudo llevar a cabo el programa de alunizaje.

La era de la Astronáutica comenzó el 4 de octubre de 1957 con el lanzamiento del primer satélite artificial soviético Sputnik I que permaneció en órbita hasta el 4 de enero de 1958. Un segundo Sputnik, de mayor tamaño y con la perra Laika a bordo, se puso en órbita el 3 de noviembre de 1957. Los norteamericanos pusieron en órbita el satélite Explorer I el 31 de enero de 1958. En esta misión se utilizaron por primera vez los circuitos miniaturizados y se descubrieron los Anillos de Van Allen, los cuales son cinturones de radiación formados por partículas energéticas, electrones y protones atrapados por la fuerza del campo magnético terrestre.

Tras estas primeras misiones, la Astronáutica evolucionó rápidamente y durante los dos años siguientes surcaron el espacio diez satélites lanzados por soviéticos y norteamericanos. Destacando los Lunik de fabricación rusa que alcanzaron y fotografiaron la superficie lunar incluyendo la cara oculta de la misma, mientras que los norteamericanos establecieron un récord de comunicación con el satélite Pioneer V a una distancia de 30 millones de kilómetros. Soviéticos y norteamericanos consiguieron en 1960 hacer volver al Sputnik V con dos perros a bordo y al Discovery XIII respectivamente. Sin embargo, la fecha clave fue el 12 de abril de 1961, día en que por primera vez un hombre, el soviético Yuri Gagarin realizó un vuelo alrededor de la Tierra. La NASA logró poner en órbita a John H. Glenn a bordo de una cápsula Mercury el 20 de febrero de 1962. Los Estados Unidos siguieron haciendo pruebas en el marco de los programas denominados Mercury, Gemini y Apolo. El objetivo de este último fue llevar al hombre a la Luna. Apolo fué el nombre del programa espacial norteamericano y de las naves que formaron parte de él. El cohete Saturno V fue pieza fundamental ya que sus 700 tf¹ (tf: toneladas fuerza) de