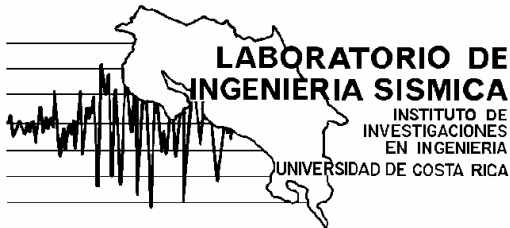


Universidad de Costa Rica
Instituto de Investigaciones en Ingeniería
Laboratorio de Ingeniería Sísmica



Tercer informe parcial de investigación:
**Obtención de registros acelerográficos para
la mitigación de efectos debidos a terremotos,
No. 731-A4-139**

Ing. Víctor Schmidt Díaz, Investigador Principal
César Aarón Moya Fernández, investigador asociado
Técnico Carlos Segura Vargas (técnico)

Diciembre del 2006

**UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES EN INGENIERÍA
LABORATORIO DE INGENIERÍA SÍSMICA (LIS)**

**TERCER INFORME PARCIAL DEL PROYECTO: Obtención de registros
acelerográficos para la mitigación de efectos debidos a terremotos, No. 731-
A4-139**

1. Antecedentes

Este informe corresponde al reporte de operación de la red de acelerógrafos del LIS durante el año 2006 en aspectos tales como: registros acelerográficos, ubicación de epicentros y de estaciones, niveles de aceleración máximos registrados, procesamiento de la información y mantenimiento de los instrumentos.

1.1 Objetivos principales del proyecto

- Recopilar la información (acelerogramas) que suministran los 40 instrumentos que conforman actualmente la red de acelerógrafos.
- Procesar las formas de onda obtenidas, por medio de programas de computador y obtener datos como: espectros de Fourier y de respuesta, acelerogramas filtrados y funciones de transferencia, que serán de gran utilidad para diversas áreas como: Ingeniería Civil y Sísmica, Geología, Geotecnia y Defensa Civil.
- Dar mantenimiento a cada instrumento que conforma la red de acelerógrafos, para asegurar la confiabilidad de la información obtenida y mantener actualizada la base de datos de calibraciones de cada instrumento.

1.2 Vigencia del proyecto

Del 2006.01.01 al 2006.12.31

1.3 Investigadores y Carga Académica

Ing. Víctor Schmidt Díaz, Investigador Principal, 10 horas
César Aarón Moya Fernández, investigador asociado, 10 horas
Técnico Carlos Segura Vargas (técnico), sin carga

2. Metodología

2.1 Métodos utilizados

La recopilación de la información proveniente de los acelerógrafos se realizó por medio de una visita trimestral a cada estación como mínimo, tanto para revisar parámetros de calibración de cada instrumento como para la extracción de sismos registrados. De esta manera se llevó a cabo un control periódico del funcionamiento de cada instrumento para asegurar la calidad de la información.

En este sentido, los instrumentos analógicos (6 en operación actualmente) requieren de un mayor mantenimiento en el sitio, principalmente porque llevan más de 15 años de estar en operación. De hecho, en la actualidad, no se fabrican. En cuanto a los digitales, el mantenimiento que se les puede dar es más bien de tipo preventivo y en caso de alguna duda respecto a su funcionamiento, se hacen las consultas vía correo electrónico al fabricante, quien brinda un servicio gratuito de soporte técnico.

Cada vez que ocurrió un sismo fuerte, se visitó cada estación para recopilar la información registrada, así como para obtener pruebas de calibración que aseguren la calidad de esos registros. Esto es de suma importancia ya que si algún instrumento se descalibra (parámetros dinámicos de los instrumentos fuera de los rangos sugeridos por el fabricante), el registro no es válido. En el periodo de tiempo que duró este proyecto, todos los registros sísmicos cumplieron con las especificaciones. Sin embargo, cabe aclarar que durante el 2005 la actividad sísmica fue entre baja y moderada, por lo que se requirieron pocas visitas específicas para extraer información importante registrada.

En el apéndice de este informe (cuadro 2), se muestra un resumen de las visitas realizadas al campo por el Técnico en Electrónica del LIS, durante el primer y segundo semestres del 2002, a modo de ejemplo respecto a las anotaciones de campo hechas por el técnico en electrónica. Un detalle de las mismas puede ser encontrado en los informes de esta investigación de años anteriores, así como en las anotaciones de campo contenidas en archivos en el Laboratorio.

En el caso de instrumentos analógicos, que corresponden solamente a seis de los 40 que conforman actualmente la red de acelerógrafos, la respuesta de cada uno se revisó por medio de lecturas de calibración contenidas en cada negativo, se leen: el amortiguamiento y la frecuencia de oscilación de cada acelerómetro, existiendo tres por instrumento. El correcto funcionamiento de cada acelerógrafo se garantiza si los parámetros leídos se ubican dentro de los rangos establecidos por el fabricante. En caso de que esto no sucediera, se realizaron los ajustes físicos de partes del instrumento, como resortes, resistencias, etc.

Para los instrumentos digitales se procedió de modo semejante, solo que las lecturas de calibración se hicieron directamente de la pantalla de la computadora. Todos los registros obtenidos de instrumentos digitales cumplieron con lo especificado. En caso de que esto no suceda debe enviarse el instrumento o el circuito integrado al fabricante, ya que en este país no existe la tecnología para hacer las reparaciones correspondientes.

Con respecto a los registros de aceleración, una vez recopilados fueron procesados en las instalaciones del LIS. Para los registros digitales, los datos se obtuvieron directamente del instrumento a través de una computadora portátil. Tanto los analógicos como los digitales fueron llevados al formato .LIS, que permite un fácil manejo de la información

Posteriormente se realizó el resto del procesamiento de la señal sísmica y se generan los datos que serían utilizados más tarde en investigación, como lo son: espectros de respuesta, espectros de Fourier, acelerogramas filtrados y corregidos, etc.

2.2 Las dificultades y la manera de enfrentarlas

Dentro de las posibilidades con que cuenta el LIS, que se consideran limitadas, sobretodo en aspectos de presupuesto y de actualización del equipo, en general se ha cumplido con los objetivos que se han propuesto. Sin embargo, a continuación se enumeran otras de las dificultades enfrentadas durante los últimos cinco años para la realización de este proyecto:

- **Fallos del equipo acelerográfico debido a obsolescencia del mismo.** Los instrumentos analógicos ya no se fabrican más, por lo que es urgente sustituirlos por sistemas digitales. Los fabricantes han diseñado un sistema que permite convertir los instrumentos existentes en sistemas digitales a un costo muy conveniente. En la actualidad se tratan de llevar a cabo estos cambios con fondos de esta institución y por medio de donaciones. Por otro lado, se trata de motivar a otras instituciones para la donación de equipos totalmente nuevos (tipo K2 y ETNA).
- **Fallos del equipo informático.** Las computadoras son de vital importancia para la obtención y el procesamiento de registros acelerográficos, así como para el mantenimiento de los acelerógrafos y se deben mantener actualizados. Debido a las limitaciones presupuestarias con que se cuenta en esta institución, no se suele contar con el equipo informático requerido, por lo que debe recurrirse a la venta de servicios o a las donaciones para modernizar las computadoras
- **Cambios en el personal que conforma el LIS.** Para cumplir con los objetivos propuestos en este proyecto, es imprescindible contar con el personal requerido. En este sentido hay que resaltar que como se trabaja en su mayoría con asistentes de investigación, que son estudiantes, y son

ellos los que se encargan de la mayoría del trabajo de rutina, en el momento que se gradúan se debe contratar a nuevo personal y entrenarlo, por lo que debe invertirse una gran cantidad de tiempo y se pierde además todo el conocimiento que han adquirido los asistentes ya entrenados en temas específicos como: creación de programas de cómputo, apoyo en otras actividades y proyectos de investigación para los que se requiere un nivel de conocimientos mayor, etc. Algo semejante sucede con el personal de planta (una plaza docente y una administrativa en la actualidad) que por falta de incentivos salariales, permanece por muy poco tiempo en el Laboratorio, por lo que se pierden todos los conocimientos que esa persona puede aportar y se dificulta el avance y progreso del Laboratorio. Lo anterior se ha tratado de enfrentar al hacer manuales y folletos que describan los procesos que cada persona realiza, pero esto nunca es suficiente. Por otro lado, en la actualidad solo se cuenta con 3/4 TC consolidado y destinado a la investigación, lo que resulta insuficiente. Es imprescindible que se cuente con **al menos 2 TC consolidados** para llevar a cabo las numerosas tareas que se ejecutan en este Laboratorio.

- **Periodos de baja actividad sísmica**, como lo fue el 2005, que generalmente implican una falta de atención e interés por parte de las autoridades universitarias y externas a gestiones de adquisición, actualización y mantenimiento de equipos, donde las inversiones suelen ser grandes. En caso de que la actividad sísmica aumente, se suele producir un cambio sustancial en cuanto al apoyo externo que se recibe.

3. Logros y resultados más relevantes

En el cuadro 1 del apéndice aparece la lista de los eventos extraídos de los acelerógrafos durante 2005, donde se observan datos como: hora y día de ocurrencia, magnitud, distancia hipocentral y la aceleración pico de las tres componentes. Tal y como se puede observar, la mayor parte de los sismos registrados se obtuvieron en la estación FRA, ubicada en Fráiles de Desamparados, en la que se obtuvo 28 de 31 registros. En el apéndice, figura 1 se puede observar la ubicación de los epicentros y de las estaciones que registraron durante el 2005, en la que se observa además una predominancia de epicentros localizados en el Pacífico Central y Zona de Los Santos de Costa Rica. De la figura 2 a la 7 se muestran las formas de onda de todos los acelerogramas obtenidos. En la figura 8 aparece un gráfico de aceleración pico registrada vs. distancia hipocentral para la estación FRA.

Los datos más importantes que se pueden extraer de los registros, son los siguientes:

- Número total de acelerogramas registrados en el 2005: 31.
- Estación con mayor número de registros: FRA, con 28.

- Otras estaciones de las que se obtuvo registros: LIM, QSP y RMO, cada una con uno.

- Máximo PGA (aceleración pico del terreno) registrado: 43,4 gals, correspondiente al sismo de Matina de Limón del 16 de julio, de magnitud 5,0 y con una distancia hipocentral de 14,4 Km.

- Mayor distancia hipocentral: 390 Km, correspondiente a un sismo ubicado en San Juan del Sur de Nicaragua, MI = 5,8. Este es además el sismo de mayor magnitud registrado en lo que va del año, pero a una distancia lejana, por lo que no causó daños en el territorio nacional.

- Menor distancia hipocentral: 8,6 Km en la estación FRA, correspondiente al sismo de Corralillo de Cartago del 6 de mayo del 2005.

En el Valle Central y otras zonas pobladas del país no hubo consecuencias importantes por sismos fuertes durante el periodo considerado, así como en el resto del país no hubo sismos que alcanzaran la intensidad VI en la escala Mercalli Modificada.

Es importante destacar que la estación FRA registró una gran cantidad de eventos debido a los bajos niveles de disparo fijados en el acelerógrafo, situación que ya fue modificada. Además, el sitio donde se ubica el instrumento está ubicado en la parte alta de una montaña, por lo que existen implícitos efectos de amplificación de las aceleraciones debidos a la topografía. Precisamente debido a lo anterior, existen algunos sismos que no fueron identificados como tales por la Red Sismológica Nacional (ICE-UCR), debido a que, por ser de muy baja magnitud, fueron pocas o ninguna las estaciones de esa red que los registraron. Esto también habla de la gran sensibilidad con que cuentan los acelerógrafos digitales que conforman la red del LIS. Esto fue ratificado por Javier Pacheco et. al (2005) en su artículo: The Damas (6,4Mw) earthquake of November 20, 2004; aftershocks and slip distribution (en prensa), en el que se hizo amplio uso de los acelerogramas registrados en el LIS y se hizo énfasis en la alta resolución que estos ofrecen, lo que les permitió llegar a valiosas conclusiones.

En el proceso de renovación de la red de acelerógrafos (de sistemas analógicos a digitales), se han logrado adquirir en los últimos años, 34 digitales de los cuales 28 son propiedad del LIS. Los 6 restantes se han integrado completamente a esta red, aún cuando pertenecen a RECOPE, OVSICORI y al Ingenio Taboga. En la actualidad se cuenta por lo tanto, con 34 digitales y 6 analógicos, que suman un total de 40 unidades en operación.

Cabe destacar que durante el 2005 dos convertidores analógico-digital, modelo QDR (digital retrofit) tuvieron problemas de funcionamiento, por lo que al estar en garantía fueron enviados a la casa fabricante. Fueron reemplazados con convertidores nuevos.

A los 7 instrumentos digitales que son propiedad de otras instituciones se les sigue dando el mantenimiento preventivo del caso y se vigila su correcto funcionamiento. En este sentido, resulta muy conveniente que esas instituciones continúen siendo los dueños del equipo, de manera que las reparaciones en el futuro sean cubiertas por ellos, ya que suele ser uno de los rubros más altos para mantener una red de instrumentos en operación.

4. Gastos incurridos y ejecución presupuestaria

Según el oficio VI-DGI-531-F-445-05, a Vicerrectoría de Investigación asignó para esta investigación 20 horas asistente por 10.5 meses durante cinco años, para un total aproximado en colones de ₡ 794 000 colones.

Los demás gastos, como: papelería, impresiones, fotocopiado, pago de investigadores que desarrollaron la actividad, entre otros, fueron cubiertos por presupuesto ordinario del Instituto de Investigaciones en Ingeniería, así como con fondos que este Laboratorio ha recibido como donaciones o ventas de servicios, depositados en la cuenta 1539 de FUNDEVI.

Apéndice: Datos y registros acelerográficos, ubicación de los sismos registrados, formas de onda y reportes de mantenimiento de los acelerógrafos del LIS

Cuadro 1: Datos sismológicos y acelerográficos de los sismos registrados en el LIS durante el 2005

Fecha	Hora	Mag.	Estación	Dist hipocentral (Km)	PGA (gales)		
					Long	Vert	Trans
2005/01/02	07:51	ND	FRA	ND	ND	ND	ND
2005/01/06	13:43	3,7 ML	FRA	31.5	3.3	2.1	2.9
2005/01/10	12:33	4,2 ML	FRA	18.4	6.5	2.2	2.9
2005/01/19	19:01	ND	FRA	ND	ND	ND	ND
2005/01/21	11:38	ND	FRA	ND	ND	ND	ND
2005/01/24	17:45	4,9 ML	FRA	93.8	3.3	1.4	3.0
2005/02/10	03:21	4,2 ML	FRA	31.0	3.6	2.4	4.7
2005/02/14	03:31	5,1 ML	FRA	102.6	2.6	1.3	1.7
2005/02/19	07:23	4,1 ML	FRA	75.1	1.5	1.0	1.7
2005/02/28	04:17	3,9 ML	FRA	47.2	1.7	0.6	0.8
2005/03/02	00:45	3,9 ML	FRA	36.1	1.4	0.7	1.6
2005/04/01	07:58	3,9 ML	FRA	ND	ND	ND	ND
2005/04/03	04:43	3,4 ML	FRA	9.1	7.2	4.6	5.4
2005/04/16	07:14	4,0 ML	FRA	11.6	10.4	4.9	11.3
2005/04/16	01:18	ND	FRA	ND	ND	ND	ND
2005/05/02	20:08	4,5 ML	FRA	90.0	2.2	0.6	1.8
2005/05/06	13:16	3,4 ML	FRA	8.6	4.0	2.3	4.6
2005/05/17	08:56	4,3 ML	FRA	37.5	2.0	0.9	1.5
2005/05/26	20:21	4,0 ML	FRA	54.1	2.1	0.5	1.6
2005/05/27	15:29	3,9 ML	FRA	54.7	3.0	1.2	1.5
2005/06/04	16:56	3,9 ML	FRA	36.4	5.3	1.6	2.1
2005/06/09	10:29	3,6 ML	FRA	47.0	1.6	1.0	1.8
2005/06/23	15:15	4,4 ML	FRA	38.7	13.7	7.6	8.6
2005/06/23	15:35	3,6 ML	FRA	32.5	2.0	1.1	1.3
2005/06/23	20:58	4,0 ML	FRA	32.5	2.0	1.1	1.3
2005/06/23	20:58	4,0 ML	QSP	13.2	23.6	14.6	22.5
2005/06/29	03:21	ND	FRA	ND	ND	ND	ND
2005/06/30	21:26	5,6 ML	FRA	205.4	1.6	0.7	1.9
2005/07/02	02:16	5,8 ML	FRA	390.6	1.5	0.4	1.3
2005/07/16	20:44	5,0 ML	LIM	17.1	18.0	12.4	26.5
2005/07/16	20:44	5,0 ML	RMO	14.4	22.4	15.9	43.4

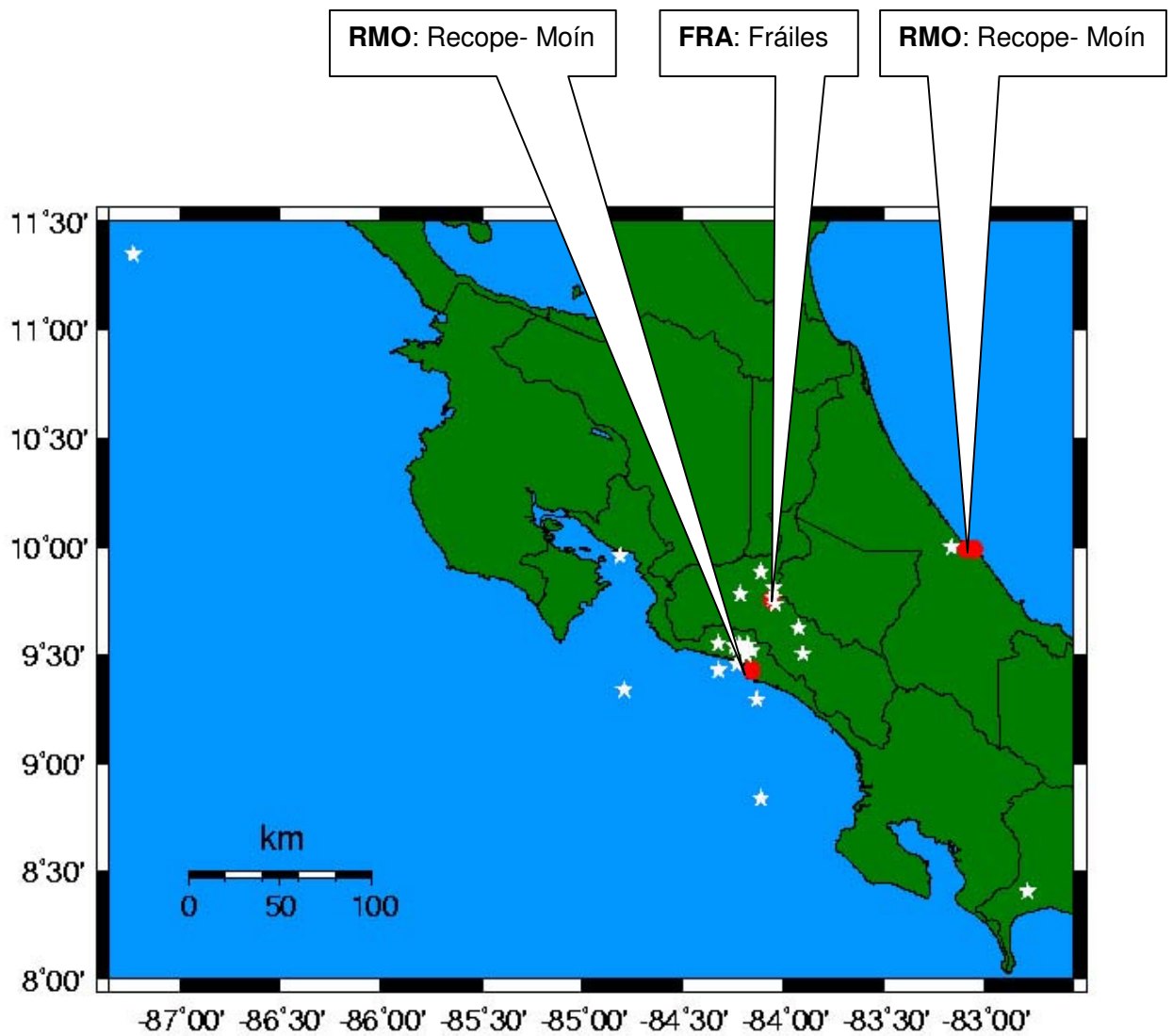


Figura 1. Mapa de ubicación de epicentros y de estaciones acelerográficas en las que se obtuvo registros durante el 2005. En estrellas se representan las ubicaciones y en puntos rojos las estaciones de las que se obtuvo registros.

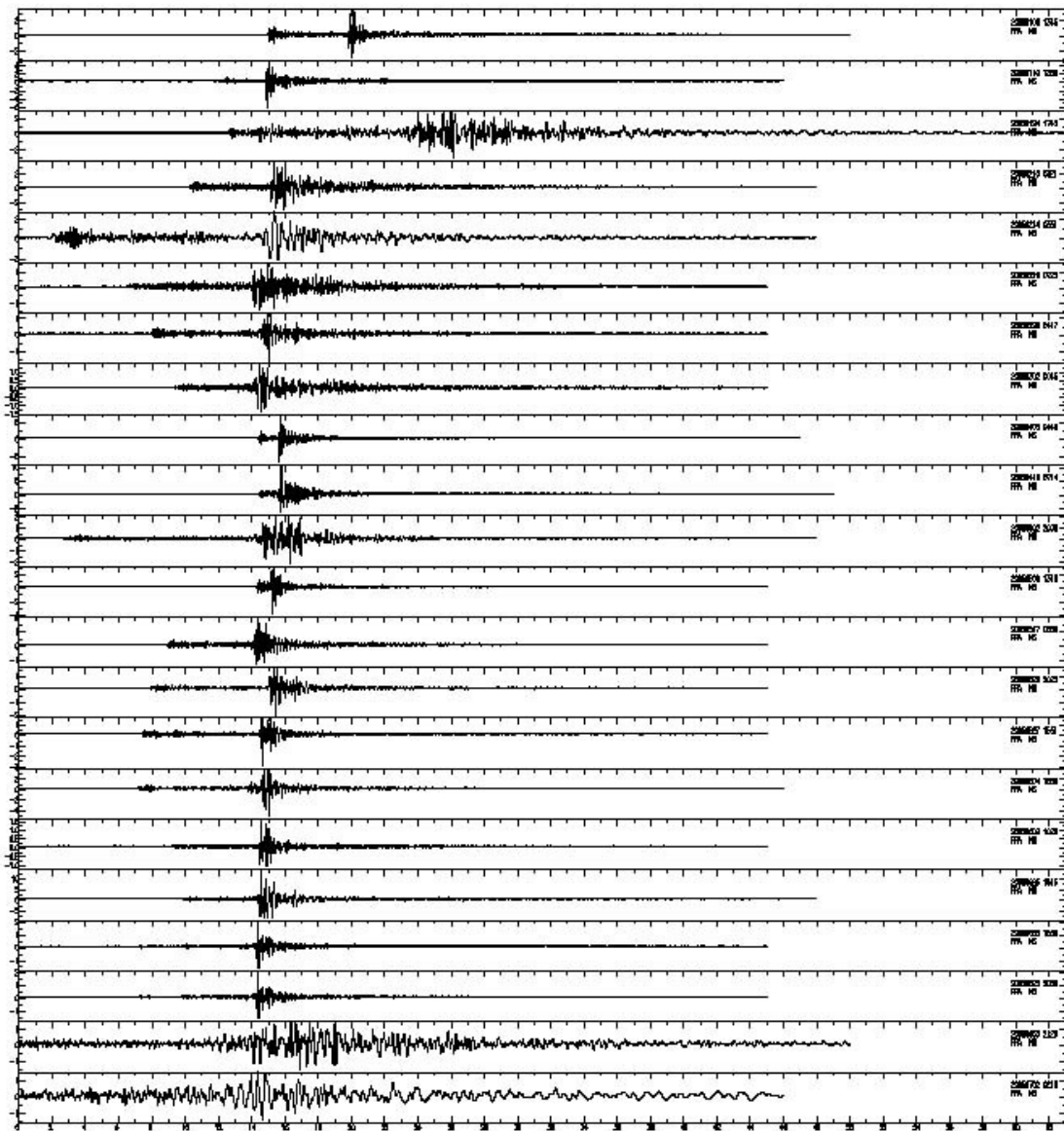


Figura 2. Formas de onda estación Frailas (FRA), componente Norte-Sur

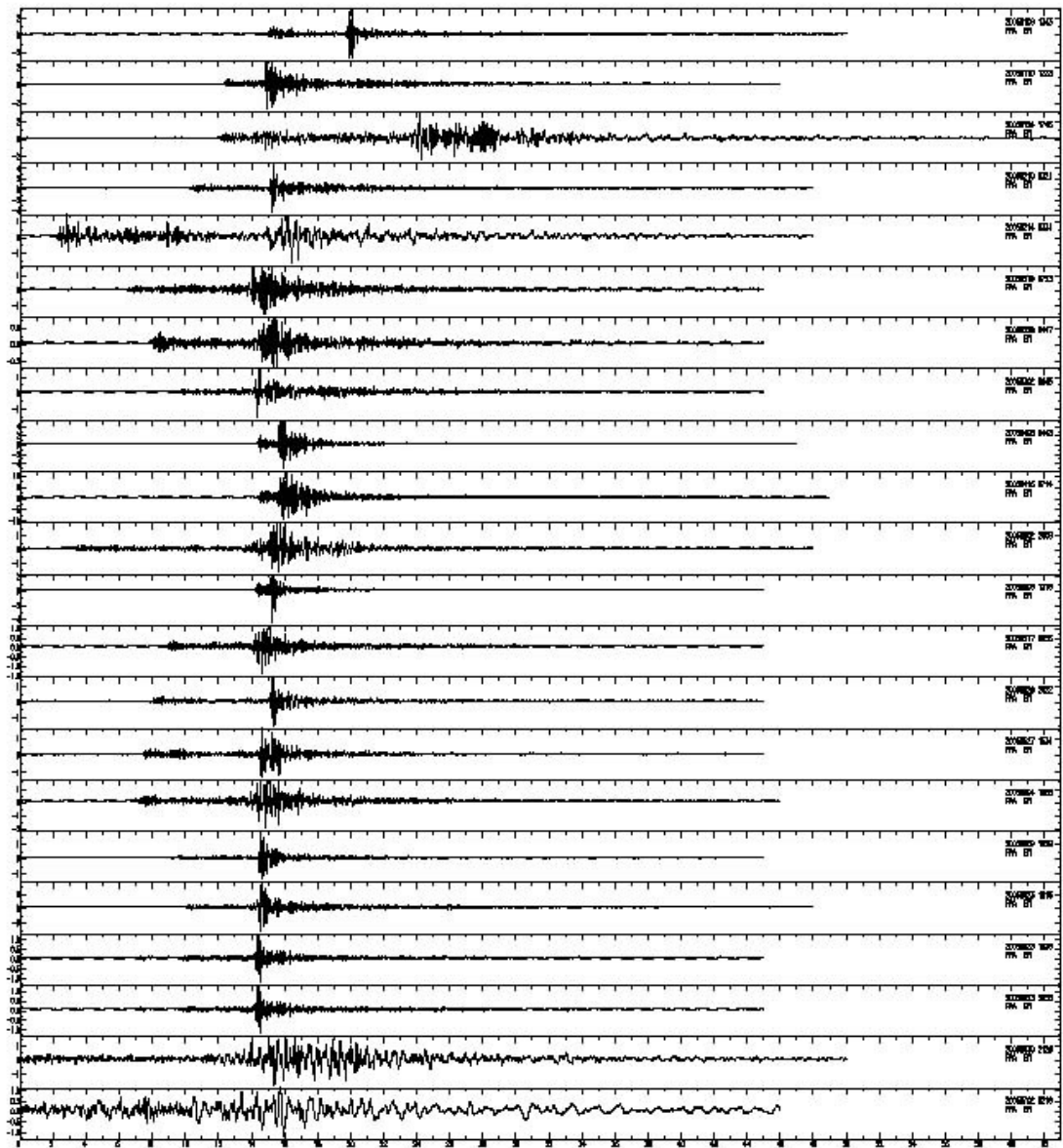


Figura 3. Formas de onda estación Frailes (FRA), componente Este- Oeste

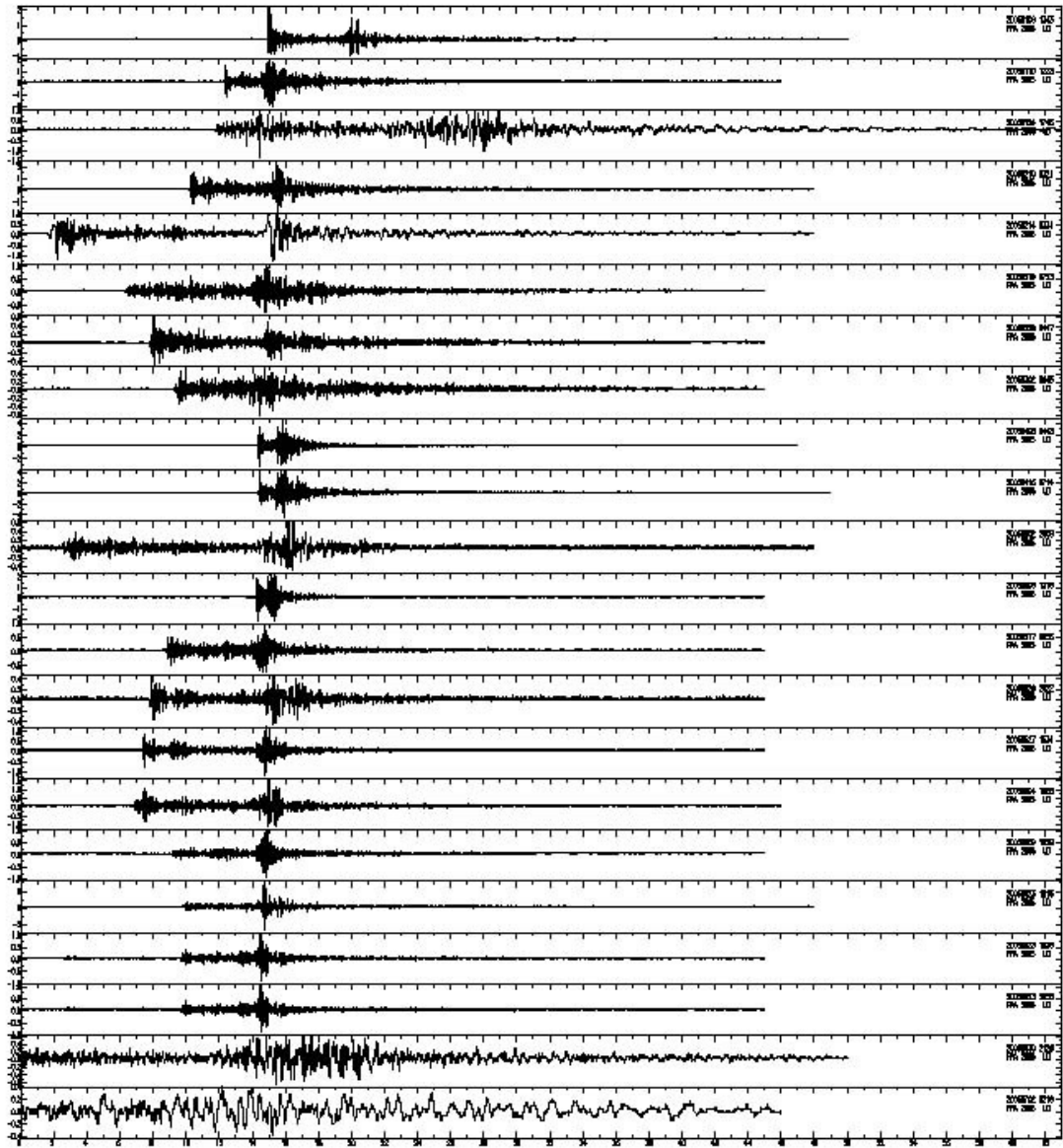


Figura 4. Formas de onda estación Frailes (FRA), componente vertical

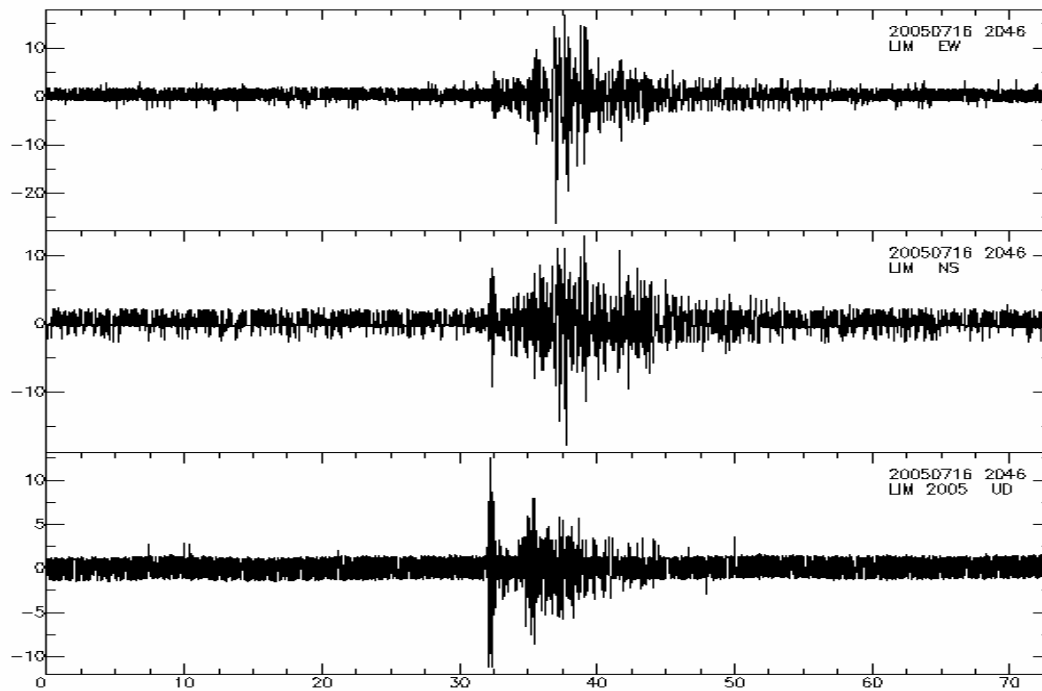


Figura 5. Formas de onda estación Limón (LIM), tres componentes

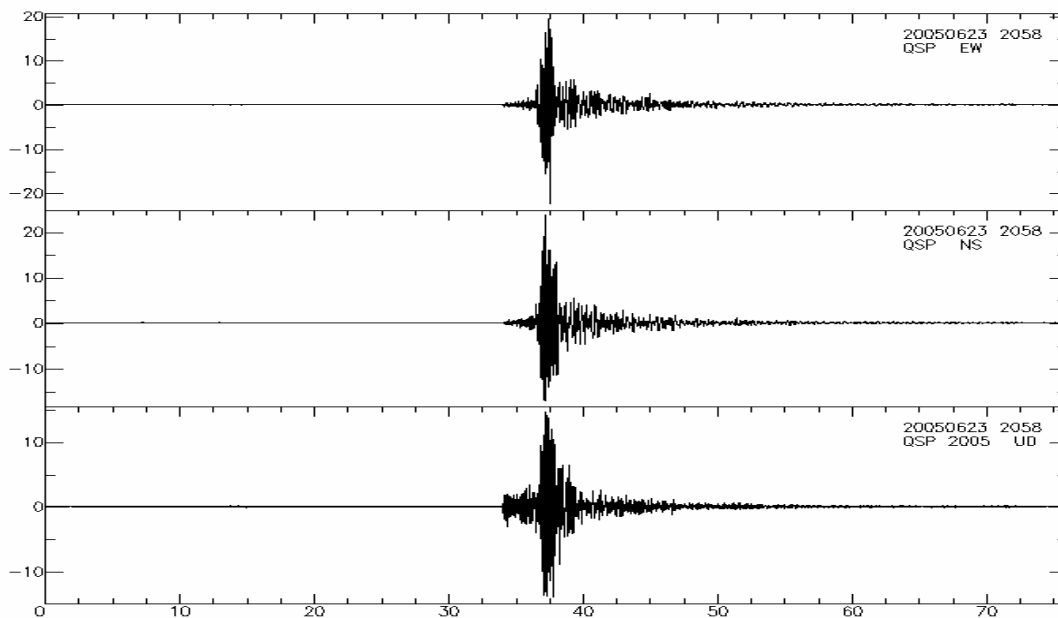


Figura 6. Formas de onda estación Quepos (QSP), tres componentes

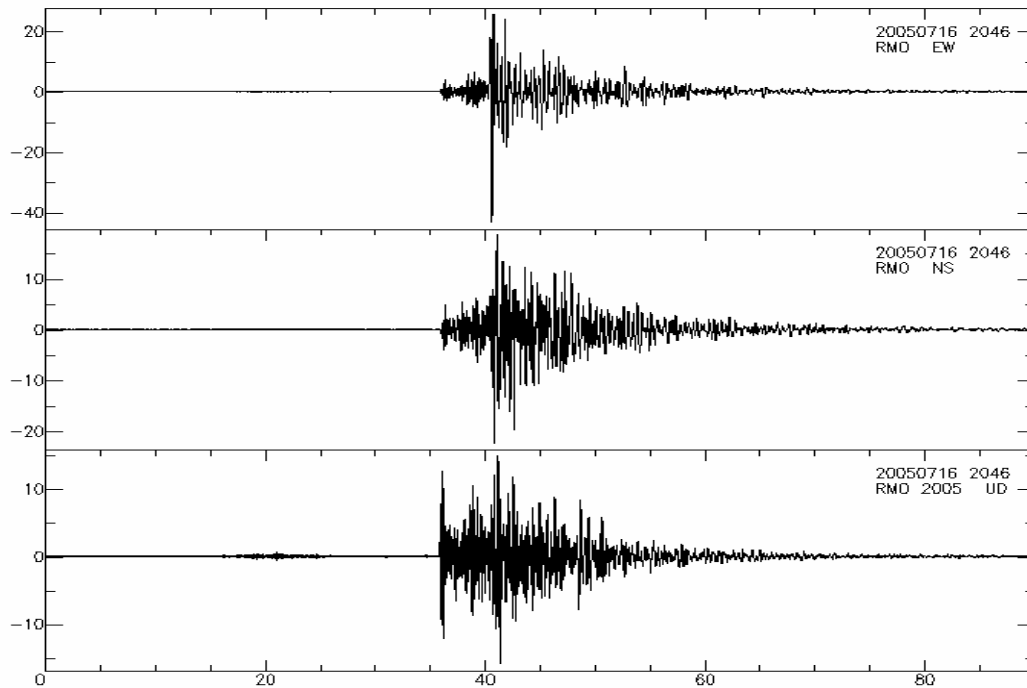


Figura 7. Formas de onda estación Recope- Moín (RMO), tres componentes

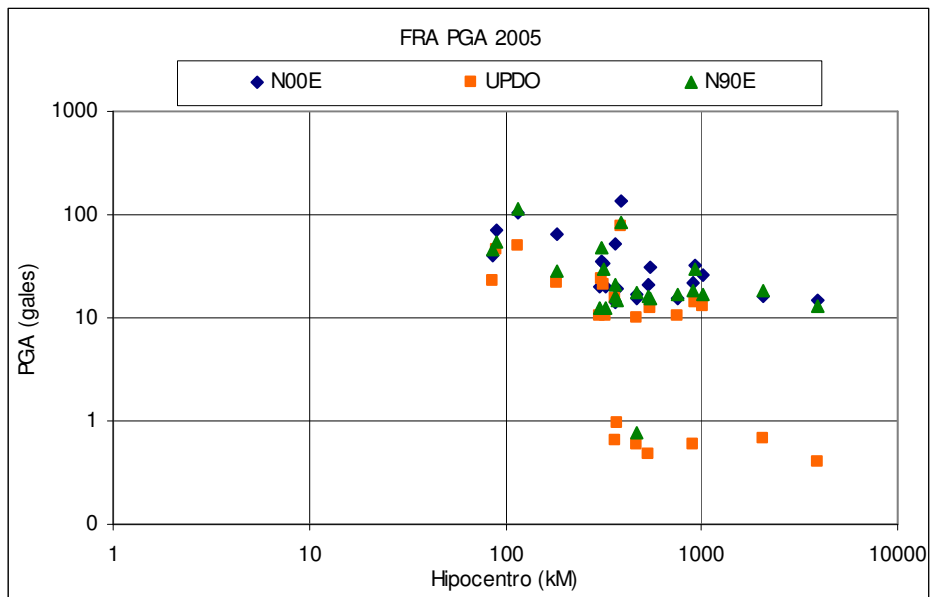


Figura 8. Gráfico de aceleración pico (PGA) vs. distancia hipocentral para los sismos registrados en la estación FRA

Cuadro 2. Visitas de mantenimiento y reportes técnicos, 19 de noviembre del 2005

#	Estación	Modelo	Serie	Cmsv02-12-2005
				COMENTARIO
1	ALJ	Etna-Epi-Nf	2811	Se conversa con autoridades del Museo Juan Santamaría, para lograr que ALJ quede dentro de lo que fue el CIPET, Ejes y fotos
4	CNY	Sma-Qdr-Fba-Nf	5730-679	Ejes; se identifica la disposición de los ejes dentro del gráfico de pantalla: L-V-T(sensores FBA)), Se toman fotografía de la estación.
5	BNCg	Sma-1	7045	
6	BNCu	Sma-1	5580	
7	NYA	Etna-Epi-Nf	2454	Durante la época de huracanes, esta estación se inundo, se pudo reparar el acelerógrafo no así la fuente de carga. Se coloca un QDR.
8	CCH	Etna-Epi-Nf	4349	Gps no enganchaba, se modifico la posición de esta, se toma fotografía de la estación y se realizar la prueba de los ejes.
9	CDN	Ssa-1-Fba-Nf	128	Se cambio la batería. Se identifica la disposición de los ejes dentro del gráfico de pantalla
10	CLD	Sma-Qdr-Fba-Nf	5582-681	se toma fotografía de la estación y se realizar la prueba de los ejes
11	ECA	Ssa-2-Fba-Nf	941	Se cambio la batería, se toma fotografía de la estación y se realizar la prueba de los ejes
12	FRA	Ssa-1-Fba-Nf	127	Para el sismo del 20nov04, registra 29 replicas, Se cambio la batería, se toma fotografía de la estación y se realizar la prueba de los eje
13	GLF	Etna-Epi-Nf	2810	se toma fotografía de la estación y se realizar la prueba de los ejes
14	GPL	Sma-Qdr-Fba-Nf	7046-770	Para el sismo de Nov-20-05 el equipo falló, se reemplazó por otro Qdr-Sma-1, Se toman fotos y se realiza prueba de ejes
15	GTS	Sma-Qdr	5583-683	se toma fotografía de la estación
19	ISD	Ssa-2-Fba-Nf	2469	Se cambio la batería, se toma fotografía de la estación y se realiza la identificación de sensores y su disposición en el grafico .
20	LIB	Sma-Qdr-Fba-Nf	5726-502	Se toma fotografía de la estación y se realiza la identificación de sensores y su disposición en el grafico
21	LIM	Sma-Qdr-Fba-Nf	5579-680	Identificación de ejes. Se toma fotografía de la estación
22	LPF	K2-Fba-Nf	854	Se cambio la batería, se toma fotografía de la estación y se realiza la identificación de sensores y su disposición en el grafico

23	OVS	Ssa-1	107	Se cambio la batería, así como la fuente, después de esto el aparato falló del todo, aún no se ha reparado
25	PCL	Sma-Qdr-Fba-Nf	5733-498	Se toma fotografía de la estación y se realiza la identificación de sensores y su disposición en el grafico
26	QSP	Etna-Epi-Nf	2453	Se toma fotografía y se realiza la identificación de Trazas y su disposición en el grafico, Memoria se saturó
27	RAL	Etna-Epi-Nf	2882	Se realiza la identificación de Trazas y su disposición en el grafico
28	RBA	Ssa-2-Fba-Nf	1305	Se realiza la identificación de Trazas y su disposición en el grafico
29	RCP	Sma-1	6417	Se traslada al LIS, para convertirlo en QDR-SMA-1
30	RGA	Ssa-2	1307	Se cambio la batería, control de ejes y toma de fotografía
31	RMO	Etna-Epi-Nf	2881	Se toma fotografía y se realiza la identificación de Trazas y su disposición en el grafico y su disposición en el grafico
32	RTU	Ssa-2	1306	Se realiza la identificación de Trazas y su disposición en el grafico
33	SAB	Sma-Qdr	5581-769	Se realiza la identificación de Trazas y su disposición en el grafico
34	SCS	Sma-Qdr-Fba-Sf	5732-766	Se toma fotografía y se realiza la identificación de Trazas y su disposición en el grafico
37	SRM	Sma-Qdr	5731-573	Se toma fotografía y se realiza la identificación de Trazas y su disposición en el grafico y su disposición en el grafico
38	STC	Sma-Qdr-Fba-Nf	5584-381	Se realiza la identificación de Trazas y su disposición en el grafico
39	TBA	Sma-Qdr-Fba-Nf	5578-639	Se toma fotografía y se realiza la identificación de Trazas y su disposición en el grafico y su disposición en el grafico
40	TGA	Etna-Epi-Nf	2128	Se toma fotografía y se realiza la identificación de Trazas y su disposición en el grafico y su disposición en el grafico